



Российская Академия  
Наук



ДЕПАРТАМЕНТ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ  
И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
ГОРОДА МОСКВЫ (МОСПРИРОДА)



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization

Sustainable  
Energy  
Development



International centre  
under the auspices of UNESCO

Материалы Международного Конгресса  
«Возобновляемая энергетика XXI век:  
энергетическая и экономическая эффективность»  
13–14 октября 2016, Сколково

# REENCON-XXI 2016

Proceedings of the International Renewable Energy  
Congress – XXI: Energy & Economic Efficiency  
October 13–14 2016, Skolkovo



МИНИСТЕРСТВО  
ЭНЕРГЕТИКИ



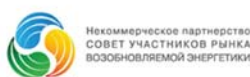
Министерство  
образования и науки  
Российской Федерации



Российский  
научный  
фонд



РОССИЙСКИЙ  
ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ



ТП «МАЛАЯ  
РАСПРЕДЕЛЕННАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА»



Интеллектуальная  
энергетическая  
система  
России



Перспективные  
Технологии  
Возобновляемой Энергетики



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА  
«ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТАЯ ТЕПЛОВАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ»

УДК 620.92 (075.8)  
ББК 31.я73

При поддержке  
Российского Фонда Фундаментальных Исследований  
грант 16-08-20595 Г

Печатается по решению Организационного и Программного комитетов  
Международного Конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век:  
Энергетическая и экономическая эффективность», 2016.

Редакционно-издательский совет:

Чл.-корр. РАН Филиппов С.П., д.т.н. Попель О.С., к.э.н. Митрова Т.А.,  
д.э.н. Медведева Е.А., к.т.н. Ермоленко Г.В., к.ф.-м.н. Дуников Д.О., Ряпин И.Ю.

Рецензенты:

д.т.н. Попель О.С. - заместитель директора по научной работе Объединенного  
института высоких температур РАН  
к.ф.-м.н. Дуников Д.О. - старший научный сотрудник лаборатории Водородных  
энергетических технологий Объединенного института высоких температур РАН

Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность,  
2016// Материалы Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая  
энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность», Сколково, 13-14  
октября 2016 г./ Под ред. к.ф.-м.н Д.О. Дуникова, д.т.н. О.С. Попеля - Москва: ОИВТ  
РАН. 2016. - 274 с.

В материалах Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая  
энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность» 2016  
опубликованы тезисы участников Конгресса по различным аспектам разработки и  
практического использования возобновляемых источников энергии.

Для научных работников, аспирантов, студентов энергетических специальностей и  
широкого круга специалистов, занимающихся проблемами использования  
возобновляемых источников энергии.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук

© Коллектив авторов

## **ОРГАНИЗАТОРЫ КОНГРЕССА ORGANIZERS**

Российская академия наук, Объединенный институт высоких температур  
Российской академии наук (ОИВТ РАН)  
Национальный исследовательский университет «Высшая школа  
экономики» (НИУ ВШЭ),  
Международный центр устойчивого энергетического развития под эгидой  
ЮНЕСКО (МЦУЭР),  
Фонд «Сколково»,  
Департамент природопользования и охраны окружающей среды города  
Москвы.

### **ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ:**

Министерства энергетики Российской Федерации,  
Министерства образования и науки Российской Федерации,  
Российского Фонда Фундаментальных Исследований  
Федерального агентства научных организаций

### **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

Председатель:  
Президент РАН, академик В.Е. Фортов,  
Сопредседатель:  
Первый проректор НИУ ВШЭ, д.э.н., профессор Л.М. Гохберг  
Заместитель Председателя:  
Заместитель директора ОИВТ РАН, д.т.н. О.С. Попель

### **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

Соруководители:  
Директор Института энергетики НИУ ВШЭ, д.э.н. Е.А. Медведева  
Директор по операционной работе Фонда «Сколково» О.Е.Перцовский  
Заместитель руководителя:  
Заведующий Центром развития ВИЭ Института энергетики НИУ ВШЭ  
к.т.н. Ермоленко Г.В.

### **РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ**

Ответственный редактор:  
Старший научный сотрудник ОИВТ РАН, к.ф.-м.н. Д.О. Дуников

### **СЕКРЕТАРИАТ КОНГРЕССА:**

Тел. +7 (985) 177-53-35 e-mail: org@reencon-xxi.ru  
Ответственный секретарь: Ирина Толмачева

**ОГЛАВЛЕНИЕ**  
**TABLE OF CONTENTS**

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНГРЕССА ORGANIZERS	3
ОГЛАВЛЕНИЕ TABLE OF CONTENTS	4
РУССКО-СЕРБСКИЕ ОТНОШЕНИЯ И СТРАТЕГИИ ВО ВЗГЛЯДЕ НА УСТОЙЧИВУЮ ЭНЕРГЕТИКУ RUSSISH-SERBIAN COOPERATION AND STRATEGIES IN CONNECT TO SUSTAINABLE ENERGETIC	10
<i>Джукич М.П., Джуканович Ж.С.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ВОСТОЧНОЙ ГАЗОВОЙ ПРОГРАММЫ ПАО «ГАЗПРОМ» RENEWABLE ENERGY SOURCES USE FOR ENERGY SUPPLY FOR THE FACILITIES OF THE EASTERN GAS PROGRAM OF PJSC «GAZPROM»	16
<i>Бессель В.В., Мингалева Р.Д., Кильянов Г.М.</i>	
МНОГОСЛОЙНЫЕ ГИБРИДНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКАОГО КРЕМНИЯ И СОПРЯЖЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ MULTI-HYBRID SOLAR CELLS BASED ON CRYSTALLINE SILICON AND CONGUGATED POLYMERS	22
<i>Кобрянский В.М.</i>	
ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СТРАНАХ АФРИКИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ EXPERIENCE AND PROSPECTS OF RENEWABLE ENERGY IN AFRICA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS	27
<i>Нефедова Л.В.</i>	
ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ GEOTHERMAL ENERGY. THE PROBLEMS OF DEVELOPMENT	33
<i>Свалова В.Б.</i>	
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ FUNDAMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT	39
<i>Стребков Д.С.</i>	
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА ИЗ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ EFFECT OF CLIMATE AND INFRASTRUCTURE FACTORS ON MICROALGAE BIOFUELS RESOURCE	45
<i>Чернова Н.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю.</i>	
РЕЗУЛЬТАТЫ РОССИЙСКО-КИТАЙСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРСПЕКТИВ СОВМЕСТНОГО ОСВОЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОГО ЗАПОЛЯРЬЯ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА RESULTS OF RUSSIAN-CHINESE RESEARCH PROSPECTS OF JOINT DEVELOPING OF RUSSIAN ARCTIC AND FAR EAST WIND RESOURCES	50
<i>Кожуховский И.С., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.Г., Николаев В.В.</i>	



---

МИРОВОЙ ПРОЕКТ ГЛОБАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ WORLD PROJECT GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION AND PROSPECTS OF LONG-TERM DEVELOPMENT OF GLOBAL AND DOMESTIC ENERGY	55
<i>Кожуховский И.С., Николаев В.Г.</i>	
О РЕЗУЛЬТАТАХ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗРАБОТКИ БЕЗТОПЛИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ THE RESULTS AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT FUEL-FREE AUTONOMOUS POWER SUPPLY SOURCES OF NEW TYPE	61
<i>Сон Э.Е., Кудряшов Ю.И., Николаев В.Г., Николаев В.В.</i>	
ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КРЫМУ ГАЗОПОРШНЕВЫХ, ВЕТРОВЫХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ И СЖИЖЕННОГО ГАЗА OF THE EFFICIENCY OF COMPLEX USE GAS PISTON, WIND AND PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS FOR ENERGY AND LPG PRODUCTION IN CRIMEA	67
<i>Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В.</i>	
МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОВОГО АТЛАСА ВЕТРОВЫХ РЕСУРСОВ РОССИИ И СТРАН СНГ METHODICAL AND INFORMATION BASIS FOR THE NEW WIND RESOURCES ATLAS OF RUSSIA AND CIS COUNTRIES	72
<i>Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В.</i>	
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КРЕМНИЯ CONVERTERS OF SOLAR AND THERMAL ENERGY ON THE BASIS OF DOMESTIC SILICON	79
<i>Кадыров А.Л.</i>	
РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НУЖД ELABORATION OF TECHNOLOGIES FOR THE EFFICIENT EXTRACTING AND USING OF PETROTHERMAL ENERGY FOR ELECTRICAL POWER NEEDS	86
<i>Алхасова Д.А.</i>	
КОНЦЕНТРАТОРНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ МОДУЛИ С ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР CONCENTRATOR SOLAR MODULES OF HIGH EFFICIENCY IN WIDE TEMPERATURE DIAPASON	91
<i>Андреев В.М., Давидюк Н.Ю., Калиновский В.С., Садчиков Н.А., Чекалин А.В., Шварц М.З.</i>	
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ТОПЛИВО NEW METHODS FOR TREATMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND MICROALGAE INTO FUELS	97
<i>Власкин М.С.</i>	

---

АНАЛИЗ ПУТЕЙ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГО-, ТЕПЛО- И ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В МЬЯНМЕ	100
<i>Ко Аунг, Малинин Н.К., Шестопалова Т.А.</i>	
АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МИРА ANALYSIS OF THE WORLD RENEVABLE ENERGY DEVELOPMENT	105
<i>Безруких П.П., Безруких П.П. (мл)</i>	
ПРОЦЕССЫ ИНТЕГРАЦИИ ВИЭ В ЭНЕРГЕТИКУ СТРАН БАСЕЙНА СЕВЕРНОГО МОРЯ THE PROCESSES OF INTEGRATION OF RES IN POWER INDUSTRY COUNTRIES THE BASIN NORTH SEA	112
<i>Горлов А.А. (мл)</i>	
НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА РАЗВИТИЯ МОРСКИХ ВИЭ THE SCIENTIFIC AND EXPERIMENTAL INFRASTRUCTURE FOR DEVELOPMENT OF THE MARINE RES	118
<i>Горлов А.А.</i>	
ВЕТРО-СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ МОЩНОСТЕЙ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ ВИЭ В РОССИИ WIND-SOLAR-DIZEL COMPLEXES OF POWER SUPPLY OF LOW POWERS AS THE BASIS OF DEVELOPMENT OF RES IN RUSSIA	124
<i>Грибков С.В.</i>	
ГИБРИДНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МЕГАВАТТНОГО ДИАПАЗОНА HYBRID ELECTRICITY STORAGE OF MEGAWATT RANGE	129
<i>Деньщиков К.К., Жук А.З.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ КАК ОДНО ИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНЫХ РЕГИОНОВ THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A PRIORITY LINE FOR THE ENHANCEMENT OF SYSTEMS FOR ENERGY SUPPLY TO HARD-TO-ACCESS TERRITORIES IN EASTERN REGIONS	136
<i>Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф.</i>	
МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА, ПРОИЗВОДИМОГО ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ METAL HYDRIDE MATERIALS FOR SEPARATION AND STORAGE OF HYDROGEN, PRODUCED FROM RENEWABLES	143
<i>Казаков А.Н., Дуников Д.О., Блинов Д.В., Митрохин С.В.</i>	
РАЗРАБОТКА НОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В НИУ МЭИ И НПФ АЛЬТЭН	149
<i>Казанджан Б.И.</i>	
«СТАРЫЕ» ПРОБЛЕМЫ НОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ "OLD" PROBLEMS OF A NEW ENERGY ENGINEERING	156
<i>Кодкин В.Л., Ганджа С.А., Балденков А.А.</i>	

- 
- ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ И ОЧИСТКИ ВОДОРОДА В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОПОЛИМЕРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
METAL HYDRIDE TECHNOLOGIES FOR HYDROGEN STORAGE AND PURIFICATION IN PEM FC POWER UNITS 162  
*Блинов Д.В., Борзенко В.И., Дуников Д.О.*
- ЗДАНИЯ С НУЛЕВЫМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ - ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
BUILDINGS WITH ZERO ENERGY CONSUMPTION - ACHIEVED RESULTS AND PROSPECTS 169  
*Табунщиков Ю.А.*
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ТОРРЕФИКАЦИИ 171  
*Зайченко В.М., Кузьмина Ю.С., Ларина О.М.*
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ (СОЛНЦЕ И ВЕТРЕ) В УСЛОВИЯХ СИБИРСКОГО РЕГИОНА  
THE USE OF EQUIPMENT RENEWABLE ENERGY SOURCES (SUN AND WIND) IN THE CONDITIONS OF SIBERIAN REGION 177  
*Фомичев В.К., Церегородцева И.В.*
- ГИБРИДНЫЕ УСТАНОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИЭ В ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ  
HYBRID UNITS WITH THE USE OF RES THE POWER SUPPLY OF REMOTE CONSUMERS MURMANSK REGION 184  
*Кузнецов Н.М., Минин В.А.*
- СОЛНЕЧНЫЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕПЛА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ – ШАГ В БУДУЩЕЕ  
SOLAR HIGH-TEMPERATURE HEAT SOURCES OF NEW GENERATION –THE STEP TO FUTURE 190  
*Финогенов С., Коломенцев А.*
- ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД КАК ПРИМЕР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО КАТАЛИЗА  
THERMOCATALYTIC UTILIZATION OF SLUDGE OF PUBLIC PURIFICATION PLANTS AS EXAMPLE OF POWER-EFFICIENT CATALYSIS 199  
*Яковлев В.А., Дубинин Ю.В., Федоров А.В., Пармон В.Н.*
- ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ПОДДЕРЖКИ РОССИЙСКОЙ ВЕТРОИНДУСТРИИ  
PROPOSALS FOR THE LEGAL FRAMEWORK DEVELOPMENT TO SUPPORT RUSSIAN WIND INDUSTRY 205  
*Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И.*
- ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ  
ELECTROCATALYSTS FOR LOW TEMPERATURE FUEL CELLS: PROBLEMS AND SOLUTIONS 212  
*Гутерман В.*

---

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ, ВОЗМОЖНОСТИ И БАРЬЕРЫ	216
<i>Гзенгер Ш., Елистратов В.В., Денисов Р.С.</i>	
ПОТЕНЦИАЛ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КАК ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ) THE POTENTIAL LIVESTOCK COMPLEX AS A SOURCE OF ENERGY (FOR EXAMPLE OF THE BELGOROD REGION)	221
<i>Карнаушенко А.</i>	
РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ИННОВАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ВИЭ POWER ELECTRONICS INNOVATIVE DESIGNS FOR ENERGY SYSTEMS WITH RENEWABLE SOURCES	226
<i>Мелешин В.И.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФАСАДНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ PARAMETERS EVALUATION OF BUILDING-INTEGRATED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN URBAN DEVELOPMENT	229
<i>Петров В.М., Елистратов В.В.</i>	
ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВХОДА ПРЕДПРИЯТИЙ ВИЭ НА РОССИЙСКИЙ РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ LEGAL PROBLEMS OF ENTRANCE OF ENTERPRISES OF RENEWABLE ENERGY IN THE RUSSIAN ELECTRICITY MARKET	235
<i>Попова Е.Н.</i>	
ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И ПРИМЕРЫ ПРИМЕНИМОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ APPROACHES TO ASSESSMENT AND CASE STUDIES OF ENERGY STORAGE DEVICES APPLICABILITY FOR VARIOUS APPLICATIONS	243
<i>Тарасенко А.Б., Попель О.С.</i>	
МАКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РОЛИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ	250
<i>Сафонов Г.В.</i>	
ПАРИЖСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КЛИМАТУ 2015 – ПОВОРОТНЫЙ ПУНКТ В ИСТОРИИ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	252
<i>Клименко В.В.</i>	
ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ИМПОРТ ТРАДИЦИОННЫХ ТОПЛИВНЫХ РЕСУРСОВ	253
<i>Круглик Т.М.</i>	
СТРАТЕГИЯ РЕГРЕССИИ В ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ REGRESSION STRATEGY IN THE ORGANIZATION OF WORKS ON STANDARDIZATION IN RENEWABLE ENERGY OF RUSSIA	254
<i>Рустамов Н.А.</i>	
МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ	255
<i>Елистратов В.В.</i>	

---

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ ЗАСЫПКИ НА ЕЕ ВОДОРОДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА <i>Пыхтина А.И., Романов И.А.</i>	256
СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ: МИРОВОЙ ОПЫТ И РОССИЙСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ APPLICATION OF ENERGY STORAGE: INTERNATIONAL EXPERIENCE AND PERSPECTIVES IN RUSSIA <i>Рятин И.Ю.</i>	257
ANALYSIS OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM BASED ON SOLAR ENERGY WITH VARIOUS SYSTEMS OF ENERGY STORAGE <i>Schastlivtsev A., Mordynsky A.</i>	259
РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ REGIONAL LEVEL ANALYSIS OF GROSS RESOURCES FOR BIOENERGY INDUSTRY DEVELOPMENT. CASE STUDY: REPUBLIC OF CRIMEA <i>Каргашин П.Е., Андреев Т.Ю., Рафикова Ю.Ю., Новаковский Б.А., Прасолова А.И.</i>	260
КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ ПОПУТНЫХ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД СУХОКУМСКОЙ ГРУППЫ ГАЗОНЕФТЯНЫХ СКВАЖИН СЕВЕРНОГО ДАГЕСТАНА COMPLEX DEVELOPMENT OF HIGH SALT THERMAL ASSOCIATED WATER OF SUKHOKUMSK GAS-OIL WELLS GROUP IN THE NORTHERN DAGHESTAN <i>Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш.</i>	266
КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ГТУ С ВНУТРИЦИКЛОВЫМ СЖАТИЕМ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ GAS TURBINE CO-GENERATION UNIT WITH THE INTRACYCLIC COMPRESSION FOR THE SMART POWER GRIDS <i>Борисов Ю.А., Вендланд Л.Е., Косой А.А., Прибылов В.Г., Синкевич Е.М.</i>	272
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ LIST OF AUTHORS	273

## РУССКО-СЕРБСКИЕ ОТНОШЕНИЯ И СТРАТЕГИИ ВО ВЗГЛЯДЕ НА УСТОЙЧИВУЮ ЭНЕРГЕТИКУ RUSSISH-SERBIAN COOPERATION AND STRATEGIES IN CONNECT TO SUSTAINABLE ENERGETIC

Джукич М.П., 1; Джуканович Ж.С., 2

1: Технологическо-металлургический факультет, Университет в Белграде, Сербия

2: Высшая деловая школа по профессиональному обучению, Нови Сад, Сербия

Djukic M.P., 1; Djukanovic Z.S., 2

1: Faculty of technology and metallurgy, University of Belgrade, Serbia

2: Higher business school of professional education, Novi Sad, Serbia

Сегодня Россия и Сербия серьезно захвачены экономическим кризисом. Энергетика это одна из самых важных областей устойчивого развития и могла бы быть фактором преобладания кризиса. Будущее развитие устойчивой энергетики в Сербии должно основываться на большем использовании русского природного газа и на применению домашних возобновляемых источников энергии. Для тепловые назначения в Сербии, в большем количестве могла бы использоваться геотермальная энергия, вместе с биомассом и природным газом. Реструктуризация энергетики Сербии в целом, это задача с первичной целью увеличения энергоэффективности. Это подразумевает большее использование и переработку отходной энергии, затем технологические инновации в строительстве и в жилье, а также и лучшие решения в восстановлению внутреннего рынка энергии. Структурными изменениями в энергетике Сербии можно обеспечить около 20.000 прямых и около 100.000 не прямых новых рабочих мест. При этом наиболее рассчитывается на инвесторов из братской России.

**Ключевые слова и выражения:** реструктуризация энергетики, энергоэффективность, устойчивость энергетики, возобновляемая энергия.

**Key words and expressions:** restructuration of energetic, energy efficiency, sustainability of energetic, renewable energy.

### 1. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ: ЭНЕРГЕТИКА, СЕРБИЯ, РОССИЯ

После возлагания многих надежд в Южный поток (газопровод от России, ниже Чёрного моря, через Болгарию), Сербия возвращается повседневной жизни и стратегиями которые обусловлены неизвестным состоянием на глобальном рынке нефти и газа. Уголь является 99% её утверждёнными запасами минеральных ресурсов и по доли использования угля в энергетике, Сербия - вторая в мире. Это нехорошо и для сегодняшних эколого-энергетических возможностей, и для будущего экономического развития Сербии вообще.

Сербия расположена на территории Юго-восточной Европы. Это скудная область во взгляде доступных минеральных видов энергии. Если посмотрим на прежнее энергетическое сотрудничество Сербии и России, мы видим что дела очень разные. Сербия – энергетически дефицитная малая экономия в реформированию, а Россия, великая экономия, энергетически профицитная, с огромными природными потенциалами и важной геополитической ролью в мире. Сегодня Сербия из России ввозит две трети нефти и более чем 90% природного газа, что значит чтобы каждое большее потрясение на рынке нефти и газа было роковым для сербского общества и экономики. С 2008. года, Русская энергетическая компания Газпром, собственник большинства Нефтной индустрии Сербии, до тех пор пока участие государства снижено на около 30%. Но, использование нефти из скудных домашних запасов очень интенсивное, а оценки длительности залежей – более краткосрочные.

Простое увеличение экономической активности, без структурных изменений и мер энергоэффективности, обозначало бы увеличение потребления дорогих ввозных видов энергии и углубление трудностей платежного баланса. Согласно принятой Стратегии развития энергетики Сербии до 2025. года с ожиданиями до 2030, с увеличением на 3%



ВВП, совокупный запрос энергии до 2025. года не должен превысить 11 миллионов тэн (тонн эквивалентной нефти).

## 2. КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ, КОНКУРЕНЦИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГЕТИКИ

Конкурентоспособность энергетики зависит от „ёмкости промышленности внедрять инновации и подвигать“ производство и торговлю энергии так как: „компании заботятся о собственным преимуществам выступая как соперники против глобально самых лучших конкурентов, при разным давлениям и вызовам“. Этим получают пользы от мощных противников, и от требовательных домашних потребителей“. В области энергетики, конкуренция расширяется особенными учреждениями и политикой в интересе экономического и технологического развития нации, или секторов, а никак не одиночных участников на рынке. Европейский совет по энергосберегающим технологиям во всех материалах чётко передаёт сообщение что ключ для технологические изменения и прогресс конкуренции это свободная ввозная ориентация. [7]

Несколько десятилетий назад, началась либерализация энергетики мира. В связи с этим, в Европическом союзе подступилось к процессам связывания отдельных энергетических систем, особенно электроснабжения. „Пакеты“ либерализации содержат ряд особенных энергетических директив ЕС. „Третий пакет“ либерализации выступает с 2009. годом. [11] Им промотируется усиление новых регуляторов, в целом приспособленных для применения прав конкуренции в энергетике. [9] Европейская комиссия по защите конкуренции в Брюсселе, выпустилась в многочисленные и в разные расследования и началась предпринимать вовсе конкретные меры против рекстикций конкуренции.

*Объединение энергетических систем и открытие национальных рынков* обусловили и формирование рынка энергии Юго-восточной Европы. Договором об Энергетическом сообществе, подписанным в Афинах 2005. года, Сербия стала её членом с очень конкретными обязанностями в секторе энергетики в связи с структурой источников, экологическими стандартами, а больше всего с рынком энергии, что значит и повышение энергетической конкурентоспособности.

Энергоэффективность подразумевает энергетическую систему которая является экономически эффективной, социально справедливой и экологически пригодной. Самая большая часть концепта „зелёной“ или сегодня ещё более популярной „циркулярной“ экономии, содержится в проектах возобновляемой, более чистой и более еффикасной энергетики.

После запуска синтагмы „энергетическая трилемма“, с 2015. года, Мировой Энергетический совет оценивает национальные энергетические секторы с помощью *индекса энергетической трилеммы*. Стремление поставить энергетику на экономически стабильную и технологически мощную основу, является разделенным, иногда и противоречивым, но с ещё большей социальной доступности, причём состояние окружающей среды и природных ресурсов знатно улучшается. Сравнительные позиции энергетик России и Сербии даные в Табеле 1. Энергетические показатели Сербии с 2011. до 2015. года, с начала немного улучшились, а затем ухудшились, так что её сегодняшняя позиция это 116. место в мире. Очень плохо позиционированная и экономическая мощность энергетики (122. место). Во всяком случае, для 2015. год все тенденции в непрерывности, только одна - „политическая мощность“ в возрастанию, в то время как общая оценка – комбинация трёх самых плохих оценок (D) и только одной немного лучшей (C).

**Таблица 1.** Энергоэффективность – „энергетическая трилемма“Сербии и России – согласно оценкам Мирового энергетического совета 2015.

	<b>Россия</b>	<i>Тенденция</i>	<i>Оценка</i>	<b>Сербия</b>	<i>Тенденция</i>	<i>Оценка</i>
Энергетические показатели	43	→	B	116	→	D
Энергетическая безопасность	15	→	A	95	→	D
Социальная доступность	37	→	B	74	→	C
Экологическая эффективность	108	↑	D	126	→	D

Коллективный ранг энергетической трилеммы для России это 43. При этом энергетическая безопасность, вероятно, это краткосрочно самый важный фактор оценки эффективности энергетических потоков. России ввиду того принадлежит 15. а Сербии 95. место в мире. Социальную доступность (в случае России 37. а Сербии 74. место) не можем оценить как слишком плохую, сколько можем последнюю "экологическую эффективность". В связи с этим, Россия поставлена на 108. а Сербия даже на 126. место, что больше всего волнует и грозит эффективности сегодняшних энергетических потоков на долгий срок.

В частности, тепловая энергия (всех) классических минеральных топлив даёт России около 65% электрической энергии, пока в Сербии почти 70% электроэнергии производится сгоранием угля. Однако, пока остальную часть электрического тока Россия добывает почти одинаково из ядерной (16,4%) и из гидроэнергии (16,2%), Сербия около 28% электрического тока добывает из гидроэлектростанциях. В этом смысле электроэнергетика генерирует относительно высокое содержание загрязняющих субстанций и газов парникового эффекта (Россия 0,76 кг, а Сербия 0,64 кг CO<sub>2</sub> по производстве долларской единицы ВВП). (Табель 2)

**Таблица 2.** Сравнительные параметры энергоэффективности России и Сербии

	<b>Россия</b>	<b>Сербия</b>
Промышленный сектор / % ВВП	37,5	36,9
Нетто энерг. Экспортер	1,82	0,7
Интенсивность эмиссии (КГ CO <sub>2</sub> / \$)	0,76	0,64
ВВП на душу населения / ППС	17.383	13.380
Энерг интенсивность млн БТЕ / на душу населения	0,34	0,22
CO <sub>2</sub> метр. т. / на душу населения	11,51	6,35

### **3. ПОДСТРЕКАТЕЛЬСТВО ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ (ВИЭ)**

Согласно расследованию японских экономистов, которые сравнивали примеры развития энергетики соседних азиатских земель, возник вывод, что **для успешного применения солнечной и энергии ветра, неопходимые снажные государственные стимулы**. Только рыночное соперничество, выражено ценами ископаемых топлив и средней взвешенной ценой капитала, даёт как результат негативное влияние на конкурентоспособность.[13] Доказательство этого утверждения - очень скорое развитие применения возобновляемых источников энергии в **Китае**, где работают контролируемые государственные компании. Благодаря хорошим отношениям с Китаем,

у **России** есть шанс увеличить вывоз нефти и газа в земли Дальнего востока. Не только чтобы этим много раз возместились потери от экономических санкций атлантических земель, но и позволилось бы более сильное подстрекательство применения возобновляемых источников на своей территории, особенно биоэнергии. [1]

Однако, реализация стимулирующих выкупных цен (Feed-in tariffs) это важный поступок для ускорения применения ВИЭ. Поэтому мы будем здесь помянуть некоторые меры которые в этом смысле предпринимали Германия и Сербия. **Германия**, из-за очень быстрого роста применения ВИЭ на своей территории, должна была повысить участие в финальной цены электрической энергии которую заплачивают хозяйства с 2,1 евроцентов по киловатт-часу (€/кВт.ч) в 2010. году, на даже 6,2 €/кВт.ч в 2014. году. [3] Сравнения ради, в **Сербии**, денежная ценность возмещения для льготных производителей электрического тока из возобновляемых источников, на счёте для электрический ток месяца Июля, 2016. года, была 0,0775 €/кВт.ч, и это ровно *восемьдесят раз меньшая* денежная ценность от этой которую заплачивают хозяйства в Германии.

В Табеле 3 данны высоты стимулирующих выкупных цен для поставленный электрический ток из возобновляемых источников в Сербии, согласно новому закону о стимулирующим мерам для производства электрической энергии из возобновляемых источников, с Июля 2016. года. Право пользования стимулирующими выкупными ценами имеют льготные производители электрической энергии из возобновляемых источников в течении 12 лет. [12]

**Таблица 3:** Стимулирующие выкупные цены для производителей электрической энергии из возобновляемых источников в Сербии, (€/кВт.ч )

Тип электростанции	Установленная мощность (МВт)	Выкупная цена (€/кВт.ч)
Гидроэлектростанции	0,2 до 30	12,6 – 6,0
Электростанции на биомассе	< 1 до > 10	13,26 – 8,22
Электростанции на биогазе	< 0,2 до > 5	18,33 – 15,0
Электростанции на свалочном газе		8,44
Ветряные электростанции		9,2
Солнечные электростанции (на объекте)	< 0,03 до 0,5	14,6 – 12,4
Солнечные электростанции (на земле)		9,0
Геотермальные электростанции		8,2
Электростанции комбинированного цикла на природном газе	< 0,5 до 10	8,2 – 7,46
Электростанции на отходах		8,57

Кроме стимулирующих выкупных цен, применение ВИЭ в Сербии подстрекается софинансированием предпочтительных проектах со стороны международных организаций. В этом моменте, под покровительством ГЭФ и ПРООН строится шесть новых построений применения энергии биогаза, совокупной электрической мощности 6,3 МВт. Согласно сербском Плана действия для ВИЭ, до 2020. года должны построится новые производственные мощности для производства электрического тока из ВИ совокупной мощности 842 МВт. От этой стоимости, больше всего принадлежало бы энергии ветра (500 МВт), затем маленькими гидроэлектростанциями (188 МВт), энергии биомассы (130 МВт), энергии переработки отходов (13 МВт), солнечной энергии (10 МВт) и геотермальной энергии (1 МВт). [2] Осуществление этих идей, вместе с

организованным расширением комбинированного применения домашних возобновляемых источников и Русского природного газа в тепловые цели, привело бы к открыванию около 20.000 прямых и около 100.000 непрямых новых рабочих мест! Больше всего в области применения энергии биомассы и солнечной энергии. [4]

#### **4. РОССИЯ КАК СЕГОДНЯШНИЙ И БУДУЩИЙ ПАРТНЁР СЕРБИИ В ЭНЕРГЕТИКИ**

Сербия традиционно была экономически хорошо связана с Россией. Во время социалистической Югославии, Сербия по отношению к Советскому Союзу была торгово профицитная. Однако, после распада Югославии, а потом и СССР-а, Сербия из России постоянно ввозила нефть и газ, но в тяжелых обстоятельствах санкций ООН и бомбардировки НАТО недостаточно оказалась в состоянии предложить конкурентные продукты России.

Для энергетики есть особое место в отношениях России и Сербии, потому что Сербия энергетически дефицитарная, а домашняя энергия в основном обоснована на угле. Кроме того около 90% технических производственных мощности гидроэлектростанциях и теплоэлектростанциях в Сербии или Русского или Советского происхождения. Им предстоит серьёзная модернизация. Россия энергетически профицитная относительно к домашним потреблением, производит ещё 73% энергии ради вывоза. Это России приносит очень важные выручки а и стратегически хорошую позицию в глобальных отношениях великих сил. Однако, встаёт вопрос долгосрочной эффективности такой стратегии. Поэтому важно что обе страны много больше усилия вкладывают в усиление энергоэффективности, как и в участия возобновляемых источников в структуре использованной энергии. Тем уменьшится загрязнение среды обитания и усилится эффективность. [5]

Хорошим примером такого сотрудничества является деятельность сербской нефтяной компании НИС, после её принятия от Русской компании Газпром. Новый способ управления, введённый со стороны Русских экспертов, привёл не только к лучшей позиции НИС-а на рынке, но и к усилению энергоэффективности. Ради уменьшения технических потерях, НИС развила программу построения маленьких когенерационных электростанциях которые на нефтяными полями перерабатывают каптажный нефтяной газ в электрическую и в тепловую энергию. Этим увеличивают выручки от продажи с уменьшением загрязнения воздуха. До конца 2015. года построено 13 электростанциях, совокупной электрической мощности 11,5 МВт. [10]

Однако, снабжение Сербии природным газом из России совпадает в высоко рискованно, потому что у неё в распоряжении только трубопровод по Венгрии и Украины. Кроме того, из членства Сербии в Энергетическом сообществе Юго-восточной Европы, проистекают многие дополнительные обязанности. Между прочем чтобы до 2020. года увеличилось участие возобновляемых источников даже на 27%. Это очень честолюбивая задача которая не включается в инвестиционные возможности и в технологические потенциалы сегодняшней Сербии. Самый большой кусок реформ энергетики Сербии, на котором настаивает Европейская комиссия это „реструктурирование и фундаментальное преобразование государственных компаний“, между которыми особенно единственная государственная газовая компания Сербиягаз. [8]

Перед Сербией стоит серьёзная задача реорганизации Электрохозяйства и МУП теплоцентралях, которые в великим финансовым потерям из-за доставки энергии не могущей быть оплаченной, злоупотребления монопольной властью, плохого управления и социального наследия. Кроме того, катастрофические наводнения которые бросились на центральные Балканы в Мае 2014. года, особенно обрушились на угольные разрезы. Затопленной Сербии тогда много значила помощь братской России. Эта помощь в

будущем в гораздо большей степени должна была бы относиться на совместные энергетические проекты в направлении эффективности и возобновляемости.

### Список литературы

1. Андреевко, Т.И., Киселева, С.В., Шакун, В.П. (2015): *Ресурсы биоэнергетики регионов России*, REENCON-2015, 27-28 октября, Москва, стр. 51-57
2. Баџац, М. (2013): *Анализа преузимања обавеза према Енергетској заједници у области обновљивих извора енергије*, «Енергија, Економија, Екологија», лист Савеза енергетичара, Београд, бр. 1-2/2013, стр. 12
3. Dietmar, E. (2014): *Economic impacts of Renewable Energy expansion in Germany*, Grand Renewable Energy 2014, Proceedings, Tokyo, Japan, 0-Рo-3-6
4. Djukanovic, S., Djukic, P. (2014): *The Spreading of Solar Cells Application in Serbia*, Grand Renewable Energy 2014, Proceedings, Tokyo, Japan, P-Рo-11
5. Букановић, С. (2012): *Сунчева енергија у Србији и Русија*, Сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-практической конференции, „Научные и технические средства обеспечения энергосбережения и энергоэффективности экономики РФ“, Политехнический Университет, Санкт-Петербург, Россия, с. 82-85
6. Букић, М.П., Букановић, С. (2015): *Одрживи развој – економско еколошки изазови*, Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду
7. European Council for an Energy Efficient Economy (2013), *European competitiveness and energy efficiency: Focusing on the real issue A discussion paper (ecee) with support from Energifonden*. 21 May 2013.
8. European Union, Directive 2009/73/EC concerning common rules for the internal market in natural gas and repealing, 13 July 2009, Интернет страница: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0073:en:NOT>
9. Global competitiveness Report 2014-15, 2015-2016, Интернет страница: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2015-2016/>
10. Извештај о одрживом развоју НИС, с. 65-68, Интернет страница: [www.nis.eu/wp-content/uploads/2014/01/nis\\_ios\\_2015.pdf](http://www.nis.eu/wp-content/uploads/2014/01/nis_ios_2015.pdf) (приступ: 14. август, 2016.)
11. Scholz, U., Purps, S. (2010) *The Application of EC*, Journal of Competition Law in the Energy Sector, European Competition Law and Practice, 2010, Vol. 1, No. 1
12. Уредба о подстицајним мерама за производњу електричне енергије из обновљивих извора, Влада Србије, јул, 2016. Интернет страница: [www.mre.gov.rs](http://www.mre.gov.rs) (приступ: 10. август 2016.)
13. Yamaguchi, K., Jiwei, Z. (2014): *The impact of Financial cost on a long term perspective of the RE electricity policy in Asean region*, Grand Renewable Energy 2014, Proceedings, Tokyo, Japan, 0-Рo-3-6

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ  
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ВОСТОЧНОЙ ГАЗОВОЙ ПРОГРАММЫ  
ПАО «ГАЗПРОМ»  
RENEWABLE ENERGY SOURCES USE FOR ENERGY SUPPLY FOR THE  
FACILITIES OF THE EASTERN GAS PROGRAM OF PJSC «GAZPROM»**

**Бессель В.В., Мингалеева Р.Д., Кильянов Г.М.**

ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина», Москва, Российская Федерация

**Bessel Valery, Mingaleeva Renata, Kilyanov Grigory**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)», Moscow, Russia

*vbessel@nt-serv.com*

Keywords: stand-alone energy installations of small-to-medium capacity range, renewable energy sources, energy supply, wind energy, solar energy

Ключевые слова: автономные энергетические установки малой и средней мощности, возобновляемые источники энергии, энергообеспечение, энергия ветра, солнечная энергия.

Изменения в области геологоразведочных работ и технологий добычи нетрадиционных углеводородных ресурсов привели к тому, что американский континент становится энергонезависимым. Это приведет к резкому обострению конкурентной борьбы среди ведущих производителей углеводородов за рынки Европы и Азии. Анализ рынков углеводородного сырья США и Европы за последние 10 лет показал, что для них характерны устойчивые тенденции к снижению импортных поставок. Поэтому реализация Восточной газовой программы (ВГП) и масштабного экспорта нефти по системе ВСТО в страны Азии – наиболее перспективный вариант развития экспортного потенциала для российского углеводородного сырья на многие десятилетия вперед [1].

В мае 2014 г. между Россией и Китаем был подписан 30-летний контракт на поставку в Китайскую Народную Республику более чем 1 трлн м<sup>3</sup> природного газа. В рамках реализации Восточной газовой программы предусматривается создание промышленной инфраструктуры для добычи газа в четырех центрах газодобычи: Красноярском, Иркутском, Якутском и Сахалинском, текущие запасы природного газа которых по категориям С1 и С2 оцениваются в 6,6 трлн м<sup>3</sup>. В регионе открыты два месторождения, уникальные по размерам запасов – Ковыктинское газоконденсатное месторождение (2 трлн м<sup>3</sup>) и Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ) (1,24 трлн м<sup>3</sup>). Эти месторождения, а также Юрубчено-Тохомское НГКМ (0,7 трлн м<sup>3</sup>), Собинско-Пайгинское НГКМ (0,17 трлн м<sup>3</sup>), Талаканское НГКМ (0,05 трлн м<sup>3</sup>), ресурсная база проектов «Сахалин I, II» и перспективные участки шельфа Сахалина являются базовыми месторождениями, ввод которых в разработку определит стратегию освоения недр Восточной Сибири и Дальнего Востока [2].

Большая часть объектов ВГП будет создана в юго-восточных областях России с наличием крупных ГЭС и ТЭС, привязанных к естественным речным системам или к месторождениям каменного угля. Однако большинство территорий размещения объектов ВГП имеют либо неразвитую энергетическую инфраструктуру, либо не имеют ее вообще.

Создание протяженной энергетической инфраструктуры на огромной по площади территории с очень сложным рельефом местности, а также с большими зонами многолетней мерзлоты – задача технически сверхсложная, которая к тому же потребует огромных финансовых вложений. В связи с этим, а также учитывая то, что энергетическое оборудование используется на всех стадиях производственного цикла и



во многом определяет эффективность и надежность их функционирования, практический интерес вызывает вопрос автономного энергообеспечения объектов добычи, переработки и транспорта газа, а также всех сопутствующих инфраструктурных объектов, таких как вахтовые поселки, промышленные площадки и зоны, объекты транспортной инфраструктуры и пр.

Концепция применения автономных энергетических установок малой мощности в непосредственной близости к потребителю имеет ряд очевидных преимуществ [3]:

- позволяет избежать значительных затрат на строительство дорогостоящих генерирующих мощностей, использующих для выработки электроэнергии органическое топливо, гидро- или атомную энергию, а также протяженных магистральных сетей электроснабжения;
- минимизирует затраты финансовых и материальных ресурсов на выполнение технических условий на подключение к сетям централизованного электроснабжения;
- существенно уменьшает потери от передачи энергии на большие расстояния;
- увеличивает надежность энергообеспечения объектов за счет возможностей многократного резервирования автономных энергетических установок в непосредственной близости от потребителей энергии.

В силу того, что Россия – самая большая страна в мире, 70 % территории которой расположены в северных и арктических регионах, мы «обречены» потреблять огромное количество энергии для создания комфортных условий для проживания населения, причем эффективность энергопотребления у нас очень мала: не более 22–25 % энергии уходит на воспроизводство ВВП, все остальное – на поддержание протяженной инфраструктуры в рабочем состоянии, а также на тепловые и энергетические потери [4].

С другой стороны, огромная территория дает России неопределимые конкурентные преимущества перед всеми другими странами мира с точки зрения потенциала возобновляемой энергии, так как последняя является энергией распределенной и, по определению, чем больше территория, на которой мы эту энергию собираемся использовать, тем выше ее потенциал. Технический потенциал солнечной энергии России можно оценить более чем в 2,56 млрд ГВт·ч/год, что эквивалентно ежегодному потреблению почти 220 млрд т н. э. [5], и, в свою очередь, более чем в 17 раз превышает уровень мирового энергопотребления [6]. Технический потенциал ветроэнергетики только в сухопутной зоне России оценивается почти в 70 млн ГВт·ч/год, что эквивалентно ежегодному потреблению более 6 млрд т н. э. [5] (около 50 % мирового энергопотребления в 2014 г. [6]). К тому же в рамках реализации проекта ВГП береговые линии Приморского края и о. Сахалин представляются очень перспективными для использования ветроэнергетических установок. При среднегодовой скорости ветра в прибрежных зонах около 12 м/с технический потенциал ветровой энергии береговой линии Приморского края можно оценить в пределах от 20 до 30 тыс. ГВт·ч/год, а о. Сахалин – от 46 до 67 тыс. ГВт·ч/год [7].

Многие объекты ВГП располагаются на территориях, перспективных для практического применения возобновляемой энергетики, в том числе с использованием солнца и ветра. При этом технический потенциал солнечной энергии региона, где будут размещены объекты ВГП, и где уровень инсоляции составляет 4–5 кВт·ч/м<sup>2</sup> в сутки (что сопоставимо с уровнем инсоляции в таких странах, как Италия и Испания), сопоставим с использованием 20–25 млрд т н. э. в год, а технический потенциал ветровой энергии с учетом береговых линий Приморского края и о. Сахалин – 1,5–2,0 млрд т н. э. [5]. При этом территории, предполагаемые для строительства объектов ВГП, слабо или почти не заселены, цена земли там невысока.

Под мегапроект – Восточную газовую программу – необходимо создавать фактически новую энергетическую инфраструктуру, что потребует огромных инвестиций. В этом плане целесообразно рассмотреть возможность использования

энергоустановок на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для частичного решения проблемы энергообеспечения объектов ВГП.

В рамках исследований было проведено экономико-математическое моделирование показателей инвестиционной привлекательности проекта создания автономной комбинированной энергетической установки (АКЭУ) мощностью 100 кВт с использованием возобновляемых источников, таких как солнечная и ветровая энергии.

Для воссоздания реальных природных условий в различных областях реализации проекта ВГП моделирование проводилось с различными вариантами распределения мощностей между солнечными фотоэлектрическими панелями и горизонтально-осевыми ветроэнергетическими установками в АКЭУ. Так, на юге Красноярского края, Иркутской обл. и Якутии, где уровень инсоляции достигает  $5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в сутки, а среднегодовая скорость ветра не превышает 5–6 м/с, наиболее перспективным является использование солнечной энергии, а в Приморском крае и на о. Сахалин, где среднегодовая скорость ветра в прибрежной зоне не ниже 12 м/с, предпочтительным является использование энергии ветра.

В 2015 г. средневзвешенные инвестиции в установку 1 кВт генерирующей мощности с использованием солнечных фотоэлектрических панелей составили от 1050 долл. в Китае до 3000 долл. в странах, входящих в состав Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), а с использованием ветроэнергетических установок на суше – от 1100 долл. в Китае до 1900 долл. в странах ОЭСР [8]. Но так как проект ВГП предусматривает инвестиции со стороны китайских партнеров, а также учитывает их опыт реализации энергетических проектов с использованием возобновляемых источников энергии в схожих природно-климатических условиях и при существующих политических реалиях, естественно предположить самое широкое партнерство в реализации проекта именно с Китайской Народной Республикой. В связи с этим при моделировании уровень инвестиций в установку 1 кВт генерирующих мощностей принимался схожим с тем, что существует в Китае, но с поправками в большую сторону из-за отсутствия инфраструктуры в регионах реализации проекта ВГП, т.е. с использованием солнечных фотоэлектрических панелей – 2000 долл/кВт, а с использованием горизонтально-осевых ветроэнергетических установок на суше – 1200 долл/кВт. При моделировании рассматривался случай строительства АКЭУ в районе с неразвитой энергетической инфраструктурой или при ее отсутствии, в расчетах стоимость электроэнергии принималась равной 15 руб/кВт·ч. Так как проект ВГП реализуется в регионах, где продолжительность солнечного сияния составляет 2000 ч в год и выше [9], коэффициент загрузки солнечных фотоэлектрических панелей в расчетах принимался не выше 25 %. Учитывая, что три-четыре месяца в году в ряде регионов расположения объектов ВГП среднесуточная температура опускается до  $-40\dots-50 \text{ }^\circ\text{C}$ , коэффициент загрузки горизонтально-осевых ветроэнергетических установок составляет не более 50 % [10]. Исходные данные для моделирования приведены ниже.

Результаты моделирования в виде суммы первоначальных инвестиций с учетом логистики проекта (CAPEX), чистого дисконтированного денежного дохода (NPV), дисконтированного срока окупаемости (DPP) проекта в зависимости от доли энергии солнечных фотоэлектрических панелей в АКЭУ приведены на рис. 1.

Таблица. Исходные данные для моделирования проекта создания АКЭУ с использованием солнечных фотоэлектрических панелей и горизонтально-осевых ветроэнергетических установок

Наименование	Величина
Установленная мощность АКЭУ, кВт	100
Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·ч	15
Коэффициент загрузки солнечных фотоэлектрических панелей в АКЭУ, %	25
Коэффициент загрузки горизонтально-осевых ветроэнергетических установок в АКЭУ, %	50
Стоимость 1 кВт установленной мощности солнечных фотоэлектрических панелей, USD/кВт	2000
Стоимость 1 кВт установленной мощности горизонтально-осевых ветроэнергетических установок, USD/кВт	1200
Доля логистики проекта в зависимости от объема инвестиций, %	20
Доля ежегодных эксплуатационно-технических расходов на обслуживание АКЭУ от объема инвестиций, %	10
Ежегодный рост эксплуатационно-технических расходов, %	3
Ставка дисконтирования, %	15
Ежегодный рост тарифов на электроэнергию, %	5
Налог на прибыль, %	20
Курс рубля к USD	70

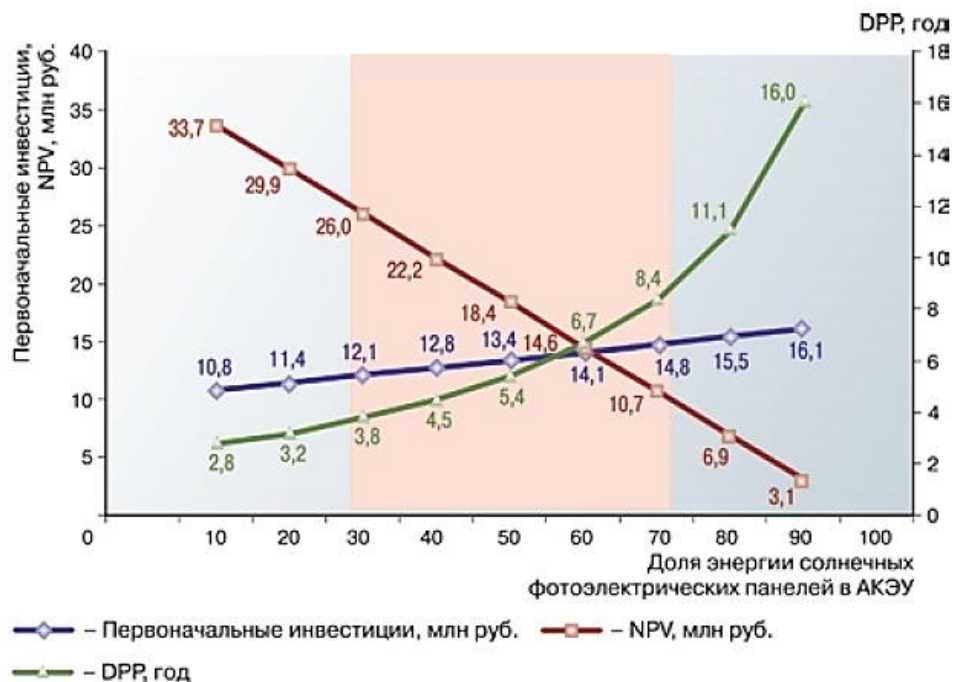


Рис. 1. Зависимость показателей инвестиционной привлекательности проекта создания АКЭУ от доли энергии солнечных фотоэлектрических панелей и горизонтально-осевых ветроэнергетических установок в АКЭУ

Очевидно, что чем больше доля значительно более дешевой ветроэнергетики в проекте создания АКЭУ, тем меньше требуемые первоначальные инвестиции. Однако это не всегда технически реализуемо, так как применение ветроэнергетики лимитируется

среднегодовой скоростью ветра в регионе строительства АКЭУ. Как следует из графиков на рис. 1, в пределах диапазонов распределения различных видов применяемой энергии (относительно дорогая солнечная фотоэлектрическая энергия – от 30 до 70 % , что отмечено рамкой) первоначальные инвестиции в проект планируются в пределах от 12,1 до 14,8 млн руб., однако чистый дисконтированный денежный доход при этом будет колебаться от 26 до 10,7 млн руб., а дисконтированный период окупаемости – от 3,8 до 8,4 лет, что показывает высокую инвестиционную привлекательность проекта.

Результаты исследования показателей NPV и DPP в зависимости от стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой АКЭУ, при условии равного распределения установленных мощностей солнечной фотоэлектрической и ветровой энергии в АКЭУ, приведены на рис. 2. При этом стоимость электроэнергии выбрана в диапазоне от 10 до 20 руб/кВт·ч. Расчетами подтверждается, что чем дороже стоимость электроэнергии в регионе, тем эффективнее проект использования АКЭУ на возобновляемых источниках энергии.

Также было проведено исследование влияния ставки дисконтирования на показатели инвестиционной привлекательности проекта. При этом стоимость электроэнергии принималась 15 руб/кВт·ч, распределение установленных мощностей солнечной фотоэлектрической и ветровой энергии в АКЭУ остается равным. Результаты исследования представлены на рис. 3.

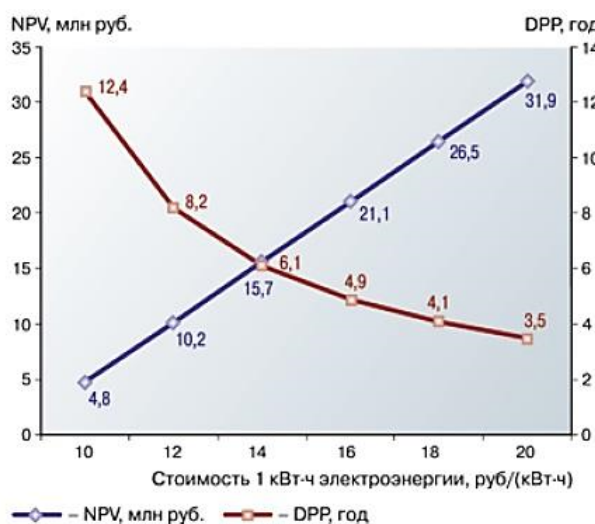


Рис. 2. Зависимость показателей инвестиционной привлекательности проекта создания АКЭУ от стоимости 1 кВт·ч вырабатываемой энергии

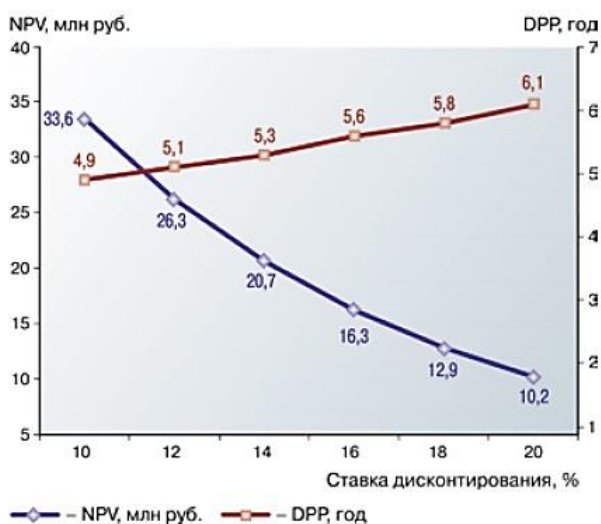


Рис. 3. Зависимость показателей инвестиционной привлекательности проекта создания АКЭУ от ставки дисконтирования

Как показывают результаты расчета, даже при весьма непривлекательной для практической реализации крупных энергетических проектов ставке дисконтирования 20 % проект может представлять интерес для инвесторов.

Принятие решения о целесообразности использования АКЭУ для каждого рассматриваемого объекта или группы объектов и подбор оборудования АКЭУ должны осуществляться на конкурсной основе в зависимости от состава и мощности потребителей, их категоричности, требований к качеству и надежности электроснабжения, их соответствия условиям эксплуатации на объектах ПАО «Газпром» и Федеральным нормам промышленной безопасности, а также с учетом результатов климатического мониторинга, ветромониторинга и мониторинга солнечной активности

в предполагаемом районе размещения установки. При этом для обеспечения качества электрической энергии и устойчивости системы необходимо решить комплекс проблем, связанных с неравномерностью выработки и поступления возобновляемой энергии от энергоустановок на базе ВИЭ, обеспечением надежности и качества энергоснабжения, в том числе за счет использования накопителей электрической энергии (аккумуляторных батарей и др.), преобразователей энергии, создания системы технического и диагностического обслуживания оборудования, а в ряде случаев – за счет совместной работы с традиционными энергетическими установками.

Следует отметить, что при проведении исследований авторы не ставили перед собой целью предложить концепцию полного замещения традиционной энергетики возобновляемой энергетикой для энергообеспечения объектов нефтегазового комплекса: на сегодняшний момент это просто нереально. Речь идет исключительно об энергосбережении за счет экономии, в том числе, товарного газа и постепенного его замещения возобновляемой энергией солнца и ветра, потенциал которых в регионах реализации ВГП огромен.

Реализация концепции энергообеспечения с использованием возобновляемых источников энергии могла бы стать локомотивом развития инновационной науки и высокотехнологического производства, а также подготовки кадров высшей квалификации в новых областях науки и техники в активно развивающихся регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока России.

#### Список литературы

1. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Лопатин А.С., Мартынов В.Г. Динамика российского экспорта углеводородного сырья и перспективы его развития // Газовая промышленность. – 2015. – №11. – С. 10–14.
2. Совет директоров рассмотрел вопрос об освоении месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока. – [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <http://www.gazprom.ru/press/news/2003/november/article54640/>.
3. Бессель В.В., Лопатин А.С., Мингалеева Р.Д., Топилин А.В. Использование автономных энергоустановок малой и средней мощности на возобновляемых источниках энергии для энергообеспечения объектов Восточной газовой программы ПАО «Газпром» // Нефть, газ и бизнес. – 2015. – № 11. – С. 44–48.
4. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Лопатин А.С., Мартынов В.Г. Энергоэффективность топливно-энергетического комплекса России // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2015. – № 2. – С. 13–26.
5. Мингалеева Р.Д., Зайцев В.С., Бессель В.В. Оценка технического потенциала ветровой и солнечной энергетики России // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2014. – № 3. – С. 82–90.
6. BP Statistical Review of World Energy, June 2015. – [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <http://www.bp.com/statisticalreview>.
7. Мингалеева Р.Д., Бессель В.В. Методика оценки суммарной мощности ветроэлектростанции // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2014. – № 9. – С. 82–86.
8. Renewable Energy. Medium-Term Market Report. IEA (International Energy Agency), 2014. – [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MTRMR2014.pdf>
9. Попель О.С., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г. и др. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. – М.: Изд-во МФТИ, 2010. – С. 83
10. Wind Energy Projects in Cold Climate (Edition 2011). Submitted to the Executive Committee of the International Energy Agency Programme for Research, Development and Deployment on Wind Energy Conversion Systems, 2012. – [Электронный ресурс.] – Режим доступа: [http://ieawind.org/index\\_page\\_postings/June%20%20posts/task%2019%20cold\\_climate\\_%20rp\\_approved05.12.pdf](http://ieawind.org/index_page_postings/June%20%20posts/task%2019%20cold_climate_%20rp_approved05.12.pdf)

## МНОГОСЛОЙНЫЕ ГИБРИДНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ И СОПРЯЖЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ MULTI-HYBRID SOLAR CELLS BASED ON CRYSTALLINE SILICON AND CONJUGATED POLYMERS

Кобрянский В.М.

ФИАН РАН, Москва, Россия

Kobryanskii V.M.

FIAN RAS, Moscow, Russia

Multi-hybrid solar cells based on crystalline silicon and conjugated polymers with low content of defects were developed and studied for the first time. The results obtained suggest that in the near future this type of solar cells will allow increase the solar cells efficiency for 5 - 10% without any noticeable increase of their cost. In this article construction of multi-hybrid solar cells contain one layer of inorganic semiconductor and one or two layers conjugated polymers with very low content of defects. In optical spectra of such polymers there is no long wave tails and absorption bands alternate with transparency windows. It is shown for the first time that doping of such conjugated polymers by nonoxidizing protonic acids leads to disappearance of absorption bands in visual region and appearance of absorption band in near infrared region. In the two-layer solar cell, the polymer layer may be disposed on the surface or back side of silicon plate. In the three-layer solar cell, the first polymer layer may be disposed on the surface of the silicon plate and the second polymer layer on the reverse side. The top polymer layer is protected by the glass with ITO.

### Введение

Солнечные батареи занимают всё более важное место в ряду в ряду наиболее перспективных возобновляемых источников энергии. В настоящее время коэффициент фотоэлектрического преобразования для промышленных и бытовых солнечных батарей из монокристаллического кремния составляет 24,6%, а для многослойных солнечных батарей типа GaInP/GaAs/Ge – 35 – 40%. Себестоимость их производства достаточно быстро и неуклонно снижается, а эффективность постоянно увеличивается.

Однако ряд нерешенных фундаментальных научных проблем не позволяет солнечным батареям стать полноценными конкурентами для замены существующих тепловых, ядерных и гидроэлектростанций на земле, а солнечные батареи, создаваемые для космических аппаратов, остаются недостаточно эффективными и для широкого освоения ближнего и дальнего космического пространства.

Постараемся сформулировать новый подход для создания высокоэффективных (КПД > 60%) солнечных батарей. Идеальный материал для солнечных батарей должен иметь характеристики, которые позволяет поглощать и трансформировать в подвижные заряды большую часть солнечного спектра. Но спектр солнечного излучения (Рис. 1) простирается от ультрафиолетовой до инфракрасной области. А величина запрещенной зоны в высококачественных (например, монокристаллических) полупроводниках почти не зависит от длины волны. В результате, **в случае однослойных солнечных батарей** мы: 1) или используем широко зонный полупроводник и теряем всю энергию квантов солнечного спектра, энергия которых ниже запрещенной зоны полупроводника, 2) или используем узко зонный полупроводник и теряем часть энергии квантов солнечного излучения поглощенных уровнями расположенными выше ширины запрещенной зоны. Расчеты показывают, что КПД однослойных солнечных батарей у поверхности земли не может быть выше 28%. Т.е. 24,6% для монокристаллического кремния это почти предел. В космических аппаратах используют трехслойные солнечные батареи на основе арсенида галлия. Их эффективность достигает 40% при значительно большей стоимости.

Анализ показывает, что для создания солнечных батарей со значительно более высоким КПД необходима многослойная солнечная батарея, состоящая из слоев материалов, зависимость огибающей запрещенной зоны которых от длины волны, при



последовательном поглощении квантов более низкой энергии более глубокими слоями приближается к спектру солнечного излучения. (Рисунок 1).

В 2013 году учёные из Военно-морской исследовательской лаборатории (США) и Имперского колледжа Лондона (Великобритания) предложили конструкцию многослойной солнечной батареи (Рисунок 2). (**Публикация на сайте лаборатории <http://www.nrl.navy.mil>.**) В этой конструкции каждый из слоёв настроен на свой достаточно узкий диапазон длин волн приближая огибающий спектр поглощения солнечной батареи к спектру солнечного излучения. Это позволяет максимально эффективно использовать энергию солнечного излучения, исключая миграцию энергии возбуждения от слоев поглощающих высокую энергию солнечного излучения к слоям, поглощающим более низкоэнергетическую часть спектра.

Для реализации этой идеи необходимо создать многослойную структуру, в которой фотоны, которые не преобразуются в электричество верхним слоем, могли бы попасть в нижележащие слои. Согласно расчетам авторов при создании многослойных структур, каждый слой которых сочетает высокую эффективность преобразования в рабочей области с окном прозрачности в остальной области солнечного спектра, максимальный теоретический КПД многослойной схемы может достигнуть 87%. Однако создать приведенную на Рисунке 2 структуру, состоящую из 10 слоёв неорганических полупроводников с упорядоченными полосами поглощения и окнами прозрачности в заданных областях спектра очень трудная задача.

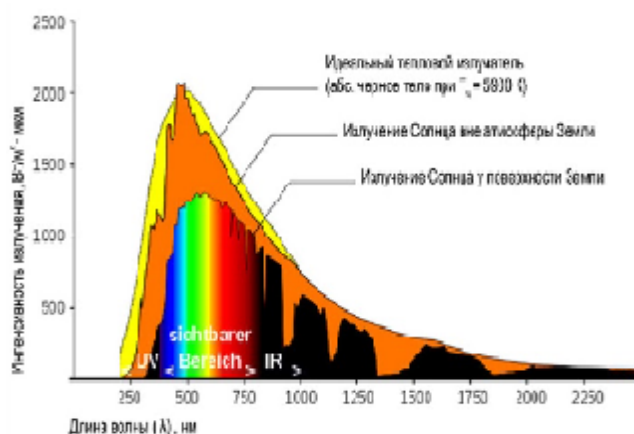


Рис.1 Спектр солнечного излучения.

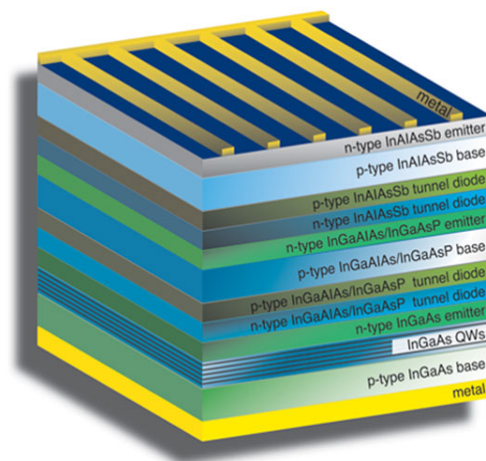


Рис.2 Конструкция многослойной солнечной батареи.

Практическая реализация идеи, когда каждый слой предлагаемого фотоэлемента поглощает только часть солнечного спектра и не мешает поглощению других участков спектра другими слоями, требует создания целого ряда несуществующих сегодня полупроводников с узкими полосами поглощения в рабочей для каждого материала области спектра и наличием окна прозрачности в не рабочей. Эта задача гораздо легче реализуется при создании гибридных - (неорганические полупроводники – органические полупроводники) солнечных батарей.

### Экспериментальная часть

В настоящей работе описанная выше идея впервые использована для создания гибридных двухслойных и трехслойных солнечных батарей на основе комбинации слоёв неорганических полупроводников и органических сопряженных полимеров с низким содержанием дефектов. Теоретические оценки показывают, что с использованием полупроводников на основе GaAs можно создать трехслойные солнечные батареи с

эффективностью до 45%. Дальнейшее увеличение КПД гибридных солнечных батарей требует увеличения слоёв и создания новых бездефектных материалов.

В работе обсуждается создание двухслойных гибридных солнечных батарей на основе аморфного или поликристаллического кремния, на которые нанесен один полимерный слой. Показана работоспособность такой конструкции. Расчетные оценки показывают, что эффективность преобразования солнечной энергии должна быть на 5 - 6% выше в сравнении с батареями из поликристаллического кремния, фактически достигнув эффективности батарей из монокристаллического кремния.

При переходе к трехслойной конструкции содержащей два полимерных слоя эффективность преобразования солнечной энергии может стать еще выше. По расчетным оценкам, для структуры, содержащей монокристаллический кремний, - 35 – 38%. Необходимо отметить, что для правильной оценки эффективности двухслойной и трехслойной конструкции необходимы длительные испытания на измерительном комплексе, с экстраполяцией влияния на эффективность многих параметров (расположение слоев, температура, влажность, солнечный спектр, и т.д.). В настоящее время проверена только кратковременная работоспособность двухслойной конструкции.

#### **Полимерные материалы для гибридных солнечных батарей.**

1. Разработан ряд пленкообразующих сопряженных полимеров с низким содержанием дефектов и окнами прозрачности, положением которых можно управлять: 1. Глобулярный полиацетилен; 2. Нанополиацетилен; 3. Полинеофен.
2. Разработаны методы получения пленок выше названных материалов.
3. Разработаны методы допирования пленок выше названных полимеров.
4. Изучены оптические свойства выше названных материалов в ультрафиолетовой, видимой, ближней ИК и ИК областях.
5. Исследована стабильность вышеназванных материалов в разных условиях.
6. Для нанополиацетилена проведен целый ряд дополнительных оптоэлектронных измерений, которые необходимы для совершенствования и повышения КПД гибридных солнечных батарей.

#### **Допирование сопряженных полимеров с низким содержанием дефектов протонными кислотами не окислителями. Оптические свойства.**

Процесс допирования стандартных сопряженных полимеров протонными кислотами исследован во многих работах. Показано, что механизм взаимодействия зависит от типа кислоты. Все кислоты могут быть разделены на две группы. Первая группа кислоты, анионы которых являются сильными окислителями. Они допируют сопряженные полимеры по классической схеме кислот Льюиса. Вторая группа объединяет протонные кислоты «не окислители». Они окислят только металлы находящиеся в ряду напряжений до водорода. Взаимодействие этих кислот с стандартными «дефектными» сопряженными полимерами приводит только к цис-транс изомеризации и незначительному изменению оптических свойств [1,2].

Нами впервые показано, что сопряженные полимеры с очень низким содержанием дефектов, например нанополиацетилен, активно взаимодействуют с протонными кислотами «не окислителями» например соляной или трифторуксусной кислотами. До сих пор мы не нашли доказательств того что это взаимодействие является окислительно-восстановительной реакцией. Скорее это процесс образования комплексов, который сопровождается исключительно сильными изменениями в оптических спектрах сопряженных полимеров. На рисунках 3 и 4 приведены спектры поглощения исходных - тонкой (5 мк) и толстой (500 мк) пленок нанополиацетилена. На

рисунках 5 и 6 приведены спектры поглощения пленок нанополиацетилена после взаимодействия с разбавленным водным раствором содержащим соляную и трифторуксусную кислоты.

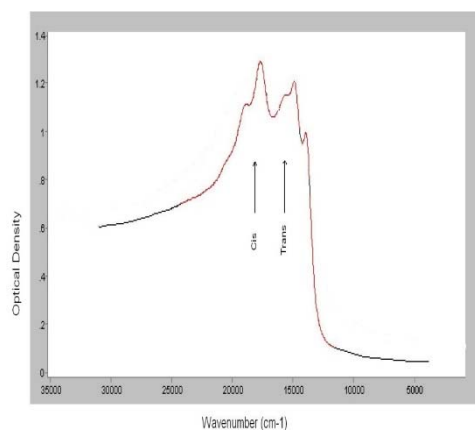


Рис.3 Спектр поглощения исходной пленки нанополиацетилена толщиной (5мкм) в УФ и видимой области.

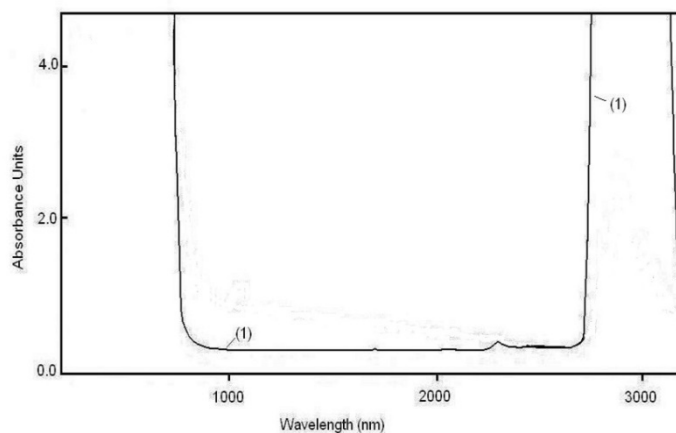


Рис.4 Спектр поглощения исходной пленки нанополиацетилена толщиной (500 мкм) в ближней ИК области.

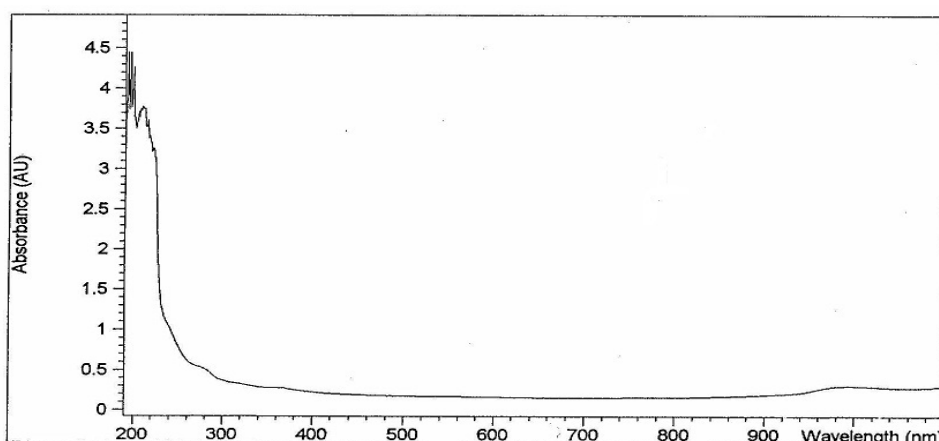


Рис.5 Спектр поглощения пленки нанополиацетилена толщиной 50 мкм в видимой области после обработки трифторуксусной кислотой.

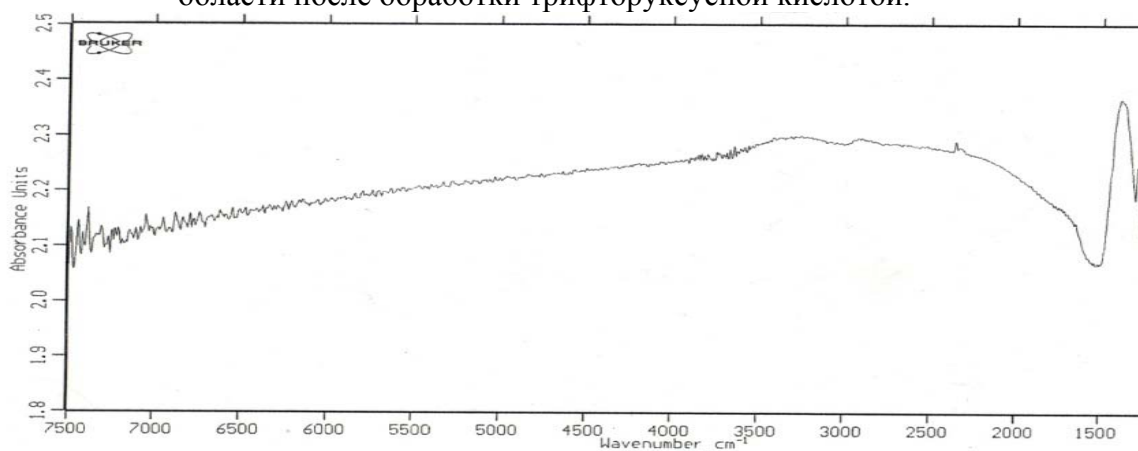


Рис.6 Спектр поглощения пленки нанополиацетилена толщиной 100 мкм в ближней ИК и ИК области после обработки трифторуксусной кислотой.

Из рисунков 3 - 6 видно, что взаимодействие нанополиацетилена с трифторуксусной кислотой сопровождается образованием окна прозрачности в видимой области и широкой полосы поглощения в ближней ИК области. Показано, что положение окна прозрачности и полосы поглощения зависит от условий и глубины допирования. Показана возможность регулировать область перехода от пропускания к поглощению.

#### **Заключение**

По нашей информации это первая открытая работа, описывающая требования к полимерным материалам для создания высокоэффективных гибридных (органика – неорганика) солнечных батарей.

#### **Литература**

1. V.V.Kobryanskii, L.Terlemezyan, M. Mikhaylov, Высокомолекулярные соединения, А, 1993, Т 35, № 12, С. 1959.
2. R.J. Mammone, A.G.MacDiarmid, Synt. Met. 1984. V.9. № 2. P. 143.

**ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СТРАНАХ АФРИКИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО  
РАЗВИТИЯ И СНИЖЕНИЯ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ  
EXPERIENCE AND PROSPECTS OF RENEWABLE ENERGY IN AFRICA FOR  
SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS**

**Нефедова Л.В.**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Россия, Москва

**Nefedova L.V.**

Lomonosov Moscow State University, Russia; Moscow,

*nefludmila@mail.ru*

Keywords: renewable energy sources, Sub-Saharan Africa countries, decentralized energy supply, PV batteries, windfarms, geothermal energy, technology transfer.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, страны Субсахарской Африки, децентрализованное энергоснабжение, фотоэлектрические системы, ветроэлектростанции. геотермальная энергия, трансфер технологий.

Страны Африки южнее Сахары являются одним из проблемных регионов в плане крайне низкого доступа населения к электричеству, неразвитости инфраструктуры и электросетей, а также широкого использования сжигания биомассы для приготовления пищи и обогрева, приводящего к сведению лесов. По данным Программы ООН по окружающей среде (UNEP) в Африке около 600 миллионов сельского населения не имеет доступа к сетевой электроэнергии, из которых 99,6% сосредоточено в Субсахарском регионе. Доступ к источникам электроэнергии в странах региона варьируется от 3% в Бурунди до 100% на Маврикий. В 30 странах рассматриваемый показатель составляет от 11 до 39%, а в 10 странах – менее 10% [1]. Согласно оценкам Международного Энергетического агентства для достижения полного подключения всего населения в регионе к электроэнергии необходимо 756 млрд долл. США, то есть ежегодные инвестиции в сумме 36 млрд долл. США в период 2010-2030 г. [2]. Если не будут приняты меры по изменению структуры потребления энергоисточников, то рост численности населения в регионе приведет к тому, что потребление энергетического сырья из биомассы, в особенности древесного топлива, вырастет на 40% к 2040 г., что приведет к значительному сокращению лесных массивов. Вопросам энергетики в связи с проблемой изменения климата и борьбы с бедностью уделяется большое внимание международным сообществом в рамках ООН. Главной «разделительной чертой» уровня 2<sup>0</sup>С является вода – недостаток пресной воды и вызываемые им проблемы с сельским хозяйством и экосистемами. Географическое рассмотрение данного эффекта говорит, что в зону дефицита воды могут попасть не только Африка, Америка и Австралия, но и широкая полоса от Португалии и Марокко до западных границ Китая. Создан ряд международных структур и фондов, обеспечивающих поддержку развития современных энергетических технологий, в том числе и возобновляемой энергетики, как при создании крупных энергообъектов на ВИЭ (преимущественно для освоения геотермальных и ветроэнергетических ресурсов), так для развития как распределенной энергетики с использованием гелиоресурсов. Значительный вклад был внесен в результате проведения ряда программ последние 15 лет: оценки гелио- и ветроэнергоресурсов (SWERA) с составлением открытых баз данных гелиоресурсов и энергии ветра, Всемирным банком с 2009г. проводится программа AFREA финансирования проектов по установке автономных источников света и многие другие. Важным рычагом освоения ВИЭ в странах Африки является с 2011г. инициатива ООН «Устойчивая энергетика для всех» (SE4ALL). Центром проведения в жизнь инициативы «Устойчивая энергетика для

всех» является Африканский банк развития (**AfDB**) совместно с Комиссией Афросоюза и Агентством нового партнерства для развития Африки (**NEPAD**) путем создания фонда «Устойчивая энергия для Африки» (**SEFA**). Еще в 2008 г. на специальной международной конференции, проходившей в Дакаре, были приняты Декларация и План действий по расширению освоения возобновляемых источников энергии на Африканском континенте. Среди главных задач - необходимость роста инвестиций в эту сферу со стороны международных организаций, иностранных партнеров, частных инвесторов. Под эгидой **UNEP** разработана и постепенно претворяется в жизнь программа кредитования альтернативной энергетики в странах Африки. В 2012г. по Программе Содействия Управлению Энергетическим Сектором (**ESMAP**) Всемирного Банка начат проект «Глобального Плана развития геотермальной энергетики в странах Великого Африканского разлома» общей суммой финансирования 500 млн. долл. США на 25 проектов крупномасштабного разведочного бурения более 100 скважин [3]. По оценкам экспертов, инвестиции в эту сферу экономики континента за 7 лет возросли в 4,8 раза - с \$750 млн в 2004 г. до \$3,6 млрд в 2011 г., в то время как в мире в 6,3 раза, соответственно, с \$33 млрд до \$211 млрд. [4]. На IV Ассамблее, созванной Международным агентством по возобновляемой энергии (**IRENA**) в Абу-Даби в январе 2014г., министры энергетики из 19-ти африканских стран приняли решение по созданию в Африке «Коридора чистой энергии» стран Восточного и Южного энергетических бассейнов африканского континента, что будет стимулировать развертывание деятельности по использованию возобновляемых источников энергии и поможет удовлетворить растущий спрос на энергию в странах восточной Африки южнее Сахары, снизить использование биомассы для приготовления пищи и соответственно - сведение лесов. Данная инициатива ориентирована на расширение международной финансовой и технической поддержки процесса освоения ВИЭ, а также трансфера технологий, что особенно важно для экономического развития стран региона. Ожидается, что «Африканский коридор чистой энергии» обеспечит континент возможностью перехода в устойчивое энергетическое будущее, интенсификацию экономического развития стран Африки южнее Сахара благодаря активизации в энергетическом секторе на базе использования ВИЭ [5]. На особый уровень выйдет решение проблем бестопливного развития энергетики в Африке после принятия Парижского соглашения в декабре 2015г. о выделении мировым сообществом фонда в 100 млрд долл США на освоение ВИЭ в развивающихся странах и ежегодном распределении этих средств с 2020г. В результате Соглашений в Париже была образована Африканская Инициатива по возобновляемой энергетике (**AREI**), которая и будет координировать процесс освоения ВИЭ на континенте, как одну из основных проблем современности, вследствие особой уязвимости региона к последствиям изменения климата

В настоящее время суммарная установленная мощность электростанций в странах Африки Южнее Сахары (без ЮАР) составляет около 80 ГВт. Большинство стран региона для преодоления дефицита электроэнергии и увеличения доступа населения к электроснабжению планируют рост в 3-5 раз установленной мощности электростанций и выработки электроэнергии к 2030г. Например, Ангола к 2025 году собирается увеличить объём ежегодно производимой электроэнергии с 1800 до 9000 МВт. Очевидно, что такие масштабы наращивания электрогенерирующих мощностей с использованием углеродного топлива будут иметь колоссальные экологические и климатические последствия. Альтернативой является расширение освоения ВИЭ в странах Субсахарского региона Африки.

В странах Африки южнее Сахары, имеющих преимущественно высокий потенциал гелиоресурсов (кроме стран экваториального пояса), проведенные рядом исследователей оценки сопоставления стоимости электрификации поселений в сельской местности Африки при отсутствии инфраструктуры сетей ЛЭП и с учетом экологических



последствий использования дизель-генераторов и стоимости дизельного топлива, показали зависимость целесообразности использования фотоэлектрических систем от расстояния до ЛЭП и транспортных путей. Наиболее экономически эффективным является создание локальных мини систем с PV установками в нескольких населенных пунктах или агрообъектах [6,7]. Программы размещения фотоэлектрических установок проводятся преимущественно в сельской местности при международной финансовой поддержке и техническом оснащении европейскими фирмами. Мощности установок составляют преимущественно 10-50 кВт, для снабжения изолированных потребителей (школы, медпункты, теплицы). В регионе работает Фонд развития торговли углеродными активами в Африке (АКАД) – это государственно-частное партнерство, организованное по инициативе Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде и ее центра «Рисе». АКАД, основанный в 2009 году совместно со «Стэндрд бэнк», служит платформой для стимулирования инвестиций, предоставляет начальное финансирование и проводит консультации для «зеленых» предпринимателей по вопросам получения углеродных кредитов и инвестирования средств в низкоуглеродные инициативы.

АКАД оказал содействие в осуществлении более 15 проектов в разных странах Африки, что позволит в течение 20 лет сократить выбросы CO<sup>2</sup> на 5 млн. тонн. К примерам успешной деятельности АКАД относятся: крупнейший проект ВЭС Туркана (Кения) в странах Африки, расположенных к югу от Сахары; первая в Руанде программа по продаже осветительных приборов, заменяющих керосиновые лампы; программа по энергосберегающему производству шамотного кирпича в Южной Африке; и проект производства «зеленого» древесного угля из биомассы отходов, разработанный местными предпринимателями в Мали. Также в Мали для предотвращения прямого использования биомассы для приготовления пищи, сопровождающееся значительным ухудшением экологической ситуации было установлено в сельской местности 500 печей, работающих на солнечной энергии, в рамках экспериментального проекта поддержки местной ассоциации «Назаха» по охране здоровья и окружающей среды. Данный проект, на осуществление которого выделено около 50 тыс. долл. США по линии Программы малых грантов Глобального экологического фонда и Программы развития Организации Объединенных Наций, нацелен на укрепление потенциала местных сообществ, расширение прав и возможностей женщин и сокращение масштабов нищеты, а также внедрение новых устойчивых и экологически чистых технологий. В ряде стран Африки уже начаты разработки крупные гелиопроекты: Джибути - СЭС 200 МВт, Танзания – СЭС 45 МВт, а также инициатива «Миллион солнечных домов», Нигерия – СЭС 50 МВт, стоимость 100 млн долл США, Замбия – две СЭС по 50 МВт, Намибия – СЭС 5 МВт, проекты распределенной солнечной энергетики в Бенине, Зимбабве и других странах.

С 2013 г. в Кении выработка электроэнергии также возросла с 1765 МВт до 2400 МВт, более 50% из них приходится на возобновляемые энергоисточники. Благодаря финансированию США в объеме в 350 млн долл в рамках инициативы Барака Обамы «Энергия Африке» в стране удвоилось число граждан, имеющих доступ к электроэнергии, с 13 млн до 25 млн, введено в строй подключение к электричеству более чем в 22 тыс. школ, около 4000 из этих школ подключаются через автономный солнечных фотоэлектрических панелей. Правительство Кении при поддержке кредита от французского правительства в 33 млн евро планирует создание 23 солнечных мини-сетей на солнечных фотоэлектрических системах, суммарной мощностью 9,6 МВт для обеспечения электричеством отдаленных районов на севере страны.

Значительное развитие в Кении получила и геотермальная энергетика. При содействии иностранных компаний выявлено более 14 перспективных участков для создания ГеоЭС, суммарная мощность которых по прогнозным оценкам составляет

около 10 тыс. МВт. Кения является лидером среди африканских стран по использованию геотермальных ресурсов с суммарной мощностью ГеоЭС - 596 МВт (Рис.1).

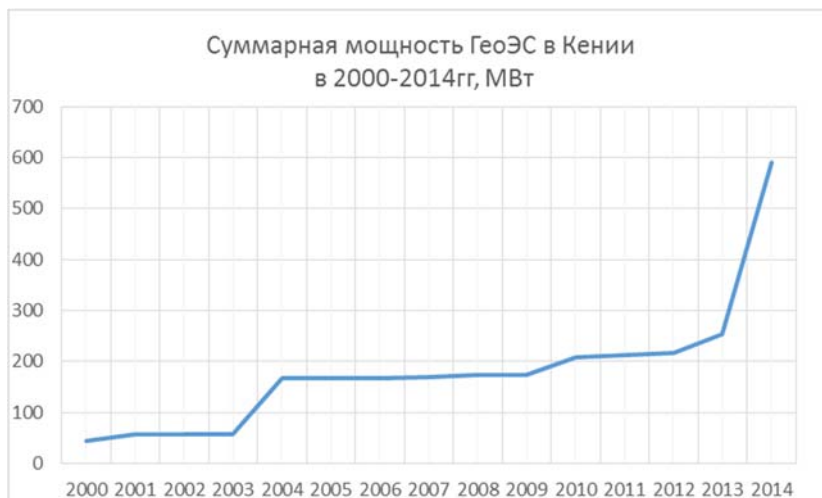


Рис.1. Увеличение мощности ГеоЭС в Кении в 2000-2014гг.

Государственная электрогенерирующая компания Кении (KenGen) активно привлекает как международное финансирование в рамках углеродных фондов, так и частные иностранные инвестиции. В таблице приведены данные о предотвращении эмиссии углекислого газа за счет использования ВИЭ, как альтернативы угольным ТЭС по проектам возобновляемой энергетики с иностранным участием в Кении. По государственному плану развития страны до 2030г. «Взгляд в будущее (Kenya vision)» в стране запланировано бурение 566 новых скважин на трех геотермальных полях (Olkaria, Menengai and Silali) общей стоимостью 2,6 млрд долл США. Это позволит довести установленную мощность ГеоЭС страны до 2330 МВт к 2030г.

Африканские страны проявляют интерес к сотрудничеству и трансферу технологий с российскими партнерами. Так, летом 2015 года на Уральском турбинном заводе (холдинг РОТЕК) побывала делегация представителей энергетических компаний и органов власти из африканских стран: Кении, ЮАР, Руанды и Танзании. Основной темой визита стало обсуждение возможности поставок уральских турбин для строительства объектов генерации в странах Африки, а также выполнения эскизно-технического проекта геотермальной турбины мощностью 70 МВт для Кении.

## ВЫВОДЫ

Для стран Африки южнее Сахары вопрос обеспечения надежного и экологически чистого доступа населения к электроснабжению стоит крайне остро. Использование дизельных генераторов не всегда эффективно, поскольку горение жидкого топлива оказывает негативное воздействие на окружающую среду, установки зависят от надёжности поставок горючего в особенности принимая во внимание такие факторы, как несовершенство транспортной инфраструктуры и риск кражи топлива. Растут потребности в электроэнергии и в промышленности развивающихся стран в весьма крупных масштабах. Строительство новых крупных угольных ТЭС в требуемых объемах приведет к серьезным экологическим и климатическим последствиям.

Таблица. Проекты использования ВИЭ с иностранным участием в Кении и оценка их экологического эффекта

Проекты	Инвестор/Девелопер	Компания собственник	Расчетное ежегодное предотвращение (снижение) эмиссии CO <sup>2</sup> (тыс. т CO <sup>2</sup> )
Проект БиоЭС Мумиас Когенерация на багассе	Углеродное финансирование Японии	Mumias Sugar Company	125,591
Sondu Miriu Hydro Power Project	Углеродный фонд Дании (Всемирный банк)	KenGen	211,068
Olkaria II Geothermal Expansion Project	Общественный фонд развития (Всемирный банк)	KenGen	149,632
Conversion of the Kipevu Open Cycle Gas Turbine to Combined Cycle Operation	Углеродный фонд развития (Всемирный банк)	KenGen	44,808
Переоснащение ГЭС Тана	Углеродный фонд развития (Всемирный банк)	KenGen	25,680
Модернизация ГЭС Kiambere	Углеродный фонд развития (Всемирный банк)	KenGen	38,758
Проект БиоЭС Мухорони Когенерация на багассе (Всемирный банк)	Pioneer Carbon (Англия)	Muhoroni Sugar Company	16,758
ГеоЭС Olkaria I Блоки 4 и 5 (140MW)	Всемирный банк	KenGen	
ГеоЭС Olkaria III Фаза 2	Компания «OrPower4»	KenGen	177,60
ГеоЭС Olkaria IV (140MW)	Всемирный банк	KenGen	
ВЭС Ngong Действующая (5.1MW)	KenGen	KenGen	
ВЭС Ngong II (20MW)	KenGen	KenGen	
ВЭС Озеро Turkana 300 MW	Фонд развития Африки, Япония, Испания	LTWP	736,615
МГЭС Sang'oro (21MW)	KenGen	KenGen	
Проект сохранения лесов Aberdare Range-Горы Малая Кения	Канада, Италия, Люксембург		24,778

Составлено по [8].

Мировое сообщество, международные экологические, климатические и финансовые организации разрабатывают и проводят в жизнь программы поддержки использования возобновляемых источников энергии в странах Субсахарской Африки. Инициатива ООН «Устойчивая энергетика для всех» (SE4ALL) имеет целью привлечь внимание международной общественности к проблеме энергетической обеспеченности и повысить осознание необходимости принятия комплекса мер для её решения. В настоящее время все более широко признаётся значимость автономных решений, в том числе домашних

солнечных электростанций и кооперативных мини-сетей в Африке, работающих от возобновляемых источников энергии, преимущественно на базе фотоэлектрических установок. При международной финансовой поддержке, в том числе и углеродных фондов, разрабатываются крупные проекты по сооружению ГеоЭС и ВЭС в странах Африки, что обеспечивает устойчивое развитие в регионе без наращивания эмиссии парниковых газов.

### Список литературы

1. Renewables 2016.Global status report// REN21/ UNEP, Paris: REN21 Secretariat, 2016, 272 pp.
2. World Energy Outlook Special Report. A FOCUS ON ENERGY PROSPECTS IN SUB-SAHARAN AFRICA /International Energy Agency - IEA, France. Paris, 2014, 8 pp.
3. Adinet Pierre “Global Geothermal Development Plan” //ESMAP – World Bank Knowledge Exchange Forum with Bilateral Agencies AFD, Nov. 27-28 2012– Paris, pp.19.
4. Africa: Renewable Energy Rising Rapidly//Africa Focus Bulletin. 14.07.2011 – <http://www.africafocus.org/docs11/ren1107.php>
5. Renewable energy zones for the Africa clean energy corridor. 15Multi-criteria analysis for planning renewable Energy/ The International Renewable Energy Agency and Lawrence Berkeley National Laboratory – IRENA, October 2015, 96 pp.
6. Renewable energies in Africa- current knowledge. Scientific and technical Report // The European Commission Joint Research Center, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011 -60 pp.
7. Rose A et al. Prospects for grid-connected solar PV in Kenya: A systems approach. Appl Energy (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.07.052>
8. DRAFT - NATIONAL ENERGY AND PETROLEUM POLICY/Ministry of Energy and Petroleum/ Republic of Kenya, Nairobi, 2015

## ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ GEOTHERMAL ENERGY. THE PROBLEMS OF DEVELOPMENT

**Свалова В.Б.**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия

**Svalova V.B.**

Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Moscow, Russia

*inter@geoenv.ru*

Keywords: geothermal energy, geothermal resources, direct use.

Abstract. The problems and perspectives of geothermal energy use in Russia and in the world are investigated. Russia has huge geothermal resources, but they are not utilized enough. It is necessary to use international experience and examples of success.

Быстрый рост энергопотребления, ограниченность и удорожание ресурсов невозобновляемого топлива, обострение экологических проблем заставляют мировую экономику широко использовать альтернативные источники энергии. Геотермальные ресурсы являются важнейшим источником развития энергетики, редкометальной и химической промышленности, санаторно-бальнеологического и агропромышленного комплексов. Россия обладает огромными запасами гидрогеотермальных, т.е. аккумулированных в подземных водах, и петротермальных, аккумулированных в горных породах, ресурсов. В то же время в России они используются далеко недостаточно [1-14]. Прошедший в Австралии в апреле 2015 г. Всемирный Геотермальный Конгресс подвел некоторые итоги развития геотермальной энергетики в мире.

Наиболее ярких успехов в развитии геотермальной энергетики Россия достигла на Камчатке. Общая мощность энергообъектов на Камчатке, включая Мутновскую (50 МВт), Верхне-Мутновскую (12 МВт) и Паужетскую ГеоЭС (14,5 МВт в 2014), оценивается в 76,5 МВт. Это составляет 25 % потребности региона в электроэнергии, что позволяет даже в случае прекращения поставок мазута на полуостров решить стратегическую задачу обеспечения электроэнергией жилого сектора и жизненно важных объектов. На Курилах работают две ГеоЭС – мощностью 1,8 МВт (Менделеевская на о. Кунашир) и 3,6 МВт (Океанская на о. Итуруп). Таким образом, общая мощность ГеоЭС России составляет 81,9 МВт.

Интересно сравнить производство электроэнергии из геотермальных источников по странам (Таб.1) [8].

Наиболее перспективными регионами для практического использования геотермальных ресурсов на территории России являются Северный Кавказ, Западная Сибирь, Прибайкалье, Курило-Камчатский регион, Приморье, Охотско-Чукотский вулканический пояс. Практически повсеместно внутреннее тепло Земли может осваиваться с помощью тепловых насосов.

Использованием и усовершенствованием тепловых насосов для утилизации геотермальных ресурсов занимается целый ряд организаций. Пионерами использования тепловых насосов в России явились НПО «Недра» в Ярославле и Группа Компаний «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» в Москве. На тепловых насосах работают экспериментальная школа в деревне Филиппово Ярославской области, демонстрационный комплекс «Экопарк-Фили», энергоэффективный жилой дом в Москве на улице Академика Анохина, 62, административное здание «Гиперкуб» - первое здание иннограда "Сколково".

Таблица 1. Производство электроэнергии из геотермальных источников в мире.

Страна	1990, МВт	1995, МВт	2000, МВт	2005, МВт	2010, МВт	2015, МВт
Аргентина	0,67	0,67	0	0	0	0
Австралия	0	0,17	0,17	0,2	0,1	1,1
Австрия	0	0	0	1	1,4	1,2
Китай	19,2	28,78	29,17	28	24	27
Коста Рика	0	55	142,5	163	166	207
Сальвадор	95	105	161	151	204	204
Эфиопия	0	0	8,52	7	7,3	7,3
Франция	4,2	4,2	4,2	15	16	16
Германия	0	0	0	0,2	6,6	27
Гватемала	0	33,4	33,4	33	52	52
Исландия	44,6	50	170	322	575	665
Индонезия	144,75	309,75	589,5	797	1197	1340
Италия	545	631,7	785	790	843	916
Япония	214,6	413,71	546,9	535	536	519
Кения	45	45	45	127	202	594
Мексика	700	753	755	953	958	1017
Новая Зеландия	283,2	286	437	435	762	1005
Никарагуа	35	70	70	77	88	159
Папуа Новая Гвинея	0	0	0	39	56	50
Филиппины	891	1227	1909	1931	1904	1670
Португалия	3	5	16	16	29	29
Россия	11	11	23	73	82	82
Тайвань	0	0	0	0	0	0,1
Тайланд	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Турция	20,6	20,4	20,4	20,4	91	397
США	2774,6	2816,7	2228	2544	3098	3450
<b>ВСЕГО</b>	<b>5831,72</b>	<b>6833,38</b>	<b>7974,06</b>	<b>9058,1</b>	<b>10897</b>	<b>12635</b>

Оно выполнено в виде куба с ребром, равным 30 м, имеет семь этажей и площадь, равную 6 тыс. кв. метров. Проектирование «Гиперкуба» основано на принципах энергоэффективности, использовании возможностей окружающей среды, эргономики и снижения стоимости эксплуатационных расходов. Здание снабжено солнечными батареями, расположенными на его южном фасаде, они используются для освещения коридоров, лестниц и т.д. Для управления климатическими условиями внутри здания применяется вода, которая поступает из артезианских скважин и круглый год имеет постоянную температуру около 5 °С. При построении трехмерной модели «Гиперкуба» использовалась российская технология Vizerra, позволяющая создавать интерактивные 3D-модели различных объектов. Первыми резидентами «Гиперкуба» стали около двух десятков компаний, в том числе Cisco, IBM и Siemens.

Строение разработано по международным стандартам LEED (Leadership in Energy & Environmental Design Standards) - это рейтинговая система сертификации проектов и зданий исходя из уровня их энергоэффективности, экологической чистоты и экоустойчивости, разработанная Американским Советом по Зеленым Зданиям – United States Green Building Council.

Для повышения рейтинга LEED в Гиперкубе была применена схема на базе теплового насоса Stibel Eltron WPF 66 G. В качестве источника низкопотенциального тепла используется буферная емкость объемом 1500л, которая подключена к тринадцати геотермальным зондам. Глубина каждого зонда составляет 80м. Такая схема в совокупности с пластинчатыми теплообменниками и трехходовыми клапанами позволяет тепловому насосу одновременно работать на охлаждение и на выработку тепла.

Автоматика ТНУ полностью интегрирована в систему «умного дома» Гиперкуба и управляется компьютером оператора службы эксплуатации. Программное обеспечение дает всю информацию о физических состояниях теплоносителей в различных гидравлических контурах и сама принимает решение о включении исполнительных механизмов запорной арматуры, двигателей циркуляционных насосов и компрессора теплового насоса.

Особенно широко тепловые насосы используются в коттеджном строительстве. Использование тепловых насосов в России имеет очень большие перспективы и резервы здесь огромны.

Источником низкопотенциальной тепловой энергии могут служить грунт поверхностных слоев Земли, водоёмы и природные водные потоки, окружающий воздух, вентиляционные выбросы зданий и сооружений, канализационные стоки, сбросное тепло технологических процессов.

Импульсом к интенсивному развитию тепловых насосов в мире послужил энергетический кризис 1973 года. За 3 года рынок тепловых насосов в США достиг уровня 300 000 установок в год.

Наибольшее распространение эти системы получили в США, Канаде, Японии, Исландии, Австрии, Германии, Швеции, Швейцарии.

Темпы роста производства тепловых насосов ежегодно увеличиваются на 30-40%. Так в Японии уже установлено более 10 млн тепловых насосов, в США ежегодно производится 1 млн установок. В Швеции получают от теплонасосов более 50% тепла. Мировым лидером по величине использования низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли на душу населения является Швейцария.

В России производится около 1000 тепловых насосов в год, что, конечно, совершенно недостаточно. Даже необходимость экономии в отоплении, слабая газификация страны, огромные территории и потребность в энергоснабжении отдаленных регионов не приводят к столь необходимой интенсификации отрасли.

Сочетание тепловых насосов с другими источниками возобновляемых энергоресурсов – солнца, ветра, биотоплива – открывает широкие перспективы энергонезависимого автономного экологичного жилищного строительства.

Для сравнения приведем данные по прямому использованию геотермальных ресурсов в мире [9] (Таб. 2, 3).

Таблица 2. Прямое использование геотермальной энергии в мире

Страна	1995	1995	2000	2000	2015	2015
	Мощность МВт	Энергия ТДж/г	Мощность МВт	Энергия ТДж/г	Мощность МВт	Энергия ТДж/г
Албания					16,23	107,59
Алжир	100	1657	100	1586	54,64	1699,65
Аргентина			25,7	449	163,60	1000,03
Армения			1	15	1,50	22,50
Австралия			34,4	351	16,09	194,36
Австрия	21,1	200	255,3	1609	903,40	6538
Беларусь					4,73	113,53

Бельгия	3,9	101,6	3,9	107	206,08	864,40
Босния и Герцеговина					23,92	252,33
Бразилия					360,10	6622,40
Болгария	133,1	778,5	107,2	1637	93,11	1224,42
Канада	1,68	47	377,6	1023	1466,78	11615
Карибские острова			0,1	1	0,1	2,78
Чили			0,4	7	19,91	186,12
Китай	1915	16981	2282	37908	17870	17435
Колумбия			13,3	266	18	289,88
Коста Рика					1	21
Хорватия			113,9	555	79,94	684,49
Чехия			12,5	128	304,50	1790
Дания	3,5	45	7,4	75	353	3755
Эквадор					5,16	102,40
Египет			1	15	6,80	88
Сальвадор					3,36	56
Эстония					63	356
Эфиопия					2,20	41,60
Финляндия			80,5	484	1560	18000
Франция	599	7350	326	4895	2346,90	15867
Грузия	245	7685	250	6307	73,42	695,16
Германия	32	303	397	1568	2848,60	19531,30
Греция	22,6	135	57,1	385	221,88	1326,45
Гренландия					1	21
Гватемала	2,64	83	4,2	117	2,31	56,46
Гондурас			0,7	17	1,93	45
Венгрия	340	5861	472,7	4086	905,58	10268,06
Исландия	1443	21158	1469	20170	2040	26717
Индия			80	2517	986	4302
Индонезия			2,3	43	2,30	42,60
Иран					81,50	1103,12
Ирландия					265,54	1240,54
Израиль	44,2	1196	63,3	1713	82,40	2193
Италия	307	3629	325,8	3774	1014	8682
Япония	319	6942	1167	26933	2186,17	26130,08
Иордания			153,3	1540	153,30	1540
Кения			1,3	10	22,40	182,62
Корея (Юж.)			35,8	753	835,60	2682,65
Латвия					1,63	31,81
Литва			21	599	94,60	712,90
Македония	69,5	509,6	81,2	510	48,68	601,11
Мадагаскар					2,81	75,59
Мексика			164,2	3919	155,82	4171
Монголия					20,16	340,46
Марокко					5	50
Непал			1,1	22	3,32	81,11
Нидерланды			10,8	57	790	6426
Новая Зеландия	264	6614	307,9	7081	487,45	8621
Норвегия			6	32	1300	8260
Пакистан					0,54	2,46



Папуа Новая Гвинея					0,10	1
Перу			2,4	49	3	61
Филиппины			1	25	3,30	39,58
Польша	63	740	68,5	275	488,84	2742,60
Португалия			5,5	35	35,20	478,20
Румыния	137	2753	152,4	2871	245,13	1905,32
Россия	210	2422	308,2	6144	308,20	6143,50
Саудовская Аравия					44	152,89
Сербия					115,64	1802,48
Словакия	99,7	1808	132,3	2118	149,40	2469,60
Словения	37	761	42	705	152,75	37
Южная Африка					2,30	37
Испания					64,13	344,85
Швеция	47	960	377	4128	5600	51920
Швейцария	110	3470	547,3	2386	1733,08	11836,80
Таджикистан					2,93	55,40
Тайланд			0,7	15	128,51	1181,20
Тунис			23,1	201	43,80	364
Турция	140	1987	820	15756	2886,30	45126
Украина					10,90	118,80
Великобритания			2,9	21	283,76	1906,50
США	1874	13890	3766	20302	17415,91	75862,20
Венесуэла			0,7	14	0,70	14
Вьетнам					31,20	92,33
Йемен			1	15	1	15
Югославия	80	2375	80	2375		
<b>ВСЕГО</b>	<b>8604</b>	<b>112441</b>	<b>15145</b>	<b>190699</b>	<b>70358,98</b>	<b>587786.43</b>

Таблица 3. Суммарное прямое использование геотермальной энергии в мире по различным категориям (Мощность, МВт)

	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>
<b>Тепловые насосы</b>	1854	5275	15384	33134	49898
<b>Обогрев жилья</b>	2579	3263	4366	5394	7556
<b>Теплицы</b>	1085	1246	1404	1544	1830
<b>Бассейны</b>	1097	605	616	653	695
<b>С.-х. сушка</b>	67	74	157	125	161
<b>Индустриальное использование</b>	544	474	484	533	610
<b>Душевые</b>	1085	3957	5401	6700	9140
<b>Охлаждение/снеготаяние</b>	115	114	371	368	360
<b>Другое</b>	238	137	86	42	79
<b>Всего</b>	<b>8664</b>	<b>15145</b>	<b>28269</b>	<b>48493</b>	<b>70329</b>

В октябре 2014 года прошел двухдневный саммит глав стран Евросоюза, в ходе которого была принята стратегия по климату и энергетике до 2030 года. Основные тенденции на рынке отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК) Европейского союза тесно связаны с требованиями Директивы по энергетической эффективности (2012) и Директивы по увеличению доли использования возобновляемых источников

энергии (2009). Основная цель этих документов – подвинуть рынок к строительству зданий с нулевым потреблением невозобновляемой энергии, т.е. угля, нефти и газа.

Одной из главных мировых тенденций развития ОВК является развитие децентрализованных систем энергоснабжения зданий. Развитие систем, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии, позволяет практически в любой точке планеты от районов с вечной мерзлотой до экватора энергетически эффективно обеспечить здание тепловой энергией и холодом. Будущее за гибридными теплонасосными системами теплохладоснабжения, использующими в качестве источника тепла низкого потенциала грунт в комбинации с теплом атмосферного воздуха и вентиляционными выбросами зданий. Эта технология сегодня уже повсеместно доступна.

Петрогеотермальные ресурсы активно используются в США, Австралии, Англии, Германии, Японии, Франции. Запасы этих ресурсов огромны. Перспективы их использования грандиозны и за ними будущее. Сейчас в России опять возник большой интерес к использованию тепла сухих горячих пород, что вызвано развитием новых передовых технологий.

### References

1. Svalova V.B. Geothermal energy in ZhKH. Nezavisimaya newspaper. NG-ENERGY. № 267 (6313), 9 December 2014, p. 14.(in Russian).
2. Svalova V.B. Complex utilization of geothermal energy in Russia. Problems and perspectives. Proceedings of the 2 international forum “Renewable energy: the ways of increase of energetic and economic efficiency”. 10-11 November 2014. M., REENFOR-2014, p. 370-377. (in Russian).
3. Svalova V.B. Geothermal resources of Russia: problems and perspectives of complex utilization. // Monitoring. Science and technology. №2(3), 2010, 16-29.(in Russian).
4. Svalova V.B. Geothermal resources of Russia and their complex utilization.// Alternative energy and ecology. 2009, №7, 69-79. (in Russian).
5. Svalova V.B. Problems and perspectives of geothermal resources use. //Use and protection of natural resources of Russia. № 5, 2008, p. 3-10..(in Russian).
6. Svalova V.B. “To get heat from the Earth”. Newspaper «Tverskaya, 13», №115, 25 September 2010. (in Russian).
7. Svalova V.B. "Thermomineral waters of Russia and their complex utilization." //Hydrometeorology and ecology, №2, 2010, p. 174-191. (in Russian).
8. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report. Proceedings of the World Geothermal Congress 2015, Australia, 19 pp. CD.
9. Lund J.W., Boyd T. L. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. Proceedings of the World Geothermal Congress 2015, Australia, 31 pp. CD.
10. Povarov K.O.,Svalova V.B. Geothermal Development in Russia: Country Update Report 2005-2009. Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia.(CD)
11. Svalova V.B. Mineral extraction from brines and geothermal resources complex use in Russia.\\ Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Indonesia, 7 pp, CD.
12. Svalova V.B. Complex utilization of geothermal resources. CD Proceedings of IAEG Congress, 5-10 September 2010, Auckland, New Zealand, 7 pp.
13. Svalova, V.B. Geothermal Resources of Russia and Their Complex Utilization. Proceedings of AGEC2011 (Australian Geothermal Energy Conference 2011), Melbourne, Australia, 8pp.
14. Svalova V., Povarov K.Geothermal Energy Use in Russia. Country Update for 2010-2015 Proceedings of World Geothermal Congress 2015, Australia, 7 pp, CD.

## ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ FUNDAMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT

**Стребков Д.С.**

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства  
(ВИЭСХ), г. Москва, Россия

**Strebkov D.S.**

**Summary.** The forecast and search of new sources of development is a priority task of fundamental science. The task of scientists – to predict future, relying on prior experience and potential opportunities of scientific and technology development.

Upon transition to the sixth technological way scientists shall provide strategic planning and formulate the main directions of development of Russia in the 21st century.

The main challenges, threats and risks in the 21st century are displaced from military and nuclear, food and energy security to the ecological safety connected with global warming of climate. By our researches it is shown that signed in 2016 the Parisian agreement on restriction of emission of greenhouse gases has no justification reasons, and anthropogenous thermal pollution of the atmosphere is the main reason of global warming of climate. By different estimates, in 20–60 years there can be a non-return point on warming of climate of Earth when no material resources of mankind are able to stop the global disaster connected with thawing of glaciers, increase in level of the ocean on 80–100 m and transition of Earth climate to a condition incompatible with biological life.

Urgent transition to fuel-free power, creation of the electric generators using energy of the environment with its chilling and change of radiation balance of Earth by increase in albedo of the cities and deserts and the radiation of excessive energy in the optical range in an outer space is necessary.

The new technologies determining development of power in the 21st century and transition of a modern civilization to a way of sustainable noosphere development are considered. The forecast of the main directions of technology development of Russia and world economy till 2100 is provided.

**Аннотация.** Прогноз и поиск новых источников развития является приоритетной задачей фундаментальной науки. При переходе к шестому технологическому укладу ученые должны обеспечить стратегическое планирование и сформулировать главные направления развития России в 21 веке.

Рассмотрены новые технологии, определяющие развитие энергетики в 21 веке и переход современной цивилизации на путь устойчивого ноосферного развития. Представлен прогноз основных направлений технологического развития России и мировой экономики до 2100 года.

**Keywords:** forecast of technology development, ecological safety, new energy technologies.

**Ключевые слова:** прогноз технологического развития, экологическая безопасность, новые энергетические технологии.

### **Введение**

Задача ученых – предсказывать будущее, опираясь на предшествующий опыт и потенциальные возможности научного и технологического развития.

Основные вызовы, угрозы и риски в 21 веке смещаются от военно-ядерной, продовольственной и энергетической безопасности к экологической безопасности, связанной с глобальным потеплением климата. Нашими исследованиями показано, что подписанное в 2016 г. Парижское соглашение об ограничении эмиссии парниковых газов не имеет научного обоснования, а главной причиной глобального потепления климата является антропогенное тепловое загрязнение атмосферы. [1–3]. По разным оценкам, через 20–60 лет может возникнуть точка невозврата по потеплению климата Земли, когда никакие материальные ресурсы человечества не смогут остановить глобальную катастрофу, связанную с таянием ледников, повышением уровня океана на 80–100 м и перехода земного климата в состояние, несовместимое с биологической жизнью.

Необходим срочный переход на бестопливную энергетику, создание электрических генераторов, использующих энергию окружающей среды с ее охлаждением и изменение радиационного баланса Земли путем увеличения альбеда

городов и пустынь и излучение избыточной энергии в оптическом диапазоне в открытый космос.

Наука – это инструмент для прогноза и поиска новых источников развития.

Академик РАН Сергей Глазьев подчеркивал, что для нового технологического уклада очень важно стратегическое планирование и понимание главных направлений развития. Стратегия опережающего развития должна включать экспертный отбор перспективных научных разработок, финансирование опытных образцов, венчурное финансирование инновационных проектов, кредитование новых производственных мощностей. Должна работать многоэшелонированная система государственной поддержки инновационной и инвестиционной активности.

Н. Тесла писал, что первостепенное значение для эволюции человека имеет создание изобретений. Это самый важный процесс его творческого мышления.

В результате недостаточной государственной поддержки инновационной активности вклад России в глобальный валовый продукт 3 %, а доля России на рынке высокотехнологичной продукции – 0,3 %, т.е. в 10 раз меньше (таблица 1).

Таблица 1. Инновационная активность в Китае, США и России

№ №	Страна	Число выданных патентов за год
1	Китай	1 300 000
2	США	500 000
3	СССР	300 000
4	Россия	29 000

Государственная поддержка науки в России в 5 раза меньше, чем в Швейцарии, в 3 раза меньше, чем во Франции и в 2 раза меньше, чем в Эстонии (таблица 2).

Таблица 2. Расходы на фундаментальную науку, % от ВВП в промышленно-развитых странах

№№	Страна	% от ВВП
1	Швейцария	0,9
2	Южная Корея	0,76
3	Исландия	0,65
4	Нидерланды	0,56
5	Франция	0,54
6	Эстония	0,37
7	Словакия	0,31
8	Португалия	0,29
9	Греция	0,28
10	Польша	0,23
11	Россия	0,18
12	Чили	0,12
13	Мексика	0,11

Необходимо прекращение бессмысленной реструктуризации сложившейся в течение 86 лет системы институтов РАН и вывод фундаментальной науки из-под юрисдикции ФАНО в части утверждения планов научных исследований, оценки эффективности работы институтов и их руководства и назначения руководителей государственных научных учреждений.

Для усиления роли науки при принятии решений целесообразно введение должности вице-премьера правительства РФ по науке с назначением на эту должность академика РАН и введение должностей заместителей министра по науке во все наукоемкие министерства (образования и науки, сельского хозяйства, энергетики, здравоохранения и др.) с назначением на должности академиков или член - корреспондентов РАН.

С целью развития механизма реализации перспективных научных направлений необходимо включение в бюджетные планы государственных научных учреждений защищенных статей расходов по созданию и охране объектов интеллектуальной собственности (патентов и компьютерных программ), созданию демонстрационных и пилотных образцов новой техники, приборов и оборудования и введение статистической отчетности по этим разделам плана.

### **Новые технологии**

Практически вся энергия, вырабатываемая генерирующими источниками всех видов, доводится до потребителей по системам передачи и распределения, где существенная ее часть теряется по техническим и коммерческим причинам. Кроме того, получаемая потребителями энергия используется во многих случаях неэффективно из-за технологического несовершенства энергопотребляющего оборудования и отсутствия соответствующих стратегий рационального энергетического менеджмента.

Вследствие указанных причин технического, организационного и коммерческого характера во многих странах мира до 40-50% производимой первичной энергии полезно не используется. Так, в России в настоящее время неиспользуемый технический потенциал энергосбережения составляет до 420 млн. т у. т., или 45% от всего уровня потребления энергии в 2005 г.

Кроме того, передача электроэнергии сопровождается существенными потерями, составляющими в мире в среднем 8,8% от ее производимого объема. Суммарные потери электроэнергии в настоящее время в мире превышают объем ее производства в такой стране, как Китай (3433,4 ТВт.ч) [4, 5].

В настоящее время известно о принципиально новых отечественных технологиях создания глобальной электрической сети с применением однопроводных или беспроводных электропередач реактивного тока, основанных на идеях и опытах гениального ученого Николы Теслы. Эти технологии позволяют не только решать указанные выше проблемы, но и создавать сверхнадежные глобальные системы электроснабжения с использованием солнечной энергии. На резонансные методы получения передачи и применения электрической энергии учеными ВИЭСХ получено более 50 патентов РФ [6]. Новые технологии будут использованы и для развития совместного электротранспорта

Новые энергетические технологии, определяющие развитие энергетики в XXI веке и переход современной цивилизации на путь устойчивого ноосферного развития, представлены в таблице 3.

В течение следующих 20 лет электромобили станут самым дешевым и широко используемым на рынке транспортным средством. К 2035 году электромобиль с пробегом 300 км будет стоить дешевле автомобиля с Д.В.С. Электромобиль использует только 10% движущихся частей автомобиля с Д.В.С.

Число марок электромобилей на рынке выросло с 2 в 2010г до 25 в 2015г.

Компания «Тесла Моторс» получила 400000 предварительных заказов на модель электромобиля стоимостью 35000долл. на общую сумму 14 миллиардов долл.

Форд инвестировал 4,5 миллиарда долларов в электромобили и к 2020г выпустит 13 моделей электромобилей, доведя объем выпуска электромобилей до 40% от общего объема производства.

Литий-ионные аккумуляторы с 1990г по 2005г подешевели на 90%. К 2020г стоимость литий-ионных аккумуляторов снизится до 100долл/кВт·ч, а стоимость аккумулированной электроэнергии до 0,11долл/кВт·ч.

Зарядка электромобилей от солнечных модулей обеспечит бестопливное энергоснабжение электротранспорта. За последние 30 лет стоимость солнечных модулей снизилась в 30 раз. Установленная мощность солнечных электростанций к 2020году увеличится в 3 раза и достигнет 600ГВт, а цена за солнечное электричество снизится до 2,5 центов/кВт·ч, что в два раза дешевле электроэнергии от газовых и угольных электростанций. В Швейцарии разработан электрический самолет на солнечных батареях, который в 2016г. совершил полет вокруг земного шара.

В Балтийском море перевозит пассажиров электрический корабль, аккумуляторы которого заряжаются во время остановки в порту для посадки пассажиров. Разрабатываются электрические вертолеты и беспилотники.

В ВИЭСХе за 20 лет с 1996 по 2016 год разработаны беспроводные и однопроводные методы электроснабжения наземного, морского и воздушного транспорта, которые подробно рассмотрены в работах [6,7].

В ВИЭСХе предложены новые высокоэффективные электрические машины с внешним и внутренним ротором и электрические движители без отброса массы с управляемым вектором тяги для наземных и космических транспортных средств [8].

Таблица 3

№№	Разделы науки и техники	Новые энергетические технологии
1	Физика твердого тела и полупроводниковая электроника	Глобальная солнечная фотоэлектрическая энергетика с круглосуточным производством электроэнергии. Гибридные кровельные солнечные панели для глобальной программы «Один миллиард солнечных крыш».
2	Единая физическая теория пространства-времени, материи и поля	Электрические генераторы, использующие энергию окружающей среды Сверхпроводящие электромагнитные движители без отброса массы. Новые электрические машины
3	Резонансная электротехника Н.Тесла	Евразийская и мировая энергетическая система. Бесконтактное электроснабжение наземного и морского электротранспорта. Пресная вода из воздуха и морской воды.
4	Лазерная и электронно-лучевая техника	Беспроводные направленные методы передачи электрической энергии в атмосфере и в космическом пространстве.
5	Плазменные и электроимпульсные технологии	Водородная энергетика. Быстрый пиролиз твердых органических отходов в газообразное и жидкое топливо.
6	Холодный ядерный синтез	Новая ядерная энергетика.
7	Трансмутация ядер	Новые методы получения материалов.
8	Новая ядерная физика	Снижение радиоактивности отходов АЭС.
9	Сверхкритическое водное окисление	Получение метана из жидких органических отходов.

### Прогноз технологического развития

Наш прогноз по технологическому развитию России и мировой экономики до 2100 года сводится к следующему:

1. На сельскохозяйственных плантациях будут работать электрические машины-роботы с активными рабочими органами 2040 г. [9].

2. Новые технологии позволят создать роботизированные комплексы для выращивания продуктов питания в арктической зоне и в районах, непригодных для сельскохозяйственного производства. В мегаполисах будут строиться многоэтажные автоматизированные биотехнологические фабрики для производства экологически чистых продуктов - 2030 г. [9,10].

3. Воздушные линии электропередачи будут заменены на подземные волноводные однопроводниковые кабельные линии - 2050 г. [6].

4. Жидкое топливо и газ будут вырабатываться из биомассы энергетических плантаций с помощью резонансных одноэлектродных плазматронов - 2030 г. [5, 9].

5. Жидкие и твердые органические отходы будут использоваться в качестве топлива для производства метана для когенерационных электростанций 2030 г. [5, 9].

6. Микроводоросли будут использоваться для получения биотоплива и кормовых добавок в животноводстве и рыбоводстве – 2035 г. [9].

7. Светодиодные светильники будут заменены на более экономичные люминесцентные лампы с холодными катодами и автоэлектронной эмиссией - 2030 г. [6].

8. Будут созданы объединенные энергосистемы Москва-Пекин, Москва-Дели и Владивосток-Лиссабон - 2060 г. [6].

9. Будет создана глобальная солнечная резонансная энергетическая система, производящая электроэнергию, водородное топливо и тепло для каждого человека на Земле - 2080 г. [6,11].

10. Бестопливная энергетика обеспечит 80-90% мировых потребностей в энергии -2090 г. [5, 6].

11. Электроснабжение летательных аппаратов в космическом пространстве и передача электрической энергии на мобильные объекты на Земле будут осуществляться резонансными беспроводными методами - 2060г. [6].

12. Тепловые двигатели для транспортных средств будут заменены электрическими двигателями без отброса массы с управляемым вектором тяги 2-10 т. - 2050 г. [8,12].

13. Космические корабли будут стартовать с Земли на электрических ракетных двигателях, имея отношение массы полезного груза к стартовой массе 80-90% вместо сегодняшних 5% - 2060 г. [6, 12].

14. Будут разработаны эксафлопсные компьютерные технологии с производительностью 1 эксафлопс =  $10^{18}$  операции в секунду для управления крупными технологическими проектами и энергетическими потоками в региональных и глобальных энергосистемах - 2030 г. [13].

15. Беспроводные методы передачи электрической энергии в водной среде будут использованы для энергоснабжения морских судов - 2030 г. [14].

16. По оценке нобелевских лауреатов Фейнмана и Дж. Уиллера, в вакууме, заключенном в объеме лампы накаливания, достаточно энергии, чтобы вскипятить все океаны на Земле. Будут разработаны методы получения энергии из окружающей среды и управления процессами глобального изменения климата - 2075 г. [1-3, 15].

17. Резонансные методы будут использоваться для лечения болезней человека и животных, уничтожения сорняков (вместо пестицидов), обеззараживания питьевой воды

и отходов, создания новых особо чистых материалов (в первую очередь, солнечного кремния) -2040 г. [6].

### Выводы

1. Прогноз и поиск новых источников развития является приоритетной задачей фундаментальной науки. При переходе к шестому технологическому укладу ученые должны обеспечить стратегическое планирование и сформулировать главные направления развития России в 21 веке.

2. Рассмотрены новые технологии, определяющие развитие энергетики в 21 веке и переход современной цивилизации на путь устойчивого ноосферного развития. Представлен прогноз основных направлений технологического развития России и мировой экономики до 2100 года.

### Литература

1. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Расчет параметров климата с учетом антропогенной теплоты. // Вестник ВИЭСХ. Вып. 1 (22), 2016. – С. 94-102.
2. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Исследование антропогенного воздействия на изменение климата. // Науковий Вісник Національного Університету Біоресурсів і природокористування України, Київ. № 240, 2016. – С.18-30.
3. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Исследование возможности регулирования процессов глобального изменения климата. XIII Международная ежегодная конференция «Возобновляемая и малая энергетика 2016». // Сборник трудов под ред. П.П. Безруких, С.В. Грибкова, Комитет ВИЗ РосНИО. 7-8 июня 2016 г., Москва, Конгресс-центр Экспоцентра. - С. 75-89.
4. *Федоров М. П., Огороков В. Р., Огороков Р. О.* Энергетические технологии XXI столетия. Тенденции развития г. III Энергетические технологии транспорта, передачи и распределения электрической энергии. Академика Энергетики. Октябрь 2009, № 5 (31), с. 28-33.
5. *Strebkov D.S.* The problems of increasing the energy conversion efficiency. // Research in Agricultural Electric Engineering/ 2014. Volume 2, № 1, p. 2-9.
6. *Стребков Д.С., Некрасов А. И.* Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. М., изд. ГНУ ВИЭСХ, 2013. - 580 с.
7. *Юфреве Л.Ю., Стребков Д.С., Роцин О.А.* Экспериментальные модели резонансных систем передачи электрической энергии. М. 2010, ВИЭСХ. 179с.
8. *Лиманский В.Г.* Единая физическая теория пространства - времени, материи и поля. М. ВИЭСХ, под редакцией Стребкова Д.С. 1-е издание 2014г-128с, 2-е издание 2016г-147с,
9. *Strebkov D.S.* Biofuel and food security. Frontiers of Agricultural Science and Engineering. 2015, March, № 1, p. 1-12.
10. *Strebkov D.S., Powerin D.I.* Technological prospects of resolving the civilization impasse in the field of food production. Research in Agricultural Electric Engineering, 2014, vol. 2, № 1, p. 10-17.
11. *Strebkov D.S.* Contribution of VIESH to the contemporary photovoltaic technology. // Research in Agricultural Electric Engineering. 2015. Volume 3, № 1, p. 3-10.
12. *Лиманский В.Г.* Краткое изложение физической теории пространства - времени, материи и поля. // Вестник ВИЭСХ. Вып. 4(17). 2014. - С. 51- 58.
13. *Шабаров А. В.* Система организационного управления реализацией - программы развития эксафлопных технологий.// Вестник ВИЭСХ. Вып. 4 (13), 2013.-С. 72-81.
14. *Strebkov D.S.* Noncontact power supply for land and marine electric transport. // Research in Agricultural Electric Engineering. 2015. Volume 3, № 1, p. 11-21.
15. *Стребков Д. С., Сорокодун Е. Д.* Принципы экстракции низкопотенциальной энергии из окружающей спокойной среды. Альтернативный киловатт. 2012. № 5 (17). – С. 44-48.



**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА  
РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА ИЗ  
МИКРОВОДОРОСЛЕЙ  
EFFECT OF CLIMATE AND INFRASTRUCTURE FACTORS ON MICROALGAE  
BIOFUELS RESOURCE**

**Чернова Н.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю.**

НИЛ ВИЭ географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

**Chernova N.I., Kiseleva S.V., Rafikova Yu.Yu.**

Renewable Energy Sources Laboratory of Geographical Faculty of Lomonosov MSU, Moscow,  
Russia

**Abstract.** The article analyzes effect of climate and infrastructure factors on cultivation of microalgae for further biofuels production. On the basis of author's long-term experimental and publications data reasonable limits for climatic factors in conditions of Russian region were proved on the example of a model object culture - Microalgae Spirulina / Arthrospira. We showed the significance of accounting these factors for selecting areas suitable for microalgae production. For the mapping of climatic factors and further districting we collected and structured meteorological and solar radiation data. We have compiled and analyzed maps of climatic indicators for the territory of Russia. This work could be a basis for further detailed analysis and selection of the regions that are suitable for producing microalgal as a feedstock and co-products, including for bio-energy projects.

**Аннотация.** Работа посвящена анализу влияния климатических и инфраструктурных факторов на выращивание микроводорослей для дальнейшего получения из них биотоплива. На основе собственных многолетних экспериментальных данных и литературных источников обоснованы пороговые значения климатических факторов для условий России на примере культивирования модельного объекта – микроводорослей спиролины/артроспиры. Показана значимость учета этих факторов для выбора территорий, пригодных для микроводорослевого производства. Для картографирования климатических факторов и последующего районирования территории авторами был проведен сбор и структурирование метеорологических и актинометрических данных. Составлены и проанализированы карты распределения климатических показателей для территории России. Данная работа может служить основой дальнейшего детального анализа и выбора регионов, пригодных для получения микроводорослевого сырья и различных сопутствующих продуктов, в том числе для проектов биоэнергетики.

**Keywords:** microalgae, biofuel, biodiesel, outdoor and closed cultivators, climate, infrastructure, resource assessment.

**Ключевые слова:** микроводоросли, биотопливо, биодизель, открытые и закрытые культиваторы, климат, инфраструктура, оценка ресурсов.

### **Введение**

В последние десятилетия наблюдается значительный и устойчивый рост масштабов и способов применения биомассы в энергетике, актуальным является поиск новых видов и технологий её комплексного использования. Особое место среди используемой биомассы занимают микроводоросли (МКВ) как сырье для производства жидкого биотоплива. МКВ по своей естественной биопродуктивности и энергосодержанию на порядки превышают традиционную биомассу, при том, что потенциал их далеко не исчерпан. Определяющим фактором использования водорослей для получения биодизеля является высокое содержание в них неполярных липидов, в основном триацилглицеринов (ТАГ) и возможность управлять их накоплением путем изменения условий культивирования. Общее содержание липидов в микроводорослях обычно варьирует в пределах 1÷85% сухого веса [1]. Биодизельное топливо из микроводорослей традиционно получают переэтерификацией содержащихся в них липидов, однако для комплексного использования биомассы эффективным является применение также технологии гидротермального сжижения (НТЛ) [2]. Взрывной рост интереса к ТАГ микроводорослей в последнее десятилетие обусловлен их признанием в качестве перспективного сырья для производства биотоплива третьего и четвертого поколений. К важнейшим достоинствам топлива, вырабатываемых из ТАГ микроводорослей,

относится “СО<sub>2</sub>-нейтральность” и меньшее количество выбросов в окружающую среду других загрязняющих веществ. В целом, при сжигании биотоплива из микроводорослей в атмосферу выделяется на 98% меньше серосодержащих соединений и на 50% меньше твердых частиц, чем при сжигании топлива на основе нефти и газа. Более того, при промышленном культивировании микроводорослей открываются широкие возможности для утилизации СО<sub>2</sub> и сточных вод, содержащих органические и минеральные загрязнители. Важно, что получение биотоплива из ТАГ микроводорослей не угрожает продовольственной безопасности, так как установки для культивирования микроводорослей не занимают пахотных земель, необходимых для выращивания сельскохозяйственных культур [3].

При принятии решения о производстве микроводорослей, в том числе для целей возобновляемой энергетики, немаловажным является выбор площадки, которая обеспечивала бы необходимые природные и инфраструктурные условия. Выбор территории является необходимым элементом процедуры оптимизации, позволяющим обеспечить максимальную рентабельность процесса производства. Таким образом, оценка ресурсов – обязательная при проектировании солнечных, ветровых, гидроэнергетических и иных объектов возобновляемой энергетики (ВЭ) – включается и в тематику исследовательских работ в области микроводорослевой энергетики. Значимость климатических и инфраструктурных факторов для культивирования микроводорослей и достижения рентабельности производства биомассы и производных продуктов ранее была рассмотрена в [4] применительно к территории Индии. Кроме того опыт осуществленных проектов выращивания микроводорослей позволил выделить следующие факторы, ограничивающие производство биомассы в открытых культиваторах:

- промышленное загрязнение (проект Earthrise Farms по выращиванию спирулины/артроспиры, место расположения – Калифорния, пустынные территории [5]; Гавайский проект по выращиванию МКВ гематококкус для пищевых и энергетических целей, место расположения – Гавайские острова) [6];
- песчаные бури (проекты выращивания МКВ различных видов, Израиль);
- муссонные дожди (проекты выращивания МКВ различных видов, Индия).

### **Климатические и инфраструктурные факторы, значимые для производства биомассы микроводорослей**

1.1. Технологии производства микроводорослей, используемые в настоящее время, включают в себя следующие способы культивирования:

- открытое культивирование, в том числе в тепличных комплексах;
- закрытое культивирование в фотобиореакторах;
- закрытое культивирование в промышленных ферментерах при гетеротрофном питании как альтернатива фотоавтотрофии.

Наиболее дешевым способом производства является открытое культивирование в бассейнах, каналах, или закрытых емкостях из дешевых материалов (одноразовые емкости из полиэтилена или полиуретана: полиэтиленовые мешки, плоские панели, надувные мешки с несколькими вертикальными панелями, полиуретановые трубчатые культиваторы, трехсторонние трубчатые фотобиореакторы (ФБР), трубчатые ФБР с регулированием подачи дымовых газов и пр.), погруженных в открытые бассейны, служащие термостатами [7]. Однако именно эти открытые способы наиболее требовательны к климатическим факторам.

Известные условия открытого культивирования большинства промышленных видов микроводорослей позволяют предложить следующий перечень наиболее значимых климатических факторов:

- интенсивность солнечной радиации;

- длительность освещения с интенсивностью, не менее необходимой, в течение суток (т.е. соотношение световой и темновой фазы роста);
- температуры (верхнего слоя почвы);
- режим осадков (распределение количества осадков в течение сезона);
- интенсивность испарения;
- удаленность от источников природного и техногенного загрязнения.

Поскольку чаще всего необходимые климатические условия обеспечиваются лишь в течение части года, важно определить также временные интервалы, в течение которых имеются необходимые условия освещенности, температуры и т.д. в данной местности.

Помимо климатических ресурсов для промышленного производства микроводорослей необходимо наличие инфраструктурных условий (факторов):

- наличие свободных земель (неплодородных, бедлендов, неиспользуемых промышленных площадок и т.п.);
- плоская поверхность (уклон не более 5%);
- наличие водных ресурсов: морские, пресные и солоноватые воды;
- близость источников углекислого газа,
- транспортная доступность,
- наличие сетевого энергоснабжения или возможность использования возобновляемых источников энергии;
- близость потенциальных потребителей продуктов производства микроводорослей;
- наличие низкотемпературных энергоносителей (сбросные воды ТЭС, АЭС).

В связи с тем, что любая территория характеризуется широким пространственным разнообразием и временными вариациями указанных выше климатических и инфраструктурных факторов, в исследованиях широко востребованы методы картографии и геоинформационных технологий.

1.2. Задачей данной работы является разработка подходов и методов оценки территорий с позиций их пригодности для крупномасштабного культивирования биомассы микроводорослей, для целей энергетики и получения иных целевых продуктов, в том числе с высокой добавленной стоимостью, уменьшающих стоимость затрат на основной энергетический продукт. Ранее эта тема уже затрагивалась в работе [8] на примере выращивания микроводоросли спирулины. При разработке методики выбора оптимальных территорий в качестве модельного объекта мы также используем эту микроводоросль/цианобактерию, которая допускает выращивание в открытых условиях в достаточно широком диапазоне внешних факторов [9, 10, 11].

1.3. Известные условия культивирования МКВ спирулины [12, 13], а также опыт выращивания штаммов спирулины, входящих в коллекцию научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии МГУ имени М.В.Ломоносова позволил сформировать следующий перечень наиболее значимых климатических факторов и их значений:

- освещенность  $4,0 \text{ кВтч/м}^2/\text{сут}$  или примерно  $14 \text{ МДж/м}^2$  считается достаточной для производства микроводорослей [14];
- предпочтительное соотношение световой и темновой фазы роста должно быть не менее, чем 6:18, т.к. дни с менее чем 6-часовым количеством солнечных часов считаются недостаточными для роста водорослей;
- температура культивирования. Как показывают многочисленные эксперименты спирулина/артроспира не дает прироста при температуре ниже  $12^\circ\text{C}$ . Различные виды микроводорослей растут в широком диапазоне температур, но, как правило, все они чувствительны к замораживанию и поэтому нельзя допускать понижение температуры ниже  $0^\circ\text{C}$ , при которой произойдет гибель культуры.

Для картографирования климатических факторов, определяющих возможность открытого культивирования микроводоросли спирулины, нами был проведен сбор и

структурирование соответствующих метеорологических и актинометрических данных. В целях получения распределения указанных факторов в регулярной пространственной сетке нами была использована база данных NASA Surface meteorology and Solar Energy [15] и результаты многолетних метеорологических наблюдений. При этом удовлетворительное качество актинометрических данных из БД NASA SSE для территории России было подтверждено ранее [16].

Анализ картографического материала показал, что на территории России нет регионов, в которых климатические условия позволяли бы выращивать МКВ круглогодично без дополнительного подогрева. При этом значениями среднегодовой суммарной солнечной радиации более 4 кВтч/м<sup>2</sup> характеризуется большая половина площади РФ в теплые полгода (апрель-сентябрь) и практически вся территория - в летние месяцы [16]. Однако, по температурному режиму пригодны для выращивания МКВ лишь южные регионы РФ, где средняя температура верхнего слоя почвы превышает 18°C как минимум 6 месяцев в году.

По продолжительности солнечного сияния также (необходимым для выращивания МКВ было принято > 6 ч/сутки) пригодными являются регионы юга России и отдельные центральные районы Якутии.

Комплексный анализ пространственного распределения вышеприведенных климатических факторов позволил нам выделить для дальнейшего детального исследования территорию Юга России, в которую входят Южный, Северо-Кавказский и Крымский федеральные округа, где климатические условия наиболее оптимальны для выращивания МКВ.

### Выводы

Определяющим для организации процесса производства биомассы микроводорослей является наличие климатических условий: освещенность 4,0 кВтч/м<sup>2</sup>/сут или примерно 14 МДж/м<sup>2</sup>, соотношение световой и темновой фазы роста не менее, чем 6:18, температура окружающей среды не ниже 12°C. Пространственный анализ распределения этих факторов позволил на начальной стадии исследования выделить регионы России, в которых целесообразно рассмотрение инфраструктурных факторов на региональном и локальном уровне: Южный, Северо-Кавказский и Крымский федеральные округа.

В качестве значимых для России инфраструктурных факторов, определяющих выбор территорий, пригодных для открытого культивирования микроводорослей, нами на первом этапе исследований были определены следующие:

- наличие водных ресурсов;
- наличие источников CO<sub>2</sub> (в качестве таковых рассматривались ТЭС, ТЭЦ, крупные котельные);
- наличие источников низкотемпературных теплоносителей (в качестве таковых также рассматривались объекты электро- и теплогенерации, в том числе АЭС)
- наличие доступных для промышленного выращивания земель (фактор подразумевает анализ системы землепользования региона).

Проведенная работа позволит в дальнейшем для южных регионов России провести районирование территории по заданным величинам каждого фактора, а затем создать комплексную карту, отражающую степень пригодности территорий для открытого культивирования микроводорослей.

Работа выполнялась при поддержке гранта РФФИ № 15-08-02596.

### Литература

1. Чернова Н.И., Киселева С.В., Коробкова Т.П., Зайцев С.И. Микроводоросли в качестве сырья для получения биотоплива // Альтернативная энергетика и экология, 2008. № 9. С. 68-74.
2. R. Laurencas, V. G. Semenov, N. I. Chernova et al. Producing transportation fuels from algae: In search of synergy // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. Vol. 40. P. 133–142.
3. Соловченко А.Е. Физиологическая роль накопления нейтральных липидов эукариотическими микроводорослями при стрессах // Физиология растений, 2012, Т. 59, № 2, С. 192–202.
4. Milbrandt A., Jarvis E. Resource Evaluation and Site Selection for Microalgae Production in India, 2010. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/48380.pdf> (дата обращения: 11.05.2016).
5. Henrikson R. Earth Food *Spirulina* / Kenwood, California, 1994.
6. Huntley M., Redalje D. CO<sub>2</sub> mitigation and renewable oil from photosynthetic microbes: a new appraisal // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2007. Vol.12. P.573–608.
7. Benemann J.R. 5 th Annual World Congress on Industrial Biotechnology, Chicago, April, 30, 2008. Aquafuel FP7 – 241301-2 Coordination Action / FP7-Energy-2009-1. [Электронный ресурс]. URL: <http://planktoleum.com/photobioreactors/BENEMANN2008-OpenPonds+ClosedPBR-ComparativeEconomics.pdf> (дата обращения: 22.08.2016).
8. Киселева С.В., Нефедова Л.В., Чернова Н.И. Природно-географические условия промышленного культивирования микроводоросли спирулины // География на рубеже веков: проблемы регионального развития / Матер.межд.научной конф. 22-25 сентября 1999 г.Т.III (части VIII, IX, X), Курск, 1999. С.157-160.
9. М. Я. Лямин, А. А. Соловьев, С. В. Киселева и др. Пищевая возобновляемая энергетика в сельскохозяйственном производстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1997. — № 6. — С. 25–28.
10. Чернова Н. И., Киселева С. В., Чернов Н. М. Пищевая ценность спирулины: опыт выращивания и применения // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. — 2001. — № №6. — С. 60–63.
11. Чернова Н. И., Киселева С. В., Зайцев С. И. Проблемы получения биотоплива третьего поколения: воздействие стрессоров на накопление нейтральных липидов в сине-зеленых водорослях (цианобактериях) // Альтернативная энергетика и экология. — 2014. — № 12 (152). — С. 70–83.
12. В. В. Алексеев, А. А. Соловьев, Чернова Н.И. и др. Энергетические плантации // География, общество, окружающая среда. Том III: Природные ресурсы, их использование и охрана. Часть 3. Возобновляемые источники энергии и окружающая среда. — Т. 3. — Издательский дом "Городец" Москва, 2004. — С. 578–607.
13. Чернова Н. И. Общая характеристика микроводорослей и методы их исследования // Возобновляемые энергоресурсы атмосферы, гидросферы, биосферы: лабораторный практикум под ред. А.А.Соловьева. — Университетская книга Москва, 2013. — С. 117–125.
14. Algae Biomass: Production and Use / Ed. G. Shelef , C. J. Soeder . Hardcover – December, 1980. Elsevier-North Holland. P. 66-72.
15. NASA Surface meteorology and Solar Energy // Atmospheric science data center. [Электронный ресурс]. URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/> (дата обращения: 02.09.2016).
16. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание / Т. И. Андреевко, Т. С. Габдрахманова, О. В. Данилова и др. — РХТУ им. Д.И.Менделеева. Москва, 2015. — С. 160.

**РЕЗУЛЬТАТЫ РОССИЙСКО-КИТАЙСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРСПЕКТИВ  
СОВМЕСТНОГО ОСВОЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ  
РОССИЙСКОГО ЗАПОЛЯРЬЯ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА  
RESULTS OF RUSSIAN-CHINESE RESEARCH PROSPECTS OF JOINT  
DEVELOPING OF RUSSIAN ARCTIC AND FAR EAST WIND RESOURCES**

**Кожуховский И.С., 1; Ганага С.В., 2; Кудряшов Ю.И., 2; Николаев В.Г., 2;  
Николаев В.В., 2**

1: Российское энергетическое Агентство Минэнерго России  
2: Научно-информационный центр «АТМОГРАФ», Россия, г. Москва

**Kozhukhovskiy I.S., 1; Nikolaev V.G., 2; Ganaga S.V., 2; Kudryashov Yu.I., 2;  
Nikolaev V.V., 2;**

1: Russian Energy Agency of Russian Power Ministry  
2: Research & Information Center «ATMOGRAPH», Moscow, Russia

В докладе представлены результаты исследования возможностей и условий строительства и использования крупных ветроэлектрических станций суммарной мощностью до 50 ГВт (ГигаВЭС) на российских побережьях морей Северного Ледовитого и Тихого океанов с передачей электроэнергии (ЭЭ) в Китай по линиям электропередачи (ЛЭП) постоянного тока ультравысокого напряжения (до 1100 кВ).

В рамках указанного исследования с использованием ведущих российских (ФЛЮГЕР-XXI) и мировых (WASP-11) методик и разработанных в России баз данных измерений атмосферных параметров и ветра исследован ветроэнергетический потенциал (ВЭП) в 27 районах северных полярных и дальневосточных прибрежных областей России, из которых удовлетворяющих установленным в работе критериям и факторам были выбраны три района с двумя–тремя полигонами с площадью до 15 – 20 тыс км<sup>2</sup>, достаточной для размещения ГигаВЭС мощностью до 50 ГВт, из них: 2 полигона на полуострове Гыданский в районах с центрами в поселках Гыда-Ямо и Антипаюта; 3 полигона на полуострове Таймыр с центрами в поселках Диксон, Караул и Сопкарга; 2 полигона на Сахалине в районах Охи – Рыбновска и Погиби – Чайво.

Подобраны маршруты оптимальных по протяженности и географическому расположению ЛЭП постоянного тока напряжением 1100 кВ, для транспортировки электроэнергии от ГигаВЭС до границы с Китаем;

Проведен отбор ветроэнергетических установок (ВЭУ) ведущих мировых производителей, наиболее подходящих по технологическим, ветроклиматическим и энергетическим показателям на роль прототипов для ГигаВЭС для мест их перспективного размещения. Наиболее эффективными в терминах коэффициентов использования их номинальной мощности ( $K_{иум}$ ) оказались ВЭУ Mervento 118/3,6 MW, Sinovel 105/3,0 MW, Siemens SWT 118/3,6 MW и General Electric GE 3.6 MW.

Установлены целесообразные варианты и места строительства новых тепловых электростанций (угольных – на базе Кемеровских или Сахалинских разрезов либо газовых – на базе Газовского месторождения) суммарной мощности до 15 – 20 ГВт, резервирующих и выравнивающих непостоянную во времени мощность и выработку ЭЭ на ГигаВЭС.

Согласно проведенным оценкам экономических показателей ГигаВЭС в выбранных районах, исходя из китайских (ввиду отсутствия российского опыта) расценок на строительство и обслуживание ГигаВЭС, резервирующих ТЭС (угольных либо газовых) и систем передачи их мощности до границы с КНР достижима себестоимость вырабатываемой ГигаВЭС ЭлЭн) менее 66 USD/кВт·ч при доходности проектов до 9 – 11% и приемлемых сроках окупаемости.

В 2015 году Российское Энергетическое Агентство Минэнерго России (РЭА) совместно с Научно-информационным центром "АТМОГРАФ" завершило работы по договору с Государственной Электросетевой Корпорацией (ГЭК) Китая по разработке уникального для мировой практики по масштабам и технологическому уровню проекта строительства и использования крупных ветроэлектрических станций суммарной мощностью до 50 ГВт (ГигаВЭС) на российских побережьях морей Северного Ледовитого и Тихого океанов с передачей электроэнергии (ЭЭ) в Китай по линиям электропередачи (ЛЭП) постоянного тока ультравысокого напряжения (до 1100 кВ).

В рамках указанного исследования РЭА выполнены следующие работы:

С использованием ведущих российских (ФЛЮГЕР-XXI) и мировых (WAsP-11) методик и разработанных в России баз данным многолетних измерений атмосферных параметров и ветра исследован ветроэнергетический потенциал (ВЭП) в 27 районах северных полярных и дальневосточных прибрежных областей России, приведенных на рис. 1 [1].

Выбор районов перспективного для Проекта размещения ГигаВЭС осуществлен с учетом следующих критериев и факторов:

- наличия высокого ВЭП и малой удаленности от берегов морей во избежание выявленного эффекта снижения ВЭП при удалении от моря вглубь материка;
- преобладания равнинных территорий для размещения ГигаВЭС мощностью до 50 ГВт (до 18 тысяч км<sup>2</sup>);
- удаленности районов размещения ГигаВЭС от портов на расстояние не более 100 – 150 км для обеспечения транспортной доступности;
- минимальной удаленности от российско-китайской границы для сокращения протяженности ЛЭП и их стоимости, определенной по китайским расценкам;
- наличия в районах размещения ГигаВЭС или ЛЭП угольных и газовых месторождений для создания резервирующих мощностей для ГигаВЭС;
- учета геофизических и ветро-климатических условий строительства ГигаВЭС (сверхнизких температур, вечной мерзлоты, сейсмических условий);
- не превышения себестоимости ЭЭ ГигаВЭС на границе перехода ЛЭП из России в КНР уровня, заданного китайской стороной – не более 66 USD/МВт·ч.

В ходе исследования по приведенным критериям были выбраны три района с двумя–тремя полигонами с площадью до 15 – 20 тыс км<sup>2</sup>, достаточной для размещения ГигаВЭС мощностью до 50 ГВт (рис. 2 [1]), из них: 2 полигона на полуострове Гыданский в районах с центрами в поселках Гыда-Ямо и Антипаюта; 3 полигона на полуострове Таймыр с центрами в поселках Диксон, Караул и Сопкарга; 2 полигона на Сахалине в районах Охи – Рыбновска и Погиби – Чайво.

Подобраны маршруты оптимальных по протяженности и географическому расположению ЛЭП постоянного тока напряжением 1100 кВ, для транспортировки электроэнергии от ГигаВЭС до границы с Китаем;

Проведен отбор ветроэнергетических установок (ВЭУ) ведущих мировых производителей, наиболее подходящих по технологическим, ветро-климатическим и энергетическим показателям на роль прототипов для ГигаВЭС для мест их перспективного размещения.

Наиболее эффективными в терминах коэффициентов использования их номинальной мощности (Киум) оказались ВЭУ Mervento 118/3,6 MW, Sinovel 105/3,0 MW, Siemens SWT 118/3,6 MW и General Electric GE 3.6 MW. Энергетические показатели ГигаВЭС на базе выбранных ВЭУ даны в таблице 1.

Установлены целесообразные варианты и места строительства новых тепловых электростанций (угольных – на базе Кемеровских или Сахалинских разрезов либо газовых – на базе Тазовского месторождения) суммарной мощности до 15 – 20 ГВт, резервирующих и выравнивающих непостоянную во времени мощность и выработку ЭЭ на ГигаВЭС.

Согласно проведенным оценкам экономических показателей ГигаВЭС в выбранных районах, исходя из китайских (ввиду отсутствия российского опыта) расценок на строительство и обслуживание ГигаВЭС, резервирующих ТЭС (угольных либо газовых) и систем передачи их мощности до границы с КНР достижима себестоимость вырабатываемой ГигаВЭС ЭлЭн) менее 66 USD/кВт·ч при доходности проектов до 9 – 11% и приемлемых сроках окупаемости.



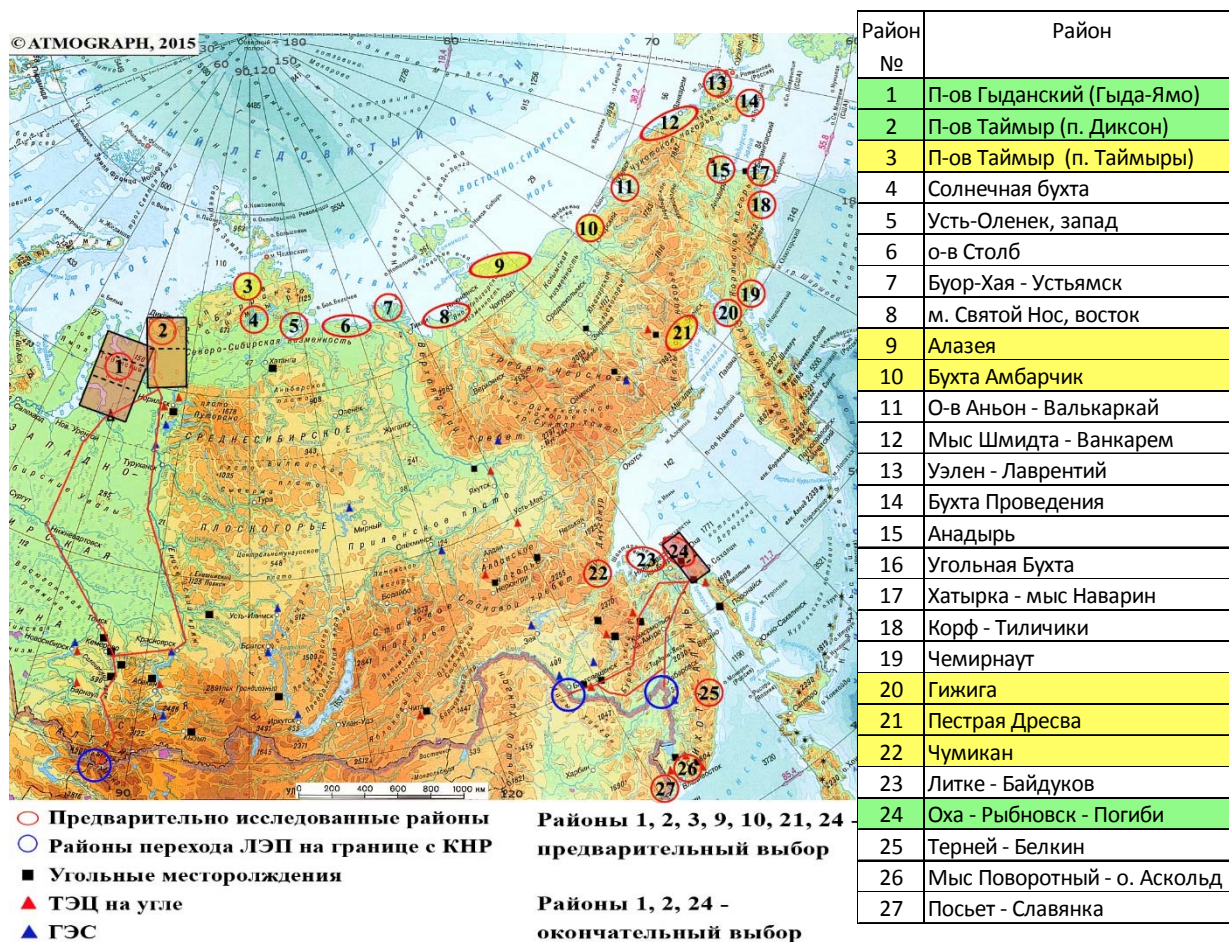


Рис. 1. Регионы исследования в проекте ветроэнергетического потенциала и энергетической эффективности ГигаВЭС

Таблица 1. Энергетические показатели ГигаВЭС на базе рассмотренных ВЭУ

Место расположения ГигаВЭС	Типы ВЭС							
	General Electric GE 3.6s		Mervento MRV 3.6		SINOVEL SL 3.0		Siemens SWT-3.0 MW	
	Киум	ЭлЭн	Киум	ЭлЭн	Киум	ЭлЭн	Киум	ЭлЭн
	%	Млрд. Квт·ч	%	Млрд. Квт·ч	%	Млрд. Квт·ч	%	Млрд. Квт·ч
Полуостров Гыданский								
Гыда-Ямо	37,1	163	38,7	170	38,1	167	36,9	162
Антипаюта	34,8	152	36,4	159	35,8	157	34,7	152
Полуостров Таймыр								
Диксон	42,4	186	43,9	192	43,3	190	42,2	185
Сопкарга	38,5	169	40,0	175	39,4	173	38,3	168
Караул	34,1	149	35,6	156	35,0	153	34,0	149
Остров Сахалин								
Оха	30,0	131	31,3	137	30,8	135	29,9	131
Погиби	28,9	127	30,2	132	29,7	130	28,8	126



Установлено сильное влияние на стоимость проекта индексов инфляции и промышленного производства), а также стоимости банковских кредитов.

В ходе проведенного исследования установлены возможности повышения экономической эффективности Проектов ГигаВЭС за счет следующих организационных и технологических факторов:

- двухразового использования инфраструктуры ГигаВЭС с заменой выбывающих по выработке ресурса ВЭУ на новые на тех же фундаментах и башнях, приводящего к снижению себестоимости ЭЭ ГигаВЭС ( $C_{ЭЭ}$ ) на 7 – 9%;
- эффективного выбора мощностей резервирующих ТЭС (снижение  $C_{ЭЭ}$  на 2%);
- оптимизация капитальных затрат на ВЭУ за счет снижения высоты башен ВЭУ с учетом высотного профиля скорости ветра (снижение капзатрат на 4 – 5%);
- увеличения срока службы ВЭУ с 20 до 25 лет (снижение  $C_{ЭЭ}$  на 10 – 12%);
- выбора сроков строительства ГигаВЭС (10 лет) со снижением  $C_{ЭЭ}$  на 4 – 5%;
- локализации части производства ВЭУ и практически всего электротехнического оборудования для ГигаВЭС в районах России, приближенных к местам размещения ГигаВЭС (снижение капзатрат на 5 – 6%);
- использования российского опыта строительства энергетических объектов в труднодоступных районах Севера и дальнего Востока.

С учетом результатов, полученных в ходе данного Проекта, а также территориального положения и неограниченных территориальных ресурсов Россия имеет все основания (научно-технические, ресурсные, производственные) занять одну ведущих ролей в глобальных энергетических проектах на базе не только традиционных, но и возобновляемых источников энергии.

### **Перспективы развития Проектов ГигаВЭС**

Суммарный технический потенциал ветра в России согласно исследованиям российских ученых в 12 раз превышает современное годовое потребление ЭЭ в России (около 1050 млрд кВт·ч) [2, 3]. Это дает основание считать ветровые ресурсы не только важным источником производства ЭЭ для энергоснабжения России, но и основой ее экспортного потенциала.

По предварительным оценкам перспективным в плане повышение энерго-экономической эффективности проектов ГигаВЭС представляется их размещение на Юге Западной Сибири России (районы Омска - Барабинска - Кулунды).

По предварительным оценкам себестоимость ЭЭ возведенных в этих районах ГигаВЭС ниже на 10–15% по сравнению с заполярными при более подходящих гео-климатических и инфраструктурных условиях их строительства и эксплуатации на базе современных ВЭУ без дополнительных их доработок.

Важным представляется сотрудничество в гелио- и ветроэнергетике с Казахстаном, ряд районов которого, прилегающих к степным районам Южной Сибири, обладают значительными ветровыми и солнечными ресурсами.

Это позволяет совместно реализовывать проекты ветровых и солнечных электростанций гигаваттной мощности с возможностью увеличения экспортных поставок ЭЭ в страны Центральной и Южной Азии и Европы (используя сеть российских ЛЭП Азия-Центр-Европа) (рис. 2).

Условием, определяющим перспективы этих проектов, является исследование эффективности оффшорных ГигаВЭС на шельфах островов Сахалин и Кунашир.

Перспективным представляется также проект энергетического обеспечения на базе солнечных и ветроэнергетических станций нового Шелкового Пути и ряда совместных технологических проектов стран БРИКС.

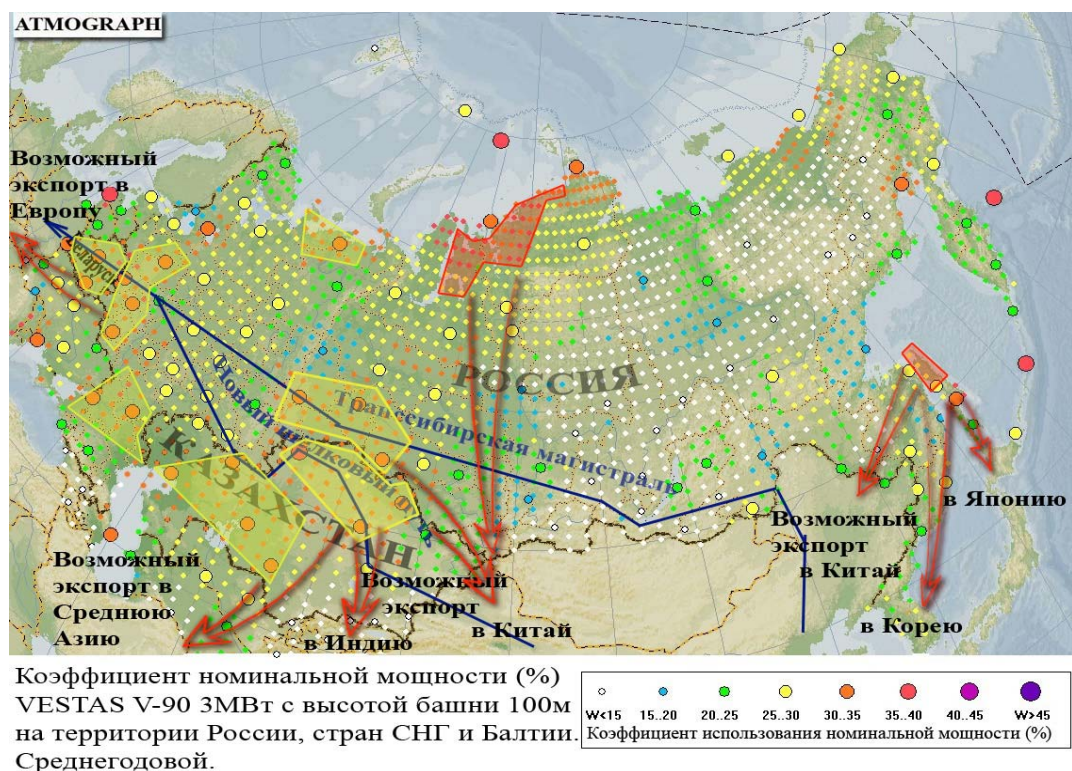


Рис 2. Районы и направления, перспективные для развития международного освоения солнечных и ветровых ресурсов на базе ГигаВЭС и солнечных электростанций

### Выводы

Результаты совместных российско-китайских исследований по оценке возможности строительства и эксплуатации на территории России ГигаВЭС суммарной мощности до 50 ГВт и более с передаче их ЭЭ в Китай и другие страны Северо-восточной и Центральной Азии, а также Европы подтверждают наличие ресурсных и технологических возможностей и технико-экономическую целесообразность дальнейшей проработки и реализации таких проектов.

Разработка и реализация совместными усилиями России и заинтересованных стран таких проектов, уникальных для мировой практики по масштабам и технологическому уровню, могла бы стать важным стратегическим шагом в развитии новых технологий, построении глобальных энергетических сетей, рационального интернационального использования природных ресурсов, решению проблемы глобальной экологической безопасности.

### Список литературы

1. Results of Russian-Chinese Investigation of the Wind Resources at the Russian Arctic and Far East Regions for Joint Exploitation. The Proceedings of 2016 Global Energy Interconnection. Global Energy Review and Outlook, Beijing, 2016, pp. 74 - 85.
2. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов РФ. "Атмограф", М., 2008, 590 с.
3. Николаев В.Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование развития и использования ветроэнергетики в России. "Атмограф", 2011. 502 с.

**МИРОВОЙ ПРОЕКТ ГЛОБАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ И  
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**  
**WORLD PROJECT GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION AND PROSPECTS  
OF LONG-TERM DEVELOPMENT OF GLOBAL AND DOMESTIC ENERGY**

**Кожуховский И.С., 1; Николаев В.Г., 2**

1: Российское энергетическое Агенство Минэнерго России

2: Научно-информационный центр «АТМОГРАФ», Россия, г. Москва

**Kozhukhovskiy I.S., 1; Nikolaev V.G., 2**

1: Russian Energy Agency of Russian Power Ministry

2: Research & Information Center «ATMOGRAPH», Moscow, Russia

В докладе даны сведения о создании международной организации GEIDCO –Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organisation. Ее целью является недопущение роста температуры на планете к 2050 г. более 1,5°C. Представлена идеология развития мировой энергетики до 2050 г., согласно которой чистая энергетика невозможна без перехода к электроэнергии как основному виду потребляемой энергии. Описана реализующая эту концепцию трехуровневая глобальная электроэнергетическая инфраструктура с верхним трансконтинентальным уровнем с перетоками электроэнергии от центров производства (на базе ветроэлектрических станций в Арктике и фотоэлектрических станций вдоль экватора) к центрам нагрузок по линиям электрической передачи постоянного тока напряжением 800-1500 кВ; средним межнациональным уровнем с перетоками по ЛЭП 220-500 кВ и нижним уровнем с распределением электроэнергии в регионах по ЛЭП низкого напряжения. Дана общая схема перетоков электроэнергии в мире до 2050 гг.

Даны количественные параметры стратегических целей GEIDCO по развитию мировой энергетики до 2050 г. Доля транснационального и межконтинентального рынка электроэнергии к 2050 г. должна составить 30% от мирового потребления, а доли потребляемой в мире "чистой" энергии и генерирующих ее мощностей должны составить соответственно 60 и 80 % при доле возобновляемых источников энергии в генерирующих мощностях "чистой" энергии – 90%.

Приведены критерии разработанного механизма глобального контроля за ходом реализации планов GEIDCO, а также состав и весовой вклад индексов прогресса в глобальном энергетическом объединении. В связи с принятием международным сообществом теоретической, технологической основы и организационной структуры GEIDCO и фактическим началом ее реализации авторами сформулирован ряд принципиальных стратегических вопросов, возникающих перед Россией:

- согласны ли мы с предложенной картиной энергетического уклада будущего?
- если нет – способны ли мы выдвинуть целостную альтернативу?
- какова роль России в механизме реализации GEIDCO ?
- какова роль России в будущем энергетическом укладе?
- каким образом России намерена осуществлять переход к "чистой" энергетике и обеспечивать сокращение выбросов парниковых газов?

Одним из выводов доклада является соображение авторов о том, что при активном развитии экономики и энергоемких производств в России выполнение установок GEIDCO по сдерживанию выбросов парниковых газов без широкомасштабного использования ВИЭ представляется трудновыполнимым. Отмечена пассивная роль российских компаний и страны в целом в создании целевой картины и технологической базы энергетики будущего. Подчеркнута важность и необходимость для страны в ближайшее время определить свою позицию в отношении мировой энергетической стратегии, принятой GEIDCO.

В настоящее время одним из важнейших факторов, воздействующих на развитие мировой энергетики является экологический. Естественным развитием идей Киотского Протокола явилась принятая в 2015 г. в Париже Рамочная конвенция ООН по климату, подписанное первыми лицами 195 государств, определившая основные принципы и меры по предотвращению изменения климата, и объёмы выбросов парниковых газов после 2020 г. Главная цель всех национальных действий – не допустить рост температуры воздуха к концу 21 века более 2°C, а по возможности - более 1,5°C.

Соглашение обязывает все страны разработать к 2020 г. и принять национальные стратегии перехода на безуглеродную экономику. Оценку реализации Соглашения решено проводить каждые пять лет, начиная с 2023 г.

### **Global Energy Interconnection GEIDCO - этапы продвижения**

Осенью 2015 года на саммите ООН по устойчивому развитию председатель КНР Си Цзиньпин выдвинул инициативу о создании глобальной энергетической сети для объединения усилий для удовлетворения глобального спроса на электроэнергию на основе зеленой энергии, обеспечивающей ограничение выбросов и предотвращение глобального потепления к концу 21 столетия – не более чем на 1,5 градуса. Предложение было одобрено, а в его развитие с октября 2015 по март 2016 г. было проведено три международных форума по вопросам создания глобальной энергетической сети (Чикаго, Берлин, Пекин). Последний, состоявшийся 30 марта 2016 г. в Пекине, существенно продвинул и подвел итоги развития идеи глобального энергетического взаимодействия. С постановочными докладами выступили заместитель Генерального секретаря ООН Hongo Wu, исполнительный директор Международного Энергетического Агентства Фатих Бирол, Председатель ГЭК Китая Лю Чженья.

На форуме работало 6 круглых столов по вопросам стратегии создания GEI, строительства сетей ультравысокого напряжения, ВИЭ, накопителей, электромобилей, интеллектуальных энергетических систем.

К Форуму подготовлены, выпущены и распространены материалы SGCC

Global Energy Interconnection Development Report (Отчет о развитии глобальной энергетической сети), Global Energy Review and Outlook (Обзор мировой энергетики). (SGCC совместно с EIA), A Study on Wind Power Resources in the Arctic Region and Their Development (Исследование ветроэнергетических ресурсов в Арктическом регионе и проектов по их развитию), двухтомник "Proceeding of 2016 Global Energy Interconnection", включающий более 100 статей авторов разных стран по вопросам создания глобальной энергетической сети.

Важной идейной и практической частью Форума стала презентация результатов совместного российско-китайского проекта по исследованию возможностей и условий использования ветропотенциала арктических и восточных регионов России для выработки на ГигаВЭС мощностью 50 ГВт и передачи электроэнергии по линиям постоянного тока ультравысокого напряжения в Китай. Проект рассматривается Китайской стороной как важная часть заявленного на Форуме Глобального Проекта строительства глобальной энергетической сети и курируется ГЭК Китая.

Важным практическим шагом Форума явилось подписание крупнейшими компаниями 4-х стран (ГЭК Китая, КЕПКО Корея, Софт Банк Японии и Россети Россия) Соглашения об учреждении консорциума по строительству электрической сети Большого азиатского Кольца, объединяющего энергосистемы Китая, России, Кореи, Японии и Монголии.

Форум в Пекине завершился учреждением международной организации по кооперации и сотрудничеству в создании глобальной энергетической сети – GEIDCO (Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organisation). В состав GEIDCO вошли энергетические компании, университеты и исследовательские институты Китая, США, Европы, Японии, Южной Кореи, Бразилии и России.

Председателем GEIDCO избран председатель ГЭК Китая Лю Чженья, его заместителями – Масаеши Сон (Masayoshi Son) - основатель SoftBank Group Corp. и Renewable Energy Institute Японии, а также Стивен Чу (Steven Chu) – бывший Министр энергетики США 2009 – 2013, лауреат Нобелевской премии.

Идейным и фактическим лидером принятого курса GEIDCO стал Китай благодаря уникальному технологическому опыту развития технологий, производства и

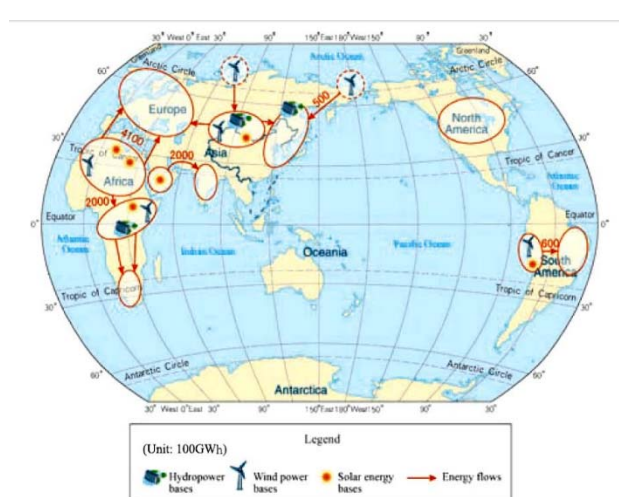
крупномасштабного строительства ЛЭП постоянного тока ультравысокого напряжения и лидирующей в мире роли крупномасштабного производства и использования ветровой и солнечной энергии (к 2016 году в Китае функционировало около 130 ГВт ветровых и 43 ГВт солнечных электростанций, а доля ВИЭ в общей генерирующей мощности достигла почти 25%).

Базовые идеи GEIDCO кратко описываются формулой:

$$\mathbf{GEIDCO = Clean\ Energy + UHVL + Smart\ Grid}$$

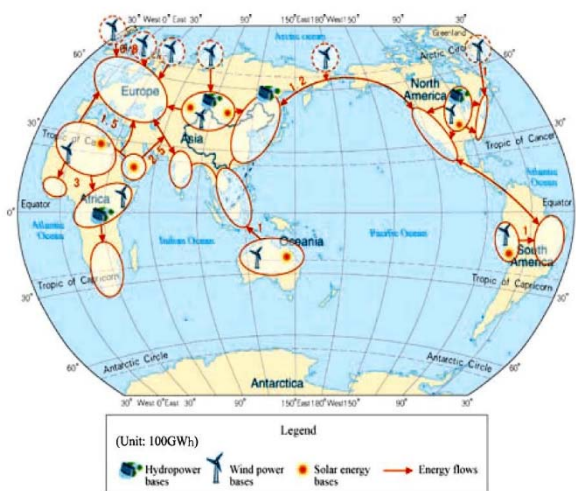
Согласно концепции GEIDCO переход к чистой энергетике невозможен без перехода к электроэнергии как основному виду потребляемой энергии, в которую могут и в перспективе должны быть преобразованы все виды первичных энергоресурсов. Для этого необходимо создать трехуровневую глобальную электроэнергетическую инфраструктуру как основу устойчивого мирового развития: верхний уровень – трансконтинентальный с перетоками от центров производства электроэнергии (на базе ветроэлектрических станций в Арктике и фотоэлектрических станций вдоль экватора) к центрам нагрузок – по линиям электрической передачи (ЛЭП) постоянного тока напряжением 800-1500 кВ; средний – межнациональный с перетоками по ЛЭП 220-500 кВ; нижний – распределение электроэнергии в регионах по ЛЭП низкого напряжения.

Общая картина перетоков электроэнергии в мире и в Азии согласно стратегии GEIDCO в 2030 и 2050 гг. приведена на рис. 1 и 2.



The world's electricity flows across continents and across nations at intracontinental level in 2030

2030 г.



The world's major electricity flows in 2050

2050 г.



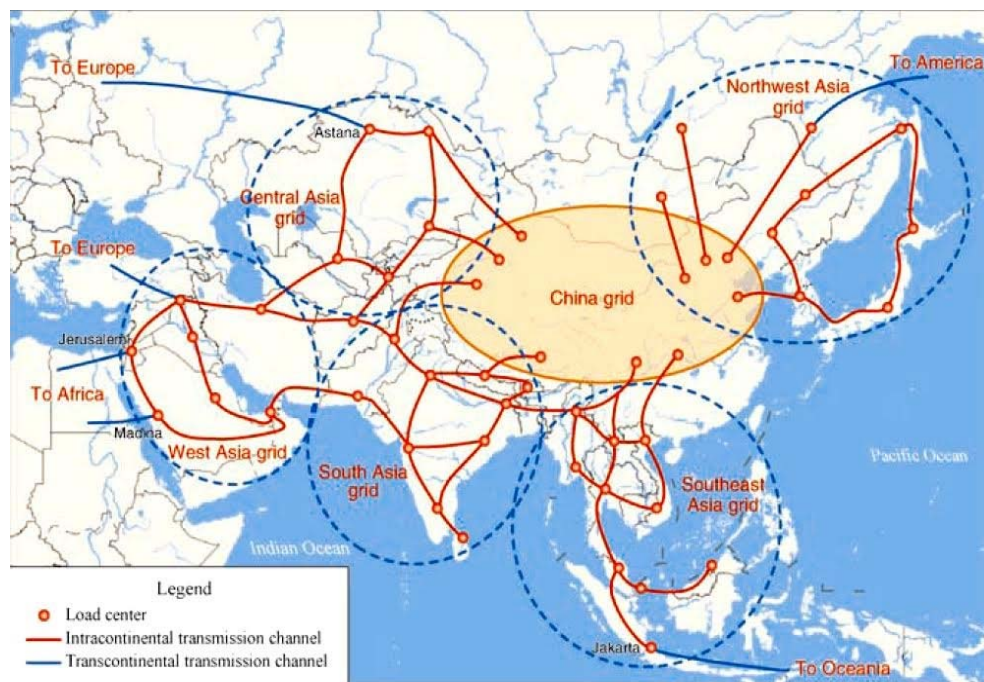


Illustration of Asia's transnational grid interconnections

Рис. 2 Стратегия GEIDCO: Транс-национальная сеть Азии в 2050 г.

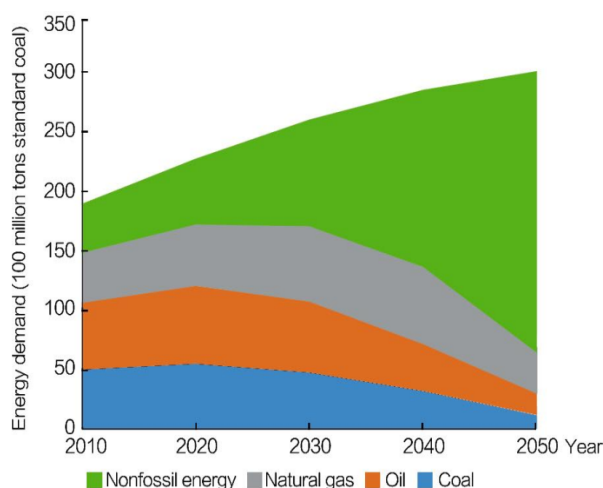
Стратегические цели GEIDCO развития мировой энергетики приведены в таблице 1

Таблица 1

Цели \ год	2020	2030	2050
Транснациональный и межконтинентальный рынок электроэнергии (% мирового потребления)	5	10	30
Доля замещения потребляемой в мире энергии "чистой" энергией (включая АЭС)			
% от потребляемой первичной энергии	25	33	60
% от суммарных генерирующих мощностей	35	50	80
% ВИЭ от суммарных генерирующих мощностей			90
Замещение потребляемой энергии в мире электрической энергией			
Доля использования электроэнергии (%)	20	25	50
Электрический транспорт, млн штук	9	90	2000

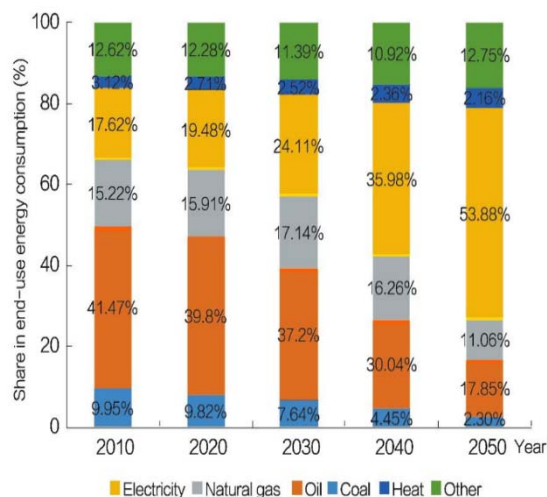
Структура мирового потребления энергии и ее основных энергоносителей до 2050 г. согласно стратегии GEIDCO приведена на рис. 3 и 4.

Разработан механизм глобального контроля за ходом реализации планов GEIDCO, состав и весовой вклад индексов прогресса в глобальном энергетическом объединении которого приведены в таблице 2.



Global demand for different forms of primary energy, 2010–2050

Рис. 3. Потребляемая в мире энергия по видам энергоносителей



Structure of global end-use energy consumption, 2010–2050

Рис. 4. Доли энергоносителей в суммарном мировом потреблении энергия

Таблица 2. Индексы измерения прогресса GEIDCO.

Уровень 1	Уровень 2
Развитие интеллектуальных сетей (0.2)	Активность популяризации интеллектуальных энергосистем (0,25)
	Политика и стимулирование рынка потребления (0,2)
	Количество электрического транспорта на душу населения (0.2)
	Объемы инвестиций в интеллектуальные сети (0,15)
Развитие магистральных и региональных сетей (0.5)	Стратегия и планирование развития интеллектуальных сетей (0.2)
	Уровень напряжения магистральных энергосистем (0,15)
	Территориальное покрытие интеллектуальными сетями (0,25)
	Суммарная пропускная мощность интеллектуальных сетей (0,15)
	Суммарная протяженность линий электропередачи (0,15)
Развитие чистой энергетики (0.3)	Кросс-региональный потенциал резервирующей мощности (0,3)
	Доля проникновения электроэнергии чистой энергии (0,2)
	Установленные мощности источников чистой электроэнергии (0,15)
	Стоимость оборудования для выработки чистой электроэнергии (0,2)
	Выбросы углерода на единицу выработки электроэнергии (0,15)
	Стратегия и планирование развития чистой энергетики (0,3)

Таким образом теоретическая, технологическая основы и организационная структура GEIDCO созданы и фактически начата ее реализации.

В связи с этим перед Россией возникает ряд стратегических вопросов:

- согласны ли мы с предложенной картиной энергетического уклада будущего?
- Если нет – способны ли мы выдвинуть целостную альтернативу?

- какова роль России в механизме реализации GEIDCO ?
- какова роль России в будущем энергетическом укладе?
- каким образом России намерена осуществлять переход к "чистой" энергетике и обеспечить сокращение выбросов парниковых газов?

Потенциал сокращения выбросов CO<sub>2</sub> в разрезе энергетических технологий приведен ниже на рисунках 5 и 6.

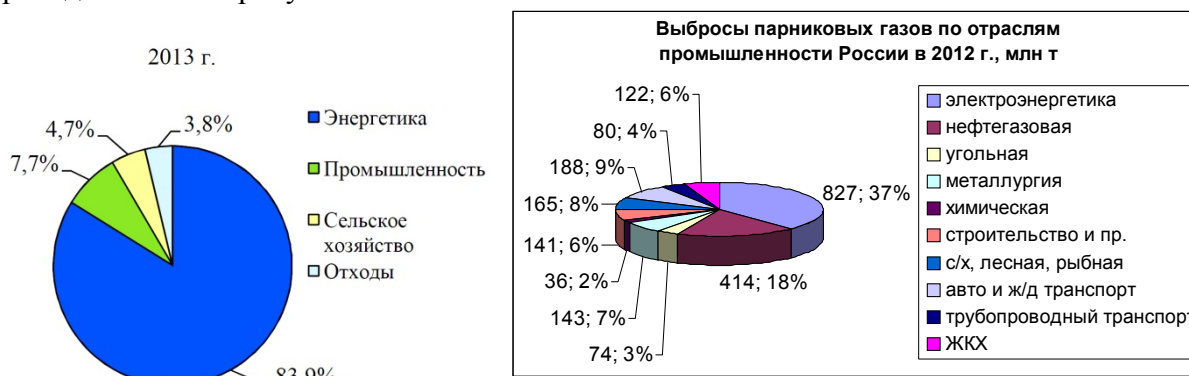


Рис. 5. Распределение выбросов парниковых газов по отраслям экономики России

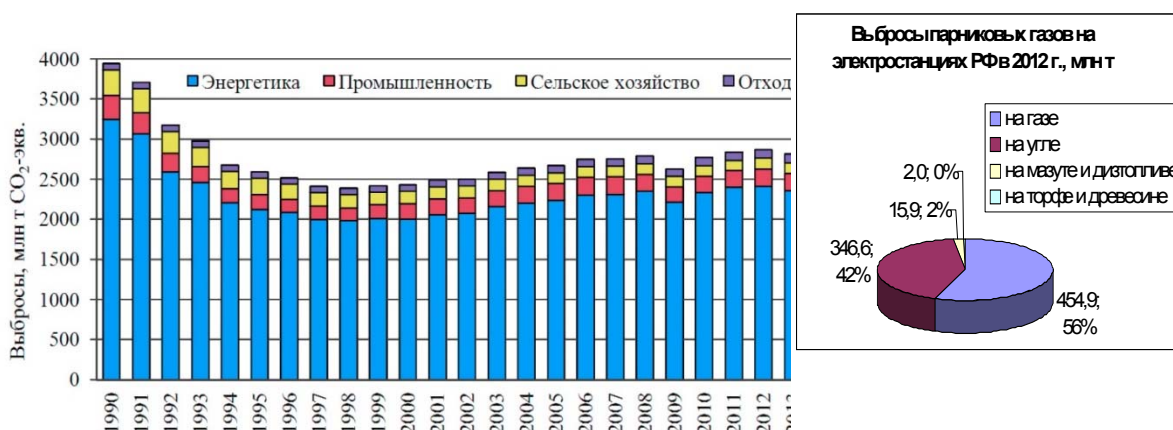


Рис. 6. Распределение выбросов парниковых газов по отраслям экономики России и видам энергоносителей

Согласно приведенным данным, вклад энергетического сектора России при производстве и использования ископаемого твердого, жидкого и газового топлива во всех отраслях экономики России в выбросы парниковых газов составлял в 2013 г.  $\approx 84\%$ . При активном развитии экономики и энергоемких производств в России выполнение установок GEIDCO по сдерживанию выбросов парниковых газов без широкомасштабного использования ВИЭ представляется трудновыполнимым.

Пока, по мнению авторов, роль российских компаний и страны в целом в создании целевой картины и технологической основы энергетики будущего пассивна. Но Российской Федерации придется и необходимо в ближайшее время определяться со своей позицией в отношении мировой энергетической стратегии, принятой GEIDCO.

#### Список литературы

1. The Proceedings of 2016 Global Energy Interconnection. Global Energy Review and Outlook, Beijing, 2016.



**О РЕЗУЛЬТАТАХ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗРАБОТКИ БЕЗТОПЛИВНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ  
THE RESULTS AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT FUEL-FREE  
AUTONOMOUS POWER SUPPLY SOURCES OF NEW TYPE**

**Сон Э.Е., 1; Кудряшов Ю.И., 2; Николаев В.Г., 2; Николаев В.В., 2**

1: Объединенный институт высоких температур РАН

2: Научно-информационный центр «АТМОГРАФ», Россия, г. Москва

**Son E.E., 1; Nikolaev V.G., 2; Kudryashov Yu.I., 2; Nikolaev V.V., 2**

1: Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences IHT RAS

2: Research & Information Center «ATMOGRAPH», Moscow, Russia

Материалы и выводы представленного доклада основаны на результатах исследования и разработки объединенного коллектива ИВТАН РАН и Научно-информационного Центра "АТМОГРАФ" схемы автономного безтопливного источника электрической и тепловой энергии (БИЭС), построенного на базе передовых российских и мировых технологий получения сжатого воздуха с использованием ветроэнергетической установки (ВЭУ) нового типа и его пневматического преобразования, аккумулялирования и использования в качестве энергоносителя для гарантированного безтопливного получения электроэнергии и тепла. Работа выполняется в рамках Программы РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития арктической зоны РФ».

В ходе работы получены следующие результаты. Разработана рабочая схема экспериментального лабораторного стенда с электромеханическим приводом, моделирующим работу ВЭУ с переменной во времени мощностью. Электромеханический привод обеспечивает отработку прототипа БИЭС малой мощности ( $\approx 10$  кВт) на базе компрессора высокого давления (до 150 - 250 атм) с системой охлаждения и осушения воздуха, ресивера высокого давления большой емкости с давлением до 250 атм, системы понижения давления и подачи энергоносителя (воздуха) из ресивера высокого давления в рабочую камеру постоянного низкого давления 8 - 10 атм, служащего рабочим телом для высокооборотной турбины (до сотни тысяч оборотов в минуту) и синхронного электрического генератора. Разработана принципиальная схема ветроэнергетической установки с механическим приводом, обеспечивающим работу компрессора высокого давления (до 150 - 250 атм) большой производительности.

В докладе представлены результаты разработки автономного безтопливного источника электрической и тепловой энергии (БИЭС), построенного на базе передовых российских и мировых технологий получения сжатого воздуха с использованием ветроэнергетической установки (ВЭУ) нового типа и его пневматического преобразования, аккумулялирования и использования в качестве энергоносителя для гарантированного безтопливного получения электроэнергии и тепла.

Актуальность создания БИЭС обусловлена необходимостью кардинального повышения автономности, надежности, экономичности, экологической безопасности энергоснабжения военных объектов на изолированных от централизованных сетей территориях РФ и отсутствием в России и в мире обоснованных научно-технических и практических решений проблем эффективного безтопливного энергоснабжения локальных изолированных потребителей энергии, в том числе в суровых климатических условиях России. Актуальность для страны в случае решения поставленных в работе задач связана с возможностью существенного снижения зависимости от поставок дорогого дизельного топлива, повышения энергетической автономности и экологической безопасности объектов военного назначения.

Проведенное авторами исследование нацелено на разработку научных принципов, практических технических решений и опытного образца автономного безтопливного источника энергии (БИЭН), построенного на базе передовых российских и мировых технологий получения сжатого воздуха с использованием ВЭУ нового типа и его пневматического преобразования, аккумулялирования и использования в качестве энергоносителя для гарантированного получения электрической и тепловой энергии.

В ходе предварительной разработки НИР силами ИВТАН и НИЦ "АТМОГРАФ" в общих чертах разработаны физические принципы и принципиальная схема БИЭН; определены физико-технические и энергетические параметры его элементов и требований к ним; разработан проект экспериментального прототипа БИЭН малой мощности ( $\approx 10$  кВт), допускающего дальнейшее масштабирование; оценены стоимостные параметры экспериментального и серийных образцов, примерная емкость отечественного рынка БИЭН; оценены суммарный экономический и экологический эффекты их внедрения. Полученные результаты обосновывают и подтверждают техническую и экономическую целесообразность разработки и отечественного производства БИЭН.

Основными проблемами и соответственно этапами разработки БИЭН является теоретическое и экспериментальное исследование:

- климатических факторов, ветроэнергетического потенциала (ВЭП) арктической зоны России применительно к разработке ВЭУ в северном исполнении и аккумулирующих энергию пневматических систем новых типов и назначения;

- разработка принципиальных схем и технического облика ВЭУ для работы в ветроклиматических условиях российской Арктики;

- разработка принципиальных и технических схем высокоэффективных систем и технологий получения сжатого воздуха и его пневматического преобразования, аккумулирования и использования в качестве эффективного энергоносителя для получения электрической и тепловой энергии;

- техническое подтверждение возможности практической реализации теоретически полученных научно-технических принципов на основе разработки функциональной схемы и создания опытного образца энергетического комплекса электрической мощности  $8 \div 10$  кВт;

- технико-экономического обоснование использования БИЭН для энергоснабжения населенных пунктов и портов Северного Морского Пути с учетом установленных в работе местных ветро-климатических факторов и параметров энергоснабжения; определения объема рынка сбыта разрабатываемого БИЭН.

Эффективность и достоверность результатов работы обеспечивается использованием достоверных методик определения климатических характеристик ВЭП и эффективности ВЭУ в условиях российского Заполярья и выбором на этой основе оптимального состава и параметров БИЭН.

В ходе работы авторами были получены следующие результаты.

Применительно к определению технических требований к ВЭУ и системам аккумулирования сжатого воздуха проведена разработка методик моделирования временной и пространственной изменчивости ВЭП в полярных районах. Разработанные методики определения временной краткосрочной (масштабов от минут до суток) и сезонной и пространственной (территориальной и высотной) изменчивости и модели ветро-климатических условий и ВЭП в опорных пунктах Северного Морского Пути основаны на физико-статистическом моделировании на базе комплексного использования данных о пограничном слое атмосферы (давлении, температуре, плотности, влажности, ветре, турбулентности, опасных для техники метеорологических явлениях и пр.) и геофизических характеристиках Земли (рельефе, подстилающей поверхности, грунтах, вечной мерзлоты и пр.), полученных и получаемых в ходе многолетних сетевых и специальных краткосрочных метеорологических, аэрологических (шаропилотных), спутниковых, экспедиционных геологических и геофизических изысканий [1, 2].

Ветровой режим в исследуемой в данной работе заполярной зоне России определялся и оценивался теоретически моделированием ВЭП и мощности ВЭУ по данным измерений ветра и термодинамических параметров ПСА на сети

государственных метеорологических (числом до 600) и аэрологических (около 60) станций России и бывшего СССР (базовые периоды от 10 до 40 лет) и специализированных под задачи ветроэнергетики краткосрочных (за 1 – 2 года) трехуровневых измерений на метеорологических мачтах в высотном диапазоне 10 – 60 м (ветровой разведки) в отдельных пунктах российского заполярья, проведенных в разные годы силами РАО ЭС Востока [2].

Разработанные методики обеспечивают теоретическое высокоточное (с погрешностью не выше 15–18 %) моделирование параметров ВЭП в любой заданной координатной точке на территории российского заполярья и определение параметров временной изменчивости с масштабами от нескольких минут до сезонных и межгодовых. Для примера на рисунках 1 и 2 приведены графики рассчитанных средних многолетних сезонных вертикальных профилей и функций распределения скоростей ветра в районе Тикси, а также результаты исследования кратковременных (с минутным и суточным масштабом) пульсаций скоростей ветра.

На базе разработанной методики в исследуемых пунктах определены ветро-климатические условия функционирования и технические характеристики и требования к базовым ВЭУ, а также определены с учетом графиков нагрузки необходимые объемы и технические параметры системы аккумулирования сжатого воздуха и компрессорных установок для прототипа БИЭН для получения электроэнергии и тепла с использованием сжатого воздуха как энергоносителя.

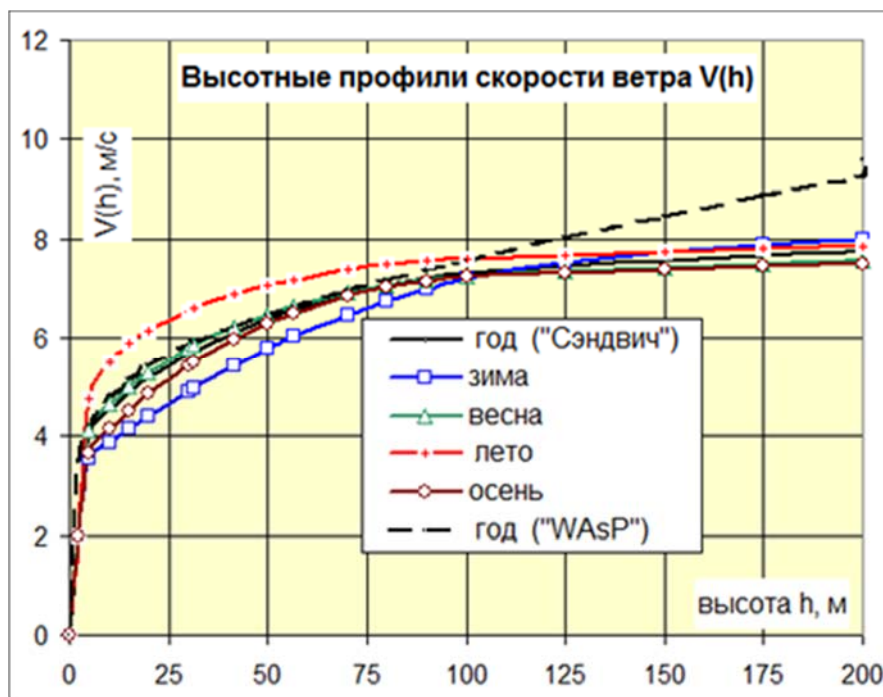


Рис.1. Расчетные высотные профили скорости ветра  $V(h)$  в районе п. Тикси

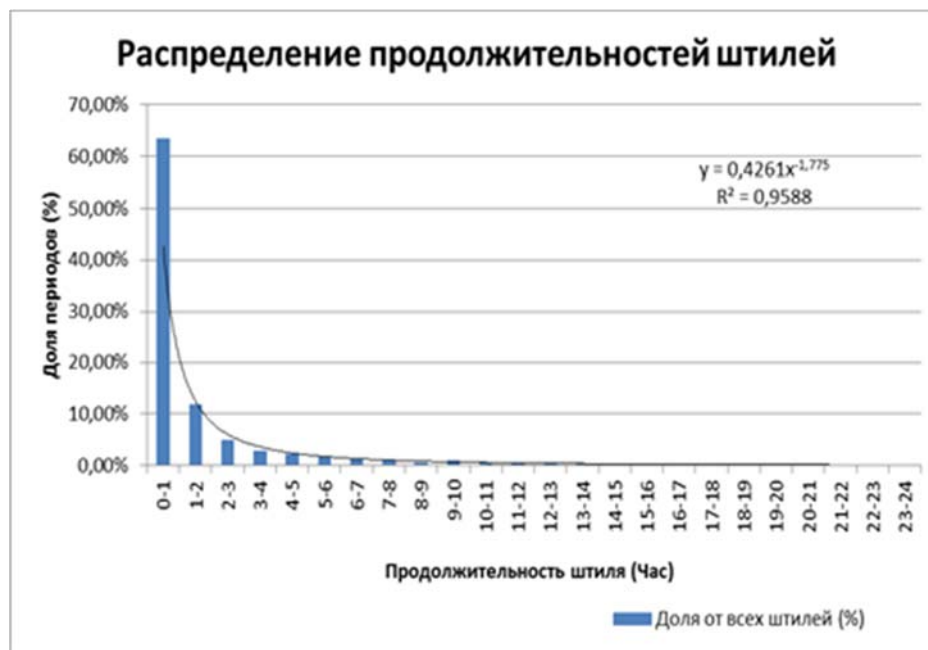


Рис.2. Плотность вероятности распределения длительности штилей в районе п. Тикси

Основными результатами и выводами этапа разработки методики моделирования и определения с ее помощью пространственно–временной структуры ВЭП и климатических условий функционирования заполярных БИЭН на базе ВЭУ и систем аккумулирования сжатого воздуха, а также конструкционных и технических требований к ним явились:

– ВЭП в большинстве пунктов СевМорПути (Диксон, Тикси, Певек, м. Шмидта, Анадырь) достаточен по международным критериям для эффективного промышленного освоения.

– Для разработки заполярных БИЭН требуется создание специализированных под северные ветроклиматические и геофизические условия (низкие температуры, высокая турбулентность, вечная мерзлота и пр.) отсутствующих в настоящее время ВЭУ и технологий работы с ними.

– Функции вероятности распределения ветра по скоростям, установленные в работе статистическим анализом временных рядов многолетних метеорологических и аэрологических 4-х и 8-ми срочных сетевых измерений и краткосрочных данных ветровой разведки с 10-минутным разрешением, позволили установить с высокой достоверностью длительность интервалов с достаточной мощностью ветра, а также периодов ветроэнергетических затиший (с длительностью, варьирующейся вдоль Северного Морского Пути и в разные сезоны от 36 до 72 часов.

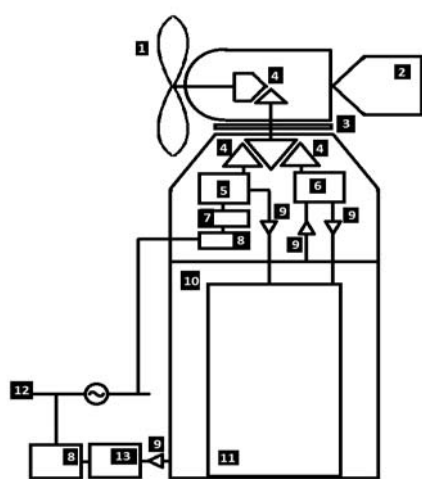
В плане разработки физических принципов, принципиальной схемы БИЭН и определение технических параметров его элементов и требований к ним проведены работы по разработке принципиальной схемы БИЭН на базе ВЭУ и систем аккумулирования, подачи и преобразования сжатого воздуха и получены следующие результаты:

– На основе анализа графиков потребления электроэнергии и тепла промышленными и жилыми объектами российского заполярья установлены критерии оценки энергетической эффективности и требования к техническим и энергетическим характеристикам БИЭН в целом и их принципиальным составляющим.

– Разработана функциональная схема БИЭН на базе ВЭУ и пневматического преобразования энергии ветра в электроэнергию и тепло для работы в условиях российской Арктики и поэлементный ее состав (рис. 3).

– Определены основные физико-технические и энергетические параметры основных компонент (технические характеристики и мощности ветроэнергетической установки, необходимые объемы системы аккумулирования, технических параметров пневмодвигателя и электрогенератора) прототипа ИГАЭС.

– Проведен информационный поиск аналогов отдельных элементов, составляющих основу БИЭН (ВЭУ, воздушных компрессоров различного типа, газгольдеров высокого давления, регулирующих давление аппаратуры, пневмодвигателей поршневого и турбинного типа, электрических генераторов, систем преобразования и контроля качества электроэнергии) и проведен анализ их энергетических характеристик и оценки возможных потерь в каждом из них и их совокупности в целом [3, 4].



- 1 – высокомоментное ветроколесо
- 2 – хвостовое устройство, либо заменяющий хвост поворотное устройство
- 3 – поворотное колесо
- 4 – механические редукторы
- 5 – компрессор низкого давления 1-1.5 МПа
- 6 – бустер 10-15 МПа
- 7 – высокооборотная турбина (до 100000 об./мин)
- 8 – электрогенераторы
- 9 – саморегулирующиеся пневморедукторы
- 10 – ресивер низкого давления 1 - 1.5 МПа
- 11 – ресивер высокого давления 10 -15 МПа
- 12 – электросеть потребителя
- 13 – пневмодвигатель

Рис. 3. Принципиальная схема БИЭН

На основе проведенного информационного анализа было установлено:

– Разработанные аналоги предлагаемой схемы БИЭН отсутствуют. Аналоги составляющих основу БИЭН отдельных элементов (ВЭУ, компрессоров, газгольдеров и редукторов высокого давления, пневмодвигателей, электрогенераторов и пр.) разработаны, производятся, и широко представлены на рынке и могут быть использованы для разработки экспериментального прообраза БИЭН. Возможные варианты их типоразмеров, состава и компоновки в прообразе БИЭН многочисленны и допускают большие возможности для энергетической и экономической оптимизации.

– Для разработки заполярных БИЭН требуется создание отсутствующих в настоящее время ВЭУ, специализированных под схему БИЭН (высокий развиваемый момент и избыточная по сравнению с потребляемой мощностью), допускающих возможность строительства и обладающих высокой технической готовностью, эксплуатационными и ремонтными характеристиками в условиях российского заполярья (низкие температуры, высокая порывистость ветра, вечная мерзлота и пр.).

– Мощность ВЭУ и системы аккумулирования, подачи и преобразования энергоносителя для БИЭН (сжатого воздуха) должны обеспечивать гарантированную выработку электрической энергии и, по возможности, тепла по заданному графику нагрузки в течении всего года, в том числе в периоды безветрия и слабого (менее требуемой потребителю мощности) ВЭП с длительностью, варьирующейся для разных пунктов вдоль СевМорПути от 36 до 60 часов.

– Проведенные термодинамические оценки показывают, что для БИЭН гарантированной мощности 100 кВт объем сжатого до 100 - 150 атм воздуха, запасенного на случай 48 часового (2-х суточного) безветрия составит 2400 - 160 м<sup>3</sup>.

– Современные компрессорные установки высокого давления, наиболее перспективными из которых для БИЭН могут оказаться поршневые или винтовые, имеют КПД порядка 0.7. Соответственно минимальная мощность, передаваемая от ВЭУ на вал двигателя компрессора БИЭН с гарантированной мощностью 100 кВт, обеспечивающая покрытие графика нагрузки, должна составлять около 200–220 кВт, а с учетом установленной для запыляемых вероятности длительных затиший и энергетической эффективности ВЭУ, двигатель компрессора должен быть обеспечен примерно 1,5–кратным запасом мощности, то есть порядка 300 – 330 кВт.

Согласно проведенным оценкам экономических показателей разработанной схемы ИГАЭС и их сравнения с альтернативными способами энергоснабжения, удельные (на 1 кВт установленной мощности) капитальные затраты БИЭН на базе ВЭУ с механическим приводом и пневматической аккумуляцией и преобразованием энергии может оказаться примерно на 20 – 25 % ниже, чем у наиболее часто рассматриваемых ветродизельных комплексов (ВДК) с электрическими аккумуляторами.

Удельные казатраты на БИЭН предлагаемой схемы окажутся в 2–3 раза выше, чем у ВДК и ГТУ без систем аккумулирования энергии, однако с учетом их топливной составляющей (от 10 руб./кВт·ч и выше) во многих пунктах российского севера себестоимость электроэнергии БИЭН может оказаться в 1,5 – 2 раза ниже таковой у ДЭС.

Ввиду полученных в данной НИР результатов, подтверждающих перспективность предложенной принципиальной схемы БИЭН на базе ВЭС и систем пневматического аккумулирования и преобразования энергии, представляется целесообразным продолжить научно-техническую и конструкторскую разработку схемы БИЭН и ее экономическое обоснование. Для технического подтверждения возможности и практической реализуемости теоретически полученных научно-технических принципов и результатов предлагается разработать экспериментальный образец БИЭН электрической мощности 8 ÷ 10 кВт.

Полученные результаты подтверждают техническую и экономическую целесообразность создания безтопливного энергоисточника нового типа на базе ВЭУ и систем пневматического аккумулирования и преобразования энергии.

### Список литературы

1. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов РФ и методические основы их определения. “Атмограф”, М., 2008, 590 с.
2. Николаев В.Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития и использования ветроэнергетики в России. “Атмограф”, 2011. 502 с.
3. Шефтер Я.И. Ветроэнергетические агрегаты. М., “Машиностроение”, 1972, 288 с.
4. Wind Energy – The Facts. A Guide to the Technology, Economics and Future of Wind Power. European Wind Energy Association (EWEA). Earthscan. London. 2009.

**ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КРЫМУ  
ГАЗОПОРШНЕВЫХ, ВЕТРОВЫХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ И СЖИЖЕННОГО ГАЗА  
OF THE EFFICIENCY OF COMPLEX USE GAS PISTON, WIND AND  
PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS FOR ENERGY AND LPG PRODUCTION IN  
CRIMEA**

**Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В.**  
Научно-информационный центр «АТМОГРАФ», Россия, г. Москва

**Nikolaev V.G., Ganaga S.V., Kudryashov Yu.I., Nikolaev V.V.**  
Research & Information Center «ATMOGRAPH», Moscow, Russia

В докладе изложены результаты анализа ресурсных и технологических условий и эффекта совместного использования энергетических комплексов (ЭК) на базе газопоршневых (ГПУ) и ветровых (ВЭУ) и фотоэлектрических (ФЭУ) энергоустановок (ЭКГВ и ЭКГФ соответственно) для повышения эффективности энергоснабжения обеспеченных газом и возобновляемыми ресурсами районов России и рационального использования газа. Задача решалась с использованием разработанной авторами методики определения технико-экономических показателей ЭКГВ и ЭКГФ, работающих по заданным графикам нагрузки с учетом энергоэффективности ВЭУ и ФЭУ. Результаты исследования относятся к эффективности использования ЭКГВ и ЭКГФ в условиях г. Керчь (Крым). Выявлены оптимальные варианты типоразмеров ГПУ, ВЭУ и ФЭУ и соотношения их мощностей в составе ЭКГВ и ЭКГФ, обеспечивающие наибольшую экономию и эффективность использования газа и наилучшие их экономические показатели.

Полученные результаты обосновывают вывод авторов о том, что в районах России с большими солнечными и ветровыми ресурсами и местными источниками газа возможно экономически эффективное использование энергокомплексов на базе ГПУ, ВЭУ и ФЭУ и установок для производства сжиженного газа для покрытия дефицита электроэнергии и наращивания базовых и пиковых электрических мощностей и решения задач газификации местных производств и населения.

Крым является идеальным полигоном для эффективного использования ветровой и солнечной энергетики. На большей части побережья Крыма коэффициент использования установленной мощности (Киум) современных ВЭУ превышает 30% с себестоимостью вырабатываемой ими электроэнергии (ЭлЭн) менее 0,06 долларов США (\$) за 1 кВт·ч. Суммарная солнечная радиация на всей территории Крыма превышает 1350 кВт·ч/м<sup>2</sup>, что дает возможность эффективного использования ФЭУ. Крым также обладает местными источниками и производством газа [1, 2].

Для расчета взята ГПУ с двигателями ГДГ49 совместного отечественного производства компаний "Трансмашхолдинг" номинальной мощности 2.25 МВт, обладающая ресурсом в 90 тысяч часов до капремонта, низкими затратами на обслуживание и расходом газа, доступностью запчастей, возможностью работы с мощностями до 10% от номинальных, высокой маневренностью. Дефицит мощности в Керчи (30 МВт) могут обеспечить 10–12 ГПУ этого типа.

Наличие ВЭУ и ФЭУ в составе ЭК ведет к уменьшению потребной мощности ГПУ на величину их мощности, а при достаточно большой их мощности (при высоких скоростях ветра и значениях солнечной инсоляции) – к полному замещению мощности ГПУ с их выводом в горячий режим с соответствующей экономией газа.

Используемые в расчетах значения суточного и сезонного хода мощности ФЭУ номинальной мощности, равной мощности ГПУ, определенные по данным многолетних измерений поступления солнечной энергии на актинометрической станции в Керчи. Используемые в расчетах значения суточного и годового хода мощности ВЭУ определяются функциями распределения ветра по скоростям и рабочими характеристиками ВЭУ.

Базовой для ЭКГВ выбраны действующие в Крыму ВЭУ FL 2500 (номинальной мощности 2.5 МВт со 100-метровой башней) производства компании Фурландер Технолоджи (Украина).

Экономическая целесообразность ввода ВЭУ и ФЭУ в ЭК достигается за счет экономии и эффективного использования газа, поясняемая данными о вероятности работы ГПУ в Керчи в июле с разной мощностью (табл.1), рассчитанной с учетом суточных вариаций мощности ВЭУ при равных номинальных мощностях ГПУ  $P_{ГПУ}$  и ВЭУ  $P_{ВЭУ}$  (параметр  $\varepsilon = P_{ГПУ}/P_{ВЭУ} = 1$ ).

Таблица 1. Вероятности мощностей ГПУ и ВЭУ

Час	Диапазон скоростей в градациях, м/с							$K_{иум}, \%$
	< 4 и > 25	4,0 - 5,99	6,0 - 7,99	8,0 - 9,99	10,0 - 11,99	12,0 - 13,99	14,0 - 25	
0	20,0	24,1	22,9	16,3	9,5	4,5	2,6	24,7
2	23,0	24,8	22,5	14,9	8,3	4,1	2,4	24,6
4	16,0	23,9	24,6	18,3	10,5	4,4	2,5	28,5
6	15,0	21,5	22,0	17,8	12,0	6,5	5,2	32,6
8	14,5	20,8	21,5	17,7	12,5	7,0	6,0	33,9
10	15,0	21,5	22,0	17,8	12,0	6,5	5,2	32,7
12	15,4	22,2	22,7	17,9	11,5	5,9	4,3	31,3
14	15,4	22,2	22,6	17,9	11,5	5,9	4,4	31,4
16	14,9	21,4	21,9	17,8	12,1	6,6	5,3	32,8
18	14,3	20,7	21,4	17,7	12,6	7,1	6,2	34,2
20	14,9	21,3	21,8	17,8	12,1	6,6	5,4	33,0
22	15,9	23,8	24,5	18,2	10,5	4,5	2,6	28,7
23	20,0	24,1	22,9	16,3	9,5	4,5	2,6	26,7
Среднее	16,3	22,3	22,4	17,5	11,3	5,9	4,4	30,7
$K_{иум}$ ГПУ, %	62,5	55,9	36,8	3,8	0	0	0	

Согласно расчетам ГПУ за средние многолетние июльские сутки проработают с  $K_{иум}$ , равным 62,5%, 55,9%, 36,8% и 3,8% с вероятностью соответственно 16,3%, 22,3%, 22,4% и 17,5%, а с вероятностью 21,6% ГПУ могут быть выключены при полном покрытии их нагрузки мощностями ВЭУ.

Дополнительная экономия газа достигается за счет работы ГПУ на оптимальных режимах работы в диапазоне их  $K_{иум}$  от 50 до 100% за счет комплектования ЭКГВ несколькими ГПУ и системой управления, своевременно (с учетом текущей мощности ВЭУ) выключающей или включающей в работу большее или меньшее число ГПУ для обеспечения их оптимальной мощности.

Выбор оптимального состава ЭК для Керчи обеспечен за счет использования компьютерных баз данных ветровых ("Флюгер XXI") и актинометрических ("Фаэтон") и программы "Восток" (© НИЦ "Атмограф") [3].

Критериями экономической эффективности выбраны дисконтированная себестоимость ЭлЭн  $СбС_{элэн}$ , период окупаемости ЭК  $T_{ок}$  и доход проекта  $ЧДД$ .

Согласно проведенному анализу рыночных цен капиталзатраты на ГПУ, ВЭУ и ФЭУ приняты равными 900, 1300 и 650 \$/кВт.

Дисконтированные удельные затраты на эксплуатацию ГПУ рассчитаны в предположении строительства ЭК с 20-летним ресурсом в 2018 году и его работы в 2019–2038 годы с коэффициентом дисконтирования  $r=0.12$ . Дисконтированные затраты на газ определены по его цене в 2016 г. 5000 руб./кг с НДС.



Доход от продажи ЭлЭн ЭК исчислен исходя из тарифов на ЭлЭн для предприятий Крыма в 2016 г. равных 3.30 руб./кВт·ч.

Согласно методическим расчетам, минимальная дисконтированная себестоимость ЭлЭн ЭК достигается при соотношении мощностей пакетов ПГУ 1.0:0.8:0.60:0.2:0.05, отключаемых или включаемых с учетом текущей мощности ВЭУ или ФЭУ при заданных минимальных мощностях пакетов ГПУ (в % от номинальных), равных соответственно 50:50:50:35:10%.

На рис. 1 – 4 приведены показатели ЭК для разных соотношений суммарных мощностей ПГУ, ВЭУ и ФЭУ, рассчитанные для вариантов использования ЭК только для покрытия электрической нагрузки с потерей избыточной (по отношению к графику нагрузки) ЭлЭн ВЭУ или ФЭУ (вариант А), и с реализацией последней для нагрева воды электрическими тэнами в котельных Керчи по цене себестоимости тепловой энергии (ТЭн) ( $\approx 1.10$  руб./кВт·ч в 2016 г.) (вариант Б).

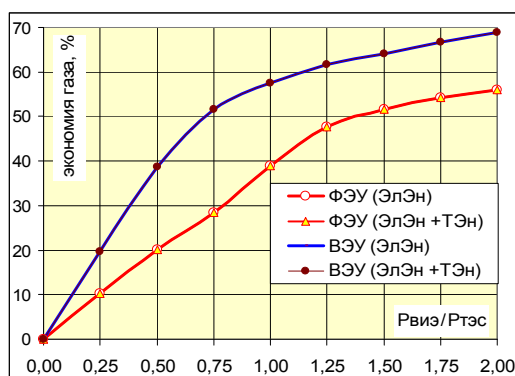


Рис. 1. Зависимость замещения газа от параметра  $\epsilon = P_{\text{ВЭУ}}/P_{\text{ТЭС}}$

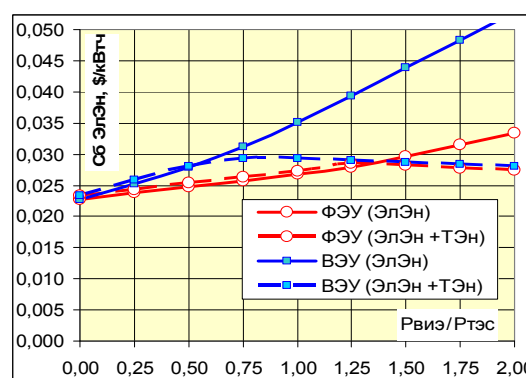


Рис. 2. Зависимость себестоимости ЭлЭн ЭК на базе ВЭУ или ФЭУ от параметра  $\epsilon$

Согласно расчетам использование ЭКГВ и ЭКГФ приводит к экономии (замещению) газа, увеличивающейся с ростом параметра  $\epsilon$ , и достигающей 70% и 57% при использовании ЭКГВ и ЭКГФ при  $\epsilon = 2$  (рис. 1).

Но, использование ВЭУ и ФЭУ в составе ЭК приводит к росту сроков окупаемости и себестоимости ЭлЭн и уменьшению дисконтированного дохода проекта ЭК (рис. 2, 3, 4) и потому нецелесообразно с точки зрения их собственников и инвесторов при значительном (до 70% и 57% при  $\epsilon=2.0$ ) сбережении газа, растущим с увеличением доли ВЭУ и ФЭУ.

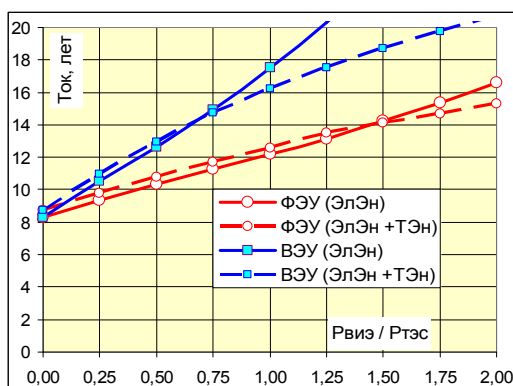


Рис. 5. Зависимость Ток (периода окупаемости ЭК) от параметра  $\epsilon$

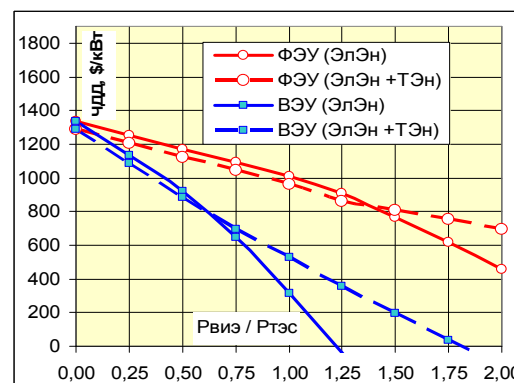


Рис. 6. Зависимость чистого дисконтированного дохода ЧДД от параметра  $\epsilon$

Перспективным направлением использования в Крыму ПГУ с ВЭУ или ФЭУ может оказаться производство сжиженного природного газа (СПГ), используемого для газификации потребителей, удаленных от источников газоснабжения, в сельском хозяйстве как дешёвого топлива для транспорта, энергоснабжения, устройства холодильников для заморозки продукции [1].

Производство оборудования для получения, хранения, транспортировки и использования СПГ налажено в России (ОАО "Гелиймаш" и "Криогенмаш", НПО «Криотехника», ЦСКБ «Прогресс»).

Известно, что наиболее эффективным является производство СПГ на базе газораспределительных сетей при наличии собственной генерации ЭлЭн (случай ГПУ с ВЭУ и ФЭУ), поскольку себестоимость производства СПГ ( $\approx 10$  руб./кг) во многом определяется потреблением ЭлЭн (0,6 – 1 кВт·ч на 1 кг СПГ).

Предлагаемая идея основана на использовании избыточной к графику нагрузки ЭлЭн ВЭУ и ФЭУ для энергоснабжения производства СПГ.

На рис. 5 – 7 представлены результаты расчетов, при которых вся избыточная энергия ЭК тратится на производство СПГ (на графиках обозначены как "ВЭУ(ЭлЭн)+СПГ" и "ФЭУ(ЭлЭн)+СПГ").

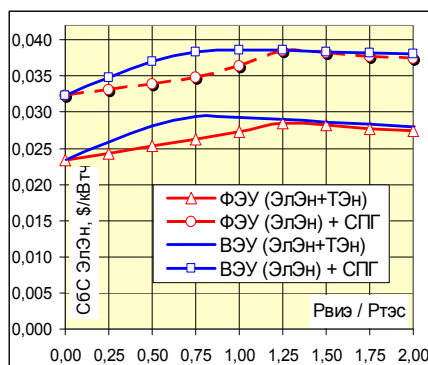


Рис. 7. Зависимость себестоимости ЭлЭн ЭМкС от параметра  $\epsilon = P_{\text{виз}}/P_{\text{тэс}}$

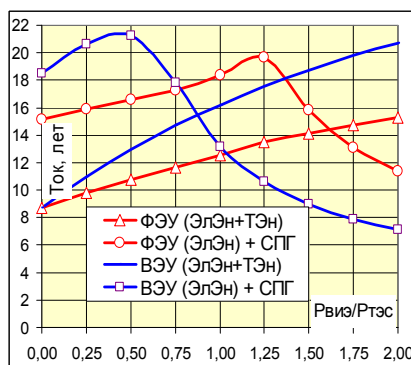


Рис. 8. Зависимость Ток (периода окупаемости ЭК) от параметра  $\epsilon$

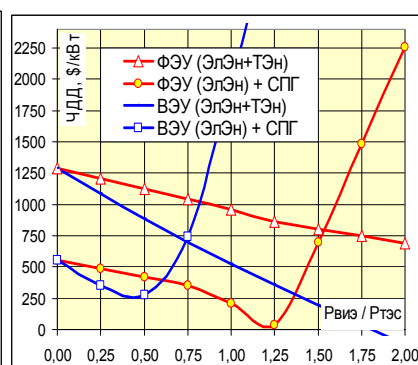


Рис. 9. Зависимость ЧДД (чистого дисконтированного дохода) от параметра  $\epsilon$

В этом случае ЭК потребляет газа больше, чем ЭК без ВЭУ и ФЭУ при отсутствии производства СПГ, а недостающий для полного использования ЭлЭн ЭК газ закупается по оптовым ценам 5,00 руб./м<sup>3</sup> в ценах, приведенных к 2016 году. Расчеты проведены для параметров, принятых при расчете вариантов без производства СПГ. Цены на реализуемый СПГ, полученный на ЭК, на 2015 г. приняты равными 20 руб./кг с учетом розничных цен на СПГ, реализуемый «Крымгазсети» и имея ввиду конкурентоспособность СПГ ЭК на рынке.

Согласно рис. 5 себестоимость ЭлЭн ЭКГВ и ЭКГФ, работающих на производство ЭлЭн и СПГ, во всем диапазоне изменения параметра  $\epsilon$  от 0 до 2 оказывается на 33 – 35 % выше, чем у ЭК с когенерационной реализацией ЭлЭн, что обусловлено ростом капитальных и эксплуатационных затрат на установках по производству СПГ. То есть по критерию  $Сбс_{\text{ЭлЭн}}$  производство СПГ на ЭК не представляет интереса и для потребителя (из-за грозящего роста тарифов), и для производителя ЭлЭн (из-за неконкурентоспособности подорожавшей ЭлЭн). Однако, рисунки 6 и 7 свидетельствуют о возможностях достижения положительного экономического эффекта для всех участников процесса выработки энергии на ЭК с попутным производством СПГ при условии их объединения в одном лице.

В этом случае при отсутствии ограничения на использование газа при больших значениях параметра  $\epsilon$  периоды окупаемости ЭК, производящих СПГ, окажутся меньше,

чем без СПГ (обозначены как "ВЭУ и ФЭУ (ЭлЭн)+СПГ)" на рис. 6), а ЧДД – больше (рис. 7). При этом часть доходов может быть использована для компенсации тарифов на ЭлЭн.

Таким образом, для ЭКГВ и ЭКГФ в условиях Керчи (и других районах Крыма), обладающих правом производства и продажи ЭлЭн и СПГ, предлагаемый вариант с производством СПГ может быть экономически привлекательным.

**Вывод:** в районах России с большими солнечными и ветровыми ресурсами и местными источниками газа возможно экономически эффективное использование ЭК на базе ГПУ, ВЭУ и ФЭУ и установок для производства сжиженного газа для покрытия дефицита и наращивания базовых и пиковых электрических мощностей и решения задач газификации местных производств и населения.

### Литература

1. Николаев В. Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В. Об эффективности комплексного использования в Крыму газопоршневых, ветровых и фотоэлектрических установок для производства энергии и сжиженного газа. // Нефтегазовое дело. 15, № 2 2016. – с.141 - 146.
2. Кулаков А.В., Николаев В.В., Харченко В.В. О перспективах использования энергокомплексов на базе газопоршневых, ветровых и солнечных электростанций // Энергетик. – 2016. – № 6. – С. 55 – 63.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОВОГО АТЛАСА ВЕТРОВЫХ РЕСУРСОВ  
РОССИИ И СТРАН СНГ  
METHODICAL AND INFORMATION BASIS FOR THE NEW WIND RESOURCES  
ATLAS OF RUSSIA AND CIS COUNTRIES**

**Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В.**  
Научно-информационный центр «АТМОГРАФ», Россия, г. Москва

**Nikolaev V.G., Ganaga S.V., Kudryashov Yu.I., Nikolaev V.V.**  
Research & Information Center «ATMOGRAPH», Moscow, Russia

В докладе дан сравнительный анализ существующих отечественных и зарубежных методик определения характеристик ветроэнергетического потенциала (ВЭП). Наиболее достоверными из них оказываются теоретическая отечественная методика ФЛЮГЕР XXI (© НИЦ “АТМОГРАФ”). Она построена на статистическом моделировании параметров ВЭП и ветроэлектрических станций (ВЭС) по многолетним данным сетевых метеорологических станций (МС) и данным стандартных измерений ветра на аэрологических станциях (АС) России и стран СНГ на высотах 100, 200, 300 и 600 м и обеспечивает моделирования ВЭП на территории России и стран СНГ с погрешностью <13–16% для районов с равнинным и <18–25% – со сложным рельефом.

Ведущей зарубежной методикой определения ВЭП считается методика WASP (RISO, Дания), обеспечивающая приемлемую достоверность моделирования ВЭП и мощности ВЭС при наличии данных предварительных 1-2-летних измерений ветра на специализированных ветроизмерительных комплексах (ВИК). Авторами выявлены пределы применимости методика WASP, обусловленные ее чувствительностью к заданию характеристик поверхности и рельефа и к значениям используемых в качестве входных параметров модели метеорологических данных, и моделированием вертикальных профилей скорости ветра в приземном 200-метровом слое логарифмической функцией, применимость которой согласно известным исследованиям ограничена на высотах > 30 м.

С учетом полученных результатов актуальным представляется разработка нового Атласа ветров России на основе комбинации описанных в докладе методик.

В качестве основы нового Атласа ветроэнергетических ресурсов России, стран СНГ и Балтии принята трехслойная модификация модели “Сэндвич” на базе нового класса логарифмических функций вида:

$$V(z) = v^* \cdot \ln(1 + h/d),$$

аппроксимирующих профиль  $V(h)$  в слое от 0 до некоторой априори неизвестной высоты  $H^{Ln}$ , выше которой и до высоты 100 м (первый аэрологический уровень)  $V(h)$  аппроксимируется эллиптическими функциями с коэффициентами, определяемыми из условий гладкой сшивки с профилями на границе с нижним и верхним слоем, моделируемым кубическим сплайном. Коэффициенты  $v^*$  и  $d$  в функции (1) и высота  $H^{Ln}$ , определяются по данным о скорости ветра на высоте метеоизмерений и из условия минимума толщины вытеснения импульса  $\delta^{**}$ , численно определяемого варьированием высоты  $H^{Ln}$ . Условие минимума толщины вытеснения импульса  $\delta^{**}$  соответствует допущению авторов о реализации в пограничном слое атмосферы вертикальных профилей скорости, обеспечивающих минимальное трение ветровых потоков о земную поверхность, подтверждаемое численными методическими исследованиями авторов.

Предложено включить в Атлас новые характеристик ветрового потенциала: вероятности ветроэнергетического штелей и оценок энергетических показателей типовых ВЭУ с сезонным разрешением с указанием статистических погрешностей их определения. С учетом разработанных авторами методических подходов и накопленные баз данных о ветре на территории бывшего СССР за период 1960 - 1980 гг. география Атласа расширена до территории бывшего СССР.

Согласно Распоряжению Правительства 1-р от 08.01.2009 г. в России предполагалось построить ВЭС до 7 ГВт с годовой выработкой до 16,5 млрд кВт·ч. Необходимыми условиями для этого является максимально точное определение ветроэнергетического потенциала (ВЭП) на территории России.

В докладе дан анализ существующих теоретических и экспериментальных методик определения ВЭП [1]. Первые основаны на моделировании с использованием ранее накопленных разными методами данных: метеорологических, спутниковых, аэрологических. Вторые, широко используемые за рубежом, базируются на краткосрочных 1–2-х годовых многоуровневых (3 - 4-х) измерениях ветра на специализированных ветроизмерительных комплексах (ВИК) на мачтах высотой до 100

м с последующей обработкой полученных на ВИК данных совместно с данными многолетних измерений ветра на соседних метеостанциях.

Согласно [2] использование экспериментальных методик обеспечивает точность определения ВЭП и мощности ВЭУ до 10 % на расстоянии от ВИК до 2 – 5 км для равнинного рельефа и 1 – 2 км для холмистой местности (то есть для среднего рельефа измерения на ВИК обеспечивают заданную точность на площади не более 20 – 25 км<sup>2</sup>).

При оптимальном расстоянии между ВЭУ в составе ВЭС (8 – 10 диаметров их ротора [1]), наиболее экономичные ВЭС суммарной установленной мощности 7 ГВт на базе ВЭУ единичной мощности 2 – 3,6 МВт с диаметром ротора от 80 до 120 м займут площадь до 20 – 25 тысяч квадратных километров, что, согласно методическим указаниям [2] требует до 1000 измерений на ВИК в ближайшие годы стоимостью до 100 млн USD, что вряд ли реально в настоящее время. Отсюда следует важность развития теоретических методов определения ВЭП с существенно меньшими временными и материальными затратами.

Разработанные в мире и России методики моделирования ВЭП, использующие в основном 4 типа эмпирических данных (метеорологических, спутниковых, аэрологических и мачтовых) могут давать результаты, различающиеся количественно и даже качественно [1].

На наибольшую достоверность при оценке ВЭП России в приземном слое атмосферы до 200 м в настоящее время претендуют 2 методики: отечественная ФЛЮГЕР XXI разработки АНО НИЦ “АТМОГРАФ” и WASP-10-11 разработки Датского института RISO, считающейся наиболее авторитетной и достоверной в мире. Модель WASP и реализующий ее пакет программ служит базовым расчетным модулем многих распространенных в мире и в России компьютерных систем для проектирования ВЭС (WindFarmer, Resoft, Wind Farm и др.).

WASP основана на численной методике моделирования энергетических характеристик ветра и ВЭУ по данным многолетних измерений ветра на метеорологических станциях (МС) на высоте  $h^{\text{метео}} \approx 10\text{--}15$  м и их экстраполяции по логарифмическому закону на высоты до 200 м по данным соседней МС с использованием модельных значений масштабов шероховатости  $z_0$ .

С использованием методики WASP первых версий был разработан в 2000 г. русско-датский Атлас ветров России [3].

Методика авторов ФЛЮГЕР XXI (© НИЦ “АТМОГРАФ”) построена на статистическом моделировании параметров ВЭП и ВЭС по многолетним данным МС и данным стандартных измерений ветра на 146 аэрологических станциях (АС) бывшего СССР на высотах 100, 200, 300 и 600 м. Она составляет основу Кадастра ветроэнергетических ресурсов России [1].

Повышенная по сравнению с известными достоверность методики моделирования ВЭП между МС и выше высот метеорологических измерений на территории России, стран СНГ и Балтии (с погрешностью менее 13–16 % для районов с равнинным и < 18–25 % – со сложным рельефом [1]) обеспечивается использованием следующих новых методических подходов:

1. Экстраполяция данных с высоты  $h^{\text{метео}}$  (10 – 15 м) на высоты оси ветроколеса  $H_{\text{ВК}}$  (>70 м) заменена на намного более точную интерполяцию по данным МС и АС.
2. Характеристики ветра на высоте  $h^{\text{метео}}$  статистически моделируются по “очищенным” данным всех (до 50 и более) МС района в радиусе до 250 – 500 км от искомой точки.
3. Повторяемости ветра по скоростям определяются по данным всех МС и АС исследуемого района в радиусе от 500 до 700 км от исследуемой точки в отличие от WASP, определяющей эту характеристику по данным ближайшей МС.

Обоснование и сравнение достоверности методики НИЦ “АТМОГРАФ” с другими известными теоретическими методиками дано в работе [1].

Для высоты 100, 200, 300 и 600 м в местах расположения АС на территории бывшего СССР методика “АТМОГРАФ” использует результаты 10–20-летних аэрологических измерений, что дает возможность определения погрешности результатов моделирования других методик посредством сравнения их с экспериментальными данными.

Проведенный в [1] сравнительный анализ достоверности методик НИЦ “АТМОГРАФ” и WASP, показал, что модели WASP ранних версий, служившие основой разработки Атласа ветров [2], занижают среднегодовую скорость ветра на 50 м на 15 – 25%, существенно ограничивая перспективы использования ВЭС на территории России суммарной мощностью не более 4 – 5 ГВт.

Авторами проведено методическое исследование, выявившее погрешности модели WASP-10-11 последних версий, работающей с оболочкой WindFarmer разработки одной из ведущих в мире проектировочных ветроэнергетических компаний – Garrad Hassan, и возможностей ее развития в направлении повышения ее достоверности и точности, в том числе с использованием накопленных в России многолетних аэрологических данных.

Отличием последних версий WASP является возможность задания рельефа в исследуемом районе с использованием спутниковых данных Google Earth. Для уточнения влияния рельефа на результаты определения ветроэнергетических характеристик в WASP-10-11 используются данные о рельефе на площади 20x20 км. В связи с такой возможностью погрешности определения ВЭП из-за неправильного задания входных параметров в модели существенно уменьшены. Но по-прежнему, источником погрешности является возможный произвол на этапе трудоемкого преобразования спутниковых данных в графический и численный форматы, существенно зависящий от квалификации и опыта пользователя.

Известно [2, 3], что модель WASP ранних версий чувствительна к заданию моделируемого масштаба подстилающей поверхности условий  $z_0$ . Наиболее привлекательными для ветроэнергетики являются территории с малой шероховатостью класса 1 и 2 по классификации методологии WASP, для которых значения  $z_0$  меняются в диапазоне от 0.0001 до 0.003. Вполне возможные погрешности моделирования  $z_0$  в таких пределах могут приводить к значительным ошибкам в определении высотного профиля скорости ветра и, соответственно, функции распределения ветра по скоростям с ростом высоты.

Для количественной оценки возможных погрешностей при использовании модели WASP-10-11 проведены численные методические расчеты для ряда пунктов на территории России с разными значениями  $z_0$  при неизменных характеристиках рельефа и ветра. На рис. 1 для примера представлены результаты таких расчетов для условий в районе Барабинска.

Согласно расчетам возможные погрешности моделирования по WASP-10 значений параметра  $z_0$  в диапазоне от 0.0001 до 0.4 могут приводить к значительным неопределенностям определения скоростей ветра от 0.5 до 1,0 м/с, возрастающим с высотой (рис. 1). Так, неопределенность задания  $z_0$ , описывающего шероховатость класса поверхности от 1 до 3 по классификации методики WASP [3], дает разброс значений скорости ветра в Барабинске на высотах до 200 м около 2 м/с.

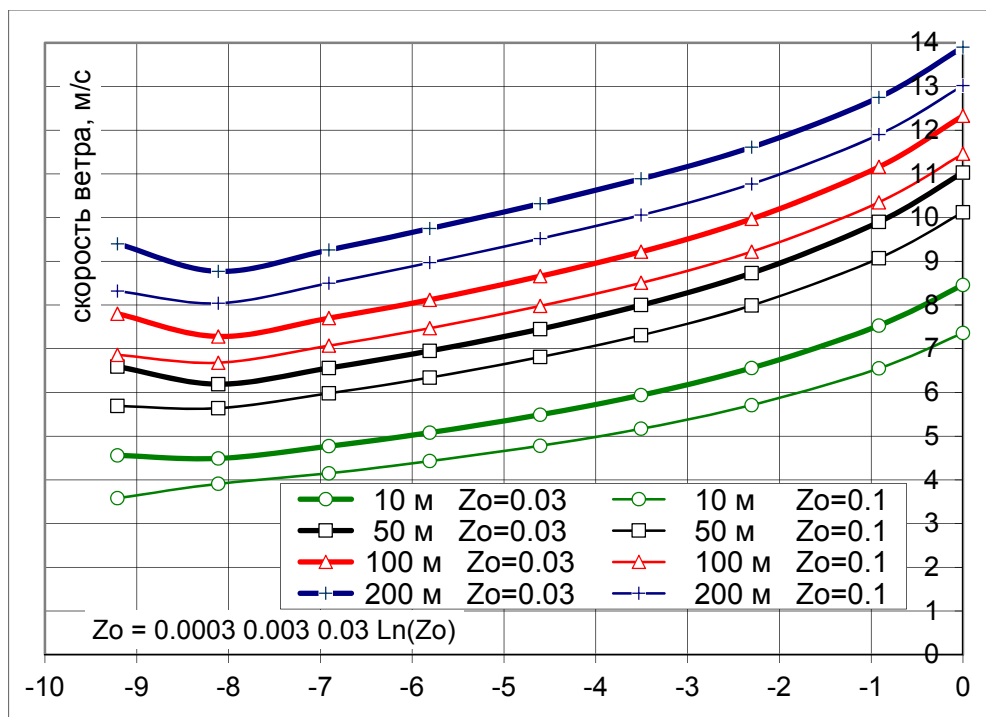


Рис. 1. Неопределенность расчета скорости ветра на разных высотах при разных значениях  $z_0$  в районе Барабинска

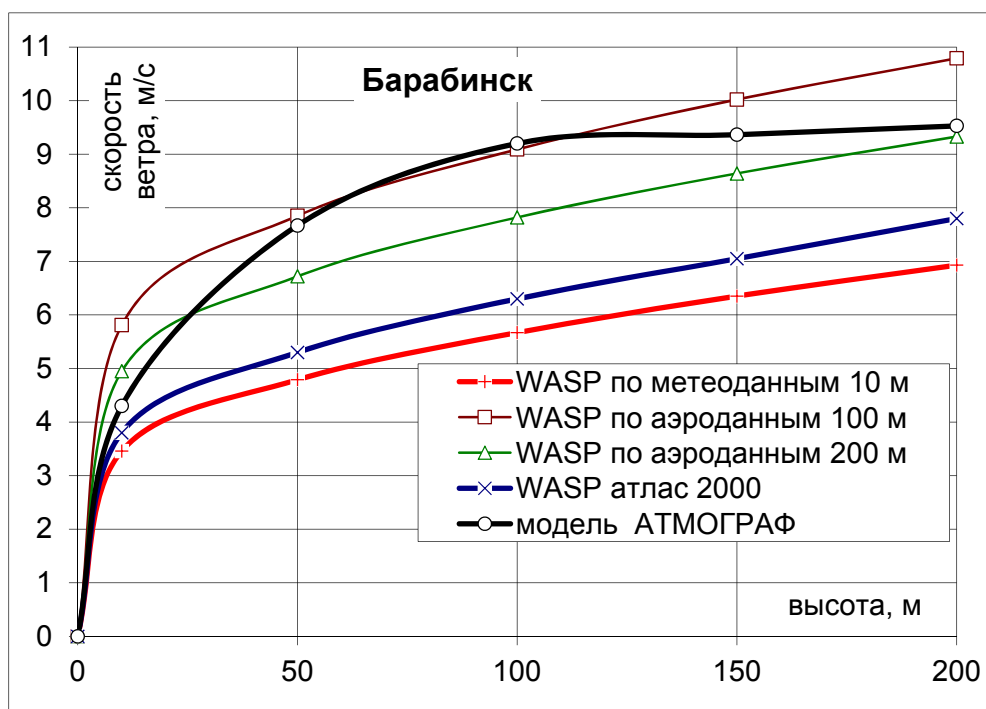


Рис. 2. Высотные профили скорости ветра в районе Барабинска, построенные по разным моделям

Наличие аэрологических данных на высотах 100, 200, 300, 600 м и выше дает принципиально новые возможности построения отечественных методик высокой достоверности [1], а также использовать их в качестве входных данных в модель WASP вместо данных метеорологических. В НИЦ “АТМОГРАФ” численно реализована такая возможность и с ее помощью проведены расчеты характеристик ветра для ряда пунктов

России, входящих в Атлас ветров [3] с учетом возможной неточности задания параметра  $z_0$ .

Использование в качестве входных данных в модель WASP-10-11 аэрологических данных на высотах 100 м вместо метеорологических (с высоты 10 м) позволяет точно определять скорость ветра на опорной высоте 100 м, отличающейся от определенной по метеоданным от 2 м/с на высотах до 30 м до 3 м/с и более на высотах более 50 м. При этом неточность задания  $z_0$  дает разброс значений скорости ветра по аэрологическим данным на высотах до 200 м до 2 м/с.

Таким образом, погрешность определения скорости ветра на высотах до 200 м по модели WASP-10-11 зависит от погрешности задания входных параметров ветра (скоростей и опорных высот) в больше, чем от погрешностей задания параметров шероховатости  $z_0$ .

Результаты моделирования скоростей ветра по аэрологическим данным и их сравнения с моделью по метеоданным для Барабинска приведены для примера на рисунке 2.

Полученные результаты позволяют утверждать, что WASP-10-11 при моделировании по аэрологическим данным, полученными на высотах 100 м, дает существенно более близкие к экспериментальным значения скорости ветра по сравнению с рассчитанными по моделям WASP-10-11 и WASP ранних версий по метеоданным в диапазоне высот от 50 до 120 м. На высотах 150 – 200 м наиболее близкие к экспериментальным значения скорости ветра дает WASP с использованием аэрологических данных с высоты 200 м. На высотах до 20 – 30 м большую точность обеспечивает WASP по метеоданным.

Расхождения результатов, получаемых по модели WASP, с данными аэрологических измерений обусловлены как минимум тремя обстоятельствами. Во-первых, попыткой моделировать реальные вертикальные профили скорости ветра в приземном 200-метровом слое атмосферы двухпараметрической функцией – логарифмом, применимость которой согласно ряду исследований [1, 3, 4] физически ограничена на высотах более 25 м. Во-вторых, высокой чувствительностью модели WASP к характеристикам рельефа и шероховатости поверхности и, в третьих, чувствительностью модели WASP к значениям используемых в качестве входных параметров модели метеорологических данных.

Отметим, что результаты моделирования высотных профилей скорости ветра по методике НИЦ “АТМОГРАФ”, построенной на статистическом моделировании по данным аэрологических измерений, дают гладкие профили скорости ветра во всем диапазоне высот, совпадающие на высотах 10, 100 и 200 м с данными метеорологических и аэрологических измерений. На промежуточных высотах скорости ветра по методике НИЦ “АТМОГРАФ” определяются интерполяционными методами, более точными, чем экстраполяционные, используемые в WASP.

Еще одной причиной возможных погрешностей моделирования по методике WASP является то, что она методически и аппаратно рассчитана на определение среднегодовых значений ветроэнергетических характеристик по среднегодовым значениям скоростей и функций распределения ветра, турбулентности, плотности воздуха и прочих параметров атмосферы без учета их годовых и сезонных вариаций. С математической точки зрения такие осреднения нелинейно связанных меж собой величин нам представляются (с учетом малости вносимых такими осреднениями погрешностей) недостаточно методически обоснованными.

Данные моделирования по модернизированной авторами методике WASP-10-11 коэффициентов использования установленной (номинальной) мощности ВЭУ ( $K_{иум}$  в %) по аэрологическим данным с высоты 100 м для трех разных ВЭУ: ВЭУ 1 – Siemens



114/3.0 MW, ВЭУ 2 – Mervento 118/3,6 MW, ВЭУ 3 – Sinovel 105/3,0 MW), гипотетически установленных в районе Барабинска, приведены на рисунке 3.

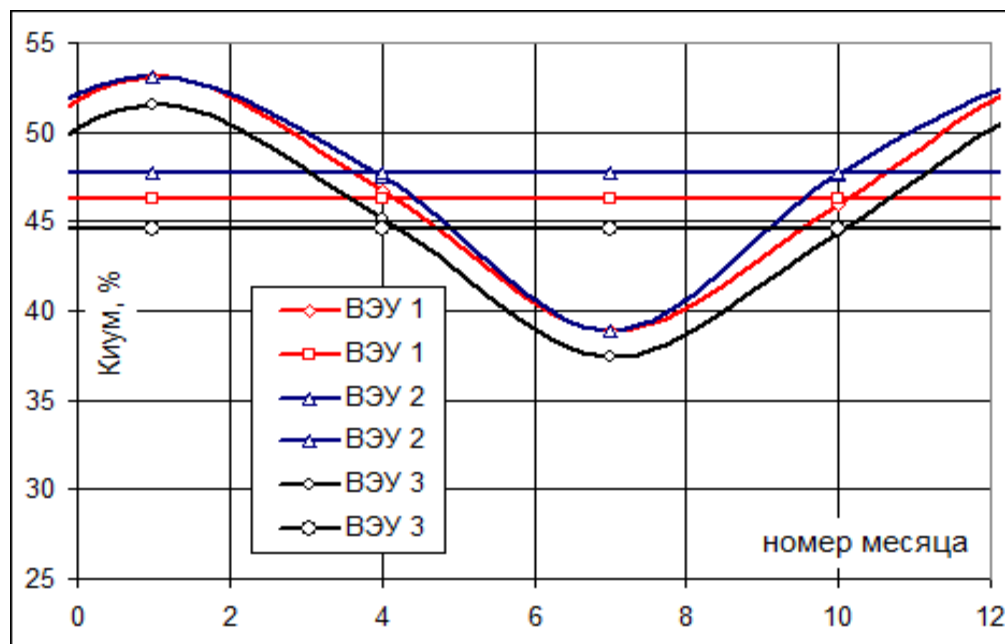


Рис. 6. Годовой ход Киум ВЭУ в %

С учетом проведенного анализа авторами в качестве основы нового Атласа ветроэнергетических ресурсов России, стран СНГ и Балтии принята трехслойная модификация модели “Сэндвич” на базе нового класса логарифмических функций вида:

$$V(z) = v^* \cdot \ln(1 + h/d) \quad (1),$$

аппроксимирующих профиль  $V(h)$  в слое от 0 до некоторой априори неизвестной высоты  $H^{L^n}$ , выше которой и до высоты 100 м (первый аэрологический уровень)  $V(h)$  аппроксимируется эллиптическими функциями с коэффициентами, определяемыми из условий гладкой сшивки с профилями на границе с нижним и верхним слоем, моделируемым кубическим сплайном. Коэффициенты  $v^*$  и  $d$  в функции (1) и высота  $H^{L^n}$ , определяются по данным о скорости ветра на высоте метеорологических измерений (измеренным или моделируемым) и из условия минимума толщины вытеснения импульса  $\delta^{**}$ , численно определяемого варьированием высоты  $H^{L^n}$ . Условие минимума толщины вытеснения импульса  $\delta^{**}$  соответствует допущению авторов о реализации в пограничном слое атмосферы вертикальных профилей скорости, обеспечивающих минимальное трение ветровых потоков о земную поверхность, подтверждаемое численными методическими исследованиями авторов на основе данных многолетних аэрологических измерений на территории бывшего СССР и данных ВИК, установленных в разных ветро-климатических зонах России.

### Выводы

- С учетом развития современной мировой ветротехники актуальным представляется разработка нового Атласа ветров России на основе комбинации описанных в докладе наиболее достоверных отечественных и зарубежных методик.
- Информационный уровень и достоверность нового Атласа может быть усовершенствованы при комплексном использовании накопленных в России и бывшем СССР метеорологических и аэрологических данных и отечественных методических наработок.

- Представляется целесообразным включение в Атлас новых характеристик ветрового потенциала: вероятности ветроэнергетического штилей и оценок энергетических показателей типовых ВЭУ в терминах  $K_{иум}$  с сезонным разрешением с указанием статистических погрешностей их определения.
- Разработанные авторами методические подходы и накопленные базы данных метеорологических и аэрологических измерений в пограничном слое атмосферы над территорией бывшего СССР за период 1960 - 1980 гг. являются добротной основой разрабатываемого авторами нового атласа ветров, единого для территории России, стран СНГ и Балтии. Такой атлас, по мнению авторов, окажет содействие более согласованному и эффективному освоению ветроэнергетических ресурсов на территории России, стран СНГ и Балтии.

#### Литература

1. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения. “Атмограф”, М., 2008. – 582 с.
2. Wind Farm Design. Garrad Hassan. Glasgow, Scotland. 2009. – 112 с.
3. А.Н. Старков, Л. Лансберг, П.П. Безруких, М.М. Борисенко. Атлас ветров России. М. “Можайск-Терра”, 2000. – 557 с.
4. N.G. Mortensen, O. Rathmann, M. Nielsen, etc. WAsP 10 course notes. DTU Wind Energy. Copenhagen. 2011. – 303 с.

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ  
ОТЕЧЕСТВЕННОГО КРЕМНИЯ  
CONVERTERS OF SOLAR AND THERMAL ENERGY ON THE BASIS OF  
DOMESTIC SILICON**

**Кадыров А.Л.**

Худжандский государственный университет имени академика Б. Гафурова, г.Худжанд,  
Таджикистан

**Kadirov A.L.**

Khujand State University named after academician B. Gafurov

Получен крупнозернистый вторичный литой поликристаллический кремний (ВЛПК) размером зерен ~100÷300 мкм из отходов производства заводов электронной техники и металлургии кремния, пригодный для получения СЭ ПТЭ на его основе.

Выявлен диапазон КСИ ( $5 \cdot 10$  крат,  $P_0 = 850 \text{ Вт/м}^2$ ) в пределах которого на СЭ из ВЛПК обнаруживается эффект сверхлинейного роста тока короткого замыкания с ростом уровня облучения. Предложен физический механизм объяснения данного явления, основанный на квадратичном увеличении времени жизни носителей тока, обусловленном нейтрализацией рекомбинационных центров границ зерен неравновесными носителями, возникающими при интенсивном облучении. Показано, что интенсивность проявления эффекта сверхлинейности зависит от размера зерен ВЛПК и степени их пассивации водородом. На полностью пассивированном материале характер изменения тока короткого замыкания от уровня засветки не отличается от наблюдаемых у МК СЭ.

Приведены результаты экспериментальной оценки проявления примесного тепловольтаического эффекта границ зерен и определено влияние уменьшения размеров зерен ВЛПК на температурные зависимости темнового напряжения и темнового тока короткого замыкания, снятые на  $n^+ - p$  структурах, при их однородном нагреве и на  $n^+ - p - p^+$ , нагреваемых в условиях намеренно создаваемого градиента температуры. Использование мелкозернистого ВЛПК, генерация носителей тока с участием глубоких уровней в котором растет с уменьшением размеров зерен, а также создание градиента температуры, позволяет улучшить энергетические параметры образцов при невысоких температурах нагрева.

В развитие созданного из наших ВЛПК структур термоэлектрического преобразователя предлагается вариант выполнения рабочего тела ПТЭ в виде куба из ВЛПК размером 10x10x10 мм. Куб разрезан на глубину ~8÷9 мм. с шагом 1 мм., то есть с образованием поля «выступов» с площадью торца 1x1 мм<sup>2</sup> и высотой 8÷9 мм. «Выступы» выполнены изогипными, а свободное между ними пространство заполнено либо мультипорошком высокоэффективного термоэлектрического материала, либо микро и нано частицами кремния.

Создание полного завершеного цикла производства кремния и преобразователей энергии на его основе позволит РТ получить современное, инновационное, трудоемкое, наукоемкое, одновременно и импортозамещающее и экспортоориентированное, высокотехнологичное производство, ориентированное на выпуск экологически абсолютно безопасной и высоколиквидной продукции, способное решить энергодефицит и стимулировать другие родственные и смежные предприятия в регионе, дать толчок развитию науки, техники и технологии, подготовки высококвалифицированных кадров рабочих и инженерно-технических работников.

Key words: secondary polycrystalline silicon, solar energy, thermal energy, vein quartz, anthracite

Солнечная энергетика относится к быстроразвивающимся отраслям науки, техники и технологии. Основу такого развития составляет создание и совершенствование высокоэффективных полупроводниковых материалов для преобразования солнечной и тепловой энергии в электрическую. По своим электрофизическим свойствам и доступности наиболее подходящим материалом для этой цели является кремний различной модификации. Однако, широкомасштабного применения солнечной энергии по сей день не происходит, главным образом из-за дороговизны исходного полупроводникового сырья. В настоящей работе предлагается новый дешевый способ получения сырья для фотоэнергетики-вторичный литой поликристаллический кремний (ВЛПК) из отходов сырьцевого и металлургического кремния и недорогих высокоэффективных солнечных элементов (СЭ) и преобразователей тепловой энергии

(ПТЭ) на его основе. Слитки ВЛПК размером зерен  $\sim(1\div 3)\cdot 10^{-4}$  м, пригодный для получения СЭ ПТЭ получались на базе установки С-3179 при определенной, вполне реализуемом выборе сырья [1,2].

Была показана возможность изготовления (любыми из известных технологий: диффузия, ионная имплантация, создание МДП-структуры) ПК СЭ с кпд до 12 % при освещении АМ 1,5 и 25 °С и СЭ по упрощенной технологии с кпд 8 %, вполне приемлемых не только для создания солнечных батарей на мощности  $0,5\div 3$  Вт., но и солнечных станций на мощности до 250 Вт., при этом температура и длительность диффузионных процессов на операциях создания р-n- переходов на ВЛПК выбирается ниже чем на аналогичных операциях проводимых на МК, вследствие более высоких скоростей диффузии мелких примесей в поликристаллических материалах (рис.1). Обнаружен нетривиальный ход зависимости подвижности основных носителей тока в ВЛПК от концентрации легирующей примеси с образованием так называемой «ямы» подвижности, возникновение которой зависит от размеров зерен ВЛПК (рис.2).

Выявлен диапазон концентрированного солнечного излучения ( $5\div 10$  крат,  $P_0 = 850$  Вт/м<sup>2</sup>) в пределах которого на СЭ из ВЛПК обнаруживается эффект сверхлинейного роста тока короткого замыкания с ростом уровня облучения. Предложен физический механизм объяснения данного явления, основанный на квадратичном увеличении времени жизни носителей тока, обусловленном нейтрализацией рекомбинационных центров границ зерен неравновесными носителями, возникающими при интенсивном облучении. Показано, что интенсивность проявления эффекта сверхлинейности зависит от размера зерен ВЛПК и степени их пассивации водородом. На полностью пассивированном материале характер изменения тока короткого замыкания от уровня засветки не отличается от наблюдаемых у МК СЭ. Максимум спектральной чувствительности СЭ из ВЛПК сдвинут в коротковолновую область ( $\lambda = 0,7\cdot 10^{-6}$  м.), что обусловлено спектром энергетических уровней граничных зарядовых состояний. Это обстоятельство делает ВЛПК привлекательным материалом для использования в наземной фотоэнергетике.

Технологические режимы (состав лигатуры, температура, давление и время выдержки расплава в литейной форме и изложнице) получения ВЛПК, концентрация легирующей примеси в базе и фронтальном слое СЭ из ВЛПК с образованием «ямы» подвижности, значения которых зависит от размеров зерен и диапазон концентраций солнечного излучения, в пределах которого проявляется эффект сверхлинейности роста тока короткого замыкания содержат элементы научной новизны и защищаемые положения.

С целью расширения сырьевой базы нами впервые был предложен и осуществлен механизм получения ПК из регионального ТК марки Кр1 напрямую минуя хлорсилановую технологию методом литья по аналогии с технологией выпуска ВЛПК, когда в процессе плавки и перекристаллизации в изложнице удается очистить ТК за счет выдержки расплава в форвакууме и сегрегации примесей при затвердевании расплава [3]. На образцах СЭ из ПК, изготовленного на ЛКРМ металлургическим переделом регионального ТК марки Кр1, достигнут кпд  $5\div 7$  %. Полученные результаты представляются полезными при организации производства СЭ из ТК высших марок напрямую, минуя экологически небезопасную хлорсилановую технологию, поскольку этот материал аналогичен по ряду параметров исследованному ВЛПК.

Не меньший интерес проявляется в последнее время к преобразованию нефотоактивной части солнечного излучения, а также геотермального тепла и тепла нагретых тел, имеющими гораздо меньший масштаб практического применения термоэлектрическим и тепловольтаическим методами. Наши исследования в этом направлении привели к тому, что на подготовленных нами образцах ВЛПК в [4] впервые экспериментально обнаружено проявление тепловольтаического эффекта вследствие

генерации носителей тока при поглощении субзонных фотонов с участием глубоких энергетических уровней, причем для эффективной работы преобразователей их концентрация должна быть не ниже  $\sim 4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  или просто использовать порошкообразный ВЛПК с размером зерен порядка 10 мкм, то есть обеспечение искомой критической концентрации глубоких уровней за счет дефектов на межзеренных границах – необходимое и достаточное условие его проявления.

Далее температурные зависимости относительного изменения тока короткого замыкания и напряжения холостого хода у изотипных образцов ВЛПК выявили эффект температурного переключения (рис.3), то есть изменение полярности указанных параметров, что, может быть, в перспективе положен в основу создания бесконтактных тепловольтаических генераторов [5]. Установлено, что обработка изотипных пластин ВЛПК ионами щелочных металлов (K, Na, Cs) позволяет существенно изменять, как ситуацию с первым, происходящим при температуре примерно 350 °K, так и со вторым, основным, высокотемпературным переключением.

Температуры при которой происходит эффект переключения – изменение полярности напряжения холостого хода и направления тока короткого замыкания у изотипных образцов ВЛПК и возможность регулирования температуры переключения и в некоторых пределах пороговую температуру посредством обработки пластин ВЛПК ионами щелочных металлов (K, Na, Cs) являются защищаемыми положениями.

Приведены результаты экспериментальной оценки проявления примесного тепловольтаического эффекта границ зерен и определено влияние уменьшения размеров зерен ВЛПК на температурные зависимости темнового напряжения и темнового тока короткого замыкания, снятые на  $n^+$ -р структурах, при их однородном нагреве и на  $p^+$ -р –  $p^+$ , нагреваемых в условиях намеренно создаваемого градиента температуры. Использование мелкозернистого ВЛПК, генерация носителей тока с участием глубоких уровней в котором растет с уменьшением размеров зёрен, а также создание градиента температуры, позволяет улучшить энергетические параметры образцов при невысоких температурах нагрева (рис.4,5).

В развитие созданного из наших ВЛПК структур (рис.6) термоэлектрического преобразователя предлагается вариант выполнения рабочего тела ПТЭ в виде куба из ВЛПК размером 10x10x10 мм. Куб разрезан на глубину  $\sim 8 \div 9$  мм. с шагом 1 мм., то есть с образованием поля «выступов» с площадью торца  $1 \times 1 \text{ мм}^2$  и высотой  $8 \div 9$  мм. «Выступы» выполнены изотипными, а свободное между ними пространство заполнено либо мультиспорошком высокоэффективного термоэлектрического материала, либо микро и нано частицами кремния.

На основе вышеизложенного нами инициируется оценка возможности создания замкнутого цикла получения ТК, ПК и преобразователей энергии на их основе в Республике Таджикистан (РТ), поскольку РТ является не только перспективным рынком сбыта фотоэлектрической продукции в силу своих погодно-климатических условий, но и страной, имеющей мощные сырьевые ресурсы для выплавки ТК и собственные заделы в этой области техники, заключающиеся в получении ВЛПК, ТК и переделе полученного ТК в литой ПК, а также изготовления СЭ и ПТЭ на их основе [5]. Действительно, для получения ТК высших марок применяют наиболее чистую по содержанию примесей модификацию кремнезема-жильный кварц (ЖК), а Северный Таджикистан чрезвычайно богат ресурсами именно ЖК. На его территории за длительный период геологических исследований выявлены многие десятки проявлений и месторождений кварцевого сырья различных генетических типов: связанных с магматическими эманациями и вулканогенно-гидротермальных вторичных кварцитов, связанных с гипогенным окварцеванием верхнепалеозойских вулканитов. Химический состав кварца  $\text{SiO}_2$ -95,60÷98,40%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -0,22÷1,54%;  $\text{CaO}$ -0,06÷0,89%;  $\text{P}$ -0,00÷0,04%;  $\text{S}$ -0,01÷0,03%.

Удельный и объемный веса массивного кварца составляют соответственно  $2,64 \div 2,66 \text{ г/см}^3$  и  $2,57 \div 2,62 \text{ г/см}^3$ ; пористость колеблется от 0,2 до  $4 \div 5 \%$ .

В свою очередь, на Юге республики, в 300 км. от г. Душанбе имеется месторождение антрацита, которого можно с успехом применить как углеродистый восстановитель для карботермического восстановления кремния на рудотермических печах. Пласты Юрских углей на участках имеют значительные мощности и простое строение. Петрографическое изучение показало, что угли дюрено-клареновые. Исходным материалом для образования углей служили в основном стеблевые части растений и споры, листья и смолы. Площадь залежи примерно  $25 \text{ км}^2$ , протяженность пластов более 10 км.

Качество антрацитов характеризуется следующими цифрами: влажность- $0,78 \div 4,66 \%$ ; зольность- $1,2 \div 4,2 \%$  (в среднем  $2,8 \%$ ); выход летучих - $3,0 \div 5,0 \%$ ; содержание серы- $0,13 \div 0,62 \%$ , углерода- $89,27 \div 93,86 \%$ , теплотворная способность- $35,14 \text{ МДж/кг}$ . По своим качественным показателям они превосходят украинские, кузнецкие, узбекские и в целом приближаются к знаменитым вьетнамским антрацитам месторождения Ха-Ту.

Создание полного завершеного цикла производства кремния и преобразователей энергии на его основе позволит РТ получить современное, инновационное, трудоемкое, наукоемкое, одновременно и импортозамещающее и экспортоориентированное, высокотехнологичное производство, ориентированное на выпуск экологически абсолютно безопасной и высоколиквидной продукции, способное решить энергодефицит и стимулировать другие родственные и смежные предприятия в регионе, дать толчок развитию науки, техники и технологии, подготовки высококвалифицированных кадров рабочих и инженерно-технических работников.

#### Список литературы

1. Абдурахманов Б.М., Ачилов Т.Х., Кадыров А.Л. и др. Технология литого поликристаллического кремния и солнечных элементов на его основе. // Гелиотехника. 1992. № 4. С. 8-14.
2. Кадыров А.Л. Исследование электрофизических свойств вторичного литого поликристаллического кремния и солнечных элементов на его основе. Автореферат на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук.
3. Абдурахманов Б.М, Абдурахманов К.П., Гугушвили Б.В., Кадыров А.Л. и др. Опытное производство технического кремния и возможности расширения разработок солнечных элементов в Узбекистане. // Гелиотехника. 2003, №2,. С.21-28.
4. Саидов М.С., Абдурахманов Б.М, Олимов Л.О. Примесный тепловольтаический эффект границ зерен поликристаллического кремниевого солнечного элемента. // Гелиотехника. 2007. №4. С. 8-13.
5. Абдурахманов Б.М., Ашуров М.Х., Ашуров Х.Б., Кадыров А.Л., Курбанов М.Ш, Оксенгендлер Б.Л. Проблемы и перспективы кремниевого производства в Центральной Азии. Худжанд: Изд-во ХГУ «Нури маърифат», 2016, -419 с.

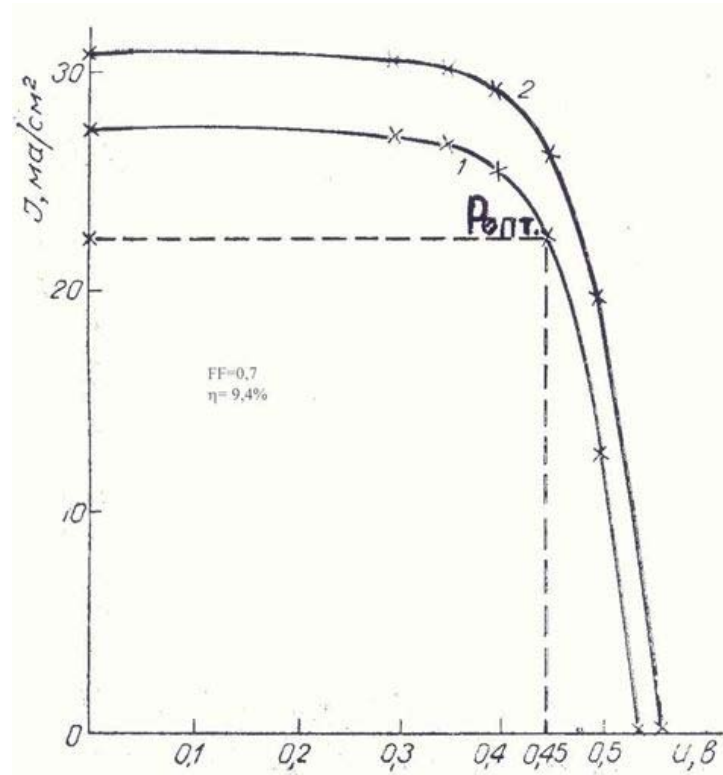


Рис.1. Нагрузочные характеристики СЭ при освещении вольфрамовой лампой с интенсивностью светового потока  $75 \text{ мВт/см}^2$ :  
1 – СЭ на основе ВЛПК размером  $2 \times 4 \text{ см}^2$ ; 2 – СЭ из МК.

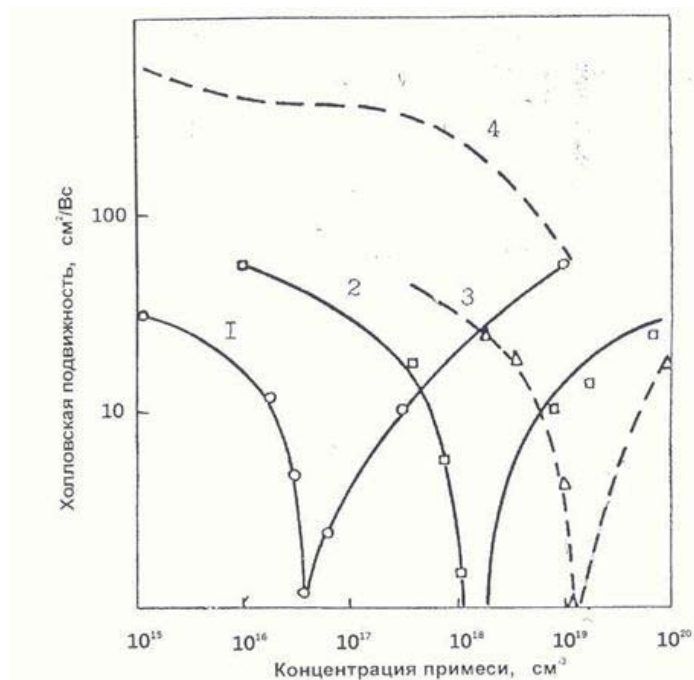


Рис.2. Сопоставление зависимостей холловской подвижности носителей тока от уровня легирования в различных материалах для СЭ: 1 – объемный ПК, осажденный из газовой фазы ( $\text{SiCl}_4 + \text{H}_2$ ) [159]; 2 – ПК, осажденный из газовой фазы на поликристаллические подложки; 3 – ВЛПК; 4 – МК.

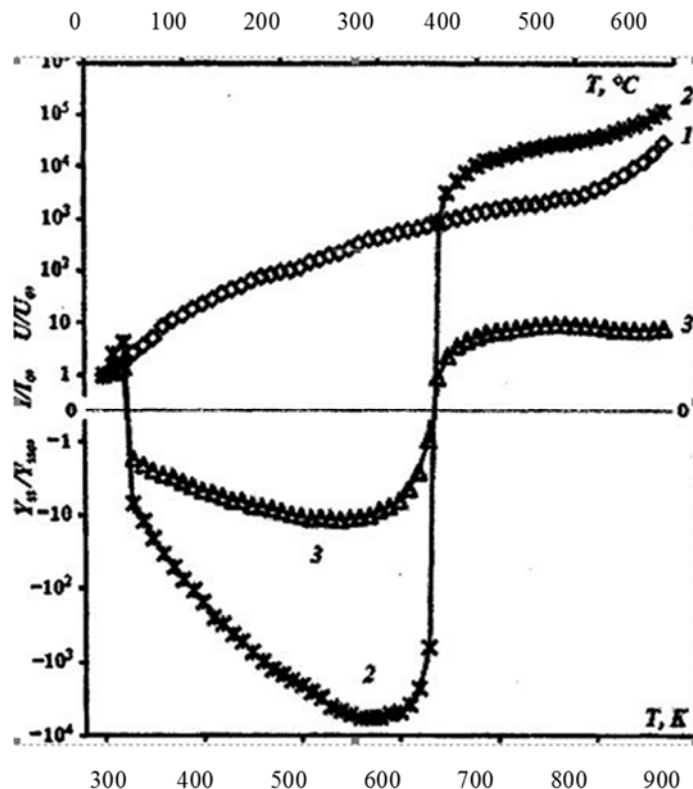


Рис. 3. Относительные изменения проводимости ловушек (1), а также темновых тока (2) и напряжения (3) от температуры.  $Y_{ss0}$ ,  $I_{kz0}$ ,  $U_{xx0}$  измерены при 300К.

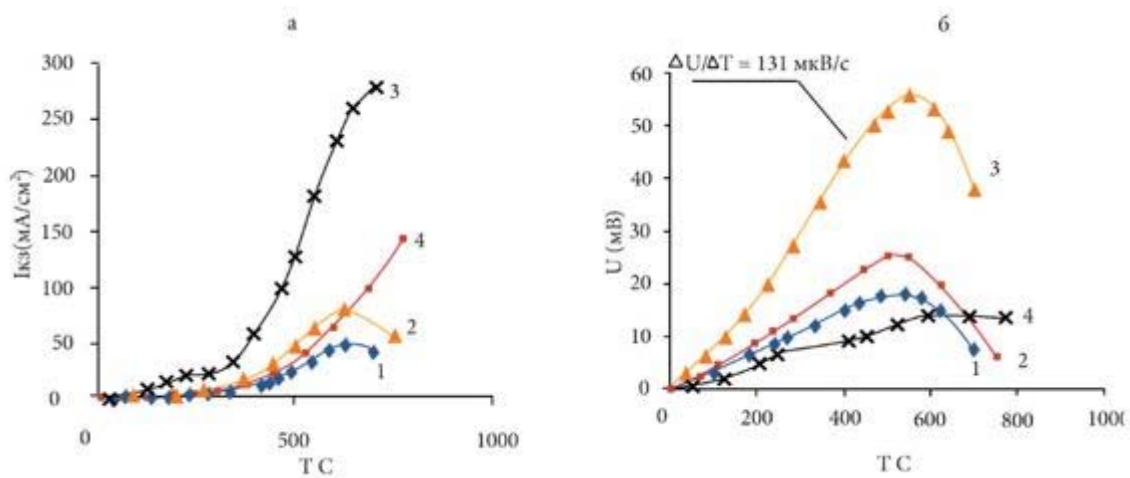


Рис.4. Температурные зависимости  $I_{kz}$  (а) и  $U_{xx}$  (б) изотипных преобразователей со структурой (металл-SI-металл) с рабочим телом длиной  $L=6$  мм. и диаметром  $d=2$  мм., выполненным из микрочернистого кремния; 1-р-тип без добавки глубокой примеси; 2-в р- типный кремний введено до 50% ТК; 3-рабочее тело целиком выполнено из ТК; 4- ТК введен в n-типный кремний



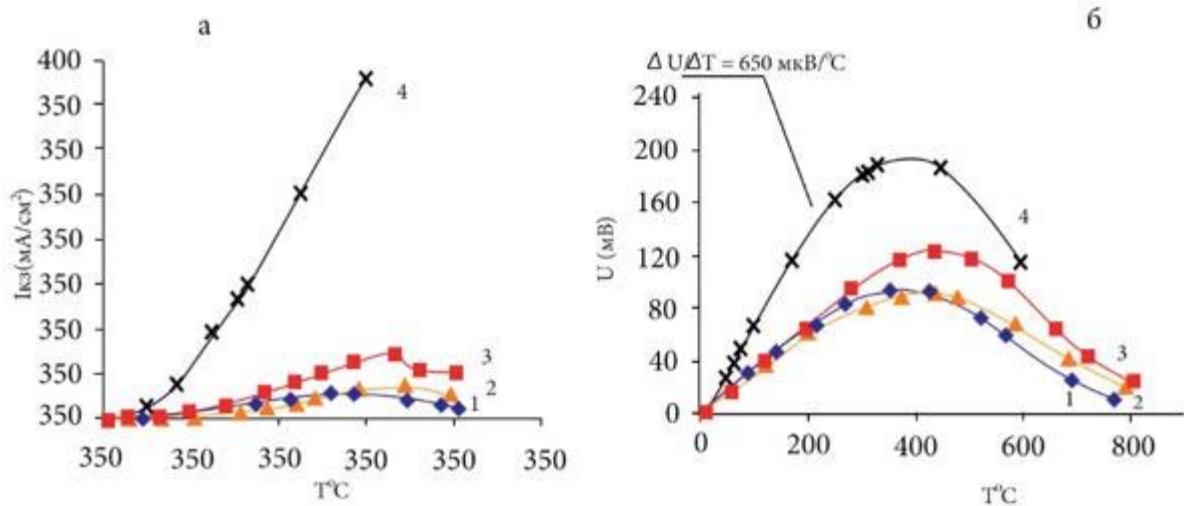


Рис.5. Температурные зависимости  $I_{кз}$ (а),  $\bar{U}_{кк}$ (б) ПТЭ из микрозернистого кремния с суммарной длиной разнотипного рабочего тела 12 мм и площадью p-n-перехода  $S=2,26 \times 10^{-2} \text{ см}^2$ . Состав микрозернистого кремниевого рабочего тела; 1-кремний p-типа; 2-кремний n-типа +50% ТК; 3,4 – кремний p-типа +50% ТК; контакты: 1,2,3-на основе сплава железа, 4-на основе меди.

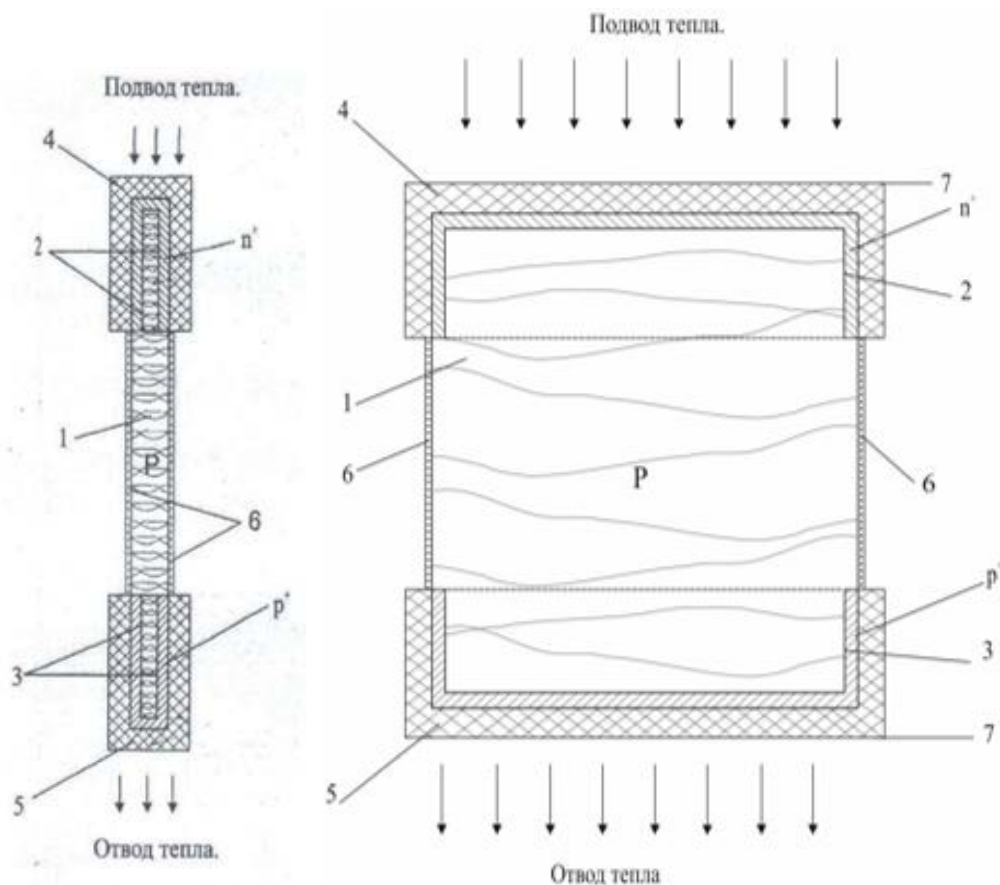


Рис 6. Преобразователь энергии с рабочим телом в виде пластины из ВЛПК:  
 а) - вид сбоку, б - вид в плане: 1 – рабочее тело; 2 – p-n переход; 3 – изотипный переход; 4, 5 – разнополярные омические контакты; 6 – селективное покрытие; 7 – электроды.

**РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕТРОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НУЖД  
ELABORATION OF TECHNOLOGIES FOR THE EFFICIENT EXTRACTING AND  
USING OF PETROTHERMAL ENERGY FOR ELECTRICAL POWER NEEDS**

**Алхасова Д.А.**

ФГБУН Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН;  
Махачкала, Россия.

**Alkhasova D.A.**

Federal State Institution of Science Institute For Geothermal Research, Daghestan Scientific Center,  
Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russian Federation.

Проведен краткий анализ использования высокопотенциальных гидро- и петрогеотермальных ресурсов для энергетических нужд. Разработана технологическая схема двухконтурной ГеоЭС, в которой нагрев низкокипящего рабочего агента вторичного контура до температуры насыщения происходит во внутрискважинном теплообменнике, расположенном в верхней части нагнетательной скважины первичного циркуляционного контура. Проведены исследования по оптимизации параметров первичного контура ГеоЭС с отбором тепла сухих горных пород высокого потенциала.

**Keywords:** power generation, petrothermal energy, binary GPP, low-boiling agent, circulating system.

**Ключевые слова:** выработка электроэнергии, петротермальная энергия, бинарная ГеоЭС, низкокипящий рабочий агент, циркуляционная система.

Геотермальная электроэнергетика составляет значительную часть энергетики, основанной на возобновляемых источниках энергии, и является одной из самых экономически эффективных технологий [1]. Перспективы развития геотермальной электроэнергетики обусловлены ее конкурентоспособностью и преимуществами по сравнению с традиционной: экологической чистотой, отсутствием транспортных расходов на доставку топлива и относительно короткими сроками строительства. На современных ГеоЭС, где применяется технология обратной закачки отработанного геотермального теплоносителя, выбросы CO<sub>2</sub> полностью исключены.

Мировой потенциал изученных на сегодняшний день геотермальных ресурсов составляет 0,2 ТВт электрической и 4,4 ТВт тепловой мощности. Примерно 70% этого потенциала приходится на месторождения с температурой флюида менее 130 °С. По оценкам сегодня используется около 3,5% мирового геотермального потенциала для выработки электроэнергии и 0,2% - для получения тепла [2].

К началу 2005 г. ГеоЭС работают в 24 странах мира, суммарная установленная мощность достигла 8910,7 МВт, в конце 2008 г. суммарная мощность ГеоЭС в мире выросла до 10500 МВт. Лидерами по установленной электрической мощности ГеоЭС являются США (3000 МВт), Филиппины, Мексика, Индонезия, Италия. Россия значительно отстает от стран-лидеров в этой области.

В настоящее время существует большое разнообразие технологических схем ГеоЭС. В [2] приведены разработанные технологические схемы бинарных ГеоЭС малой и большой мощности. Бинарный цикл имеет свои преимущества и недостатки. К преимуществам относятся более полное использование тепла рассола и закачка его в пласт с меньшей температурой; возможность использования геотермальных ресурсов с пониженной температурой для выработки электроэнергии; агрессивные компоненты не попадают в турбину, конденсатор и другое оборудование, что обеспечивает более длительный срок их эксплуатации; сопутствующие вредные газы не поступают в окружающую среду. Недостатками цикла являются усложнение схемы и некоторая потеря температурного потенциала, поскольку для передачи тепла от флюида к рабочему агенту необходима определенная разность температур.

Несмотря на то, что бассейны геотермальных вод занимают довольно значительную часть суши, их энергетические ресурсы намного меньше ресурсов тепла сухих горных пород [2]. Поэтому геотермальная энергетика в перспективе должна базироваться на отыскании способов извлечения тепла непосредственно из горных пород.

Экспериментальные и теоретические исследования по извлечению геотермальной энергии слабопроницаемого массива горячих пород на основе геотермальных циркуляционных систем (ГЦС) проводятся в США, Великобритании, Германии, Франции, Японии и других странах. Первые опыты извлечения тепла сухих горных пород были выполнены Лос-Аламосской лабораторией.

Основной проблемой в искусственных геотермальных системах с сухими породами является проблема, связанная с достаточно интенсивным извлечением тепла. Чтобы извлечение тепла из горных пород было экономически выгодным и происходило достаточно интенсивно, необходимо в породе создать большую площадь теплоотдачи, а также обеспечивать закачку, циркуляцию и извлечение теплоносителя. Для эффективного функционирования искусственной циркуляционной системы необходимо создать трещиноватость внутри горной породы с достаточно большой поверхностью, которая бы в течение длительного периода времени обеспечивала нагрев закачиваемой воды. Одним из возможных способов образования каналов с низким сопротивлением движению флюида и большой площадью новых поверхностей является гидравлический разрыв массива.

На рис. 1 представлена технологическая схема бинарной ГеоЭС с отбором тепла сухих горных пород в первичном циркуляционном контуре.

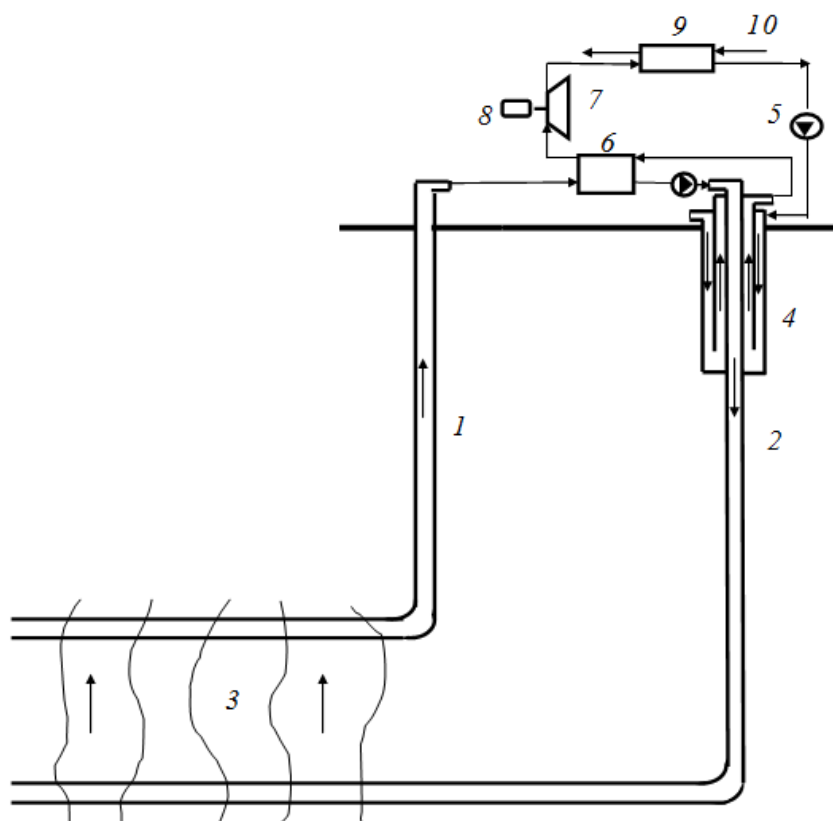


Рис. 1. Технологическая схема двухконтурной ГеоЭС.

1-добычная скважина; 2-нагнетательная скважина; 3-система трещин в массиве; 4-внутрискважинный теплообменник; 5-циркуляционный насос вторичного контура; 6-испаритель; 7-турбина; 8-генератор; 9-конденсатор; 10-подвод и отвод охлаждающей воды

В такой системе съем тепла горных пород осуществляется пресной закачиваемой водой в вертикальных и горизонтальных стволах нагнетательной (2) и добычной (1) скважин, а также в системе трещин в массиве (3), образованных путем гидроразрыва горной породы. Нагретая за счет съема тепла с сухой горной породы вода передает свое тепло во внутрискважинном противоточном теплообменнике (4) низкокипящему рабочему агенту, закачиваемому по наружному межтрубному пространству из конденсатора (9). При подъеме вверх по внутреннему межтрубному пространству, происходит нагрев рабочего агента до температуры насыщения, дальнейшее его испарение и перегрев происходит в наземном испарителе (6). Технология, в которой для нагрева рабочего агента вторичного контура ГеоЭС до температуры насыщения используется внутрискважинный теплообменник, предложена и описана в [2].

Выбор рабочего тела во вторичном контуре бинарной ГеоЭС является важным моментом при ее строительстве. Рабочее тело должно обладать благоприятными физическими, химическими и эксплуатационными свойствами при заданных условиях работы. На основе термодинамического анализа пригодности использования в геотермальных энергоустановках различных низкокипящих рабочих тел установлено, что одним из наиболее перспективных является изобутан [1]. Был проведен анализ бинарных ГеоЭС с низкокипящими рабочими телами во вторичном контуре, позволяющими повысить эффективность использования низкопотенциального геотермального тепла. Проведена оптимизация термодинамического цикла (рис.2), реализуемого во вторичном контуре бинарной ГеоЭС с низкокипящим рабочим телом, в первичном контуре которой циркулировала термальная вода.

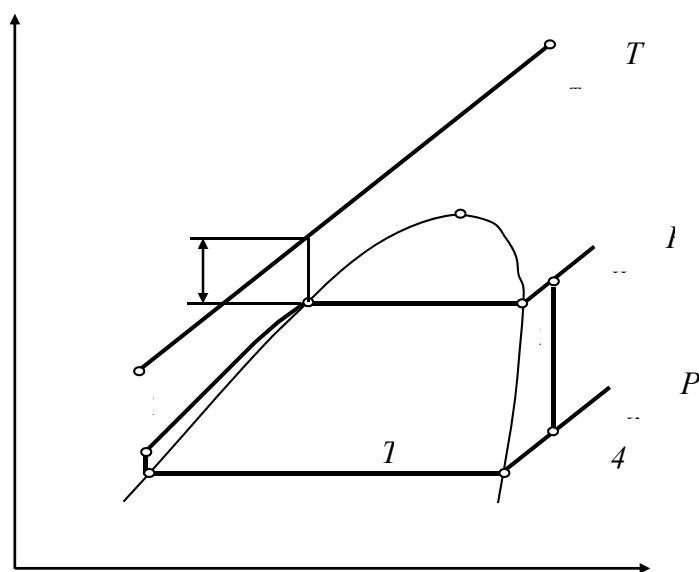


Рис. 2. Цикл паротурбинной установки в  $T, S$  – диаграмме

В результате оптимизации цикла Ренкина с учетом получения максимальной мощности на 1 кг/с расхода термальной воды установлено, что наиболее перспективным из хорошо освоенных рабочих агентов являются изобутан и дифторхлорэтан [1]. Дальнейшее сравнение говорит в пользу изобутана. Изобутан обладает хорошими теплофизическими и термодинамическими показателями, не является разрушителем озонового слоя и не способствует появлению парникового эффекта, совместим с маслами и не вызывает коррозии оборудования.

Были проведены многовариантные расчеты с использованием математической модели, описывающей процесс неизотермической фильтрации теплоносителя в первичном циркуляционном контуре (рис. 1). Результаты проведенных

многовариантных расчетов позволили сделать вывод о том, что эффективное освоение петротермальной энергии горных пород обеспечивают малые скорости фильтрации теплоносителя. Правильно подобранные параметры геотермальной циркуляционной системы (ГЦС) обеспечивают эффективную работу системы по извлечению тепла на долгие годы (30 лет и более).

При создании ГеоЭС главной целью является получение максимальной полезной электрической мощности при оптимальных экономических показателях. Повышение мощности достигается увеличением расхода первичного теплоносителя, циркулирующего в контуре ГЦС, и оптимизацией термодинамического цикла вторичного контура.

Оптимизация цикла, реализуемого во вторичном контуре бинарной ГеоЭС проведена в [1]. Удельный массовый расход вторичного теплоносителя  $\bar{m}$  и мощность турбины  $\bar{N}_3$  (на 1 кг/с расхода первичного теплоносителя) определяются по формулам

$$\begin{aligned} m(i_3 - i_2) &= C_6 [T_m - (T_s + \Delta T)] \\ m(i_2 - i_1) &= C_6 [(T_s + \Delta T) - T_n], \\ N_3 &= \eta_{o.э} m(i_3 - i_4) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C_6$  - теплоемкость воды, кДж/кг·К;  $T_m$  - температура добываемой воды (первичный теплоноситель, циркулирующий в контуре ГЦС), °С;  $T_s$  - температура испарения вторичного теплоносителя;  $T_n$  - температура отработанной воды;  $\Delta T$  - наименьший температурный напор в теплообменнике-испарителе;  $\eta_{o.э}$  - относительный электрический КПД турбогенератора;  $i_1, i_2, i_3, i_4$  - энтальпии вторичного теплоносителя в соответствии с обозначениями на рис. 2, кДж/кг.

Мощность (нетто) турбины за вычетом мощности, потребляемой питательным насосом, определяется по формуле [2]

$$N_3^н = N_3 - \frac{(P_u - P_k) v_k m}{\eta_n}, \quad (2)$$

где  $P_u$  и  $P_k$  - соответственно давление испарения и конденсации рабочего агента, Па;  $v_k$  - удельный объем конденсата, м<sup>3</sup>/кг;  $\eta_n$  - КПД питательного насоса.

На практике  $\Delta T$  в большинстве случаев рекомендуется принимать равным  $\Delta T = 10 \dots 25$  °С.

С использованием результатов расчета первичного циркуляционного контура системы (рис. 1) и термодинамических и энергетических характеристик паротурбинной установки [2] при условии использования во вторичном контуре изобутана подчитана мощность, вырабатываемая энергоустановкой (рис.1). Так при длине горизонтального ствола добычной скважины  $L = 1500$  М, температуре добываемой нагретой пресной воды первичного контура  $T = 130$  °С, объемном расходе  $Q = 1500$  м<sup>3</sup>/сут мощность вырабатываемая энергоустановкой  $N = 0,42$  МВт; при  $T = 150$  °С,  $L = 2000$  м,  $Q = 2000$  м<sup>3</sup>/сут мощность равна  $N = 0,88$  МВт.

Увеличения мощности можно добиться также увеличением расхода первичного теплоносителя, циркулирующего в контуре ГЦС, а также увеличением длины горизонтальных стволов системы по отбору тепла горных пород.

**В заключение** отметим, что один из эффективных способов освоения тепловой энергии Земли – ее преобразование в электрическую энергию путем строительства бинарных ГеоЭС на низкокипящих рабочих агентах. Освоение технологии ГЦС с искусственными коллекторами открывает широкие возможности использования основной части огромных геотермальных ресурсов, что в конечном итоге может привести к повышению экономической эффективности геотермальной энергетики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №16-08-00529.

### Список литературы

1. *Алхасов А.Б., Алхасова Д.А.* Электроэнергетическое освоение геотермальных ресурсов осадочных бассейнов. // Теплоэнергетика. №2, 2011 г. с.59-66.
2. *Алхасов А.Б.* Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008. 376с.
3. *Waxman M., Gallagher J.S.* Thermodynamic Properties of Isobutane for Temperatures from 250 to 600 K and Pressures from 0.1 to 40 MPa // J. Chem. Eng. Data. 1983. V. 28. p. 224-241.
4. *Алхасова Д.А.* Разработка эффективных технологий освоения петротермальной энергии. // Материалы 2 Межд. форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR – 2014», М., 2014, с. 50-56.
5. *Алхасова Д.А.* Разработка эффективных технологий освоения петротермальной энергии для выработки электроэнергии. // Материалы Международного Конгресса «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность», Москва, 2015. с. 46-50.

## КОНЦЕНТРАТОРНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ МОДУЛИ С ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР CONCENTRATOR SOLAR MODULES OF HIGH EFFICIENCY IN WIDE TEMPERATURE DIAPASON

Андреев В.М., Давидюк Н.Ю., Калиновский В.С., Садчиков Н.А.,  
Чекалин А.В., Шварц М.З.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

Andreev V.M., Davidyuk N.Yu., Kalinovsky V.S., Sadchikov N.A.,  
Chekalin A.V., Shvarts M.Z.

Ioffe Institute, St.Petersburg, Russia

Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения в модулях с высокоэффективными каскадными солнечными элементами на основе АЗВ5 гетероструктур является перспективным направлением развития наземной и космической солнечной фотоэнергетики. Чрезвычайно важным является обеспечение высокой эффективности каскадных солнечных элементов и модулей в широком диапазоне кратности концентрирования солнечного излучения и в широком диапазоне рабочих температур.

Высокая эффективность работы концентраторных наземных фотоэнергосистем при низких рабочих температурах важна при их использовании в регионах Земли, характеризующихся низкими средними рабочими температурами, например, в Арктике. Эффективная низкотемпературная работа космических солнечных батарей важна на космических аппаратах, запускаемых в сторону «от Солнца».

Повышенные рабочие температуры (до плюс 100°C и более) имеют место в солнечных элементах, работающих при 100-1000 кратном концентрировании солнечного излучения в регионах Земли, характеризующихся высоким поступлением солнечного излучения.

В докладе представлены результаты разработок и исследований концентраторных фотоэлектрических преобразователей и модулей на их основе в диапазоне рабочих температур от минус 90°C до плюс 90°C, работающие при концентрировании солнечного излучения в диапазоне от нескольких «солнц» до более 500 «солнц».

Разработаны концентраторные фотоэлектрические модули (наземные и космические) на основе трехпереходных GaInP/GaAs/Ge каскадных фотопреобразователей.

Достигнуто увеличение КПД солнечных элементов на 7-8% при снижении температуры от 25°C до минус 100°C при кратности концентрирования «наземного» (AM1.5) солнечного излучения 50-700 «солнц». В «наземных» фотоэлектрических модулях с концентраторами солнечного излучения (кратность 500 «солнц») на основе линз Френеля достигнуты значения КПД более 34% при температуре плюс 25°C и увеличение КПД на 4-5% при снижении температуры до минус 50°C.

В «космических» солнечных элементах при 10-100 «солнцах» достигнуто увеличение эффективности при снижении температуры от величины КПД 31-33% при температуре +25°C до значения КПД 36-38% при температуре минус 100°C.

Keywords: Photovoltaic modules, solar radiation concentrators, multijunction solar cells

### 1. Введение

Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения в модулях с высокоэффективными каскадными солнечными элементами на основе АЗВ5 гетероструктур является перспективным направлением развития наземной и космической солнечной фотоэнергетики [1-4]. Чрезвычайно важным является обеспечение высокой эффективности каскадных солнечных элементов и модулей в широком диапазоне кратности концентрирования солнечного излучения и в широком диапазоне рабочих температур [5,6].

Высокая эффективность работы концентраторных наземных фотоэнергосистем при низких рабочих температурах важна при их использовании в регионах Земли, характеризующихся низкими рабочими температурами, например, в Арктике. Эффективная низкотемпературная работа космических солнечных батарей важна на космических аппаратах, запускаемых в сторону «от Солнца».

Повышенные рабочие температуры (до плюс 100°C и более) имеют место в солнечных элементах, работающих при 100-1000 кратном концентрировании солнечного излучения в регионах Земли, характеризующихся высоким поступлением солнечного излучения.

Целью настоящей работы было исследование основных фотоэлектрических характеристик трехкаскадных InGaP/InGaAs/Ge фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) и модулей на их основе в широком диапазоне температур ( $-100^{\circ}\text{C} \leq T \leq +90^{\circ}\text{C}$ ). Рассматривались как структуры, оптимизированные для работы в наземных условиях, так и для работы в условиях космоса. Исследования проводились при различных интенсивностях засветки ФЭП, соответствующих, в том числе, и работе при концентрированном солнечном облучении. В отсутствие «паразитных» факторов, оказывающих негативное влияние на рабочие параметры ФЭП, предполагалось получить значительное увеличение КПД при уменьшении температуры за счёт увеличения генерируемого напряжения. Путем расчётов была сделана оценка потенциальных значений КПД для фотоэлектрических модулей, выполненных на базе исследуемых ФЭП.

## 2. Каскадные ФЭП и концентраторные модули на их основе

В качестве образцов для исследований были выбраны каскадные ФЭП, включавшие в себя три фотоактивные области с р-п переходами, расположенными в материалах InGaP, InGaAs и Ge [6]. Эти области соединены последовательно с помощью двух туннельных р-п переходов в многослойной гетероструктуре. В исследуемых образцах для космического использования был ряд отличительных особенностей, таких как брегговские отражатели, позволяющие повысить радиационную стойкость ФЭП. Каждый тип преобразователей был оптимизирован для работы при его засветке излучением определенного спектрального состава: AM 0 – для космических образцов и AM 1.5d – для наземных. Данные ФЭП являются на сегодняшний день основой для создания концентраторных фотоэлектрических модулей (КФЭМ) для наземного и космического применения.

КФЭМ для наземного применения представляет собой фотоприемную и линзовую панель, скрепленных между собой при помощи профилированных стенок из алюминиевого сплава. Линзовая панель размером  $1 \times 0.5 \text{ м}^2$  представляет собой массив из 128 квадратных единичных линз Френеля  $60 \times 60 \text{ мм}$  каждая. Фотоприемная панель состоит из несущего стеклянного основания на котором располагаются 16 теплоотводящих пластин соединенных параллельно. На каждой такой пластине смонтированы 8 ФЭП, соединенных параллельно при помощи коммутационных шин (рисунок 1 а,б).

Для концентрации солнечного излучения в условиях космоса создан КФЭМ, оснащенные линейными линзовыми концентраторами. На рисунке 2 представлена ячейка космического концентраторного модуля, представляющая собой ферменную конструкцию из углепластика, к верхней части которой монтируется линейный линзовый концентратор типа линзы Френеля, а на заднюю – керамическое теплоотводящее основание с двумя энергогенерирующими линейками.

## 3. Методика измерений

Температурные испытания ФЭП в интервале от  $T = -100^{\circ}\text{C}$  до  $+90^{\circ}\text{C}$  проводились путем записи нагрузочных вольт–амперных характеристик и последующего вычисления КПД фотоэлектрического преобразования. Все необходимые измерения осуществлялись на лабораторных имитаторах солнечного излучения, разработанных и изготовленных в ФТИ им. А.Ф. Иоффе [7]. Коррекция спектрального состава излучения ксеноновой лампы для доведения спектра до стандартного AM 0 или AM 1.5d (в зависимости от типа



измеряемого элемента) осуществлялась за счет специально разработанного многослойного интерференционного светофильтра. Внешний вид измерительного комплекса показан на рисунке 3.

Для температурных измерений ФЭП использовался стеклянный сосуд Дьюара с контролируемой компьютером системой охлаждения и нагрева. При измерениях вольт-амперных характеристик условия освещенности контролировались с помощью калиброванного фотоэлемента, находящегося при комнатной температуре. Оптическое пропускание стенок сосуда учитывалось при получении окончательных результатов.

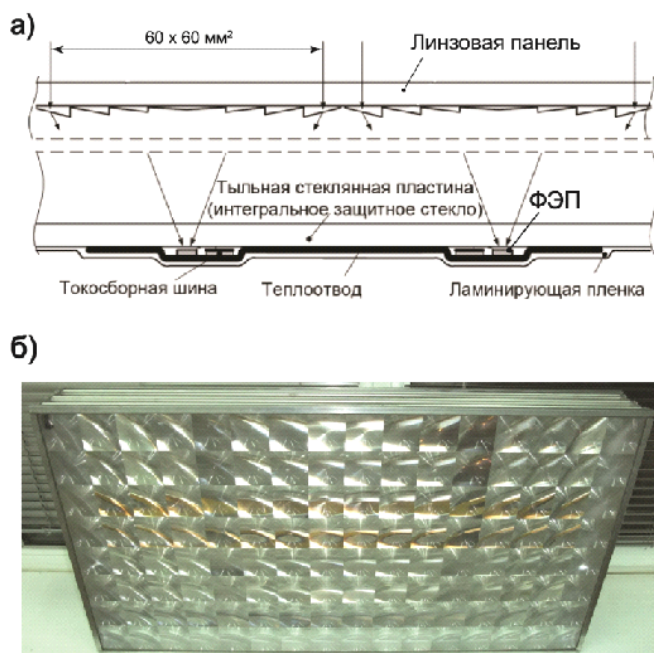


Рис. 1. а – Схематический разрез наземного концентраторного фотоэлектрического модуля с линзами Френеля  $60 \times 60 \text{ мм}^2$ ; б – концентраторный модуль, размерами  $1 \times 0.5 \text{ м}^2$  (вид со стороны линзовой панели).

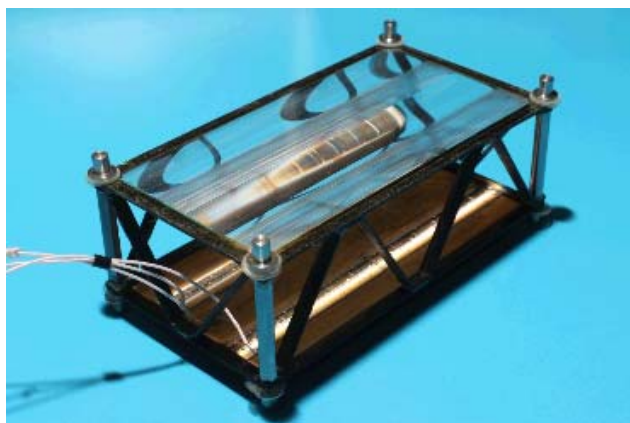


Рис. 2. Ячейка космического концентраторного фотоэлектрического модуля, состоящая из двух энергогенерирующих линеек с многопереходными InGaP/GaAs/Ge ФЭП на керамическом теплосбрасывающем основании и сдвоенного линейного линзового концентратора (линзы Френеля) с апертурой  $5 \times 10 \text{ см}^2$ .

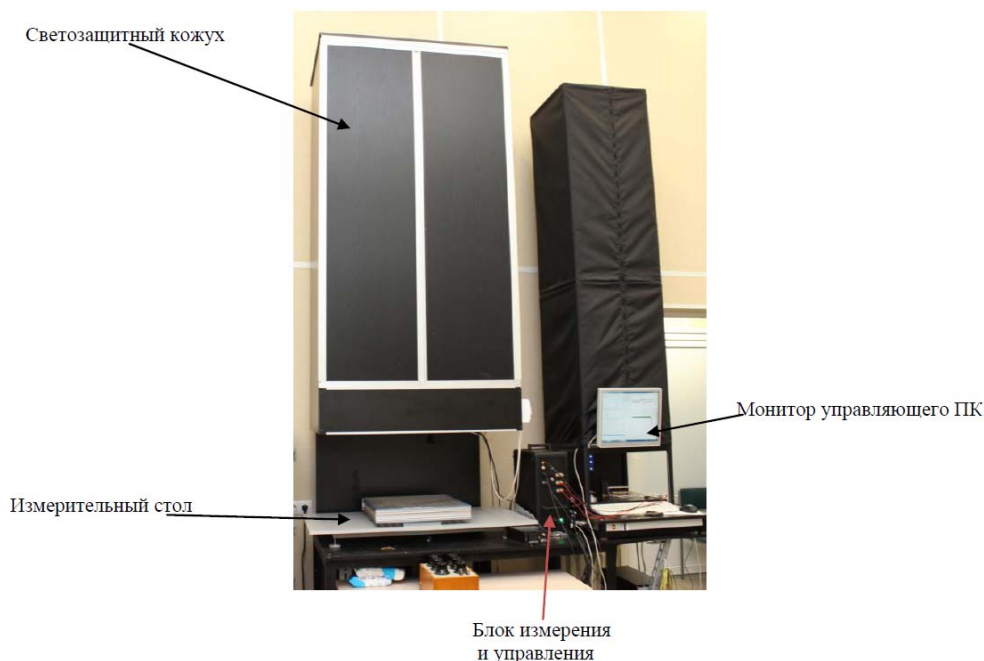


Рис. 3. Внешний вид измерительного комплекса для исследований вольт–амперных характеристик ФЭП. Слева на фотографии расположена установка для измерения концентраторных модулей размером до  $0.5 \text{ м}^2$  наземного применения (спектр АМ 1.5), справа – установка для измерений «космических» ФЭП и модулей размером до  $0.25 \text{ м}^2$  (спектр АМ 0).

#### 4. Результаты исследований

На рисунке 4 представлены световые ВАХ для ФЭП наземного (а) и космического (б) назначений при различных температурах. Образцы для работы подбирались с минимальными значениями встроенных «паразитных» потенциальных барьеров. Имеет место полное отсутствие искажений ВАХ при уменьшении температуры в случае элемента представленного на рисунке 4а. В ряде космических ФЭП наблюдалось заметное искажение ВАХ (рисунок 4б). Для обоих образцов характерно стабильное увеличение напряжения при движении в область более низких температур.

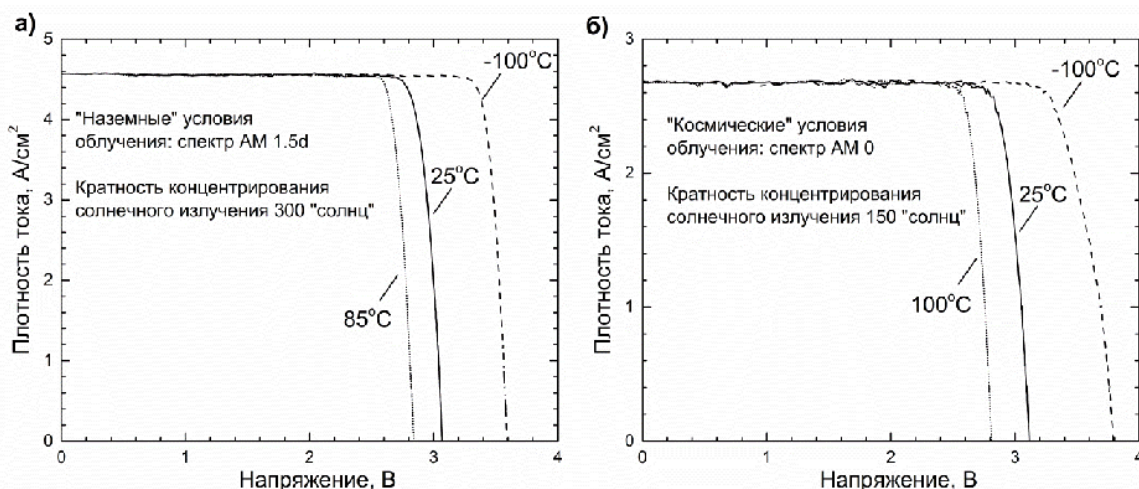


Рис. 4. Световые ВАХ для ФЭП, измеренные при различных температурах: а – для фотоэлементов наземного применения; б – для элементов, применяемых в условиях космоса.

Для образцов наземного применения монотонное возрастание напряжения холостого хода совместно с небольшим ростом значения фактора заполнения при понижении рабочих температур приводит к стабильному росту КПД ФЭП до значения 50% при температуре  $-100^{\circ}\text{C}$  (рисунок 5а). Замедление роста обуславливается увеличением потерь на внутреннем сопротивлении образца. Оценка эффективности преобразования солнечного излучения для концентраторных модулей на базе данных элементов дает значение порядка 38% при температуре  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Для нескольких образцов «космических» ФЭП при 100 «солнцах» получено увеличение КПД при снижении температуры от величины КПД = 31 – 33% при  $T = +25^{\circ}\text{C}$  до значения КПД = 36 – 37% при температуре минус  $100^{\circ}\text{C}$ . Для других образцов космического назначения (рисунок 5б) увеличение КПД до 36% наблюдается только при охлаждении до температур порядка  $-10^{\circ}\text{C}$ . При дальнейшем охлаждении начинает искажаться форма ВАХ, а следовательно, уменьшаться фактор заполнения, что приводит к снижению КПД несмотря на увеличение напряжения холостого хода. Объясняется это изменением транспорта носителей при низких температурах в данном ФЭП, вследствие наличия встроенного потенциального барьера для основных носителей на гетерогранице  $n\text{-GaInP/Ge}$ . Расчетная величина КПД космического КФЭМ, выполненного с использованием таких ФЭП, составляет 30-31% при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ .

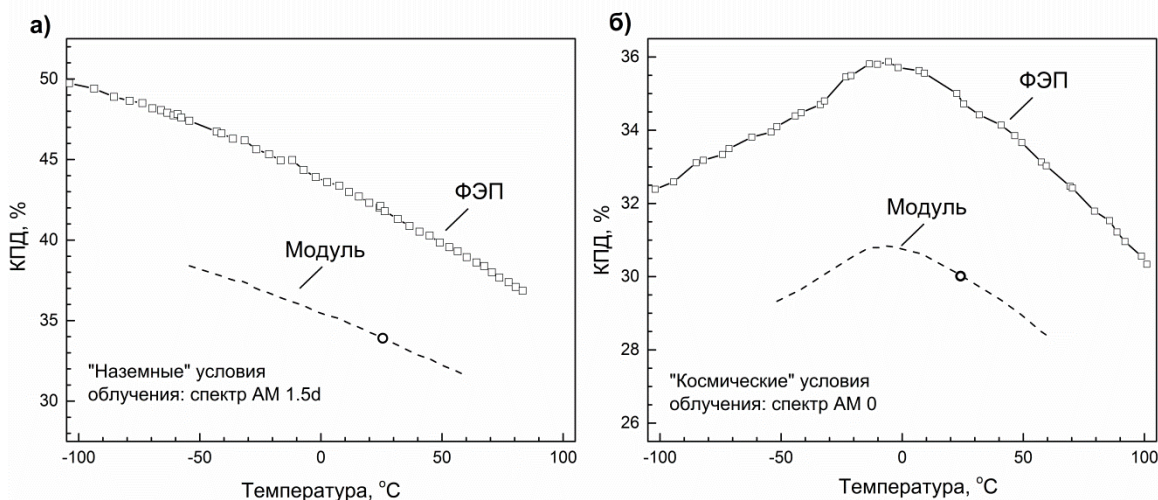


Рис. 5. Зависимости от температуры значений эффективности фотоэлектрического преобразования солнечного излучения; а – для ФЭП наземного применения, кратность концентрирования составляет 300 «солнц»; б – для «космического» ФЭП, кратность концентрирования 150 «солнц». Пунктирной линией показаны расчётные значения КПД фотоэлектрических модулей, выполненных на базе данных ФЭП.

## 5. Выводы

Проведенные исследования основных фотоэлектрических характеристик каскадных фотоэлектрических преобразователей солнечного излучения и концентраторных модулей на их основе для наземного использования показали значительное увеличение КПД (до 50%) в ФЭП и до 40% в концентраторных модулях при снижении рабочей температуры до  $-100^{\circ}\text{C}$ . При температуре  $-50^{\circ}\text{C}$  КПД ФЭП составляет 47% и КПД модуля 37%.

Исследованные нами ФЭП космического применения и модули на их основе показали значения КПД 36% (ФЭП) и 31% (модуль) при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ . Дальнейшее уменьшение температуры в ряде образцов ФЭП приводило к уменьшению КПД ФЭП из-за снижения фактора заполнения нагрузочной ВАХ, что объясняется возникновением потенциальных барьеров на гетерогранице  $n\text{-GaInP/Ge}$ .

Настоящая работа, выполненная в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, поддержана Министерством образования и науки России, Соглашение о предоставлении субсидии от 27.06.2014 г. № 14.604.21.0088 на выполнение прикладных научных исследований по теме работы, уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI60414X0088.

### **6. Список литературы**

1. Zh.I. Alferov, V.M. Andreev, V.D. Romyantsev. *Semiconductors*, 38(8), 899–908 (2004).
2. V.D. Romyantsev. *Concentrator Photovoltaics. Ser. Springer Series in Optical Sciences*, Springer-Verlag, 130, 151–174 (2007)
3. В.М. Андреев, Н.Ю. Давидюк, Д.А. Малевский, А.Н. Паньчак, В.Д. Румянцев, Н.А. Садчиков, А.В. Чекалин, А. Luque. *ЖТФ*, 84(11), 72–79 (2014).
4. R. King, et al. *Proc. 24th European Photovoltaic Solar Energy Conf. and Exhibition*. 55–61 (2009).
5. M.Z. Shvarts, A.S. Gudovskikh, N.A. Kalyuzhnyy, S.A. Mintairov, A.A. Soluyanov, N.Kh. Timoshina and A. Luque. *AIP Conf. Proc.* 1616, 29 (2014).
6. Zh.I. Alferov, V.M. Andreev, V.D. Romyantsev. *High-Efficient Low-Cost Photovoltaics. Ser. Springer Series in Optical Sciences*, Springer-Verlag, 140, 101–141 (2009)
7. В.Р. Ларионов, Д.А. Малевский, П.В. Покровский, В.Д. Румянцев. *ЖТФ*, 85(6), 104-110 (2015).

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ  
И МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ТОПЛИВО  
NEW METHODS FOR TREATMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND  
MICROALGAE INTO FUELS**

**Власкин М.С.**

Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, Москва, Россия

**Vlaskin M.S.**

The Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia

*vlaskin@inbox.ru*

Waste is one of the main challenges to the sustainable development of economy and society. Today, the world produces about 4 billion tons of various types of waste, of which 1.6-2 billion tonnes - municipal solid waste (MSW). The main methods of solid waste disposal is landfilling, composting, recovery of secondary raw materials and incineration. Incineration of MSW today is the main, the most common, method of thermochemical processing of waste. The Joint institute for high temperatures of Russian academy of science offered new technology of thermochemical conversion of solid waste, the product is a solid coal-like fuel. Obtained by the proposed technology coal contains 50 to 90% of the carbon contained in the MSW, its specific heat energy content by weight in comparison with MSW increases in 1.4 times, the volume increases in 7-8 times, the specific energy of obtained coal can reach >27 MJ/kg. The resulting coal can be used as a primary or additional fuel in the conventional coal-fired power plants (those electrical efficiency > 35%, whereas electrical efficiency of modern MSW incinerators is no more than 10-15%) and boiler.

Microalgae - another promising source of renewable raw materials, from which it is possible to obtain high-quality fuels. Interest in obtaining the so-called bio-oil from microalgae is bounded with high rate of microalgae growth, high productivity per unit area, high content of oil and relatively simple technology of their cultivation. However, due to the high water content (80-90% by weight) such traditional thermochemical processes as pyrolysis and gasification in the case of the microalgae are economically unprofitable (too much energy is consumed for drying). The Joint institute for high temperatures of Russian academy of science proposes a new energy-efficient technology - hydrothermal liquefaction, which does not require pre-drying stage. Furthermore, bio-oil in the proposed process can be synthesized not only from lipids as in the known methods but also from carbohydrates and proteins that increases the overall yield.

Keywords: municipal solid waste, coal, microalgae, hydrothermal liquefaction

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, уголь, микроводоросли, гидротермальная ликвификация

Отходы являются одной из главных проблем на пути стабильного развития экономики и общества в целом. Человечество образует отходы, как в результате своей экономической деятельности, так и в результате бытовой повседневной жизни человека. В 2012 году в мире было образовано около 4 млрд. тонн различного рода отходов, из которых 1,6-2 млрд. тонн – твердые бытовые отходы [1]. По данным Росприроднадзора в России в 2012 году было образовано около 60 млн. тонн ТБО, из них от жизнедеятельности населения – около 50 млн. тонн, и 10 млн. тонн от предприятий [2]. При этом ежегодно их количество увеличивается на 3-4 %. Объем отходов коммунального сектора в городе Москва в 2010 году составил 3,5 млн. тонн [3]. Основными способами утилизации ТБО являются захоронение на полигонах, компостирование, извлечение вторичного сырья и сжигание. Около 70 % ТБО, образуемых во всем мире, направляются на полигоны, 11 % используются для получения полезных видов энергии (тепловой и электрической) в результате термохимического превращения ТБО, остальные 19 % отправляются на механико-биологическую обработку, включая компостирование [1]. В России практически весь объем ТБО размещается на полигонах и свалках [2]. В переработку вовлекаются только 4-5 %.

Целесообразность вовлечения ТБО в процесс выработки энергии (waste-to-energy) не вызывает больших сомнений. Однако использование ТБО в энергетических целях

сталкивается с рядом трудностей, связанных с неоднородным составом, низкой плотностью, высокой влажностью ТБО, наличием в них опасных компонентов и др. Исследование свойств отходов показывает, что подавляющая часть ТБО – это группа органических отходов, которая включает в себя пищевые и садовые отходы, бумагу, дерево, текстиль, кожу, резину и пластик. В зависимости от региона (его уровня экономического развития, культурных и климатических особенностей и т.д.) может изменяться доля того или иного органического компонента в общем составе ТБО, однако суммарная доля этих компонентов, как правило, находится на уровне 80 %. Доля неорганических компонентов ТБО, как правило, не превышает 20 %. Органические компоненты ТБО представляют собой горючие вещества, которые могут быть использованы для энергоснабжения регионов, в которых ТБО образуются, как в результате прямого сгорания ТБО, так и в результате сгорания того топлива, которое может быть получено в результате того или иного способа переработки ТБО.

Сжигание ТБО на мусоросжигательных заводах сегодня является основным, наиболее распространенным, способом термохимической переработки отходов. Для сжигания ТБО на мусоросжигательных заводах без использования дополнительного относительно более калорийного топлива необходимо, чтобы низшая теплота сгорания ТБО была выше 5-6 МДж/кг [4]. Средние значения низшей теплоты сгорания ТБО составляют 7-9 МДж/кг. Низшая теплота сгорания ТБО на современных мусоросжигательных заводах превышает 10 МДж/кг, что достигается, в том числе, за счет предварительной сортировки ТБО и подготовки к сжиганию, которая может включать в себя предварительную сушку, измельчение и другие стадии.

В ОИВТ РАН предлагается новая технология термохимического превращения ТБО, в результате которого на выходе получается твердое углеподобное топливо. В предлагаемом технологическом процессе ТБО подвергаются термической обработке в среде насыщенного водяного пара докритических параметров. Вода в таком состоянии обладает уникальными реакционными свойствами благодаря пониженным значениям диэлектрической постоянной и повышенным значениям константы диссоциации. В результате обработки исходное сырье претерпевает ряд изменений в результате одновременно протекающих реакций гидролиза, дегидратации, декарбоксилирования, ароматизации и реконденсации.

Полученный по предлагаемой технологии уголь содержит в себе от 50 до 90 % углерода, содержащегося в исходном сырье, его удельная энергоемкость по весу превосходит энергоемкость исходного сырья в 1,4 раз, а по объему в 7–8 раз, удельная энергоемкость полученного угля может достигать 27 МДж/кг и выше. Получаемый уголь может быть использован, как в качестве основного, так и дополнительного топлива в традиционных угольных электростанциях (КПДэ которых > 35 %, тогда как КПДэ современных мусоросжигательных заводов не более 10-15 %) и котельных. Кроме того, данный уголь может быть использован для удобрения почв. В этом случае выбросы парниковых газов в атмосферу существенно ниже по сравнению со сжиганием ТБО и полигонным захоронением (выбросы метана).

Предлагаемая технология может стать одним из наиболее массовых способов термохимической переработки ТБО с производством угля в качестве продукта, как в нашей стране, так и за рубежом. Количество угля, которое потенциально возможно получить из ТБО, может быть сопоставлено с объемами потребления традиционного угля. Количество угля, поставляемого на электростанции России, составляет около 120 млн. тонн. Количество угля, которое можно получить по предлагаемой технологии при условии полной переработки всего образующегося объема ТБО, в России составляет до 10 млн. тонн, т.е. около 8 % от потребляемого электростанциями количества.

Микроводоросли – другой перспективный источник возобновляемого сырья, из которого возможно получение высококавалифицированных топлив [5]. Интерес к

получению так называемой бионефти из микроводорослей обусловлен высокой скоростью роста микроводорослей, их высокой урожайностью на единицу площади, высоким содержанием в них масла и относительно простой технологией их выращивания. Однако из-за высокого содержания воды (до 80-90 % по массе) такие традиционные термохимические процессы, как пиролиз и газификация в случае с микроводорослями становятся экономически невыгодными (слишком большое количество энергии тратится на сушку).

В ОИВТ РАН предлагается новая энергоэффективная технология гидротермальной ликвификации микроводорослей, в которой не требуется стадия предварительной сушки. Кроме того, бионефть в предлагаемом процессе может быть синтезирована не только из липидов, как в известных методах, но и из углеводов и белков, что повышает суммарный выход продукта.

Для осуществления процесса гидротермальной ликвификации микроводорослей была создана экспериментальная установка, на которой были проведены эксперименты по получению образцов бионефти. В ходе экспериментов с микроводорослями *Spirulina* было показано, что массовый выход бионефти составляет не менее 10 % по отношению к сухой массе микроводорослей. Высшая теплота сгорания полученной бионефти составляет около 30 МДж/кг.

### Литература

1. Globalization & waste management. Phase 1: Concepts and facts. ISWA. 2012. 48 p.
2. Кириллов В.В. О региональных аспектах обращения с отходами потребления в Российской Федерации. Росприроднадзор, Москва 2013.
3. Кульбачевский А.О. Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2010 году.
4. Chen D., Christensen T.H. Life-cycle assessment (EASEWASTE) of two municipal solid waste incineration technologies in China // Waste Management and Research. 2010. vol. 28. № 6. p. 508-519.
5. Чернова Н.И., Киселева С.В., Попель О.С. Эффективность производства биодизеля из микроводорослей // Теплоэнергетика. 2014. № 6. с. 14-21.



## АНАЛИЗ ПУТЕЙ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГО-, ТЕПЛО- И ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В МЬЯНМЕ

Ко Аунг, Малинин Н.К., Шестопалова Т.А.  
НИУ МЭИ, г. Москва, Россия

Республики Союза Мьянма (РСМ) – это развивающаяся страна, и конечно, самая большая проблема страны сегодня – это необходимость в повышении социального уровня жизни многочисленного сельского населения страны, который во многом определяется уровнем обеспечения его дешёвой электроэнергией. Уровень электропотребления в Мьянме является самым низким по сравнению с соседними развивающимися странами. Объединенная энергосистема (ОЭС) покрывает только 30% населения страны. Более 70% населения РСМ живет в районах децентрализованного или ненадежного централизованного энергоснабжения, где находится 64907 сельских населенных пунктов. Среди них только 7% подключено к объединенной энергосистеме [1]. ОЭС не покрывает горные регионы из-за высокой стоимости электропередачи. Горные и отдаленные регионы используют только слабые местные сети для передачи электричества. В некоторых регионах используются только дизельные или бензиновые двигатели. В зоне, охваченной ОЭС, также иногда используются дизельные или бензиновые электроустановки из-за малой надежности системы энергоснабжения страны в целом.

В жаркий сезон среднемесячная температура составляет выше +30°C во многих частях Мьянмы. В горных районах и северных частях страны гораздо прохладнее (температуры ночью в прохладном сезоне иногда бывает до -5 °C), в долинах температура не превышает +20 °C. Поэтому актуальной является общая проблема использования ВИЭ для электро-, тепло и хладоснабжения многочисленного сельского населения страны, которые в своем большинстве не подключено к ОЭС Мьянмы и используют только дорогие дизельные и бензиновые электроустановки. Выполненные к настоящему времени исследования в Мьянме, в основном, касались решения проблемы только электроснабжения указанных потребителей [1].

В настоящее время в Мьянме старается сократить дефицит выработки электроэнергии в стране. Для этого строятся новые газогенераторные и гидроэлектростанции. Однако эти меры пригодны для улучшения электроснабжения только в городах, где есть связь с объединенной энергосистемой. Благодаря тому, что в Мьянме имеется высокий потенциал ресурсов солнечной энергии, использование солнечной энергии остаётся в настоящее время одним из лучших решений для удаленных районов, где не удастся подключиться к объединенной энергосистеме.

Используемые сегодня в Мьянме пути решения проблемы энергоснабжения весьма неэкономичны для небогатого сельского населения. Одним из возможных путей решения этой проблемы могут быть энергокомплексы, базирующиеся на использовании ТНУ, СФЭУ, ДЭУ и АБ.

В работе рассматривается автономный типовой жилой дом, не имеющий подключения к центральным электрическим, общей площадью 160 квадратных метров, расположенный в северной холодной зоне Мьянмы. Тепловая защита здания и нормы потребления холодной и горячей воды соответствуют принятым в ASHRAE для энергоэффективных зданий [2].

В данной задаче определяется возможность комбинированного использования различных видов нетрадиционных и возобновляемых источников энергии совместно с ДЭУ, необходимой для обеспечения надежности энергоснабжения при отсутствии энергии от альтернативных источников.



При выборе оптимальных параметров и режимов работы ЭК на основе использования ВЭИ за рассматриваемый расчетный период времени ( $T=20$  лет) рассматривается критерий обеспечения минимальной стоимости (\$/кВт.ч) получаемой электрической и тепловой энергии  $-C_{уд}^{ЭК}$ , определяемый по формуле [1]:

$$C_{уд}^{ЭК} = \frac{Z_{\Sigma}^{диск}(T)}{\Delta_{потр}(T)} \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $Z_{\Sigma}^{диск}(T)$  - суммарные дисконтированные затраты по ЭК за расчетный период ( $T=20$  лет);  $\Delta_{потр}(T)$  – суммарное потребление ЭЭ ЭК за расчетный период.

Суммарные дисконтированные затраты по ЭК за весь расчетный период времени ( $T=20$  лет) по отношению к базисному году определяются по формуле :

$$Z_{\Sigma}^{диск}(T) = K_{ЭК} + \sum_{t=1}^T I_{ЭКt} (1 + \varepsilon)^{-t}, \quad (2)$$

где  $K_{ЭК}$  – капитальные вложения в ЭК (0-й год) (\$);  $I_{ЭКt}$  – годовые издержки ЭК (\$);  $\varepsilon$  – норма дисконтирования (%);  $t$  – номер шага расчёта (год) (0, 1, 2, 3... 20).

Потребление электроэнергии за расчетный период времени ( $T=20$  лет) определяется по формуле:

$$\Delta_{потр}(T) = \sum_{j=1}^{T=20} \sum_{i=1}^{8760} \Delta_{потрj}, \quad (3)$$

$$\Delta_{потрj} = (P_i^{быт} + P_i^{ТНУ}) \cdot \Delta t, \quad (4)$$

$$P_i^{ТНУ} = \frac{Q_{отj}}{\eta_{от}} \text{ для отопления}, \quad (5)$$

$$P_i^{ТНУ} = \frac{Q_{охj}}{\eta_{ох}} \text{ для охлаждения}, \quad (6)$$

где  $\Delta_{потрj}$  – часовое потребление ЭЭ в  $i$ -ой час (кВт.ч);  $\Delta t$  – шаг времени (1 час);  $P_i^{быт}$  – среднечасовая мощность бытового потребления (кВт);  $P_i^{ТНУ}$  – среднечасовая мощность теплового насоса (кВт);  $Q_{отj}$ ,  $Q_{охj}$  – среднечасовая нагрузка на отопление, охлаждение в расчетный  $i$ -й час (кВт);  $\eta_{от}$  – КПД системы отопления;  $\eta_{ох}$  – КПД системы охлаждения.

При расчёте тепловой нагрузки учитываются следующие балансовые условия и ограничения:

$$P_{ТНУ}^{min} \leq P_i^{ТНУ} \leq P_{ТНУ}^{max}, \quad (7)$$

$$P_i^{ТНУ} = N_{ТНУi}(Q_{отj}(T_o), Q_{охj}(T_o), Q_{гвсi}), \quad (8)$$

$$0 \leq N_{ТНУi} \leq N_{ТНУ}^{уст_от}, \quad (9)$$

$$0 \leq Q_{отj}(T_o) \leq Q_{отj}^{max}, \quad (10)$$

$$T_{от,расч} \leq T_{oi} \leq T_{бал}, \quad (11)$$

$$0 \leq N_{ТНУi} \leq N_{ТНУ}^{уст_ох}, \quad (12)$$

$$0 \leq Q_{охj}(T_o) \leq Q_{охj}^{max}, \quad (13)$$

$$T_{бал} \leq T_{oi} \leq T_{ох,расч}, \quad (14)$$

$$Q_{гвсi}^{min} \leq Q_{гвсi} \leq Q_{гвсi}^{max}, \quad (15)$$

$P_{ТНУ}^{min}$ ,  $P_{ТНУ}^{max}$  – минимальная и максимальная мощность потребления теплового насоса (кВт);  $N_{ТНУi}(Q_{отj}(T_o), Q_{охj}(T_o), Q_{гвсi})$  – среднечасовая мощность потребителя на отопление, охлаждение и горячее водоснабжение в расчетный  $i$ -й час (кВт);  $N_{ТНУ}^{уст_от}$ ,  $N_{ТНУ}^{уст_ох}$  – установленная мощность отопления и охлаждения (кВт);  $T_{от,расч}$ ,  $T_{ох,расч}$  – расчетная температура на отопления и охлаждения ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{oi}$  – температура окружающей среды в расчетный  $i$ -й час ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{бал}$  – балансовая температура помещения ( $^{\circ}\text{C}$ );  $Q_{отj}^{max}$ ,  $Q_{охj}^{max}$ ,  $Q_{гвсi}^{max}$  – максимальная нагрузка на отопление, охлаждение и горячее водоснабжение в расчетный  $i$ -й час (кВт);  $Q_{гвсi}^{min}$  – максимальная нагрузка на горячее водоснабжение в расчетный  $i$ -й час (кВт);  $Q_{отj}(T_o)$ ,  $Q_{охj}(T_o)$ ,  $Q_{гвсi}$  – среднечасовая нагрузка на отопление, охлаждение и горячее водоснабжение в расчетный  $i$ -й час (кВт).

При решении поставленной задачи учитываются следующие условия и ограничения:

$$P_{\Pi}^{max} \leq N_{СФЭУ}^{уст} + N_{ДЭУ}^{уст}, \quad (16)$$

$$P_{\Pi}^{max} = P_{быт}^{max} + P_{ТНУ}^{max}, \quad (17)$$

$$P_{\Pi i} = P_i^{быт} + P_i^{ТНУ} = N_{СФЭУ i} + N_{АБразряд i} + N_{ДЭУ i} - N_{АБзаряд i}, \quad (18)$$

$$N_{СФЭУ i} = N_{СФЭУ i} (R_{\beta i}, T_{a i}), \quad (19)$$

$$0 \leq R_{\beta i} \leq R_{\beta}^{max}, \quad (20)$$

$$T_{min} \leq T_{oi} \leq T_{max}, \quad (21)$$

$$N_{ДЭУ}^{min} \leq N_{ДЭУ i} \leq N_{ДЭУ}^{уст}, \quad (22)$$

$$0 \leq \mathcal{E}_{АБзаряд i} \leq \mathcal{E}_{АБзаряд i}^{max}, \quad (23)$$

$$0 \leq \mathcal{E}_{АБразряд i} \leq \mathcal{E}_{АБразряд i}^{max}, \quad (24)$$

$$\mathcal{E}_i^{АБ} = \mathcal{E}_{i-1}^{АБ} + \mathcal{E}_{АБзаряд i} - \mathcal{E}_{АБразряд i}, \quad (25)$$

$$\mathcal{E}_{АБ}^{min} \leq \mathcal{E}_i^{АБ} \leq \mathcal{E}_{АБ}^{max}, \quad (26)$$

где  $P_{\Pi}^{max}$  – максимальная мощность потребителя (кВт);  $P_{быт}^{max}$  – максимальная мощность бытового потребления (кВт);  $N_{СФЭУ}^{уст}$ ,  $N_{ДЭУ}^{уст}$  – установленная мощность СФЭУ и ДЭУ (кВт);  $i=1, 2, \dots, 8760$  (часов);  $P_{\Pi i}$  – среднечасовая мощность потребителя в расчетный  $i$ -й час (кВт);  $N_{СФЭУ i}$ ,  $N_{АБ i}$ ,  $N_{ДЭУ i}$  – среднечасовая мощность СФЭУ, АБ и ДЭУ в расчетный  $i$ -й час (кВт);  $R_{\beta i}$  – среднечасовой приход СР на оптимально ориентированную к солнцу приёмную площадку – поверхность солнечного модуля ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) в расчетный  $i$ -й час;  $N_{ДЭУ}^{min}$  – минимально допустимая нагрузка ДЭУ (кВт);  $\mathcal{E}_{АБзаряд i}^{max}$ ,  $\mathcal{E}_{АБразряд i}^{max}$  – максимальная часовая энергия заряда и разряда АБ в расчетный  $i$ -й час (кВт.ч);  $\mathcal{E}_{АБзаряд i}^{max}$ ,  $\mathcal{E}_{АБразряд i}^{max}$  – максимальная часовая энергия заряда и разряда АБ в расчетный  $i$ -й час (кВт.ч);  $\mathcal{E}_{АБзаряд i}$ ,  $\mathcal{E}_{АБразряд i}$  – среднечасовая энергия заряда и разряда АБ в расчетный  $i$ -й час (кВт.ч);  $\mathcal{E}_{i-1}^{АБ}$  – остающаяся электроэнергия АБ в расчетный  $(i-1)$ -й час (кВт.ч);  $\mathcal{E}_{АБ}^{min}$ ,  $\mathcal{E}_{АБ}^{max}$  – минимальная и максимальная ёмкость АБ (кВт.ч).

Капитальные вложения ЭК за первый год (0-й год) определяется по формуле [1]:

$$K_{ЭК} = C_{ЭК.СФЭУ} + C_{ДЭУ} + C_{ТНУ} + C_{ЭК.СФЭУ}^{монтаж} + C_{ТНУ}^{монтаж}, \quad (27)$$

где  $C_{ЭК.СФЭУ}$ ,  $C_{ДЭУ}$ ,  $C_{ТНУ}$  – стоимости ЭК СФЭУ, ДЭУ и ТНУ соответственно (\$);  $C_{СФЭУ}^{монтаж}$ ,  $C_{ТНУ}^{монтаж}$  – стоимость монтажа ЭК СФЭУ и ТНУ (% от  $C_{ЭК.СФЭУ}$  и  $C_{ТНУ}$ ) (\$).

Стоимости компонентов ЭК определяются выражениями:

$$C_{ЭК.СФЭУ} = N_{СФЭУ}^{уст} * C_{СФЭУ}^{уд} + \mathcal{E}_{АБ} * C_{АБ}^{уд} + N_{Конвер} * C_{Конвер}^{уд} + 0,05 * C_{СФЭУ}, \quad (28)$$

$$C_{ДЭУ} = N_{ДЭУ}^{уст} * C_{ДЭУ}^{уд}, \quad (29)$$

$$C_{ТНУ} = N_{ТНУ}^{уст.от} * C_{от}^{уд} + N_{ТНУ}^{уст.ох} * C_{ох}^{уд} + Z_{\Sigma}^{доп}, \quad (30)$$

где  $C_{СФЭУ}^{уд}$ ,  $C_{Конвер}^{уд}$ ,  $C_{Контр}^{уд}$ ,  $C_{ДЭУ}^{уд}$  – удельные цены СФЭУ, ДЭУ, Конвертор, Контроллер (\$/кВт);  $\mathcal{E}_{АБ}$  – ёмкость АБ (кВт.ч);  $C_{АБ}^{уд}$  – удельная цена АБ (\$/кВт.ч);  $N_{Конвер}$  – мощности конвертора (кВт);  $C_{от}^{уд}$ ,  $C_{ох}^{уд}$  – удельные цены отопления и охлаждения (\$/кВт);  $Z_{\Sigma}^{доп}$  – суммарные дополнительные затраты на ТНУ. Ежегодные издержки ЭК определяются по формуле [1]:

$$I_{ЭК.t} = I_{ЭК.СФЭУ.t} + I_{ДЭУ.t} + I_{ТНУ.t}, \quad (31)$$

$$I_{ЭК.СФЭУ.t} = I_{рем.СФЭУ.t} + I_{зам.СФЭУ.t} + I_{зам.АБ.t} + I_{зам.Конвер.t} + I_{зам.Конт.} \quad (32)$$

$$I_{ДЭУ.t} = I_{зам.ДЭУ.t} + I_{топ.t} + I_{мас.t}, \quad (33)$$

$$I_{ТНУ.t} = I_{рем.ТНУ.t} + I_{зам.ТНУ.t}, \quad (34)$$

где  $I_{рем.ТНУ.t}$ ,  $I_{рем.СФЭУ.t}$  – издержки на ремонт ТНУ, СФЭУ (\$);  $I_{зам.ТНУ.t}$ ,  $I_{зам.СФЭУ.t}$ ,  $I_{зам.АБ.t}$ ,  $I_{зам.ДЭУ.t}$ ,  $I_{зам.Конвер.t}$ ,  $I_{зам.Конт.t}$  – издержки на замену ТНУ, СФЭУ, АБ, ДЭУ, конверторов и контроллеров (\$);  $I_{топ.t}$ ,  $I_{мас.t}$  – издержки на топливо и масло (\$).

Среднечасовое потребление ЭЭ во времени должно быть покрыто за счет использования ЭК на основе СФЭУ, АБ и ДЭУ. Среднечасовая мощность СФЭУ определяется по формуле:

$$N_{\text{СФЭУ},i} = \eta_{\Sigma,i}^{\text{СФЭУ}} * S_{\text{М}} * R_{\beta,i}, \quad (35)$$

где  $\eta_{\Sigma,i}^{\text{СФЭУ}}$  – КПД СФЭУ  $i$ -ый час (%);  $R_{\beta,i}$  – солнечная радиация, приходящаяся на оптимально ориентированную к солнцу приёмную площадку ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) в расчетный  $i$ -ый час;  $S_{\text{М}}$  – общая площадь солнечного модуля ( $\text{м}^2$ ).

Энергия заряда и мощность АБ в  $i$ -й час определяется при  $\Delta_{\text{СФЭУ}i} > \Delta_{\text{П}i}$  по формуле:

$$\Delta_{\text{АБзаряд}i} = \begin{cases} \Delta_{\text{АБ}i} = \Delta_{\text{АБ}}^{\text{max}} \text{ при } \Delta_{i-1}^{\text{АБ}} + (\Delta_{\text{СФЭУ}i} - \Delta_{\text{П}i}) > \Delta_{\text{АБ}}^{\text{max}} \\ \Delta_{\text{АБ}i} = \Delta_{i-1}^{\text{АБ}} + (\Delta_{\text{СФЭУ}i} - \Delta_{\text{П}i}) \text{ при } (\Delta_{\text{СФЭУ}i} - \Delta_{\text{П}i}) < \Delta_{\text{АБ}}^{\text{max}} \end{cases}, \quad (36)$$

$$N_{\text{АБзаряд}i} = \frac{\Delta_{\text{АБзаряд}i}}{\Delta t}, \quad (37)$$

Энергия разряда и мощность в  $i$ -й час определяется при  $\Delta_{\text{СФЭУ}i} < \Delta_{\text{П}i}$  по формуле:

$$\Delta_{\text{АБразряд}i} = \begin{cases} \Delta_{\text{АБ}i} = (\Delta_{i-1}^{\text{АБ}} + \Delta_{\text{СФЭУ}i}) - \Delta_{\text{П}i} \text{ при } (\Delta_{i-1}^{\text{АБ}} - \Delta_{\text{АБ}}^{\text{min}}) + (\Delta_{\text{СФЭУ}i} - \Delta_{\text{П}i}) > 0 \\ \Delta_{\text{АБ}i} = \Delta_{\text{АБ}}^{\text{min}} \text{ при } (\Delta_{i-1}^{\text{АБ}} - \Delta_{\text{АБ}}^{\text{min}}) + (\Delta_{\text{СФЭУ}i} - \Delta_{\text{П}i}) < 0 \end{cases} \quad (38)$$

$$N_{\text{АБразряд}i} = \frac{\Delta_{\text{АБразряд}i}}{\Delta t}, \quad (39)$$

Энергия выработки и мощность ДЭУ в  $i$ -й час определяется при  $\Delta_{\text{СФЭУ}i} < \Delta_{\text{П}i}$  по формуле:

$$\Delta_{\text{ДЭУ}i} = \begin{cases} \Delta_{\text{П}i} - (\Delta_{i-1}^{\text{АБ}} - \Delta_{\text{АБ}}^{\text{min}} + \Delta_{\text{СФЭУ}i}) \\ 0 \text{ при } \Delta_{\text{СФЭУ}i} > \Delta_{\text{П}i} \end{cases}, \quad (40)$$

$$N_{\text{ДЭУ}i} = \frac{\Delta_{\text{ДЭУ}i}}{\Delta t}, \quad (41)$$

$$N_{\text{ДЭУ}}^{\text{уст}} = \frac{\Delta_{\text{ДЭУ}i}^{\text{max}}}{\Delta t}, \quad (42)$$

$$\Delta_{\text{ДЭУ}}^{\text{год}} = \sum_{i=1}^{8760} N_{\text{ДЭУ}i} * \Delta t \quad (43)$$

где  $\Delta t = 1$  час;  $\Delta_{\text{ДЭУ}i}^{\text{max}}$  – максимальная энергия выработки от ДЭУ;  $\Delta_{\text{ДЭУ}}^{\text{год}}$  – годовая энергия выработки ДЭУ.

Расчет на основе приведенного выше критерия эффективности выполняют на основе анализа доходов за счет экономленного дизельного топлива и расходов в виде эксплуатационных издержек и капиталовложений ЭК. Для оценки экономической эффективности использования ЭК для обеспечения гарантированного энергоснабжения потребителя необходимо рассчитать следующие экономические показатели: чистый дисконтированный доход (ЧДД), дисконтированный период окупаемости капитальных вложений ( $T_{\text{ок}}$ ) [3].

**Чистый дисконтированный доход при расчёте в текущих (базисных) ценах и при постоянной норме дисконта определяется по формуле:**

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (Z_t^{\text{топл}} - (K_{\text{ЭК}} + I_{\text{ЭК}t})) (1 + \varepsilon)^{-t}, \quad (44)$$

где  $Z_t^{\text{топл}}$  – затраты на покупку и доставку в данной район такого количества топлива;  $T$  – расчетный период (20 лет).

Дисконтированный срок окупаемости определяется по формуле:

$$\sum_{t=1}^{T_{\text{ок}}} (Z_t^{\text{топл}} - (K_{\text{ЭК}} + I_{\text{ЭК}t})) (1 + \varepsilon)^{-t} = 0, \quad (45)$$

где  $T_{\text{ок}}$  – дисконтированный срок окупаемости.

Для решения поставленной задачи необходимо решить целый ряд совершенно новых задач для условий Мьянмы. В том числе и из-за комплексного назначения ЭК. Особо следует отметить необходимость разработки современного информационного обеспечения решаемой задачи в условиях, в целом, достаточно слабого его уровня в

условиях Мьянмы. Требуется наличие очень большого объёма следующих исходных данных и их исследованиях. В том числе: по потребителю энергии – идентификация типового сельского потребителя, расчёт его электрической и тепловой нагрузки за характерные сутки года; по компонентам ЭК- исследование оптимальной структуры комплексного ЭК, технические и энергетические характеристики всех его компонентов, их технологические и режимные особенности; по ресурсам используемых в ЭК видах ВИЭ (солнечная энергия, низкотемпературное тепло), решение проблемы финансирования разработки и создания таких ЭК в Мьянме и т.д. Наконец, требуется наличие современного математического обеспечения для решения поставленной задачи

При рассмотрении оптимального состав ЭК на основе ТНУ, СФЭУ, ДЭУ и АБ, необходимо найти оптимальные значения установленной мощности СФЭУ, ДЭУ и ёмкость АБ, чтобы минимизировать стоимость ЭЭ от ЭК. Решение задачи осуществляется методом покоординатного поиска с заданными шагами переменных параметров СФЭУ, ДЭУ и АБ. Для решения указанной задачи переменные ранжируются: СФЭУ от 0 до  $2 * P_{\text{п}}^{\text{max}}$  кВт с шагом  $0,04 * P_{\text{п}}^{\text{max}}$ , АБ от 0 до  $2 * \text{Э}_{\text{п}}^{\text{один день}}$  кВт.ч с шагом  $0,04 * \text{Э}_{\text{п}}^{\text{один день}}$  ( $\text{Э}_{\text{п}}^{\text{один день}}$  - потребление ЭЭ за один день). Для поиска оптимальных значений установленной мощности СФЭУ, ДЭУ и емкости АБ было разработана расчетная математическая модель на основе Программного языка C++.

### Выводы

1. Впервые даётся общая постановка задачи по обоснованию основных энергетических параметров и режимов работы системы комплексного электро-, тепло- и хладоснабжения многочисленных сельских потребителей Мьянмы, не имеющих связи с ОЭС.
2. Обосновывается необходимость создания специального информационного, методического и математического обеспечения поставленной задачи, которое разрабатывается на кафедре ГВИЭ НИУ МЭИ.
3. Для оценки реальной эффективности использования ЭК на основе ТНУ, СФЭУ, ДЭУ и АБ для энергоснабжения автономного потребителя в региональной энергетике Мьянмы необходимо провести, прежде всего, исследование информационного обеспечения гелиоэнергетических расчётов, исследование системы тепло и хладоснабжения с использованием ТНУ, исследование ресурсов солнечной энергии и исследование энергетических характеристик типовых сельских потребителей в регионах Мьянмы.

### Литература

1. Аунг Ко, Н.К. Малинин, Т.А. Шестопалова. Постановка задачи оптимизации состава энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии для комплексного энергоснабжения сельского потребителя Мьянмы // Вестник ВИЭСХ. 2016, №2.(23). 23-26с.
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.. The 2001 ASHRAE Handbook.
3. Бурмистров А.А., Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Кунакин Д.Н., Малинин Н.К. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии.//М.: Издательский дом МЭИ, 2009.- 144с.

## АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МИРА ANALYSIS OF THE WORLD RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT

**Безруких П.П., 1; Безруких П.П. (мл), 2**

1: ОАО «ЭНИН»

2: ПАО «Лукойл»

**Bezrukikh P.P., 1; Bezrukikh P.P.(Jr), 2**

1: Krzhizhanovsky Power Engineering Institute (ENIN)

2: OIL COMPANY "LUKOIL"

Определены темпы развития отдельных отраслей возобновляемой энергетики в мире и ведущих странах мира за период 2004-2015 годы, показана роль отдельных стран в использовании отдельных видов ВИЭ, определена доля возобновляемой энергетики в общем производстве электроэнергии в мире к 2020 году, проведён анализ технико-экономических показателей ВЭС, ФЭС. БиоЭС, определены общие тенденции развития главных направлений развития возобновляемой энергетики.

Ключевые слова: производство электроэнергии, доля ВИЭ, ветростанции, фотоэлектрические станции, станции на базе биомассы, нормированная себестоимость электроэнергии, энергетический срок окупаемости, прогноз развития.

Keywords: power generation, RES share, wind farm, photovoltaic power plants, biomass plants, levelised Cost of Energy, development forecast.

На конец 2015 года общие данные по возобновляемой энергетике выглядят следующим образом.

В **энергобалансе** по потреблению первичной энергии ископаемое топливо составляет 78,3%, атомные станции – 2,5%, возобновляемые источники – 19,2%.

В свою очередь, возобновляемые источники делятся на традиционную биомассу (в основном дрова) – 8,9% и «новые» ВИЭ – 10,3%. В «новых» ВИЭ доля гидроэнергии равна 3,9%, геотермальное тепло, солнечные нагреватели, биомасса – 4,2%; ветер, солнце, геотермальные электростанции преобразования биомассы, биотопливо – 2,2%. Отметим, что в этом энергобалансе доля «новых» ВИЭ превосходит АЭС в 2,5 раза.

В **электробалансе** по производству электроэнергии органическое топливо (59,3%) и АЭС (17,0%) составили в сумме 76,3%, а возобновляемые источники 23,7%. При этом, доля ГЭС – 16,4%, а «новые» ВИЭ – 7,3%, в том числе ВЭС – 3,7%, биоэлектростанции – 2,0%, ФЭС – 1,2%, остальные – 0,4%.

В таблице 1 представлена динамика показателей возобновляемой энергетики мира за период 2004 – 2015 годы.

Поэтому техническим и экономическим проблемам первых трех отраслей возобновляемой энергетики будет уделено основное внимание в докладе.

Общее впечатление о динамике развития дает знание среднегодового процента к предыдущему году за период 2004 – 2014 и 2004 – 2015 годы. Для

фотоэнергетики он равен, соответственно, 52,5 и 50,1%, для ветроэнергетики – 22,65 и 22,13%.

Данные по проценту роста в 2014 году к 2013 году и 2015 года к 2014 году свидетельствуют о существенном замедлении темпов роста фотоэнергетики, и менее существенным для ветроэнергетики. Понятно, что с ростом объема темпы объективно замедляются, но величина прироста 28% для фотоэнергетики и 16 – 17% для ветроэнергетики во много раз (4 – 5) превышает процент роста экономик стран Евросоюза, темп роста БиоЭС – 6,7% тоже достаточно высок.

Так что перспектива развития возобновляемой энергетики быстрыми темпами не вызывает сомнения, о чем будет сказано ниже.

Таблица 1. Динамика показателей возобновляемой энергетики мира

Показатель	Значение показателя по годам			Среднегодовой рост за 2004-2014 /2004-2015, %	Увеличение в 2014 к 2013/ 2015 к 2014 г, %
	2004	2014	2015		
Новые годовые инвестиции, млрд. дол. США	45	273	285,9	19,62/18,34	16,37/4,7
Мощность на базе ВИЭ (без ГЭС), ГВт	85	665	785	22,7/22,39	17,32/18,04
Мощность на базе ВИЭ (с ГЭС), ГВт	800	1701	1849	7,9/7,9	8,49/8,7
Мощность гидроэлектростанций (ГЭС), ГВт	715	1036	1064	3,97/3,7	3,63/2,7
Мощность на базе биомассы, ГВт	<36	101	106	9,95/10,31	5,68/4,95
Производство электроэнергии на базе биомассы, ТВт·ч	227	429	464	6,67/6,71	9,34/8,16
Мощность геотермальных электростанций, ГВт	8,9	12,9	13,2	3,7/3,5	5,78/2,32
Мощность фотоэлектрических электростанций, ГВт	2,6	177	227	52,5/50,1	28,26/28,25
Мощность солнечных термодинамических электростанций, ГВт	0,4	4,3	4,8	27,1/25,34	29,41/11,63
Мощность ветростанций, ГВт	48	370	433	22,65/22,13	15,99/17,03
Мощность солнечных водонагревательных систем, ГВт (тепл.)	86	409	435	16,79/15,88	8,85/6,36
Годовое производство этанола, млрд. литров	28,5	94,5	98,3	12,67/11,91	7,06/4,02
Годовое производство биодизеля, млрд.литров	2,4	30,4	30,1	28,6/24,85	12,93/-1,0
Количество стран, с установленными целями по ВИЭ	48	164	173	13,07/12,52	13,89/5,49

Далее в табл.2 приводятся данные по странам – лидерам по установленной мощности на базе ВИЭ.

Таблица 2. Установленная мощность электростанции на базе ВИЭ, первые семь стран, мир, 2015 г., ГВт

	Мир	Китай	США	Германия	Япония	Индия	Италия	Испания
Технология	ГВт							
БиоЭС	106	10,3	16,7	7,1	4,8	5,6	4,1	1
ГеоЭС	13,2	~ 0	3,6	~ 0	0,5	0	0,9	0
ГЭС	1064	296	80	5,6	22	47	18	17
Океан ЭС	0,5	~ 0	0	0	0	0	0	~ 0
ФЭС	227	44	26	40	34	5,2	18,9	5,4
СЭС	4,8	~ 0	1,7	~ 0	0	0,2	~ 0	2,3
ВЭС	433	145	74	45	3	25	9	23
Всего на базе ВИЭ (включая ГЭС)	1849	496	202	97	65	83	51	49
Всего на базе ВИЭ (без ГЭС) *	785	199	122	92	43	36	33	32
Мощность на базе ВИЭ на человека (без ГЭС), кВт/чел.	0,1	0,1	0,4	1,1	0,3	0,03	0,5	0,7

Представлены данные о нормированной себестоимости электроэнергии, удельной стоимости сооружаемых электростанций и коэффициенте использования установленной мощности. Особенно ценно то, что показан диапазон изменения показателей и его средневзвешенное значение, что позволяет более обоснованно оценивать предлагаемые проекты электростанций по этим показателям.

По наземным ВЭС.

Диапазон нормированной себестоимости электроэнергии от ВЭС составляет от 10 до 5,5 центов США/кВт·ч. Наименьшее значение в США и Китае 5,5 цента США/кВт·ч, наибольшее на Среднем Востоке и Океании. Диапазон изменений удельной стоимости ВЭС от 1228 до 2533 \$/кВт. Наименьшее значение в Индии, наибольшее в Океании и Среднем Востоке. Впечатляет относительно высокое значение Киум на всех континентах, диапазон от 0,234 до 0,434, наибольшее значение в Центральной и Южной Америке, наименьшее в Индии и Китае.

По системным ФЭС.

Нормированная себестоимость ФЭС изменяется от 9 до 21 центов США/кВт·ч, т.е. выше, чем на сухопутных и морских ВЭС. Однако это самая быстро развивающаяся отрасль. Удельная стоимость существенно снижается, а КПД существенно растет. У авторов вызывает сомнение большое значение Киум (0,32) Южной Америки и Среднего Востока (0,256).

По БиоЭС.

По себестоимости электроэнергии электростанции на биотопливе превосходят все, рассмотренные выше. Наименьшее значение себестоимости 4 ÷ 5 центов США/кВт·ч в Китае, Индии, Южной Америке, ЕвроАзии, Азии. Вызывает сомнение очень низкое

значение  $K_{иум}$  (0,317) при достаточно низкой себестоимости (5,5 центов США/кВт·ч) в Центральной Америке, и чрезвычайно высокое значение  $K_{иум}$  (0,93) в США.

В целом по **ветроэнергетике** необходимо отметить следующие характерные особенности:

На конец 2015 года 25 стран по установленной мощности ВЭС превысили 1 ГВт.

Из 25 стран Европы представляют 17 стран. Но через 2 – 3 года представительство других континентов в этом списке удвоится, судя по темпам ввода мощности в этих странах за последние годы.

За последние десятилетия продолжались многочисленные конструкторские работы по созданию ветроустановок большой мощности: от 5 до 8 МВт. При этом ожидается, что ветротурбина мощностью 10 МВт, возможность создания которой отрицалось еще 10 – 15 лет назад, будет создана после 2020 года. В настоящее время по неполным данным в коммерческой эксплуатации в Европе находится 291 ветротурбина единичной мощности 5 МВт и 134 ветротурбины единичной мощности 6 МВт. Ниже представлены данные самой мощной ветротурбины (ветроустановки) в мире, находящейся в опытной эксплуатации.

Ветрогенератор Vestas V164 – 8,0 MW. Номинальная мощность 8 МВт, диаметр ротора – 164 м, длина лопасти – 80 м, вес лопасти – 35 тонн. В испытываемом варианте номинальная мощность этой ветротурбины была 7 МВт, а затем благодаря применению генератора на постоянных магнитах мощность увеличена до 8 МВт и в дальнейшем предполагается увеличение мощности до 8,25 МВт.

Для оценки грандиозности вращающихся ветроколес (роторов) ветротурбин мощностью 6 – 8 МВт с диаметром ротора 130 – 180 м, приводим стандартный размер футбольного поля – 105 × 68 метров.

- Стремительно растет мощность наземных ветростанций и их количество. Так в перечне ВЭС мощностью более 500 МВт упоминаются 22 станции, а самая большая из них мощностью 6800 МВт сооружена в Китае.

- Интенсивно развиваются морские ветростанции, называемые оффшорными в зарубежной литературе. Перечень оффшорных ВЭС мощностью более 200 МВт содержит 25 электростанций, самая мощная из них 630 МВт находится в Великобритании. Практически на всех крупных ветроустановках выдача мощности от генератора осуществляется через выпрямитель – инвертор либо преобразователь частоты, либо генератором двойного питания (по нашей терминологии асинхронизированный генератор).

Такие схемы позволяют производить на ВЭУ реактивную мощность в объеме мощности генератора и поддерживать напряжение в точке присоединения ВЭС к сети.

- Энергетический срок окупаемости ВЭУ и ВЭС (Energy Payback Time) составляет от 0,5 до 0,9 года.

Дополнительные данные о процессах развития **солнечной энергетики**.

В 2014 году при общей установленной мощности ФЭС 183 ГВт·ч доля стран и континентов распределялась следующим образом: Германия – 20%, Китай, включая Тайвань – 18%, остальная Европа – 18%, Япония – 13%, Северная Америка – 12%, Италия – 10%, остальной мир – 9%.

По состоянию на начало 2016 года перечень ФЭС мощностью более 100 МВт содержит 50 электростанций в 15 странах мира. При этом в США сооружено 18 таких ФЭС, в Китае – 8, в Индии – 6, в Германии – 3, в остальных странах мира – одна – две станции.

Определилась интересная зависимость между объемом производства модулей ФЭС и удельной стоимостью ФЭС. В течение последних 34 лет (с 1980 по 2014 год) при каждом удвоении объема производства удельная стоимость ФЭС снижалась на 19,4%.



Кроме общего объема производства на снижение удельной стоимости основное влияние оказывает стоимость и расход кремния на пластины. За последние 10 лет расход кремния для солнечных элементов снизился примерно с 16 гр./Ватт(п) до 6 гр./Ватт(п). За счет повышения эффективности и уменьшения толщины пластины.

Рекордный КПД для монокристаллических кремниевых элементов, полученный в лабораториях, составил 25,6% и 20,8% для поликристаллических кремниевых элементов. Наивысший КПД в лабораторных условиях для тонкопленочных технологий солнечных элементов составил 21% для CdTe и 20,5% для CIGS.

Для модулей на монокристаллическом кремнии в лабораторных условиях получен КПД 23%.

Рекордные показатели КПД демонстрирует потенциал увеличения эффективности ФЭС.

Пока еще фотоэлектричество – самый дорогой вид электроэнергии. Но в США по данным REN 21 за последние пять лет тонкопленочные модули подешевели в 3 раза, а кристаллические – в 2,4 раза. В ряде случаев удельная стоимость фотоэлектрических модулей составила в 2014 году 0,4 \$/Вт (пик).

По данным института Fraunhofer срок энергетической окупаемости (EPBT) ФЭС на кремниевых поликристаллических модулях в Южной Европе при приходе солнечной радиации 1700 кВт·ч/м<sup>2</sup>/в год и оптимальном угле наклона снизился с 3,3 лет в 1990 году до 1,2 года в 2013 году. В настоящее время EPBT фотоэлектрических систем составляет от 0,7 до 2 лет в зависимости от технологии и места установки (для Северной Европы около 2,5 лет, для Южной Европы 1,5 года и меньше).

Обратимся к перспективе развития возобновляемой энергетики.

Для определения доли ВИЭ в производстве электроэнергии к 2020 году необходимо спрогнозировать как динамику роста общего производства, так и динамику производства электроэнергии на базе каждого вида возобновляемой энергии.

В таблице 3 дается сравнение вариантов прогноза ЭНИНА и IEA/

Таблица 8. Доля ВИЭ в общем производстве электроэнергии в мире в 2020 году

Автор прогноза	Минимальная	Средняя	Максимальная
ЭНИН	9,3 % (5,3)*	11,2 % (6,1)	13,4 % (7,0)
IEA	7,2	8,4	10,1

\*В скобках – прогноз доли ветра.

## Выводы

1. Более 100 стран ( штатов, провинций) приняли национальные цели по достижению различных долей производства электроэнергии на базе возобновляемых источников энергии.

Доля производства электроэнергии на базе ВИЭ, установленная в документах, колеблется от 3-10% до 80-100%.

Сроки достижения целей колеблются от 2015 года до 2030 года. В США национальные цели не установлены, но в 33 штатах установлены цели для штатов.

В Китае национальные цели и цели провинций не установлены, но по установленной мощности на базе ВИЭ Китай лидирует по 9 из тринадцати показателей использования ВИЭ.

В Индии установлены национальные цели и цели в 34 штатах.

По прогнозу авторов минимальная доля будет составлять – 9,3 % , средняя – 11,3 % , максимальная – 13,4 %.

2. Указанная выше доля производства электроэнергии будет достигнута в основном за счет производства энергии на ВЭС, ФЭС и БиоЭС, доля которых в 2015 году от общей установленной мощности на базе ВИЭ составила 97,5 процентов.

3. Развитие **ветроэнергетики** на данном этапе характеризуется следующими показателями:

- Общая установленная мощность ВЭС на конец 2015 г. составила 433 ГВт, при бесспорном лидерстве Китая 129,3(145,4) ГВт. второе место занимает США, значительно отставая – 73 ГВт;

- единичная мощность ветроустановок увеличилась до 8 МВт. ВЭУ мощностью 6-8 МВт достигли «циклопических размеров»: диаметр ротора – 120-180 м, длина лопасти – 60-80 м, высота башни 80-90 м.

Для сравнения размеры футбольного поля 105x68 м.

- Широко используются схемы выдачи мощности с применением инверторов, преобразователей частоты, асинхронизированных генераторов. Благодаря этому ветростанции участвуют в поддержании напряжения в точке присоединения к энергосистеме, т.к. генераторы рассчитаны на выдачу реактивной мощности равной номинальной активной.

- Развиваются морские (оффшорные) ВЭС;
- Увеличился коэффициент использования установленной мощности до 0,3 – 0,4;
- Нормированная себестоимость электроэнергии от ВЭС в ряде случаев стала ниже себестоимости электростанций на угле.

- Срок энергетической окупаемости ВЭС составляет менее 1 года.

4. Развитие **солнечной** энергетики характеризуется следующим:

- Общая установленная мощность фотоэлектрических станций всех типов на конец 2015 года составила 227 ГВт (п). В этом году Китай вышел на первое место (43,5 ГВт (пик)), обогнав Германию (39,7 ГВт (пик)), лидировавшую по установленной мощности в течение 15 лет;

- Получены в лабораториях для кремниевых монокристаллических элементов КПД 25,6%. В производственных условиях КПД кремниевых модулей составляет 15-16 %. Полученные в лаборатории результаты гарантируют существенное повышение КПД модулей в заводских условиях;

- Увеличилось количество ФЭС мощностью более 100 МВт, число которых возросло до 45, а мощность самой крупной составила 850 МВт;

- Срок энергетической окупаемости ФЭС существенно сократился и составил от 1 года до 1,5 лет в зависимости от географических условий.

5. **Биоэнергетика** характеризуется следующими показателями:

- Электростанции на биомассе имеют самую низкую себестоимость электроэнергии (4-7 центов США/кВт·ч), сравнительно невысокую удельную стоимость (1000-2000 \$/кВт) и достаточно высокое значение коэффициентом использования установленной мощности (0,8 и выше);

- Широкое использование отходов лесозаготовки, лесопереработки, сельского хозяйства (прямое сжигание);

- Широкое использование биогазовых технологий для утилизации отходов животноводства, а также получения биогаза на свалках (landfield gas);

- Получение биоэтанола и биодизеля из целлюлозосодержащего сырья.

Все указанные выше технологии используются как для производства тепловой энергии, так и для производства электроэнергии.

6. Возобновляемая энергетика имеет существенную социальную значимость: кроме снижения эмиссии CO<sub>2</sub>, обеспечивает появление дополнительных рабочих мест, количество которых на конец 2015 года составило 8,1 млн.

---

### Литература

1. REN21, 2016. Renewable Energy Policy Network or the 21-st Century. Renewables 2016. Global Status Report. 2016.
2. Photovoltaics Report, prepared by Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE, with support of PSE AG. Freiburg, 11 March 2016.
3. World's Largest Biomass CHP Plant to help Power Central Stockholm. July /August 2016 Renewable Energy World Magazine.
4. Безруких П.П., Безруких П.П. (мл.) /Прогноз развития возобновляемой энергетики мира до 2020 года. Сборник - Материалы Международного конгресса «Возобновляемая энергетика XXI Век: энергетическая и экономическая эффективность», 27-29 октября 2015 г., г. Москва, с. 70-76
5. Pavel Bezrukikh, Sergey Karabanov, Pavel Bezrukikh (Jr.), The Study of the Efficiency of Photovoltaics and Wind Power Energy, Proceedings of 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 20-24 June, 2016, Munich, Germany.

**ПРОЦЕССЫ ИНТЕГРАЦИИ ВИЭ В ЭНЕРГЕТИКУ СТРАН БАССЕЙНА  
СЕВЕРНОГО МОРЯ  
THE PROCESSES OF INTEGRATION OF RES IN POWER INDUSTRY  
COUNTRIES THE BASIN NORTH SEA**

**Горлов А.А. (мл)**  
НИУ ВШЭ , Москва , Россия

**Gorlov A.A. (Jr)**  
HSE , Moscow , Russia

**Ключевые слова:** традиционная энергетика, возобновляемые источники энергии, углеводородные ресурсы, страны БСМ (бассейна Северного моря), процессы замещения

**Key words:** traditional energy, renewable energy, hydrocarbon resources of the country BSM (Norsh Sea), the European Union , replacement processes

К концу 2013 года 144 ведущих и развивающихся стран мира приняли программу расширения производства электроэнергии от возобновляемых источников энергии (REN 21). Себестоимость производства электроэнергии от возобновляемых источников энергии ежегодно уменьшается. Согласно данным инвестиционного банка Lazard приведенная себестоимость выработки электроэнергии (LCOE) от возобновляемых источников энергии составляет от 37 до 81 долл. США/МВт-ч, в то время как угольная генерация производит электроэнергию стоимостью от 66 до 151 долл. США/МВт-ч, газовая генерация – от 61 до 87 долл. США/МВт- ч [1]. На протяжении 5 лет стоимость ветровой электроэнергии снизилась на 58%, а стоимость солнечной электроэнергии уменьшилась на 78% . По оценкам ведущих российских специалистов [2], глобальные инвестиции в возобновляемую энергетику увеличатся с бывших в 2010 году 105 млрд долл. США в год до 180 млрд долл. США к 2020 году и могут достигнуть 300 млрд долл. США к 2030 году. При этом ожидается, что .установленные мощности ВИЭ вырастут к 2030 году почти в десять раз от мощности ВИЭ в 2010 году и достигнут 2770 ГВт (36% глобальных мощностей электроэнергетики ). Эксперты обращают внимание, что одновременно с ростом масштабов использования ВИЭ в мировой энергетике будет сокращаться доля угольной и нефтяной отраслей, а после 2030 года также и газового сектора. По их мнению, именно к этому моменту возобновляемая энергетика станет абсолютно конкурентной традиционной в ведущих странах мира [2] .

Но реальность процессов замещения стремительно опережает эти прогнозы, опубликованные несколько лет назад. Так, в отчете National Bank of Abu Dhabi (2015 г.) подчеркивается, что существующая на сегодняшний день себестоимость солнечной электроэнергии может быть конкурентоспособна с ископаемыми ресурсами при цене газа на уровне 5 долл. США/МБТЕ, и на нефть – в 10 долл. США за баррель [3]. В докладе консалтинговой компании Ernst & Young et Associés e (2015 г.) отмечается, что в течении ближайших пяти лет должны до 20% сократиться расходы на развитие ветровых установок за счет реализации принятой ведущими компаниями ЕС комплексной программы развертывания турбин большой мощности, позволяющих увеличить отбор энергии, решения логистических проблем и ряда других мероприятий, что позволит оффшорным ветровым установкам уже к 2020 году конкурировать с традиционной энергетикой [4]. Центральную роль в развитии ВИЭ играют ведущие страны Европейского союза (ЕС), и прежде всего, страны бассейна Северного моря (БСМ): Великобритания, Германия, Нидерланды, Франция, Норвегия, Дания, которые наиболее обеспечены собственными иликупаемыми углеводородными ресурсами, но при этом интенсивно развивают альтернативные источники энергии. Страны БСМ активно используют низкоуглеродную климатическую политику для обеспечения

энергетической безопасности самих этих стран и ЕС в целом. Еще одной из причин развития ВИЭ является быстрое истощение месторождений углеводородов в Северном море. Например, только за двухлетний период к 2012 году объемы производства нефти и газа на шельфе Великобритании сократились на 30% до 1,55 млн. эквивалентных баррелей в сутки, а в течение 2013 года ещё до 1,3 млн. баррелей. Другим стимулом для альтернативной энергетики является желание многих стран БСМ отказаться от атомных электростанций так же, как это произошло уже в Германии после аварии в Факусиме. Ведущие российские специалисты считают, что уже к 2030 году может значительно измениться структура энергетического сектора мировой экономики и за счет резкого развития инновационной технологической возобновляемой энергетики (прежде всего ветровой и солнечной) в ведущих странах ЕС существенно снизятся объемы импорта углеводородных энергоносителей. На этом фоне ожидается быстрое снижение рентабельности компаний в нефтяной, газовой и угольной энергетике [2]. В процессах замещения в странах БСМ главную роль играет последовательная государственная национальная политика развития ВИЭ (Renewable Energy Road Map ЕС). В соответствии с ней в Германии уже к 2020 году планируется вырабатывать от ВИЭ до 30% электроэнергии и до 14% тепловой энергии. К этому же времени ожидается по сравнению с уровнем 2014 года рост установленных мощностей оффшорных ветровых установок в Великобритании на 7 ГВт, Германии на 6 ГВт, Нидерландах, Франции, Дании в каждой стране на 2 ГВт, что обеспечит в ЕС суммарную мощность только таких ВИЭ до 28 ГВт [4].

Анализ показывает, что главное значение в процессах замещения в странах БСМ играет политическое управление и правовое регулирование, принятие различных политических решений и нормирующих актов, меры экономической поддержки возобновляемой энергетики. Также широко используются различные инструменты государственного стимулирования, такие как специальные компенсационные закупочные тарифы (feed-in tariff), создание экологических фондов, субсидии, льготные кредиты и гранты, налоговые льготы и освобождения, система платежей за выработку «возобновляемой» энергии, обязательства по производству тепла из альтернативных источников энергии. Большой эффект для процессов замещения дает практическая рыночная интеграция ВИЭ в системы энергоснабжения [2,5].

Правительства и энергетические компании стран БСМ, принимая данную тенденцию, действуют в соответствии с ней - уже в 2014 году 79% от всех введенных в эксплуатацию генерирующих мощностей относились к альтернативной энергетике, при том, что в 2013 г. данный показатель составлял 72%. Учитывая моральное и физическое устаревание производственных фондов традиционной энергетики, в странах БСМ чистый прирост генерации обеспечивается ВИЭ. Наблюдается уже не просто «промышленная альтернатива» углеводородам, но тренд значительных объемов отказа от них в энергетике будущего. Принятие политических решений, ориентированных на снижение используемых углеводородных энергоресурсов, отказ от угольной и атомной энергетики, связано с серьезными экологическими проблемами и антропогенным характером глобального потепления. В европейских государствах утверждены целевые ориентиры по выбросу парниковых газов, которые необходимо снизить на 80–95% от уровня 1990 г. уже к 2050 г. [2]. Однако, на фоне позитивных современного и прогнозного развития ВИЭ, в последние годы многие специалисты говорят о негативных сценариях развития альтернативной энергетики в Европе. Эксперты Еврокомиссии и Financial Times считают, что увеличение объемов использования ВИЭ к 2020 году и замена ими традиционных энергетических установок приведет к тому, что в ближайшие 15 лет в Европе будет наблюдаться неуклонное повышение тарифов на электроэнергию, а начиная с 2030 года, после реализации всех намеченных сегодня проектов альтернативной энергетики, стоимость электричества увеличится еще в несколько раз.

Поэтому, из-за большой нагрузки на бизнес и население, в ЕС создается конфликтная ситуация, когда далеко не все согласны с тем, чтобы рынок оплачивал дорогую альтернативную электроэнергию [5]. Высокая степень противоречивости перспектив развития ВИЭ в странах БСМ определяет необходимость изучения факторов, влияющих на процессы замещения, и разработки, на их основе, эконометрических сценариев этих процессов с позиций мировой экономики [6]. Для исследования процессов замещения в странах БСМ в первую очередь рассматриваются общие тренды развития энергетики – динамики энергоемкости ВВП, динамики и структуры потребления первичной энергии и конечного потребления энергии, выбросов парниковых газов, а также тренды в отдельных отраслях – нефтяной, угольной, газовой, атомной, электроэнергетики и возобновляемой энергетике [2]. Также важен анализ различных факторов, ограничений и инструментов, определяющих развитие возобновляемой энергетике, которые можно классифицировать на несколько групп: энергетические, финансово-экономические, технико-технологические, политические, социальные, экологические [1,2,4,5,6].

Для дальнейших исследований необходима оценка наиболее значимых для процессов замещения в странах БСМ перечисленных выше трендов, факторов и ограничений с точки зрения использования их в прогнозной моделировании, которое должно определить сценарий развития и вероятную степень замещения традиционной энергетике возобновляемой на рассматриваемом периоде развития энергетической системы ЕС, а также оптимальный с точки зрения макроэкономических показателей баланс этого замещения. Ведущими российскими энергетиками работе отмечается [2], что не один прогнозный сценарий не может рассматриваться как догма от одного временного интервала до другого, а требуется постоянный непрерывный анализ международных трендов с на небольших временных интервалах от года до нескольких лет. Планируется разработать среднесрочные исследовательские и нормативные. прогнозные модели с учетом методических рекомендаций основополагающей работы [2], с помощью которых можно будет провести изучение непрерывной динамики процессов замещения в странах БСМ с интервалом в 3 года, за период начиная с 2015 года по 2033 год. Это позволит выявить точки бифуркации и провести более точный количественный и качественный прогноз стратегии замещения. Прогнозный период исследований был выбран с учетом того, что в него войдет 2030 год, который во многих существующих сценариях различных экспертов выделяется как переломный момент значительного изменения трендов развития мировой энергетике [2]. Но это может произойти гораздо раньше, учитывая стремительную динамику развития энергетических технологий, что увеличивает важность проведения непрерывного прогнозного анализа. Необходима будет постоянная корректировка прогнозных сценариев энергетике с учетом подобных различных сценариев зарубежных стран. Наблюдаемые в настоящее время процессы замещения характерны для сочетания инновационного и стагнационного сценариев энергетического развития, с преимущественным доминированием инновационного технологического сценария, подробно разработанного ведущими российскими энергетиками на основании анализа многочисленных прогнозных моделей различных международных экспертных организаций [2]. Особо следует при этом отметить стремительный рост ВИЭ и информационных технологий, развитие технологий «умных» сетей и потребителей, внедрение комплексов «природный газ, ВИЭ и блоки хранения энергии» для выравнивания энергетического баланса при нестабильной генерации [7] и т.п. (инновационный сценарий), а также значительное использование государственного, нормативно-регулятивного и системного управления (стагнационный сценарий). Для формирования и реализации стратегии замещения традиционной энергетике возобновляемой в странах БСМ необходимо определить оптимальный баланс между всеми основными элементами структуры производства и потребления, с целью

обеспечения бесперебойного энергоснабжения всех потребителей [6]. При этом следует отдавать предпочтение механизмам снижения затрат и предотвращения избыточного стимулирования. В идеале должны быть созданы условия одновременно и для роста возобновляемой энергетики, и для её рыночной интеграции в существующую энергосистему. Дальнейшее рассмотрение процессов замещения будет основываться на гипотезе о том, что, во-первых, страны БСМ не будут стремиться к увеличению объемов первичного производства, которое в настоящее время представлено преимущественно традиционными энергетическими ресурсами. Во-вторых, уровень потребления энергии в этих странах будет неуклонно увеличиваться, что будет обуславливать стремление к повышению энергоэффективности эксплуатируемых энергетических ресурсов, и это будет в свою очередь обуславливать стремление к вводу новых мощностей возобновляемой энергетики с высоким коэффициентом полезного действия. Одновременно необходимо учитывать, что рынок традиционной энергетики (углеводородного сырья и продукции его переработки) по сравнению с рынком возобновляемой энергетики в последние 1,5 – 2 года в большей степени конкурентоспособен по ценовым параметрам. В частности, баррель нефти в середине 2014 года оценивался на фондовых рынках порядка 110 – 115 долларов США, но уже по состоянию на середину 2016 года баррель нефти торгуется на рынке по цене порядка 40 – 45 долларов США. Практически аналогичный темп снижения цены наблюдается и по другим энергетическим ресурсам, полученным из традиционных источников (сжиженный природный газ, уголь). Иными словами, привлекательность традиционной энергетики по цене в настоящее время увеличилась более чем в 2,5 – 2,7 раза относительно 2014 года. По нашему мнению, динамику процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии характеризует три ключевых индикатора: экономическая эффективность, рациональность и результативность замещения. Экономическая эффективность процесса замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии в общем случае может быть определена через соотношение полученных доходов от реализации энергетических ресурсов и расходов (как текущих, так и капитальных), связанных с созданием инфраструктуры и генерацией энергетических ресурсов из возобновляемых источников. Необходимо отметить, что замещение традиционной энергетики возобновляемыми источниками должно приносить не только прямые экономические выгоды, но и косвенные эффекты в виде снижения экологической нагрузки на природную систему. Соответственно, необходимо дополнять расчеты коэффициентом, характеризующим уровень экологической нагрузки при эксплуатации тех или иных источников энергии:

$$k_e = 1 - \frac{ED}{F} \quad (1)$$

Где:

$ED$  – оцененный экологический ущерб от эксплуатации тех или иных источников энергии ;  $F$  – экономические выгоды от реализации энергетических ресурсов, полученных из тех или иных источников энергии.

Вторым важнейшим индикатором, характеризующим динамику процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии, мы считаем индикатор рациональности замещения. Отдельными авторами [8] предлагается оценивать рациональность замещения одних источников энергии другими через показатель экономичности:

$$E = \frac{P * Q}{\sum C} \quad (2)$$

Где:

$P$  – рыночная цена единицы замещаемого энергетического ресурса (например, условной тонны);  $Q$  – объем замещаемого энергетического ресурса;  $\Sigma C$  – стоимость совокупных расходов (текущих и капитальных), связанных с замещением.

Результативность динамики замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии целесообразно оценивать через уровень энергетической безопасности. Существует некоторое множество подходов к расчету показателей энергетической безопасности, но оптимально анализировать состояние энергетической безопасности отдельно взятого региона (страны, территории, административной единицы) с использованием интегрированного подхода, который включает расчет трех коэффициентов: энергетической обеспеченности, достаточности энергетического обеспечения, качества развития региона. В качестве первичной методической основы расчета уровня энергетической безопасности была использована концепция, предложенная в работе [9], но дополненная и адаптированная с учетом тематики данного доклада. Поэтому предлагается рассчитывать коэффициент энергетической обеспеченности следующим образом:

$$A = \frac{(A_{fr} - A_{minr}) + (A_{ft} - A_{mint})}{A_{max} - A_{min}} \quad (3)$$

Где:

$A_{fr}$  и  $A_{ft}$  – соответственно, фактическая обеспеченность региона возобновляемыми и традиционными энергетическими ресурсами;  $A_{minr}$  и  $A_{mint}$  – минимально допустимый уровень самообеспечения региона соответственно возобновляемыми и традиционными энергетическими ресурсами;  $A_{min}$  и  $A_{max}$  – суммарный минимально возможный и максимально установленный уровень самообеспечения региона всеми видами энергетических ресурсов вне зависимости от источника их получения. Коэффициент достаточности энергетического обеспечения региона предлагается рассчитывать на основе соотношения первичного производства ( $PP$ ) и конечного потребления ( $FC$ ) по каждому виду источников энергетических ресурсов (соответственно:  $r$  – возобновляемые,  $t$  – традиционные):

$$B = \frac{PP_r + PP_t}{FC_r + FC_t} \quad (4)$$

В свою очередь коэффициент качества развития региона через соотношение генерального индикатора прогресса ( $GPI$ ) и внутреннего валового продукта ( $GDP$ ):

$$D = \frac{GPI}{GDP} \quad (5)$$

Отсюда индикатор результативности процессов замещения, оцениваемый через уровень энергетической безопасности региона (страны, территории, административной единицы), будет иметь вид:

$$IS = B * \frac{A + D}{2} \quad (6)$$

Соответственно, учитывая логику предложенного выше расчетного инструментария, целесообразно выделять три возможных состояния и динамики процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии:

1) динамика процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии характеризуется экстенсивностью, если темпы роста индикатора результативности ниже темпов роста индикаторов экономической эффективности и рациональности. Иными словами, возобновляемая энергетика не потенцирует рост социально-экономических выгод от развития её инфраструктуры и генерируемых энергетических ресурсов;

2) динамика процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии характеризуется интенсивностью, если темпы роста индикатора



результативности выше темпов роста индикаторов экономической эффективности и рациональности. Это означает, что возобновляемая энергетика формирует социально-экономические выгоды от её развития и эксплуатации;

3) динамика процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии характеризуется сбалансированностью, если темпы роста индикатора результативности равнозначны темпам роста индикаторов экономической эффективности и рациональности. Иными словами, происходит пропорциональная трансформация эффективности и рациональности процессов замещения в получаемые социально-экономические выгоды в виде увеличения уровня энергетической безопасности.

Представленная в настоящем докладе методика может быть использована при принятии решений для обеспечения оптимального баланса процессов замещения традиционной энергетики возобновляемыми источниками энергии как на региональном уровне, так и в рамках отдельных стран. Процессы замещения, наблюдаемые в странах БСМ, ведут к вытеснению России с энергетического рынка ЕС. Поэтому результаты исследования могут быть использованы отечественными нефтегазовыми компаниями для своевременной корректировки своих торговых и инвестиционных стратегий.

### Список литературы

1. Анализ приведенной стоимости энергии инвестиционного банка Lazard. URL: <http://www.lazard.com/PDF/Levelized%20Cost%20of%20Energy%20-%20Version%208.0.pdf>
2. Мировая энергетика – 2050 (Белая книга), под ред. В.В. Бушуева (ИЭС), В.А. Каламанова (МЦУЭР). – М.: ИД «Энергия», 2011, 360 с.
3. Financing the Future of Energy. A report for the National Bank of Abu Dhabi by the University of Cambridge and PwC, 2015, URL: <http://www.nbad.com/futureofenergy>
4. Offshore Wind in Europe/ Walking the tightrope to success, Ernst & Young et Associés, 2015 URL: <http://www.ey.com/fr>
5. Меден Н.К. Интеграция возобновляемой энергетики. Опыт Германии. Журнал РАН «Энергия: техника, экология, экономика», №№ 4, 5, 6. 2014.
6. Горлов А.А. Процессы замещения традиционной энергетики возобновляемой в странах бассейна Северного моря // Энергетическая политика. 2015, № 4. С. 68-78.
7. Bringing Variable Renewable Energy Up to Scale, Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) (94940) & The World Bank, 2015, p.85, URL: [https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/21629/ESMAP\\_Bringing%20Variable%20Renewable%20Energy%20Up%20to%20Scale\\_VRE\\_TR006-15.pdf](https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/21629/ESMAP_Bringing%20Variable%20Renewable%20Energy%20Up%20to%20Scale_VRE_TR006-15.pdf)
8. Сендеров С.М., Смирнова Е.М. Методы оценки и анализ уровня энергетической безопасности // Академия энергетики. 2009. № 6 (32). С. 30-40.
9. Васиков А.Р., Салихов Т.П., Гараев З.В. Упрощенная оценка уровня энергетической безопасности на базе широкодоступной информации // Институт систем энергетики им. А.Л. Мелентьева (Сибирское отделение Российской академии наук) [электронный ресурс] режим доступа <http://sei.irk.ru/symp2010/papers/RUS/S6-12г.pdf> свободный

**НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ  
ИНФРАСТРУКТУРА РАЗВИТИЯ МОРСКИХ ВИЭ  
THE SCIENTIFIC AND EXPERIMENTAL INFRASTRUCTURE FOR  
DEVELOPMENT OF THE MARINE RES**

**Горлов А.А.**

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

**Gorlov A.A.**

P.P.Schirshov Institute of Oceanology RAS , Moscow , Russia

Ключевые слова: Морская доктрина РФ , океанские ВИЭ (ОВИЭ), Национальная Технологическая Инициатива, Рабочая Группа МариНет , научно-исследовательская инфраструктура , экспериментальные морские полигоны

Key words: Russian Maritime Doctrine , ocean renewable energy sources (ORES) , National Technology Initiative (NTI), Working Group MariNet , Research Infrastructure , experimental sea polygons

Россия омывается тринадцатью морями, ее водная граница простирается на 40 тыс. км, поэтому совокупные ресурсы энергии ветрового волнения, приливных течений и оффшорного ветра в стране очень велики. Например, удельная мощность энергии волнения может достигать в Баренцевом море величины 29 кВт/м, а для открытых от льда акваторий Охотского и Берингова – 30-35 кВт/м, скорости приливных течений во многих участках Баренцева, Белого, Охотского и Берингова морях достигает 3-4 м/с. В морях Российской Арктики и Дальнего Востока наблюдаются очень сильные ветра [1]. В новой Морской доктрине, утвержденной Президентом РФ от 26 июля 2015 года в качестве одной из долгосрочных задач прописано: « ...освоение инновационных технологий выработки электрической энергии с использованием приливо-отливных явлений, прибрежных приводных ветров и ветровых волн, температурного градиента воды, термальной энергии и течений, а также тепловой калорийности биомассы водорослей». За рубежом морскими и океанскими ВИЭ (ОВИЭ) волнения, течений, тепла и ветра занимаются уже сотни компаний по всему миру. Наблюдается тенденция роста единичных мощностей типового ряда ОВИЭ и размещение их все дальше от берега в открытом море (до 15-50 км) на глубинах более 100 м. Такие автономные энергоблоки, мощностью от сотен киловатт до нескольких мегаватт, можно производить на небольших заводах и верфях, тиражировать большими сериями, легко транспортировать в избранную точку акватории и, главное, быстро устанавливать практически на любом грунте, в том числе и под водой (по льдом), практически без долговременных дорогостоящих подготовительных работ. Из отдельных блоков достаточно просто, быстро и поэтапно можно составлять энергетические фермы мощностью в сотни мегаватт, а также их удобно поднимать при ремонте или переставлять в другое место. Важно, что для создания таких блоков и ферм применяются уже не сложные проекты гидроэнергетического строительства, а оффшорные или океанские судостроительные и подводные технологии. Например, на сегодняшний день одним из наиболее успешных зарубежных проектов является волновой буй PowerBuoy. С 2012 года корпорацией Lockheed Martin началось создание у берегов США энергетического волнового парка, состоящего из сотен таких энергобуев с планируемой общей мощностью 50 МВт. Аналогичный проект с заявленной мощностью 100 МВт реализуется у побережья Австралия. Крупные проекты волновых энергетических ферм разрабатываются также шотландской компанией Pelamis (150 МВт), французской корпорацией DCNS (16 МВт) и рядом других фирм. Планируется экспорт этих технологий по всему миру. По прогнозу, выполненному экспертами в 2013 г., ожидается достичь до 2040 г. общего уровня установленной мощности только волновых энергоустановок около 10 ГВт [2]. Но

активная государственная поддержка и быстрое развитие технологий этого направления во многих ведущих странах мира может изменить эти оценки в сторону значительного увеличения прогнозных показателей. Примером тому являются принятая весной 2016 года правительством Франции программа ускоренного развития технологий энергии волнения, течений и ветра, согласно которой уже через 7 лет в стране должен быть достигнут уровень установленной мощности ОВИЭ до 2 ГВт. По решению Президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России от 16.07.15. был разработан план реализации Национальной Технологической Инициативы (НТИ), которая представляет собой долгосрочную стратегию инновационного развития страны на 20 лет, ориентированную на внедрение передовых технологий и формирование новых глобальных рынков. По мнению Председателя Правительства РФ: «Решение задач НТИ в глобальном смысле является одним из ключей к переформатированию нашей экономики из сырьевой в инновационную...». Основной целью НТИ является преодоление разрыва между фундаментальными и прикладными исследованиями в России. Системообразующими документами НТИ являются «дорожные карты», нацеленные на формирование перспективных технологических рынков. В октябре 2015 года были утверждены руководство и состав Рабочей Группы «МариНэт», а также её Дорожная карта НТИ, направленная на формирование лидерских позиций российских компаний на перспективных технологических рынках глобальной морской отрасли. Планируются радикальные изменения в трех областях – цифровая навигация (e-Navigation), инновационное судостроение и технологии освоения ресурсов океана. Объем этих ключевых сегментов гражданской морской отрасли превышает 2,5 трлн. долларов США и стабильно увеличивается. Одним из наиболее перспективных развивающихся рынков являются технологии освоения ресурсов океана: инфраструктура морской добычи, средства подводной связи и робототехники, производства аквакультур, морские и океанские ВИЭ. При этом прогнозируется экспоненциальный рост промышленного освоения ресурсов океана в 21 веке, особенно энергии и пищевой продукции. Для всех проектов, которые будут представляться на рассмотрение РГ «МариНет», должна быть обеспечена возможности выполнения корректного анализа и сравнения результатов исследований лабораторных моделей в опытовых бассейнах и демонстрационных макетов ОВИЭ в натуральных условиях, по одинаковым методикам и стандартам, с использованием единого инструментального и программного обеспечения. С этой целью в ДК РГ МариНет намечена разработка и создание научно-исследовательской и экспериментальной инфраструктуры развития ОВИЭ. Такой же подход распространяется на морскую робототехнику, подводную связь и навигацию и т.д. За последние годы в Европе, Канаде, США и ряде других стран накоплен большой практический опыт в этом направлении. Для координации усилий по развитию ОВИЭ в 2013 году была образована Европейская Ассоциация энергии океана (Ocean Energy Europe - ОЕЕ), объединяющая в настоящее время около 113 энергетических, промышленных и финансовых организаций ЕС [3]. Среди них крупнейшие компании и корпорации, такие как ALSTOM, SIEMENS, DCNS, EDF, DP ENERGY, ATLANTIS и другие. Целью ОЕЕ является создание сильной поддержки для развития энергии океана, в том числе улучшение доступа к финансированию проектов ОВИЭ и расширению деловых возможностей для своих членов. Для достижения этой цели ОЕЕ установила тесные связи с Европейской комиссией, Советом Европы, Европейским инвестиционным банком и национальными министерствами по энергетике, климату и финансам, что обеспечило поддержку ЕС и приток инвестиций к проектам ОВИЭ. Например, только по инвестиционной программе Horizon 2020 было выделено в 2014-2015 годах в сектор морской энергетики более 62 млн. Евро. Ассоциация ОЕЕ для ускорения процессов обмена информацией также организует ежегодную Европейскую Конференцию и Выставку по Энергетике Океана (Ocean Energy Europe Conference & Exhibition), где

участвуют европейские министры, руководители и ведущие сотрудники различных компаний в этой области (Эдинбург -2013, Париж -2014, Дублин – 2015, Брюссель – 2016). В 2013 году ОЕЕ основала Технологическую Платформу «Энергия океана» (TP Ocean), которая является официальным консультативным органом при Европейской Комиссии и определяет технологические приоритеты финансирования научно-исследовательских программ. Для эффективного развития ОВИЭ с помощью ОЕЕ выполняются десятки различных совместных проектов стран ЕС. Характерен опыт одного из таких проектов - MaRINET, финансируемой ЕС и ведущими компаниями-спонсорами международной сети научно-исследовательских центров, обеспечивающих научно-техническое взаимодействие, с целью ускорения разработки и коммерческого внедрения морских технологий возобновляемых источников энергии - волнения, течения и оффшорного ветра. Сеть MaRINET объединяет 29 научных организаций и 45 объектов экспериментальной инфраструктуры из 12 стран Европы для совместной разработки проектов ОВИЭ, проведения их модельных и натурных исследований, постоянного обмена научной информацией, проведения обучения студентов и тренинга специалистов [4]. Совокупный бюджет составляет 11 млн. Евро. К настоящему времени этой научной сетью выполняется более 300 совместных проектов. Имеющийся уже опыт работы MaRINET показывает большие возможности для продвижения морских ВИЭ и их коммерческого использования. Организации-партнеры сети координируют разработку различных стандартов, прежде всего для исследований и испытаний по единым методикам и критериям ОВИЭ. В структуре MaRINET установлена четкая последовательность проведения совместных работ со свободным обеспечением доступа всем своим членам - организациям ко всей своей инфраструктуре. На первом этапе проводятся фундаментальные исследования и тестирование моделей малых масштабов (от 1:100 до 1:25) в опытовых бассейнах при регулярном волнении. На втором этапе выполняются испытания моделей ОВИЭ масштабов от 1:25 до 1:10 в бассейнах и реальных морских условиях. На третьем этапе испытываются уже модели большого масштаба (от 1:4 до 1:1) в натурных морских условиях, максимально близких к условиям к месту предстоящего базирования ОВИЭ. Организации - партнеры сети активно участвуют в совместных научных мероприятиях, обеспечивают широкий обмен информацией и методиками, изучают единые стандарты и программы тестирования моделей, проводят тренинги и обучение специалистов для повышения их профессиональной подготовки. Для координации и финансовой поддержки научных исследований и инноваций в области ОВИЭ в 2013 году в ЕС была создана специальная структура - Ocean Energy European Research Area Network (OCEANERA-NET), объединяющая 16 учреждений из 9 стран, входящих в MaRINET. Департамент энергетики США в последние два года также проводит оригинальную научно-исследовательскую программу Wave Energy Prize, в котором с весны 2015 года приняло участие более 90 команд из различных организаций и компаний страны, представившие в жюри свои проекты волновых установок[5]. Эксперты по одним и тем же разработанным критериям оценивали каждую команду на основе представленных ими технических предложений, результатов численного моделирования, проектных моделей, планов развития проектов и результатов тестирования моделей малого масштаба (1:50) в одинаковых условиях в опытовом бассейне. Проигравшие участники выбывали из конкурса. В начале марта 2016 г. были определены из последних 17 команд девять финалистов и две запасные команды. Каждая финалист получил от государства финансирование для продолжения исследований и разработки моделей их преобразователей волновой энергии уже несколько большего масштаба (1:20). Эти модели будут испытаны командами до ноября 2016 г. в одном из лучших волновых бассейнов США. При этом главной задачей проектных команд является удвоение эффективности отбора энергии волнения. Победитель получит приз в 2 млн. долл. США.,

а за второе и третье место соответственно 500 и 250 тыс. долл. США. Конкурс позволит отобрать перспективные инновационные технологии, обеспечивает снижение затрат на их создание и серьезно стимулирует развитие этого направления ОВИЭ. Подобная же научно-техническая политика проводится Великобританией, Испанией, Португалией, Японией, Китаем и рядом других государств. Наибольший опыт в секторе ОВИЭ накоплен на сегодняшний момент в Великобритании [6]. Благодаря финансовой и политической поддержке правительства за последнее время рост оффшорной ветровой энергетики в стране составил 30% в год. Одна из программ «Ускорение морской ветровой энергетики» (Offshore Wind Accelerator) предусматривает выделение 40 млн. GBP на создание ветровых ферм морского базирования. Протяженность береговой линии Великобритании составляет 30500 км, поэтому суммарный потенциал волновой и приливной энергии представляет собою огромный ресурс, который уже активно осваивается - в стране разрабатывается 25% всех мировых проектов по волновой энергетике и 30% проектов по энергетике приливных течений. В 2012 году Комитет по энергетике и изменению климата (Energy and Climate Change Select Committee) предложил правительству Великобритании действовать более решительно в направлении развития волнового и приливного сектора энергетики страны, оцениваемого в 3,7 млрд. GBP. Британские волновые технологии имеют потенциал для производства 50 ТВт-час электроэнергии, способный обеспечить электричеством 11 млн. домов, а от приливных течений можно получить 17 ТВт-час для 4 млн. домов. В акваторию Оркнейских островов Шотландии приходят волны высотой 15 м из Северной Атлантики, там же имеется множество межостровных участков, где приливные течения достигают скорости до 4 м/с. Этот район страны называют Саудовской Аравией волновой и приливной энергетики [6]. По данным Renewables UK, весь сектор морской энергетики Великобритании к 2030 году будет оцениваться примерно в 1,5 млрд. GBP и он сможет обеспечить более 20% потребности страны в электроэнергии. Министерство DECC выделило 20 млн. GBP из фонда Carbon Trust на развитие морского энергетического сектора страны, а компания Crown Estate впервые в мире провела тендер на заключение лизинговых соглашений по коммерческим проектам морской энергетики. Планируется, что к 2020 году на севере Шотландии будут смонтированы генерирующие установки мощностью 1,6 ГВт. Уже подписаны соглашения по шести волновым проектам и четырем проектам энергии приливных течений суммарной генерирующей мощностью 450 МВт. Всего за последнее десятилетие правительство инвестировало более 60 млн. GBP в сектор морской энергетики. Шотландия также создала Национальный фонд развития инфраструктуры ВИЭ (National Renewables Infrastructure Fund) с капиталом 70 млн. GBP, призванный усовершенствовать производственные мощности для изготовления ОВИЭ. Этот фонд привлечет значительные инвестиции частного сектора, поможет создать более 28 тыс. рабочих мест и усилить экономику Шотландии на 7,1 млрд. GBP в течение ближайшего десятилетия. Дополнительно был создан Фонд коммерциализации морских ВИЭ (Marine Array Commercialisation Fund - MRCF) с капиталом в 18 млн. GBP [6]. Главной задачей развития технологий ОВИЭ в условиях конкуренции рынка является снижение общих затрат на их производство и эксплуатацию. Экономические показатели ВИЭ, в том числе и морских, принято оценивать уравновешенной стоимостью электроэнергии LCOE (Levelized Cost Of Electricity), отпускаемой непосредственно с энергоустановки. Для первых демонстрационных волновых установок значения LCOE составляют 0,52 Евро/кВт-ч, а для первых демонстрационных преобразователей энергии приливных течений LCOE оценивается в 0,37 Евро / кВт-час. Но с учетом всех возможных путей снижения расходов на создание и эксплуатацию ОВИЭ, способов повышения КПД и других технических характеристик преобразователей уже к 2030 году эксперты оценивают LCOE для преобразователей волновой энергии в пределах 0, 11- 0,23 Евро/ кВт-ч, а для

преобразователей энергии течений ещё ниже [2]. С целью снижения LCOE и повышения коэффициента отбора энергии за рубежом многими научными организациями проводятся регулярные исследования моделей и макетов различных проектов ОВИЭ. Главную роль в этом направлении играет Испытательный европейский центр морской энергетики (ЕМЕС), образованный ещё в 2003 году на севере Шотландии (Оркнейские острова). Здесь заказчикам предоставляется все необходимые услуги, начиная от разработки первоначальной концепции проекта, заканчивая полномасштабными испытаниями демонстрационных установок на морских полигонах Центра [6]. Центр имеет два морских полигона (отдельно для ОВИЭ волнения и для ОВИЭ течений) для испытаний демонстрационных макетов, а также ещё два морских полигона для долговременных натуральных испытаний коммерческих ОВИЭ, подключенных к распределенной электрической сети Шотландии. Морские полигоны оборудованы специальными терминалами для установки и подключения энергоблоков ОВИЭ, подводными силовыми кабелями и линиями связи терминалов с береговыми пунктами сбора и накопления данных, волнографами, донными измерителями течений, радарными, акустической, гидрометеорологической аппаратурой и т.п. ЕМЕС располагает большим научно-техническим опытом после проведения более 1000 морских энергетических и экологических проектов, охватывающих развертывания устройств, соединения сети, прокладки подводных кабелей, сбора данных, различных мероприятия по мониторингу и многое другое. Обычно работы проводятся поэтапно, подобно программам научно-исследовательской сети MaRINET. Первый этап - помощь в создании мелкомасштабных моделей и проведения их исследований в опытовых бассейнах в условиях максимально приближенных к реальному волнению в планируемом месте установки. Следующий этап - помощь в создании демонстрационных установок большого масштаба и проведении их натуральных испытаний в открытом море в месте предстоящего базирования ОВИЭ. Заключительный этап – полномасштабное развертывание и долговременные испытания коммерческих установок в натуральных условиях на специально оборудованных морских полигонах Центра. Так, только в 2011-м и 2012 годах в ЕМЕС были подключены к электросети и проведены морские испытания следующих коммерческих установок энергии течений: HS1000 мощностью 1,0 МВт компании Andritz Hydro Hammerfest; AR1000 мощностью 1,0 МВт фирмы Atlantis Resources; SR250 мощностью 0,25 МВт компании ScotRenewables, Clean Current Tidal Turbine мощностью 1,0 МВт компании Voith Hydro, установки мощностью 500 МВт и 1,0 МВт фирмы Tidal Generation в рамках проекта REDAPT; энергии волнения: PelamisP2 мощностью 0,75 МВт фирмы Pelamis Wave Power (2 установки), Oyster 800 и Oyster 801 мощностью по 0,8 МВт каждая фирмы Aquamarine Power, а так же волновые энергетические установки фирм Seatricity, Wello и других компаний[6]. На всех этапах проведения работ выполняется регулярный ежемесячный сбор и анализ данных волнографов и гидрометеорологических станций. Такая информация о местных условиях очень помогает при разработке конструкций ОВИЭ, оценки способов и средств их развертывания. Сотрудниками Центра разрабатываются цифровые гидродинамические модели взаимодействия окружающей среды с преобразователями энергии волнения или течений, позволяющие давать достаточно точные оценки энергетической эффективности проектируемых устройств, предназначенных для прибрежной зоны или открытого моря. Недавно ЕМЕС получил приз ЕС «Голубая бизнес экономика 2016» за большой вклад в обеспечение инноваций в морскую экономику Европы, в формирование её устойчивой коммерциализации, стимулирование притока инвестиций, развитие экспортных возможностей и экономики прибрежных сообществ. При поддержке ЕМЕС проектируются три морских полигона Китая для натуральных экспериментов с ОВИЭ в Шаньдуне (технологии волновой и приливной энергии), в Чжэцзяне (технологии энергии приливных течений) и Гуандуне (технологии волновой энергии). По данным Синьхуа правительство уже инвестировало

163,4 млн. долл. США в программы финансирования, специально разработанные для ОВИЭ. В настоящее время созданы и другие подобные морские Центры для ОВИЭ, например, морской полигона Wave Hub в графстве Корнуолл (UK), морской полигон FORCE (Канада, залив Фанди), морской полигон SmartBay (Голвэй, Ирландия), морской полигон SEM-REV (Нант, Франция) Центр испытаний приливных технологий Tidal Testing Centre (Ден оивер, Нидерланды) и т.д. Недавно Департаментом энергетики (DOE) США было решено создать три морских экспериментальных Центров для ОВИЭ, на что уже выделено более 40 млн. долл. США. В России РГ МариНет для исследований моделей ОВИЭ различного масштаба, а также макетов образцов подводной связи, навигации и морской робототехники планируется использовать большие технические возможности ФГУП «Крыловский государственный научный центр», который располагает различного назначения опытовыми бассейнами со специальной аппаратурой и оборудованием. В качестве первого Центра научно-исследовательской и экспериментальной инфраструктуры развития ОВИЭ и другой техники освоения океана РГ МариНет был выбран морской гидрофизический полигон в Южном отделении Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Геленджик). Такое решение является оптимальным, т.к. для любых натуральных экспериментов с макетами или с экспериментальными образцами океанской (морской) техники, включая ОВИЭ, прежде всего необходимо обладать в полном объеме гидрофизической, климатической и другой информацией непосредственно в районе проведения работ. Там уже имеются лабораторные корпуса, ангар для хранения морской техники, железобетонный причал длиной 200 м с глубиной моря в его окончании около 6 м. На причале расположены кунги-лаборатории, к которым подведено электропитание. Для обслуживания нужд полигона в море имеется малое НИС «Ашамба» оборудованное стрелой П-рамой и двухбарабанной лебедкой. Обеспечиваются круглогодичные комплексные исследования с помощью автономных донных и заякоренных буйковых станций на морском полигоне, включая зонд-профилограф «Аквалог», термокосу, донный измеритель течения ADCP и т.п., а также автоматической метеостанции на пирсе. Для проектов МариНет в области морской техники необходимо ещё проложить по дну моря на расстояние 1300 м от пирса оптоволоконную линию связи для подключения к нему аппаратуры донных и буйковых станций, а также силовые кабели для соединения с терминалами на акватории полигона для установки демонстрационных макетов ОВИЭ. Для крепления самих терминалов требуется установить в бухте донные якоря с прикрепленными буйками. Также требуется установка на полигоне волнографов и навигационного буйа, оснащенного морской метеостанцией, и канала передачи данных в береговой центр. На следующих этапах развития научно-исследовательской и экспериментальной инфраструктуры будут рассмотрены варианты размещения экспериментальных морских полигонов МариНет на Баренцевом и Белом морях, на Дальнем Востоке, в Крыму и других районах страны, возможно также и за рубежом (БРИКС).

#### Список литературы:

1. Горлов А.А. Энергетику Мирового океана на службу России.// Морская политика России, № 13, С.32-34, 2015.
2. Wave Energy Technology Brief. // International Renewable Energy Agency (IRENA), [Электронный ресурс], URL: [http://www.irena.org/documentdownloads/publications/wave-energy\\_v4\\_web.pdf](http://www.irena.org/documentdownloads/publications/wave-energy_v4_web.pdf), 2014
3. Ocean Energy Europe – OEE, [Электронный ресурс], URL: <http://www.oceanenergy-europe.eu>
4. Marine Renewables Infrastructure Network, [Электронный ресурс], URL: <http://www.marinet.eu>
5. Wave Energy Prize //2016 [Электронный ресурс], URL: <http://waveenergyprize.org/newsroom/energy-dept-announces-wave-energy-prize-finalist-teams>
6. Горлов А.А. «Объединенной судостроительной корпорации» №3(16), 2013
7. EMEC: European Marine Energy Centre // [Электронный ресурс], URL: <http://www.emec.org.uk>

**ВЕТРО-СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
МАЛЫХ МОЩНОСТЕЙ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ ВИЭ В РОССИИ  
WIND-SOLAR-DIZEL COMPLEXES OF POWER SUPPLY OF LOW POWERS AS  
THE BASIS OF DEVELOPMENT OF RES IN RUSSIA**

**Грибков С.В.**

ФГУП ЦАГИ, Москва, Россия

**Gribkov S.V.**

Federal State Unitary Enterprise TsAGI, Moscow, Russia

*windec@mail.ru*

The basic sources of power supply removed territories of Russia are diesel stations. Power sources, the using energy of the sun and a wind are applied to decrease in fuel consumption. The greatest prospect, from the point of view of consumers, application of complexes with a power from several kW to 100 kW on the basis of use of renewables - wind power and the sun and use of reserve diesel generators is. Successful development of application of such complexes requires existence of state support, regional programs and the developed system of service. In Russia there is a possibility of creation of the complexes which are fully completed by the domestic equipment. The complex solution of creation and use of the equipment on renewables requires creation as well as branch institute on renewables, and the branch.

Основным источниками электроснабжения удаленных территории России являются дизельные станции. Для снижения расхода топлива применяются источники энергии, использующие энергия солнца и ветра. Наибольшую перспективу, с точки зрения потребителей, является применение комплексов мощностью от нескольких кВт до 100 кВт на основе использования возобновляемых источников энергии - энергию ветра и солнца и применением резервных дизельных генераторов. Для успешного развития применения таких комплексов требуется наличие господдержки, региональных программ и развитой системы сервисного обслуживания. В России имеется возможность создания комплексов полностью укомплектованных отечественным оборудованием. Для комплексного решения создания и применения оборудования на возобновляемых источниках энергии необходимо создание как отраслевого института по возобновляемым источникам энергии, так и самой отрасли.

**Ключевые слова:** электроснабжение удаленных регионов, возобновляемые источники энергии, дизель-генераторы, ветроустановки, ветро-солнечно-дизельные комплексы гарантированного электроснабжения, отраслевой институт по возобновляемой энергетике.

**Keywords:** power supply of remote regions, renewables, diesel generators, wind turbines, ветро - solar and diesel complexes of the guaranteed power supply, branch institute on renewables.

Основной задачей развития нашего общества является повышение благосостояния всех граждан на основе гармоничного развития промышленности, сельского хозяйства, образования, науки, медицины, культуры и т.д. В связи с этим должны быть выбраны ключевые направления развития, которые смогут дать основу для создания условий гармоничного развития всех направлений жизнедеятельности граждан государства. Таким направлением, обеспечивающим развитие всех направлений деятельности граждан нашего государства, является энергетика.

Несмотря на достаточное количество вырабатываемой энергии и даже наблюдающуюся избыточность, имеются ряд энергодефицитных районов, расположенных как в центральной территории России, так и на удаленных её территориях от централизованных энергосетей. В настоящее время в России только одна треть её территории охвачено единой энергосистемой. Тем не менее, на этих территориях проживает до 10 млн. человек, там сосредоточены энергоресурсы, полезные ископаемые, а в некоторых из них функционируют сельскохозяйственные предприятия различных профилей. К таким регионам относятся, прежде всего, Кольский полуостров, на котором несмотря на энергоизбыточность региона, до 5 % потребителей не охвачены централизованным электроснабжением. Далее Республика Саха –Якутия, Дальний Восток, Иркутская обл. и многочисленные островные поселения. Существуют проблемы



и в Центральных территориях России - Республика Калмыкия, Ставропольский край, Ростовская область, Волгоградская область, Астраханская область, и т.д.

Многие граждане России имеют дачные хозяйства, которые не электрифицированы, и проблемы электрификации их стоят очень остро. Такие хозяйства есть практически во всех областях России, включая даже Московскую область. Кроме того, существуют множество пунктов технического наблюдения, расположенных на границе и приграничных поселениях России. Проблемы электроснабжения касаются и арктических территорий.

На решение вопросов развития села была принята целевая программа «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014-2017 годы и на период до 2020 года», которая так же предусматривает развитие электрификации сельских поселений и обеспечение его надежности и стабильности, создание комфортных условий жизни, и в конечном счете привлечения молодежи.

Простым решением проблемы электрообеспечения является применение дизель-генераторов. Современные дизель-генераторы сравнительно бесшумны, имеют малый расход топлива- 0,18 -0,3 кг/кВт. Тем не менее, они его потребляют. В ряде регионов доставка топлива весьма проблематична, доставка топлива осуществляется водным транспортом, авто-тракторным транспортом, вертолетами. Стоимость топлива по сравнению с закупочной ценой возрастает в 2-3 раза. Поэтому весьма актуальным является вопрос и снижения затрат на закупку топлива.

Кардинальным решением отказа от топлива является развитие бестопливного электроснабжения, или с минимальным расходом органического топлива, что возможно за счет широкого применения возобновляемых источников энергии, к которым, прежде всего, можно отнести энергию ветра, солнца, малых водотоков, биоэнергетику, использующую отходы животноводства и сельского хозяйства, местное топливо низкопотенциальную энергию земли и промышленных стоков, и т.д.

**Ветро и солнечная энергетика развиваются по трем направлениям:**

- 1. Системная энергетика-это сетевые ветропарки и солнечные станции большой мощности, работающие на сеть. Их мощность он нескольких сотен кВт, единиц МВт, а ветропарков десятков и даже сотен МВт.**
- 2. Ветро-дизельные, солнечно-дизельные и ветро-солнечно- дизельные комплексы. Их мощность может быть от нескольких кВт до нескольких МВт.**
- 3. Зарядные ветроустановки, солнечные и ветро-солнечно-дизельные малой мощности (до 100 кВт), имеющие в качестве накопителя энергии электрические аккумуляторы.**

Применение системных ветро и солнечных станций меговаттного класса позволяет внести вклад в решение вопросов национального, либо регионального электрообеспечения. Такие системы работают на развитую единую энергосеть, либо на изолированную локальную сеть на удаленных территориях. Их применение позволяет снизить объемы расходов и выбросов продуктов сгорания органического топлива, но их применение практически не влияет на тарифы для населения.

В большинстве случаев для электроснабжения частных хозяйств, малых поселений, пунктов технического наблюдения и др. потребителей требуются мощности от 1...5 до 100 кВт.

Решить проблемы электроснабжения в ряде случаев удастся с помощью ветро-солнечных, либо ветро-дизельных, либо ветро-солнечно-дизельных комплексов гарантированного электроснабжения.

Типовая структурная схема таких комплексов представлена на рисунке 1.

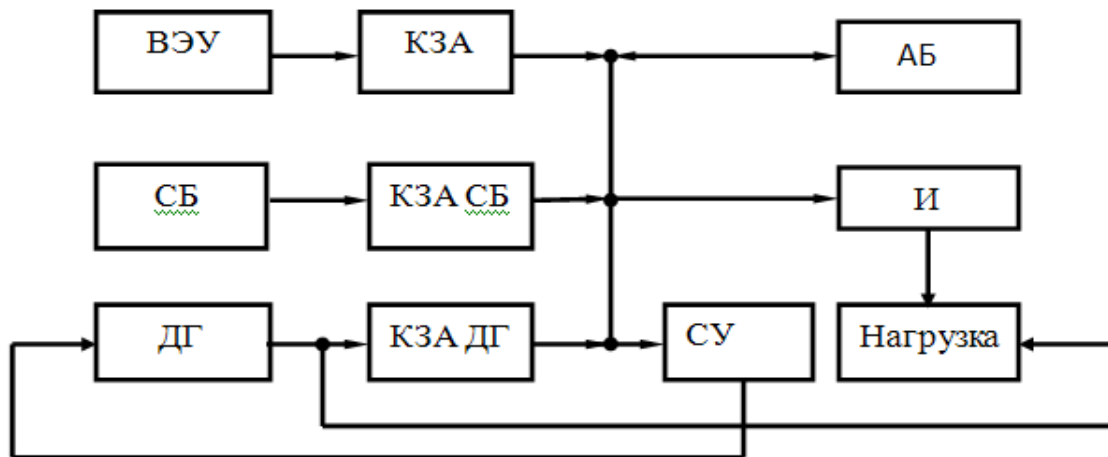


Рисунок 1. Структурная схема комплекса электроснабжения на ВИЭ и резервным питанием от дизельного генератора, где ВЭУ- ветроэлектрическая установка; СБ – солнечная батарея, ДГ – дизель-генератор; КЗА – контроллер заряда аккумуляторных батарей от ВЭУ; КЗА СБ – контроллер заряда аккумуляторов от солнечной батареи; СУ – система управления дизельным генератором; АБ – аккумуляторные батареи; И – инвертор.

Основным условием обеспечения надежности электрообеспечение ветро-дизельными и ветро-солнечно-дизельными комплексами является их сервисное обслуживание и ответственность поставщиков оборудования за его монтаж, пусконаладочные работы, работоспособность и сопровождение обслуживания вплоть до окончания срока службы ветроустановок, который составляет 20-25 лет.

Разработки подобных комплексов в России есть и они могут широко применяться. Однако из-за отсутствия государственной поддержки процесс их внедрения идет крайне медленно. Наиболее эффективным путем их внедрения являются региональные программы, которые есть во многих регионах России, но они крайне ограничены из-за скудных финансовых возможностей регионов. В качестве примера можно привести Мурманскую область, где в соответствии с программой развития электроснабжения Кольского полуострова были исследованы возможности электрообеспечения поселений Терского берега Чаваньга, Чапома, Тетрино и Пялица и проведены работы по выявлению возможности применения ветро-дизельных комплексов для электроснабжения удаленных территорий полуострова от централизованных линий электропередач. В результате которых было выявлено перспективность создания энергокомплексов в Ловозерском районе Мурманской области (село Сосновка, Каневка и Краснощелье) и отклонено ряд других пожеланий по применению ветро-дизельных комплексов из-за достаточности электроснабжения от гидроэлектростанций, или просто отсутствием жителей в деревнях.

В последние годы наметилась тенденция приобретение импортных ветроустановок и солнечных батарей, ввиду их малой стоимости, но они, в большинстве случаев, являются крайне ненадежными, и работают всего несколько месяцев, что дискредитирует развитие применения возобновляемых источников энергии.

В то же время в России есть предприятия, которые в течение более 15 лет выпускают магнитоэлектрические генераторы мощностью от 100 Вт до 10-15 кВт (предприятие ЗАО НИЦ «Виндэк»), крайне необходимые для разработки ветроустановок, сами ветроэлектрические установки, как горизонтально-осевые, так и вертикально-осевые.

Отечественная промышленность освоила выпуск и солнечных батарей. Освоен выпуск гелиевых и литиево-ионных аккумуляторных батарей, используемых в качестве

накопителей энергии. Ряд российских предприятий выпускают инверторы и контроллеры заряда аккумуляторов, которые ни в чем не уступают зарубежным, а превосходят их по надежности. Одним из таких предприятий является московское предприятие «Связь инжиниринг».

На основе этих первичных и вторичных источников энергии успешно разрабатываются комплексы гарантированного электроснабжения, с установленной мощностью первичных источников до 100 кВт.

Таким образом, в России созданы все условия для выпуска комплексов состоящих целиком из российских компонентов, т.е. сделан шаг к созданию отрасли по производству комплексов гарантированного электроснабжения.

В настоящее время в России нет специализированной организации-НИИ, которое занималось бы комплексным решением этих проблем в интересах всех возможных потребителей России. В основном имеется несколько десятков малых предприятий, несколько кафедр по возобновляемой энергетике в ВУЗах, институт ГНУ ВИЭСХ, который объединяют с институтом механизации с/х, которые что-то пытаются сделать в направлении применения возобновляемых и гибридных систем электроснабжения.

### **Выводы**

Для решения вопросов комплексного развития и применения отечественных систем электроснабжения и теплофикации на основе возобновляемых источников энергии необходимо:

1. Иметь государственную поддержку, что существует во многих передовых государствах;

2. Создание государственного Института возобновляемой энергетике, который будет координировать, направлять развитие, разрабатывать и внедрять в многоукладное хозяйство России энергетические системы на основе, в первую очередь, отечественных возобновляемых источников энергии, и который, не будет допускать появление на нашем рынке некачественного оборудования.

3. Создание отрасли по развитию производства возобновляемых источников энергии включающую ряд профильных предприятий, в качестве которых могут быть и уже существующие предприятия.

4. Создание сервисной службы, имеющей разветвленную сеть региональных центров обслуживания. Задачей сервисной службы является обеспечение функционирования комплексов на возобновляемой энергии региона в течение всего периода эксплуатации. Максимальный простой оборудования не должен превышать двух дней.

5. Создание региональных демонстрационных полигонов, на которых будет широко представлена техника, использующая возобновляемые источники энергии, и её возможности.

### **Список литературы:**

1. Summary Small wind world report 2016. - WWEA [Электронный ресурс] URL: //http://www.wwindea.org/small-wind-world-market-back-on-track-again/
2. Безруких П.П., Безруких П.П.(мл.), Грибков С.В. Ветроэнергетика. Справочно-методическое издание/ Под общей редакцией П.П. Безруких. " Интехэнерго-Издат", "Теплоэнергетик", 2014 .- 304с.
3. «Многомодульные ветроэнергетические установки в системах гарантированного электроснабжения» Грибков С.В., Юдаев И.В., Ракитов С.А., «Техника в сельском хозяйстве», №2 2012, с26-29
4. «Оптимизация использования энергии ветра для вертикально-осевой турбины с плоскими лопатками» Грибков С.В., Перегудов В.Н., «Малая энергетика», №1-2 2012 , с53-58.

5. Грибков С.В., Павлихин Д.С. Оптимизация вертикально-осевых ветротурбинных установок модульного типа. Журнал "Техника и оборудование для села" №10, 2014 г. с.40-45.
6. Грибков С.В. "Автоматизированные комплексы гарантированного электроснабжения на основе вертикально-осевых модульных ветроустановок турбинного типа". Труды . II Международный форум " Возобновляемая энергетика 2014 RENFOR" Москва, 10-11 ноября 2014 г. с.468-469.
7. Gribkov S.V. System and small wind energy plant. Wind complexity capacity. International Conference of Industrial Technologies and Engineering. Abstract book. M. Auezov. South Kazakhstan State University Shymkent, Kazakhstan. October 30-31, 2014, p.357-365.

## ГИБРИДНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МЕГАВАТТНОГО ДИАПАЗОНА HYBRID ELECTRICITY STORAGE OF MEGAWATT RANGE

**Деньщиков К.К., Жук А.З.**

Объединенный институт высоких температур РАН  
125412, Ижорская ул, 13-2, Москва, Россия

**Denshchikov K.K., Zhuk A.Z.**

Joint Institute for High Temperatures, RAS  
13/2 Izorskaja str., Moscow, 125412, Russia

*kdenshchikov@mail.ru*

Создание интеллектуальные электроэнергетические системы с активно-адаптивной сетью отличающихся от обычных централизованных энергетических систем, является включение в общую сеть большого количества возобновляемых источников энергии, что, означает переход к системе с распределенной генерацией электроэнергии. Устойчивое функционирование таких систем невозможно без широкого использования гибридных накопителей энергии (ГНЭ), построенных на основе литий ионных аккумуляторов, батареи суперконденсаторов и устройств сопряжения с сетью, включающих в себя двунаправленные инверторы и систему управления. В работе описан разработанный гибридный накопитель энергии ГНЭ 1000 с энергоемкостью 1 мВт-час и мощностью 1 мВт. Возможность компенсации возмущений в сети с длительностью от 20 миллисекунд до нескольких часов определяет уникальную функциональную гибкость ГНЭ по сравнению с аккумуляторными накопителями традиционного типа. ГНЭ способен обеспечивать контроль качества электроэнергии - подавление весьма кратковременных возмущений тока, напряжения, частоты, активной и реактивной мощности и поддержания бесперебойного энергоснабжения нагрузки в течении несколько часов, что может иметь место при серьезных авариях.

Development of smart electro-energy systems with active-adaptive grid, distinguished from the conventional centralized energy systems by that a big number of renewable energy sources are integrated into a common grid which means the transfer to the system with distributive electric power generation.

Stable functioning of such systems is impossible without the wide use of hybrid energy storages (HESS) built on the basis of lithium ion batteries bank, supercapacitors bank and grid connection devices including two-way invertors and management system. The work describes the developed hybrid energy storage – HESS 1000 with energy capacity 1 MW-h and 1 MV power. The possibility to compensate grid disturbances with duration from 20 milliseconds to a few hours determines a unique functional flexibility of HESS in comparison with traditional battery energy storages. HESS is capable of providing control over electric energy quality, suppression of very short term deteriorations of current, voltage, frequency, active and reactive power and support to non-interruptible power supply to load during a few hours which may have place at serious accidents.

Keywords: Hybrid energy storage, lithium-ion battery, supercapacitor, sopryazheiya device to the network, the inverter

### **1. Назначение и область применения гибридных накопителей энергии мегаваттного диапазона**

В настоящее время во всем мире и в России наблюдается растущий интерес к бурно развивающемуся в последние годы направлению преобразования электроэнергетических систем в так называемые интеллектуальные электроэнергетические системы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС). Принципиальным отличием данной системы от обычных централизованных энергетических систем, является включение в общую сеть большого количества возобновляемых источников энергии (ВИЭ), что, по сути, означает переход к системе с распределенной генерацией электроэнергии. Устойчивое функционирование таких систем невозможно без широкого использования гибридных накопителей энергии (ГНЭ), выполняющих выполняют целый ряд важных функций:

- Обеспечение динамической устойчивости электрической сети при сбросе/набросе нагрузки;

- Регулирование параметров электрической сети (частота);
- Улучшение параметров напряжения электрической сети (коэффициент гармонических искажений) и мощности (компенсация реактивной составляющей) в электрической сети;
- Диспетчеризация мощности - выравнивание графиков нагрузки в сети (накопление электрической энергии в периоды избыточной электроэнергии и выдача в сеть в периоды дефицита);
- Сокращение нерегулярных колебаний в межсистемных линиях электропередачи, повышение вследствие этого пропускной способности линий электропередачи;
- Обеспечение бесперебойного питания как собственно подстанций и электрических сетей (собственные нужды), так и особо ответственных потребителей;
- Обеспечение стабильной и устойчивой работы децентрализованных и нетрадиционных источников, работающих как автономно, так и в составе ЕНЭС.

Регулирование параметров электрической сети. Как правило, данная задача весьма актуальна для локальных электрических сетей конечной мощности. Но и для ЕЭС эта задача также чрезвычайно важна. Для того чтобы осуществлять такое регулирование, нужно иметь систему, рассчитанную на мощность порядка единиц МВт и более. В связи с тем, что в данном случае не требуется длительное время резервирования (требуемое время – порядка несколько десятков минут), такие системы сегодня вполне технически осуществимы. Представляется, что в контексте данного рассмотрения именно это применение ГНЭ наиболее востребовано, и именно с целью достижения наилучших параметров для данного применения с самого начала шла речь именно о создании гибридной системы накопления.

- Использование в качестве «горячего» резерва для повышения уровня надежности системы электроснабжения. Согласно [1], «На подстанциях 330кВ и выше следует предусматривать резервирование питания собственных нужд от третьего независимого источника питания». Требуемое время выхода на проектный режим составляет от одной до нескольких минут. Для того чтобы не потерять электроснабжение в это время можно использовать ГНЭ. Время перехода данной установки в режим автономной работы на нагрузку составляет примерно 10 мсек, что является рекордным для подобных устройств.

## **2. Выбор параметров гибридных накопителей энергии мегаваттного диапазона**

ГНЭ строятся из накопителей энергии на основе аккумуляторных батарей большой емкости (АББЭ) и батарей суперконденсаторов (СК). При этом АБ обладают достаточно длительным действием, достигающим нескольких часов, а СК обладают достаточно высоким быстродействием, которое позволяет их использовать для коррекции кратковременных (до десятков секунд) возмущений в электрической сети.

Выбор параметров ГНЭ-1000 и состав его оборудования определяется характером поставленных перед системой задач (функциями), стоимостью оборудования, существующими на сегодняшний день технологическими и физическими ограничениями, характером задач, решаемых оборудованием потребителя. Основные технические характеристики ГНЭ-1000 приведены в Таблице 1.

Система управления должна обеспечивать следующие режимы работы установки:

- автономный режим – режим автономной работы на нагрузку в период отсутствия сети.
- режим ограничения максимума нагрузки – режим, при котором установка ограничивает нагрузку на установленном оператором уровне.
- режим диспетчеризации мощности – режим, при котором установка обеспечивает выдачу в нагрузку мощности, установленной оператором.

- режим регулирования частоты – режим, при котором величина передаваемой установкой мощности определяется частотой сети.
- режим компенсации реактивной мощности – режим, при котором установка обеспечивает компенсацию реактивной составляющей мощности, протекающей в нагрузке.
- режим поддержания заряда батареи – когда не выбран какой-либо режим, установка обеспечивает поддержание заряда батареи на заданном уровне.
- режим максимально потребляемой мощности.
- режим максимально отдаваемой мощности

Таблица 1. Технические характеристики ГНЭ-1000

Номинальная активная мощность, (МВт)	1,0
Номинальное напряжение (3-ф, 50 Гц), кВ	0,4
Энергоемкость, (МВт·ч)	1,0
Максимальная активная мощность (выдача), (МВт)	2,5
Время работы в динамических режимах с максимальной активной мощностью, (с)	10,0
Время работы в установившихся режимах с номинальной мощностью, (ч)	1,0
Диапазон регулирования реактивной мощности (Мвар)	от -0,7 до +0,7
Ресурс, не менее (циклов «заряд-разряд») при оставшемся разряде 80%	7000
КПД в цикле, не менее (%)	85
Регулировка реактивной мощности отдельно по каждой фазе (Мвар);	от -0,23 до +0,23
Скорость обмена по RS-485 (кбит/с)	56
Скорость обмена по CAN (кбит/с)	250
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	20
Срок службы до первого кап. ремонта, не менее (лет)	5
Наработка на отказ, не менее (ч)	25000

### 3. Устройство сопряжения с сетью УСС-1000

Устройство сопряжения с сетью представляет собой преобразователь напряжения (двунаправленный инвертор), который осуществляет передачу электрической энергии из звена переменного тока (из сети) в звено постоянного тока (накопительный элемент – АБ, СК) и обратно, в зависимости от алгоритмов, определяемых системой управления УСС. Для достижения высоких значений КПД потребовалась разработка векторных способов и алгоритмов управления преобразователями электрической энергии с целью обеспечения энергоэффективного преобразования электрической энергии. Одним из перспективных решений по реализации преобразователей мощностью до 10 МВт на канал генерирования является переход в область более высоких напряжений и применения многоуровневых полупроводниковых преобразователей частоты с емкостным делителем напряжения на IGBT или MOSFET модулях [2,3].

Технические параметры УСС-1000 представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики УСС 1000

Параметр	Значение
Номинальная активная мощность УСС, кВт	1000
Схема силового модуля	трехуровневая
Напряжение в звене переменного тока, кВ	0.4 + 10%
Напряжение в звене постоянного тока каждого уровня, В	900
КПД не менее, %	97
Коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения, не хуже, %	2
Диапазон регулирования реактивной мощности УСС, (Мвар)	от -0,7 до +0,7
Регулировка реактивной мощности отдельно по каждой фазе (Мвар)	от -0,23 до +0,23
Время отклика системы управления на ступенчатое воздействие, не более, мсек	10
Частота ШИМ, не менее кГц	2.0
Пульсации напряжения в звене постоянного тока, не более, %	0.4
Время перехода в автономный режим, не более, мсек	50
Скорость обмена по RS-485 (кбит/с)	56
Скорость обмена по CAN (кбит/с)	250
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	20
Срок службы до первого кап. ремонта, не менее (лет)	5
Наработка на отказ, не менее (ч)	25000

#### 4. Батарея литий-ионных аккумуляторов ЛИБ-1000

В данном техническом предложении мы считаем более удобным для эксплуатации комплект из двух батарей мощностью 500 кВт и энергоёмкостью 500 кВтчас (ЛИБ 500). При работе в составе ГНЭ две батареи обеспечат необходимую мощность (1 МВт) и энергоёмкость (1 МВтчас), но и также позволят проводить регламентные и ремонтные работы на одной из батарей - выключив её из цепи постоянного тока ГНЭ при работающей второй батарее комплекса. Такое решение позволит сохранить функциональность комплекса ГНЭ в том числе и на период проведения регламентных работ.

В качестве основы АББЭ, предлагается применить новый, перспективный тип литий - ионных аккумуляторных батарей – т.н. мультиоксидная титанат литиевая система (международное обозначение MLTO) - Тип электрохимической системы -  $\text{Li}_x\text{MnO}_y\text{Co}_z\text{Fe}_q/\text{Li}_a\text{TibO}_c\text{C}$ . Данные аккумуляторы имеют ресурс более 7 000 циклов заряд/разряд, обладают высокой мощностью 10/30С и высокой удельной энергоёмкостью 150 Втч/кг. Иными словами, данные аккумуляторы превосходят широко распространенные в настоящее время оливинные ( $\text{LiFePO}_4$ ) системы - по ресурсу более, чем в 4 раза, по удельной мощности в 5-6 раз, по удельной энергоёмкости на 20-



25%. При этом батареи MLTO производятся на российских заводах и стоят не дороже, чем их оливинные зарубежные и отечественные аналоги.

Батарея будет представлять собой комплект из двух батарей ЛИБ-500, суммарная энергоемкость и мощность которых обеспечит необходимые характеристики.

Использование модифицированной электрохимической системы позволяет значительно повысить зарядно- разрядные токи и создать накопитель энергии с энергоемкостью 1 МВт·час и мощностью 5 МВт. Основные технические характеристики ЛИБ-1000 приведены в Таблице 3

Таблица 3. Технические характеристики ЛИБ-1000

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальная энергоемкость, (МВт·час)	1
Номинальное напряжение (В)	750
Номинальная мощность (МВт)	1,0
Номинальный ток, (кА)	1,33
Время работы в установившемся режиме при номинальной мощности (час)	1
Максимальная длительная мощность (МВт)	1,5
Время работы при максимальной мощности 5 МВт (мин)	10
Внутреннее сопротивление, не более (мОм)	0,11
Ток номинального заряда, не более (кА)	1,33
Максимальный ток заряда (кА)	6,65
Ресурс при глубине разряда 80 % и нагрузке 2С, не менее (циклов заряд-разряд)	7000
Ресурс при глубине разряда 20 %, не менее (циклов заряд-разряд), не менее	200 000
КПД в цикле, не менее (%)	95
Саморазряд батареи при длительном отключении и складском хранении	
- первый месяц хранения, %	15
- каждый последующий месяц, %	5
Сопротивление изоляции, (Мом), не менее	20
Скорость обмена по RS-485 (кбит/с)	56
Скорость обмена по CAN (кбит/с)	250
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	20
Срок службы до первого кап. ремонта, не менее (лет)	5
Наработка на отказ, не менее (ч)	25000

## 5. Батарея суперконденсаторов БСК-1000

В качестве основы батареи суперконденсаторов предлагается использовать разработанные совместно ОИВТ РАН и ЗАО "Технокор" изделия стэковой конструкции, отличающиеся от зарубежных аналогов высоким номинальным напряжением единичных модулей, простотой эксплуатации, надежностью и долговечностью. Важным преимуществом предлагаемых ЗАО "Технокор" суперконденсаторов перед отечественными аналогами является их высокое качество и надежность, что подтверждено многолетним опытом использования в Российской армии в тяжелых эксплуатационных, в т.ч. климатических условиях БСК-1000 состоит из двух

полубатарей, каждая из которых состоит из 100 штук суперконденсаторов МНЭ-0,93/360Б.

Технические характеристики БСК-1000 приведены в Таблице 4.

Таблица 4. Технические характеристики БСК-1000

Номинальное статическое напряжение заряда, (кВ)	0,7
Напряжение при разряде, (кВ)	0,380 <sup>+10%</sup> <sub>-15%</sub>
Выходное напряжение батареи в цикле, (кВ)	0,72-0,42
Номинальная динамическая активная мощность при разряде, (МВт)	1
Время работы в динамическом режиме с номинальной мощностью, в диапазоне, (сек)	5 ÷ 10
Выходной ток батареи в течении 5-10 секунд, (А)	660...380
Ресурс, не менее циклов заряд-разряд	150000
КПД в цикле, не менее (%)	85
Скорость обмена по RS-485 (кбит/с)	56
Скорость обмена по CAN (кбит/с)	250
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	20
Срок службы до первого кап. ремонта, не менее (лет)	5
Наработка на отказ, не менее (ч)	25000

### Выводы

1. На основании проведенных исследований разработано техническое предложение по созданию гибридного накопителя энергии ГНЭ-1000, рабочие характеристики которого обеспечивают выполнение заданных параметров – номинальная мощность 1000 кВт и запасенная энергия 1000 кВт-час с использованием следующих подсистем:

- батарея литий ионных аккумуляторов ЛИБ-1000;
- батарея суперконденсаторов БСК-1000;
- устройство согласования с сетью УСС-1000.

2. В основу батареи литий-ионных аккумуляторов ЛИБ-1000 предлагается положить принципиально новый литий-ионный аккумулятор с электрохимической схемой  $\text{Li}_x\text{MnO}_y\text{Co}_z\text{Fe}_q/\text{Li}_a\text{TibO}_c\text{C}$  (MLTO). Аккумуляторы данного типа превосходят широко распространенные в настоящее время оливинные ( $\text{LiFePO}_4$ ) системы - по ресурсу более, чем в 4 раза, по удельной мощности в 5-6 раз, по удельной энергоёмкости на 20-25%. При этом батареи MLTO находится в той же ценовой группе, что и оливинные батареи зарубежного и отечественного производства.

3. В основу батареи суперконденсаторов БСК-1000 предлагается положить наноструктурированный наборный суперконденсатор с новой технологией изготовления электродов, что позволит получить увеличенную в четыре раза энергоёмкость по сравнению с существующими суперконденсаторами. Предложенные технические решения также обеспечивают высокую надежность суперконденсаторов. Кроме того, наборные суперконденсаторы наилучшим образом адаптированы к работе в составе накопителей электроэнергии, эксплуатируемых в сетях с высокими уровнями напряжения.

4. Для построения устройств сопряжения с сетью мегаваттного диапазона УСС-1000 предлагается использовать многоуровневые полупроводниковые преобразователи частоты с емкостным делителем напряжения на IGBT или MOSFET модулях и переход

в область более высоких напряжений, что предпочтительнее двухуровневых преобразователей по своим функциональным и стоимостным показателям.

5. Проведенные экспериментальные исследования ГНЭ показали высокую эффективность при их использовании для покрытия нагрузок при отключении сети в течение периода времени до 5 часов. [4] Нагрузки подобного типа возникают при подключении мощных потребителей или аварийном отказе электрогенерирующих или распределительных мощностей.

6. Возможность компенсации возмущений в сети с длительностью от 20 миллисекунд до нескольких часов определяет уникальную функциональную гибкость ГНЭ по сравнению с аккумуляторными накопителями традиционного типа. ГНЭ способен обеспечивать контроль качества электроэнергии - подавление весьма кратковременных возмущений тока, напряжения, частоты и мощности и поддержания бесперебойного энергоснабжения нагрузки в течении несколько часов, что может иметь место при серьезных авариях.

7. Наибольший экономический эффект имеет применение ГНЭ-1000 для покрытия резких колебаний мощности – «всплесков» в энергосистеме – от нескольких секунд до нескольких минут, когда ГНЭ-1000 способен компенсировать значительный уровень возмущений.

8. Использование ГНЭ-1000 на базе литий-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов позволяет не только эффективно компенсировать кратковременные и продолжительные возмущения, но и существенно поднять ресурс и надежность аккумуляторных батарей, оптимизируя режим их работы.

#### Список литературы

1. НОРМЫ технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) Стандарт организации
2. Comparative evaluation of three-phase high-power-factor AC-DC converter concepts for application in future more electric aircraft / G. Gong, M. L. Heldwein, U. Drofenic [et al.] // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2005. – Vol. 52, iss. 3. – P. 727 – 737.
3. Курсупов Д. В. Использование трехфазного трехуровневого инвертора на напряжении с четвертой стойкой в автономных системах электроснабжения /Д. В. Курсупов, С. В. Брованов// Вестник кафедры «Электротехника»: Донецкий национальный технический университет. – 2009, С. 78 –81.
4. Бердников Р.Н., Фортов В.Е., Сон Э.Е., Деньщиков К.К., Жук А.З., Шакарян Ю.Г. Гибридный накопитель электроэнергии. Энергия единой сети №2 (7) С.40-51, апрель – май 2013].

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ КАК  
ОДНО ИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
ВОСТОЧНЫХ РЕГИОНОВ**

**THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A PRIORITY LINE FOR THE  
ENHANCEMENT OF SYSTEMS FOR ENERGY SUPPLY TO HARD-TO-ACCESS  
TERRITORIES IN EASTERN REGIONS**

**Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф.**

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия

**Saneev B.G., Ivanova I.Yu., Tuguzova T.F.**

Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

В восточных регионах России имеются экономико-географические и ресурсные предпосылки для развития возобновляемой энергетики. Прежде всего, это наличие на территории зон децентрализованного и неустойчивого электроснабжения, в силу слабой освоенности и протяженных расстояний. Представлены результаты мониторинга современного состояния локальной энергетики на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока, где функционирует более 30% мощности малых электростанций России. Значительное количество из них используется в качестве резервных энергоисточников на концах протяженных радиальных линий электропередачи, в котельных, больницах и т.д. Однако основная часть является автономными энергоисточниками в небольших населенных пунктах, рассредоточенных по обширной территории.

Приведены результаты анализа современного состояния и положительной динамики развития возобновляемых источников энергии в восточных регионах.

Показаны ресурсные предпосылки для масштабного развития возобновляемой энергетики на востоке РФ: наличие значительного потенциала энергии малых водотоков, ветра, солнечного излучения, геотермальной энергии. Выполнено зонирование территории восточных регионов РФ по обеспеченности возобновляемыми природными энергоресурсами с указанием мест приоритетного использования.

Представлены результаты исследований по определению оптимальной мощности ветро- и фотоэлектростанций относительно нагрузки децентрализованных потребителей в зависимости от территориального расположения.

По результатам исследований выполнен прогноз развития возобновляемой энергетики на период до 2050 г. в зонах децентрализованного и неустойчивого электроснабжения на востоке РФ с указанием приоритетных проектов.

Ключевые слова. Децентрализованные потребители, зонирование территории, годовое распределение показателей потенциала, оптимальная мощность, максимум нагрузки, прогнозы развития.

Key words. Off-grid consumers, zoning of territory, annual distribution of resource indices, optimal capacity, maximum load, development forecasts

Развитие возобновляемой энергетики в восточных регионах России обусловлено как экономико-географическими, так и ресурсными предпосылками: наличие на территории зон децентрализованного и неустойчивого электроснабжения, в силу слабой освоенности и протяженных расстояний, и имеющийся потенциал возобновляемых природных энергоресурсов.

На территории Восточной Сибири и Дальнего Востока функционирует более 30% мощности малых электростанций России [1]. Общее количество малых электростанций в Восточной Сибири превышает 1,4 тыс. штук, на Дальнем Востоке – 3 тыс. штук, установленная мощность – 800 МВт и 1080 МВт соответственно, выработка электроэнергии 1,9 млрд кВт·ч и 1,3 млрд кВт·ч. В последние годы наблюдается тенденция существенного роста мощности таких электростанций на территории Красноярского края, Иркутской области и Республики Саха (Якутия). Это объясняется активизацией работ по освоению месторождений углеводородов в северных районах этих субъектов РФ, а также строительством и пуском в эксплуатацию первой очереди нефтепровода ВСТО.

### Современное состояние возобновляемой энергетики в восточных регионах

Возобновляемые источники энергии эксплуатируются, в основном, в удаленных и труднодоступных районах децентрализованной зоны Дальнего Востока.

Наиболее широко используется геотермальный потенциал: все российские геотермальные электростанции (ГеоЭС) расположены на территории Камчатского края (Паужетская, Мутновская и Верхне-Мутновская) и Сахалинской области (Менделевская и Океанская). Суммарная мощность ГеоЭС в 2013-2014 гг. снизилась до 77,6 МВт в связи с выводом из эксплуатации двух блоков по 1,8 МВт Океанской ГеоЭС. Ежегодное производство электроэнергии геотермальными электростанциями составляет 440-470 млн кВт·ч.

Таблица. Динамика установленной мощности возобновляемых источников энергии, МВт

Показатель	Год				
	2011	2012	2013	2014	2015
Восточная Сибирь, всего	0,3	0,3	0,4	0,43	5,43
в том числе: МГЭС	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
ВЭС	-	0,015	0,015	0,027	0,027
СЭС	-	0,086	0,086	0,098	5,1
Дальний Восток, всего	108,3	133,5	131,9	130,8	132,5
в том числе: МГЭС	23,8	48,8	48,8	48,8	48,8
ВЭС	3,25	3,4	3,6	4,2	4,8
ГеоЭС	81,2	81,2	79,4	77,6	77,6
СЭС	0,01	0,05	0,09	0,23	1,34
ИТОГО	108,6	133,9	132,3	131,3	137,9

Примечание – составлено по формам Росстата 6-ТП и данным энергокомпаний

Использование потенциала малых рек в восточных регионах невелико. Здесь функционируют всего четыре малые ГЭС (МГЭС) (Кызыл-Хая в Республике Тыва, каскад Толмачевских и Быстринская в Камчатском крае, Северо-Курильская на о. Парамушир в Сахалинской области) суммарной мощностью 49,1 МВт (рис. 1).

На востоке России находятся эксплуатируются ветроэнергетические станции (ВЭС) суммарной мощностью более 5 МВт – Анадырская ВЭС (2,5 МВт) в Чукотском АО, ВЭС в с. Никольское на о. Беринга (1,05 МВт) и в п. Усть-Камчатск (0,575 МВт) Камчатского края, в в. п. Новиково (0,45 МВт) Сахалинской области, в п. Быков Мыс (0,04 МВт) Республики Саха (Якутия), в с. Перетычиха (0,05 МВт) и на о. Рейнеке (0,05 МВт) Приморского края, в ОЭЗ «Байкальская гавань» (0,012 МВт) Республики Бурятия и на побережье оз. Байкал (0,015 МВт) в Иркутской области. Ветроустановка в п. Тикси (0,25 МВт) Республики Саха (Якутия) в 2015 г. выведена из строя.

За период 2012-2015 гг. в восточных регионах введено в эксплуатацию 15 мелких солнечных электростанций (СЭС) в изолированных от энергосистем районах и зонах особого природопользования. Особенно следует отметить Республику Саха (Якутия), на территории которой установленная мощность СЭС составляет 1,34 МВт, в том числе расположенная в арктической зоне Батагайская СЭС мощностью 1 МВт. Самой крупной является Абаканская солнечная электростанция мощностью 5 МВт, введенная в эксплуатацию в Республике Хакасия в конце 2015 г.

### Ресурсный потенциал

В восточных регионах РФ имеются и ресурсные предпосылки для масштабного развития возобновляемой энергетики, поскольку на этой территории сосредоточен

значительный потенциал возобновляемых природных энергоресурсов: энергии малых водотоков, ветра, солнечного излучения, геотермальной энергии.



Рис. 1. Размещение возобновляемых источников энергии в восточных регионах РФ (состояние 2015 г.)

Целесообразность использования природного потенциала для энергоснабжения значительно различается по регионам и обусловлена, прежде всего, показателями потенциала возобновляемых энергоресурсов.

*Ветроэнергетические ресурсы.* На территории Восточной Сибири и Дальнего Востока сосредоточено более 50% ветроэнергетического потенциала РФ, однако его распределение по территории регионов крайне неравномерно. Более 65% валового ветропотенциала сконцентрировано на территории Дальнего Востока [2].

Наиболее перспективными для освоения ветроэнергетических ресурсов в восточных регионах являются побережья северных и восточных морей, а также горные районы и возвышенные места континентальной части, имеющие особые ветровые режимы – например, зона озера Байкал [3].

*Гелиоэнергетические ресурсы.* Валовый гелиоэнергетический потенциал восточных регионов РФ оценивается в 1343 млрд т у.т., более 60% которого сосредоточено на территории Дальнего Востока [2].

Приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока, как и продолжительность солнечного сияния, носит достаточно обусловленный поясной характер и изменяется от 700 кВт·ч/м<sup>2</sup> на Крайнем Севере до 1400 кВт·ч/м<sup>2</sup> в южной части [3]. Продолжительность солнечного сияния в центральной и северной частях восточных регионов, включая Сахалинскую область и Камчатский край, не превышает 1700 ч/год, а в южных районах достигает 2600 ч/год.

*Энергоресурсы малых рек.* Восточные регионы России располагают значительным гидропотенциалом, сосредоточенным в большом количестве крупных и мелких рек, а также ручьев.

На территории Восточной Сибири и Дальнего Востока заключено более 70% валового потенциала малых рек России. Энергетический потенциал малых водотоков восточных регионов РФ оценивается в 802 млрд кВт·ч, более половины приходится на территории Дальнего Востока [2].

Исходя из ресурсного потенциала использование энергии малых водотоков целесообразно в Камчатском крае, в северных районах Красноярского края, Иркутской области и Забайкальском крае, республиках Бурятия, Хакасии и южной части Республики Саха (Якутия).

### Результаты исследований

Учитывая переменный характер проявления в течение года потенциала возобновляемых природных энергоресурсов и высокую капиталоемкость источников, их использующих, большое значение для эффективного применения у изолированных от энергосистем потребителей имеет выбор оптимальной мощности ВИЭ с позиций соотношения природных и стоимостных показателей. С этой целью авторами разработана методика определения оптимальной мощности возобновляемого источника энергии, подробно описанная в [4], которая основана на совмещении годовых графиков потребления и возможной выработки энергии ВИЭ с учетом конкретных условий. Критерием оптимальности выступает минимум соотношения капиталовложений в ВИЭ и стоимости вытесненного органического топлива на существующем энергоисточнике.

Методика является промежуточным этапом исследований по обоснованию применения возобновляемых источников для изолированных от энергосистемы потребителей: результаты служат исходной информацией для оценки экономической эффективности проекта сооружения ВИЭ на модели динамики финансовых потоков. Общая схема и этапы проведения исследований, модельный инструментарий и примеры результатов представлены в [1].

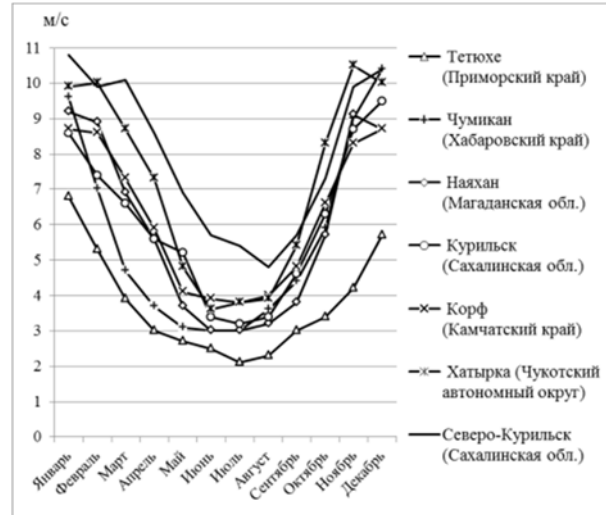
В ходе исследований по результатам проведенного мониторинга данных гидрометеостанций об изменении в течение года средних скоростей ветра в восточных регионах России выявлены три группы внутригодового распределения показателя ветропотенциала в зависимости от территориального расположения с характерным максимумом (рис. 2):

- зимним – на побережье Тихого океана;
- летним – на арктическом побережье;
- весенне-осенним – на материковой части.

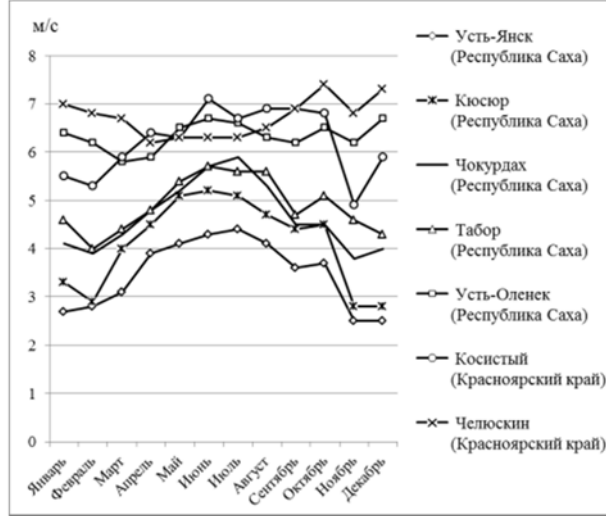
Полученные в ходе исследования обобщенные зависимости позволили оценить влияние природных факторов на выбор оптимальной мощности ветроэлектростанции в составе ветродизельного комплекса относительно нагрузки потребителя. Наиболее существенное влияние оказывает величина ветропотенциала: при низких значениях оптимальная мощность ВЭС превосходит максимум нагрузки потребителя в 3-10 раз, при высоких – практически соответствует максимуму нагрузки (рис. 3). Оптимальной будет являться мощность ветроэлектростанции, при которой выполняется условие полного использования вырабатываемой электроэнергии при минимуме невостребованной.

Влияние внутригодового распределение ветропотенциала на величину оптимальной мощности не столь выражено и проявляется, в основном, при коэффициенте использования установленной мощности меньше 25%. Наилучшим для использования на цели энергоснабжения является внутригодовое распределение ветропотенциала, имеющее зимний максимум, поскольку в большей степени соответствует графику нагрузки потребителей, изолированных от энергосистем.

зимний максимум



летний максимум



весенне-осенний максимум

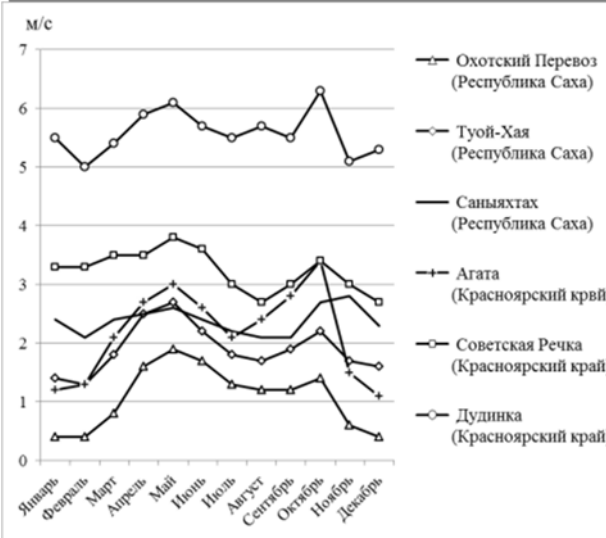


Рис. 1. Характерные группы внутригодового распределения ветропотенциала



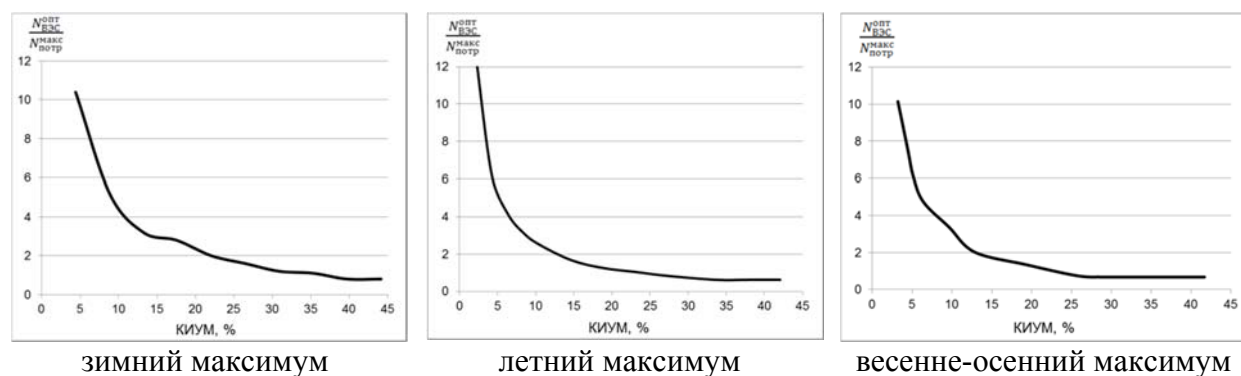


Рис. 3. Зависимости соотношения оптимальной мощности ВЭС и максимума нагрузки потребителя от коэффициента использования установленной мощности при различном распределении ветропотенциала

### Прогнозы развития

Рациональные масштабы использования возобновляемых источников энергии в восточных регионах РФ на период до 2050 г. определены исходя из результатов исследований, проводимых авторами в рамках разработки энергостратегий субъектов РФ Восточной Сибири и Дальнего Востока [5-7].

Суммарные вводы мощности ВИЭ в районах децентрализованного и неустойчивого электроснабжения восточных регионов РФ в период до 2050 г. оцениваются в 875-1230 МВт по консервативному и целевому сценарию соответственно. Основная доля вводимых мощностей возобновляемых энергоисточников (360-370 МВт) приходится на солнечные электростанции в южных районах Восточной Сибири. На территории Дальнего Востока около 40% от суммарных вводов составляют ветроэнергетические станции – 142-222 МВт.

При этом суммарная установленная мощность возобновляемых источников энергии к концу рассматриваемого периода в целом по региону составит порядка 1006-1360 МВт в зависимости от сценария развития (рис. 4).

При реализации проектов возобновляемой энергетики в таких масштабах производство электроэнергии от ВИЭ в восточных регионах к 2030 г. составит 1,0-1,7 млрд кВт·ч/год, к 2050 г. – 2,2-2,7 млрд кВт·ч/год, что обеспечит экономию топлива в объемах 0,3-0,7 и 0,8-1 млн т у.т. соответственно.

Среди приоритетных мест размещения *в ценовой зоне оптового рынка электроэнергии и мощности* в Восточной Сибири можно рекомендовать районы с лучшими показателями потенциала:

- солнечных электростанций – на территории республик Хакасия и Тыва, Забайкальского края и Иркутской области;
- ветровых электростанций – на севере Таймырского АО;
- малых ГЭС – удаленные районы Иркутской области и Республики Бурятия.

Высокие значения показателей ветропотенциала и сложившиеся условия энергоснабжения создают предпосылки целесообразного использования энергии ветра для электроснабжения потребителей *децентрализованной зоны и удаленных районов*, расположенных на побережье северных и восточных морей Республики Саха (Якутия), Таймырского и Чукотского автономных округов, Приморского, Хабаровского и Камчатского краев, Сахалинской области. Использование солнечного излучения на основе фотоэлектрических модулей в сложившейся стоимостной ситуации целесообразно не только в южных районах, но и в центральных районах Республики Саха (Якутия), учитывая более высокие цены на замещающее топливо. Опыт

использования СЭС в республике подтверждает достаточно высокую эффективность этого мероприятия.

Перечень относительно крупных приоритетных проектов сооружения возобновляемых источников энергии в восточных регионах РФ приведен в [8].

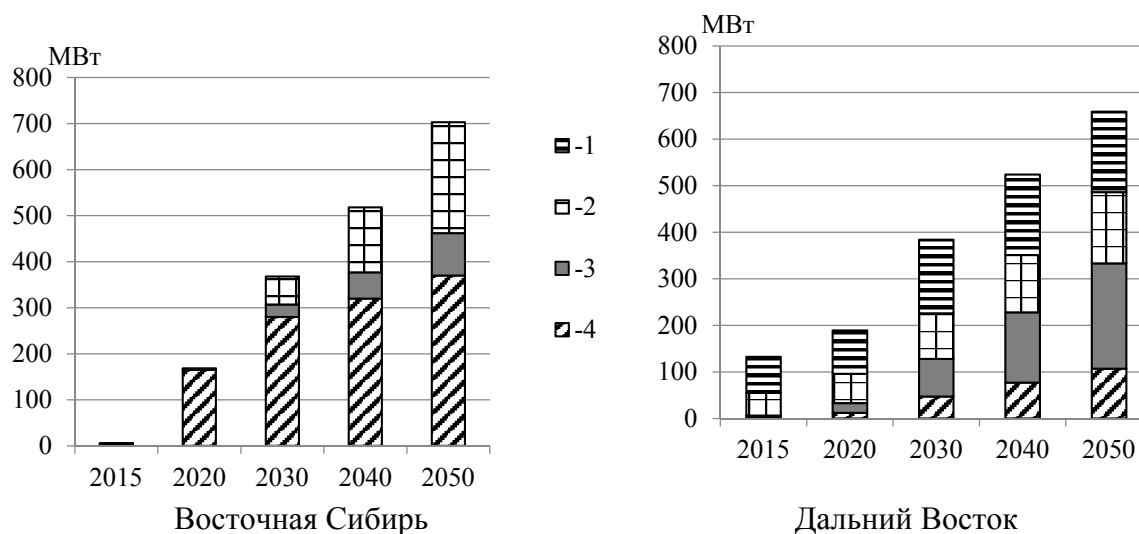


Рис. 4. Динамика установленной мощности возобновляемых источников энергии в восточных регионах РФ  
1 – ГеоЭС, 2 – МГЭС, 3 – ВЭС, 4 - СЭС

#### Список литературы

1. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф. Возобновляемые источники энергии в региональных программах энергетики на востоке России: предпосылки и рациональные масштабы // Энергетик. 2014. №3. С.6-9.
2. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. / Показатели по территориям / - М.: «ИАЦ Энергия», 2007. 272 с.
3. Восточный вектор энергетической стратегии России: современное состояние, взгляд в будущее / Под ред. Н.И. Воропая, Б.Г. Санеева; Рос. акад. наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л. А. Мелентьева. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011. С.223-235.
4. Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Халгаева Н.А. Определение оптимальной мощности возобновляемого источника энергии для изолированного от энергосистемы потребителя // Известия РАН. Энергетика. 2014. №3. С. 22–28.
5. Топливо-энергетический комплекс Сахалинской области: современное состояние и перспективы развития / Под ред. Б.Г. Санеева, В.Н. Тихоньких – М.: Энергия, 2010. 240 с.
6. Топливо-энергетический комплекс Иркутской области: современное состояние и перспективы развития / Под ред. Б.Г. Санеева, П.А. Воронина – М.: ИД «Энергия», 2013. 304 с.
7. Топливо-энергетический комплекс Байкальского региона: современное состояние и перспективы развития / Под ред. Б.Г. Санеева; Рос. акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. 176 с.
8. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф. Развитие возобновляемой энергетики на востоке РФ в первой половине века на фоне общероссийских тенденций // Энергетическая политика. 2016. №3. С.66-73.

## МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА, ПРОИЗВОДИМОГО ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ METAL HYDRIDE MATERIALS FOR SEPARATION AND STORAGE OF HYDROGEN, PRODUCED FROM RENEWABLES

Казakov А.Н., 1; Дуников Д.О., 1; Блинов Д.В., 1; Митрохин С.В., 2

1: Объединенный институт высоких температур РАН, Россия, Москва

2: Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва

**Kazakov A.N., 1; Dunikov D.O., 1; Blinov D.V., 1; Mitrokhin S.V., 2**

1: Joint Institute for High Temperatures Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow

2: Moscow State University, Russia, Moscow

Значительное увеличение использования возобновляемых источников (ВИЭ) в энергетике требуют новые технологии производства и хранения энергии. Одним из перспективных направлений является водородное аккумулирование энергии. Данный подход рассматривается в виде цепочки, связывающей первичный источник энергии, производство водорода, систему хранения водорода и водородную энергоустановку.

Интерметаллические соединения (ИМС) АВ<sub>5</sub>-типа обладают рядом преимуществ для хранения, очистки, первичной компрессии водорода, производимого из ВИЭ. На основе полуэмпирической модели расчета термодинамических свойств ИМС приготовлены и исследованы сплавы АВ<sub>5</sub>-типа с прогнозируемыми равновесными давлениями 0.02 – 0.04 МПа, способных к сорбции водорода из газовых потоков. Термодинамические параметры определены из диаграмм Вант-Гоффа. PCT-диаграммы сплавов измерены методом Сивертса в температурном интервале 293 – 333 К. Экспериментальные равновесные давления десорбции для исследуемых сплавов незначительно превышают прогнозируемые.

A significant increase in the use of renewable energy sources required new technologies of energy production and storage. Hydrogen energy storage seems to be promising for such applications. This approach include chain connecting a primary energy source, a hydrogen production, a hydrogen storage system and a hydrogen power plant.

AB<sub>5</sub>-type intermetallic compounds (IMCs) have a number of advantages for the storage, separation and purification, primary compression of hydrogen produced from renewable energy sources. Based on the semi-empirical model for calculating alloys' thermodynamic properties AB<sub>5</sub>-type IMCs with predicted equilibrium pressures of 0.02 - 0.04 MPa, capable of hydrogen sorption of the gas streams, were prepared and investigated. The thermodynamic parameters were determined from van't Hoff plots. PCT-isotherms of the alloys were measured in temperature range 293 – 333 K by Sievert's method. The experimental equilibrium pressure for desorption of the alloys were slightly higher than projected.

Keywords: intermetallic compounds, metal hydrides, PCT-properties, hydrogen purification, hydrogen storage, renewable energy sources

Ключевые слова: интерметаллические соединения, металлгидриды, PCT-свойства, очистка водорода, хранение водорода, возобновляемые источники энергии

### Введение

В настоящее время наблюдается значительный прогресс во внедрении возобновляемой энергетики в мире. В то же время для увеличения использования возобновляемых источников в энергетике требуются новые технологии производства и хранения энергии [1].

Одним из перспективных направлений является водородное аккумулирование энергии. Данный подход рассматривается в виде цепочки, связывающей первичный источник энергии, производство водорода, систему хранения водорода и водородную энергоустановку [2]. Относительно применения с ВИЭ эта цепочка сводится как правило к получению водорода путем электролиза, хранению водорода в сжатом или твердофазном связанном виде и получению электрической энергии с использованием топливных элементов или водородосжигающих установок (включая двигатели внутреннего сгорания) [3, 4]. Другим перспективным методом является производство водорода биологическим путем, его очистка и дальнейшее использование в топливных элементах [5-7].

Среди разрабатываемых новых технологий и устройств очистки и хранения водорода для автономной энергетики экономически приемлемыми и безопасными могут стать устройства и системы, основанные на использовании обратимых металлгидридов (МГ) – интерметаллических соединений (ИМС), способных избирательно и обратимо поглощать водород [8]. При этом основная масса водорода в системе находится в связанном твердофазном состоянии, что обеспечивает повышенную безопасность при эксплуатации.

Избирательность поглощения водорода, возможность гибко контролировать термодинамические свойства интерметаллических сплавов с помощью вариации их состава позволяет использовать их не только для хранения, но и для высокоэффективной очистки водорода, создания термохимических тепловых насосов и водородных компрессоров [8-11].

На основе полуэмпирической модели расчета термодинамических свойств ИМС приготовлены и исследованы сплавы АВ<sub>5</sub>-типа (LaNi<sub>5-x</sub>M<sub>x</sub>) с прогнозируемыми равновесными давлениями 0.02 – 0.04 МПа, способных к сорбции водорода из газовых потоков с малым содержанием водорода (биоводород). Термодинамические параметры определены из диаграмм Вант-Гоффа. РСТ-диаграммы сплавов измерены методом Сивертса в температурном интервале 293 – 333 К.

### Экспериментальная часть

#### *Модель расчета термодинамических свойств ИМС*

Согласно закону Вегарда, термодинамические функции интерметаллических соединений монотонно изменяются в пределах однофазной области твердых растворов. Поэтому, имея достаточный экспериментальный массив данных этих функций можно, используя математические методы, аппроксимировать их некоторой функцией, которая описывает монотонную зависимость "состав-свойство". Модель расчета термодинамических характеристик многокомпонентных стехиометрических сплавов позволяет с высокой долей достоверности рассчитать изменения термодинамических характеристик ( $\Delta H$  и  $\Delta S$ ) реакции с водородом, которые могут быть описаны полиномом второй степени, в котором аргументами являются концентрации образующих ИМС компонентов:

$$F(x) = Y_0 + \sum A_i \times x_i + \sum B_{ij} \times x_i \times x_j \quad (j \geq i) \quad (1)$$

где:  $x$  – концентрации компонентов ИМС;

$Y_0$  – свободный член бинома;

$A, B$  - коэффициенты

Для определения коэффициентов такого полинома ( $A_i, B_{ij} \dots$ ) используются уже имеющиеся экспериментальные данные по соответствующим параметрам. Для получения более достоверных результатов в таких расчетах требуются как можно больше данных для граничных составов, которые позволяют расширить интервал интерполяции.

На основе полуэмпирической модели для дальнейшего исследования выбраны ИМС с прогнозируемыми равновесными давлениями в диапазоне 0.02 – 0.04 МПа при температуре 298 К: LaNi<sub>4.4</sub>Fe<sub>0.3</sub>Al<sub>0.3</sub>, LaNi<sub>4.5</sub>Fe<sub>0.3</sub>Sn<sub>0.2</sub>, LaNi<sub>4.6</sub>Mn<sub>0.2</sub>Al<sub>0.2</sub>, LaNi<sub>4.7</sub>Mn<sub>0.2</sub>Sn<sub>0.1</sub>.

#### *Приготовление лабораторных образцов ИМС*

Выплавка образцов интерметаллических соединений семейства LaNi<sub>5</sub> проводилась в электродуговой печи фирмы Cianflone модели 2701 с нерасходуемым вольфрамовым электродом на водоохлаждаемом медном кристаллизаторе в аргоновой атмосфере [12].

В качестве исходных компонентов использовали металлы с указанной чистотой: La (99,9%), Ni (свыше 99,9%) Fe (99,9%), Al (99,99%), Sn (99,8) и Mn (99,5%), рассчитанные массы которых загружались в ячейку для плавки. В каждом случае к

рассчитанной массе легколетучих металлов La, Sn, Al, Mn добавляли 1-2% избытка для компенсации испарения во время плавления. Изначально рабочая камера печи вакуумировалась до остаточного давления порядка  $4 \cdot 10^{-5}$  Па, затем 2-3 раза продувалась аргоном высокой чистоты. Интенсивный продув рабочей камеры аргоном заменяет предварительное плавление титанового геттера. Во время плавления поддерживается подача аргона в рабочую камеру под давлением 41 кПа.

Для определения фазового состава и параметров кристаллической структуры использовались порошки сплавов, полученные перетиранием в фарфоровой ступке. Рентгеновский анализ проводился на дифрактометре D8 Advance (Bruker) с медным излучением ( $K_{\alpha 1}$  и  $K_{\alpha 2}$ ). Шаг измерения составлял 0.02 градуса, время экспозиции 60.8с в точке. Измерение  $2\theta$ -углов находилось в диапазоне от  $10^\circ$  до  $120^\circ$ . Обработка полученных дифрактограмм осуществлялась в программных средах Jana2006 и Search-Match.

#### *Установка для гидрирования и методика измерения изотерм десорбции водорода*

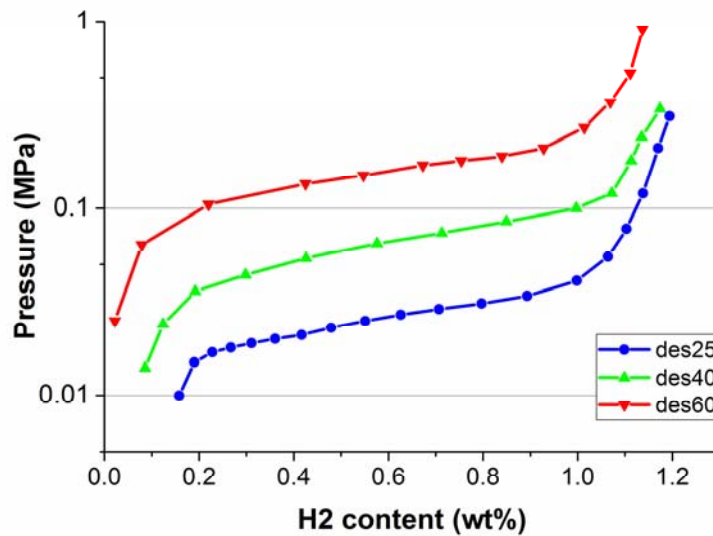
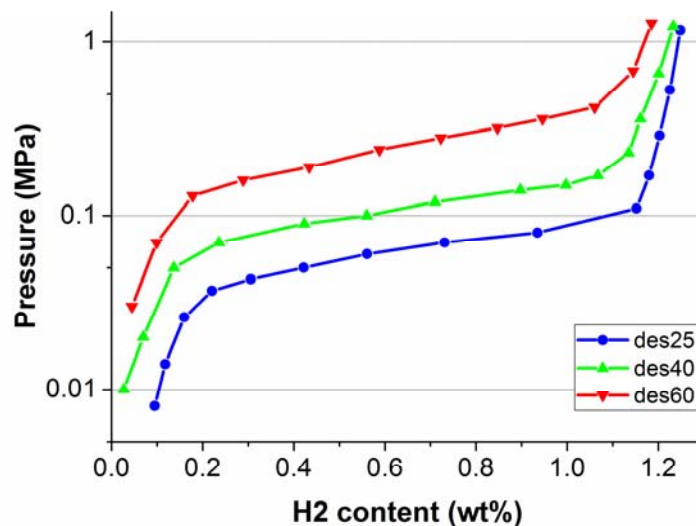
Гидрирование ИМС и измерение РСТ-изотерм в области давлений 0,01-10 МПа проведена экспериментальной РСТ-установке. Установка состоит из автоклавов, манометров, вентилях, коммуникаций, стеклянной калиброванной емкости с вакуумметром.

Перед гидрированием навеску образца (~10 г) предварительно очищали на корундовом круге от поверхностной оксидной пленки, взвешивали и помещали в рабочий автоклав. После этого систему вакуумировали до остаточного давления  $10^{-2}$  мм.рт.ст. форвакуумным насосом с использованием низкотемпературной ловушки с жидким азотом. Предварительная активация сплавов включала три цикла сорбции/десорбции при температуре 353 К и давлении 3.5 МПа. После вакуумирования подавали водород из аккумулятора в буферный автоклав и фиксировали количество водорода в системе. Затем соединяли буферный автоклав с рабочим. Реакция взаимодействия ИМС с водородом протекала в течение 15-30 мин. После окончания реакции регистрировали давление и температуру. Для измерения изотерм десорбции водорода проводили отбор калиброванных порций водорода из рабочего автоклава в вакуумированный буферный автоклав или в калиброванную стеклянную емкость вакуумной установки. Равновесие в системе считали достигнутым, если изменения давления не происходило в течение 20 минут.

### **Результаты и обсуждение**

Рентгенофазовый анализ приготовленных интерметаллических соединений показал высокую однородность образцов. Все сплавы кристаллизовались в структурном типе  $\text{CaCu}_5$ . Замещение атомов Ni на более крупные атомы Sn и Al приводит к увеличению размеров кристаллической решетки.

После проведения предварительной активации приготовленные сплавы поглощали водород с высокой скоростью. Фазовое равновесие достигалось в течение 15-20 минут. В ходе активационных циклов сорбции/десорбции корольки сплавов превращались в мелкодисперсный порошок темно-серого цвета, активный на воздухе. РСТ-изотермы исследованных соединений при температурах 298-333 К представлены на Рис. 2-5.

Рис.2. PCT-диаграмма для  $\text{LaNi}_{4.4}\text{Fe}_{0.3}\text{Al}_{0.3}$ .Рис.3. PCT-диаграмма для  $\text{LaNi}_{4.5}\text{Fe}_{0.3}\text{Sn}_{0.2}$ 

Для всех приготовленных сплавов характерно широкая область равновесного давления и незначительный наклон плато, что важно для использования в технических устройствах. Данные, полученные в ходе PCT-измерений представлены в Таблице.

Главными характеристиками для использования металлгидридных сплавов для извлечения водорода из малых потоков газовых смесей являются низкое равновесное давление водорода и обратимая емкость сплава. Также немаловажной характеристикой при использовании ИМС в технических устройствах является значение наклона плато. На основе этих требований нами выделены два сплава наиболее удовлетворяющих этим требованиям:  $\text{LaNi}_{4.4}\text{Fe}_{0.3}\text{Al}_{0.3}$  и  $\text{LaNi}_{4.6}\text{Mn}_{0.2}\text{Al}_{0.2}$ . Низкие равновесные давления, обратимая емкость и небольшой наклон плато этих сплавов перспективны для использования в извлечении и хранении водорода. Исходя из данных PCT-диаграмм также были рассчитаны термодинамические параметры исследуемых сплавов. Значения энтальпий хорошо согласуются с теоретическими, полученными в ходе

термодинамического расчета. Выделенные выше образцы отличаются высокой стабильностью, что важно при использовании сплавов в циклической работе.

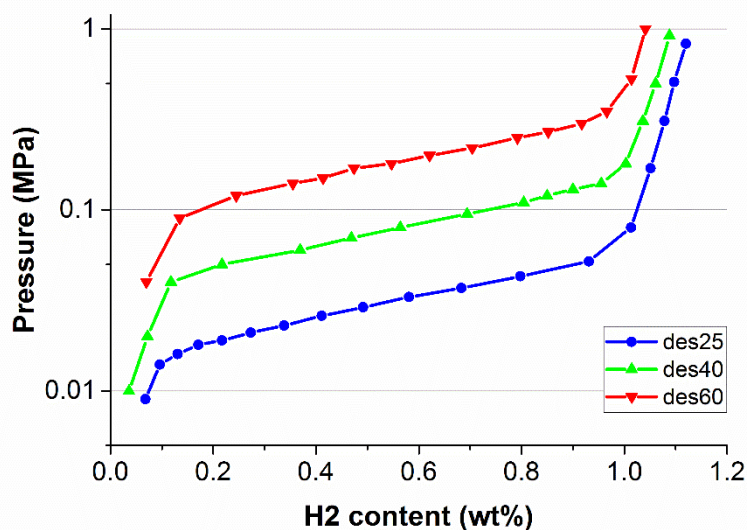


Рис.4. PCT-диаграмма для LaNi<sub>4.6</sub>Mn<sub>0.2</sub>Al<sub>0.2</sub>

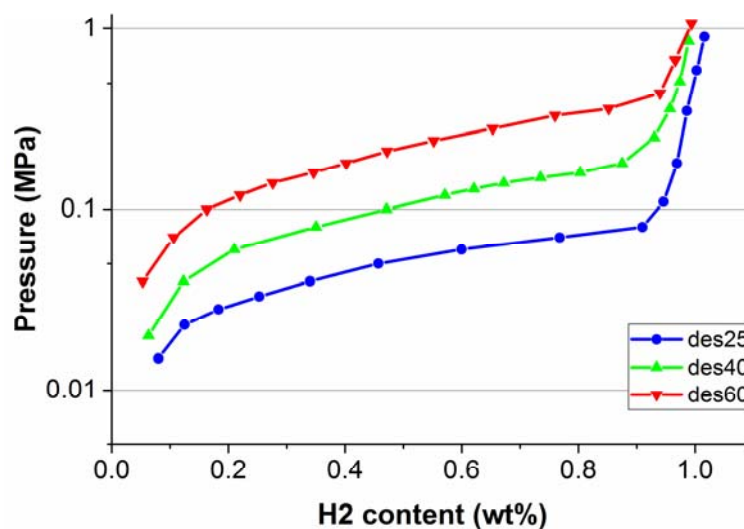


Рис.5. PCT-диаграмма для LaNi<sub>4.7</sub>Mn<sub>0.2</sub>Sn<sub>0.1</sub>

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-08-92001). Авторы также выражают благодарность членам лаборатории Водородных энергетических технологий ОИВТ РАН за обсуждение работы, полезные советы и практическую помощь в исследованиях.

Таблица. РСТ-свойства интерметаллических соединений

ИМС	Т, К	Давление, МПа	Обратимая емкость при 298 К, %масс	Наклон плато,	ΔН, кДж/моль	
					теор.	эксп.
LaNi <sub>4.4</sub> Fe <sub>0.3</sub> Al <sub>0.3</sub>	298	0.027	0.9	0.12	35.8	40.3
	313	0.65				
	333	0.15				
LaNi <sub>4.5</sub> Fe <sub>0.3</sub> Sn <sub>0.2</sub>	298	0.06	1.0	0.2	33.3	32.8
	313	0.1				
	333	0.24				
LaNi <sub>4.6</sub> Mn <sub>0.2</sub> Al <sub>0.2</sub>	298	0.029	0.9	0.19	37.9	41.6
	313	0.07				
	333	0.17				
LaNi <sub>4.7</sub> Mn <sub>0.2</sub> Sn <sub>0.1</sub>	298	0.05	0.8	0.24	35.6	33.8
	313	0.1				
	333	0.21				

## Список литературы

1. Ferreira, H.L., et al., *Characterisation of electrical energy storage technologies*. Energy, 2013. **53**: p. 288-298.
2. Шпильрайн, Э.Э., С.П. Малышенко, and Г.Г. Кулешов, *Введение в водородную энергетику*, ed. п.р.В.А. Легасова. 1984, М.: Энергоатомиздат. 264.
3. Zoulias, E.I. and N. Lymberopoulos, *Hydrogen-based autonomous power systems: techno-economic analysis of the integration of hydrogen in autonomous power systems*. 2008: Springer.
4. Tzamalis, G., et al., *Techno-economic analysis of an autonomous power system integrating hydrogen technology as energy storage medium*. Renewable Energy, 2011. **36**(1): p. 118-124.
5. Kim, D.-H., et al., *Experience of a pilot-scale hydrogen-producing anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) treating food waste*. International Journal of Hydrogen Energy, 2010. **35**(4): p. 1590-1594.
6. La Licata, B., et al., *Bio-hydrogen production from organic wastes in a pilot plant reactor and its use in a SOFC*. International Journal of Hydrogen Energy, 2011. **36**(13): p. 7861-7865.
7. Morra, S., et al., *Expression of different types of [FeFe]-hydrogenase genes in bacteria isolated from a population of a bio-hydrogen pilot-scale plant*. International Journal of Hydrogen Energy, 2014. **39**(17): p. 9018-9027.
8. Sandroock, G., *A panoramic overview of hydrogen storage alloys from a gas reaction point of view*. Journal of Alloys and Compounds, 1999. **293-295**: p. 877-888.
9. Дуников, Д.О., et al., *Перспективные технологии использования биоводорода в энергоустановках на базе топливных элементов (обзор)*. Теплоэнергетика, 2013(3): p. 48-57.
10. Блинов, Д.В., et al., *Очистка водорода методом продувки через металлгидрид*. Вестник МЭИ, 2012(2): p. 44-49.
11. Lototsky, M.V., et al., *Metal hydride hydrogen compressors: A review*. International Journal of Hydrogen Energy, 2014. **39**(11): p. 5818-5851.
12. Kazakov, A.N., Dunikov, D.O., Borzenko, V.I., *Development of technique for preparation and research of intermetallic compounds' samples for hydrogen purification and storage systems*. Vestnik MEI, 2014. **3**: p. 16-20.



## РАЗРАБОТКА НОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В НИУ МЭИ И НПФ АЛЬТЭН

**Казанджан Б.И.**

НИУ Московский энергетический институт, Москва, Российская Федерация

В представленном докладе приведены новейшие данные по статистике использования солнечных коллекторов, их суммарной площади и выработке энергии в отдельных странах, регионах и в мире. Эти данные позволяют правильно ориентироваться в выборе направления научных и производственных задач, которые стоят перед российскими специалистами, работающими в области возобновляемых источников энергии. В докладе рассмотрены результаты работ кафедры Теоретических основ теплотехники МЭИ и НПФ АЛЬТЭН в области тепловых солнечных установок. Основной задачей деятельности МЭИ является проведение научных исследований и подготовка высококвалифицированных кадров, деятельность НПФ АЛЬТЭН направлена на разработку конструкций новых солнечных коллекторов и их производство. В докладе показаны достигнутые на этом пути успехи, приведены полученные патенты на новые конструкции жидкостных и воздушных коллекторов, в которых реализованы принципы, еще не нашедшие практического применения на российском рынке, такие, например, как одновременное производство в одном коллекторе электроэнергии и тепла, использование в тепловых коллекторах прозрачной изоляции капиллярного типа и другие. Коллектор АЛЬТЭН-1А, после получения российского патента, был сертифицирован в Германии и США, а коллектор АЛЬТЭН 2 был защищен и российским патентом, и патентом США.

В заключении доклада делается вывод о том, что выполненная работа может рассматриваться как далеко продвинутый стартап, готовый к дальнейшему развитию и внедрению.

В настоящем докладе рассмотрено современное состояние солнечных систем теплоснабжения и работ, выполненных в научно - исследовательском университете МЭИ и научно–производственной фирме АЛЬТЭН по разработке новых типов солнечных коллекторов для нужд теплоснабжения.

Об актуальности исследований и развитии технологий солнечных систем теплоснабжения свидетельствуют последние данные опубликованные Международным энергетическим агентством в 2015 г. По этим данным совокупная мощность всех солнечных коллекторов в мире на конец 2013г составляла 374,7 ГВт, что соответствует площади коллекторов 535млн.м<sup>2</sup>. При этом установленная мощность всех коллекторов в Китае 262,3 ГВт, в Европе 44.1 ГВт, в США и Канаде 17,7 ГВт, в Азии без Китая 10.0 ГВт, в Латинской Америке 8,7 ГВт, в странах МЕНА 6,1 ГВт, Австралии и Новой Зеландии 5.9 ГВт, в странах южнее Сахары 1,2 ГВт, все остальные страны мира в сумме 18,7 ГВт.

К концу 2013 г. в мире работало примерно 111 миллионов солнечных систем различного назначения, из которых 80% использовались для горячего водоснабжения односемейных домов, 9% для горячего водоснабжения крупных зданий (многоквартирные дома, гостиницы, больницы, школы), 6% для плавательных бассейнов, 3% для домов с солнечным отоплением и горячим водоснабжением.

Подавляющее большинство солнечных коллекторов используется для горячего водоснабжения односемейных домов: в Австралии и Новой Зеландии – 99%, в США и Канаде – 84%, в Латинской Америке 82%, в Китае 80%, в Европе – 57%, всего в мире – 78%, Второе место по распространенности занимают дома где солнечная энергия используется и для горячего водоснабжения и для отопления. Остальные системы составляющие 1% от общего количества используются для районных систем теплоснабжения, для промышленных нужд и систем кондиционирования воздуха.

О темпах развития солнечных систем теплоснабжения свидетельствуют данные приведенные на рис.1



Рис.1. Суммарная тепловая мощность всех коллекторов, установленных в мире и вырабатываемая ими энергия.

С 2000 по 2014 год общая мощность остекленных в неостекленных коллекторов в мире увеличилась с 62 ГВт (89 млн.м<sup>2</sup>) до 406 ГВт (580 млн.м<sup>2</sup>). Производство энергии за этот период всей совокупностью коллекторов увеличилось с 52 ТВт-ч в 2000г до 341 ТВт-ч в 2014 г.

Представляет интерес вопрос о том, какого типа коллекторы преобладают в настоящее время на мировом рынке. Если рассматривать общемировую статистику, показанную на рис 2, то получается, что самыми популярными являются вакуумные коллекторы (70.95%), а на плоские коллекторы приходится немногим более 22%.

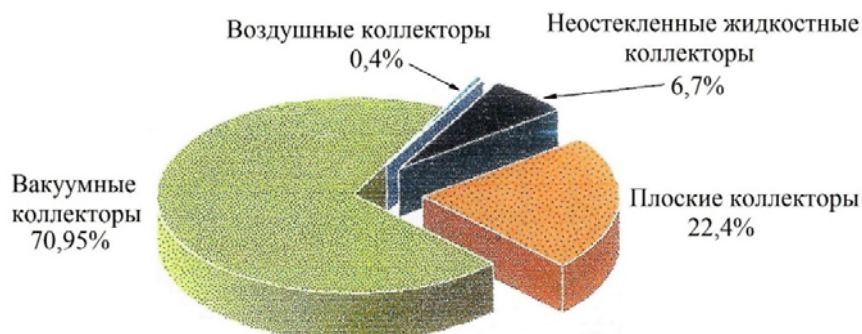


Рис 2 Распределение установленной мощности по типам коллекторов, работающих во всем мире.

Однако, если обратиться к европейской статистике, где достигнуты наибольшие успехи в развитии солнечных технологий теплоснабжения, то картина получается диаметрально противоположной (рис.3). В Европе самым распространенным типом коллекторов являются плоские, на долю которых приходится 83.8%.

Такое несоответствие поясняет рисунок 4, на котором показана доля установленной мощности коллекторов различных типов в общемировом балансе для разных стран.

В Китае в большом количестве выпускаются дешевые вакуумные коллекторы не всегда высокого качества и надежности, которые используются на местном рынке и экспортируются в другие страны, в то время как европейские страны ориентированы на выпуск более дорогих, но более надежных вакуумных коллекторов с использованием новейших технологий.

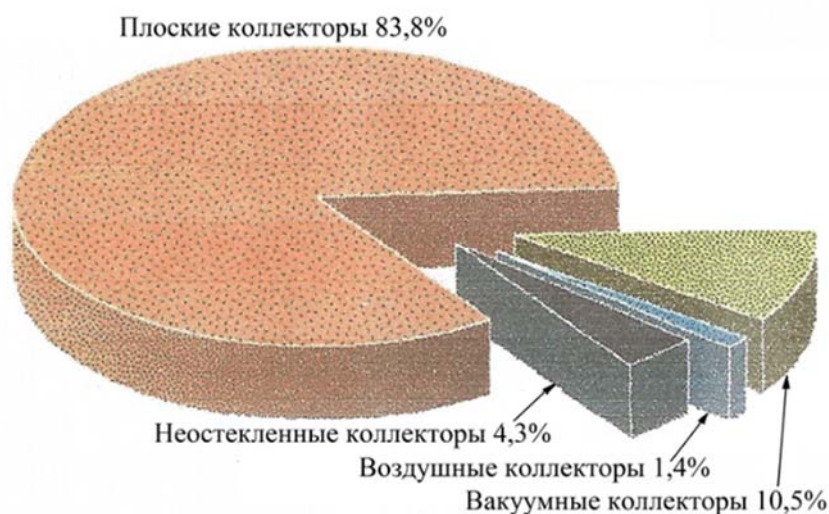


Рис.3. Распределение установленной мощности по типам коллекторов, работающих в Европе

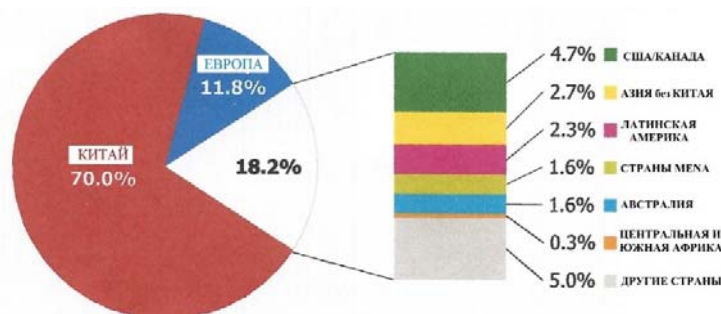


Рис.4. Доля установленных в мире коллекторов всех типов по различным районам мира

Жидкостные плоские и вакуумные коллекторы, используемые в мировой практике, являются составной частью систем, основанных либо на насосном, либо на термосифонном принципе циркуляции теплоносителя. В США, Европе, Австралии и на Ближнем Востоке преимущество отдается насосным системам, Статистика по всему миру показывает, что 76% коллекторов, выпускаемых в мире, установлено в термосифонных системах (рис.5)

В большинстве случаев в термосифонных системах используются горизонтально расположенные цилиндрические баки – аккумуляторы, по-разному расположенные относительно выхода воды из солнечного коллектора. На рисунке 6 показаны примеры типичных термосифонных систем, встречающихся в мировой практике. Из представленных примеров видно, что термосифонные системы присутствующие в настоящее время на рынке, отличаются друг от друга конфигурацией баков-аккумуляторов, их положением относительно коллекторов и другими особенностями, влияющими на работу системы. Литературные исследования и встречи с представителями фирм, производящими термосифонные системы показали, что не всем факторам, определяющим эффективность работы таких систем, например, на формирование температурной стратификации внутри бака-аккумулятора, влияющей на эффективность работы коллектора и, в конечном счете, всей системы, уделяется должное внимание. На рис.7 показаны, например, горизонтальные баки большого диаметра и длинные малого диаметра, расположенные на выходе из коллектора и на определенной высоте от него. Все эти факторы влияют на характеристики термосифонной системы и требуют обоснования при их выборе.

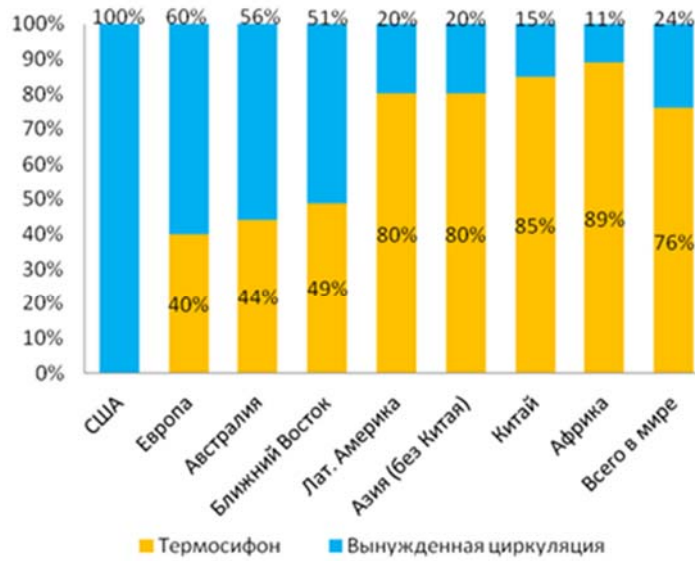


Рис 5 Соотношение термосифонных и насосных систем в мире



Рис 6 Варианты конструкций термосифонных установок

В Центре ВИЭ кафедры ТОТ МЭИ проводится работа по исследованию факторов, влияющих на эффективность работы термосифонных систем различной компоновки.

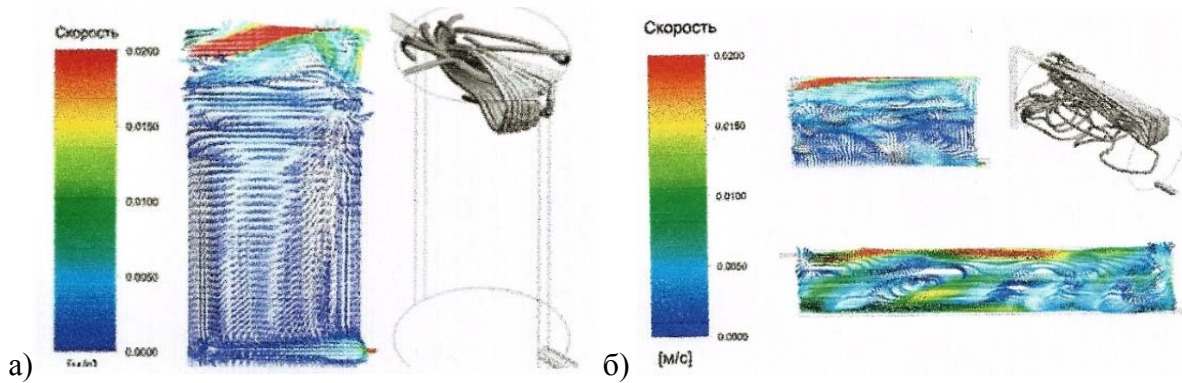


Рисунок 7



Моделирование процессов проводится с помощью компьютерных программ. В качестве примера на рисунке 7 показаны фрагменты визуализации движения жидкости в баках – аккумуляторах при попадании в их верхнюю часть потока жидкости выходящей из коллектора. В вертикальном баке вошедшая струя описывает сложную траекторию, не перемешиваясь с нижележащими слоями воды (рис.7а). Проникновение тепла в нижележащие слои осуществляется, в основном, за счет теплопроводности. Это приводит к появлению по высоте бака устойчивой температурной стратификации в результате чего на вход коллектора попадает вода с меньшей температурой, чем в случае, когда она полностью перемешивается в баке. Уменьшение температуры в коллекторе приводит к уменьшению в нем тепловых потерь, повышению к.п.д. и увеличению полезного тепла, поступающего в бак- аккумулятор. В горизонтальных баках одинакового объема возникновение или отсутствие температурной стратификации зависит от соотношения их длины и диаметра. На рис.7б видно, что в более коротком баке с большим диаметром процесс возникновения температурной стратификации возникает, а в длинном баке меньшего диаметра вода полностью перемешивается с ущербом для к.п.д. коллектора. Возвращаясь к рис.6, можно констатировать, что компоновка промышленно выпускаемых термосифонных систем не всегда оптимизирована и нуждается в коррекции.

В Центре ВИЭ кафедры ТОТ МЭИ впервые проведены натурные исследования тепловых характеристик воздушных солнечных коллекторов с прозрачной изоляцией капиллярного типа, показавшие их высокую эффективность.

Наряду с научной работой в области возобновляемых источников энергии в МЭИ ведется подготовка бакалавров, магистров и аспирантов в области возобновляемых источников энергии. На кафедре ТОТ МЭИ читаются лекции и проводятся упражнения по курсу «Новые и возобновляемые источники энергии», выполняются магистерские и кандидатские диссертации, ведется работа на стендах, имитирующих работу реальных солнечных систем. На рис.8а показан стенд, имитирующий на промышленном образце работу солнечного коллектора АЛЬТЭН, и водоохлаждаемого фотоэлектрического модуля (рис.8б), производящего одновременно электроэнергию и нагретую воду.

Мелкосерийное изготовление солнечных коллекторов серии АЛЬТЭН осуществлялось на производственной базе, показанной на рис.9 Коллектор АЛЬТЭН-1 прошел сертификационные испытания в Германии и США (рис.10). Полевые испытания коллектора АЛЬТЭН-1 успешно прошли в Иордании (рис.11). Коллектор АЛЬТЭН 2 запатентован в России и США.

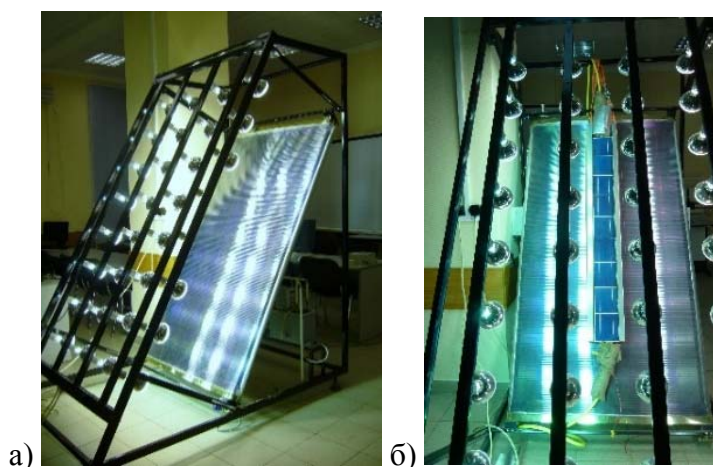


Рисунок 8



Рис 9 Производственные участки



Рисунок10



Рис.11 Коллектор АЛЬТЭН-1 в Иордании

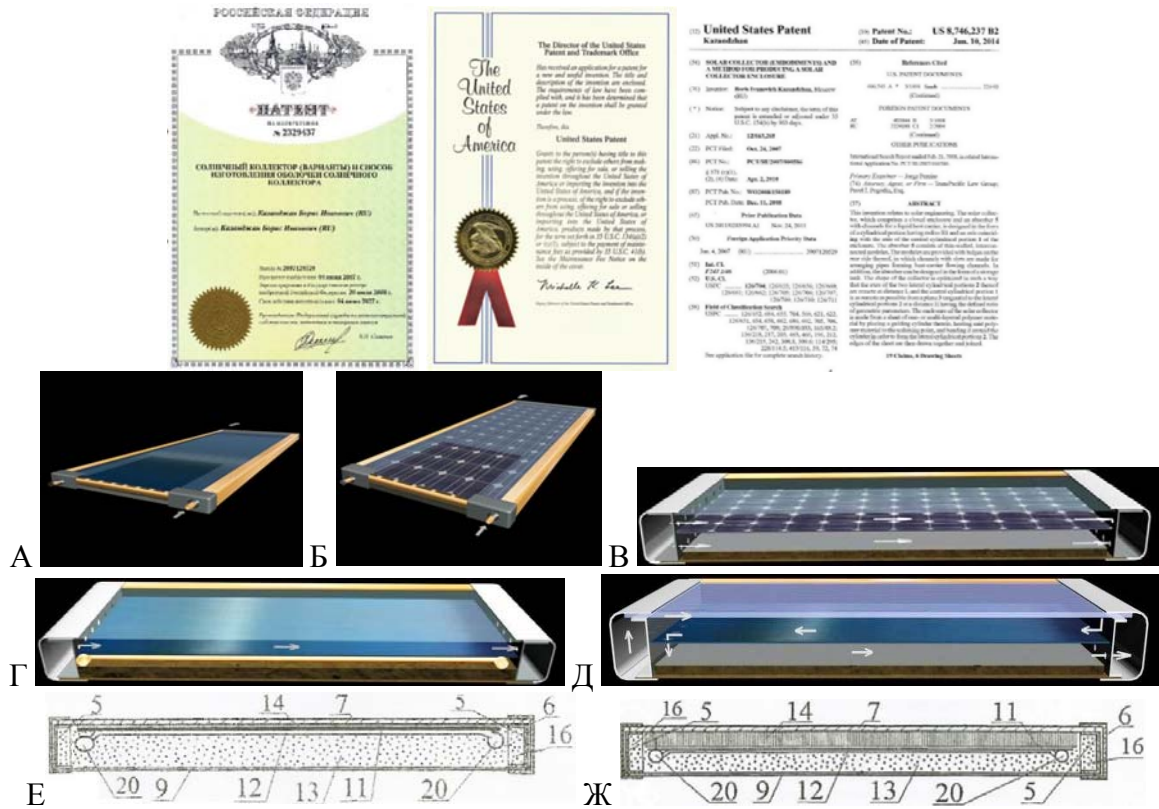


Рис. 12. Новые российские патенты на коллекторы АЛБТЭН

А- получение горячей воды, Б-получение горячей воды и электроэнергии с заменой селективного покрытия на фотоэлектрические модули, В-получение нагретого воздуха и электроэнергии, Г-получение нагретого воздуха и воды, Д- получение нагретого воздуха с охлаждением прозрачного ограждения из ячеистого поликарбоната, Е-получение горячей воды и электроэнергии с водоохлаждаемыми фотоэлементами, ламинированными на прозрачное ограждение, Ж- получение горячей воды с использованием прозрачной тепловой изоляции капиллярного типа.

Всего на международных выставках получено 12 золотых медалей, некоторые из них представлены на Рис. 13.



Рис. 13. Золотые медали АЛБТЭН на международных выставках

Работы, выполненные в МЭИ и НПФ АЛБТЭН, можно рассматривать как далеко продвинутый стартап, готовый к дальнейшему развитию и внедрению.

## **«СТАРЫЕ» ПРОБЛЕМЫ НОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ "OLD" PROBLEMS OF A NEW ENERGY ENGINEERING**

**Кодкин В.Л., Ганджа С.А., Балденков А.А.**

Южно-Уральский Государственный Университет, Челябинск, Россия

**Kodkin V., Gandzha S., Baldenkov A.**

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Широкое внедрение возобновляемых источников энергии в жизни современного общества проблема уже ближайшего времени. К научно-техническим проблемам, известным по традиционной энергетике, следует отнести оптимизацию систем ВИЭ. Одна и та же установка, работая с «заводскими» параметрами и настройками может решить только 70 – 80% поставленных перед ней задач, а при какой-либо ошибке снизить свою эффективность в разы. Чаще всего, изготовитель оборудования, его методики и инструкции, дают малоэффективные советы в связи с тем, что изготовить оборудование и грамотно работающую с ним систему – это две совершенно различные научно-технические задачи

Примером сложных комплексов следует признать ветроэнергетические установки, содержащие генераторы переменного тока. В Южно-Уральском Государственном Университете достаточно успешно проходят разработки ветроэнергетических комплексов малой мощности. Данный доклад посвящен общетехническим проблемам возникающим при разработке ветроэнергетических установок с генераторами переменного тока. Проведенные эксперименты показали, что общепринятые для машин переменного тока способы управления в генераторных режимах не эффективны. При определенных значениях амплитуды и частоты входного сигнала происходят «срывы» управления, сопровождающиеся значительным увеличением тока. Проводились эксперименты по изучению процессов происходящих в системе Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель, при переходе системы в генераторный режим на некоторых частотах было отмечено возникновение колебаний скорости вращения вала, статорного тока, напряжения на двигателе и увеличение напряжения в звене постоянного тока.

Режимы реализованные в экспериментах очень близки к реальным режимам работы генераторов переменного тока, работающих в составе ветроэнергетических установок. Ветроэнергетические установки требуют точного анализа устойчивости, он должен быть проведен, на наш взгляд, раньше, чем начнется их широкое применение.

The widespread introduction of renewable energy sources in the life of modern society has a problem next time. For scientific and technical issues, known for traditional energy, renewable energy should include the optimization of systems. The same setting, working with the "factory" parameters and settings can be solved only 70 - 80% of its tasks and for any error to reduce their effectiveness at times. Most often, the manufacturer of the equipment, its methodology and instructions, give advice ineffective because the equipment manufactured and competently worked with him a system - are two completely different scientific and technical problems.

An example of complex systems should recognize the wind turbines comprising alternators. The South Ural State University are developing wind power systems low power quite successfully. This report focuses on general technical issues arising in the development of wind turbines with alternators. Experiments have shown that conventional AC machines control methods in regenerative mode are not effective. For certain values of the amplitude and frequency of the input signal occur "failures" of management, accompanied by a significant increase in current. Conducted experiments on the study of the processes occurring in the system frequency inverter - induction motor, when the system goes into generator mode at some frequencies the occurrence of vibrations of the shaft rotation speed was observed stator current, the motor voltage and voltage increase in the DC link.

Modes implemented in the experiments are very close to the real mode of operation of alternators, working as part of wind turbines. Windmills require exact stability analysis, it must be held, in our opinion, before the start of their widespread use.

Keywords: frequency converter, wind power plant, stability of the system

### **Введение**

Широкое внедрение возобновляемых источников энергии в жизни современного общества, вероятно, проблема уже ближайшего времени. Поэтому, наверное, стоит более пристальное внимание обратить на научно-технические проблемы, связанные с этим процессом. А проблемы, это уже известные по традиционной энергетике и существенно отягощенные некоторыми известными причинами. К таким проблемам, безусловно, следует отнести оптимизацию систем ВИЭ. Тем, кто работал с реальными



энергетическими и электротехническими комплексами, очень хорошо известно, что одна и та же установка, работая с «заводскими» параметрами и настройками может решить 70 – 80% поставленных перед ней задач, а при какой-либо ошибке снизить свою эффективность в разы. Для того же, чтобы она реализовалась полностью требуются очень большие затраты интеллекта и времени. При этом, чаще всего, изготовитель оборудования, его методики и инструкции, дают малоэффективные советы. И не потому, что не хотят, а потому что изготовить оборудование и грамотно работающую с ним систему – это две совершенно различные научно-технические задачи.

В связи с этим, представляется не такой уж актуальной проблема размещения производства оборудования в странах Европы, Азии или России.

Опыт работы с энергетическим «традиционным» оборудованием показывает, что значительно важнее обеспечить его эффективное применение. Хотя, конечно, изготавливать в стране большую часть оборудования, это безусловно важно и нужно. Особенно если это оборудование конкурентоспособно. Необходимо при этом учитывать, что без кооперации с производственными предприятиями Европы и Азии очень трудно обойтись.

### **Постановка задачи**

Но вернемся к техническим проблемам. Примером сложных комплексов следует признать ветроэнергетические установки. Они содержат генераторы переменного тока, чаще всего синхронные, приводимые в движение механическими устройствами, связанными с ветряными колесами. Скорость, направление и напор ветра – переменные величины, «подстраиваться» под них генераторам весьма сложно. Не просто работать генераторам и с накопителями энергии. Еще более усложняют комплексы параллельно работающие дизельные установки и устройства, согласующие работу ветрогенераторов с «традиционной» электросетью. Работ, посвященных этим и другим техническим проблемам, очень мало. Сложность решения этих проблем является, очевидно, причиной по которой компании их решившие не стремятся познакомить научно-техническую общественность с методами их решения, оставляя это в числе своих конкурентных преимуществ. В Южно-Уральском Государственном Университете достаточно успешно проходят разработки ветроэнергетических комплексов малой мощности под руководством профессоров Кирпичниковой И.М. и Соломина Е.В. В данном докладе мы хотим рассказать об общетехнических проблемах, с которыми сталкиваются разработчики ветроэнергетических установок с генераторами переменного тока.

### **Основная часть**

В ряде работ [1,2] было показано, что процессы в машинах переменного тока, как синхронных, так и асинхронных, могут быть описаны нелинейными частотными характеристиками, меняющими свои параметры при переходе с одной частоты на другую. Это подтверждено моделированием. На рисунке 1 приведены диаграммы моделирования разгона двигателя на пять разных скоростей и набросы нагрузки на этих скоростях. Видно, что процессы разгона и парирования нагрузки имеют существенно разную динамику.

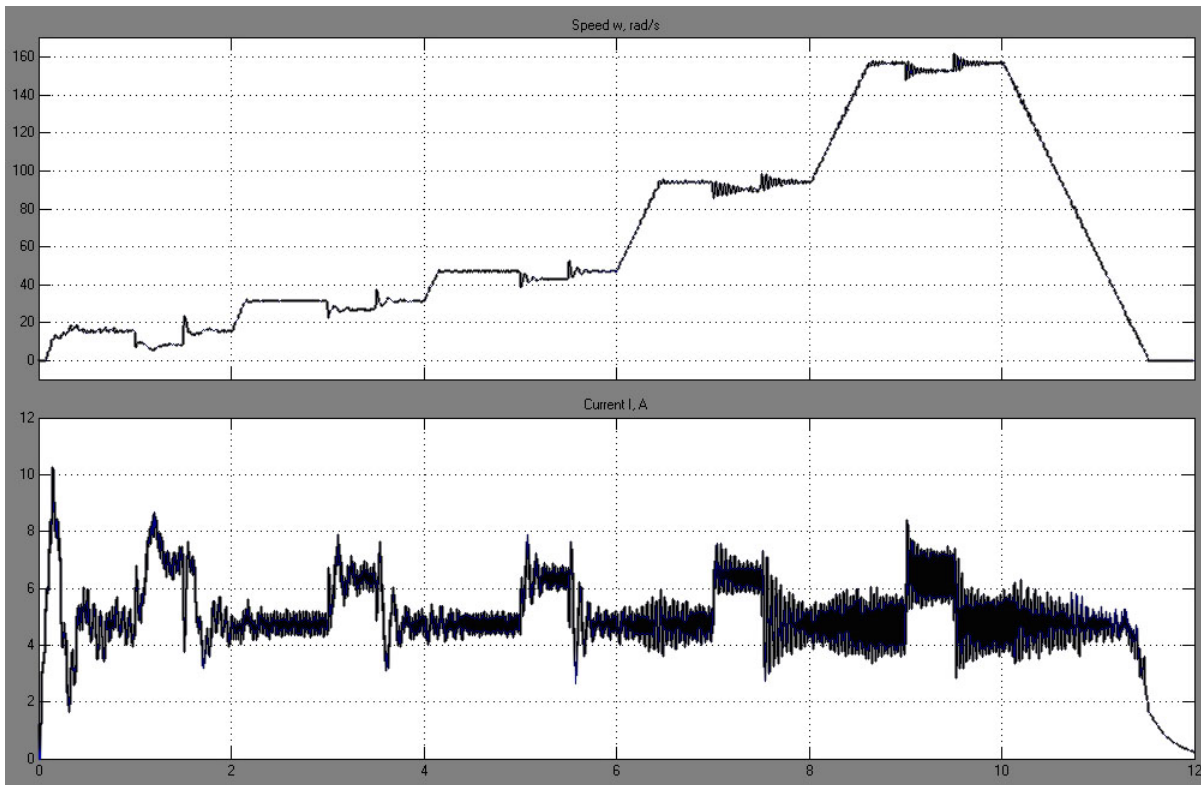


Рис. 1. Диаграммы моделирования скорости и тока статора в процессе разгона двигателя и наброса нагрузки на различных скоростях

Еще больше проблем возникает при работе машины переменного тока в генераторном режиме. Проведенные в течение нескольких лет эксперименты [3] показали, что общепринятые для таких машин способы управления (скалярное, векторное по току, векторное по напряжению и другие) в генераторных режимах не эффективны, а в некоторых случаях приводят к колебательности и «срыву» управления (Рис.2). Причем, во всех этих режимах нарушений инструкций работы с преобразователями частоты нет.

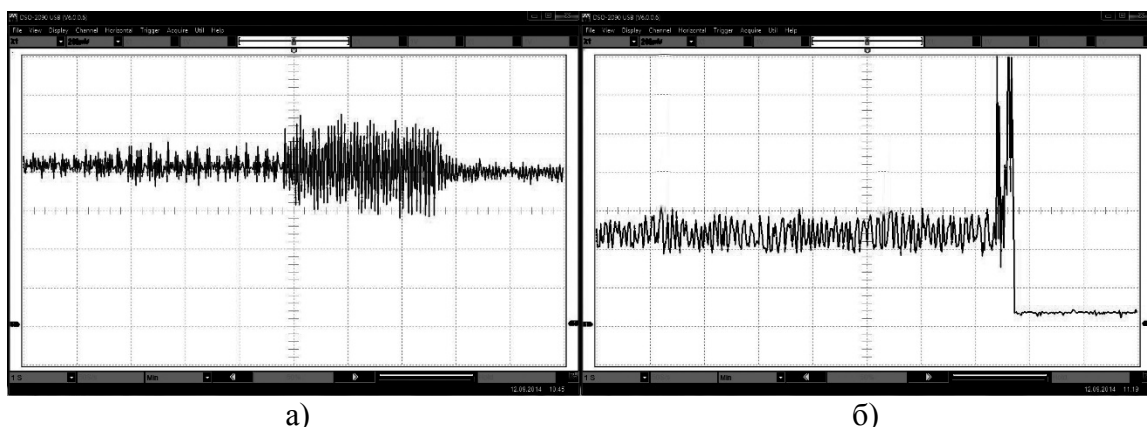


Рис. 2. Экспериментальные диаграммы токов статора при возникновении колебательных процессов (а) и «срыва» управления (б)

«Срывы» управления происходят при определенных значениях амплитуды и частоты входного сигнала и характеризуются несоответствием частоты входного сигнала и частоты выходного. Процесс срыва также сопровождается значительным

увеличением тока. Точка «срывов» управления не менялась при изменении параметров регулятора, встроенного в преобразователь частоты, изменении механической части электропривода, изменении нагрузки. Было установлено, что частота «срывов» зависит только от амплитуды колебаний возмущающего сигнала и скорости двигателя (Рис.3).

Также исследовалась зависимость частоты возмущающего сигнала, при которой происходил «срыв» управления от частоты вращения двигателя, при частоте вращения двигателя менее 500 об/мин срывы управления не наблюдались; при частотах вращения 500 об/мин и выше до номинальной частоты вращения двигателя происходило незначительное изменение частоты, при которой происходил срыв управления (Рис.4).

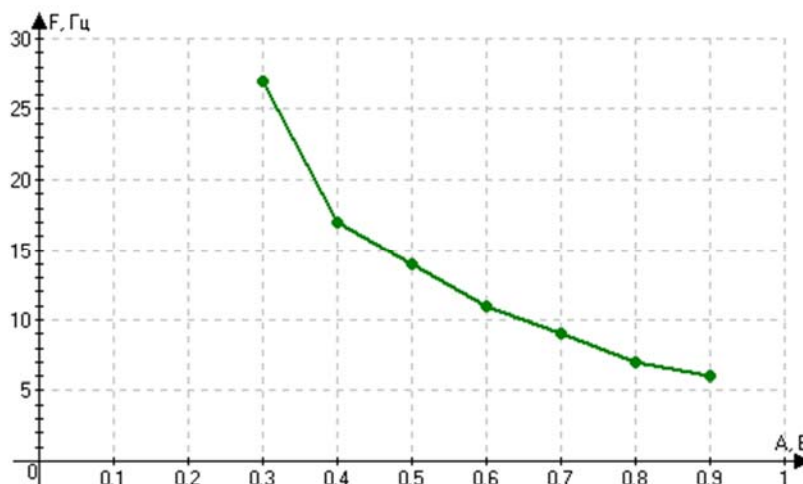


Рис. 3. Диаграмма зависимости частоты задания наступления «срыва» управления от амплитуды возмущающего сигнала

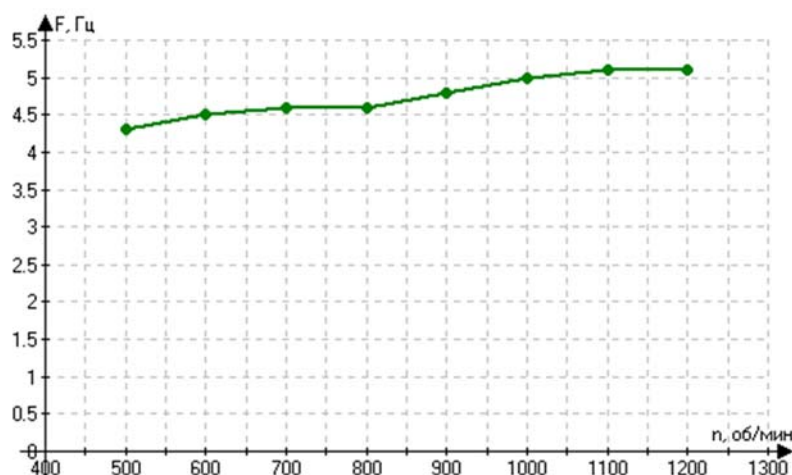


Рис. 4. Диаграмма зависимости частоты возмущающего сигнала амплитудой 1 вольт при наступлении «срыва» управления от оборотов двигателя

Как показал анализ структур ПЧ и принципов построения векторного управления машинами переменного тока [4] для генераторного режима этот метод дает слишком большую погрешность и может привести к немотивированным аварийным ситуациям. Не меньше проблем и с накопителями электроэнергии. Самым простым решением многим представляется установка накопителя в звене постоянного тока, однако это приводит к нарушениям режимов разгона и торможения, вызывает колебания тока статора и неуправляемые ситуации.

Проводились эксперименты, целью которых было изучение процессов происходящих в системе Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель при включении в звено постоянного тока дополнительного накопителя энергии. На режимы работы системы в двигательном режиме подключение дополнительного накопителя энергии влияния практически не оказало (Рис.5), но при переходе системы в генераторный режим на некоторых частотах было отмечено возникновение колебаний скорости вращения вала, статорного тока, напряжения на двигателе и увеличение напряжения в звене постоянного тока, которое может приводить к аварийному отключению преобразователя. При этом частота колебаний не зависит от режима работы нагрузочного двигателя (Рис.6)

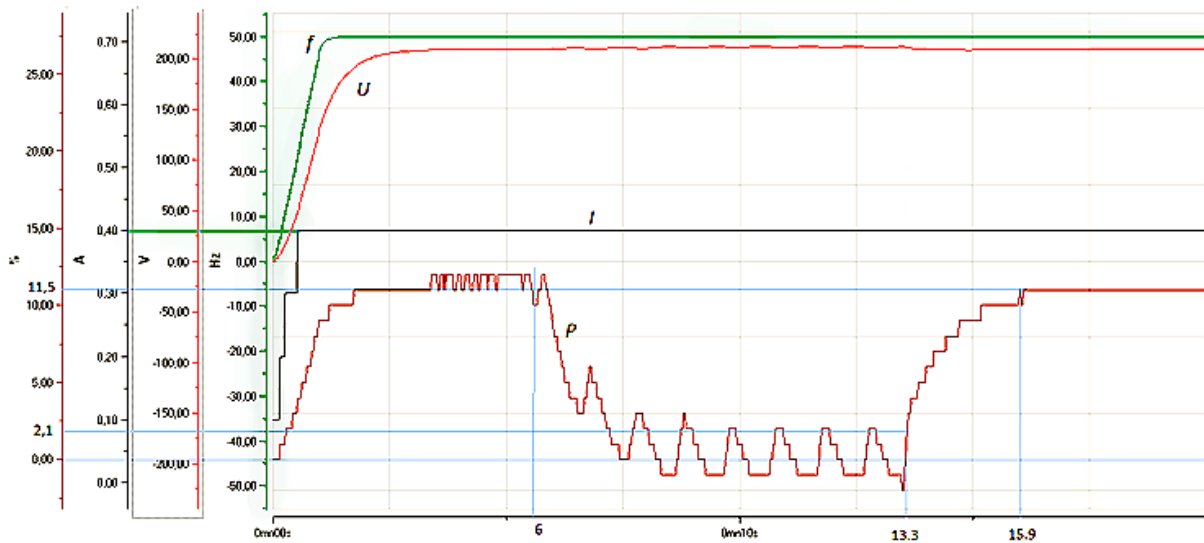


Рис. 6. Работа системы Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель в двигательном режиме при подключении дополнительного накопителя энергии.

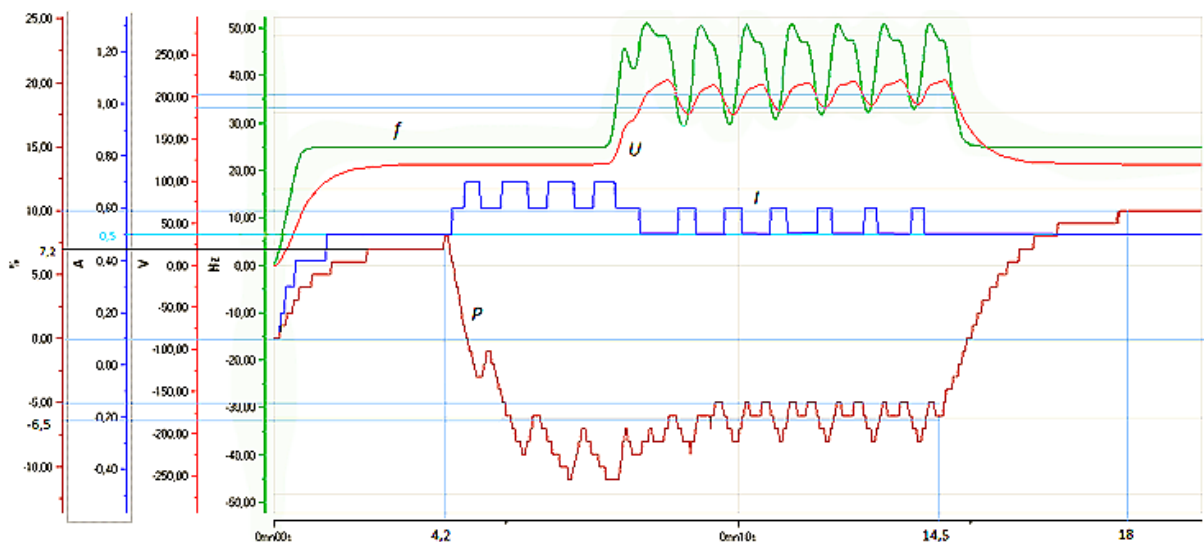


Рис. 6. Возникновение колебаний скорости вращения двигателя, статорного тока и напряжения на двигателе в генераторном режиме при подключении дополнительного накопителя энергии.

Режимы реализованные в экспериментах очень близки к реальным режимам работы генераторов переменного тока, работающих в составе ветроэнергетических установок,

поскольку ветровая нагрузка не стабильна и может изменяться как с медленным, так и с достаточно быстрым темпом.

### Выводы

Ветроэнергетические установки, как никакие другие требуют точного анализа устойчивости, поскольку, как правило, представляют собой многоконтурные системы автоматического регулирования с ограниченным и нестационарным источником энергии (ветром). Этот анализ должен быть проведен, на наш взгляд, раньше, чем начнется широкое их применение. Надеяться на то, что оптимизация придет вместе с оборудованием, наверное, не стоит, как показывает опыт «традиционной» энергетики. Близкие к подобным проблемы есть, наверное, и у других систем ВИЭ.

### Литература

1. Кодкин, В.Л. Устройство прямого управления скоростью двигателя переменного тока/ В.Л. Кодкин, Э.Р. Хайбяков // патент на изобретение RUS 2336624 02.03.2006
2. Балденков, А.А. Экспериментальные исследования электроприводов с частотным управлением. Неустойчивость векторного управления/ А.А. Балденков, В.Л. Кодкин, Н.А. Логинова// «Приоритеты мировой науки. Эксперимент и научная дискуссия» Материалы XIII Международной научно-практической конференции 17-18 июня 2015 г - Часть 1. Естественные и технические науки. - Северный Чарльстон, Южная Каролина, США: CreateSpace, 2015. – с.124-128.
3. Кодкин, В.Л. Повышение эффективности частотного управления асинхронными электроприводами/ В.Л. Кодкин, А.С. Аникин// Электротехнические системы и комплексы. 2012. № 20. С. 33-40.
4. Усольцев, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие/ А.А. Усольцев - СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.

### References

1. Kodkin, V.L., Hajbyakov E.R. Ustrojstvo prajmogo upravleniya skorost`u dvigatelya peremennogo toka // patent na izobretenie RUS 2336624 02.03.2006
2. Baldenkov, A.A., Kodkin V.L., Loginova N.A. Eksperimental`nie issledovaniya elektroprivodov s chastotnim upravleniem. Neustojchivost` vektornogo upravleniya// «Prioriteti mirovoj nauki. Eksperiment I nauchnaya diskussiya» Materiali XIII Megdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii //USA: CreateSpace, 2015. – с.124-128.
3. Kodkin, V.L., Anikin A.S. Povishenie effektivnosti chastotnogo upravleniya asinhronnimi elektroprivodami // Elektrotehnicheskie sistemi I kompleksi. 2012. № 20. С. 33-40.
4. Usoltcev, A.A. Chastotnoe upravlenie asinhronnimi dvigatelyami. Uchebnoe posobie/ - СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ И  
ОЧИСТКИ ВОДОРОДА В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ НА ОСНОВЕ  
ТВЕРДОПОЛИМЕРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
METAL HYDRIDE TECHNOLOGIES FOR HYDROGEN STORAGE AND  
PURIFICATION IN PEM FC POWER UNITS**

**Блинов Д.В., Борзенко В.И., Дуников Д.О.**

Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)  
(Москва, Россия)

**Blinov D.V., Borzenko V.I., Dunikov D.O.**

Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIHT RAS) (Moscow,  
Russia)

*h2lab@mail.ru*

Существенная роль в долгосрочной государственной энергетической стратегии РФ отводится развитию использования новых энергетических технологий, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ), в том числе биоэнергетических технологий. Характерной чертой ВИЭ является ярко выраженная временная неоднородность генерации, что приводит к необходимости использования систем аккумулирования энергии. Решение проблемы согласования графиков производства и потребления энергии связано с разработкой эффективных систем хранения электрической и тепловой энергии. Применение аккумулирования энергии в водороде с последующим получением электроэнергии в топливных элементах позволяет избежать потерь энергии в результате саморазряда и существенно повысить экологическую безопасность по сравнению с химическими аккумуляторными батареями и дизель-генераторами, используемыми для этой цели в настоящее время. Помимо хорошо освоенных методов получения водорода из электроэнергии ВИЭ (солнце, ветер), перспективным является получения водорода из биологических источников. Разработка и реализация возобновляемых водородных энергоустановок сталкивается с общей проблемой – необходимостью безопасного и эффективного метода хранения и очистки водорода. Генерируемый в биологических системах водород содержит большое количество CO<sub>2</sub> и общее содержание водорода в производимом газе не превышает 50%. Такой водород не может быть использован напрямую в твердополимерных топливных элементах (ТПТЭ), таким образом, развитие систем возобновляемого производства водорода требует сопутствующего развития и интеграции систем хранения и очистки водорода.

В работе представлена металлгидридная технология очистки водорода проточным методом. Выполнены испытания проточного металлгидридного реактора по очистке водорода от примеси углекислого газа (модельная смесь биоводорода). Разработана и создана экспериментальная энергоустановка на основе ТПТЭ, использующая в качестве топлива биоводород.

Keywords: hydrogen, biohydrogen, metalhydride, purification. (водород, биоводород, металлгидрид, очистка)

### **Введение**

Существенная роль в долгосрочной энергетической стратегии РФ отводится развитию новых энергетических технологий, использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ), в том числе биоэнергетические технологии. [1]. Характерной чертой ВИЭ является ярко выраженная временная неоднородность генерации, что приводит к необходимости использования систем аккумулирования энергии. Решение проблемы согласования графиков производства и потребления энергии связано с разработкой эффективных систем хранения электрической и тепловой энергии. Применение аккумулирования энергии в водороде с последующим получением электроэнергии в топливных элементах позволяет избежать потерь энергии в результате саморазряда и существенно повысить экологическую безопасность по сравнению с химическими аккумуляторными батареями и дизель-генераторами, используемыми для этой цели в настоящее время. Помимо хорошо освоенных методов получения водорода из электроэнергии ВИЭ (солнце, ветер), перспективным является получения водорода из

биологических источников [3]. Несомненным преимуществом биологических методов производства водорода является возможность использования органических отходов (пищевые отходы, продукты переработки зерновых культур, отходы животноводства) при максимальной экологической безопасности, так как биопроцессы катализируются микроорганизмами в водной среде при температуре и давлении окружающей среды. Водород из биологических источников является универсальным энергоносителем с потенциалом широкого использования [4], в том числе и для децентрализованного получения энергии в регионах, где доступна биомасса или отходы.

Разработка и создание водородных энергоустановок сталкивается с общей проблемой – необходимостью обеспечения безопасного и эффективного хранения и в некоторых случаях очистки водорода. Так, например водородсодержащий газ, генерируемый в биологических системах содержит большое количество  $\text{CO}_2$  и общее содержание водорода в производимом газе не превышает 50%, а на практике составляет 20..40%. Такая смесь не может быть использован напрямую в наиболее перспективных на данный момент твердополимерных топливных элементах (ТПТЭ), т.к. присутствие  $\text{CO}_2$  вызывает существенное падение напряжения на ТЭ особенно при высоких плотностях тока [5, 6]. Таким образом, развитие систем возобновляемого производства водорода требует сопутствующего развития и интеграции систем хранения и очистки водорода.

Перспективной технологией хранения водорода является металлогидридная технология хранения, позволяющая хранить значительные количества водорода (высокая объемная плотность хранения) с высокой безопасностью, т.к. водород хранится в твердофазном связанном состоянии. Способность избирательного поглощения водорода позволяет использовать их также для высокоэффективной очистки водорода.

Основные научно-технические барьеры создания высокоэффективных металлогидридных устройств связаны с тем, что в активированном состоянии водородопоглощающие материалы представляют собой мелкодисперсные порошки с размером частиц порядка 1-10 мкм, обладающие сравнительно низкой эффективной теплопроводностью (порядка 0.1-1 Вт/м К), зависящей от давления заполняющего газа и концентрации поглощенного водорода в частицах сплава [7]. В сочетании с большим тепловым эффектом реакции поглощения/выделения водорода это приводит к тому, что недостаточно эффективный подвод и отвод тепла к засыпке водородопоглощающего материала существенно снижает скорости поглощения и выделения водорода устройством [8]. Присутствие примесей оказывает существенное влияние на кинетику поглощения водорода интерметаллическими сплавами [9, 10, 11]. Даже присутствие газов инертных по отношению к поверхности интерметаллидов приводит к ухудшению работы реакторов хранения из-за блокирования доступа водорода к поверхности частиц сплава [11].

Для стационарных автономных систем энергообеспечения компактность устройств, простота эксплуатации и безопасность часто имеют более важное значение, чем их вес. Поэтому металлогидридные системы очистки и хранения водорода на основе низкотемпературных гидридов весьма перспективны для создания систем аккумулирования энергии для стационарных энергоустановок, в том числе на основе ВИЭ. В связи с большим тепловым эффектом сорбции-десорбции металлогидридный аккумулятор водорода является одновременно и аккумулятором тепловой энергии, что позволяет наиболее рационально организовать систему теплообеспечения потребителей, утилизации тепловых потерь и аккумулирования тепловой энергии. Это может оказаться дополнительным преимуществом таких систем для условий России [13].

Важнейшими задачами при разработке эффективных металлогидридных устройств являются экспериментальные исследования процессов тепломассопереноса в реакторах

и разработка эффективных методов их математического моделирования и инженерных методик оптимизации конструктивных решений, а также разработка и создание материалов, обратимо поглощающих водород в нужном интервале температур и давлений с приемлемым тепловым эффектом реакции сорбции/десорбции. Другой, не менее важный класс научных и технических задач связан с разработкой эффективных технологий системной интеграции металлгидридных устройств для хранения и очистки водорода с энергоустановкой на основе ТПГЭ с учетом требований потребителей энергии (график потребления, требуемая электрическая и тепловая мощность), а также с источниками водорода и первичной энергии (ветровые и солнечные энергоустановки). Экспериментальные исследования проблем системной интеграции возможны только с использованием модельных интегрированных систем, включающих основные элементы системы топливообеспечения автономных энергоустановок, топливные элементы киловаттного класса мощности и потребителей электроэнергии.

### Экспериментальная часть

В лаборатории водородных энергетических технологий разработана и создана экспериментальная энергоустановка H<sub>2</sub>bioPower использующая металлгидридную систему очистки и хранения водорода, полученного биологическим путем, для питания ТПГЭ (рис.1).

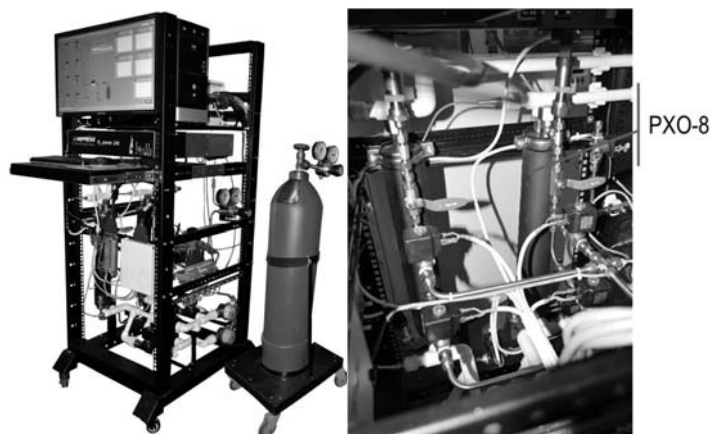


Рис. 1. Общий вид энергоустановки.

Установка позволяет выполнять следующие функции:

- 1) очистка биоводорода (смесь водород-углекислый газ);
- 2) хранение очищенного водорода в твердофазном связанном состоянии;
- 3) питание водородом топливного элемента с твердополимерным электролитом;
- 4) обеспечивает возможность измерения основных эксплуатационных параметров: давления, расхода газа, температуры теплоносителя, энергетических параметров энергоустановки и управления запорно-регулирующей арматурой для проведения экспериментальных исследований.

В состав установки входят следующие основные узлы:

1. Модельный источник биоводорода;
2. Металлогидридный блок очистки и хранения водорода;
3. Энергоустановка на базе топливных элементов (Hörpesske E-200, 200 Вт);
4. Автоматизированная система сбора данных на базе NI PXI.

Металлогидридный блок очистки и хранения водорода представляет собой сборку из двух вертикально расположенных реакторов проточного типа PXO-8 (рис. 2).



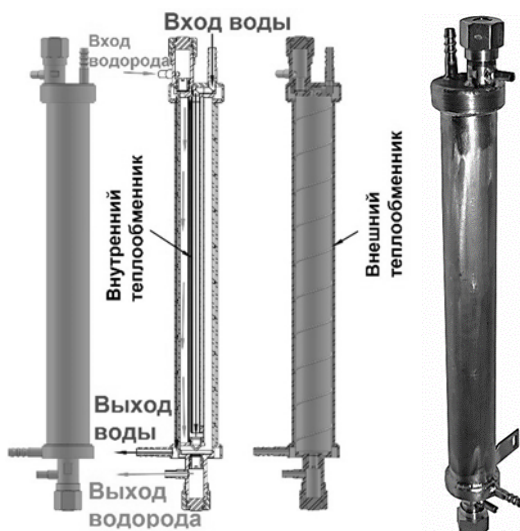


Рис.2. Реактор проточного действия очистки РХО – 8.

Реактор РХО – 8 представляет собой вертикально расположенный цилиндр, выполненный из нержавеющей стали, внутри которого находится трубка Фильда, с наружной стороны предусмотрена внешняя «рубашка» для отвода/подвода тепла с помощью жидкого теплоносителя (вода) от/к засыпке водородпоглощающего сплава. Сплав измельченный до размера зерна ~ 10 мкм засыпан в кольцевой зазор между внешней «рубашкой» реактора и внутренней трубкой Фильда.

Использование двух реакторов позволяет обеспечить непрерывный поток очищенного водорода для питания ТЭ: один реактор обеспечивает очистку водорода, другой – питание чистым водородом ТЭ.

Экспериментальные исследования возможности очистки модельной смеси (биоводород) с содержанием водорода до 50% об. проводились следующим образом: заранее приготовленная смесь (водород и углекислый газ) подается в верхний входной клапан реактора с постоянным расходом (вх.); фильтруется сквозь засыпку водородпоглощающего материала; и выбрасывается через выходной клапан (вых.) с ограничением по расходу 1,1 норм.л/мин (вых. < вх.). В теплообменник реактора подается холодный теплоноситель (полиметилсилоксан ПМС-5, расход  $g = 22$  л/мин, температура  $T_{хол} = 20^{\circ}C$ ).

Расход газа на входе в реактор и выходе из реактора регистрируется регуляторами расхода компании Bronkhorst. Доля водорода, прошедшего через выходной клапан, регистрируется газоанализатором проточного типа АГ – 0012. Такая организация проведения эксперимента позволяет определить потери водорода в процессе очистки и интегральный коэффициент извлечения водорода (КИ).

КИ водорода из модельной смеси  $H_2 + CO_2$  (50/50%) представлен на рис.3 и определен как:

$$\eta_{извл} = \left(1 - \frac{V_{H_2}^{потерь}}{V_{H_2}^{вх}}\right), \text{ где } V_{H_2}^{потерь} \text{ и } V_{H_2}^{вх} - \text{объемы водорода на выходе из реактора}$$

и на входе в реактор,  $V$  — объем абсорбированного водорода во время эксперимента, норм.л.,  $V_{max}$  — максимальный объем водорода в реакторе, норм.л.

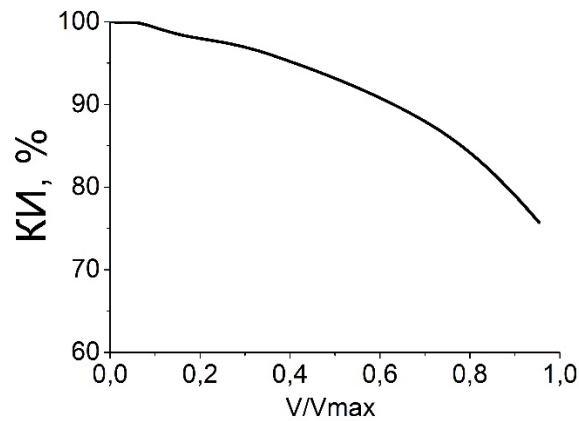


Рис.3. КИ в зависимости от степени зарядки реактора.

В результате получены высокие значения КИ свыше 80% при заполнении реактора до 80%. Учитывая невысокую производительность биореакторов темновой ферментации (до 5 норм.л/мин) при использовании в качестве субстратов органических отходов [13, 14], реактор проточного действия очистки может показать высокую эффективность очистки водорода из получаемого биологического газа.

Весь очищенный (аккумулированный) водород был направлен в ТЭ для генерации энергии (рис. 4). Нагрев реактора осуществлялся ступенчато для обеспечения необходимого давления питания ТЭ.

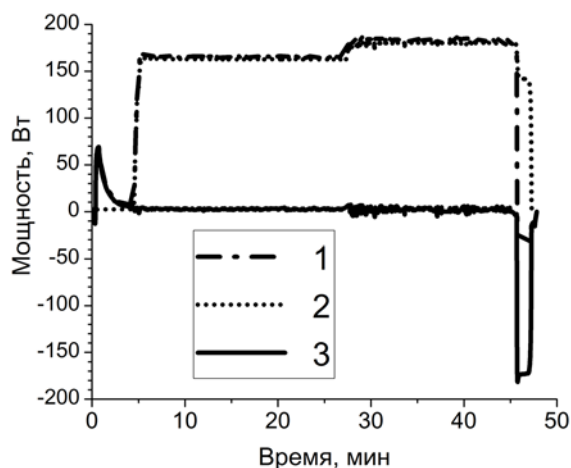
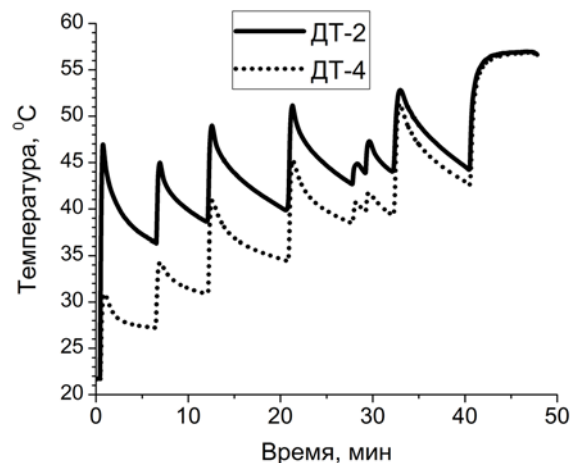


Рис.4. Энергетические характеристики энергоустановки:

1 – мощность ТЭ, 2 – мощность на нагрузке, 3 – мощность от аккумулятора

Рис.5. Температура теплоносителя в реакторе РХО-8  
ДТ2- на входе, ДТ4- на выходе

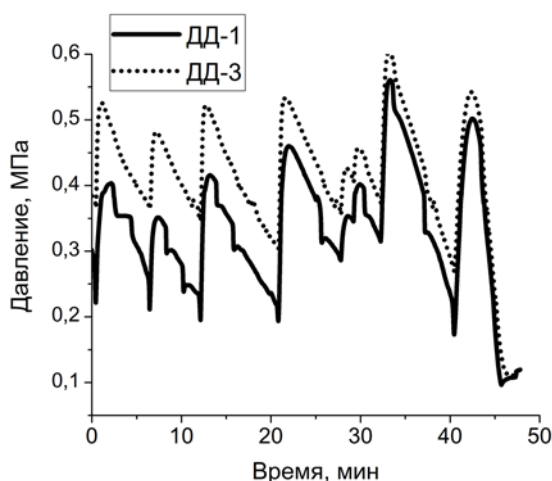


Рис.6. Давление в проточном реакторе РХО-8  
 ДД1- на выходе, ДД3- на входе

### Заключение

В результате работ по разработке и созданию биоводородной энергоустановки на основе твердополимерного топливного элемента были успешно продемонстрированы преимущества металлгидридной технологии очистки и хранения водорода. Внедрение новаторского метода проточной очистки водорода путем сорбции на низкотемпературном металлгидриде потребовало разработки и создания реакторов с улучшенными теплообменными характеристиками. Развитие данных работ видится в переходе от модельных смесей к реальному биоводороду, с решением всего комплекса проблем системной интеграции возобновляемого источника водорода, систем хранения и очистки и генератора энергии.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность Министерству образования и науки РФ (Соглашение о предоставлении субсидии № 14.604.21.0123, уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI60414X0123).

### Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. // Прил. к обществ.-дел. журн. "Энергетическая политика". – М.: ГУ ИЭС, 2010. – 184 с.
2. да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 704 с.
3. Wei J., Liu Z.-T., Zhang X., 2010. Biohydrogen production from starch wastewater and application in fuel cell. International Journal of Hydrogen Energy 35, 2949-2952.
4. Balat M., Political, economic and environmental impacts of biomass-based hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy, 2009. 34(9): p. 3589-3603.
5. N. Rajalakshmi, T.T. Jayanth, K.S. Dhathathreyan, Fuel Cells 3 (2003) 177.
6. F.A. de Bruijn, D.C. Papageorgopoulos, E.F. Sitters, G.J.M. Janssen, J. Power Sources 110 (2002) 117.
7. Mordkovich V.Z., Baichtock Y.K., Dudakova N.V., Korostyshevsky N.N., Sosna M.H., 1993. Comparative efficiency of using hydrides in industrial processes of hydrogen recovery and compression. International Journal of Hydrogen Energy 18, 839-842.
8. Артемов В.И., и др. Влияние неабсорбируемых газовых примесей на процессы теплообмена в металлгидридных устройствах для аккумулирования и очистки водорода // Теплофизика высоких температур 2004. Т. 42. № 6. С. 972.

9. Sandrock G.D., Goodell P.D., 1984. Cyclic life of metal hydrides with impure hydrogen: Overview and engineering considerations. *Journal of the Less Common Metals* 104, 159-173.
10. Тарасов Б.П., Шилкин С.П. Взаимодействие интерметаллических соединений LaNi<sub>5</sub> и CeCo<sub>3</sub> с водородом в присутствии Ar, CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> // *Журнал неорганической химии*. 1994. Т. 39. № 1. С. 18-22.
11. Артемов В.И., Лазарев Д.О., Яньков Г.Г., Борзенко В.И., Дуников Д.О., Малышенко С.П. Влияние неабсорбируемых газовых примесей на процессы тепломассообмена в металлгидридных устройствах для аккумулирования и очистки водорода // *Теплофизика высоких температур*. 2004. Т. 42. № 6. С. 972.
12. Малышенко С.П., Пузач С.В. Аккумулирование водорода и тепловой энергии в автономных солнечных и ветровых энергоустановках // *Изв. РАН. Энергетика*. 1997. № 2. С. 52–60.
13. Liu, C.-M., et al., Biohydrogen production evaluation from rice straw hydrolysate by concentrated acid pre-treatment in both batch and continuous systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2013. 38(35): p. 15823-15829.
14. Liu, C.-M., et al., Biohydrogen production from rice straw hydrolyzate in a continuously external circulating bioreactor. *International Journal of Hydrogen Energy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.05.175>.

## **ЗДАНИЯ С НУЛЕВЫМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ - ДОСТИГНУТЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ BUILDINGS WITH ZERO ENERGY CONSUMPTION - ACHIEVED RESULTS AND PROSPECTS**

**Табунщиков Ю.А.**

Некоммерческое Партнерство «Инженеры по Отоплению, Вентиляции, Кондиционированию Воздуха, Теплоснабжению и Строительной Теплофизике» (НП «Авок»), Москва, Россия

**Tabunschikov Yu.A.**

Non-Commercial Partnership "Engineers For Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply And Building Thermal Physics" (ABOK), Moscow, Russia

Ключевые слова: нулевое энергопотребление, околонулевое энергопотребление, умные безуглеродные города, экологически чистые, возобновляемые источники энергии, годовое энергопотребление здания, пассивное здание.

Keywords: zero power consumption, near-zero power consumption, smart city carbon free, environmentally friendly, renewable energy sources, annual energy consumption buildings, passive building.

1. Строительство зданий с нулевым или близким к нулевому энергопотреблением является одним из главных условий существования умных безуглеродных городов. К умным безуглеродным зданиям можно отнести здания с нулевым энергопотреблением – Zero Energy Building (ZEB), здания с близким к нулевому энергопотреблением «Nearly Zero Energy Building», аббревиатура nZEB, а также так называемые «пассивные здания» (Passive House).
2. Концепция здания с нулевым энергопотреблением – Net Zero Energy Building (NZEB) – подразумевает, что здание может удовлетворить все свои энергетические потребности за счет недорогих, территориально доступных, экологически чистых, возобновляемых источников энергии (ВИЭ). При этом количество вырабатываемой возобновляемой энергии должно быть равно или превышать годовое энергопотребление здания. Иначе говоря, в таких зданиях предусматривается не столько нулевое энергопотребление в какой-то момент времени, сколько нулевой энергетический баланс в годовом цикле.
3. Термин «пассивный» определяет ключевые особенности пассивного здания: это здание, теплоснабжение которого осуществляется главным образом за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха для подогрева приточного, использования теплоты солнечной радиации и внутренних тепловыделений - от людей, бытовой техники и т.д. Этим концепция пассивного здания отличается от концепций, предусматривающих использование возобновляемых (альтернативных, нетрадиционных) источников энергоснабжения непосредственно в здании (например, солнечных коллекторов, фотоэлектрических панелей, ветроэнергетических установок)
4. Директива Европейского Союза «Energy Performance Building Directive» (EPBD) содержит требование, согласно которому к 2020 году все новые здания должны соответствовать требованиям nZEB – быть зданиями с околонулевым энергопотреблением. Еще раньше, к 2018 году, околонулевого энергопотребления должны достичь все общественные здания.
5. Можно ли достичь подобных показателей в нашей стране, в наших климатических условиях, которые в большинстве регионов России более суровые, чем в Европе? Опыт показывает, что вполне возможно.

Высокие показатели зданий с околонулевым энергопотреблением достигаются за счет двух мероприятий:

- применение высоких технологий;

- применение возобновляемых источников энергии.

Одним из наиболее перспективных возобновляемых источников энергии в условиях средней полосы нашей страны представляется использование тепловых насосов [7, 4]. Но, помимо собственно источников, есть еще большой резерв экономии энергии – это вторичные энергоресурсы, и, в первую очередь, тепловентиляционных выбросов. В зданиях с высокими показателями тепловой защиты значительное энергопотребление связано с подогревом приточного воздуха, и использование для этих целей вторичного тепла позволяет существенно повысить энергетические характеристики объекта.

Такая схема была реализована в проектах двух многоэтажных жилых домов в Москве в Северном Измайлово [8, 9]. Два 11-этажных 4-секционных дома на 153 квартиры с первым нежилым этажом выполнены из монолитного железобетона с утеплением из минваты и отделкой по системе вентилируемого фасада. Тепловая защита этих зданий повышена: приведенное сопротивление теплопередаче стен, перекрытий и покрытий составляет, соответственно, 4,0; 5,2 и 6,0 м<sup>2</sup>·°C/Вт, что примерно на 30% превышает требования действующего на момент принятия решения СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий», а окон – 1,0 м<sup>2</sup>·°C/Вт. Кроме того, были применены следующие энергосберегающие решения:

- автоматическое оптимальное регулирование подачи теплоты в систему отопления;
- поквартирные горизонтальные системы отопления с квартирным теплосчетчиком;
- оснащение каждого отопительного прибора термостатическим клапаном с возможностью настройки на поддержание максимальной температуры воздуха в помещении +24 °C и минимальной +16 °C;
- утилизация теплоты удаляемого вытяжного воздуха для подогрева приточного.

В первом корпусе применялись центральные (на секцию) установки с роторным рекуператором с эффективностью около 70% и догревом приточного воздуха водяным теплообменником до расчетной температуры притока +20 °C. Во втором корпусе использовались индивидуальные квартирные приточные установки с роторным рекуператором с эффективностью около 80%, а догрев воздуха осуществлялся системой отопления за счет увеличения поверхности нагрева отопительных приборов. Вентиляция помещений офисов, расположенных на первом этаже обоих зданий, также выполнялась с автономным теплоутилизатором.

В результате применения этих мероприятий расчетное проектное теплопотребление здания на отопление и вентиляцию составило всего 25 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. По отношению к базовому годовому теплопотреблению на тот момент расчетное проектное теплопотребление снижено на 75 %. Это позволяет отнести запроектированные экспериментальные дома к зданиям с околонулевым энергопотреблением – высокие показатели в условиях нашей страны вполне достижимы.

Строительство зданий с нулевым и околонулевым энергопотреблением – это амбициозная задача, задача комплексная и мультидисциплинарная. Она должна тщательно прорабатываться на самых ранних стадиях проекта строительства с привлечением максимально широкого круга специалистов. Необходима и государственная поддержка. Так, в ряде стран Евросоюза на законодательном уровне принят пакет мер, включающих налоговое стимулирование и снижение налоговой нагрузки не только для строительства новых, но и для реконструкции и модернизации уже существующих зданий с показателями, соответствующими зданиям с околонулевым энергопотреблением.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ТОРРЕФИКАЦИИ

Зайченко В.М., Кузьмина Ю.С., Ларина О.М.

Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН), Москва, Россия

Растительная биомасса (древесные и сельскохозяйственные отходы) относится к возобновляемым углеводородным ресурсам и является одним из перспективных и экологически чистых заменителей минерального топлива. Интерес к ее использованию в энергетических целях обусловлен рядом факторов, в частности, развитием средств автономной энергетики, ростом внимания к экологическим аспектам производства тепло- и электроэнергии, доступностью. Однако большая неравномерность биомассы и низкая плотность энергии приводят к снижению эффективности ее использования. За счет гранулирования, может быть повышена экономическая составляющая процесса использования биомассы в энергетике. Производство пеллет растет во всем мире и в России к 2016 году достигло 1 млн. тонн в год. Наряду с расширением производства биогранул наблюдается тенденция повышения потребительских характеристик этого вида топлива, в частности увеличения удельного энергетического содержания и уменьшения гигроскопичности.

Разработка технологии торрефикации (нагрев до температур 200 – 300 °С в бескислородной среде) позволит получать топливные гидрофобные пеллеты из биомассы, с повышенными теплотехническими свойствами [1]. Использование таких пеллет в энергетических целях приведет к полной или частичной замене твердого ископаемого топлива (угля) в топливно-энергетическом комплексе России и других стран.

В ОИВТ РАН разработан энерготехнологический комплекс, который может быть встроен непосредственно в технологическую линию по производству пеллет [2]. Товарная продукция комплекса – торрефицированное гранулированное топливо, электроэнергия и тепловая энергия (рис. 1).

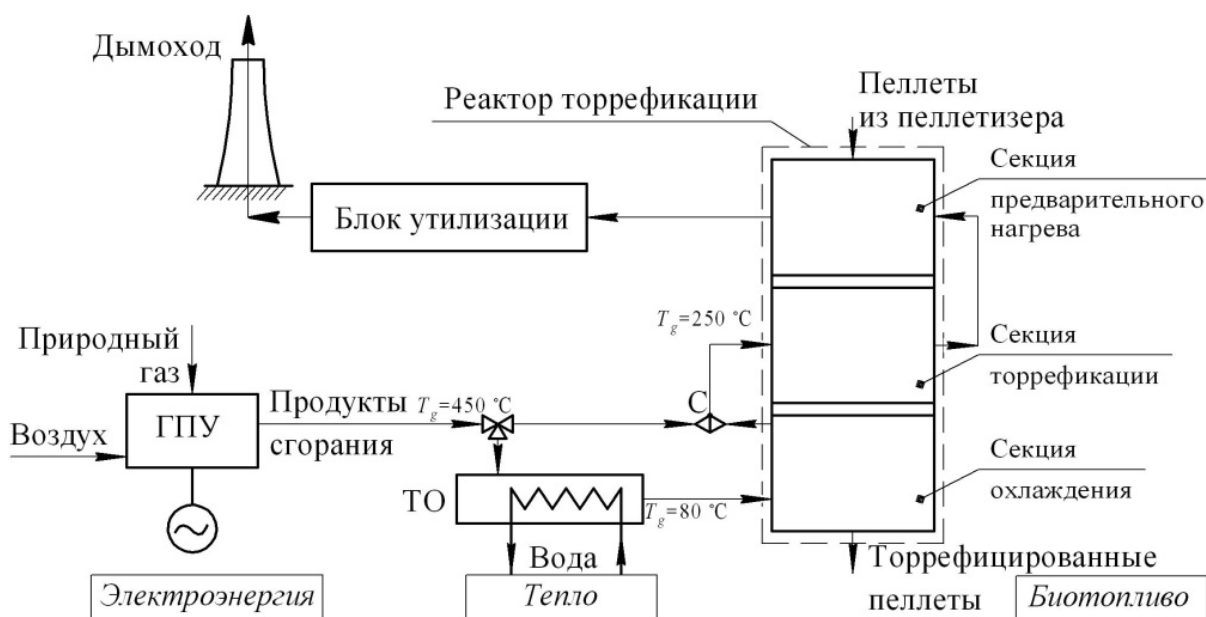


Рис. 1. Принципиальная схема энерготехнологического комплекса с реактором торрефикации

Проведенные испытания разработанного комплекса показали его работоспособность, вырабатываемая электрическая мощность составила 155 кВт, а

производительность реактора по исходным пеллетам была 160 кг/ч. Эксперименты проводились с использованием древесных пеллет, в качестве исходного биосырья. Удельная низшая теплота сгорания торрефицированных пеллет увеличилась на 8 – 9 % по сравнению с необработанными пеллетами и составила 19,0 МДж/кг. В качестве блока утилизации использовались тканевые фильтры, которые в процессе испытаний быстро забились и перестали работать.

Побочными продуктами торрефикации являются пиролизные газы и жидкая фракция, представляющая собой смесь пирогенетической воды и смол. Количество и состав конденсирующихся и неконденсирующихся продуктов пиролиза зависят как от свойств исходного сырья, так и от ряда технологических параметров: темпа нагрева, конечной температуры, характерного времени нахождения в реакционной зоне и т.п. Анализ продуктов торрефикации растительной биомассы [3] показывает, что диоксид и монооксид углерода являются основными неконденсирующимися продуктами, в то время как конденсирующиеся продукты состоят из уксусной кислоты, воды, метанола, муравьиной и молочной кислоты и фурфурола.

Кроме механических способов очистки пиролизных газов, которые показали свою неэффективность, в литературе авторы [4] для очистки уходящих газов предлагают применять крекинг. Крекинг – это процесс термического разложения углеводородов, с целью получения продуктов меньшей молекулярной массы. Существуют два основных типа крекинга: термический и каталитический. В первом случае это происходит при нагреве пиролизных газов и смол до высоких температур ( $\sim 1000$  °С), во втором применяются катализаторы, которые позволяют снизить температуру процесса до 800 °С.

В лаборатории распределенной генерации ОИВТ РАН был исследован термический крекинг побочных продуктов торрефикации. В качестве исходного материала для проведения экспериментальных исследований был взят куриный помет. Согласно статистике, ежегодно в России образуется более 20 млн. т куриного помета [5]. Большие его объемы накапливаются непосредственно вблизи птицеферм, а места хранения помёта, превращаются в потенциально опасные источники загрязнения окружающей природной среды. Куриный помет наряду с полезными веществами содержит отдельные виды патогенной микрофлоры, в частности, протей, кишечная палочка и сальмонелла [6]. Вопрос переработки куриного помета стоит очень остро. Этим и обосновывался выбор сырья для экспериментальных исследований.

Элементный химический состав и теплота сгорания куриного помета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Элементный химический состав и теплота сгорания куриного помета

Элементы, %					Влажность, %	Зольность, %	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
С	Н	N	S	О			
32,24	3,76	2,79	0,62	38,87	1,4	20,35	10,60

Высокая зольность куриного помета значительно усложняет способы его переработки из-за снижения теплоты сгорания.

Торрефикация куриного помета проводилась на установке, схема которой представлена на рис. 2.

Куриной помет помещался в реактор 1. Древесный уголь, полученный путем пиролиза древесины до температуры 1000°С, помещался в реактор 2 и нагревался до температуры  $T_2=1000$  °С. Данная температурf оставалась постоянной в течение всего



эксперимента. Реактор с сырьем 1 нагревался до температуры  $T_1=250\text{ }^\circ\text{C}$  с темпом нагрева  $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин.}$  и выдерживался при данной температуре в течение 40 минут. Образующиеся торрефикационные газы и пары проходили через слой древесного угля.

В ходе эксперимента отслеживалось наличие жидкой фракции, которая обычно присутствует при торрефикации биомассы, при помощи холодильника В. Результаты эксперимента показали отсутствие торрефикационной жидкости.

Объем образующихся газов определялся с помощью счетчика газов С.

В ходе экспериментов отбирались пробы газов для хроматографического анализа полученной смеси (точка D).

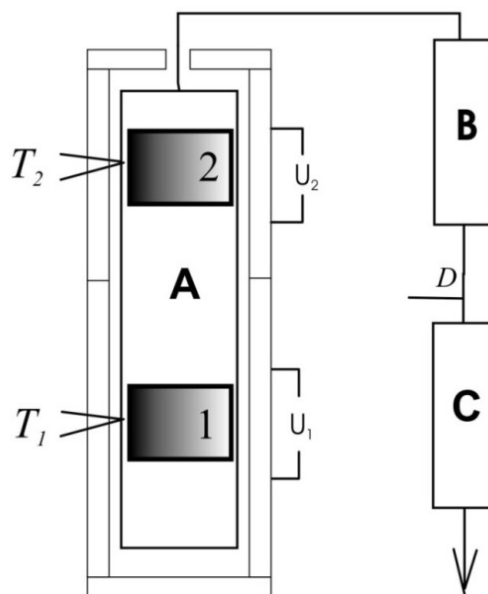


Рис.2. Схема экспериментальной установки по торрефикации [7]

Для исследования очистки торрефикационных газов может быть использован другой вид биомассы: древесина, торф, сельскохозяйственные отходы. Выбор исходного сырья определяется нуждами потребителя.

В таблице 2 представлен элементный химический состав и теплота сгорания куриного помета после процесса торрефикации.

Таблица 2. Элементный химический состав и теплота сгорания куриного помета после торрефикации

Элементы, %					Влажность, %	Зольность, %	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
С	Н	Н	С	О			
36,72	3,31	3,82	0,67	29,51	0	25,96	12,72

Из таблицы 2 видно, что теплота сгорания торрефицированного помета выросла на 25% по сравнению с исходным. При этом в значительной степени уменьшилось количество кислорода.

На рис. 3 представлен процесс нагрева куриного помета во время эксперимента. Для измерения температуры использовалось две термопары: первая помещалась в центр слоя сырья, вторая располагалась на стенке внутри реактора. Из рисунка видно, что сырье удалось выдержать в течение 40 минут в диапазоне температур  $245\text{--}250\text{ }^\circ\text{C}$ .

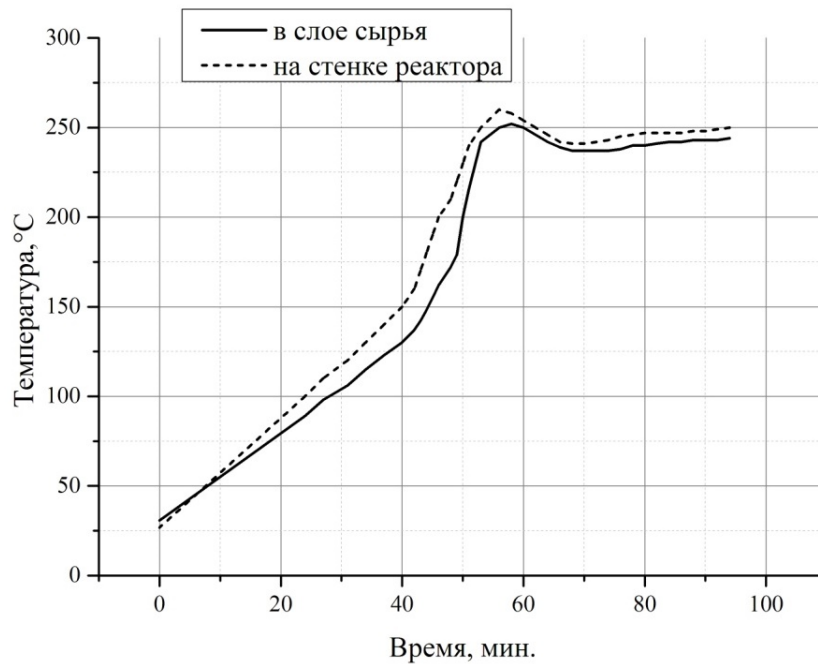


Рис.3. Нагрев исходного сырья (куриный помет) во время эксперимента

Изменение объема и состава выделяющихся во время эксперимента торрефикационных газов представлено на рис. 4 и 5.

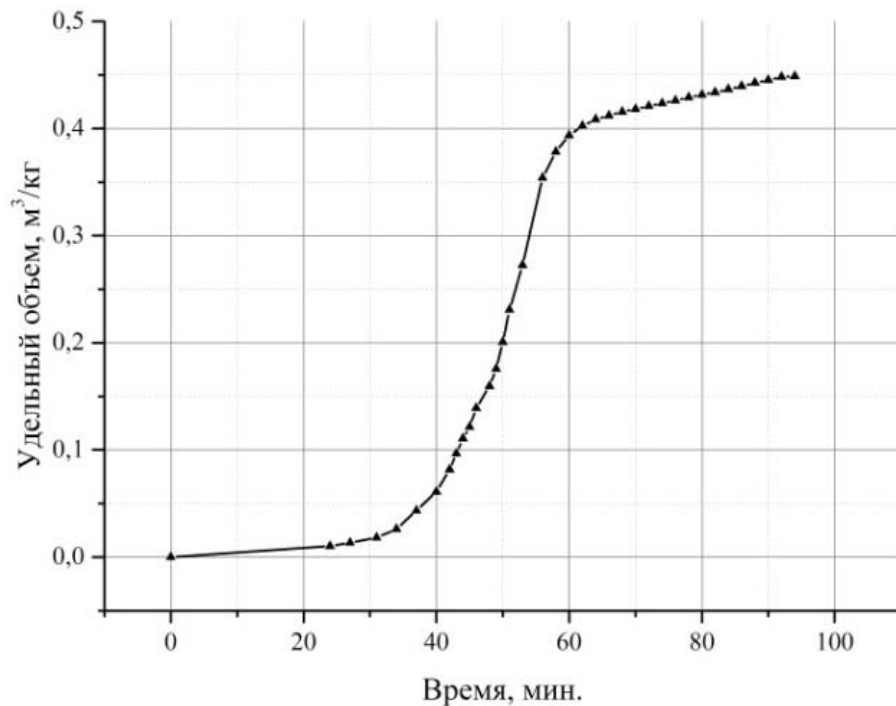


Рис.4. Изменение объема выделившихся торрефикационных газов во времени

Экспериментальные исследования показали, что из 1 кг высушенного куриного помета может быть получено 0,45 м³ газовой смеси (рис. 4), основную часть которой составляют CO и H<sub>2</sub> (рис. 5). Малая доля (менее 1 %) в газовой смеси CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> (таблица 3) и отсутствие жидкой фракции во время экспериментальных исследований говорят о разложении всех торрефикационных паров на нагретом до 1000 °C древесном угле. При

этом полученная теплота сгорания газа –  $11,76 \text{ МДж/нм}^3$  – подтверждает, что полученная смесь может использоваться в энергетических целях.

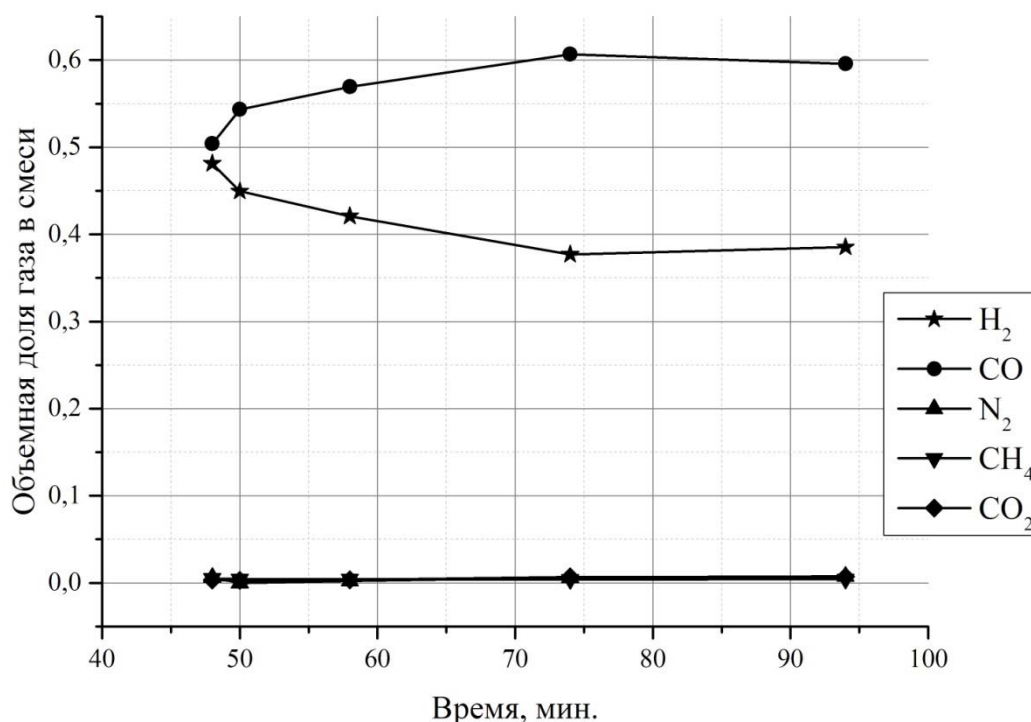


Рис.5. Изменение состава выделившихся торрефикационных газов во времени

Таблица 3. Интегральный состав и теплота сгорания торрефикационных газов

Состав газа, об.%					Низшая теплота сгорания, $\text{МДж/нм}^3$
H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	N <sub>2</sub>	
41,34	50,54	0,28	0,4	0,34	11,76

Термический крекинг паров и смол может быть использован, как вариант очистки торрефикационных газов от пиролизных смол. Такое решение является весьма дорогостоящим и энергозатратным, поскольку требует нагрева древесного угля до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Достоинство данного способа состоит в том, что наряду с получением торрефиката, имеющего более высокую теплоту сгорания по сравнению с исходным сырьем – разница составила 25 % –, в процессе образуется энергетический газ, состоящий на 92 % из CO и H<sub>2</sub>, который может быть использован в энергетических установках для производства тепловой и электрической энергии.

#### Список литературы

1. Bergman P.C.A., Boersma A.R., Zwart R.W.R., Kiel J.H.A. Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations. ECN Report. ECN-C-05-013. 2005.71 p. <https://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05013.pdf>.
2. Kuzmina J., Sytchev G., Zaychenko V.. Torrefaction. Prospects and Application. Chemical Engineering Transactions. 2016. Vol. 50. doi: 10.3303/CET1650045.
3. Prins M.J., Ptasinski K.J., Janssen F.J.J.G. Torrefaction of wood: Part 2. Analysis of products. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2006. V.77, №1. P. 35-40.
4. Basu P. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. 2013. Academic Press, Boston. ISBN: 978-0-12-396488-5. 530 p.

5. В. Н. Башкиров, А. З. Халитов, А. Н. Грачев, Д. В. Тунцев, А. Т. Шаймуллин. Исследование термохимического метода переработки куриного помета и определение материального баланса продуктов. Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 1. С. 105-107. <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-termohimicheskogo-metoda-pererabotki-kurinogo-pometa-i-opredelenie-materialnogo-balansa-produktov>
6. Агеечкин А., Титов О., Лысенко В. Куриный помет: большая проблема или хороший бизнес? <http://webpticeprom.ru/ru/articles-processing-waste.html?pageID=1220105259>. 2008.
7. Kosov V.V., Kosov V.F., Maikov I.L., Sinelshchikov V. A., Zaichenko V.M. High-calorific gas mixtures produced by pyrolysis of wood and peat. Proceedings of XVII European Biomass Conference and Exhibition 2009, Hamburg. 2009. Pp. 1085–1088.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ (СОЛНЦЕ И ВЕТРЕ) В  
УСЛОВИЯХ СИБИРСКОГО РЕГИОНА  
THE USE OF EQUIPMENT RENEWABLE ENERGY SOURCES (SUN AND WIND)  
IN THE CONDITIONS OF SIBERIAN REGION**

**Фомичев В.К., Церегородцева И.В.**  
ООО НПФ «Энергия», Новосибирск, Россия

**Fomichev V.K., Tseregorodtseva I.V.**  
NPF ENERGY Co., Ltd, Novosibirsk, Russia

*energi-nsk@mail.ru*

Жители нашей планеты обеспокоены нехваткой традиционных энергетических ресурсов и экологически неблагоприятной обстановкой при их использовании. Многие страны мира внедряют программы по использованию так называемых «зеленых технологий».

По мнению специалистов, Россия имеет большой потенциал в развитии возобновляемой энергетики. Учитывая показатели инсоляции, солнечная и ветряная энергетика может стать реальной альтернативой традиционным источникам энергии во многих регионах России.

Наша организация имеет опыт реализации и установки оборудования, работающего на возобновляемых источниках энергии в условиях Сибирского региона: Новосибирская, Томская, Кемеровская области, Алтайский край и Республика Алтай.

Шестилетний опыт работы показал, что в настоящее время установка данного вида оборудования еще не носит массовый характер, но количество потребителей с каждым годом увеличивается. Основных потребителей можно разделить на несколько групп: автономные потребители – объекты, находящиеся в районах где отсутствуют основные энергоносители, дальновидные потребители – имеющие основные источники энергии, но готовые понести капитальные затраты на установку оборудования, чтобы в дальнейшем не зависеть от монополистов, энтузиасты-любители – интересующиеся современными технологиями и ищущие нестандартные пути решения ежедневных задач.

С развитием технических возможностей, повышением цен на энергоресурсы, возможными «неполадками» у монополистов (снабжающих энергетическими ресурсами), развитием индивидуального строительства и т.д. появляется все больше желающих, обеспечить бесперебойность, комфорт, автономность собственного жилища, уменьшить свои эксплуатационные затраты.

Keywords: renewable energy, Siberia, autonomous objects, modern technology.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, Сибирь, автономные объекты, современные технологии.

Жители нашей планеты обеспокоены нехваткой традиционных энергетических ресурсов и экологически неблагоприятной обстановкой при их использовании.

Многие страны мира внедряют программы по использованию так называемых «зеленых технологий». Европейские страны переходят на строительство энергоэффективных зданий, которые способны генерировать энергии больше, чем требуется для собственного потребления.

По мнению специалистов, Россия имеет большой потенциал в развитии солнечной энергетики. Учитывая показатели инсоляции различных регионов России, солнечная и ветряная энергетика может стать реальной альтернативой традиционным источникам энергии в Южном Федеральном округе, на юге Сибири и Дальнего Востока. К примеру, Краснодарский край и большая часть Сибири по инсоляции сравнимы с югом Франции и центральной частью Италии, где солнечная энергетика сейчас развивается бурными темпами.

В Краснодарском крае, Республике Алтай и Республике Саха (Якутия) уже введены в действие крупные солнечные электрические станции и планируется строительство новых.

Наша организация имеет опыт реализации и установки оборудования, работающего на возобновляемых источниках энергии в условиях Сибирского региона: Новосибирская, Томская, Кемеровская области, Алтайский край и Республика Алтай.

Шестилетний опыт работы показал, что в настоящее время установка данного вида оборудования еще не носит массовый характер, но количество потребителей с каждым годом увеличивается. Основных потребителей можно разделить на несколько групп:

**1. Объекты, находящиеся в отдаленных районах, для которых это скорее вынужденная мера в условиях полного отсутствия энергоснабжения.**

Например, туристическая база «Высотник» в горах Алтая (рис.1). Ближайший населенный пункт находится в 45 километрах. Высота над уровнем моря 1950 м. Основной вид транспорта – лошади. Дополнительно используются вертолеты.

В настоящее время на туристической базе установлена ветросолнечная станция мощностью 0,7 кВт, способная обеспечить освещение территории и основных строений, зарядку мобильных устройств, работу бытовых электрических приборов.



Рис. 1. Общий вид туристической базы «Высотник»

Горячее водоснабжение осуществляется от солнечного коллектора (рис. 2). Емкость бака составляет 90л. В течение светового дня вода в баке способна нагреться до 90<sup>0</sup>С.



Рис. 2. Солнечный коллектор на турбазе «Высотник»



В Горном Алтае, недалеко от поселка Чемал, на берегу реки Катунь расположена база отдыха «Кудюр-Догон» (рис. 3). Электроснабжение базы полностью осуществляется от ветро-солнечной станции и дополнительно установленным дизельгенератором. Подключить электроснабжение от основной сети электропередач не представлялось возможным, т.к. ближайшая ЛЭП находится в 4 километрах от базы отдыха.

На базе отдыха находится 5 строений: основной двухэтажный дом на 5 номеров, два одноэтажных дома на два номера, баня и помещение охраны.

Генераторы энергии расположены на минимально возможном расстоянии от аккумулирующих устройств. Это необходимо для сокращения потерь.

Во время монтажа солнечных модулей на крыше котельной (рис. 4) разместить их согласно требований инструкции под определенным углом к горизонту - не удалось, т.к. второй ряд частично затенялся первым, поэтому было принято решение один ряд модулей установить под углом к горизонту, а другой положить на кровлю.



Рис. 3. Общий вид базы отдыха «Кудюр-Догон»



Рис. 4. Размещение солнечных модулей на крыше котельной

В ходе эксплуатации выяснилось, что каждый ряд модулей работает по разному: установленные наклонно хорошо вырабатывают энергию в яркий солнечный день, а лежащие незначительно от них отстают, зато в пасмурную погоду, во время полной облачности лежащие на кровле модули поглощают больше рассеянного освещения и вырабатывают больше энергии, чем установленные наклонно.

Ветрогенератор установлен на берегу реки, в горном ущелье (рис. 3). В зимний период он вырабатывает 1,5 номинала от заявленной мощности.

**2. Потребители, способные сделать значительное разовое вложение средств с целью экономии на традиционных ресурсах в дальнейшем, т.к. срок окупаемости систем составляет от четырех до двенадцати лет.**

В Алтайском крае во время строительства свиноводческого комплекса на 1300 свиноматок в селе Фунтики было запроектировано осуществлять нагрев воды в двух душевых (мужской и женской) административно-бытового корпуса электричеством. Решение стандартное и малозатратное на стадии строительства и установки оборудования, но в дальнейшем это сулило значительные расходы в процессе эксплуатации. Председатель сельсовета совместно с главным энергетиком приняли решение заменить электрические водонагреватели солнечными коллекторами (рис. 5) и не ошиблись, т.к. разовые затраты на оборудование быстро окупили себя.



Рис. 5. Свиноводческий комплекс, с. Фунтики, Алтайский край

В пригородном поселке Ложки, недалеко от Академгородка находится жилой дом, изначально запроектированный как энергосберегающий. Главный фасад дома обращен на южную сторону (рис. 6).





Рис. 6. Главный фасад энергосберегающего дома, п. Ложки (арх. А. Буслаев)

Излишки тепла в летний период запасаются в грунтовом аккумуляторе под домом, который служит для прогрева грунта непосредственно под домом и представляет собой систему водопроводных труб опущенных петлей в 24 скважины, каждая из которых достигает глубины 10 метров. Запасенного в грунте тепла хватает для дополнительного обогрева жилого дома до февраля месяца.

В настоящее время на объекте установлена половина от расчетного количества солнечных коллекторов и грунт прогревается за летний сезон до 26-28 °С. Полная установка коллекторов позволит прогреть грунт до 55 градусов, с запасом по времени остывания в половину года.

### **3. Энтузиасты – любители.**

Эти потребители интересуются новыми технологиями, ищут нестандартные пути решения ежедневных проблем. Они готовы поверить в работоспособность и эффективность любых новшеств только после того, как опробуют все самостоятельно, как говорится «испытают на себе». Более того, они могут приспособить оборудование для выполнения совершенно новых задач, не предусмотренных производителем.

Например: в небольшой стеклянной вакуумной трубке от солнечного коллектора можно не только нагреть воду для отопления или горячего водоснабжения, но и поджарить сосиски и шпикачки если положить их в металлическую колбу, которую затем поместить в вакуумную трубку.

Они устанавливают оборудование в частных домах, на дачных участках и даже в многоэтажных жилых домах (рис. 7) сначала ради эксперимента, а в дальнейшем получают значительную выгоду от его использования.



Рис. 7. Получение электрической энергии от энергии солнца в многоэтажном жилом доме, г. Новосибирск

В последнее время становится актуальной проблема сброса излишков мощности, выработанной автономными электрическими станциями в основную сеть Электроснабжения.

В развитых странах владельцы солнечных фотоэлектрических станций могут не только сами пользоваться выработанной электрической энергией, но и сбрасывать ее в основную сеть и получать дополнительный доход. Это закреплено на законодательном уровне и энергетические компании обязаны оплачивать полученную энергию.

В нашей стране совместное использование основной сети и солнечной фотоэлектрической станции связано с определенными трудностями, как на техническом, так и на законодательном уровне. Обычные двухфазные счетчики считают энергию, ушедшую в сеть как потребленную. Эту проблему решает установка трехфазных счетчиков и сетевого инвертора. На законодательном уровне вопрос сброса в основную сеть мощности менее 25 Мегаватт проработан недостаточно.

Из всего вышесказанного видно, что с развитием технических возможностей, повышением цен на энергоресурсы, возможными «неполадками» у монополистов (снабжающих энергетическими ресурсами), развитием индивидуального строительства и т.д. появляется все больше желающих, обеспечить бесперебойность, комфорт, автономность собственного жилища, уменьшить эксплуатационные затраты.

В настоящее время ООО научно-производственная фирма «Энергия» занимается созданием и оборудованием демонстрационного центра альтернативной энергетики, который планируется разместить на верхнем этаже и кровле жилого дома (рис. 8), расположенного недалеко от одной из центральных площадей города Новосибирска - площади Карла Маркса. Это позволит опробовать различные технические и технологические решения, получить, проанализировать и обобщить опыт использования автономных источников энергоснабжения в условиях Сибирского региона, чтобы перейти от теоретических расчетов к конкретным рекомендациям, подкрепленных опытом эксплуатации.



Рис. 8. Общий вид на проектируемый демонстрационный центр.

Полученными результатами мы поделимся со всеми желающими на нашем сайте: [www.энергия-nsk.рф](http://www.энергия-nsk.рф) или [www.energi-nsk.ru](http://www.energi-nsk.ru) и по телефону +7 (383) 322-22-64.

**ГИБРИДНЫЕ УСТАНОВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИЭ В  
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МУРМАНСКОЙ  
ОБЛАСТИ**  
**HYBRID UNITS WITH THE USE OF RES THE POWER SUPPLY OF REMOTE  
CONSUMERS MURMANSK REGION**

**Кузнецов Н.М., Минин В.А.**  
ЦФТПЭС КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

**Kuznetsov N.M., Minin V.A.**  
Centre of Physical and Technical problems of Northern Energetics of Kola Science Centre of Russian  
Academy of Sciences, Apatity, Russia

Показан потенциал возобновляемых источников энергии (ветра, гидроэнергии малых рек, солнца, приливной энергии) в Мурманской области. Определены приоритеты использования возобновляемых источников энергии. Показана перспективность использования ветроэнергетических установок в составе энергосистемы. Приведены результаты внедрения гибридной энергоустановки с использованием возобновляемых источников энергии для удаленных потребителей в Мурманской области. Для обеспечения электроэнергией жителей отдаленных поселений на побережье Белого моря выполнена модернизация систем электроснабжения за счет дополнения дизель-генераторов солнечными установками и ветрогенераторами.

It shows the potential of renewable energy sources (wind, small rivers hydro, solar, tidal energy) in the Murmansk region. Priorities of the use of renewable energy sources identified. The prospects of the use of wind power plants as part of the power system shown. The results of the introduction of a hybrid power plant using renewable energy to remote consumers in the Murmansk region. To provide electricity to people in remote villages on the coast of the White Sea made the modernization of power systems due to additions of diesel generators with solar installations and wind turbines.

Ключевые слова: солнечная энергия, энергия ветра, гидроэнергия, энергия морских приливов, сетевая ветроэнергетическая установка, гибридная энергетическая установка, дизель-генератор, удаленные потребители

Keywords: solar, wind, hydro, tidal, wind power plant network, a hybrid power plant, diesel generator, remote users

В последние годы во всем мире ведутся исследования, направленные на поиск и вовлечения в топливно-энергетический баланс новых источников энергии. Особый интерес проявляется к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), таким как энергия солнца, ветра, гидроэнергия малых рек, приливная энергия и др. Потенциальные возможности применения этих источников огромны.

Использование возобновляемых источников энергии в России наиболее перспективно в районах, располагающих высоким потенциалом этих источников и испытывающих недостаток в обычных традиционных топливных ресурсах. К числу таковых относится Мурманская область, энергетика которой наряду с использованием местных гидроресурсов в значительной мере базируется на привозном топливе (ядерном горючем, угле, нефтепродуктах, сжиженном газе). В то же время область располагает широким набором нетрадиционных возобновляемых источников [1].

**Солнечная энергия.** Согласно результатам наблюдений на актинометрических станциях Мурманской области годовой приход суммарной солнечной радиации при реальных условиях облачности составляет около 650 – 850 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Область почти полностью расположена за Полярным кругом, поэтому месячное число часов солнечного сияния изменяется в течение года в широких пределах – от 0 часов в декабре до 200-300 часов июне и июле. Годовая продолжительность солнечного сияния составляет около 1200 часов на севере области и 1600 часов в ее южных районах. В итоге Кольский полуостров уступают по суммарной солнечной радиации районам средней полосы и юга

страны в 1,3 - 1,7 раза, что снижает масштабы возможного использования солнечной энергии в Мурманской области.

**Энергия ветра.** Результаты обработки 20-летних рядов наблюдений за скоростью ветра по 37 метеорологическим станциям Кольского полуострова показали [1], что наибольшие скорости ветра наблюдаются в прибрежных районах Баренцева моря. Здесь они составляют 7-8 м/с (на высоте 10 м), на побережье Белого моря скорости несколько ниже – 5-6 м/с. По мере удаления от береговой линии интенсивность ветра заметно снижается.

Исследованиями установлено, что на Кольском полуострове имеет место зимний максимум скоростей ветра. Это является благоприятной предпосылкой для эффективного использования энергии ветра. Максимум скоростей ветра приходится на холодное время года и совпадает с сезонным пиком потребления тепловой и электрической энергии. Весьма существенно, что зимний максимум находится в противофазе с годовым стоком рек. Ветровая и гидроэнергия удачно дополняют друг друга, и это создает благоприятные условия для их совместного использования.

**Гидроэнергия малых рек.** Технические гидроэнергоресурсы 35 малых рек Мурманской области, впадающих в Баренцево и Белое моря, составляют около 4,4 млрд. кВт·ч/год (таблица).

Таблица. Гидроэнергетические ресурсы малых рек Мурманской области

№ п/п	Бассейн реки	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Ресурсы, млн. кВт·ч		№ п/п	Бассейн реки	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Ресурсы, млн. кВт·ч	
			потенциальные	технические				потенциальные	технические
1	Печенга	1830	149	97	19	Бабья	348	61	40
2	Титовка	1226	187	122	20	Лиходеевк	308	68	44
3	Зап. Лица	1688	228	149	21	а	734	114	74
4	Ура	1030	142	93	22	Пулонга	253	43	28
5	Кола	3836	302	196	23	Усть-	946	151	100
6	Средняя	567	91	59	24	Пялка	1107	175	114
7	Оленка	491	88	57	25	Пялица	2773	333	217
8	Рында	1018	219	143	26	Чапома	1212	158	142
9	Харловка	2016	394	257	27	Стрельна	403	34	22
10	Вост.	1872	423	276	28	Чаваньга	6248	740	481
11	Лица	335	59	38	29	Оленица	1310	96	63
12	Сидоровк	1456	288	91	30	Умба	202	24	16
13	а	468	81	53	31	Колвица Б.	4236	138	90
14	Варзина	1039	193	126	32	Лувеньга	4455	469	305
15	Дроздовк	483	69	45	33	Пиренга	1658	133	86
16	а	843	115	75	34	Тумча	3400	102	66
17	Лумбовка	236	47	31	35	Печа	4720	83	54
18	Каменка	582	96	63	36	Нота	1810	820	530
	Качковка					Лотта			
	Снежница					Проч. реки			
	Сосновка								
						<b>Всего</b>		<b>6913</b>	<b>4443</b>



**Энергия морских приливов.** На побережье Кольского полуострова имеет место сравнительно небольшая величина прилива (2-4 м), поэтому и сооружение экономически эффективных приливных электростанций (ПЭС) возможно далеко не повсеместно. Действующая более 40 лет опытная Кислогубская ПЭС (в створе губы Кислой западнее Мурманска) изначально (с 1968 г.) имела мощность 400 кВт, а после реконструкции в 2007 г. и установки нового ортогонального вертикально-осевого гидроагрегата мощность была поднята до 1500 кВт.

В качестве промежуточного этапа на пути к сооружению более крупных ПЭС в Мурманской области предлагается строительство опытно-промышленной Северной ПЭС мощностью 12 МВт в губе Долгой (в 6 км западнее пос. Териберки). Эта ПЭС рассматривается специалистами также как прототип сооружения Мезенской ПЭС в Белом море и Тугурской ПЭС в Охотском море мощностью несколько тысяч мегаватт каждая.

**Энергия морских волн.** Достоинством этого возобновляемого источника является доступность морских волн широкому кругу прибрежных потребителей, недостатком - нестабильность во времени, зависимость от ледовой обстановки. На северном побережье Кольского полуострова, прилегающем к Атлантическому океану, среднегодовой потенциал волновой энергии составляет 25-30 кВт на 1 м гребня волны, на южном побережье полуострова (Белое море) он значительно ниже – 9-10 кВт/м. Учитывая суровость природно-климатических условий Заполярья (низкие температуры, оледенение, короткий световой день и т.д.), использование волновой энергии здесь представляется проблематичным.

**Приоритеты использования ВИЭ.** Объемы практического использования возобновляемых источников зависят от ряда факторов: потенциала источника, наличия предпосылок, благоприятствующих его использованию, стоимости оборудования и т.д.

Годовое поступление солнечной энергии на территорию Мурманской области в силу ее географического положения невелико. Потенциал солнечной энергии здесь существенно ниже, чем в южных районах страны. Максимум поступления солнечной энергии приходится на летнее время, тогда как максимум потребности в энергии со стороны потребителей имеет место зимой. Все это снижает привлекательность использования солнечной энергии.

По потенциалу ветровой энергии Мурманская область выгодно отличается от других регионов страны. На побережье Баренцева моря ветровые условия просто уникальны, это одно из самых ветреных мест на всем европейском Севере России. Здесь аномально высок уровень среднегодовых скоростей, сезонный максимум ветра совпадает с сезонным пиком энергопотребления. Перечисленные предпосылки обеспечивают эффективное применение ветроэнергетических установок для работы в составе энергосистемы, участия в электроснабжении автономных потребителей (совместная работа ДЭС и ВЭУ), участия в теплоснабжении потребителей (совместная работа котельных и ВЭУ).

Мурманская область располагает значительными запасами гидроэнергоресурсов малых рек. Однако большинство малых рек расположено за пределами экономического радиуса их присоединения к энергосистеме. Поэтому развитие малой гидроэнергетики ограничивается сооружением всего около десятка так называемых системных малых ГЭС в пределах зоны, охватываемой Кольской энергосистемой, а также небольшого числа малых ГЭС в зоне децентрализованного энергоснабжения вблизи существующих населенных пунктов.

Ресурсы приливной энергии региона рассредоточены вдоль всей 1000 - километровой береговой линии Кольского полуострова. Использование приливов возможно далеко не повсеместно, а лишь там, где имеются подходящие акватории, позволяющие получить повышенное значение приливной волны (до 4-5 м). В этом плане

заслуживает внимания проект сооружения Северной ПЭС мощностью 12 МВт, а в дальнейшем и Лумбовской ПЭС на востоке Кольского полуострова мощностью в несколько сотен мегаватт.

Использование волновой энергии в заполярных условиях представляет большие трудности из-за неблагоприятных природно-климатических условий (полярной ночи, низких температур воздуха, оледенения конструкций).

Представленная оценка ресурсов возобновляемых источников энергии региона, позволяет заключить, что наиболее благоприятными предпосылками для широкого практического использования располагают ветровая энергия, гидроэнергия малых рек и солнечная энергия. Решение вопросов их практического освоения заслуживает самого пристального внимания.

**Опыт эксплуатации сетевой ветроэнергетической установки в г. Мурманске.** В 2001 году в рамках выполнения работ по гранту Правительства Норвегии, направленному на проведение работ по ветроэнергетике на Северо-Западе России, на одной из сопкок около Мурманска вблизи гостиницы «Огни Мурманска» была пущена в опытную эксплуатацию датская трехлопастная ветроустановка Wincon-200 мощностью 200 кВт [2]. Владелец ВЭУ – закрытое акционерное общество «ВетроЭнерго». Эта ВЭУ имеет башню высотой около 30 м, ветроколесо диаметром 26 м, вращающееся со скоростью около 40 об/мин. Установка располагается на высоте около 200 м над уровнем моря, среднегодовая скорость ветра в этом районе около 6 м/с. Вся производимая ветроустановкой энергия используется на покрытие энергетических нужд гостиницы. Начиная с 2011 года, когда были оформлены все необходимые разрешительные документы, началась коммерческая эксплуатация ВЭУ, она начала не только удовлетворять потребности гостиницы «Огни Мурманска», но и выдавать избытки энергии в местную электрическую сеть города.

В целом 15-летний опыт эксплуатации сетевой ВЭУ показал перспективность использования энергии ветра в составе энергосистемы.

**Гибридная установка для энергообеспечения с. Пялица.** До настоящего времени в удаленных поселениях Мурманской области для энергообеспечения используются в основном дизель-генераторные установки. Закупка и доставка дизельного топлива осуществлялся в рамках реализации мероприятия по обеспечению приобретения и доставки нефтепродуктов и топлива в удаленные населенные пункты с ограниченными сроками завоза грузов. Делается это за счет средств областного бюджета, и на эти цели ежегодно расходуются порядка 40 млн. руб.

Для более надежного обеспечения энергией жителей отдаленных поселений Терского района проводится модернизация систем электроснабжения за счет дополнения дизель-генераторов ветровыми и солнечными электростанциями. Такая гибридная энергоустановка, пущенная в эксплуатацию в 2014 году в селе Пялица на побережье Белого моря, представлена на рисунке.

Она позволяет обеспечить потребителей села круглосуточным электроснабжением и сократить региональное бюджетное финансирование за счет снижения объемов завозимого топлива и дизельного масла.

Одновременно достигается снижение себестоимости вырабатываемой электроэнергии на 50 % и продление срока эксплуатации дизельных станций на 25 %. Полная установленная мощность электростанции составляет 92 кВт. В своем составе станция имеет два дизель-генератора по 30 кВт, четыре ветроустановки мощностью по 5 кВт и 60 солнечных панелей по 0,2 кВт [3].

Затраты на модернизацию системы энергообеспечения села Пялица составляют 218 млн. руб. (из федерального бюджета – 22 %; областного бюджета – 38 %; местного бюджета – 3 %; внебюджетные средства – 37 %). Расчетный период окупаемости проекта составляет пять лет, реализация проекта позволит сократить объем завозимого

дизельного топлива на 60 т/год, а дизельного масла – на 0,3 т/год. Успешная работа комбинированной энергоустановки создала предпосылки для распространения полученного опыта использования солнечной и ветровой энергии в удаленных поселениях Мурманской области.



Рисунок. Гибридная энергоустановка с использованием ВИЭ в Мурманской области

**Использование ВИЭ для энергоснабжения малых удаленных объектов.** В 2007-2009 гг. в Мурманской области компанией «Автономные технологии» в удаленных и труднодоступных поселениях (в основном в мелких прибрежных населенных пунктах) были установлены ветросолнечные установки. В состав установки входит: ветроагрегат FORTIS Wind Turbine PASSAT с номинальной выходной мощностью 1,3 кВт, фотоэлектрическая панель 8 x КСМ – 160 (напряжение - 54 В, максимальная мощность - 0,88 кВт), кабинет-термошкаф уличного антивандального исполнения, в котором размещаются спутниковый терминал, контроллеры ветроустановки и солнечной батареи, аккумуляторы (на 300 А·ч, напряжение 48 В) и дополнительное оборудование (вентиляция, отопление). Многолетняя надежная работа ветросолнечных установок позволила наладить устойчивую телефонную связь 21 удаленного объекта с «большой землей».

В 1996-2010 гг. был успешно реализован российско-норвежский проект «Утилизация отработанных радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГ) и установка альтернативных источников питания на российских маяках взамен утилизированных РИТЭГов в Мурманской и Архангельской областях» [4]. Заинтересованность в реализации проекта проявила Гидрографическая служба Северного флота. Мощность светового оборудования на светящихся навигационных знаках (СНЗ) и маяках в зависимости от их назначения составляет 50-800 Вт. Комплектование солнечных фотоэлектрических установок производилось с использованием российских единичных модулей мощностью 30 и 50 Вт, производимых ОАО Позит» и «Сатурн». Всего российско-норвежским проектом было охвачено 14 маяков и более 100 светящихся навигационных знаков.



### Выводы

1. Мурманская область располагает большими ресурсами возобновляемых источников энергии (солнца, ветра, гидроэнергии малых рек, приливов, морских волн), из которых повышенным потенциалом отличаются ресурсы ветра и гидроэнергии малых рек.

2. Потенциал солнечной энергии в силу географического положения региона невысок, но этот источник, имеющий максимум летом (в полярный день), дает весомое «подкрепление» энергии ветра и гидроэнергии, потенциал которых в летнее время ослабевает.

3. В Мурманской области имеется положительный опыт применения ветроэнергетических установок в составе энергосистемы. Перспективы дальнейшего развития этого направления значительны, тем более что Кольская энергосистема почти на 40% гидроэнергетическая, и в ее составе имеется достаточно высокоманевренных ГЭС, способных компенсировать непостоянство поступления ветровой энергии.

4. В регионе внедряются гибридные энергетические установки (ветровые и солнечные агрегаты), которые способствуют экономии дорогостоящего топлива и моторесурса традиционных энергоустановок (дизельных и бензиновых двигателей).

### Список литературы

1. Минин В.А. Ресурсы нетрадиционных и возобновляемых источников энергии Мурманской области и приоритеты их использования // Вестник Кольского научного центра РАН. №1/2010. – С.94-101.
2. Минин В.А., Дмитриев Г.С. Опыт монтажа и первого года эксплуатации сетевой ветроэнергетической установки около г. Мурманска // Электрические станции. №2. 2004. – С.71-73.
3. Fedorov O.V., Kuznetsov M.M. Alternative energy sources for remote customers. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 6 (123). - С. 141-144.
4. Возобновляемая энергетика на Кольском полуострове (Реестр установок в Мурманской области, работающих на возобновляемых источниках энергии). – Мурманск: МРОЭО «Беллона-Мурманск». 2014. - 26 с.

**СОЛНЕЧНЫЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕПЛА НОВОГО  
ПОКОЛЕНИЯ – ШАГ В БУДУЩЕЕ  
SOLAR HIGH-TEMPERATURE HEAT SOURCES OF NEW GENERATION –THE  
STEP TO FUTURE**

**Финогенов С., Коломенцев А.**

Московский авиационный институт (НИУ МАИ)

**Finogenov S., Kolomentsev A.**

Moscow Aviation Institute (National Research University) "MAI"

4, Volokolamskoe shosse, A-80, GSP-3, Moscow 125993 Russian Federation

*sfmai2015@mail.ru*

Solar high-temperature heat sources (SHTHS) include "concentrator-absorber" system (CAS) and are intended for use in solar power plants (SPP) for on-the-Earth or space applications. Energy performances of the state-of-the-art SHTHS are close to limiting ones, therefore development and introduction of new advanced technologies are required for creation of perspective SPP, allowing raising an efficiency of concentrated sunlight energy conversion into working medium enthalpy.

SHTHS with CAS at the organization of the non-uniform heating of gas for decrease of thermal losses due to emissivity lowering is considered. For this purpose radial or axial-type sunlight absorbers of not isothermal type, in which the current temperature of gas heating corresponds to diagram of distribution of radiant flux in the focal light spot, can be used. Processes of gas heating in the absorber with extreme non-uniform heating conditions in absence of heat conductivity for various solar energy concentration levels are analyzed. Results of numerical simulation of the task of temperature distribution in the absorber are presented. It is shown that energetic efficiency of the considered SHTHS types allows their practical use at temperatures up to 2800 ... 3200K, optimal for heat-stressed solar SPP with high specific performances, for example, for space solar power propulsion systems.

Possibilities of the further efficiency increase of heating of absorbers' surfaces by concentrated sunlight are connected, in particular, with creation of high-temperature spectral-selective coatings working in a wide range of concentration at the non-uniform heating of the working medium. Selectivity parameter of such coatings considerably rises with temperature growth that makes their use expedient at high concentration ratios of solar energy. The possibility of creation of multi-stage sunlight absorbers with optimal allocation of is spectral-selective coatings on heating stages is discussed. Experimental researches with use of atomic-power microscopy have shown that real coatings for spectral-selective surfaces have the errors exceeding nano-levels of their optical parameters. Therefore use of perspective methods of directional modifying of surface, for example, methods of ionic implantation in combination with other methods of formation of optical hetero-structures based on nano-films, is expedient.

The further investigations in the field of high-effective SHTHS creation, in particular, examinations of metal and ceramic nano-films, possessing the properties of high-temperature spectral-selective sunlight absorption in possible combination with organization of non-uniform heating of the working medium, will allow to provide high specific energetic and mass-dimensional performances of new generation of SPP for the solution of on-the-Earth and space problems.

This research is executed under financial support in the form of grant T02-14.0-2418 of the Ministry of Education and Science of Russian Federation on fundamental researches in engineering sciences (Chapter 14 «Space investigations»).

Солнечные высокотемпературные источники тепла (СВИТ) включают систему «концентратор-приемник» (КП) и предназначены для использования в солнечных энергосиловых системах (СЭСС) наземного или космического назначения. Энергетические характеристики современных СВИТ близки к предельным, поэтому для создания перспективных ЭСС требуется разработка и внедрение новых «прорывных» технологий, позволяющих повысить КПД преобразования концентрированного солнечного излучения в энтальпию теплоносителя.

Рассмотрен СВИТ с системой КП при организации неоднородного нагрева газа для снижения тепловых потерь на собственное излучение. Для этого используются приемники неравнотемпературного типа, в которых температура нагрева соответствует эпюре распределения лучистого потока в фокальном световом пятне. Проанализированы процессы в приемнике с предельной неравнотемпературностью при отсутствии перетекания тепла для различных концентраций. Приведены результаты численного моделирования задачи распределения температуры в приемнике. Показано, что энергетическая эффективность рассматриваемых СВИТ позволяет их использование при температурах до 2800...3200К, оптимальных для теплонапряженных СЭСС с высокими удельными характеристиками.

Возможности дальнейшего повышения эффективности нагрева поверхности приемника концентрированным солнечным излучением связаны, в частности, с созданием высокотемпературных спектрально-селективных покрытий, работающих в широком диапазоне концентрации солнечной энергии. Параметр селективности таких покрытий значительно повышается с ростом температуры, что делает их целесообразными при больших степенях концентрации. Обсуждается возможность создания многоступенчатых приемников солнечного излучения с оптимальным распределением спектрально-селективных покрытий по ступеням нагрева. Экспериментальные исследования с использованием атомно-силовой микроскопии показали, что покрытия для спектрально-селективных поверхностей имеют погрешности, превышающие наноуровни их оптических показателей. Поэтому целесообразно использование методов направленной модификации поверхности, например, методов ионной имплантации в комбинации с другими методами формирования оптических гетероструктур на основе нанопленок. Дальнейшие исследования в области создания высокоэффективных СВИТ, в частности, исследования пленочных металлических и керамических нанопленок, обладающих свойствами высокотемпературной спектральной селективности, в сочетании с неоднородным нагревом теплоносителя, позволят обеспечить высокие удельные характеристики СЭСС нового поколения. Работа выполнена при финансовой поддержке в форме гранта Т02-14.0-2418 Министерства образования и науки РФ по фундаментальным исследованиям в области технических наук (раздел 14 «Космические исследования»).

Keywords: solar energy, concentrator-absorber system, solar power plant, non-uniform heating, spectral-selective coatings, multi-staged absorber

### **Введение**

Работа посвящена анализу возможности повышения эффективности солнечных высокотемпературных источников тепла (СВИТ) для наземного или космического применения. В настоящее время энергомассовая эффективность солнечных энергосиловых систем (СЭСС) далека от совершенства вследствие необходимости в крупногабаритных солнечных концентраторах зеркального типа, которые на данный момент обладают невысокими удельными характеристиками и требуют прецизионной ориентации на Солнце. При этом с учетом современного технологического уровня энергетические характеристики традиционных СВИТ близки к предельным, поэтому для создания перспективных ЭСС требуется разработка и внедрение новых «прорывных» технологий, позволяющих качественно повысить КПД преобразования концентрированного солнечного излучения в энтальпию теплоносителя.

К основным рассматриваемым задачам относится оценка энергетической эффективности использования перспективных приемников солнечной энергии и разработка технологии их изготовления. Высокоэффективные лучепоглощающие устройства позволяют снизить требования к точности зеркальных концентраторов, что напрямую способствует уменьшению их удельной массы, а также снизить требования к точности их слежения за Солнцем, что положительно отразится на эксплуатационных и стоимостных характеристиках СЭСС. Актуальность создания высокоэффективных приемников требует разработки новых энергетически выгодных высокотемпературных покрытий для поверхностей поглощения-излучения СВИТ.

#### **СВИТ с предельно-неравнотемпературной системой концентратор-приемник**

Солнечный с прямым нагревом газа-теплоносителя в системе «зеркальный концентратор - приемник солнечного излучения» (КП) обыкновенно рассматривается как равнотемпературный, светоприемник которого выполнен в виде лучепоглощающей полости. Моделью такого приемника является абсолютно черное тело, равномерно излучающее по всей входной апертуре в диапазоне длин волн, соответствующих максимальному нагреву внутренней поверхности [1]. Тепловые потери на собственное излучение приемника ограничивает КПД системы КП в отношении нагрева теплоносителя и являются основным препятствием для дальнейшего повышения эффективности СЭСС. В связи с этим представляет практический интерес исследование

и разработка высокоэффективных СВИТ с нагревом газа в светоприемнике при минимизации тепловых потерь на собственное излучение.

Одним из возможных способов решения проблемы повышения энергетического КПД системы КП является организация неоднородного нагрева газа, при котором изменение его температуры по радиусу приемника соответствует эпюре распределения лучистого потока в фокальном световом пятне. В работах [2,3] рассмотрены системы КП с организацией неоднородного (неравнотемпературного) нагрева рабочего тела с непрерывным нагревом рабочего тела при движении от периферии радиального приемника к центру, соответствующему участку «солнечного изображения». При этом теоретически возможен нагрев рабочего тела до высоких температур (свыше 3000К) при умеренной средней концентрации солнечного излучения. Интересно рассмотреть процессы в подобном приемнике при отсутствии перетекания тепла от центральной части к периферии, что указывает на его предельные характеристики. Влияние перетекания тепла в приемнике на его эффективность может быть незначительным при диаметрах зеркал, превышающих 6...9 метров [2].

Рассмотрим процесс предельно-неравнотемпературного нагрева теплоносителя в приемнике при отсутствии радиального перетекания тепла. Примем допущение об осесимметричном экспоненциальном распределении лучистого потока в фокальном световом пятне, что достаточно соответствует экспериментальным аберрограммам реальных параболоидных зеркал [1,2]. Будем оценивать точность зеркальной поверхности зеркала параметром точности  $\Delta\alpha$  как мерой учетверенной угловой ошибки отклонения поверхности реального концентратора от идеальной поверхности вращения [2]. Распределение энергетической освещенности в фокальном пятне неидеального параболоида для разных значений параметра  $\Delta\alpha$  показано на рис.1.

На рис.2 представлены результаты численного моделирования распределения температуры по радиусу приемника с предельной неравнотемпературностью для случая нагрева газа до 3000К в достаточно широком диапазоне значений параметра  $\Delta\alpha$ .

Отметим, что при больших величинах  $\Delta\alpha$  форма распределения нарастания температуры по относительному радиусу приемника меняется несущественно, смещаясь лишь по оси ординат вниз в соответствии с уменьшением точности зеркала. Можно отметить схожесть зависимостей на рис.1 и 2. Поскольку текущая температура нагрева газа соответствует закону изменения энергетической освещенности по поверхности, тепловые потери на собственное излучение снижаются по сравнению с равнотемпературным приемником, выполненным в виде абсолютно черного тела (полостные приемники), что обеспечивает высокие энергетические характеристики СВИТ.

На рис.3 представлены значения КПД приемника в зависимости от первоначально заданной температуры, уточняемой в процессе итерационного расчета для разных величин параметра  $\Delta\alpha$ . Характер этих кривых зависит, в том числе, от условной температуры [2], неявно определяемой также параметром  $\Delta\alpha$ . Площадь концентратора при этом корректируется, что влияет на полную энергию, падающую на приемник. Увеличение параметра  $\Delta\alpha$ , как и дефокусировки и разориентирование системы КП, приводят к снижению реальной температуры теплоносителя на выходе (рис.4), определяющей КПД нагрева. Поэтому здесь возникает компромиссная задача выбора целесообразной точности зеркала при допустимом снижении КПД СЭСС.

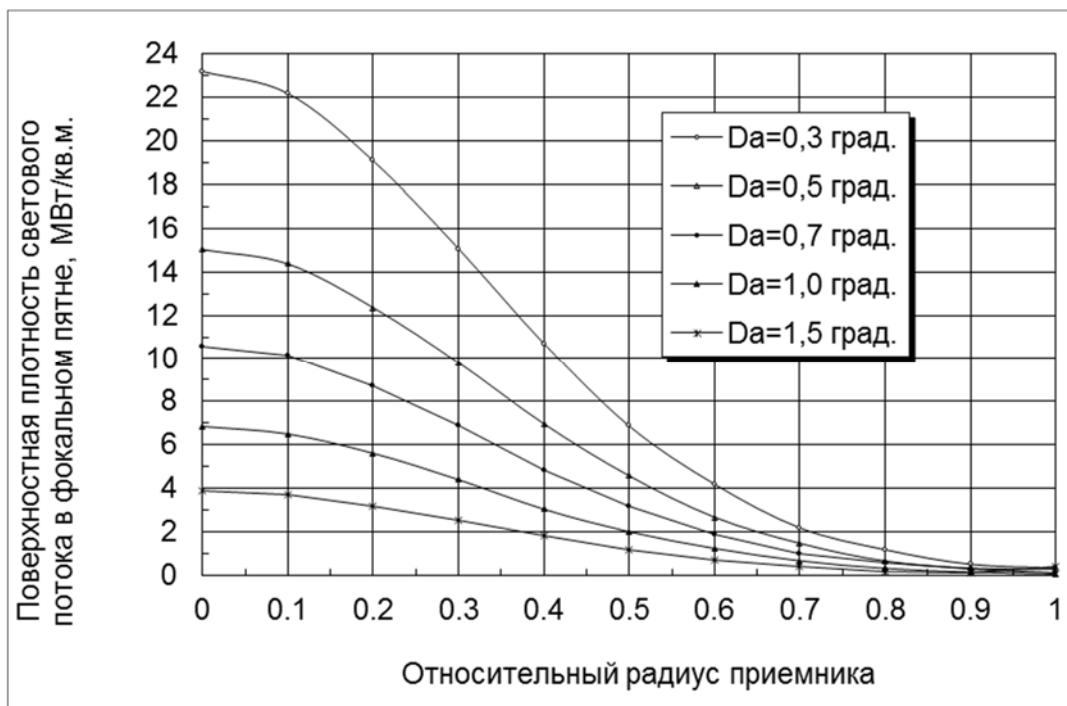


Рис.1. Распределение поверхностной плотности лучистого потока в фокальном световом пятне вдоль радиуса приемника для разных величин параметра точности  $\Delta\alpha$ .

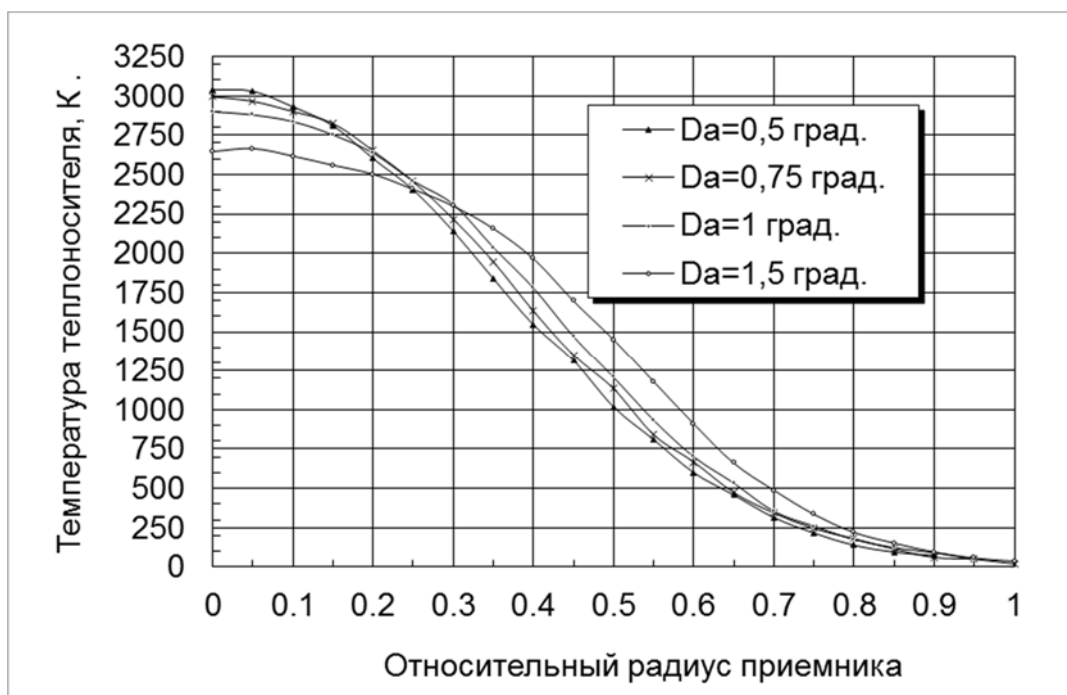


Рис.2. Зависимость температуры нагрева водорода от относительного радиуса приемника для различных значений параметра точности концентратора  $\Delta\alpha$ .

### СВИТ со спектрально-селективной системой концентратор-приемник

Другим важным направлением в создании высокоэффективных СВИТ для СЭСС является использование приемника со спектрально-селективным лучепоглощающим покрытием. В настоящее время проблема создания спектрально-селективных поверхностей является открытой, поскольку у современных селективных поверхностей достигнутые величины параметра селективности, определяемого как отношение

интегрального коэффициента поглощения солнечной энергии к коэффициенту собственного теплового излучения, не превышают величин 30...40. Это поверхности на основе гетероструктур, в частности, оксида алюминия с молибденом [4,5]. В то же время существует теоретическая возможность повышения этой величины на несколько порядков. Так, на уровне земного удаления от Солнца величина параметра селективности при определенных условиях может достигать величин 1000 и более [2]. Достижение высоких величин параметра селективности, несомненно, положительно скажется на развитии солнечной энергетики.

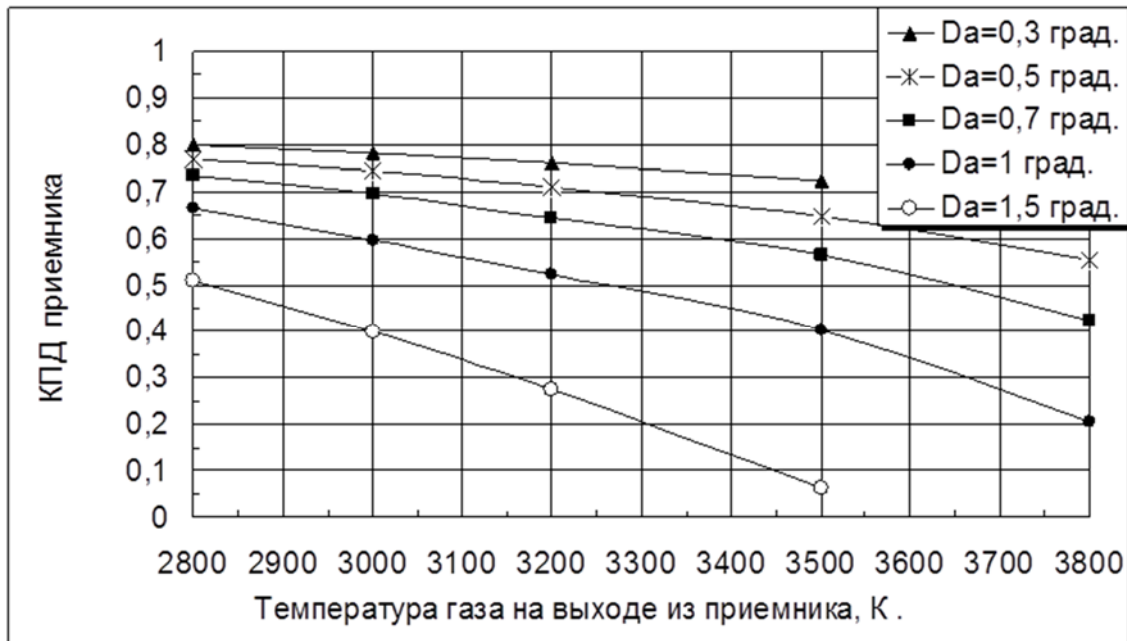


Рис.3. Зависимость КПД предельно-неравнотемпературного приемника от заданной температуры на выходе.

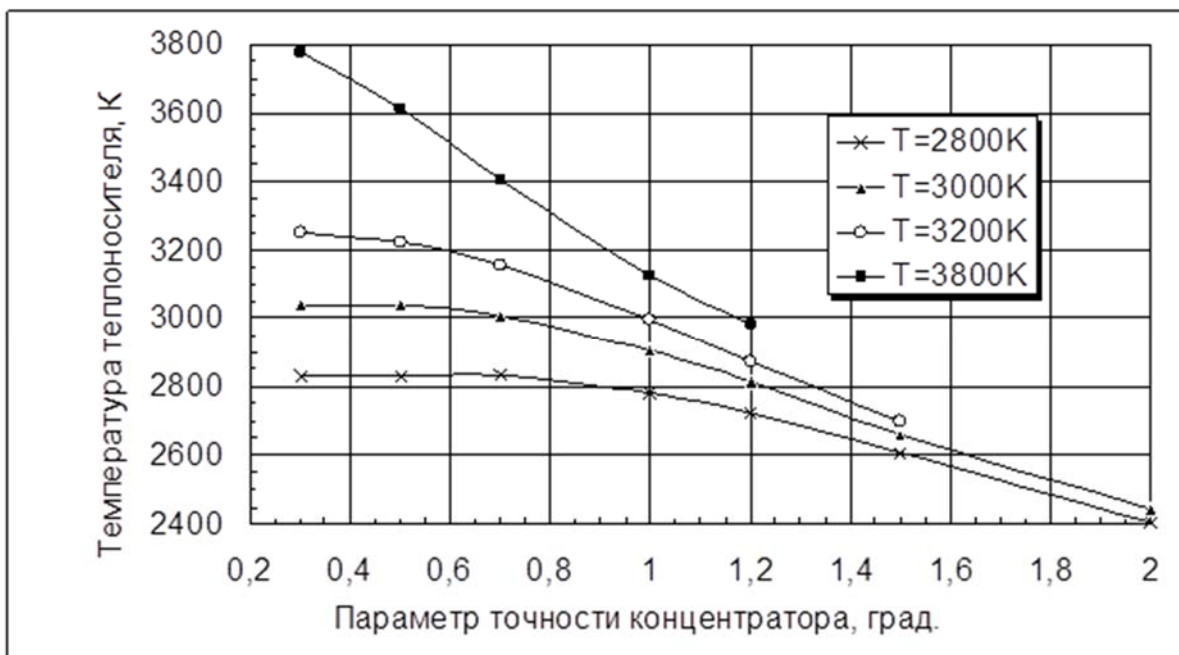


Рис.4. Зависимость температуры водорода на выходе из приемника от параметра  $\Delta\alpha$  для разных заданных начальных температур нагрева.

Рабочая температура разработанных селективных покрытий [4] хорошо соответствует температуре нагрева газа в газопоршневом двигателе типа Стирлинга (600...700°C). Существуют нижние границы эффективной температуры, начиная с которой проявляются свойства спектральной селективности, зависящие от пороговой длины волны и уровня концентрации солнечной энергии (рис.5).

Повышение температуры спектрально-селективной поверхности приводит к изменению как коэффициента поглощения, так и коэффициента излучения. Однако, как впервые показано в работах Московского авиационного института [2,3,6], скорость изменения их различна, и в результате параметр селективности непрерывно возрастает при повышении температуры поверхности, теоретически достигая максимального значения 46'000. При этом энергетическая эффективность процесса спектрально-селективного лучепоглощения стремится к нулю. В соответствии с законом Кирхгоффа, теоретически такая система достигнет термодинамического равновесия только при температуре поверхности Солнца. Реальные величины параметра селективности, естественно, ограничены теплостойкостью селективных материалов и оптико-энергетической эффективностью самого процесса спектрально-селективного лучепоглощения.

Вопрос о том, почему реальные спектрально-селективные поверхности не могут достигать теоретического уровня, показывающего высокие термодинамические характеристики, заключается в их структуре, а именно в несовершенстве технологии наносимых на подложку лучепоглощающих материалов, обладающих спектрально-селективными свойствами. Реальные покрытия для спектрально-селективных поверхностей, как показывают экспериментальные исследования, выполненные авторами с использованием атомно-силовой микроскопии, имеют погрешности, превышающие наноуровни их оптических показателей. Исследования поверхностей, выполненных в виде напыления или механической обработки, показывают, что уровни шероховатости поверхности могут превышать точность, требуемую для создания спектрально-селективного покрытия.

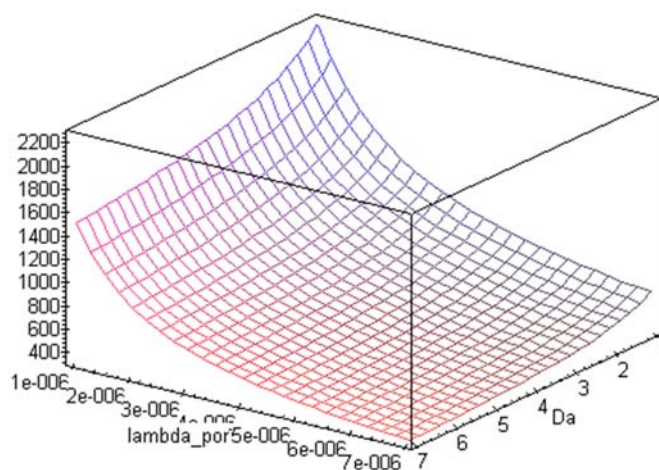


Рис.5. Влияние пороговой длины волны и точности системы концентратор-приемник на нижнюю эффективную температуру спектрально-селективной поверхности.

Для обеспечения спектрально-селективных свойств поверхности необходимо, чтобы толщина каждого поглощающего слоя не превышала одной четверти длины волны падающего спектра в области поглощения. Такие толщины находятся в нано- и микрометровом диапазоне, поскольку 97% падающей энергии приходится на диапазон

спектра 0,1...2,5 мкм. В то же время необходимо обеспечить определенную, также нано- и микрометровую толщину слоев, работающих в области спектра собственного излучения нагреваемого до рабочих температур приемника (характерными температурами являются 700...1200К для турбомашинных СЭС в зависимости от выбранного термодинамического цикла и 2500...3000К для солнечных энерго-двигательных установок). Несовершенными являются и методы контроля покрытий.

Для формирования высокотемпературной селективной поверхности может потребоваться комбинация методов нанесения покрытий, в частности, плазменного напыления (либо прецизионного осаждения) слоев будущей селективной гетероструктуры с глубокой модификацией поглощающего слоя, используя, например, методы ионной имплантации, задающей требуемые свойства узкому поверхностному нанослою. Так, возможно напыление (осаждение) или внедрение ионов материала, обеспечивающего высокое значение коэффициента поглощения и прозрачного в инфракрасной области, на полированную поверхность металла, обладающего хорошей электропроводностью и малой величиной коэффициента собственного излучения. Требуют исследования вопросы использования высокодисперсионных керамических нанопорошков для создания промежуточных слоев формируемой селективной гетероструктуры. Каждый слой требует контроля степени совершенства топологии нанесенного материала, поскольку на наноуровне неравномерность слоя играет существенную роль в процессе поглощения-излучения.

Одним из таких методов является, в частности, метод атомно-силовой микроскопии. На рис.6 показана структура исследованных авторами в НИЦ “Томский государственный университет” поверхностей с использованием атомно-силового сканирования, которые после компьютерной обработки были переведены в 3-D топологию, представленную на рис.7. Видно, что при зондировании внешне почти гладких покрытий выявляются погрешности структуры, несовместимые с созданием спектрально-селективных поверхностей вследствие чрезмерного разброса их толщин. Поэтому методы создания эффективных селективных покрытий обязательно должны сопровождаться нанотехнологическим обеспечением их формирования и контроля.

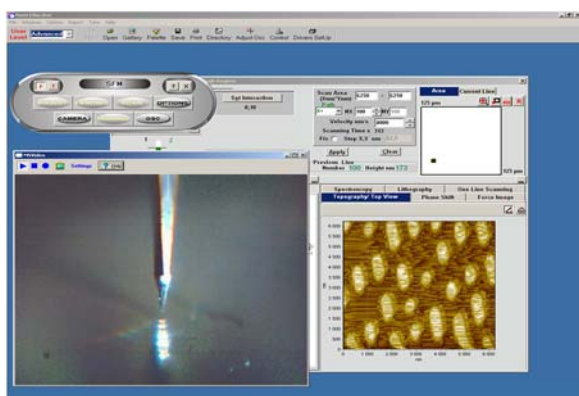


Рис.6. Исследование селективного покрытия методом атомно-силовой микроскопии.

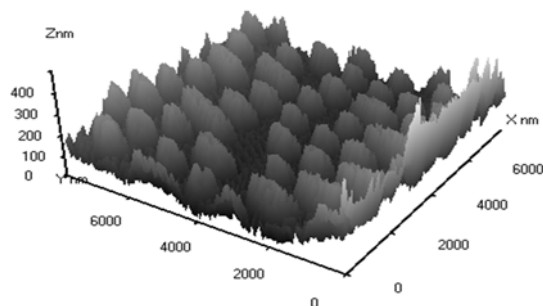


Рис.7. 3-D-топология наноструктуры исследуемой поверхности

Следует отметить, что при объединении свойств неравнотемпературности солнечного нагрева и селективности лучепоглощения плотность падающего лучистого потока, как показано в [2,6], влияет на выбор оптимального значения пороговой длины волны. Создание лучевоспринимающей поверхности с непрерывным профилированием оптимальной пороговой длины волны по радиусу приемника требует в ближайшей перспективе решения целого ряда сложных материаловедческих, конструктивных и



технологических задач, поэтому на начальных этапах целесообразным будет рассмотрение селективного ступенчатого приемника с несколькими ступенями нагрева, что обеспечит дальнейшее повышение эффективности СВИТ с системой КП.

### Заключение

Разработка высокоэффективных СЭСС требует проведения большого объема теоретических и экспериментальных исследований. Работы в этом направлении проводятся в ряде организаций, и в частности, в Московском авиационном институте, где с конца 1960-х годов по настоящее время проводятся исследования по использованию солнечной энергии в СВИТ с системами КП [2,3,6]. Представлены как главные следующие вопросы.

Рассмотрен СВИТ с системой КП при организации неоднородного нагрева теплоносителя для снижения тепловых потерь на обратное собственное излучение. Проанализированы процессы нагрева газа в приемнике с предельной неравнотемпературностью при отсутствии перетекания тепла для различных уровней концентрации солнечной энергии. Приведены результаты численного моделирования задачи распределения температуры в приемнике. Показано, что энергетическая эффективность рассматриваемых типов СВИТ позволяет их практическое использование при температурах до 2800...3200К, оптимальных для теплонапряженных СЭСС с высокими удельными характеристиками.

Показана возможность создания СВИТ со спектрально-селективным лучепоглощением концентрированной солнечной энергии, определены зависимости нижнего диапазона эффективных температур от пороговой длины волны и уровня концентрации излучения.

Экспериментальные исследования, выполненные авторами с использованием атомно-силовой микроскопии, показали, что реальные покрытия для спектрально-селективных поверхностей имеют погрешности, превышающие наноуровни их оптических показателей. Поэтому целесообразно использование немеханических методов направленной модификации поверхности с использованием, например, методов ионной имплантации в комбинации с другими методами формирования оптических нанопленок. На начальных этапах целесообразно рассмотрение селективного неравнотемпературного приемника с несколькими ступенями нагрева, что обеспечит дальнейшее повышение эффективности СВИТ с системой КП.

Работа выполнена при финансовой поддержке в форме гранта Т02-14.0-2418 Министерства образования и науки РФ по фундаментальным исследованиям в области технических наук (раздел 14 «Космические исследования»).

### Список литературы

1. Грилихес В.А., Матвеев В.М., Полуэктов В.П. Солнечные высокотемпературные источники тепла для космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1975. – 248 с.
2. Кудрин О.И. Солнечные высокотемпературные космические энергодвигательные установки. - М.: Машиностроение, 1987. – 247 с.
3. Кудрин О.И., Финогенов С.Л. Солнечное излучение как возобновляемый источник энергии. Примеры возможных энергосиловых систем наземных и космических с его использованием. /Возобновляемые источники энергии: Лекции ведущих специалистов. Под общей редакцией В.В.Алексеева. – М.: Изд-во МГУ им. М.В.Ломоносова, 2002. - С.217-229.
4. Преобразование солнечной энергии. Вопросы физики твердого тела. /Пер. с англ. Под ред. М.М. Колтуна. – М.: Наука, 1982.
5. Колтун М.М. Селективные оптические поверхности преобразователей солнечной энергии. М.: Наука, 1979. - 215 с.
6. Finogenov S. L., Kudrin O. I. Advanced Solar Thermal Propulsion for Mars Exploration Mission. //Space Technology, Vol. 25, Nos. 3-4, 2005. - pp. 211-217.

### References

1. Griliches V.A., Matveev V.M., Poluektov V.P. *Solnechnye vysokotemperaturnye istochniki tepla dlya kosmicheskikh apparatov* [Solar high-temperature heat sources for space vehicles]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 248 p.
2. Kudrin O.I. *Solnechnye vysokotemperaturnye kosmicheskie energodvigatel'nye ustanovki*. [Solar high-temperature space power plants]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 247 p.
3. Kudrin O.I., Finogenov S.L. *Solnechnoe izluchenie kak vozobnovlyatmyi istochnik energii. Primery vozmozhnykh energosilovykh system nazemnykh i kosmicheskikh s ego ispol'zovaniem*. [Solar radiation as renewable energy source. Examples of possible power plants for on-the-Earth and space application with its use]. Renewable energy sources: Lectures of major specialists. Edition by V.V. Alekseev. Moscow, Moscow State University Publ., 2002. pp.217-229.
4. *Preobrazovanie solnechnoi energii. Voprosy fiziki tvyordogo tela*. [Solar energy conversion. Problems of solid body physics]. Edition by M.M.Koltun. Moscow, Nauka Publ., 1982.
5. Koltun M.M. *Selektivnye opticheskie poverkhnosti preobrazovatelei solnechnoi energii*. [Selective optical surfaces of solar energy converters]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 215 p.
6. Finogenov S. L., Kudrin O. I. Advanced Solar Thermal Propulsion for Mars Exploration Mission. // *Space Technology*, Vol. 25, No. 3-4, 2005. - pp. 211-217.

**ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ  
ВОД КАК ПРИМЕР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО КАТАЛИЗА  
THERMOCATALYTIC UTILIZATION OF SLUDGE OF PUBLIC PURIFICATION  
PLANTS AS EXAMPLE OF POWER-EFFICIENT CATALYSIS**

**Яковлев В.А., Дубинин Ю.В., Федоров А.В., Пармон В.Н.**  
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

**Yakovlev V., Dubinin Yu., Fedorov A., Parmon V.**  
Boreskov Institute of Catalysis SD RAS, Novosibirsk, Russia

*E-mail: yakovlev@catalysis.ru*

Russian municipal wastewater treatment plants produced more than 7 million tons of sludge, which is an organic-mineral pulp with a moisture content of 98-99%. Dry substance consists of 30-40% of mineral compounds and 60-70% of organic substances that can contain heavy metals compounds, organic compounds such as benzopyrene, pesticides, polychlorinated biphenyls, phenols, etc. Many of the compounds possess a mutagenic activity. Currently in Russia and in Europe the bulk of sewage sludge is stored in the sludge beds and dumps, which is not fundamentally, solve the problem. This approach cannot radically solve the problem.

One of the common methods of sludge utilization is thermal treatment including burning in the flare and layered furnaces or furnaces with a fluidized bed of inert material. The Pyrofluid Company (France) implemented the method of burning in the fluidized bed of inert material in St. Petersburg. Despite some advantages over other technologies, the wet sludge combusting in a fluidized bed of inert material has some disadvantages. This disadvantages includes large furnaces size; high consumption of additional fuel; increased demands on construction materials for the furnaces at 850-1100 °C; slagging of the fluidized bed furnace and walls, as well as the need for complex flue gas cleaning system from the CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, benzpyrene and dioxins.

The proposed method of catalytic thermal utilization of sewage sludge, developed at the Institute of Catalysis SB RAS allows us to solve a number of problems associated with thermal sludge treatment for other traditional technologies. The technology is based on the use of a heterogeneous deep oxidation catalyst for the fuel combustion in a fluidized bed. Fluidized bed combustion in the presence of a catalyst essentially differs from combustion in a fluidized bed of inert material. The proposed technology of sludge catalytic thermal combustion can not only effectively utilize it with the achievement of high sludge combustion degrees, low values of emission concentrations (without additional cleaning systems), but also allows one to carry out the process in autothermal mode with sludge humidity up to 75%.

Currently there are performed design work on the construction of sludge utilization complex with thermal capacity of 4 MW for "OmskVodokanal" JSC. It was also carried out an environmental and state expertise.

Keywords: sludge, purification plant, catalysis, utilization, combustion

### **Введение**

Ежегодно в России образуется более 7,0 млн. тонн осадков очистных сооружений коммунального хозяйства (в расчете на сухое вещество). В общем случае осадки сточных вод (ОСВ) образуются после первичной физико-химической очистки и вторичного отстаивания после биологической очистки (активный ил). Осадки представляют собой пастообразную органоминеральную массу с содержанием влаги 98-99%. Сухое вещество состоит на 30-40% из минеральных соединений и на 60-70% из органических веществ, представленных углеводами, белками, жирами, лигнином, дубильными веществами и другими соединениями. Несмотря на то, что основная масса осадка имеет природный характер, в его составе присутствуют минеральные и органические соединения антропогенного происхождения. Это объясняется спецификой городских канализационных систем, в которых происходит смешение городских и промышленных сточных вод. Это соединения тяжелых металлов, органические соединения типа бенз(а)пирена, пестициды, полихлорированные дифенилы, фенолы и т.д. Многие соединения обладают мутагенной активностью. Кроме того, осадок, включая активный ил, - это живой субстрат, представляющий собой скопление различных микроорганизмов

и простейших, что создает угрозу паразитарного заражения организма человека. Поэтому использование таких осадков в сельском хозяйстве весьма проблематично.

Кроме того, для понимания широты проблемы следует отметить, что в России Ежегодно в России образуется дополнительно:

- 80 млн. т. осадков от промышленных объектов
- 20 млн. т осадков от сельского хозяйства
- 60 млн. т осадков от пищевой промышленности

### Современные подходы по утилизации

В настоящее время как в России, так и в Европе основная масса осадков сточных вод складывается на иловых площадках, отвалах и т. д. (таблица 1).

Для захоронения осадков необходимо создавать эксплуатируемые сооружения на срок 100-150 лет, т.е. до полного завершения анаэробного разложения органических составляющих осадков. В течение этого срока сооружения являются опасными для окружающей среды, а наличие тяжелых металлов сохраняет опасность и в дальнейшем. Кроме того, складирование отходов требует отчуждения больших площадей земли. Действующие в настоящее время полигоны для захоронения осадков выработали свой ресурс, а иловые площадки работают в перегруженном режиме. Результатом такого использования полигона является аккумуляция токсичных соединений и тяжелых металлов в грунте, вымывание подвижных форм тяжелых металлов в подземные грунтовые воды, так же не исключено попадание токсичных веществ в атмосферный воздух с пылью [1,2]. Таким образом, метод не дает приемлемого решения проблемы.

Таблица 1. Распределение методов утилизации осадков очистных сооружений в Европейских странах [3].

Страны	Методы утилизации, %			
	в с/х	захоронение на свалках	сжигание	другие
Австрия	13 (20*)	56 (10)	31 (60)	0 (10)
Швейцария	50 (50)	30 (10)	20 (40)	0 (0)
Германия	25 (40)	55 (0)	15 (30)	5 (30)
Дания	27 (+)	28 (-)	36 (-)	9 (+)
Швеция	15 (+)	70 (0)	0 (?)	15 (+)
Англия	53 (+)	16 (+)	7 (+)	24**(-)
Финляндия	27 (15)	36 (25***)	0 (0)	37 (60)

\*В скобках указана доля метода в перспективе или тенденции его использования («+» – увеличение, «-» - уменьшение);  
 \*\* сбрасывается в море;  
 \*\*\* большую часть осадка планируется использовать для различных целей на свалках.

Вторым по распространению является применяемый в нашей стране и за рубежом метод сушки и сжигания осадков в факельных и слоевых топках или в печах с псевдоожиженным слоем инертного материала (песок) [4]. Для обеспечения устойчивого горения температура отходящих газов поддерживается не ниже 1000-1300°C. Отсюда возникают повышенные требования к конструкционным материалам топочных устройств и необходимость большого расхода дополнительного топлива. Присутствие легкоплавких минеральных веществ затрудняет золоудаление. Существует большая проблема обеспечения полноты сгорания горючих компонентов и ликвидации вторичного загрязнения атмосферы оксидами азота, серы, токсичными соединениями

типа бензпиренов и диоксинов. По опубликованным данным в мире ежегодно сжигается около 3 млрд. т. осадков сточных вод очистных сооружений (10 - 15 % общего количества). При этом в атмосферу выбрасывается в газовой фазе и с пылью 3-36 т. Cd, 240-300 т. Pb, 150-400 т. Zn.

Наиболее эффективным способом утилизации осадков сточных вод является сжигание в печи с кипящим слоем инертного материала. Печи с кипящим слоем за последние 30-40 лет получили наибольшее распространение не только для сжигания, но и для сушки осадков. Их широко применяют в США, Германии, Франции, Японии и других странах. Первый в России и Восточной Европе завод по сжиганию осадков с использованием печи с кипящим слоем был сдан в эксплуатацию на центральной станции аэрации (ЦСА) Санкт-Петербурга (1997 г.) [5]. Технология подготовки и сжигания осадка ЦСА г. Санкт-Петербурга в значительной степени воспроизводит применяемые в других странах, например на крупнейшем в Европе заводе в Дордрехсте (Нидерланды) производительностью 90 тыс. т/год по сухому веществу [6,7].

К основным недостаткам данной технологии относятся: большие габариты печей; большой расход дополнительного топлива; повышенные требования к конструкционным материалам печей в рабочем диапазоне температур (850-1100°C); шлакование кипящего слоя и стенок печей; при подсушке влажного осадка возможно выделение летучих соединений и загрязнение атмосферы (аммиак, меркаптаны, сероводород и др.). Кроме того, высокотемпературное сжигание предполагает образование большого количества токсичных соединений (CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, бензпирены, диоксины и др.), что требует очень сложной системы очистки дымовых газов [8].

Осадки сточных вод представляют собой удобрение, содержащее биогенные элементы (азот, фосфор, калий, их соединения), поэтому в некоторых случаях они нашли свое применение в сельском хозяйстве. Перед использованием в качестве удобрения осадок предварительно обезвоживают и обеззараживают. Недостатком данного способа является сложная многостадийная технология предварительной обработки осадка, а также невозможность использования данного способа для любого типа осадка в силу сложного и различного физико-химического состава последнего [9].

### **Сжигание в кипящем слое катализатора**

Решением обозначенных выше проблем утилизации иловых осадков может стать технология каталитического сжигания в кипящем слое. Каталитическое горение принципиально отличается от горения в традиционном понимании, так как органические вещества окисляются на поверхности твердых катализаторов без образования пламени. Это обусловлено резким возрастанием скорости химических реакций в результате промежуточного химического взаимодействия катализатора с участниками реакции [10]. При этом достигается снижение температуры полного сгорания до 500-700°C, что позволяет уменьшить эрозионный износ теплообменников, размещенных в слое, и снизить требования к конструкционным материалам. В отличие от слоя инертного материала, процесс горения полностью локализуется в слое и не выходит в надслоевое пространство, что позволяет значительно уменьшить габариты аппаратов. Замена инертного материала на катализатор позволяет также повысить эффективность сжигания и переработки твердых топлив и отходов [11]. Кроме того, помимо утилизации самих иловых осадков, происходит выработка тепла, которая может использоваться для локального теплоснабжения.

Метод низкотемпературного каталитического окисления различных топлив и отходов в псевдооживленном слое был разработан в Институте катализа СО РАН. Данный метод позволяет исключить большинство недостатков традиционных способов сжигания. В том числе: при влажности сырья менее 75% проводить процесс в автотермическом режиме, т.е. без затрат дополнительного топлива; снизить габариты и

металлоемкость аппаратов более чем в 15 раз; ликвидировать или резко уменьшить образование газовых выбросов, загрязненных токсичными органическими веществами в том числе диоксинами, оксидами углерода, азота и серы.

Технология сжигания в кипящем слое катализатора успешно зарекомендовала себя как эффективный способ получения тепла. В настоящее время, на базе данной технологии, построены и эксплуатируются пять котельных разной мощности: две в кемеровской области (1 и 3 Гкал/час), одна в алтайском крае (3 Гкал/час) и одна в амурской области (6 Гкал/час). Данные котельные работают на сжигании угля в кипящем слое катализатора и демонстрируют значительную выгоду по сравнению с традиционными слоевыми котельными, выражающуюся в меньшем потреблении электроэнергии, меньшем расходе угля, меньшей стоимостью производимого тепла. Огромным преимуществом также выступает высокая экологическая безопасность данной технологии: концентрация вредных выбросов в разы ниже соответствующих показателей для традиционных слоевых котельных.

### **Исследование горения иловых осадков в кипящем слое катализатора**

Для проверки применимости технологии и оптимизации условий процесса было проведено исследование по каталитическому сжиганию осадков сточных вод. Для исследования были использованы образцы иловых осадков очистных сооружений г. Омска.

Перед проведением непосредственного сжигания, осадки сточных вод подвергались предварительной подготовке. На очистных сооружениях осадки обезвоживались до влажности 70-75% весовых центрифугированием в присутствии коагулянтов. Эксперименты по сжиганию иловых остатков сточных вод (ОСВ) проводились на двух установках экспериментального термокаталитического окисления (ЭТКО) с различной производительностью – 50 г/ч по илу (установка ЭТКО ОСВ 0,05) и 2 кг/ч по илу (ЭТКО ОСВ 2,0). Перед сжиганием на ЭТКО ОСВ 0,05 исходный осадок предварительно сушили в сушильном шкафу при 110°C в течении 4 часов, измельчали на дробилке ножевого типа. В работе использовали фракцию менее 1 мм. Для исследования процесса сжигания иловых осадков очистных сооружений г. Омска на ЭТКО ОСВ 2,0 исходный осадок предварительно сушили на воздухе в течении 24 часов до остаточной влажности 46.9 %, измельчали на дробилке ножевого типа для получения частиц <5 мм.

Проведение исследований процесса горения высушенного осадка в кипящем слое катализатора по разработанной лабораторной методике анализа продуктов сгорания иловых осадков очистных сооружений с целью оптимизации основных параметров процесса (температура процесса, концентрация СО и концентрация с после реактора) и состава катализатора проводили на экспериментальной установке ЭТКО ОСВ 0,05 с использованием илового осадка с размером частиц <1 мм. В таблице 2 приведены результаты экспериментов при сжигании илового осадка в кипящем слое катализатора (Al-Mg-Cu-Cr-оксидный катализатор) со средним размером частиц 1.75 мм при различных температурах процесса.

Из таблицы 2 видно, что с повышением температуры сжигания илового осадка происходит уменьшение концентрации СО и увеличение степени выгорания органической части илового осадка, при этом образования SO<sub>2</sub> не наблюдается. При 750°C концентрация СО в отходящих газах на уровне 100 ppm. То есть в данных условиях катализатор проявляет высокую активность в отношении окисления СО, образующегося в процессе догорания коксового остатка после выделения летучих веществ.

Таблица 2. Результаты экспериментов по сжиганию илового осадка в кипящем слое катализатора КГО-S20 на экспериментальной установке ЭТКО ОСВ 0,05

Температура, °С	Концентрация, ppm		Степень выгорания, %
	CO, ppm	SO <sub>2</sub> , ppm	
650	386	0	97.6
700	208	0	98.4
750	106	0	99.1

Таким образом, оптимальные условия проведения сжигания иловых остатков в кипящем слое – применение катализатора в температурном диапазоне 700-750 °С. В данном случае обеспечивается высокая степень выгорания органической части (более 98%), а концентрация CO при этом не превышает 250 ppm.

Дальнейшие эксперименты по сжиганию иловых осадков очистных сооружений проводили при большей производительности по иловому осадку на экспериментальной установке ЭТКО ОСВ 2,0. Сжигание илового осадка проводили в автотермическом режиме при 750°С. В процессе экспериментов контролировали концентрации CO и SO<sub>2</sub> на выходе из реактора, степень выгорания органической части илового осадка, концентрацию золы в отходящих газах после слоя.

В таблице 3 приведены результаты по сжиганию илового осадка очистных сооружений г. Омска с размером частиц <5 мм в кипящем слое катализатора на экспериментальной установке ЭТКО ОСВ 2,0. Дополнительно определялся класс опасности образующейся золы, содержание ртути и токсичность отходящих газов в диоксиновом эквиваленте (диоксиновый эквивалент – ДЭ – суммарная концентрация диоксинов в пересчете на наиболее токсичный 2,3,7,8- тетрахлордibenзодиоксин).

Таблица 3. Результаты по сжиганию илового осадка очистных сооружений г. Омска с размером частиц &lt;5 мм в кипящем слое катализатора на экспериментальной установке ЭТКО ОСВ 2,0

Т, °С	Запыленность газа после циклона, г/м <sup>3</sup>	Запыленность после слоя катализатора	CO, ppm	SO <sub>2</sub> , ppm	Степень выгорания	Содержание ртути, мг/кг	Токсичность в ДЭ, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности золы
750	7.9	39.6	296	0	99.6	< 0,1	41.1*10 <sup>-9</sup>	IV
ПДВ							10 <sup>-7</sup> *	

\*-нормативы ЕС по выбросам

Из результатов проведенных исследований видно, что при сжигании иловых осадков сохраняется высокая степень выгорания (99,6%). При этом, содержание вредных веществ в выбросах не превышает предельно допустимых значений, образующаяся зола соответствует IV классу опасности (малоопасные вещества), а токсичность выбросов в ДЭ почти в 2.5 раза ниже предельно допустимого значения, принятого в Евросоюзе, что показывает высокую экологическую чистоту процесса сжигания иловых остатков сточных вод в кипящем слое катализатора.

На основании проведенных исследований и полученных результатов, была проведена работа по проектированию специализированного комплекса утилизации иловых осадков очистных сооружений на основе технологии низкотемпературного сжигания в кипящем слое катализатора глубокого окисления для ОАО «Омскводоканал». Тепловая мощность спроектированного комплекса составляет 4 МВт.

Также были сделаны специальные экологические и государственные экспертизы на проектируемые установки.

### Выводы

В целом можно сказать, что существующие методы утилизации иловых осадков не являются эффективными в силу сложного физико-химического состава осадка и ограничений, накладываемых самими методами. Применение технологии термокаталитического сжигания иловых осадков в кипящем слое катализатора позволяет решить большую часть существующих недостатков традиционных способов, благодаря реализации окислительного процесса, другого по своей фундаментальной сути.

Востребованность данной технологии определяется тем, что в России эксплуатируются около 120 очистных сооружений коммунального хозяйства. При ориентации на утилизацию осадков от промышленных объектов, от сельского хозяйства, от пищевой промышленности количество потенциальных потребителей данной технологии увеличивается как минимум до 670 предприятий.

Кроме того, технология имеет экспортный потенциал, поскольку предлагаемые импортные аналоги уступают предлагаемой по техническим, экологическим и стоимостным характеристикам.

В результате работы было показано, что реализация данной технологии позволяет не только утилизировать иловые осадки с высокой эффективностью (более 99%), но и получать тепло, которое можно использовать для локального теплоснабжения. Одним из главных достоинств технологии является экологическая безопасность процесса. Содержание токсичных веществ, в том числе диоксинов, не превышает предельно допустимых значений, а образующаяся при горении осадков зола относится к IV классу опасности веществ.

На основании исследований проведены проектные работы по созданию комплекса по утилизации илового осадка тепловой мощностью 4 МВт для ОАО «Омскводоканал», сделаны экологические и государственные экспертизы.

### Список литературы

1. Латыпова В.З., Селивановская С.Ю, Экологическая химия, 8 (1999) 119.
2. Хакимов Ф.И., Керженцев А.С., Севостьянов С.М.. Рекомендации по утилизации илов городских очистных сооружений. Москва, Госкомэкологии России, 1999].
3. Поляков В.С. //Международный промышленный форум. М.: Н - Новгород, 1999, С. 39 - 44.
4. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М.:Химия, 1990.
5. Яковлев С.В. Первый в России завод по сжиганию осадков сточных вод // ВСТ. – 1997. – № 12. – С. 6.
6. Tydschr. watervoorz en afvalwater behandel // Marvelde I.H.B. (tc), W.G.Lans, E.Verbeek, etc. – 1994. – 27. – № 9. – S. 242-245 (Nether.). 11.
7. Solmaz S. Thermische Entsorgung von Klärsohlämmen // Korrespond. Abwasser. – 1998. – 45. – № 10. – S. 1886-1888, 1890-1899.
8. Кармазинов Ф.В., Пробирский М.Д. Технологический комплекс по обработке и утилизации осадков сточных вод на ЦСА Санкт-Петербурга // ВСТ. – 2001. – № 8. – С. 2-7.
9. Walsh M. J. Sludge handling and disposal – an American perspective // Water Qual. Int. – 1995. – № 2. – P. 20-23.
10. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. М.: Наука, 1986.
11. Симонов А.Д., Языков Н.А. и др. //Химия в интересах устойчивого развития. 1993, Т. 1, № 3, С. 331-335.



**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ПОДДЕРЖКИ  
РОССИЙСКОЙ ВЕТРОИНДУСТРИИ  
PROPOSALS FOR THE LEGAL FRAMEWORK DEVELOPMENT TO SUPPORT  
RUSSIAN WIND INDUSTRY**

**Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И.**

Научно-информационный центр «АТМОГРАФ», Россия, г. Москва

**Nikolaev V.G., Ganaga S.V., Kudryashov Yu.I.**

Research & Information Center «АТМОГРАФ», Moscow, Russia

В докладе дан анализ основных положений принятой в Российской Федерации законодательной базы, призванной обеспечить развитие отечественной ветроэнергетики до 2024 г. Выявлены принципиальные, по мнению авторов, недостатки, обуславливающие недостаточную эффективность принятых правовых мер для развития российской ветроиндустрии. Даны предложения по корректировке принятой законодательной базы по ветроэнергетике, обеспечивающие ее эффективное развитие и использование в России.

В 2013 г. Постановлением ПП 449 [1] и Распоряжением Правительства РФ РП 861 [2] установлены меры и условия поддержки российской ветроэнергетики (РВЭ) на оптовом рынке РФ до 2020 г., основанные на возврате капитальным затратам (КЗ) на ветроэлектрических станциях (ВЭС) за 15-летний период в основном (на 70–80%) ежемесячной оплатой их установленной мощности (по договорам ДПМ) и в меньшей степени (на 20–30%) реализацией выработанной ими электроэнергии (ЭлЭн) по ценам оптового рынка ( $\approx 1$  руб./кВт·ч). Такой поддержке подлежат ВЭС, выигравшие конкурс по двум основным критериям: наименьшим КЗ, не превышающим 65,8 тыс.руб./кВт и увеличенным в 2015 г. до 110 тыс.руб./кВт [], и по выполнению процента локализации производства ВЭС в РФ (табл. 1) [2]. В [2] определены и пределы устанавливаемых мощностей ВЭС по годам (табл. 1), исходя из минимизации дополнительной тарифной нагрузки на потребителей ЭлЭн (не более 2,3% в 2020 г.) при требуемых в [1] для вводимых ВЭС коэффициентах использования номинальной мощности  $K_{иум} = 27\%$ .

За правительством РФ также оставлено право корректировать показатели предельных **КЗ** и объемов и сроков ввода мощностей ВЭС с учетом ежегодного роста тарифов и результатов ежегодных конкурсов, что и было предпринято в законе [3].

Проведенные по принятым в [1, 2] правилам конкурсы и последующий их анализ показали, что принятый правовой механизм недостаточно стимулирует к развитию РВЭ отечественных и зарубежных инвесторов, реальных и потенциальных производителей и конечных потребителей энергии ВЭС. В связи с этим чрезвычайно актуальным является неотложное и существенное повышение эффективности определенного в [1, 2, 3] механизма поддержки российской ветроэнергетики.

Со времени принятия [1, 2] имели место попытки сторонников масштабного развития РВЭ для выработки предложений по повышению эффективности принятого механизма. В основном они касались весьма разноречивых предложений по количественной коррекции его отдельных критериев в части повышения допустимых значений удельных КЗ на ВЭС и изменения показателей локализации. Но в целом большинство предложений по коррекции принятых [1, 2] не затрагивали необходимого, по нашему мнению, изменения его концептуальных основ, без которого даже положительное решение по двум указанным выше вопросам не стимулирует развитие эффективной и масштабной отечественной ветроэнергетики.

Таблица 1. Целевые показатели для российских ВЭС по постановлениям [3 и 4]

Год :	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Итого
Допустимая установленная мощность ВЭС, МВт	100	250	250	500	750	750	1000	3600
Допустимая выработка ЭлЭн ВЭС, ГВт·ч	219	547.5	547.5	1095	1642.5	1642.5	2190	7884
Допустимые капитальные затраты на ВЭС, руб./кВт по [1]	65762	65696	65630	65565	65499	65434	65368	
Допустимые эксплуатационные затраты ВЭС, тыс.руб./МВт/месяц	118	118	118	118	118	118	118	
% производства ВЭС в РФ по [1]	35.0	55.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	
% производства ВЭС в РФ по [3]								

Логика принятого механизма поддержки ВЭС, концептуальная схема которого дана на рис. 1, основана на постулате о высоких (выше, чем традиционных источников) КЗ на ВЭС и, соответственно, себестоимости их ЭлЭн. Согласно этой логике с целью недопущения чрезмерного роста тарифов на ЭлЭн из-за масштабного использования ВЭС в [1, 2] установлены ограничения “сверху” по капитальным и эксплуатационным затратам, а также по их вводимой ежегодной и суммарной мощности до 2024 г.



Рис. 1. Схема принятой правовой поддержки ВЭС по [1] и [2] и ее следствия (выделены темным фоном)

Рис. 2. Предлагаемая и целесообразная для РФ схема правовой поддержки ВЭС и ее следствия (выделены темным фоном)

В допущении об экономической нецелесообразности масштабного использования ВЭС в России, единственным аргументом для Правительства в пользу развития РВЭ является создание рабочих мест через локализацию производства ВЭС в России. Отсюда в [1, 2] введены трудно достижимые требования по темпам локализации производства ВЭС (табл. 1), которые были снижены в 2015 г. Контроль за каждым из требований [1, 2], подготовленных и принятых без должного их технико-экономического обоснования, возложен на разные министерства (за локализацию – на МинПром, за энергетическую

эффективность ВЭС – на МинЭнерго, за экономическую эффективность ВЭС – на МинЭконом), ни одно из которых не отвечает за выполнение требований и целей [1, 2] перед государственной властью в целом.

Предлагаемая коррекция принятого в [1, 2] механизма поддержки ВЭС основана на установленной в [3, 4] возможности совместного решения задач локализации производства ВЭС и выработки ими в значительных для России объемах ЭлЭн с себестоимостью ниже таковой у вновь строящихся электростанций на газе и угле, приводящей к снижению (а не росту !) тарифов на ЭлЭн. Концептуальная схема такого механизма дана на рис. 2.

Основной задачей локализации и внедрения ВЭС в России (как и во всем мире), должно являться повышение экономической эффективности новой отрасли и энергетики страны в целом и, как следствие, ее кадровое обеспечение: создание и наличие сотен тысяч высокотехнологичных рабочих мест.

Условиями успешного решения задач локализации производства ВЭС в России является наличие гарантирующих их сбыт долговременных государственных программ внедрения ВЭС, превышающих инвестиционные циклы производства (10 лет и более), и эффективного законодательства, стимулирующего отечественное производство ВЭС высокого качества, обеспечивающих получение дешевой ЭлЭн.

Уровень российских технологий позволяет освоить производство в России за 2 –3 года большинства элементов ВЭС [5]. Процент локализации ВЭС при современных возможностях трансферта мировых технологий ВЭС даже с учетом известных (до двух лет и более) временных затрат на сертификацию может достичь 75 – 80 % уже к 2020 г.

Согласно опыту передовых в ветроэнергетике стран, наиболее быстрым и экономичным путем организации производства ВЭС в России является либо лицензионное производство, либо перенос на территорию РФ производства наиболее эффективных ВЭУ ведущими мировыми производителями. Последний путь достижения высокого уровня локализации ВЭС представляется наиболее вероятным при наличии эффективного механизма привлечения ведущих мировых технологий ВЭС в Россию.

Согласно [1] при невыполнении целевых показателей локализации производства ВЭС оплата их мощности снижается умножением на штрафной коэффициент  $K_{\text{штраф}} = 0.45$ , приводя к отрицательным значениям чистой приведенной стоимости (NPV) ВЭС.

Согласно анализу [5], Клок представляется целесообразным задавать для каждого года ( $K^N_{\text{лок}}$ ) отдельно (рис. 1, график 3) в соответствии с данными, предложенными в столбце 5 табл. 2, исчисляя значение  $K^N_{\text{лок}}$  для N-го года в формульном виде:

$$K^N_{\text{лок}} = K^0_{\text{лок}} - K^1_{\text{лок}} \cdot \{1 - \text{EXP}[-A \cdot (N - 2015)]\} \quad (1)$$

где N – календарный год первого года оплаты мощности ВЭС по ДПМ, а значения параметров A,  $K^0_{\text{лок}}$  и  $K^1_{\text{лок}}$  должны составлять:  $A \approx 0.33$ ,  $K^0_{\text{лок}} \approx 80 - 85 \%$  и  $K^1_{\text{лок}} \approx 55 \%$ , но могут быть и уточнены с учетом мнения инженерно-технической и производственной общественности.

Выбор в (1) экспоненты обусловлен ее свойствами, обеспечивающими реально возможные и целесообразные, на наш взгляд, темпы локализации, ускоренные в первые 3–4 года и снижающиеся в последующий период (рис. 3, график 2). Экспоненциальная модель позволит производителям наиболее технически совершенных ВЭС (соответственно с более сложным и длительным налаживанием производства) без спешки, связанной с боязнью заполнения российского рынка конкурентами, осваивать производство и подключаться к участию в конкурсах как до, так и после 2020 г.



Рис. 3. Модели локализации ВЭС в РФ  
Клок: 1 – предлагаемая авторами;  
2 – заданные в РП РФ 862-р

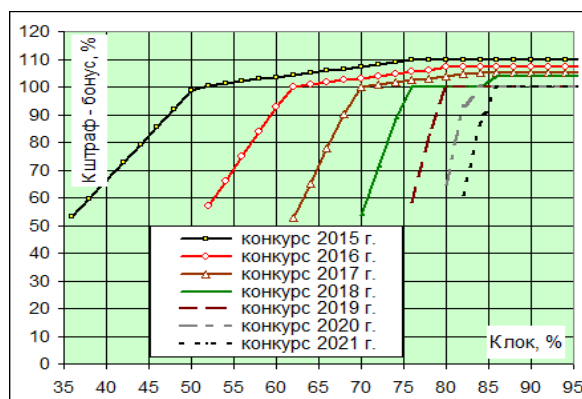


Рис. 4. Модели задания штрафа и премии за невыполнение и превышение степени локализации производства ВЭС в РФ Клок

Риски медленного развития в результате этого российской индустрии ВЭС и непоправимого его засилья импортной техникой, по расчетам авторов, могут быть минимизированы введением штрафов за невыполнение установленного по предложенному авторами алгоритму (1) значения Клок (рис. 2), рассчитываемых с помощью параметра  $R^N$ , задаваемого отдельно для каждого года ввода ВЭС кусочно-линейными функциями, приведенными в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные формулы для определения параметров локализации ВЭС

Расчетная формула	при условии	
$R = 50 \%$	$K_{ЛОК}^R < K_{ЛОК}^{N-1}$	(2)
$R = R^0 \cdot [1 + (K_{ЛОК}^R - K_{ЛОК}^N) / (K_{ЛОК}^N - K_{ЛОК}^{N-1})]$	$K_{ЛОК}^{N-1} < K_{ЛОК}^R < K_{ЛОК}^N$	(3)
$R = R^0 \cdot [2 + (K_{ЛОК}^R - K_{ЛОК}^N) / (K_{ЛОК}^{N+2} - K_{ЛОК}^N)]$	$K_{ЛОК}^R < K_{ЛОК}^{N-1}$	(4)
$R = R^0 \cdot [2 + 0.01 \cdot (K_{ЛОК}^{MAX} - K_{ЛОК}^N) \cdot (K_{ЛОК}^R - K_{ЛОК}^N) / (K_{ЛОК}^{N+2} - K_{ЛОК}^N)]$	$K_{ЛОК}^N < K_{ЛОК}^R < K_{ЛОК}^{N+2}$	(5)

Логика алгоритма расчета  $R^N$  основана на следующих соображениях.

100 % –ную оплату мощности, вводимая в N-м году ВЭС получает лишь при выполнении заданного для этого года по формуле (1) значения  $K_{ЛОК}^N$ .

Алгоритм задания  $R^N$  дает возможность отставания в выполнении  $K_{ЛОК}^N$  (на срок не более года), линейно уменьшая значение  $K_{ШТРАФ}$  до 50 % согласно формуле (3). Так, например, для ВЭС, вводимой в 2016 г. со значением  $K_{ЛОК} = 57\%$  при заданном согласно (1)  $K_{ЛОК}^{2016} = 61.6\%$ , значение  $K_{ШТРАФ}$  согласно (2) принимается равным 79%. То есть мощность такой ВЭС по (2) будет оплачиваться на 79% с соответствующей внутренней нормой доходности ВЭС (IRR), равной по расчетам примерно 14%, что при достаточно высокой энергетической эффективности ВЭС (с  $K_{иум} \geq 30\%$ ) позволяет достичь приемлемой экономической эффективности ВЭС с учетом выручки за ЭлЭн и уменьшить для производителей и инвесторов высокоэффективных (с высоким  $K_{иум}$ ) ВЭС риск потери вложений, реально существующий при сохранении правил, принятых в [2] при  $K_{ШТРАФ} = 45\%$ . При этом за счет неполных (< 100 %) выплат за мощность ВЭС по договорам ДПМ нагрузка на тарифы окажется ниже, чем определенных в [2].

Механизм стимуляции локализации, по нашему мнению, должен предусматривать не только штрафы, но и премии за ускоренное создание производств, что учтено в алгоритме расчета  $K_{ЛОК}^N$  по формуле (1) и  $R^N$  по формуле (5) (рис. 4). Например, для ВЭС<sub>1</sub> и ВЭС<sub>2</sub>, вводимых в 2016 г. с реально достигнутыми значениями  $K_{ЛОК}^N = 68\%$  и

$K_{\text{лок}}^N=75\%$  (при перевыполнении планов локализации соответственно на 1 и 2 года) при расчетных по (1)  $K_{\text{лок}}^{2016}=61.6\%$ , значения  $R_1^N$  и  $R_2^N$  согласно (5) составят 103% и 105%, и мощности таких ВЭС по договорам ДПМ будут оплачиваться на 102.8% и 105%, что может стимулировать инвесторов к превышению заданных темпов локализации (1).

При невыполнении в  $N$ -м году значения  $K_{\text{лок}}^{N-1}$ , заданного по (1) для предыдущего ( $N-1$ )-го года,  $R^N=50\%$  и мощность ВЭС оплачивается на 50% с отрицательной по расчетам внутренней нормой доходности ВЭС, что к 2019 – 2020 годам обеспечит уход с российского рынка ВЭС компаний с локализацией производства ниже 75–80%.

При выполнении требований по локализации, установленных в ПП 449 (табл. 2), IRR проектов ВЭС составляют 20–22%, но при их невыполнении IRR не превышают 7–8%, не оставляя возможностей производства и использования в России ВЭУ зарубежного производства.

Таким образом, предложенные правила локализации обеспечивают возведения в России в 2015–2018 годах ВЭС на базе эффективной ветротехники зарубежного производства, но начиная с 2018–2019 г. снижение IRR проектов таких ВЭС ниже 10%, что обусловит их естественный уход с отечественного рынка.

Данный инструмент контроля и стимулирования локализации производства ВЭС в России, может быть использован и на розничном рынке с применением соответствующих коэффициентов степени локализации по годам (1) и коэффициентов штрафа-бонуса (2–5) не к оплате за мощность, а к тарифу за энергию (электрическую и/или тепловую) объекта, определяемому региональной службой по тарифу.

Если экономическую поддержку ВИЭ осуществлять через тариф, определяемый по топливной составляющей или через субсидии собственнику ВЭС на покупку оборудования, или льготные кредиты, то предлагаемые коэффициенты применяются к топливной составляющей (или к субсидиям или ставкам по кредиту).

Предложенный алгоритм эффективно стимулировал бы, на наш взгляд, иностранных производителей взаимовыгодно переносить производство ВЭУ на территорию России и не препятствовал бы заимствованию отечественной ветроэнергетикой лучших мировых технологий.

При всей актуальности проблемы локализации ВЭС, успех развития ветроэнергетики в России в первую очередь зависит от ее будущей экономической эффективности. И первоочередной задачей корректировки принятых постановлений [1, 2] является принятие поправок, стимулирующих производство на ВЭС ЭлЭн с минимально возможной себестоимостью. Ключ к решению этой задачи состоит в снятии ограничений [1, 2] к использованию более дорогих, но более эффективных ВЭС. Мерилем энергетических и экономических показателей ВЭС (мощности и выработки ЭлЭн, капитальных и эксплуатационных затрат, NPV и себестоимости ЭлЭн), является коэффициент использования их номинальной  $K_{\text{иум}}$  (рис. 5, 6).

Усилия проектировщиков ВЭС во всем мире направлены на достижение максимальных его значений (до 35–40%) за счет использования базовых ВЭУ с большими площадями ветроколес (ВК) и их размещения в местах с высоким ветроэнергетическим потенциалом, растущим с высотой башен ВЭУ. Стоимости ВЭУ, половина которых приходится на лопасти и башни, и КЗ на ВЭС растут пропорциональна площади ВК и высоте башен (рис. 5), или  $K_{\text{иум}}$  ВЭУ. Но выработка ВЭУ при этом растет быстрее, и с ростом  $K_{\text{иум}}$  себестоимость ЭлЭн ВЭС падает (рис. 6).

Документ [3] устанавливает плановые значения  $K_{\text{иум}}=27\%$ , не предусматривает их рост по годам (табл. 1) и, более того, допускает без штрафных экономических санкций снижение  $K_{\text{иум}}$  до 0.75 от плановых 27% (до 20.5% с соответствующим увеличением себестоимости ЭлЭн ВЭС на 33%).  $K_{\text{иум}}=27\%$  противоречит как уровню передовых мировых технологий, нацеленных на  $K_{\text{иум}}$  ВЭС не менее 28%, так и установленному в

[3] уровню  $K_{иум} > 30\%$ , обеспечивающему снижение себестоимости ЭлЭн ВЭС ниже таковой у новых российских ТЭЦ на газе (рис. 7).

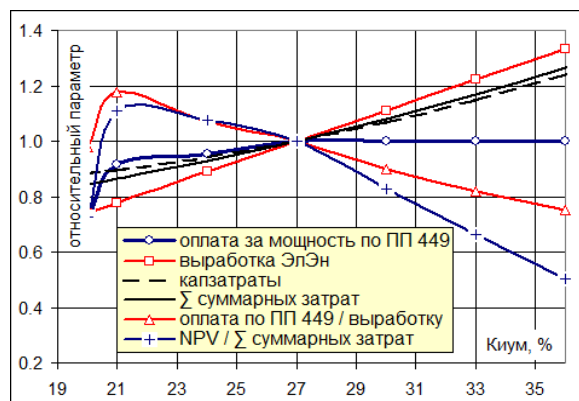


Рис. 5. Зависимость от  $K_{иум}$  экономических показателей ВЭС, отнесенных к их значениям при  $K_{иум} = 27\%$

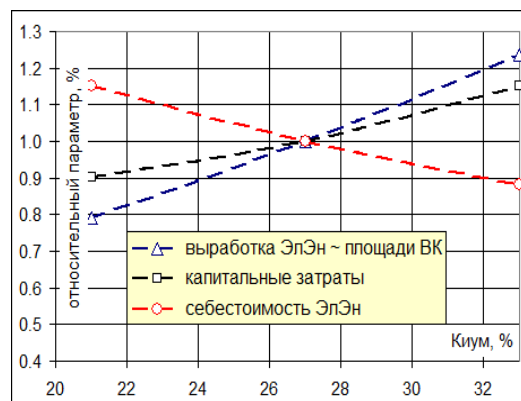


Рис. 6. Зависимость от  $K_{иум}$  характеристик ВЭС на базе ВЭУ FL 80, FL 90 и FL 100, установленных в районе Саратова

При конкурсном отборе ВЭС по минимуму удельных  $KЗ$  выиграют конкурс ВЭС на базе дешевых, энергетически неэффективных ВЭУ (с малой выработкой и, значит, с высокой себестоимостью ЭлЭн), либо на базе ВЭУ, бывших в употреблении. Последний вариант препятствует развитию РВЭ, а первый губителен для широкомасштабного использования ВЭС, поскольку полностью подтверждает ложный тезис об их экономической неэффективности.

Таким образом, заданные в [1] предельные  $KЗ$  на ВЭС и фиксированный  $K_{иум}=27\%$  являются объективным препятствием для вполне возможного снижения себестоимости ЭлЭн ВЭС ниже уровня ТЭЦ.

Устранить данное противоречие могла бы замена критерия конкурсного отбора на более эффективный, стимулирующий использование ВЭС с максимальным  $K_{иум}$ :  $K_x = KЗ / K_{иум}^x$  – отношение заявляемых на конкурс величин капзатрат  $KЗ$  и  $K_{иум}^x$ , определяемого в ходе проектных изысканий (рис. 8). При этом в конкурсе побеждают ВЭС с минимальной себестоимостью ЭлЭн, которая при достаточно малых значениях параметра  $K_x$  окажется ниже себестоимости ЭлЭн ТЭЦ (рис. 7) и, таким образом, приводит не к росту, а к сдерживанию тарифов на ЭлЭн и, соответственно, к пересмотру масштабов использования ВЭС.

Опасность умышленного занижения параметра  $K_x$  участниками конкурса за счет завышения  $K_{иум}^x$  к его реальному значению, легко устраняется умножением доли оплаты мощности ВЭС на коэффициент  $K_{yi} = K_{иум}^x / K_{иум}^p$ , равный отношению заявленного на конкурс  $K_{иум}^x$  к реальному  $K_{иум}^p$  (определенного по счетчику ЭлЭн) к  $K_{иум}^x$  (рис. 8). А соблазн завышения на конкурсе  $KЗ$  на ВЭС (для завышения  $K_{иум}^x$  и оплаты за мощность) ограничивается перспективой проигрыша в конкурсе.

Средняя себестоимость ЭлЭн ВЭС при использовании правил [3] с критерием отбора  $K_x$  окажется на 30–35% ниже (при увеличении объемов производства ЭлЭн ВЭС на 15% и более по сравнению с заданными в табл. 1), а рентабельность проектов ВЭС при этом окажется ниже на 15–20%, чем по заданному в [2].

Приведенные данные, по нашему мнению, дают достаточные основания для пересмотра экономического эффекта от использования ВЭС в объемах, определенных в [2] в целом и, в том числе, прогноза авторов [1, 2] о росте тарифов на ЭлЭн на 2.3% при внедрении ВЭС в указанных объемах.



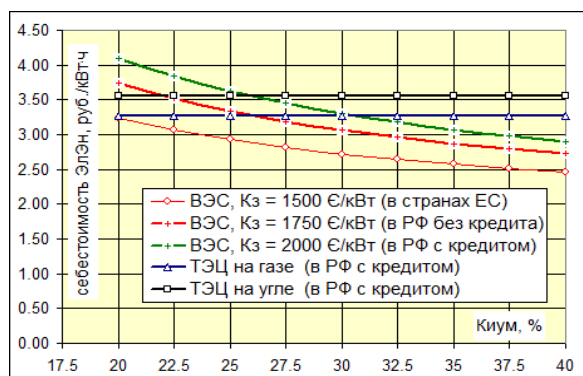


Рис. 7. Сравнение себестоимости ЭЭ ВЭС и ТЭЦ при разных капзатратах

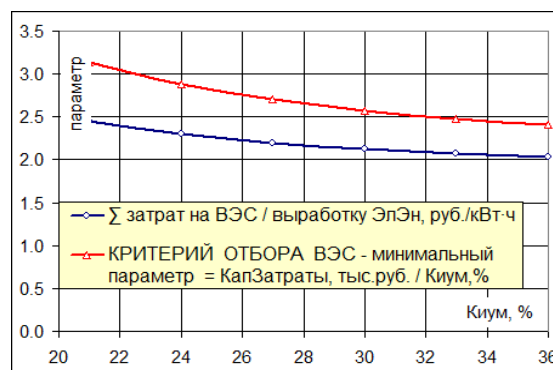


Рис. 8. Предлагаемый критерий  $K_x$  для конкурсного отбора ВЭС

Препятствием для эффективного использования ВЭС является установленный в [1] возврат инвестиций в ВЭС за 15 лет, далее доход ВЭС обеспечивается только выручкой за ЭлЭн по ценам оптового рынка, сравнимым с эксплуатационными затратами. Отсутствие прибыли после 15 лет подтолкнет владельцев ВЭС к экономии на их эксплуатации с существенным занижением ресурса, или преждевременному выведению ВЭС из эксплуатации с заменой на новые, что обусловит излишний рост себестоимости их ЭлЭн. Контрмерой этого является продление периода окупаемости до 20 лет.

Упущением является отсутствие в [1] учета сейсмического и климатического районирования при определении капитальных затрат на ВЭС. По нашему мнению, в [2] должны быть введены коэффициенты сейсмического влияния ( $K_{\text{сейсмо}} = 1 \div 1.13$ ) и климатических зон ( $K_{\text{климат}} = 1 \div 1.3$ ), установленные для ТЭЦ в ПП РФ 238.

**Вывод:** без предложенной выше качественной коррекции правового механизма для ВЭС, заданного в РП 861 и ПП 449, развитие и создание эффективной и широкомасштабной ветроэнергетики в России вряд ли осуществимо.

### Список литературы

1. Постановление Правительства РФ № 449 от 28.05.2013 “О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на оптовом рынке электрической энергии и мощности”
2. Распоряжение Правительства РФ № 861-р от 28.05.2013 “Об утверждении изменений, вносимых в Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года”
3. Николаев В.В. О повышении эффективности механизма поддержки российской ветроэнергетики [Текст] / Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В. и др. // Энергетик. – 2014. – № 9. – С. 13 – 18.
4. Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.В., Николаев В.Г. К решению проблемы локализации в российской ветроэнергетике. // Энергетик. – 2015. – № 8. – С. 16 - 20.

## ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ ELECTROCATALYSTS FOR LOW TEMPERATURE FUEL CELLS: PROBLEMS AND SOLUTIONS

**Гутерман В.**

Химический факультет, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

**Guterman V.**

Chemistry Faculty, Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russia

*gut57@mail.ru*

Supported platinum catalysts show the best functional characteristics in low temperature hydrogen-air and direct methanol fuel cells (LTFC). The fear of the exhaustion of platinum reserves is not correct because it don't take into account the possibility of Pt recycling from LTFC. Mass activity and stability (durability) are the most important characteristics of the electrocatalyst. The problem, however, is that the requirements to the morphology of supported platinum or its alloys, which are widely used in the Pt/C and Pt-M/C electrocatalysts, are opposite in terms of achieving of high activity and high stability. Accordingly, the researchers face challenges: i) to develop a platinum-catalysts with higher activity and stability than that of counterparts; ii) be able to find the optimum ratio of the activity and stability of catalysts in the selection of samples for LTFC; iii) reduce the precious metal content in the catalyst layers of LTFC.

The report discusses the main directions and results of the world's research on the optimization of the composition and hierarchically organized structures of platinum electrocatalysts for LTFC. Recent results of the research center "Physics and Chemistry of functional and nanostructured inorganic materials" in Southern Federal University ([www.nanolab.sfedu.ru](http://www.nanolab.sfedu.ru)), dedicated to the problems of obtaining electrocatalysts with optimal activity and stability, are presented too.

It is shown that electrocatalysts based on nanoparticles with core-shell architecture are promising in terms of the combination of high stability and activity. New approaches to the synthesis of platinum electrocatalysts to significantly improve their morphology, and as a consequence, increase the activity in the oxygen electroreduction reaction and stability during operation, have been developed.

The authors express their gratitude to the Russian Scientific Foundation (grant 16-19-10115), Russian Foundation for Basic Researches (grants 14-29-04041, 14-03-91167, 16-38-80061, 16-38-60112, *etc.*) and Southern Federal University (grant 213.01.-07.2014/10PChVG), which have supported their researches.

Keywords: fuel cell, electrocatalyst, platinum nanoparticles, core - shell nanoparticles, oxygen electroreduction

### Введение

Нанесенные платиновые катализаторы демонстрируют наиболее высокие функциональные характеристики в низкотемпературных водородо-воздушных и метанольных топливных элементах (НТЭ). Бесплатиновые катализаторы пока значительно уступают им как по активности, так и по стабильности и не используются в коммерческом производстве НТЭ. Опасение об исчерпании запасов платины, на наш взгляд, не корректно, поскольку не принимает во внимание возможность её переработки по исчерпанию ресурса НТЭ.

Микроструктура Pt/C электрокатализаторов в значительной степени определяет их стабильность и активность в реакции электровосстановления кислорода (РВК). Чем меньше размер Pt-наночастиц, тем больше электрохимически активная площадь поверхности катализатора (ЭХАП) и, как правило, тем больше его масс-активность в протекающих в НТЭ реакциях [1]. С другой стороны, срок службы катализаторов, при прочих равных условиях, тем больше, чем больше размер наночастиц платины [2]. Последнее связано с зависимостью термодинамических характеристик наночастиц от их размера. Противоположный характер зависимостей активности и стабильности Pt/C электрокатализаторов от ЭХАП может приводить к ситуации замкнутого круга: при попытке увеличить активность, стабильность электрокатализатора будет уменьшаться. И наоборот. Соответственно, перед исследователями стоят задачи: i) разработать платиносодержащие катализаторы с более высокими стабильностью и активностью, чем у аналогов; ii) уметь находить оптимум соотношения активности и стабильности при выборе образцов катализаторов для НТЭ; iii) снизить содержание драгоценного металла в каталитических слоях НТЭ [1-4].



Основные подходы к созданию нового поколения эффективных платиносодержащих катализаторов для НТЭ, развиваемые мировым научным сообществом, можно свести к следующим направлениям: поиск новых типов дисперсных материалов-носителей для платины, превосходящих углеродные материалы по стабильности и прочности адгезии наночастиц Pt; оптимизация иерархической структуры Pt/C и Pt<sub>x</sub>M/C композитов на разных уровнях их структурной организации; получение катализаторов на основе платиносодержащих наночастиц с особой структурой (архитектурой), обладающих аномально высокой масс-активностью и/или стабильностью. Серьезным прорывом в этом направлении могут стать работы V.R. Stamenovic с сотр. [5] и Y. Román-Leshkov с сотр. [6]. Исследователи Аргонской национальной лаборатории разработали методику получения пустотных «каркасных» (nanoframes) наночастиц Pt<sub>3</sub>Ni, обладающих высокой активностью в РВК и стабильностью. Фактически наночастицы представляют собой соединенные в каркас ребра нанокристалла, на которых, по мнению авторов [5] преимущественно сосредоточены каталитически активные центры. Профессору Y. Román-Leshkov с сотр. [6] удалось получить электрокатализатор, содержащий наночастицы с архитектурой ядро - Pt-оболочка, ядро которых состоит из карбида вольфрама, стабильного в условиях эксплуатации катализатора. При этом платиновая оболочка была сформирована не посредством нанесения платины на ядра карбида вольфрама извне, а в процессе обработки исходного материала, содержавшего в своем составе соединения платины, вольфрама и углерода.

В Южном федеральном университете работы в области получения и изучения характеристик платиносодержащих электрокатализаторов, перспективных для использования в низкотемпературных топливных элементах, начаты в 2006 году. Позднее были организованы НОЦ «Химия и физика функциональных и наноструктурных материалов для электрохимической энергетики» и лаборатория «Новые материалы для электрохимической энергетики» ([www.nanolab.sfedu.ru](http://www.nanolab.sfedu.ru)), где были сосредоточены исследования по этой тематике. Целями настоящей работы были: разработка методов а) оптимизации размера, размерного и пространственного распределения наночастиц платины по поверхности и в порах частиц углеродного носителя; б) получения электрокатализаторов на основе наночастиц М-ядро – Pt-оболочка, обладающих более высокими масс-активностью в РВК и стабильностью по сравнению с коммерческими Pt/C катализаторами с аналогичным содержанием платины. Для поиска Pt-содержащих систем, сочетающих в себе высокие активность и долговечность важно было понять характер и причины взаимосвязи между стабильностью и активностью в РВК для широкого спектра Pt/C и Pt<sub>x</sub>M/C электрокатализаторов.

### Методические аспекты эксперимента

Pt/C, Pt-Cu/C, Cu@Pt/C и Co@Pt/C электрокатализаторы были получены методами совместного или последовательного химического восстановления и/или гальванического замещения металлов. В качестве материалов сравнения были исследованы коммерческие Pt/C электрокатализаторы. Микроструктура и электрохимические характеристики материалов были исследованы с помощью методов рентгеновской дифракции, рентгенофлуоресцентного анализа, спектроскопии ЭКЗАФС, термогравиметрии, ПЭМ, ЦВА и линейной вольтамперметрии на вращающемся дисковом электроде. Значения ЭХАП были измерены по количеству электричества, затраченному на электродесорбцию атомарного водорода в водородной области ЦВА. Подобные измерения проводились как для катализаторов в состоянии «как получено», так и после каждых 100 циклов в ходе испытания на стабильность. Вольтамперметрические стресстесты на стабильность (100 мВ/с, диапазон потенциалов 0,6 - 1,4 В относительно СВЭ) проводили при комнатной температуре в трехэлектродной ячейке, в 0,1 М растворе HClO<sub>4</sub>, в атмосфере аргона. стабильность электрокатализаторов оценивали по изменению соотношения ЭХАП<sub>к</sub>/ЭХАП<sub>max</sub>, где k - число циклов, проведенных в процессе многократного (1000 циклов) циклирования.

### Результаты

Установлено, что состав атмосферы (воздух, Ar, CO), в которой происходит синтез Pt/C, оказывает влияние на эффективность абсорбции наночастиц Pt микрочастицами углерода и на микроструктуру (размер и степень агрегации наночастиц) катализаторов. Так, изменение

воздушной атмосферы на атмосферу CO в рамках одного из использованных методов синтеза привело к уменьшению среднего размера ( $D_{cp}$ ) наночастиц платины от 1.8 до 1.0 нм (рис. 1) и соответствующему увеличению ЭХАП от 128 до 152 м<sup>2</sup>/г(Pt) .

Показано, что антибатный характер зависимости стабильности и масс-активности нанесенных платиноуглеродных электрокатализаторов от их микроструктуры (морфологии) может обуславливать наличие сильной линейной отрицательной корреляции между этими параметрами для Pt/C и некоторых Pt-M/C электрокатализаторов. Электрокатализаторы на основе биметаллических, в данном случае - платинородных наночастиц с архитектурой медное ядро – платиновая оболочка, могут демонстрировать сочетание более высоких значений масс-активности и стабильности по сравнению с Pt/C катализаторами с аналогичной загрузкой платины. ЭХАП таких катализаторов определяется не столько размером наночастиц, сколько толщиной Pt-оболочки. Особенности состава/структуры core-shell электрокатализаторов обуславливают увеличение их активности и/или стабильности по сравнению с аналогичными по содержанию платины Pt/C образцами. ПЭМ микрофотографии для одного из этих образцов показаны на рисунке 2.

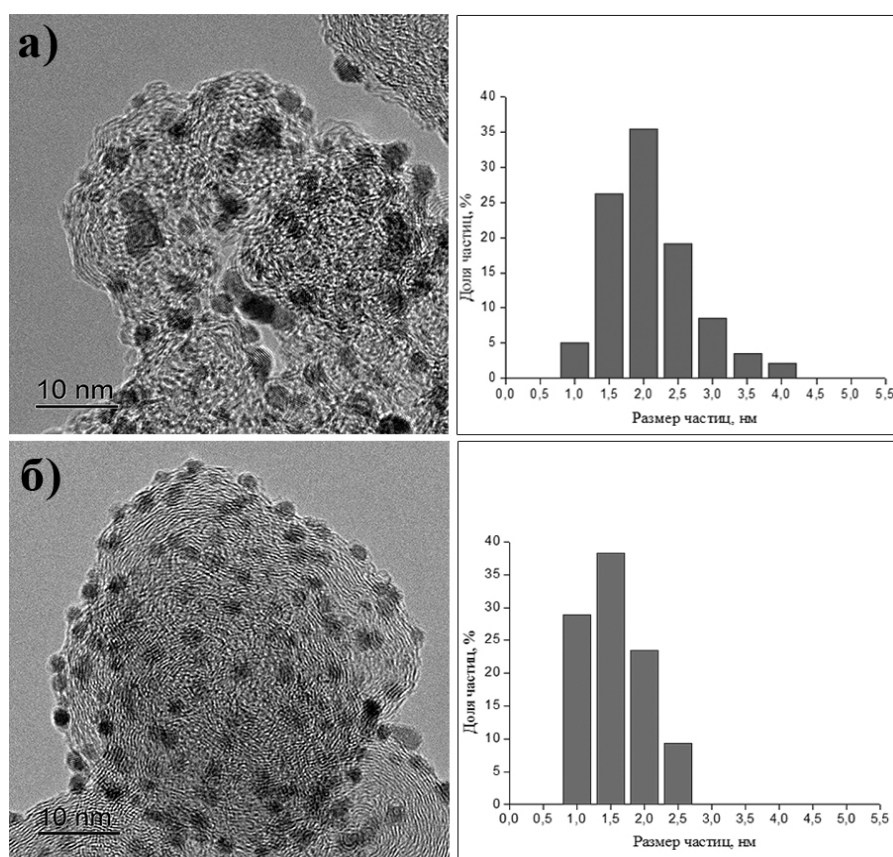


Рисунок 1. Электронно-микроскопические фотографии Pt/C катализаторов синтезированных в атмосферах воздуха (а) и CO (б) и соответствующие гистограммы распределения наночастиц по размерам.

### Выводы

Изменение состава атмосферы при жидкофазном синтезе Pt/C и PtM/C материалов может быть использовано в качестве метода регуляции состава, микроструктуры и, как следствие, электрохимически активной площади поверхности электрокатализаторов. Многообразие возможных вариантов сочетания известных методик синтеза с вышеуказанным дополнительным фактором влияния создает широкое поле для создания высокоэффективных Pt/C электрокатализаторов для низкотемпературных топливных элементов.

Электрокатализаторы на основе наночастиц с нестандартной структурой, в том числе с архитектурой «Pt-оболочка – М-ядро» перспективны с точки зрения сочетания высоких активности и стабильности [4].

Подход, связанный с анализом положения маркеров катализаторов на корреляционных диаграммах, построенных в координатах «масс-активность – стабильность», может быть использован для выбора наиболее перспективных образцов.

Авторы благодарят Российский Научный Фонд (грант 16-19-10115) за финансовую поддержку их исследований.

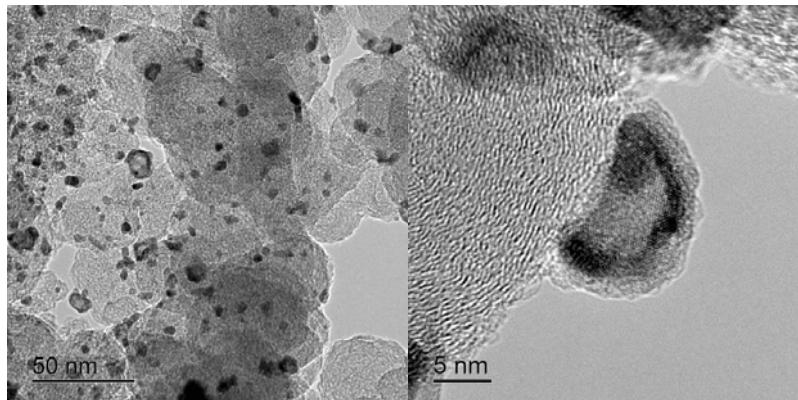


Рисунок 2. ПЭМ микрофотографии Cu@Pt/C электрокатализатора, сочетающего высокую масс-активность и стабильность.

### References

1. A.B. Yaroslavtsev, Y.A. Dobrovolsky, N.S. Shaglaeva, L.A. Frolova, E.V. Gerasimova, E.A. Sanginov. Nanostructured materials for low-temperature fuel cells. *Russ. Chem. Rev.* 2012. V. 81. P. 191-220.
2. Josef C. Meier, Carolina Galeano, Ioannis Katsounaros, Jonathon Witte, Hans J. Bongard, Angel A. Topalov, Claudio Baldizzone, Stefano Mezzavilla, Ferdi Schüth and Karl J. J. Mayrhofer. Design criteria for stable Pt/C fuel cell catalysts. *Beilstein J. Nanotechnol.* 2014. V. 5. P. 44–67.
3. Minna Cao, Dongshuang Wu, and Rong Cao. Recent Advances in the Stabilization of Platinum Electrocatalysts for Fuel-Cell Reactions. *ChemCatChem.* 2014. V. 6. P. 26–45.
4. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cctc.201300647/abstract>
5. S. Cherevko S., N. Kulyk, K.J.J. Mayrhofer. Durability of platinum-based fuel cell electrocatalysts: Dissolution of bulk and nanoscale platinum. *Nano Energy.* 2016. Articles in Press. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211285516300167>
6. Haifeng Lv., Dongguo Li, Dusan Strmcnik, Arvydas P. Paulikas, Nenad M. Markovic, Vojislav R. Stamenkovic. Recent advances in the design of tailored nanomaterials for efficient oxygen reduction reaction. *Nano Energy.* 2016. Articles in Press.
7. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211285516300556>
8. S.T. Hunt, M. Milina, A.C. Alba-Rubio, C.H. Hendon, J.A. Dumesic, Y. Román-Leshkov. Self-assembly of noble metal monolayers on transition metal carbide nanoparticle catalysts. *Science.* 2016. V. 352. i. 6288. P. 974-978.
9. <http://science.sciencemag.org/content/352/6288/974>
10. S. A. Kirakosyan, A. A. Alekseenko, V. E. Guterman, V. A. Volochaev, and N. Yu. Tabachkova. Effect of CO Atmosphere on Morphology and Electrochemically Active Surface Area in the Synthesis of Pt/C and PtAg/C Electrocatalysts. *Nanotechnologies in Russia.* 2016. V. 11. Nos. 5–6. P. 287–296. <http://link.springer.com/article/10.1134/S1995078016030095>
11. V.E. Guterman, S.V. Belenov, A.A. Alekseenko, Rui Lin, N.Yu. Tabachkova, O.I. Safronenko. Activity and stability of Pt/C and Pt-Cu/C electrocatalysts: in search of the harmony. *Applied Catalysis A: General.* 2016. V. 525 (in press).

## ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ, ВОЗМОЖНОСТИ И БАРЬЕРЫ

Гзенгер Ш., Елистратов В.В., Денисов Р.С.  
Всемирная ветроэнергетическая ассоциация WWEA,  
СПбПУ Петра Великого, НОЦ «ВИЭ», Санкт-Петербург, Россия

К февралю 2016 г. установленная мощность ветровых электрических станций (ВЭС) в мире выросла на 17,2% и составила 435 ГВт [1]. Данная динамика является устойчивой в течении последнего десятилетия в мире и показывает высокий интерес к ветроэнергетической отрасли в мире. Движущими силами отрасли являются, как экологические проблемы такие, как изменение глобального климата, так и энергетические проблемы, связанные с запасами, транспортировкой и эксплуатацией топливно-энергетических ресурсов. В последние годы конкурентоспособность ветровой энергетики постоянно увеличивается, однако, продолжает зависеть от рынка и экономической политики в каждой отдельно взятой стране.

В России темпы развития ветровой энергетики на сегодняшний день значительно отстают от мировых. Кроме того, Россия занимает большую территорию, поэтому региональная политика образования тарифов на покупку электроэнергии в европейской и дальневосточной частях страны отличаются друг от друга. Территория России разделена на пять ценовых зон, показанных на рисунке 1 [2]. На большей части территории России электроэнергия поставляется потребителям с оптового рынка. Разделяют ценовые (1, 2) и неценовые (3, 4) зоны оптового рынка. В 5 зоне оптового рынка электроэнергии нет вообще, там существуют лишь разрозненные изолированные энергосистемы. В ценовых зонах оптового рынка поставка электроэнергии промышленным предприятиям ведется по нерегулируемым ценам, за исключением территорий для которых установлены особенности функционирования оптового и розничного рынков (на карте заштриховано). В неценовых зонах конкурентное рыночное ценообразование на данный момент считается невозможным в силу различных причин и поэтому покупка на оптовом рынке осуществляется по регулируемым государством ценам, а значит регулируется и цена поставки конечному потребителю.



Рис. 1 – Ценовые и неценовые зоны России

В 2013 году было принято Постановление Правительства Российской Федерации № 449 от 28 мая 2013 года «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности», согласно

которому вводились требования по механизмам работы с объектами ВИЭ на оптовом рынке электроэнергии и нормы к 2020 году по развитию ВИЭ в стране. После принятия закона вводилось значительное количество поправок, Постановлений, Программ и Распоряжений (около 20 документов), направленных на редактирование нормативных значений, прописанных в 449-ом Постановлении. Согласно Постановлению, определены основные темпы ввода генерирующих мощностей до 2024 года (показаны в таблице 1). Летом 2015 г. принято Распоряжение Правительства РФ, редактирующее основные целевые показатели до 2020 года, однако целевой показатель в 3,6 ГВт до 2024 года считается приоритетной задачей.

Таблица 1. Целевые показатели объемов ввода установленной мощности генерирующих объектов (в МВт)

	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год	Итого
На основе энергии ветра	50	200	400	500	500	500	500	500	399	3600

Летом 2016 года на основе последних поправок были проведены тендеры на плановый отбор проектов по строительству генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе на ветроэнергетику, на оптовом рынке. 610 МВт выиграл РосЭнергоАтом (план ввода мощностей: в 2018 г. – 150 МВт, 2019 г. – 200 МВт, 2020 г. – 360 МВт), 51 МВт - FWT (Калмыкия), 35 МВт - Fortum Fin (Ульяновская область). Что составит около 700 МВт из заявленных 3600 МВт к 2024 г. Так как конкурс проходит на 5 лет вперед, к 2019 году должны быть разыграны более 2 ГВт мощностей. Таким образом, на оставшиеся 8 лет примерно выходит около 300 – 350 МВт вводимых мощностей в год.

При этом путем развития ВИЭ в России принят «путь локализации», который направлен на развитие производства оборудования на территории России, открытие научно-исследовательских центров и инновационного роста отрасли ВИЭ в стране. Целью является выход на создание своего конкурентно способного производства ветроэнергетических установок (ВЭУ) мегаваттного класса. В Распоряжении Правительства от 2015 г. указаны целевые показатели степени локализации до 2024 года (таблица 2), вклад отдельных элементов ВЭУ (таблица 3-4) в общем объеме ВЭУ.

Для инвесторов на начальных этапах степень локализации может стать барьером, так как инвестору приходится искать организации, способные реализовывать проекты с учетом требуемой степени локализации оборудования. Кроме того, высокая степень локализации может привести к сегментированию рынка, от которой будет страдать конкуренция из-за монополии в некоторых связанных отраслях.

Энергоснабжение около 65% территории России составляет автономное электроснабжение («off-grid», зелёным и жёлтым цветами показано на рисунке 2) на основе дизельных электростанций (ДЭС), состоящих из одной или нескольких дизель-генераторных установок (ДГУ). Количество ДГУ, работающих в зонах автономного энергоснабжения на территории России, составляет около 50 тыс. штук суммарной мощностью более 500 тысяч кВт, ДЭС производят около 2,5 млрд кВт·ч, что требует потребления около 1 млн тонн дизельного топлива в год [3]. В ряде регионов имеет место перекрестное субсидирование и не отработаны механизмы покрытия разницы между экономически обусловленным тарифом (от 15 до 150 руб./кВт·ч) и реальным тарифом у населения (2-3 руб./кВт·ч).

Таблица 2. Целевые показатели степени локализации на территории РФ производства основного и вспомогательного оборудования

Объектов, функционирующих на основе энергии ветра	Год	Степень локализации, %
	2016	25
	2017	40
	2018	55
	2019 - 2024	65

Таблица 3. Целевые показатели вклада отдельных элементов в общий объем ВЭУ

Элемент	Лопасть	Система управления поворотом		Ступица в сборе	Редуктор	
		лопастей	гондолы			
Показатель, %	18	3	6	3	10	
Элемент	Генератор	Инвертор	Трансформатор	Система охлаждения	Вал привода	Секции башни
Показатель, %	5	8	4	2	2	13

Таблица 4. Дополнительные показатели по достижению степени локализации

Параметр	Проектирование	Схема выдачи мощности и подключение	Монтажные работы	Оболочка гондолы	Установка арматуры
Показатель, %	7	7	7	2	3

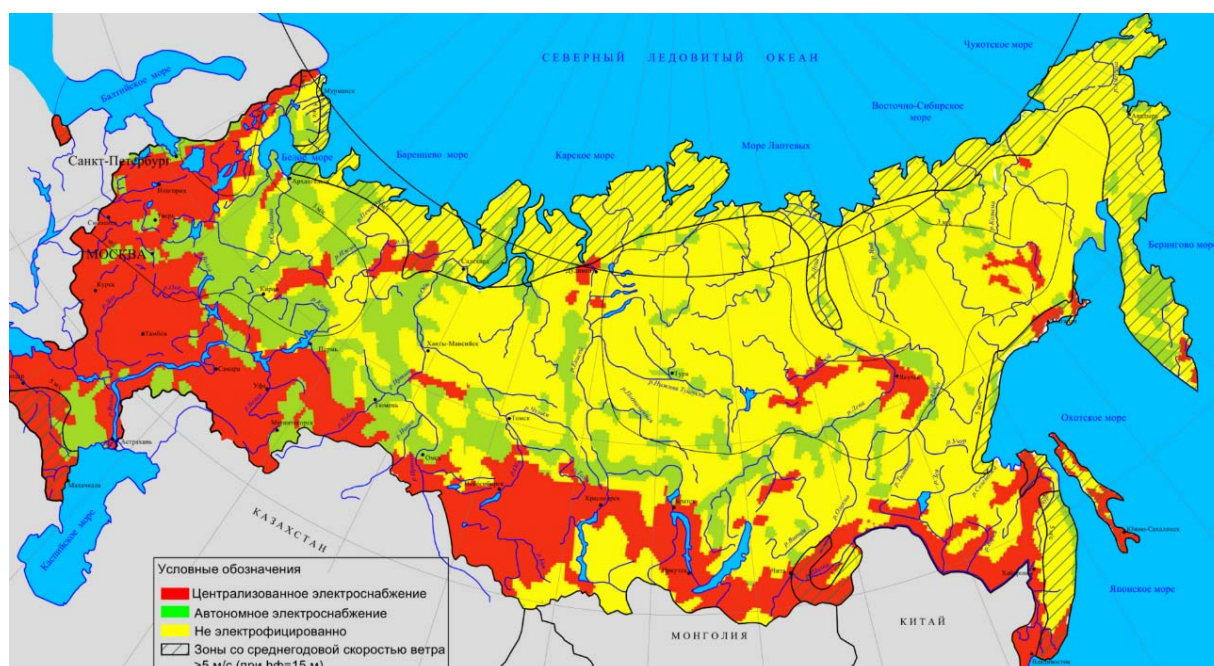


Рис. 2 – Карта энергоснабжения России

По оценкам ученых [3] технический ветропотенциал данных территорий высок, но практически не используется. Изолированные территории в России сейчас имеют



слабую нормативно-правовую базу, что с одной стороны имеет существенный недостаток, но с другой стороны представляет собой особую «нишу», перспективы развития которой в будущем может создать конкурентную среду.

Нормативная база для розничного рынка сетевой зоны на сегодняшний день представляет собой следующие документы:

- Федеральный закон № 261 от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (энергосервисные контракты), согласно которому можно получать прибыль за счет экономии дизельного топлива, однако, не гарантирует получения прибыли в долгосрочной перспективе (15 лет).

- Постановление Правительства РФ № 47 от 23.01.2015 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии на розничных рынках электрической энергии»;

- Приказ Федеральной службы по тарифам от 6 августа 2004 г. № 20-Э «Об утверждении методических указаний по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке».

- Приказ Федеральной антимонопольной службы (ФАС) от 30.09.2015 № 900/15 «Методические указания по установлению цен (тарифов) и (или) предельных (минимальных и (или) максимальных) уровней цен (тарифов) на электрическую энергию (мощность), произведенную на функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированных генерирующих объектах и приобретаемую в целях компенсации потерь в электрических сетях»

На сегодняшний день существующие методики по определению цены на электроэнергию в розничном рынке не подходят к механизму тарифообразования в изолированных зонах, так как не понятен механизм возврата капитала инвестору. Это связано с тем, что изначально фокус нормативно-правовой документации был направлен на оптовый рынок, из-за чего пострадал рынок розничный. Со следующего года в планах НП «Совет Рынка» принять целевые показатели по степени локализации и нормы доходности, сделать привязку к валютной корзине и начать проведение конкурсов по отбору мощностей, а с ними поставить задачу перед ФАС разработать новую методику определения тарифов.

Согласно оценке экспертов, принявших участие в опросе, для местных органов власти, ветроэнергетика – это значительный риск, который может привести к увеличению тарифов в первой и второй ценовых зонах. Невыполнение Распоряжений Правительства в субъектах России наказывается административным штрафом, который не представляет собой значительной суммы. Кроме того, не отработаны системы управления ветровой генерацией. При вводе ВЭС требуется 100% резерва традиционной генерацией [4]. При наличии такой генерации, сетевые компании всегда могут покупать энергию по более низким ценам, при этом ВЭУ будут простаивать.

Кроме того, одним из важнейших препятствий развития ветроэнергетики в России экспертами часто отмечаются логистические и инфраструктурные трудности. При малом числе заводов и производственных мощностей, разбросанных по территории России, доставка лопастей и других частей ВЭУ становится труднопреодолимым барьером и сложной логистической задачей. Транспортировка крана, необходимого для монтажа гондолы ВЭУ на высоту 80 и более метров, так же является проблемой. На сегодняшний день достаточных компетенций в логистике у России нет, особенно в изолированных регионах страны, имеющих слабо развитую инфраструктуру.

Все эти барьеры тщательно анализируются и систематизируются в рамках Проекта «Исследование ветроэнергетического рынка в России», проводимого Всемирной ветроэнергетической ассоциацией (WWEA) в сотрудничестве с Фондом Фридриха Эберта, Российской ассоциацией ветроиндустрии (РАВИ) и Санкт-Петербургским

политехническим университетом Петра Великого. В рамках Проекта предполагается выявить основные факторы, негативно влияющие на ветроэнергетическую отрасль, оценить уровень серьезности данных факторов, предложить участникам рынка варианты их решения и проанализировать перспективы развития ветроэнергетической отрасли. Проект подразумевает широкий охват всех вовлечённых в отрасль участников рынка, которые разделены на четыре основные группы: «Правительство» (МинЭнерго, МинПромТорг, НП «Совет Рынка»), «Частный сектор» (проектные организации, производители оборудования), «Научная часть» и «Финансовый сектор» (банки, инвесторы). Стадии Проекта представлены в таблице 5.

Таблица 5. Стадии Проекта

Стадия анализа	Исследовательская методика	Целевая аудитория
Стадия 1 «Обзор»	- качественный анализ - литературный обзор	- Консультанты - Научная часть
Стадия 2 «Определение барьеров»	- количественный анализ	- Частный сектор - Научная часть
Стадия 3 «Выстраивание политики по их преодолению»	- качественный анализ - количественный анализ	- Правительство - Частный сектор - Финансовый сектор

В основе анализа результатов проекта использован метод триангуляции данных, проведения электронного анкетирования. Полученные ответы обработаны, собраны вместе и в результате экспертной оценки получено заключение о наиболее часто встречающихся трудностях в сфере ветроэнергетики в России как в сетевой ветроэнергетики, так и в изолированных регионах, в частности. На основе полученных данных создан бланк вопросов, на которые получены более развернутые ответы у основных участников рынка.

В докладе представлены первые результаты Проекта «Исследование ветроэнергетического рынка в России». На конференции Reencon-2016 предполагается обсуждение результатов выполнения с заинтересованными и квалифицированными участниками ветроэнергетического сектора и будет подготовлен окончательный отчет. Отчет предполагается передать экспертам Всемирной Ветроэнергетической Ассоциации для анализа и подготовки, с учетом опыта развития мировой ветроэнергетики рекомендаций для иностранных компаний, заинтересованных в реализации ветроэнергетических проектов на территории Российской Федерации.

#### Список литературы

1. Renewable Capacity Statistics 2016 / Отчет IRENA по статистике установленной мощности ВИЭ в мире за 2016 г.
2. Электроэнергетика России: основные показатели функционирования и тенденции развития / Доклад НИУ «ВШЭ». – Москва, 2015 г.
3. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика / В.В. Елистратов. – 3-е изд., доп. – СПб: Изд-во Политехн. Ун-та, 2016. – 424 с.
4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 13109-97 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения"



**ПОТЕНЦИАЛ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КАК ИСТОЧНИКА  
ЭНЕРГИИ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)  
THE POTENTIAL LIVESTOCK COMPLEX AS A SOURCE OF ENERGY (FOR  
EXAMPLE OF THE BELGOROD REGION)**

**Карнаушенко А.**  
МГУ им. М.В. Ломоносова

**Karnaushenko A.**  
MSU of M.V. Lomonosov

*Vasilisa8594@mail.ru*

В статье рассматривается потенциал отходов животноводства как источника энергии, на примере Белгородской области. В связи с появляющимся интересом к альтернативным способам получения энергии, предлагается способ позволяющий по-мимо энергетических задач страны решать экологические вопросы хозяйственной деятельности населения. В работе дается характеристика биомассы и рассчитывается потенциальный полезный выход энергии и вещества от переработки имеющихся отходов животноводства. Также представляется классификация факторов выбора возобновляемых источников энергии, позволяющая сделать наиболее рациональный выбор того или иного вида ВИЭ. Результатом исследования стало обоснование эффективности использования потенциала животноводческих комплексов для формирования биоэнергетики в России.

The article discusses the potential of livestock wastes like a source of energy for example of the Belgorod region. In connection with the emerging interest in alternative method of obtaining energy, we have the method, which can solve ecological questions of economic activity of the population, beside the country energy challenges. This research characterized biomasses, measured potentially useful energy and the substance output from the recycling existing animal wastes. Also the article has the classification of the factors of a choice of renewable energy sources, that provide us information for the rational choice of RES. The substantiation of efficiency using the livestock complex potential's for the organization bioenergy in Russia is the result of the study.

Ключевые слова: Белгородская область, биогаз, ВИЭ, отходы животноводства, факторы выбора ВИЭ  
Keywords: Belgorod region, biogas, renewable energy sources (RES), livestock wastes, factors of a choice of RES.

### **ФАКТОРЫ ВЫБОРА ВИЭ**

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ), а также технологии, обеспечивающие процесс генерации энергии, имеют достаточно широкий диапазон, что позволяет предположить, что с помощью сочетаний тех или иных источников и технологий энергией можно обеспечить любое место на Земле.

В настоящее время в России приоритетное внимание уделяют солнечным и ветровым установкам, опираясь на бóльшую эффективность по сравнению с другими альтернативными способами генерации электроэнергии, а также исходя из повсеместного распространения ресурсов солнечной радиации и ветра. Однако, очевидно, что имеются обстоятельства, способные выдвинуть на приоритетные позиции установки, работающие на других видах топлива.

В целом, выбор возобновляемого источника предлагается формировать исходя из сочетаний следующих факторов:

1. *Природный фактор* – особенности геосистемы, формирующие достаточное количество того или иного возобновляемого источника энергии.
2. *Социально-хозяйственный фактор* – особенности хозяйственной деятельности и потребностей населения.
3. *Политико-экономический фактор* – политическая заинтересованность, экономическая эффективность, рентабельность проектов.
4. *Экологический фактор* – необходимость/опасность использования/неиспользования того или иного возобновляемого источника энергии.

Обычно в обосновании принятия или непринятия проекта ведущую роль играют один или два фактора. Причем чаще других за основу принимается природный фактор, но далеко не всегда это является единственно правильным решением. Учитывая все факторы, рациональный выбор ВИЭ способен не только обеспечить регион энергией, но и дать толчок к развитию социальной, экологической и экономической сфер.

### ОСНОВНЫЕ ВИЭ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Белгородская область расположена в умеренных широтах, где среднегодовая продолжительность солнечного сияния составляет около 2300 часов в год. По данным информационного портала НАСА «Atmospheric science data center» [4] среднегодовое количество приходящей солнечной радиации на горизонтальную поверхность на территории области составляет в среднем 3,1 кВт\*ч/м<sup>2</sup> в день. Если рассмотреть аналогичные показатели в Германии, которая является лидером в установленной мощности солнечных установок, то среднее количество приходящей солнечной радиации здесь равно 2,9 кВт\*ч/м<sup>2</sup> в день. Таким образом, можно сделать вывод, что Белгородская область не уступает мировому лидеру в обеспеченности ресурсом. Этот факт еще раз подтверждает, что использование солнечной энергии в регионе можно считать целесообразным благодаря природным условиям.

Однако рассмотрим остальные факторы. В экономике Белгородской области ведущую роль играют две крупных отрасли – горно-добывающая и сельскохозяйственная. Наличие первой всегда требует больших энергозатрат, вторая же не даёт очевидных ассоциаций, связанных с потреблением энергии. В то же время если рассматривать область с точки зрения экологического фактора, то наличие горно-обогатительных комбинатов (ГОК) поднимает вопрос об отходах данного производства, а сельского хозяйства – об органических отходах и минеральных удобрениях. При этом отходы ГОКов на настоящем этапе развития технологий в контексте ВИЭ, как правило, не рассматриваются, в то время как органические отходы от сельского хозяйства являются ценным сырьем для биоэнергетики. Поэтому при изучении вопроса о выборе ВИЭ сельское хозяйство необходимо рассмотреть подробнее.

В сельском хозяйстве имеется два вида отходов – растениеводства и животноводства. Первые, как правило, находят себе применение в животноводческом секторе в качестве подстилки, кормов и кормовых добавок, поэтому неиспользуемой массы практически не остается. Говоря о свободной биомассе, следует обращать внимание на животноводство.

Стоит отметить, что Белгородская область на 2016 год занимает ведущие позиции в стране по поголовью свинины и птицы, также имеются предприятия по разведению КРС. В связи с этим в регионе образуются миллионы тонн отходов за год, что позволяет говорить о наличии широких возможностей их использования в качестве энергетического ресурса.

### ОТХОДЫ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

Анализируя объемы производства, можно подсчитать, какое количество отходов образуется от поголовья скота и птицы. Учитывая средние показатели массы навоза и помёта с одной головы, рассчитать общую массу можно следующим образом:

*Общая масса = количество голов × масса выхода навоза/помёта с одной головы*

Масса отходов с одной головы скота или птицы варьируется в зависимости от половозрастной структуры и предназначения особи.

На основе статистических данных о структуре поголовья [3] и РД-АПК 1.10.15.02-08. «Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помёта» [2], в котором собраны методические нормы выхода безподстильного навоза и помёта с одной головы, можно

оценить приблизительное количество выхода навоза и помёта (табл. 1). Мелко-рогатый скот не учитывается в подсчетах, так как почти всё поголовье принадлежит домашним хозяйствам, и насчитывает несколько особей на хозяйство, что не позволяет говорить о значительном количестве образовавшихся отходов и значительном ущербе окружающей среде.

Исходя из расчетов получаем, что в течение суток на территории области образуется 16,6 тысяч тонн навоза от свиней, 15,3 тысячи тонн птичьего помета и 7,9 тысяч тонн навоза от КРС, что за год дает около 14,5 миллионов тонн калорийной биомассы.

Таблица 1. Среднесуточная и среднегодовая масса отходов животноводства в Белгородской области

	Количество голов	Экскременты		
		Масса экскрементов, кг/голову/сутки	в том числе	
			Масса экскрементов общая, т/сутки	Твердая фракция
Свиноматки	277 400	11,37	3,12	8,25
		3 154	865	2 289
Свиньи на откорме	2 069 800	5,75	2,36	3,36
		11 901	4 885	6 955
Хряки	2 774	11,1	3,86	7,24
		31	11	20
Поросята	1 627 126	0,97	0,37	0,6
		1 578	602	976
Итого	3 977 100	16 664	6 363	10 301
Птица (курица, индейка, утка)	51 320 200	0,30		
		15 396		
Итого	51 320 200	15 396		
Коровы	93 100	55	35	20
		5 121	3 259	1 862
Остальные	133 600	21	14,13	6,88
		2 806	1 888	919
Итого	226 700	7 927	5 147	2 781
Итого за сутки, т		39 987		
Итого за год, т		14 595 255		

Чтобы оценить энергетический потенциал сырья, необходимо знать соотношение биомассы и получаемой из нее единицы энергии и вещества. Для этого рассмотрим цикл получения конечного продукта: *биомасса – биогаз – энергия и вещество*.

Биогаз – это продукт брожения биомассы. По своим характеристикам он имеет сходства с природным газом (табл. 2) [1], тем самым предоставляя возможность использования его для выработки энергии.

Таблица 2. Сравнение природного газа и биогаза

Компоненты	Природный газ	Биогаз
Метан	85-95%	55-80%
Углекислород	Менее 1%	20-45%
Азот	4-12%	-
Кислород	Менее 0,5 %	-
Водород	-	Менее 1 %
Сероводород	50-100 мг/м <sup>3</sup>	500 – 5000 мг/м <sup>3</sup>
Калорийность	32-35 МДж/ м <sup>3</sup>	20-29 МДж/м <sup>3</sup>

Выход биогаза от одной тонны биомассы зависит от характеристик сырья и варьируется от 30 до 1500 м<sup>3</sup>/тонну.

Учитывая, что средняя калорийность биогаза составляет 24,5 МДж/м<sup>3</sup>, а 1 МДж = 0,278 кВт\*ч, получаем что из одного кубического метра биогаза можно получить 6,8 кВт\*ч электроэнергии. Сопоставляя эти теоретические показатели с характеристиками уже действующих биогазовых станций, было найдено среднее значение, и в итоге посчитан потенциально возможный выход электроэнергии от общей массы отходов животноводства в Белгородской области за год (табл. 3). Получили, что выход составляет около 2 млрд. кВт\*ч/год электроэнергии, что составляет около 14% от необходимой электроэнергии в области и может покрыть энергетические нужды сельского хозяйства.

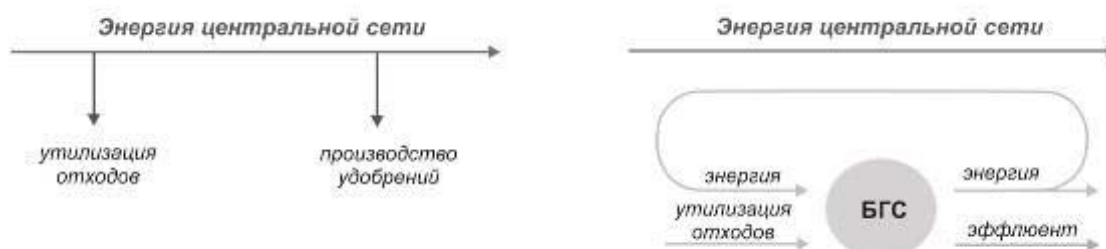
Одновременно с выходом биогаза образуется остаток, который используют в качестве органических удобрений – эффлюента.

Таблица 3. Выход энергии и удобрений (эффлюента) от переработки отходов животноводства на БГС за год

		Навоз свиной	Помёт птичий	Навоз КРС
Выход газа, м <sup>3</sup> на тонну сырья		70	70,5	45
Масса сырья, т/год		6 082 360	5 619 540	2 893 355
Выход от сырья, полученного в течение года	Выход газа, м <sup>3</sup>	425 765 200	396 177 570	130 200 975
	Выход электроэнергии, кВт*ч	979 259 960	911 208 411	299 462 243
	Выход эффлюента, т	5 585 000	5 160 000	2 656 000

Проведенная оценка получения электроэнергии в результате переработки отходов животноводства позволяет сделать выводы об энергоэффективности производства. Складывается следующая ситуация: при работе биогазовой станции наряду с получением энергии происходит утилизация отходов животноводства и производятся органические удобрения. При этом часть выработанной энергии возвращается в производство для обеспечения функционирования станции. Таким образом, станция осуществляет работу по утилизации отходов и производству удобрений, используя собственную энергию. Таким образом, станция не только не потребляет энергию из сети, но даже поставляет ее. Говоря другими словами, станция осуществляет полезную работу,

не используя поставляемую энергию центральной электросети, как это было до внедрения биогазовых станций (рис.1). Такой подход к использованию ресурсов полностью вписывается в концепцию рационального природопользования, предполагающую формирование циклов с минимальными природными затратами для максимального выхода материалов и энергии.



Цикл производства и потребления энергии при отсутствии и наличии БГС

Работа биогазовых установок не только снабжает регион энергией, но и способствует выполнению экологической функции – утилизации отходов и производству органических удобрений. Тем самым формируется ряд дополнительных положительных эффектов помимо прямой функции – выработки энергии.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на первоначально очевидные природные факторы, в Белгородской области имеются и другие перспективные направления развития альтернативной энергетики. Такими являются биогазовые станции на базе животноводческих комплексов, позволяющие развивать биоэнергетический комплекс в России. На примере Белгородской области был показан их положительный эффект, который может быть распространен на территории с аналогичными хозяйственными условиями.

### Список литературы

1. E.G. Savel'ev, *Bioplivo – jeffektivnyj istochnik jenergii, Teplofizicheskie osnovy jenergeticheskij tehnologij: sb. nauch. tr.* – Tomsk, 2010. – S. 281-284. ПД-RD-APK
2. 1.10.15.02-08. *Metodicheskie rekomendacii po tehnologicheskomu proektirovaniju sistem udalenija i podgotovki k ispol'zovaniju navoza i pometa.* – Vzamen NTP 17-99\*; Vved. 01.10.2008. – 51 s.
3. *Departament agropromyshlennogo kompleksa Belgorodskoj oblasti.* [Online]. Belgorod, 2010-2016. URL: <http://belapk.ru/zhivotnovodstvo/>. (Data obrashhenija 20.02.2016)
4. *Atmospheric science data center* [Online]. 2016. URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov> (Дата обращения 11.2015)

**РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ИННОВАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ  
СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ВИЭ  
POWER ELECTRONICS INNOVATIVE DESIGNS FOR ENERGY SYSTEMS WITH  
RENEWABLE SOURCES**

**Мелешин В.И.**  
ЗАО «Электро СИ», Москва

**Meleshin V.**

*meleshin@sipower.ru*

Энергосистемы с ВИЭ обязаны включать в себя различные устройства силовой электроники (СЭ), которые являются ключевыми компонентами этих систем. Без устройств СЭ, которые являются преимущественно преобразователями электрической энергии в электрическую, невозможна работа любой энергосистемы – на основе солнечной энергии, ветра или гибридной. Не случайно СЭ занимает ведущие позиции не только в системах с ВИЭ, но и во многих отраслях промышленности. Бытует утверждение, что страна с развитой СЭ располагает возможностями воздействия на уровень жизни людей и имеет возможности для ускоренного экономического развития.

К сожалению, многие устройства преобразовательной техники не разрабатываются и не производятся в России, что замедляет развитие энергосистем с ВИЭ. Однако на предприятии, где работает автор доклада, выпускается серийно большой спектр преобразователей различного назначения: инверторы однофазные и трехфазные, конверторы, зарядные устройства и многое другое. Они выполняются с микропроцессорными системами управления, позволяющими не только регулировать требуемые параметры, но и обеспечивать диагностику поведения преобразователя, связь с «внешним миром» на основе различных интерфейсов. В докладе рассматриваются некоторые примеры разработанных преобразователей, которые выполняются с учетом последних достижений техники и технологий и являются действительно инновационными. За последние годы предприятием получено большое число патентов на изобретение РФ, имеется большое число публикаций в трудах зарубежных конференций по СЭ.

Часто появляется вопрос: локализовать производство зарубежных устройств и систем или трудиться над созданием собственных разработок. В докладе на него даются обоснованные соображения.

Keywords: inverters, converters DC-DC, three-level boost and buck converters, solid-state transformer, localization

Энергосистемы с ВИЭ обязаны включать в себя различные устройства силовой электроники (СЭ), которые являются ключевыми компонентами этих систем. Без устройств СЭ, которые являются преимущественно преобразователями электрической энергии в электрическую, невозможна работа любой энергосистемы – на основе солнечной энергии, ветра или гибридной. Не случайно СЭ занимает ведущие позиции не только в системах с ВИЭ, но и во многих отраслях промышленности. Бытует утверждение, что страна с развитой СЭ располагает возможностями воздействия на уровень жизни людей и имеет возможности для ускоренного экономического развития.

Схема распределенной системы электроснабжения показана на слайде 1. Центральное место на слайде занимает одно из новых устройств СЭ для ВИЭ – твердотельный трансформатор (solid-state transformer – SST), являющийся по существу полупроводниковым преобразователем большой мощности. Занимается ли кто-либо разработкой и производством SST в России? Мы попробовали поработать с крупной китайской компанией, задание было создать SST мощностью 1МВт, входное напряжение 35кВ. Затем заказчики снизили входное напряжение до 10кВ. Но, в конце концов, сделка не состоялась, китайские товарищи посчитали, что стоимость изделия будет для них чрезмерно большой. По правде говоря, цену мы завысили, понимая, что работа предстоит значительная и все наши ресурсы будут вложены в нее. Тем не менее, если представится возможность, мы с удовольствием рассмотрим предложения о проектировании SST.

Существуют несколько типов устройств СЭ, которые востребованы в системах с ВИЭ. К ним относятся инверторы одно- и трехфазные, преобразователи DC-DC понижающие и повышающие, зарядные устройства, преобразователи DC-DC с гальванической развязкой.

В ЗАО «Электро СИ» разработаны и успешно эксплуатируются у заказчиков несколько типов преобразователей, которые вполне могут быть применены в системах с ВИЭ.

- Высоковольтный преобразователь, работающий от входного напряжения 2,2 ... 4кВ, на выходе низкое напряжение (600В), слайд 2. Выходная мощность 90кВт. Здесь применены современные решения как в 1-й, так и во 2-й ступенях. Первая ступень – повышающая, схема называется Tree-Level Boost Converter (TLBC), у нее несколько существенных преимуществ. Во второй ступени применен синусный резонансный преобразователь, тоже весьма прогрессивное решение, обеспечивающее малые потери на переключение. Выход (600В) может быть использован для питания инверторов или каких-то других целей.
- DC-DC понижающий преобразователь (Three-Level Buck Converter TLBuckC), обеспечивающий снижение входного высокого напряжения (несколько киловольт) до низкого (сотни вольт), показан на слайде 3. Достоинствами являются меньшие размеры устройства из-за возможности работать на высоких частотах переключения, низкие напряжения на запертых ключах и диодах по сравнению с традиционной схемой. Мощность на выходе может быть достигнута очень большая.
- Комбинированный двунаправленный DC-DC преобразователь, работающий в широком диапазоне входных и выходных напряжений, показан на слайде 4. Преобразователь обладает новизной решения и может использоваться в различных приложениях.
- Трехфазный инвертор, имеющий существенные отличия от устройств, предлагаемых на рынке, к настоящему времени разработан на предприятии. Прежде всего, следует сказать, что в России очень мало выпускается трехфазных инверторов, которые можно было бы использовать в распределенных системах с ВИЭ. Предлагаются инверторы на основе объединения трех однофазных с развязывающим низкочастотным трансформатором. И то и другое является существенным недостатком. На предприятии готов к выходу разработанный трехфазный инвертор, в котором имеются следующие особенности:
  1. Обеспечение нулевого провода на выходе.
  2. Работа в очень широком диапазоне входных напряжений (кратность изменения до трех).
  3. Работа с несимметричными нагрузками в фазах, вплоть до обрыва фаз.
  4. Работа с нелинейными нагрузками – однофазными, однофазными с удвоителями напряжения, трехфазными выпрямителями.
  5. Способность работать с несимметричными и нелинейными нагрузками означает, что сохраняется форма фазных напряжений, сводятся к минимуму присутствие обратной последовательности напряжения и появление высших гармоник (5-й, 7-й, 11-й и более высоких). На слайде 5 показаны кривые фазных напряжений, полученные при следующих условиях: фазные нагрузки 500; 50; 1064 Ом, линейные по 1к, кроме того, включена нелинейная нагрузка ( 3 выпрямителя с удвоением в каждой фазе), общая мощность нелинейной нагрузки 1кВт. THD = 6,72%; 5-я гармоника – 1,87%; 7-я – 1,37%; 11-я – 0,92%, остальные на порядок меньше. На слайде 6 показано подключение инвертора, работающего с линейной несимметричной нагрузкой к нелинейной нагрузке. Время переходного процесса составляет около 20 мс.

6. Возможность параллельной работы нескольких инверторов, параллельная работа с сетью. Это достигается применением droop метода, при котором происходит регулирование как активной, так и реактивной мощности каждого инвертора.

О локализации изделий силовой электроники для систем с ВИЭ.

Известно, что локализация подразумевает создание предприятий в России, создание новых рабочих мест, освоение в стране новых технологий. Всё это должно благотворно отразиться на экономике страны, способствовать росту данной отрасли, а созданные в результате локализации предприятия должны служить флагманами развития. А что происходит на самом деле? Локализация по факту означает, что закупается зарубежная технология, фирма-изготовитель поставляет в страну систему или устройство целиком и предполагается, что в России будет налажено их производство. Что касается устройств силовой электроники, до полного производства в России закупленного за рубежом изделия дело может и не дойти. Производится только сборка узлов, произведенных за рубежом. Отрицательные последствия такого подхода очевидны:

- Инженерам-разработчикам не нужно напрягаться создавать новое изделие, а ведь такой инженер изначально нацелен на создание нового продукта; конечно reverse engineering никто не отменял и почти на всех зарубежных фирмах изучаются достижения компаний-конкурентов, но при этом обязательно создается свое, при этом фирма старается в своем изделии создать что-то новое, опередить конкурентов. В случае с локализацией это не так.
- Получив локализацию, российская компания начинает вытеснять с рынка других производителей устройств силовой электроники, зачастую используя административный ресурс. Способствует ли это развитию отечественных предприятий, занимающихся разработкой и производством устройств и систем силовой электроники? Очевидно, нет.
- Эксплуатация локализованных изделий сопряжена с дополнительными сложностями; при возникновении неисправностей приходится обращаться к зарубежной фирме-изготовителю, а ей, в свою очередь, нужно вникать в то, что произошло, найти техническое решение, возможно, изготовить новые узлы или детали, и на все это может уйти значительное время.
- Пожалуй, самый неприятный пункт, это снижение количества и качества отечественных разработок, именно вследствие локализации. Уже давно в России инженеры-разработчики стали «реликтовым слоем». Те, кто, сталкивались с проблемой поиска квалифицированных кадров, хорошо знают, что это такое.
- Уменьшение числа инженеров-разработчиков ведет к дополнительным отрицательным последствиям. Имеется ввиду высшая школа. Если на отечественных предприятиях сокращается число новых разработок, уменьшается число разработчиков, теряются приоритеты в том смысле, а что же нужно производить предприятию, и неизвестно, где находятся перспективные изделия – всё это напрямую связано с деградацией наших университетов, сокращением направлений исследований, сокращением и качественным ухудшением состояния лабораторий. Все это имеет весьма пагубные последствия в перспективе для страны. Сегодняшняя выгода для некоторых компаний и руководителей, сделавших упор на локализацию, обернется завтрашними провалами в экономике, включая и СЭ.



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФАСАДНО-  
ИНТЕГРИРОВАННЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ  
ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ  
PARAMETERS EVALUATION OF BUILDING-INTEGRATED PHOTOVOLTAIC  
SYSTEMS IN URBAN DEVELOPMENT**

**Петров В.М., Елистратов В.В.**

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

**Petrov V.M., Elistratov V.V.**

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

В данной работе рассмотрены солнечные фотоэлектрические установки, интегрированные в фасад зданий городской застройки. Поскольку такие системы лишь начинают проектироваться на отечественном рынке и реализуются только пилотные проекты, существует необходимость в создании методической базы указаний, рекомендаций, нормативов и стандартов по проектированию таких установок. В рамках достижения данной цели решена задача разработки алгоритма определения оптимальных параметров установок при различных схемах функционирования: автономное электроснабжение выбранного потребителя; электроснабжение выбранного потребителя с резервированием от сети; электроснабжение здания в режиме энергозамещения. Критерием оптимальности является максимизация экономической эффективности проекта.

Key words: solar energy, photovoltaic, PV, building-integrated photovoltaic, BIPV.

Ключевые слова: солнечная энергетика, фотоэнергетика, фотоэлектрическая установка, фасадно-интегрированная фотоэлектрическая установка.

На фоне динамичного развития солнечной фотоэнергетики одной из основных тенденций в мировых строительной и архитектурной практиках является использования солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ) для частичного обеспечения электроэнергией зданий и сооружений в границах городской застройки [1]. Кроме того, при избытке мощности, СФЭУ могут передавать его в централизованную сеть электроснабжения, реализуя концепцию распределенной энергетики. Особенно актуально применение установок в общественных и административных зданиях, где пик потребления электроэнергии приходится на дневное/вечернее время суток – период максимальной нагрузки на сети.

Выделяют два основных варианта применения фотоэлектрических модулей (ФЭМ) в здании [2]:

- размещение и закрепление ФЭМ поверх ограждающей конструкции здания (building applied photovoltaic system);
- замена частей ограждающих конструкций здания интегрированными ФЭМ (building integrated photovoltaic system).

В 2016 году установленная мощность фасадно-интегрированных солнечных фотоэлектрических установок (ФИСФЭУ) в мире составила 5 ГВт, а согласно прогнозам, к 2020 должна увеличиться втрое. Мощность таких установок составляет 1 -100 кВт, в отдельных случаях достигает 500 кВт [3]. Модули ФИСФЭУ могут быть встроены в:

- кровлю скатной крыши здания;
- плоскую крышу здания в качестве верхнего слоя рулонного материала;
- фасад здания, заменяя элементы вентилируемого фасада или остекления;
- Затеняющие конструкции на фасаде.

Функции фасадно-интегрированных модулей не ограничиваются генерацией электроэнергии, и они полностью компенсируют все строительные функции заменяемого элемента, что позволяет, добиться более высокой экономической эффективности за счет экономии на традиционных строительных материалах. К данным

модулям предъявляются дополнительные требования по механической прочности, надежности, теплоизоляции, звукоизоляции, пожаробезопасности и т. д. Также во многих городах размещение оборудования на лицевом фасаде исторических зданий, изменяющих его внешний вид, запрещено и фасадно-интегрированные ФЭМ – единственный способ повышения энергоэффективности с использованием СФЭУ.

В Санкт-Петербурге это регламентируется законом [4]. К недостаткам относят более высокую стоимость специализированных ФЭМ (2 \$/Вт) по сравнению с традиционными (0,5 \$/Вт) [5] и более низкую эффективность, связанную с невозможностью максимизации выработки ФЭМ, вызванную необходимостью учета архитектурных особенностей интеграции модулей в здание.

Так как ФИСФЭУ лишь начинают проектироваться на отечественном рынке и реализуются только пилотные проекты, существует необходимость в создании методической базы указаний, рекомендаций, нормативов и стандартов по проектированию таких установок. Отсутствие регламентирующих документов и алгоритмов по проектированию и оптимизации работы установок существенно тормозит развитие отрасли. В связи с этим создание такого рода документов должно происходить ускоренными темпами путем адаптации зарубежных стандартов к отечественным условиям.

Общей целью исследования является разработка методики оптимизации параметров ФИСФЭУ. В данной работе решена задача разработки алгоритма определения оптимальных параметров ФИСФЭУ при различных схемах функционирования. Критерием оптимальности является максимизация экономической эффективности проекта. Структурная схема алгоритма определения основных параметров ФИСФЭУ представлена на рисунке 1.

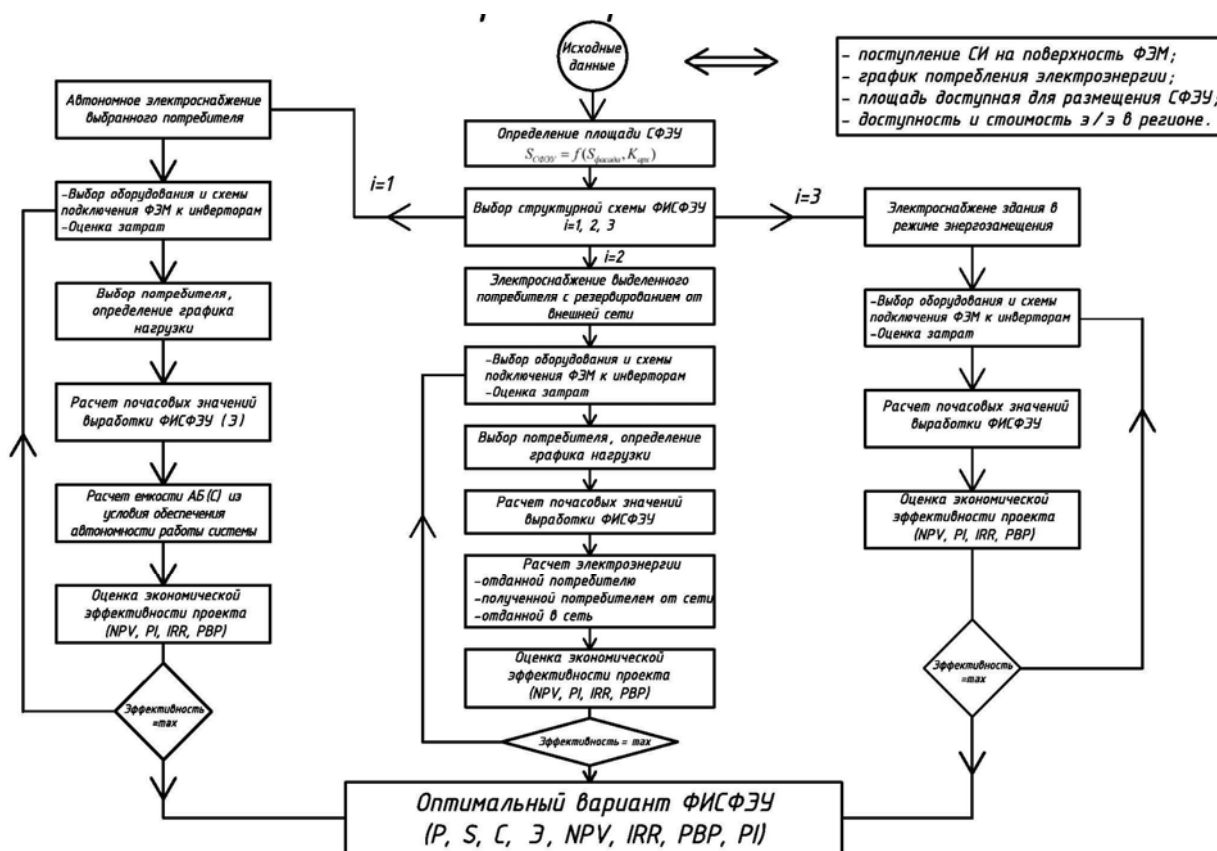


Рисунок 1 – Структурная схема алгоритма определения оптимальных параметров ФИСФЭУ

По схеме функционирования СФЭУ подразделяют на следующие категории:

1) Автономное электроснабжение выбранного потребителя (рис. 2а). При данной схеме СФЭУ состоит из солнечной фотоэлектрической батареи, аккумуляторной батареи (АБ), инвертора, контроллера. Такая система автономно обеспечивает выбранного потребителя, поэтому, в связи с высокой степенью стохастичности процесса поступления солнечного излучения (СИ), для бесперебойной работы необходимы АБ большой ёмкости. Кроме того, для ФИСФЭУ в условиях городской застройки в качестве резервного источника целесообразно использовать городскую сеть, а не дорогостоящие АБ.

2) Электроснабжение выбранного потребителя с резервированием от сети (рис. 2б). В данном случае сеть централизованного электроснабжения здания используется для покрытия недостатка мощности ФЭМ. Дополнительно возможна реализация схемы, в которой при мощности СФЭУ превышающей мощность нагрузки, излишек передается в сеть здания другим потребителям и, возможно далее в городскую сеть, тем самым используя СФЭУ в качестве источника в распределенной сети. В данной схеме нет необходимости приобретения аккумулятора, что существенно может снизить стоимость системы. Также необходимо отметить, что в настоящее время на территории РФ в абсолютном большинстве случаев подключение к сети для передачи в нее мощности невозможно ввиду отсутствия технической базы и соответствующих законодательных актов.

3) Электроснабжение здания в режиме энергозамещения (рис. 2в). В данном случае, отсутствует секционированный потребитель, а вся электроэнергия, вырабатываемая СФЭУ, передается в энергосистему здания и в дальнейшем распределяется между потребителями. Данная схема, как и схема б) взаимодействует с энергосистемой здания и обеспечивает максимально эффективное использование энергии, вырабатываемой СФЭУ и позволяет снизить энергопотребление здания в часы максимальной нагрузки на городскую сеть. Управление всеми элементами системы осуществляется контроллером (автоматизированной системой управления).

Исходными данными для инициализации алгоритма определения оптимальных параметров ФИСФЭУ являются поступление солнечного излучения (СИ) на поверхность ФЭМ, архитектурно-планировочное решение по размещению здания, архитектурные особенности фасада здания, график потребления электроэнергии зданием или выбранным для обеспечения потребителем, доступность и стоимость электроэнергии в регионе. Расчет производится для каждого часа каждого дня года. В расчет введено допущение, что мощность СФЭУ и мощность потребления энергии считается постоянной в течение расчетного часа.

Расчет значений поступления СИ на поверхность ФЭМ является одним из основных при проектировании СФЭУ так как от его точности сильно зависит эффективность работы СФЭУ. Именно в связи с пренебрежением точностью данного расчета во многих случаях, пилотные проекты СФЭУ зачастую оказываются неэффективными, что в целом замедляет развитие отрасли. На данный момент существует большое количество методик для расчета поступления СИ. Работы по созданию аналогичных методик ведутся по всему миру постоянно. В работе [6] представлено разработанное программное обеспечение для расчета почасовых значений прихода СИ на произвольно-ориентированную поверхность ФЭМ в реальных климатических условиях.

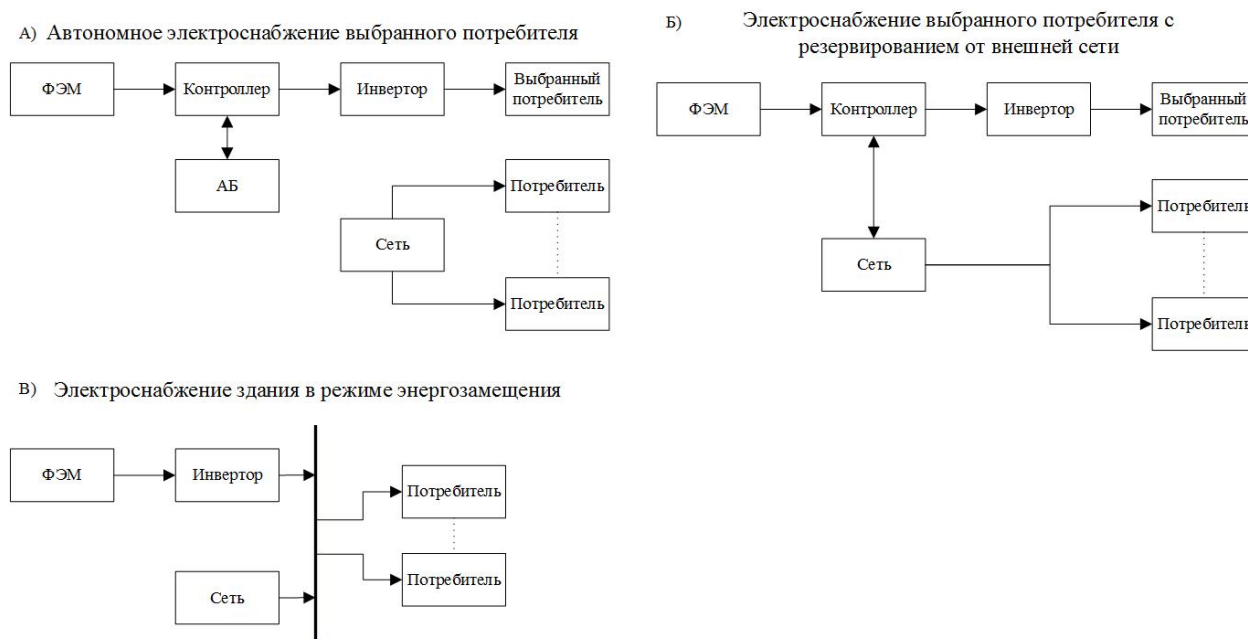


Рисунок 2 – Структурные схемы ФИСФЭУ

В алгоритме определения оптимальных параметров ФИСФЭУ в первую очередь определяется площадь и участки фасада здания, на которую целесообразно произвести установку ФЭМ. Данная площадь является функцией от площади фасада здания и «архитектурного» коэффициента, который определяется следующими факторами:

- особенности прихода СИ на различно-ориентированные поверхности в климатических условиях региона расположения объекта;
- размещение здания на основе архитектурно-планировочного решения
- архитектурные особенностей фасада здания
- нормы естественного освещения помещений [7].

На втором этапе выбирается одна из трех описанных выше схем функционирования ФИСФЭУ и дальнейшие расчеты з

1. Электроснабжения здания в режиме энергозамещения: при первоначальном выборе параметров компонентов системы необходимо рассмотреть вариант базовой конфигурации. Далее производится расчет почасовых значений мощности, выдаваемой системой в течение года. Мощность определяется по формуле 1:

$$W_{\text{CFЭУ}}(t) = E(t) \cdot S_{\text{CFЭУ}} \cdot \eta_{\text{CFЭУ}}(t) \cdot \eta_{\text{инв}}(t), \quad (1)$$

где  $E(t)$  - плотность мощности СИ,  $\eta_{\text{CFЭУ}}$  - КПД ФЭМ, который зависит от плотности мощности СИ и температуры ФЭМ, также определяется в каждый час расчетного периода по семейству вольт-амперных характеристик ФЭМ,  $\eta_{\text{инв}}$  - КПД инвертора, который зависит от мощности, выдаваемой ФИСФЭУ. Далее, в предположении, что мощность, выдаваемая ФИСФЭУ в течении часа, остается постоянной, рассчитывается годовая выработка установки и отношение выработанной энергии к годовому потреблению. Затем производится оценка экономической эффективности проекта, путем расчета таких показателей экономической эффективности, как чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности. Далее задается другой набор оборудования и производится следующая итерация алгоритма. В итоге выбирается наиболее экономически эффективный вариант и рассчитываются его параметры.

2) В схеме с секционированным потребителем сначала аналогичным образом производится предварительный выбор оборудования и расчет годовой выработки

ФИСФЭУ. Далее исходя из равенства вырабатываемой энергии в течение года с учетом потерь на преобразование и передачу (2) и годового потребления выбирается потребитель, которого будет обеспечивать ФИСФЭС.

$$W_{\text{СФЭУ}} - W_{\text{пот}} = W_{\text{номр}} \quad (2)$$

Далее определяются почасовые значения потребляемой мощности, и строится график нагрузки в течение года в предположении, что в течение часа мощность нагрузки не изменяется. На основе сопоставления графиков нагрузки и выработки переменного тока выбирается режим работы системы. В каждый расчетный час вычисляется избыток или недостаток электроэнергии, которая отдается в энергосистему здания или добирается из сети здания соответственно. Затем производится оценка экономической эффективности проекта и проводим все вышеуказанные действия с другим набором оборудования.

3) В случае выбора схемы автономного электроснабжения секционированного потребителя расчет аналогичен предыдущему пункту, с добавлением расчет минимальной емкости АБ системы, которые должны обеспечивать условие автономности работы системы в течение всего года. Текущее значение энергосодержания АБ определяется по формуле 3:

$$W_{\text{АБ}}(t_m, n) = W_0 + \sum_{t=0}^t \delta W_{\text{АБ}}(t), \quad (3)$$

где  $W_0$  – начальное состояние энергосодержания АБ,  $\delta W_{\text{АБ}}(t_m, n)$  – изменение энергосодержания АБ, которое определяется выражением (4):

$$\delta W_{\text{АБ}}(t_m, n) = K_i(t_m, n) \cdot \Delta t_i \cdot P_{\text{АБ}_i}(t_m, n) \quad (4)$$

где  $P_{\text{АБ}}$  – значение текущей мощности АБ,  $\Delta t_i = 1$  час,  $K_i$  – коэффициент. Значения  $P_{\text{АБ}}$  и  $K_i$  вычисляются по формулам 5 и 6 соответственно:

$$P_{\text{АБ}}(t) = (P_{\text{СФЭУ}}(t) - \frac{P_i(t)}{\eta_{\text{инв}}}) \quad (5)$$

$$K_i(t_m, n) = \begin{cases} \eta_{\text{КЗ}} \cdot \eta_{\text{W}}, & P_{\text{АБ}}(t_m, n) > 0, \\ \eta_{\text{инв}} / \eta_{\text{КЗ}}, & P_{\text{АБ}}(t_m, n) \leq 0 \text{ и } P_{\text{СФЭУ}}(t_m, n) \neq 0, \\ 1 / \eta_{\text{КЗ}}, & P_{\text{АБ}}(t_m, n) \leq 0 \text{ и } P_{\text{СФЭУ}}(t_m, n) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

где  $\eta_{\text{инв}}$  – КПД инвертера,  $\eta_{\text{W}}$  – КПД АБ,  $\eta_{\text{КЗ}}$  – КПД контроллера.

Анализ знака  $P_{\text{АБ}}$  позволяет для любого интервала времени определить режим работы АБ (заряд, разряд). Различные типы АБ имеют различную заявленную производителем нормальную зону работы по уровню заряда от 100% до 30% емкости. Исходя из средних характеристик современных в расчете зона работы принимается по уровню заряда от 100% до 40% емкости. После определения мощности накопителя энергии для каждого часа года по формуле 4.3 вычисляется суточное изменение энергии АБ  $\delta W_{\text{АБ}}(t_m, n)$ . В результате расчета получают данные по изменению энергии АБ в течение года, при этом есть ограничение, которое не позволяет энергосодержанию АБ увеличиваться и быть выше принятого начального значения энергосодержания АБ. Таким образом, получаем колебания энергосодержания АБ в течение года, максимальной амплитудой которого является 60 % требуемой емкости АБ, не вызывающей нарушения энергоснабжения потребителей:

В данной работе представлены методика и алгоритм определения оптимальных параметров ФИСФЭУ для трех возможных схем функционирования:

- автономное электроснабжение выбранного потребителя;
- электроснабжение выбранного потребителя с резервированием от сети;
- электроснабжение здания в режиме энергозамещения.

Данный алгоритм является первым шагом в создании отечественных методических указаний по проектированию и оптимизации работы СФЭУ в условиях городской застройки.

#### **Список литературы**

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. Монография. Изд-во «Наука», СПб, изд.2-е доп. 2013. 308 с.
2. V. Elistratov, V. Petrov Active building-integrated solar systems for independent energy supply of buildings // Journal of Applied Engineering Science, 2014, 3(12), p. 233-242.
3. Global Building Integrated Photovoltaics (BIPV) Industry // Global Industry Analysys, 2015
4. Закон Санкт-Петербурга «О границах зон охраны объектов культурного наследия на территории Санкт-Петербурга и режимах использования земель в границах указанных зон и о внесении изменений в Закон Санкт-Петербурга» «О Генеральном плане Санкт-Петербурга и границах зон охраны объектов культурного наследия на территории Санкт-Петербурга»
5. T. James, A. Goodrich Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices // NREL Technical Report, 2014
6. В. Петров, Evaluation of solar radiation income on the surface of building-integrated solar energy systems // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2014, 11(151), с. 85-91.
7. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»

**ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВХОДА ПРЕДПРИЯТИЙ ВИЭ НА РОССИЙСКИЙ  
РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**  
**LEGAL PROBLEMS OF ENTRANCE OF ENTERPRISES OF RENEWABLE  
ENERGY IN THE RUSSIAN ELECTRICITY MARKET**

**Попова Е.Н.**

Университет Лазурного Берега (ранее – Университет Ниццы София Антиполис),  
г. Ницца, Франция

**Popova E.N.**

University Of Côte D'Azur (earlier - University Of Nice Sophia Antipolis)  
Nice, France

*arbitr.popova@gmail.com*

In Russia market of enterprises of renewable energy is located at the origin of its formation, and therefore integrated in the electricity market. For this reason, it is appropriate to speak about the electricity market and the problems of the entrance to this market of the enterprises of renewable energy sources. The competitiveness of these enterprises in the electricity market is low compared with enterprises of traditional energy. Therefore, the state has provided for these companies a mechanism of support their market entry. However, for some companies, this mechanism is ineffective, but for others, this mechanism is not applied at all. For this reason, investment projects of enterprises of renewable energy uneconomic and lead to financial difficulties of these enterprises. In respect of some of them are open bankruptcy proceedings and their activities terminated. In particular this happened with solar power plants of the Republic of Crimea after its entry into Russia. Causes of inefficiency of investment projects are different: economic, political. A priority to eliminate these causes is the development and subsequent practical application of the legal mechanism of prevention of difficulties of enterprises of renewable energy sources (including financial) at the entrance on the market of electric power and further activities and improvement of legal mechanism of restoration of their solvency in the procedure of insolvency (bankruptcy).

Keywords: renewable energy, enterprises of renewable energy, electricity market, wholesale electricity market, retail electricity market, Smart Grid, state support of projects in the field of renewable energy, financial difficulties of enterprises, insolvency, bankruptcy, solar power plants of Crimea, legal problems, improvement of legislation.

В России рынок предприятий возобновляемых источников энергии (ВИЭ) стоит у истоков своего формирования и развития.

Необходимо отметить, что понятие «рынок» – это категория экономическая.

С юридической точки зрения, государство в законодательных актах не дает понимания того, что в России действительно формируется либо сформирован рынок предприятий ВИЭ. Существует лишь понимание того, какие источники относятся к ВИЭ. Так, ряд нормативно-правовых актов закрепляют перечни ВИЭ, основным из которых с точки зрения юридической силы является Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ «Об электроэнергетике» [1].

При этом в законодательстве отсутствует определение термина «ВИЭ», так же как и отсутствует понимание и закрепление в нормативно-правовых актах термина «предприятия ВИЭ», то есть отсутствует субъект правового регулирования. Напротив, в статье 3 Федерального закона «Об электроэнергетике» закреплен термин «субъекты электроэнергетики» и его определение. Из анализа данного определения следует, что к таким субъектам относятся также предприятия ВИЭ. Если законодатель не счел необходимым выделить, предприятия ВИЭ в отдельный субъект и отнес к их субъектам электроэнергетики, то соответственно в правовом понимании рынок предприятий ВИЭ и общественные отношения между его участниками не признаются как отдельный объект правового регулирования.

Таким образом, рынок предприятий ВИЭ интегрирован в рынок электроэнергетики; общественные отношения между участниками этого рынка регулируются по общим правилам рынка электроэнергетики с некоторыми особенностями, в случае использования таким субъектами возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Поэтому,

на наш взгляд, целесообразнее говорить о рынке электроэнергетики и проблемах входа на этот рынок предприятий ВИЭ.

Поскольку в законодательстве отсутствует определение «предприятия ВИЭ», то возникают сложности с пониманием того, каковы критерии отнесения того или иного предприятия электроэнергетики к предприятиям ВИЭ.

Для разрешения указанной проблемы, в ходе своего исследования мы сформулировали и предложили законодательное определение понятия «предприятия ВИЭ». Итак, *предприятия ВИЭ* – это субъекты электроэнергетики в понимании Федерального закона «Об электроэнергетике», владеющие на праве собственности либо ином законном основании генерирующими объектами мощностью от 1 до 50 МВт, использующими для производства электрической, тепловой энергии и мощности возобновляемые источники энергии, расположенные в непосредственной близости от потребителя с возможностью использования систем накопления энергии и технологий Smart Grid.

Таким образом, к предприятиям ВИЭ, на наш взгляд, необходимо отнести предприятия, которые осуществляют производство электрической, тепловой энергии и мощности на основе использования ВИЭ, то есть предприятия, владеющие генерирующими объектами либо совокупностью таких объектов (электростанциями).

С целью формирования законодательного определения предприятий ВИЭ, мы взяли за основу проект терминологического определения понятия «*малая распределенная энергетика*», сформулированный по итогам обсуждений в рамках заседания Экспертного совета Технологической платформы «Малая распределенная энергетика» (от 26.06.2012), заседания Экспертного совета по энергетике (Секции малой энергетике) при Комитете по энергетике Государственной Думы Российской Федерации (от 05.07.2012).

*«Малая распределенная энергетика* – это генерирующие объекты мощностью от 1 до 50 МВт, расположенные в непосредственной близости от потребителя с возможностью использования систем накопления энергии и технологий Smart Grid. К распределенной энергетике относят объекты, использующие технологии когенерационной выработки энергии и возобновляемые источники энергии» [2].

Таким образом, предприятия ВИЭ – это генерирующие объекты малой мощности (от 1 до 50 МВт). Основными критериями относимости являются: 1) функционирование на ВИЭ; 2) малая мощность; 3) непосредственная близость к потребителю.

Вышеуказанные предприятия ВИЭ могут быть субъектами как оптового рынка электроэнергии и мощности, так и розничного рынка в зависимости от их соответствия критериям, предъявляемым законодательством к предприятиям, имеющим намерение получить статус субъекта соответствующего рынка.

К примеру, согласно Правил оптового рынка электрической энергии и мощности [3], для получения статуса субъекта оптового рынка, участника обращения электрической энергии и (или) мощности на оптовом рынке, предъявляются требования о соответствии количественным характеристикам (владение на праве собственности или ином законном основании генерирующим оборудованием, установленная генерирующая мощность которого в каждой предполагаемой группе точек поставки составляет не менее 5 МВт); требования о проведении соответствующих мероприятий технического характера и т.п.

Что касается получения статуса субъекта розничного рынка, то, в соответствии с Основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии [4], такой статус может получить, в том числе, производитель электроэнергии (мощности): а) собственник или иной законный владелец генерирующего объекта, входящего в ЕЭС России, в отношении которого на оптовом рынке не зарегистрированы группы точек поставки и мощность которого составляет менее 25 МВт, равна либо превышает 25 МВт, на которого не распространяется требование законодательства о



реализации электроэнергии (мощности) только на оптовом рынке энергии; б) собственник или иной законный владелец объекта в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах и на территориях, технологически не связанных с ЕЭС России и технологически изолированными территориальными электроэнергетическими системами.

Из вышеуказанного следует, что для входа предприятий ВИЭ на один из вышеуказанных рынков первично они должны соответствовать предъявляемым законодательством критериям и приобрести официальный статус субъекта соответствующего рынка электроэнергетики.

Оптовый рынок является по общему правилу конкурентным - в ценовых зонах, за исключением свободных (неценовых зон) и изолированных территорий, где правила оптового рынка не применяются и конкуренция в принципе невозможна. Розничный рынок электроэнергии также является конкурентным - в ценовых зонах, и регулируемым – в неценовых зонах, а также правила розничного рынка применяются в технологически изолированных территориях.

Соответственно, приобретая статус субъекта оптового или розничного рынка, то есть «входя» на эти рынки, предприятия ВИЭ оказываются по общему правилу в конкурентной среде вместе с иными предприятиями централизованной энергетики, функционирующей на традиционных (органических) видах топлива. Вместе с тем, по причине формирования и развития отрасли возобновляемых источников, конкурентоспособность предприятий ВИЭ невысока. Поэтому государство на законодательном уровне предусмотрело для данных предприятий механизм стимулирования производства электрической энергии на основе использования возобновляемых источников энергии.

Так, Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования ВИЭ на период до 2024 года [5], предусматривают целевые показатели ожидаемых объемов производства электроэнергии на основе ВИЭ, целевые показатели величин объемов ввода установленной мощности генерирующих объектов ВИЭ и иные целевые показатели в данной сфере. Для достижения указанных целевых показателей государством осуществляется политика стимулирования использования ВИЭ в виде разработки и регулярного уточнения Схемы размещения объектов ВИЭ; в виде механизма надбавок для определения цены на электроэнергию, производимую на квалифицированных генерирующих объектах ВИЭ; в виде механизма компенсации величины капитальных затрат, заявленной в отношении генерирующего объекта на конкурсный отбор инвестиционных проектов по строительству генерирующих объектов ВИЭ, и эксплуатационных затрат - при определении цены на мощность генерирующего объекта; в виде механизма обязательной покупки сетевыми организациями заданного объема электроэнергии, произведенной на квалифицированных генерирующих объектах ВИЭ, для компенсации сетевых потерь, и т.п.

Все ли предприятий ВИЭ могут рассчитывать на указанные меры стимулирования?

Необходимо начать с того, что государство поддерживает предприятия ВИЭ только трех видов источников: солнце, ветер, энергия потоков воды. Несмотря на то, что Федеральный закон «Об электроэнергетике» и ряд подзаконных актов официально закрепили перечень ВИЭ, который насчитывает большее количество источников. Тем не менее, государство на данном этапе не заинтересовано в поддержке развития генерации на всех видах ВИЭ.

Итак, только предприятия солнечной, ветровой и гидроэнергетики имеют возможность претендовать на получение государственной поддержки, при условии, что они являются субъектами оптового рынка электроэнергетики. Ведь меры стимулирования распространяются только на предприятия ВИЭ – субъектов оптового

рынка и только на ценовые (конкурентные) зоны (территориально - Европейская часть РФ, Урал, Сибирь). Указанный механизм стимулирования представляет собой стимулирование производства энергии на ВИЭ с помощью рынка мощности и регламентирован Постановлением Правительства РФ от 28 мая 2013 года № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» [6]. Основным моментом данной схемы поддержки мощности является заключение договора о предоставлении мощности, который дает возможности инвесторам в проекты ВИЭ получать выгоду за счет регулируемых цен на мощность в течение 15 лет. При том, что в ценовых зонах по общему правилу действуют нерегулируемые (конкурентные) цены. В данном случае регулируемые цены на мощность определяются с учетом капитальных и эксплуатационных затрат инвестора на сооружение объекта ВИЭ, с расчетом покрытия вышеуказанных затрат в течение срока действия договора и получения дохода от продажи электроэнергии, произведенной таким предприятием ВИЭ.

С целью заключения договоров о предоставлении мощности по вышеуказанной схеме поддержки предприятие ВИЭ должно подать заявку на участие и пройти конкурсный отбор инвестиционных проектов по строительству генерирующих объектов ВИЭ в соответствии с Регламентом проведения отборов инвестиционных проектов по строительству генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии (Приложение №27 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка) [7]. Только в случае прохождения конкурса, к данному предприятию применяется вышеуказанный механизм поддержки, и инвесторы могут рассчитывать таким образом на компенсацию своих капитальных и эксплуатационных затрат за счет продажи мощности, а также на получение дохода за счет продажи электроэнергии. При этом конкурентное преимущество и наибольшие шансы пройти конкурс у тех заявителей, у которых наименьшие заявленные капитальные затраты на строительство объекта.

Более того, после ввода объекта генерации в эксплуатацию и готовности продажи мощности согласно заключенному по итогам конкурса договору, предприятие ВИЭ обязано пройти процедуру квалификации генерирующего объекта в порядке Постановления Правительства РФ от 3 июня 2008 года N 426 «О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии» [8]. Для прохождения данной процедуры, получения сертификата и включения в соответствующий реестр, предприятие ВИЭ должно соответствовать ряду критериев. В частности, предъявляется требование к вкладу отдельных элементов оборудования (оборудования в сборе) и работ в степень локализации по генерирующему объекту (т.н. процент локализации). Иными словами, государственная поддержка распространяется только на те объекты, при сооружении которых приоритетно использовалось отечественное оборудование, комплектующие и рабочая сила в соответствующем процентном соотношении. Следующие критерии для квалификации – это обязанность присоединения к электросетям сетевой организации; обязанность включения в схему и программу перспективного развития электроэнергетики субъекта Российской Федерации, на территории которого расположен генерирующий объект. На практике только ограниченному количеству предприятий ВИЭ удастся успешно пройти процедуру квалификации. Существует проблема отечественного производства оборудования для сферы ВИЭ. Сравнительно недавно на рынке начали появляться отечественные производители оборудования и комплектующих, которое можно использовать в инвестиционных проектах ВИЭ с целью соответствия критериям квалификации. Тем не менее, с экономической точки зрения это не всегда выгодно для инвесторов, поскольку в ряде случаев зарубежное оборудование может быть дешевле отечественного. Также для успешного прохождения процедуры квалификации

инвесторам необходимо заранее решать вопросы включения объекта ВИЭ в схему и вышеуказанную программу перспективного развития. Иначе впоследствии процедура квалификации может затянуться, что чревато нарушением сроков поставки мощности согласно договоров поставки мощности, заключенных ранее по итогам конкурса.

В целом вышеуказанный механизм стимулирования развития ВИЭ предусматривался законодателем с целью обеспечения рентабельности инвестиционных проектов и возврата инвестиций. Однако в действительности, с его помощью на рынок могут войти только те инвесторы с целью сооружения предприятий ВИЭ и их функционирования, которые имеют достаточные денежные средства (в том числе предоставляемые таким предприятиям государством в виде целевых инвестиционных средств) для вложения в проект с расчетом их возврата в 15-летней перспективе с использованием государственного механизма. Соответственно в таком случае необходимо вести речь о входе исключительно крупного бизнеса в сфере ВИЭ на рынок электроэнергетики. Поскольку субъекты малого и среднего предпринимательства в большинстве случаев не имеют финансовой возможности при таких условиях реализовать инвестиционные проекты в сфере ВИЭ и конкурировать с возможностями крупных компаний.

Действительно, на практике в большинстве случаев инвестиционные проекты по строительству объектов ВИЭ реализуются крупными предприятиями ВИЭ успешно. Хотя и здесь имеются прецеденты экономической неэффективности проекта.

Причины такой неэффективности различные.

К примеру, в 2009 году ОАО «РусГидро» заявило о намерении построить на островах Русский и Попова Дальневосточную ВЭС в рамках подготовки к саммиту АТЭС. Для этого в том же году было учреждено дочернее предприятие ВИЭ – ОАО «Дальневосточная ВЭС» для реализации проекта. Но проект по следующим причинам не был реализован. В пресс-службе ОАО «РусГидро» сообщили, что «все дело в экономической неэффективности проекта, по ходу дела лишившегося господдержки. Результаты конкурсов на поставку агрегатов, строительство СВМ (схемы выдачи мощности) не позволили обеспечить выполнение требований экономической эффективности проекта, предъявляемых к проектам компании, несмотря на содействие и готовность принятия тарифных решений со стороны администрации Приморского края. Отсутствие в РФ системы поддержки использования возобновляемых источников энергии, в том числе и ветроэнергетики, сдерживает в целом реализацию проектов ВИЭ в стране. Несмотря на то, что в ФЗ №35 «Об электроэнергетике» предусмотрены механизмы поддержки ВИЭ в форме надбавки, особого механизма рынка мощности, компенсации стоимости технологического присоединения к сетям нет, данные меры не применяются в связи с отсутствием соответствующих подзаконных актов и изменений действующих моделей рынка электрической энергии и мощности. В этих условиях проекты ВИЭ являются неконкурентоспособными по сравнению с классической генерацией. Мы надеемся на изменение нормативной среды, принятие решений по механизмам поддержки, которые позволят сделать проекты эффективными. В этих условиях продолжается работа по оптимизации проекта, снижению стоимости инфраструктурных затрат, в первую очередь на строительство схемы выдачи мощности. Ветровые электростанции во всем мире прибыльны. За примером далеко ходить не надо - возьмем соседний Китай. Другое дело, что затраты на реализацию проекта достаточно значительные и без участия государства справиться с ними не под силу даже такой крупной компании, как «РусГидро», сообщают в пресс-службе компании. В начале 2011 года глава ОАО «РусГидро» Евгений Дод сообщил, что решение об отказе от проекта может быть принято в том числе в связи с тем, что государство в 2011 году сократило целевые инвестиционные средства для компании на 3,4 млрд рублей [9].

Из этого следует, что рассмотренный нами выше механизм стимулирования неэффективен даже для крупных предприятий ВИЭ, поскольку предусматривает компенсацию их затрат постфактум, по сути за счет покупателей мощности, а не за счет государства. В свою очередь, не все предприятия ВИЭ могут самостоятельно нести значительные затраты на стадии реализации проекта без помощи государства. Это является одной из причин нерентабельности предприятий ВИЭ, реализующих такие инвестиционные проекты, и впоследствии их финансовых трудностей.

Что касается входа на рынок тех предприятий ВИЭ, которые по ряду причин не могут рассчитывать на указанный механизм государственной поддержки: могут ли их инвестиционные проекты по строительству объектов ВИЭ быть рентабельными?

Практика показывает, что такие предприятия ВИЭ испытывают трудности с реализацией инвестиционных проектов и вопрос входа на рынок для них ввиду этого остается проблематичным.

Например, ЗАО «Интертехэлектро» реализует проект строительства ветропарка совместно с немецкой компанией Sowitec International GmbH в Шумихинском районе Курганской области. При разработке проекта закладывался показатель рентабельности на уровне 12–14%, срок окупаемости — семь лет. Заместитель генерального директора ЗАО «Интертехэлектро» (ИТЭ) Ярослав Сигидов сообщил, что интенсивность проектирования ветропарка для Курганской области упала. «Причиной послужили неясные требования конкурса по отбору проектов на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Согласно условиям конкурса, доля оборудования, произведенного в России, должна составлять не менее 65%. Соблюсти это требование невозможно, так как основные компоненты ветроустановок в России не производятся и вряд ли будут производиться в ближайшее время», — пояснил Сигидов. «Если бы проект ветропарка был отобран в конкурсе, то «Интертехэлектро» имел бы возможность заключить договор на поставку мощности (используется для окупаемости энергообъектов, строящихся в рамках обязательных инвестпрограмм генерирующих компаний, и обеспечивает возврат инвестиций). Впрочем, рассматривались другие варианты реализации проекта. В качестве альтернативы рассматривалась возможность реализовать проект за счет собственных средств при условии получения скидок у производителей оборудования. Производители оборудования при участии Sowitec были готовы такие скидки предоставить, но в связи с существенным ростом курса евро от этой схемы пришлось отказаться», — рассказал Сигидов [10].

Таким образом, второй причиной неэффективности данных проектов является тот факт, что не все предприятия ВИЭ в состоянии пройти конкурсный отбор для получения поддержки и выполнить соответствующие требования для его прохождения по объективным причинам. Например, требование о степени локализации оборудования не всегда может быть выполнено, поскольку элементарно производители такого оборудования отсутствуют в России. В данном случае вопрос касается совершенствования правового механизма государственного стимулирования развития ВИЭ на основе учета и анализа вышеперечисленных и аналогичных проблемных ситуаций, возникающих на практике. Это позволит предотвратить нерентабельность инвестиционных проектов предприятий ВИЭ и их последующие финансовые трудности.

Что касается входа предприятий ВИЭ на розничный рынок электроэнергии, то в данном случае вышеуказанный механизм стимулирования посредством конкурсного отбора не применяется. К предприятиям ВИЭ вышеуказанных трех видов источников, действующих на розничном рынке, применяется механизм квалификации генерирующих объектов для целей получения возможности гарантированной покупки их энергии со стороны сетевых организаций для компенсации потерь в электросетях. В остальном данные предприятия ВИЭ ведут свою деятельность на розничном рынке в

соответствии с общим правилами функционирования розничных рынков электроэнергии, без какой-либо особой поддержки со стороны государства.

Необходимо отдельно выделить политические причины нерентабельности инвестиционных проектов предприятий ВИЭ и связанные с этим финансовые трудности и последующий уход с рынка.

Речь идет о генерирующих объектах ВИЭ на территории Республики Крым. До момента вхождения республики в состав РФ, на ее территории были сооружены и функционировали пять солнечных электростанций: СЭС «Перово», СЭС «Охотниково», СЭС «Николаевка», СЭС «Владиславовка», СЭС «Митяево». Имущество указанных генерирующих объектов находилось на балансе ряда юридических лиц – предприятий ВИЭ. Данные предприятия ВИЭ осуществляли свою деятельность в соответствии с законодательством Украины об электроэнергетике. После перехода Республики Крым в состав РФ, продолжение деятельности указанных предприятий ВИЭ стало невозможным по причине отсутствия в российском законодательстве аналогичного механизма правового регулирования деятельности данных предприятий. Как сообщает Крымская служба новостей, «после вхождения полуострова в состав России вместо прежнего зеленого тарифа (0,47 евро/кВт ч, или 26,8 руб по текущему курсу) они (СЭС) получили единый для всех тариф в 3,4 руб/кВт ч. И теперь владельцы электростанций не могут погашать долги по кредитам на их строительство, которые привлекались в том числе в российских банках. Общая сумма долга перед ВТБ, Сбербанком и ВЭБом – около 45 млрд рублей... Субсидии на зеленый тариф обошлись бы бюджету в несколько миллиардов рублей – это слишком дорого, сообщил газете чиновник Минэнерго. Фактически государство решило обанкротить крымские СЭС, сетует сотрудник одного из пострадавших банков. На одном из последних совещаний Минэнерго предложило банкам обратить взыскание на электростанции. А после этого продать их примерно за 10 процентов долга операторам, которые обеспечат надежную эксплуатацию, говорят двое знакомых участников совещаний. Таким оператором могла бы стать или «дочка» ФСК – «Мобильные ГТЭС», или местное ГУП «Крымские ветряные парки», уточняет один из них. Эти компании готовы эксплуатировать электростанции с минимальной маржой и рассчитаться с банками за пять лет, продолжает собеседник газеты. Но банкам, таким образом, придется списать 40 млрд рублей убытков, заключает он. Представитель Минэнерго подтвердил, что такой вариант рассматривается. Представитель «Мобильных ГТЭС» отказался от комментариев, с ГУП «Крымские ветряные парки» связаться не удалось» [11].

По итогам анализа судебных актов из Картотеки арбитражных дел [12], выяснилось, что по состоянию на 03 июля 2016 года по инициативе ПАО «Сбербанк России» арбитражным судом введены процедуры несостоятельности (банкротства) в отношении четырех из пяти СЭС.

Таким образом, имеет место «контролируемое банкротство», как это именуется в практике, с целью перераспределения активов СЭС между компаниями с государственным участием. В данной ситуации государство не заинтересовано в применении мер по предупреждению несостоятельности (банкротства) к данным предприятиям ВИЭ и в восстановлении их платежеспособности в ходе данной процедуры. Поэтому в данном случае, говоря о причинах несостоятельности (банкротства), необходимо отметить в качестве таковых – отсутствие государственной воли и заинтересованности в эффективной деятельности данных предприятий. В связи с этим вход крымских предприятий ВИЭ на российский рынок электроэнергетики становится априори невозможным.

В ходе нашего рассмотрения данной темы мы раскрыли причины возникновения проблем входа предприятий ВИЭ на российский рынок электроэнергетики, а равно

причины нерентабельности реализации инвестиционных проектов данных предприятий, последующих финансовых трудностей и несостоятельности (банкротства).

В связи с этим, на наш взгляд, первоочередной задачей является совершенствование и последующее практическое применение правового механизма предупреждения трудностей предприятий ВИЭ (в том числе финансовых) при входе их на рынок электроэнергетики и дальнейшей деятельности, а также совершенствование правового механизма восстановления их платежеспособности в процедуре несостоятельности (банкротства).

### Список литературы

1. Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 N 35-ФЗ (действующая редакция, 2016).
2. Материалы заседания Комитета по энергетике ГД РФ от 24 сентября 2012 года, Москва, «Развитие малой распределенной и возобновляемой энергетики в России: возможности и перспективы». Докладчик – Председатель Подкомитета по малой энергетике Есяков Сергей Яковлевич: [Online]. Доступно на: [http://journal.esco.co.ua/2012\\_10/art263.pdf](http://journal.esco.co.ua/2012_10/art263.pdf) [Доступ: Октябрь 03, 2016].
3. Правила оптового рынка электрической энергии и мощности, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 27.12.2010 N 1172 (ред. от 09.09.2016).
4. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 (ред. от 17.05.2016) "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии" (вместе с "Основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии", "Правилами полного и (или) частичного ограничения режима потребления электрической энергии").
5. Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года, утвержденные Распоряжением Правительства РФ от 08.01.2009 N 1-р (ред. от 05.05.2016).
6. Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 года № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности».
7. Регламент проведения отборов инвестиционных проектов по строительству генерирующих объектов, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии (Приложение №27 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка).
8. Постановление Правительства РФ от 3 июня 2008 года N 426 «О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии».
9. Энергия ветра для Владивостока оказалась нерентабельной [Online]. Доступно на: [http://www.zrpress.ru/business/vladivostok\\_18.01.2012\\_50444\\_energija-vetra-dlja-vladivostoka-okazalas-nerentabelnoj.html](http://www.zrpress.ru/business/vladivostok_18.01.2012_50444_energija-vetra-dlja-vladivostoka-okazalas-nerentabelnoj.html) [Доступ: Октябрь 03, 2016].
10. Строительство ветропарка в Зауралье откладывается из-за требований Минпромторга [Online]. Доступно на:
11. [http://www.cleandex.ru/news/2015/02/09/stroitelstvo\\_vetroparka\\_v\\_zaurale\\_otkladyvaetsya\\_izzza\\_trebovanii\\_minpromtorga?utm\\_source=site\\_mail&utm\\_medium=email\\_letter](http://www.cleandex.ru/news/2015/02/09/stroitelstvo_vetroparka_v_zaurale_otkladyvaetsya_izzza_trebovanii_minpromtorga?utm_source=site_mail&utm_medium=email_letter) [Доступ: Октябрь 03, 2016].
12. Владельцы солнечных электростанций в Крыму не могут погашать кредиты [Online]. Доступно на: <http://news.allcrimea.net/news/2015/5/29/vladeltsy-solnechnyh-elektrostantsii-v-krymu-ne-mogut-pogashat-kredity-37771/> [Доступ: Октябрь 03, 2016].
13. Картотека арбитражных дел (Электронное правосудие) [Online]. Доступно на: <http://kad.arbitr.ru/> [Доступ: Октябрь 03, 2016].

**ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И ПРИМЕРЫ ПРИМЕНИМОСТИ НАКОПИТЕЛЕЙ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ  
APPROACHES TO ASSESSMENT AND CASE STUDIES OF ENERGY STORAGE  
DEVICES APPLICABILITY FOR VARIOUS APPLICATIONS**

**Тарасенко А.Б., Попель О.С.**

Объединенный институт высоких температур РАН

**Tarasenko A.B., Popel O.S.**

Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*a.b.tarasenko@gmail.com*

Electric energy storage systems are considered for application in many branches of industry. But several barriers, first of all – cost and lifetime are facing both storage R&D industry and potential applicants. Basing of life-cycle cost estimation approach several case studies for storage system applications and renewable and distributed generation are described. For each case key parameters for storage system are given and several systems are compared between each other and with competitive technologies not involving storage.

**Key words:** energy storage, supercapacitor, battery, backup power supply  
**Ключевые слова:** накопители энергии, суперконденсатор, аккумуляторная батарея, резервный источник питания

Дискуссии об использовании накопителей электрической энергии в автономных и централизованных энергетических системах ведутся достаточно давно, а первые пилотные проекты, связанные с внедрением накопителей на основе электрохимических аккумуляторов, относятся к началу XX века. В последние два десятилетия актуальность использования аккумуляторных и суперконденсаторных накопителей существенно повысилась. Во-первых, прогресс самих накопителей сделал их более компактными, безопасными, дешевыми и надежными, разработаны и освоены в производстве коммерчески доступные новые виды накопителей. Во-вторых, в связи со значительным расширением масштабов использования возобновляемых источников энергии и тенденцией разуплотнения графиков электрической нагрузки в различных отраслях экономики, возросла потребность в регулирующих мощностях, а в связи с бурным развитием информационных технологий, что увеличило цену потери энергопитания систем связанных с передачей, обработкой и хранением информации, резко возрос спрос на резервирующие источники питания. При этом следует отметить, что сегодня в основном используются источники резервного, аварийного и бесперебойного питания на базе проверенных временем относительно дешевых свинцово-кислотных аккумуляторов, претерпевших в последнее время ряд существенных конструктивно-технологических улучшений, и внедрение накопителей на основе новых типов химических источников тока (ХИТ) пока носит ограниченный характер.

Основным сдерживающим фактором широкого использования накопителей является их достаточно высокая цена, и при формировании прогнозов по их применению в различных отраслях экономики требуются технико-экономические оценки как со стороны производителей и разработчиков ХИТ (при выборе целевых ориентиров развития отрасли), так и их потребителей.

Авторами ранее были выполнены экономические оценки использования аккумуляторов, в том числе литий-ионных, в составе гибридных солнечно-дизельных установок в Якутии [1] и сравнение различных видов ХИТ для комплектования источника бесперебойного питания железнодорожной системы автоматики, телемеханики и связи [2]. Обновленные оценки для типовых ниш применения ХИТ в виде источников аварийного/резервного/бесперебойного питания и буферных накопителей энергии для фотоэлектрических станций (ФЭС) сделаны в [3]. В рамках

этих оценок принято во внимание среднее количество циклов заряда и разряда, которое претерпевает аккумулятор за время, соответствующее горизонту расчета (20 лет) с учетом ресурса и требуемых замен оборудования. Результаты расчетов, представленные на рис. 1, показывают, что картина по этому параметру для рассматриваемых ниш складывается принципиально различная.

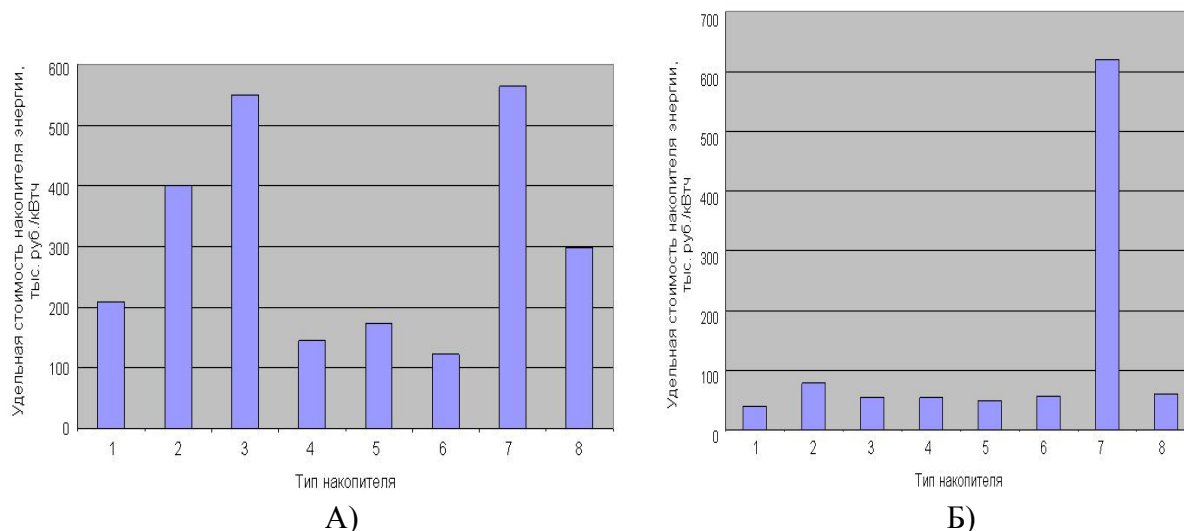


Рис. 1. Удельные затраты (в расчет на 1 кВтч емкости) на накопитель энергии мощностью 1 кВт и энергоемкостью 10 кВтч за весь период эксплуатации (20 лет) с учетом нормативного ресурса и требуемых замен. А) работа в режиме источника бесперебойного питания (ИБП), Б) – работа в составе фотоэлектрической станции (ФЭС). 1- литированный фосфат железа/углерод, 2 -литированные смешанные оксиды/углерод, 3 - литированные смешанные оксиды/ нанотитанат лития, 4- гелевые свинцово-кислотные аккумуляторы, 5- панцирные (OPzV) свинцово-кислотные аккумуляторы, 6 – герметизированные (AGM) свинцово-кислотные аккумуляторы, 7 – водородный цикл, 8 – ванадиевая редокс-батарея.

В рассмотренных случаях лучшие перспективы имеют литий-железофосфатные аккумуляторы (наиболее дешевые в своем классе), а в источниках бесперебойного питания – герметизированные свинцовые аккумуляторы. Последний вывод подтверждается повсеместной практикой использования этого типа аккумуляторов в данной нише. Новые системы аккумулирования (суперконденсаторы, проточные редокс-батареи, водородный цикл) оказываются конкурентоспособными лишь в специфических режимах применения, либо в составе гибридных систем аккумулирования вместе со свинцово-кислотными, никель-кадмиевыми или литий-ионными аккумуляторами [4].

Для выполнения оценок наиболее широко используется метод анализа затрат в течение жизненного цикла системы (LCOE). Вместе с тем, важное значение имеют как комплекс учитываемых параметров самих накопителей, так и особые требования со стороны потребителя. Поэтому корректность оценок в рамках любой модели во многом определяется набором исходных данных и критериями, используемыми для оценки.

Ниже рассмотрим некоторые конкретные примеры применения накопителей на основе ХИТ.

**Гибридные фотоэлектрические станции на основе тепловых двигателей, солнечных батарей и накопителей**, связанных в единый комплекс интеллектуальной системой преобразования и управления, исследуются достаточно давно и широко, в том числе как с новыми типами накопителей, так и для весьма различных потребителей [5]. Оправданным и очевидным критерием целесообразности применения накопителя (да и установки в целом) является снижение стоимости владения системой по сравнению с



использованием чисто дизельного ее варианта. В работе [1] показано, что накопитель позволяет увеличить долю замещения дизельного топлива, но при этом дополнительные затраты на создание энергокомплекса и его систему преобразования и управления резко возрастают (рис. 2). Поэтому на практике гораздо чаще создаются системы без накопителя с долей замещения до 25-30%, но гораздо более дешевые. В рамках данной ниши учет ресурсных показателей накопителя обычно снижает конкурентоспособность системы с накопителем из-за роста эксплуатационных затрат в течение времени жизни проекта. Как правило, применение накопителей с лучшими ресурсными показателями не приводит к радикальному изменению ситуации по причине их более высокой стоимости. При этом помимо экономии дизельного топлива обеспечивается снижение вредных выбросов в атмосферу, однако в условиях российских нормативных реалий этот эффект пока монетизации не подлежит и не может быть использован в расчетах.

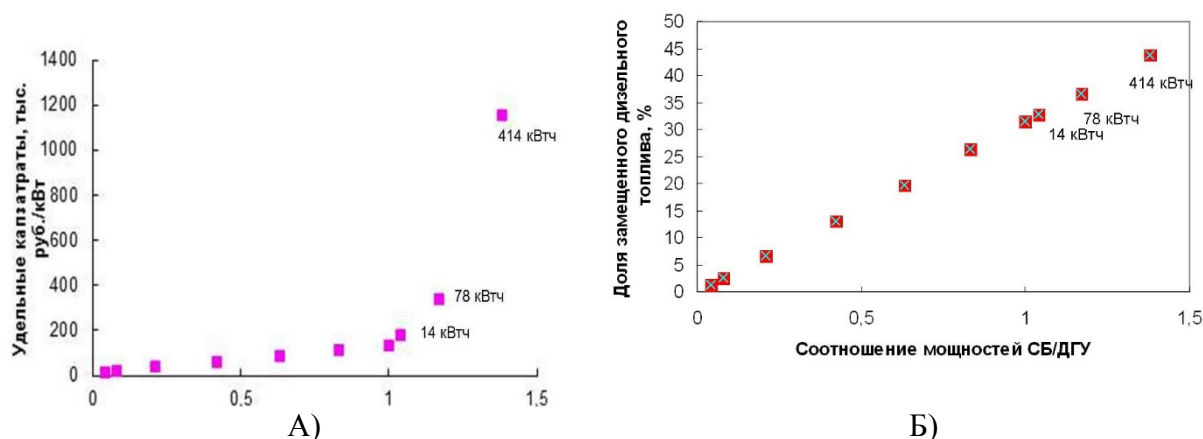


Рис. 2. Расчетные зависимости А) дополнительных удельных капитальных затрат на солнечную батарею (СБ) и накопитель энергии и Б) степени замещения дизельного топлива для гибридной солнце-дизельной установки от соотношения установленной мощности СБ и дизель-генераторной установки (ДГУ) в условиях поселка с населением 120 чел. в климатических условиях юга Республики Саха (Якутия) при установленной мощности ДГУ 60 кВт. (Энергоемкость накопителя в случае его использования указана на рисунке)

Следует отметить, что та же степень замещения дизельного топлива в среднем по году (а не в зимние месяцы, как с использованием накопителя) может быть достигнута за счет дальнейшего увеличения мощности солнечной батареи и увеличения ее выработки в зимние и осенние месяцы, при этом данный подход обеспечивает меньшие капитальные затраты, хотя часть энергии, избыточно выработанной в летнее время солнечными батареями, может теряться.

Другой пример связан с использованием суперконденсаторов и аккумуляторов в автономных фотоэлектрических водоподъемниках. В развивающихся странах с высоким уровнем инсоляции возрастает интерес к использованию солнечной энергии для нужд водоснабжения в сельском и жилищно-коммунальном хозяйстве. Разработан целый ряд насосных установок, питаемых непосредственно от солнечной батареи, однако наличие пороговой мощности запуска у двигателя насоса, а также переменный характер поступления солнечной радиации даже в течение суток приводят к тому, что часть доступной солнечной энергии (в периоды, когда мощность солнечной батареи не превосходит пороговую мощность насоса) не используется для работы насоса. На основе фактических данных по выработке энергии мультикристаллическим фотоэлектрическим модулем, полученных экспериментально в условиях г. Москвы в один из летних дней (14.07.2014 г.), выполнен расчет производительности водоподъемной установки без использования и с использованием суперконденсаторной батареи в качестве буферного

накопителя, собирающего солнечную энергию в периоды пониженной инсоляции, а также в утренние и вечерние часы. Предполагается, что мощность солнечной батареи равна 2 кВт, мощность насоса 2,7 л.с., подъем воды осуществляется с глубины 7 м. Зависимость выдачи воды насосной установкой от времени представлена на рис. 3.

Выполненные оценки показывают возможность увеличения с использованием суперконденсатора суточной производительности при данных условиях инсоляции в полтора раза. Та же суточная производительность может быть достигнута без применения суперконденсатора путем увеличения пиковой мощности солнечной батареи примерно в два раза (без учета времени работы насоса, поскольку суперконденсаторный накопитель позволяет расширить время подачи воды, а увеличение пиковой мощности приведет к росту производительности в строго определенные пиковые часы), но соотношение стоимостей (1260 долл. США при увеличении мощности солнечной батареи с контроллером против 840 долл. США при использовании суперконденсаторной батареи) указывает на преимущества использования суперконденсаторной батареи. Заметим, что использование аккумуляторов в рассмотренном примере ограничено тем, что за день происходит более 30 циклов заряда и разряда накопителя, что ограничит фактическую наработку свинцово-кислотного аккумулятора несколькими месяцами, либо заставит существенно увеличить его энергоемкость относительно необходимой. В данном случае критерием целесообразности использования накопителя энергии выступает сравнение капитальных затрат при использовании накопителя и увеличении мощности фотоэлектрической системы, обеспечивающих равную суточную производительность по воде при существующем уровне инсоляции. Интеграция в систему суперконденсаторного модуля с его системой заряда не должна обходиться дороже выработки и аккумуляции избыточного количества воды в пиковые периоды солнечной радиации. При этом важно отметить следующий нюанс: интеграция такого модуля в систему не ведет к росту ее пиковой мощности, в отличие от установки дополнительных солнечных батарей, которая требует пропорционального увеличения мощности силовой преобразующей электроники, роста числа опорных конструкций, увеличения объема строительно-монтажных работ, которые, на первый взгляд, не имеют прямого отношения к росту выработки воды, однако приводят к увеличению стоимости альтернативного накопителю решения.

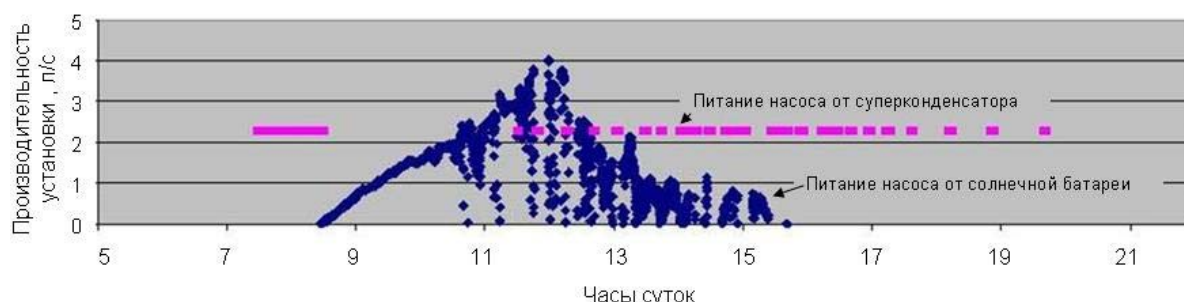


Рис. 3. Расчетная зависимость производительности насосной установки от времени. (номинальная мощность насоса 2,7 л.с., пиковая мощность солнечной батареи 2 кВт, напор 7 м)

По мере роста доли энергии, получаемой от **ветроэлектростанций, присоединенных к централизованным электрическим сетям**, перед ветроэнергетикой встает проблема регулирования частоты сети, преодоления аварийных ситуаций (прежние нормы предполагали останов ветроэлектростанции в случае аварии сети), а также стабилизации работы во избежание аварийных ситуаций,

вызванных нестабильностью выдачи мощности при изменении скорости ветра. Теоретически все описанные задачи могут быть решены путем использования накопителей энергии, но сам характер выдачи мощности ветроэлектродгенератором обуславливает большое количество обращений к такому накопителю, что требует, прежде всего, повышенных ресурсных параметров либо частых замен вышедших из строя элементов. По этой причине наиболее часто в данных нишах рассматриваются такие системы как маховики, суперконденсаторы, накопители на основе сжатого воздуха и гидроаккумуляторы. При этом даже без учета ресурсных показателей накопитель существенно увеличивает стоимость системы, которая изначально проектируется подключенной к сети – гипотетическому накопителю бесконечной емкости, что позволяет существенно снизить капитальные затраты. Однако с учетом появления требования резервирования мощности ветроэлектродгенератора за счет неоптимального угла атаки лопастей в нише регулирования частоты при работе крупных ветроэлектродгенераторов на сеть появляется четкий критерий оптимальности применения накопителя: затраты на его монтаж и обслуживание не должны превысить стоимость потерянной при резервировании энергии за срок его службы с учетом заданных сроков окупаемости проекта.

При компенсации коротких и частых колебаний мощности ветроэлектродгенераторов маховики и суперконденсаторы имеют определенные преимущества перед электрохимическими аккумуляторами прежде всего в силу ресурсных показателей и возможности глубокого разряда. Однако конкурентоспособность таких решений резко падает при увеличении требуемой энергоемкости накопителей, прежде всего в силу высокой удельной стоимости энергоемкости. Поэтому применение суперконденсаторных батарей для поддержки питания потребителя во время запуска дизель-генераторной установки из «холодного» состояния в составе ветродизельного комплекса с большой долей замещения дизельного топлива энергией ветра представляется сомнительным – время запуска дизель-генератора в таком режиме составляет около 1 минуты, что уже приводит к значительным капитальным затратам для суперконденсаторного накопителя. В данном случае критерием применимости того или иного накопителя является сравнение суммы капитальных и эксплуатационных затрат для аккумуляторного или иного накопителя с такой же суммой для ветродизельного комплекса с существенно меньшей долей замещения дизельного топлива, позволяющего не останавливать дизель-генератор.

Широкое внедрение распределенной генерации способствовало появлению и развитию малых энергоустановок, использующих органическое топливо. Наряду с газопоршневыми системами достаточно популярными становятся **газовые многотопливные микротурбины** (Capstone, Calnetix и др.) [6]. К достоинствам микротурбинной установки относят высокую маневренность и возможность мгновенного подхвата мощности нагрузки потребителя. Вместе с тем, последнее свойство обеспечивается не возможностями самой микротурбины, имеющей характерное время выхода на режим 15-30 секунд, а встроенной в энергокомплекс свинцово-кислотной аккумуляторной буферной батареей. Данная батарея представляется существенно переразмеренной с точки зрения энергоемкости, поскольку энергия, требуемая для поставки потребителю в период запуска турбины, не превышает 7 Втч/кВт мощности. При этом батарея должна выдерживать неоднократные мощностные нагрузки при запусках, соответствующие токам до 3,5 А/кВт установленной мощности в условиях ограничений по допустимым токам, характерным для свинцово-кислотных аккумуляторов. Сравнение суперконденсаторной и аккумуляторной батареи для данного применения проводилось с учетом предельных токов и рабочих напряжений обеих систем, капитальных затрат и сроков службы. Последний параметр является наиболее критичным, и именно он, как видно из таблицы

1, обеспечивает преимущество использования суперконденсаторов. Без учета замен свинцово-кислотных батарей в течение срока эксплуатации микротурбинной установки их применение выглядит бессмысленным с экономической точки зрения.

Таблица 1. Техничко-экономические показатели батарей на основе различных химических источников тока для микротурбины C30 Capstone (пусковой режим).

Источник тока/параметры	Varta Black 56R C14	Delkor AGM 70 R	XALT 31 HP	ТЭЭМП СТ-1500-220
Система источника тока	Свинцово-кислотный заливной аккумулятор	Свинцово-кислотный герметизированный аккумулятор со стекловолоконным сепаратором	Литий-ионный аккумулятор (LiC <sub>6</sub>   LiNMC)	Суперконденсатор с органическим электролитом
Масса батареи, кг	266	380	114	60
Запасаемая энергия, Втч	7980	4790	5500	200
Стоимость батареи, долл. США	1300	3500	23400	1460
Количество требуемых замен комплектов элементов за 10 лет	5	3	1	1
Стоимость батареи с учетом замен элементов за 10 лет, долл. США	6380	10500	23400	1460

Таким образом, описанные подходы к оценке целесообразности применения и обоснования выбора типа накопителя электрической энергии, в основном основаны на оценке стоимости владения накопителем в сравнении с альтернативными решениями в течение жизненного цикла энергоустановки. При этом по накопителю ключевыми являются следующие параметры:

- доступная энергоемкость (в том числе с учетом планируемых рабочих температур);
- оптимальная с точки зрения срока службы глубина разряда;
- допустимый ток разряда;
- капитальные затраты.

Для ряда применений в условиях массогабаритных ограничений критичными могут быть также удельные показатели накопителя.

Специфика использования накопителей в возобновляемой энергетике накладывает определенные ограничения также на их КПД. Низкий КПД накопителя косвенно ведет к увеличению затрат собственно на ветровую или солнечную генерирующую систему в силу необходимости его компенсации.

Выполненные оценки конкретных примеров потенциального применения накопителей в распределенной и возобновляемой энергетике на основе изложенных подходов показывают целесообразность применения конкретных разновидностей

накопителей в некоторых случаях или отсутствие такой целесообразности в других случаях. Безусловно, рассмотренные примеры требуют более детального анализа при более глубокой проработке конкретных технических решений.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-8406.2016.8.

### Список литературы

1. Тарасенко А.Б., Киселева С.В., Попель О.С., Титов В.Ф. О выборе оптимального состава гибридной энергетической установки для изолированного поселка // *Альтернативная энергетика и экология*, 2012, № 2 (106), СС.177-182.
2. O.S. Popel, A.B. Tarasenko The Comparative Analysis of Systems of Long Term Electric Power Storage Intended for Sources of Back Up and Emergency Power Supply, as Well as for Power Plants Using Renewable Energy Sources // *Thermal Engineering*, 2012, Vol. 59, No. 11, pp. 866–873. DOI: 10.1134/S0040601512110122
3. Gabderakhmanova T.S., Director L.B., Popel O.S., Tarasenko A.B. Comparative analysis of electrochemical energy storage devices. // *Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*. 2015; (23):184-195. DOI:10.15518/isjaee.2015.23.023.
4. Amine Lahyani, Ali Sarib, Insaf Lahbib, Pascal Venet, Optimal hybridization and amortized cost study of battery/supercapacitors system under pulsed loads // *Journal of Energy Storage*, 6, (2016), PP. 222– 231.
5. Tong Shi Jie, Same Adam, Kootstra Mark A., Park Jae Wan. Off-grid photovoltaic vehicle charge using second life lithium batteries: an experimental and numerical investigation // *Applied Energy*. 2013. № 104. PP. 740-750.
6. Филиппов С.П. Перспективы применения электрогенерирующих установок малой мощности // *Атомная энергия*, 2011, т. 111, № 5, СС. 256-262.

## МАКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РОЛИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

Сафонов Г.В.

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики

*gsafonov@hse.ru*

Проблема изменения климата стала одной из ключевых для мирового сообщества. Нарастание потребления ископаемых видов топлива в начале индустриальной революции, уничтожение лесов и крупномасштабные изменения в землепользовании привели к беспрецедентному росту концентрации парниковых газов в атмосфере (прежде всего, углекислого газа, метана, закиси азота и др.). За последние 150 лет концентрация CO<sub>2</sub> в приземном слое атмосферы Земли выросла с 280 до 400 ppm (частиц на миллион), столь высокого уровня не наблюдалось по меньшей мере за последние 400 тысяч лет [IPCC, 2014].

Антропогенные факторы играют доминирующую роль в происходящих климатических изменениях, особенно со второй половины XX века. Рост температуры воздуха в планете превысил 0,8<sup>0</sup>C по сравнению с 1850 г., а во многих регионах и странах мира отмечается гораздо более значительное потепление. В России за этот период среднегодовая температура возросла более чем на 2<sup>0</sup>C, а, например, в Барнауле – на 3,5<sup>0</sup>C. Второй оценочный доклад о климатических изменениях в РФ дает исчерпывающие ответы в отношении ключевых факторов изменения климата в России, трендов происходящих изменений, из опасности для экономики, общества, экосистем [Росгидромет, 2014].

Наибольший вклад в выбросы парниковых газов от хозяйственной деятельности в мире и в России вносит сжигание угля, нефтепродуктов и газа (более 2/3 суммарных объемов). Мировая экономика продолжает увеличивать потребление этих энергоресурсов, что ведет в дальнейшем усилению парникового эффекта. При сохранении нынешних трендов, к концу XXI века среднеглобальная температура может вырасти на 4-6<sup>0</sup>C, что приведет к катастрофическим последствиям. По имеющимся оценкам, в этом случае ущерб будет достигать 5-20% глобального ВВП в год [Stern, 2006].

Парижское климатическое соглашение, принятое на 21-ой Конференции Сторон РКИК ООН в декабре 2015 г., устанавливает новую цель – удержать рост глобальной температуры «существенно ниже 2<sup>0</sup>C». Для этого страны принимают добровольные обязательства по снижению выбросов парниковых газов, а также должны разработать к 2018 г. стратегии низкоуглеродного развития на перспективу до 2030 и 2050 гг. Выполнение цели соглашения потребует сокращения глобальных выбросов не менее чем на 50% от уровня 1990 г. к 2050 г., а для развитых стран – снижения на 80%. При этом соглашение также устанавливает цель по достижению нулевых нетто-выбросов углерода во второй половине нынешнего столетия (т.е. глобальные выбросы должны быть равны объемам поглощения углерода в лесном хозяйстве и землепользовании).

Как будет выглядеть мировая экономика при реализации сценария глубокой декарбонизации? Какие технологии, ресурсы, затраты необходимы для достижения такой цели? Какие новые рынки получат развитие и что будет происходить с традиционной энергетикой, промышленностью, транспортными системами? Может ли Россия реализовать стратегию декарбонизации и снизить выбросы углерода на 80-90% к 2050 г.? Эти вопросы подробно исследовались в международном проекте с участием более 30 научных центров 16 крупнейших стран мира, включая Россию, в 2013-2016 гг. [DDPP, 2014; DDPP, 2015].

Результаты исследования показали, что у всех стран есть возможности радикального снижения выбросов CO<sub>2</sub> при одновременном увеличении благосостояния населения и росте ВВП на перспективу до 2050 г. При этом у России имеется огромный потенциал возобновляемых источников энергии, использование даже небольшой части которого позволит значительно сократить выбросы парниковых газов [Сафонов Г.В. и др., 2016]. По данным ЭНИН, экономически доступный потенциал ВИЭ составляет около 30% от суммарного объема первичной энергии, производимой в России [Безруких П.П. и др., 2007]. А по мере развития технологий и снижения затрат, ВИЭ могут играть и гораздо более существенную роль в энергобалансе страны, что будет исключительно важно в формирующейся уже сегодня низкоуглеродной мировой экономике.

По данным экономико-математического моделирования, проведенного в рамках проекта по глубокой декарбонизации мировой экономики (DDPP) научной группой РАНХиГС и НИУ ВШЭ, решение задачи декарбонизации экономики России (снижения выбросов CO<sub>2</sub> на 75-80%) до 2050 г. невозможно без широкого применения ВИЭ. В сценарии декарбонизации на долю ВИЭ (без учета крупной гидроэнергетики) должно приходиться от 20 до 50% в энергобалансе страны к 2050 г. Безуглеродные технологии должны распространяться не только в сфере производства тепловой и электрической энергии, но по многим другим направлениям – на транспорте (например, к 2050 г. использование жидкого биотоплива должно стать сопоставимым с объемом потребления нефтепродуктов в РФ), в промышленности, в развитии инфраструктуры и т.д.

Уже сейчас доступны различные технологии, а в ближайшие 10-15 лет появятся новые и более дешевые решения, позволяющие многократно снижать углеродоемкость экономики. Суммарные затраты на перестройку экономики 16 крупнейших стран в направлении глубокой декарбонизации оцениваются в 0,8-1,2% ВВП в год. При этом для многих стран (США, Австралия, Германия и др.) издержки могут быть минимизированы за счет поэтапного замещения выбывающих технологий и инфраструктуры новыми, менее углеродоемкими аналогами [DDPP, 2015].

Для России декарбонизация экономики создает как риски (для угольной энергетики, углеродоемких отраслей промышленности), так и новые возможности (использование ВИЭ, безуглеродный транспорт, новые материалы на базе нанотехнологий и др.). В ближайшие годы можно ожидать ужесточения углеродного регулирования во многих странах и на международном уровне, поэтому для России более перспективной представляется активная стратегия низкоуглеродного развития, позволяющая занимать ниши на новых рынках «зеленой» энергии, технологий, материалов.

### Список литературы

- Безруких П.П. и др., Справочник по ресурсах возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям), М.: ИАЦ «Энергия», 2007.  
Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2014.  
Сафонов Г.В., Стеценко А.В. и др. Стратегия низкоуглеродного развития России. М.: ТЕИС, 2016.  
DDPP (2014): Pathways to Deep Decarbonization. Paris: SDSN–IDDRI  
DDPP (2015): Pathways to Deep Decarbonization, synthesis report. Paris: SDSN–IDDRI  
IPCC (2014): Fifth Assessment Report  
Stern N. (2006): The Economics of Climate Change

---

## ПАРИЖСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КЛИМАТУ 2015 – ПОВОРОТНЫЙ ПУНКТ В ИСТОРИИ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

**Клименко В.В.**

*НИУ “Московский энергетический институт”, 111250, Россия, Москва,  
Красноказарменная ул., д. 14.*

*nilgpe@mpei.ru*

Исследованы основные последствия решений, принятых в декабре 2015 г. на Парижской конференции стран—участниц Рамочной конвенции ООН по изменению климата, для мировой энергетики, а также атмосферы и климата планеты. Выполнен анализ добровольных обязательств стран, являющихся главными источниками антропогенных выбросов диоксида углерода в атмосферу, по ограничению воздействия их экономики, в первую очередь энергетических комплексов, на атмосферу и климат. На основе изучения исторических рядов удельных выбросов CO<sub>2</sub> при производстве энергии в странах мира показано, что реализация Парижских соглашений потребует беспрецедентных усилий по модернизации мировой энергетики, в частности быстрого выведения угля из мирового энергобаланса и значительного увеличения в нем доли безуглеродных источников энергии [гидро- и ядерной энергетики, нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ)] до одной трети к середине текущего столетия. Показано, что только агрессивное расширение масштаба использования НВИЭ способно остановить глобальное потепление к концу нынешнего столетия, но для этого потребуются ввести не менее 9000 Гвт мощности на возобновляемых источниках до 2050 и 21000 Гвт до 2100. Разработаны сценарий структуры мирового энергопотребления, соответствующий целевым ориентирам Парижского соглашения, а также его более консервативный вариант, продолжающий тенденции последних полутора десятилетий. Установлено, что при любом сценарии развития событий среднеглобальная температура преодолеет отметку в 1.5оС всего через несколько десятилетий. С помощью модельных расчетов изменений атмосферы и климата показано, что даже полная имплементация Парижских соглашений не предотвратит повышения средней глобальной температуры на 2°С по сравнению с доиндустриальной эпохой за пределами текущего столетия. Перед мировым сообществом стоит нелегкий выбор между осуществлением еще более жестких мер по сокращению эмиссии парниковых газов, что, по мнению автора, почти нереально, и адаптацией к совершенно новым климатическим условиям, которые продлятся не одно столетие.



## **ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ИМПОРТ ТРАДИЦИОННЫХ ТОПЛИВНЫХ РЕСУРСОВ**

**Круглик Т.М.**

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
факультет глобальных процессов, Москва, Россия

Объемы мирового энергопотребления увеличиваются с каждым годом, что приводит к истощению природных ресурсов и, следовательно, все более актуальной становится проблема недопущения энергетического кризиса. Более того, глобальные тенденции на мировом энергетическом рынке могут вызывать определенные сдвиги в международных отношениях и мировой политике в целом. Зависимость от импорта традиционного топлива не позволяет странам-импортерам в полной мере выстраивать стабильный курс развития без оглядки на ценовую политику стран-экспортеров. С тем, чтобы предоставить первым «энергетическую независимость», предлагается обратиться к альтернативным источникам энергии. Исходя из вышесказанного, основной задачей работы является ответ на вопрос - станет ли увеличение доли альтернативной энергетики панацеей от зависимого положения стран-импортеров нефти, угля и газа?

Для выявления связи между внедрением возобновляемых источников энергии и импортом топливных ресурсов учитывались 3 фактора – ВВП на душу населения по ППС, процент электроэнергии выработанной с использованием альтернативных источников от общего производства электроэнергии и процент импорта топлива от общего импорта товаров и услуг страны. В результате кластерного анализа методом k-средних выделилось 7 кластеров.

Данные кластеры наглядно показывают, что обратная зависимость между внедрением альтернативных источников энергии и импортом топливных ресурсов присутствует в 5 кластерах. Отсутствие такой зависимости в остальных кластерах объясняется невысоким уровнем экономик стран этой группы, который не может позволить крупные вложения в альтернативную энергетику в краткосрочной перспективе.

Таким образом, дальнейшие исследования с целью определения, насколько эффективно внедрение альтернативной энергетики ради снижения топливной зависимости той или иной страны, разумно проводить, с учетом данного кластерного деления. Экономически-благополучные страны успешно продолжают совершенствовать проекты выработки электроэнергии при использовании альтернативных источников, уменьшая зависимость от рынка топливных ресурсов. Однако полностью отказаться от импорта не получится, пока технический прогресс не позволит заменить традиционное топливо в транспортной и промышленной отрасли. Также совершенно неправильно утверждать, что альтернативная энергетика не выход для стран с невысокими показателями ВВП, им лишь требуется больше времени для материального обеспечения создания необходимой инфраструктуры.

В заключение, хотелось бы еще раз отметить ответственность мирового сообщества за предотвращение мирового энергетического коллапса и необходимость, как можно раньше осознав это, приступить к внедрению альтернативных источников энергии и разработке более совершенных их вариантов и сочетаний.

**СТРАТЕГИЯ РЕГРЕССИИ В ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ  
В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ  
REGRESSION STRATEGY IN THE ORGANIZATION OF WORKS ON  
STANDARDIZATION IN RENEWABLE ENERGY OF RUSSIA**

**Рустамов Н.А.**

НИЛ ВИЭ Географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

**Rustamov N.A.**

SRL RES of Geographical faculty of M. V. Lomonosov MSU, Moscow, Russia

**Key words:** renewable energy sources, renewable energy, technical regulation, technical committees, national standards, standardization

Проведен анализ последних изменений в сфере организации работ по стандартизации в возобновляемой энергетике России, которые, по существу, привели к затормаживанию работ в этой области.

Федеральный Закон № 250-ФЗ от 4 ноября 2007 г. «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с осуществлением мер по реформированию Единой энергетической системы России», утвердил основные положения государственной поддержки использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Последующие Постановления Правительства Российской Федерации (например, от 3 июня 2008 г. № 426, 20 октября 2010 г. № 850, 29 декабря 2011 г. № 1178, 28 мая 2013 г. № 449, 17 февраля 2014 г. № 117, 23 января 2015 г. № 47) были направлены на практическую реализацию положений закона для развития российской энергетики на возобновляемых источниках. Как следствие этих важных решений возросла активность проведения разноплановых работ в этой области.

В этих условиях свою стимулирующую роль должна сыграть и национальная система технического регулирования, последовательно создаваемая в России с принятием Федерального Закона от 27 декабря 2002 года №184-ФЗ «О техническом регулировании», важной составляющей которой являются работы по стандартизации, в соответствии с Федеральным Законом от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Для такой активно развивающейся инновационной отрасли как альтернативная энергетика на возобновляемых источниках разработка и принятие национальных стандартов особенно необходима и востребована и может сыграть важную упорядочивающую и стимулирующую роль.

Но в 2014 году решениями Федерального Агентства по регулированию и метрологии были реорганизованы два технических комитета (ТК), призванные проводить работы по стандартизации в области использования ВИЭ, – ТК 448 «Оборудование для возобновляемой энергетике» и ТК 330 «Процессы, оборудование и энергетические системы на основе возобновляемых источников энергии», а организация работ по стандартизации в этой области поручено ТК 016 «Электроэнергетика», где создан подкомитет ПК 5 «Распределенная генерация (включая ВИЭ)». Но задачи стандартизации для интеграции объектов распределенных генерации электроэнергии в общие энергосети отличаются от задач стандартизации в области использования ВИЭ. В результате деятельность по стандартизации в этой области оказались отодвинутыми на второй план, что противоречит общей государственной политике поддержки и развития возобновляемой энергетике в стране. Как следствие, за последние два года не разрабатывались и не утверждались новые национальные стандарты по возобновляемой энергетике, а перспективы активизации этих работ выглядят крайне неопределенными.

## **МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ**

**Елистратов В.В.**

Санкт-Петербургский университет Петра Великого

Учитывая структуру и мощности потребления в отдаленных регионах России для автономного энергоснабжения целесообразно внедрение полносборных, удобных для монтажа модульных систем энергоснабжения на базе ВИЭ с мощностью модуля до 150–400 кВт, из которых можно формировать требуемые по мощности узлы энергоснабжения. Модернизация существующих систем энергоснабжения может эффективно проводиться на основе создания энергокомплексов (ЭК), например, в составе ветродизельных электростанций (ВДЭС), обеспечивающих высокую долю замещения дальнепривозного дизельного топлива и адаптированных к суровым северным условиям. В России нет методологии создания подобных ЭК на базе ВИЭ, оптимизированных под ресурсные возможности и требуемое энергопотребление, обеспечивающих высокую долю замещения дизельного топлива. Среди важнейших сформулированы и решаются в СПбПУ следующие задачи:

1) Разработка методики достоверной оценки ресурсов ВИЭ в месте размещения ЭК в условиях ограниченной метеорологической и природно-климатической информации, основанной на крупно-, мезо- и микромасштабном моделировании ветрового потока.

2) Разработка методики расчета оптимальных параметров и режимов работы автономного энергокомплекса для энергоснабжения удаленных потребителей в суровых климатических условиях.

3) Разработка концепции блочно-модульной автономной системы энергоснабжения на базе ВДЭС с ВЭУ, адаптированной для работы в российских северных условиях, позволяющим формировать энергокомплекс требуемой мощности.

4) Разработка и создание программно-аппаратного модуля интеллектуальной системы преобразования, управления и распределения энергии ЭК, позволяющего интегрировать энергокомплекс на основе ВИЭ в автономную систему энергоснабжения в качестве активно-адаптивной установки, для обеспечения надежного и эффективного энергоснабжения потребителей.

5) Разработка методики расчета инвестиций в ЭК на базе ВИЭ для автономных регионов энергоснабжения под требуемый график энергопотребления объекта с учетом ресурсной обеспеченности, регионального тарифообразования, адаптированного оборудования и технологий строительства.

Предложенная методология использована при проектировании и создании ВДЭС в п. Амдерма (НАО) для которой предложено использовать ВЭУ мощностью 50 кВт, с внедренными мероприятиями по адаптации под российские условия, разработанные СПбПУ и компанией VTR Engineering.

Внедрение предлагаемой методологии в проекте энергокомплекса ВДЭС п. Андерма (мощность ДЭС – 1050кВт, ВЭС – 250кВт, объем производства энергии – 2790 МВт\*ч) позволит получить эффект за счет сокращения объема привозного топлива и внедрения экономически обоснованного тарифа около 45 млн руб. в год.

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ ЗАСЫПКИ НА ЕЕ ВОДОРОДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Пыхтина А.И., Романов И.А.  
ОИВТ РАН, Москва, Россия

Значительное расширение кристаллической решетки интерметаллических соединений (ИМС) в ходе сорбции водорода, порядка 20-25% приводит к быстрой деградации порошка ИМС [1], в ходе проведения последовательных циклов абсорбции-десорбции водорода возникают локальные внутренние напряжения, которые могут привести к деформации или даже разрушению реакторов с порошком металлгидрида. Исследованию этих процессов в реакторах различной конструкции в последние годы уделяется все больше и больше внимания. В литературе описываются следующие процессы, происходящие в металлгидридных засыпках в ходе повторяющихся циклов абсорбции-десорбции водорода: расширение и диспергирование частиц металлгидрида; седиментация частиц малого размера (менее 20 мкм) вследствие действия силы тяжести и движения частиц по мере их разрушения и изменения размеров из-за сорбции/десорбции водорода [2]; локальные уплотнения частиц; возникновение и последовательное накопление локальных напряжений [3].

Наиболее распространенные методики исследования водородсорбционных свойств рассчитаны на небольшие образцы (менее 10 г ИМС), в которых невозможно воспроизвести условия взаимодействия крупномасштабных засыпок с водородом. Чтобы заполнить этот пробел, в лаборатории Водородных энергетических технологий ОИВТ РАН была создана установка для высокоточного измерения РСТ-изотерм сорбции и десорбции водорода образцами различного масштаба и геометрии – УС 150. С помощью данной установки было экспериментально исследовано влияние геометрии металлгидридной засыпки на ее водородсорбционные свойства.

В ходе исследования проведены эксперименты по измерению изотерм сорбции и десорбции водорода образцом ИМС состава  $\text{La}_{0.9}\text{Ce}_{0.1}\text{Ni}_5$  массой 500г при двух вариантах геометрии образца: полуцилиндрическая (высота - 180 мм, радиус – 22,5 мм) и кольцевая засыпка (высота – 90 мм, внутренний радиус - 3 мм, внешний радиус -22,5 мм). Сравнение экспериментальных данных показало заметную разницу в равновесном давлении сорбции и десорбции водорода (до 0,2 и 0,05 МПа соответственно). При кольцевой геометрии засыпки равновесное давление сорбции и десорбции водорода ниже, чем при полуцилиндрической, при этом так же снижается величина энтальпии и энтропии сорбции и десорбции и гистерезис давления. Дальнейшие исследования в данной области позволяют оптимизировать конструкцию реакторов твердофазного хранения и очистки водорода на базе ИМС АВ5-типа.

### Список литературы:

1. Y. Nakamura, K. Sato, S. Fujitani, K. Nishio, K. Oguro and I. Uehara, "Lattice Expanding Behavior and Degradation of Lani5-Based Alloys," *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 267, No. 1-2, 1998, pp. 205-210.
2. Xiaochen Hu, Zhaogang Qi, Feng Qin, Jiangping Chen, «Mechanism Analysis on Stress Accumulation in Cylindrical Vertical-Placed Metal Hydride Reactor», *Energy and Power Engineering*, 2011, 3, pp. 490-498.
3. K. Nasakao, Y. Ito, N. Hirotsu and M. Osumi, "Relaxation of Internal Stress Generated in Hydrogen Absorbing Alloy Vessels," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 23, No. 10, 1998, pp. 921-929.

**СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ:  
МИРОВОЙ ОПЫТ И РОССИЙСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ  
APPLICATION OF ENERGY STORAGE: INTERNATIONAL EXPERIENCE AND  
PERSPECTIVES IN RUSSIA**

**Ряпин И.Ю.**

Институт энергетики НИУ ВШЭ, Москва, Россия

**Ryapin I.**

Energy institute NRU HSE, Moscow, Russia

Ключевые слова: системы хранения электроэнергии, возобновляемая энергетика, новая энергетика, инвестиции в электроэнергетику, системные услуги, ценозависимое потребление

Keywords: energy storage, renewable energy, advanced energy, energy sector investment, auxiliary services, demand response

В последнее время системы хранения электроэнергии привлекают значительный интерес со стороны как представителей электроэнергетики, так и со стороны потребителей электроэнергии. Несмотря на то, что хранение электроэнергии – явление не новое (пример тому - гидроаккумулирующие электростанции), новым явлением становится относительная доступность установки систем хранения энергии и простота их эксплуатации (по сравнению с гидроаккумулирующими электростанциями). Это приводит к тому, что для систем хранения электроэнергии появляется значительное число новых способов и сфер их применения, которые в разной степени актуальны для различных энергосистем.

В совместном отчете Министерства энергетики США и Института исследований электрической энергии [1] приведено 18 различных функций, которые могут выполнять системы хранения электроэнергии, сгруппированные по пяти различным категориям: услуги на оптовом рынке электроэнергии, вспомогательные услуги, услуги в сфере магистральной передачи электроэнергии, услуги в распределительных электрических сетях, услуги на стороне потребителей.

Анализ развития систем хранения электроэнергии в мире указывает, что наиболее активно их развитие происходит в тех странах, где активно развиваются возобновляемые источники энергии: первые три страны по величине установленной мощности систем хранения электроэнергии (за исключением гидроаккумулирующих электростанций) – США (1,5 млн кВт), Испания (1,1 млн кВт), Германия (1 млн кВт) [2]. Это отражает наиболее востребованное применение систем хранения энергии на этих рынках: сглаживание стохастического характера выработки электроэнергии электростанциями, функционирующими с использованием возобновляемых источников энергии (энергии солнца и ветра). В России, по данным системного оператора установленная мощность солнечных и ветряных электростанций составляет менее 1% установленной мощности энергосистемы [3], что делает эту функцию не актуальной для России.

Однако перед российской электроэнергетикой стоят такие проблемы, как низкая эффективность загрузки генерирующих и сетевых мощностей, необходимость обеспечения надежного и бесперебойного снабжения электроэнергией удаленных территорий, необходимость осуществления значительных инвестиционных затрат для присоединения новых центров нагрузки при общей недозагруженности системы.

Учитывая стоящие перед российской электроэнергетикой проблемы, можно выделить следующие сферы применения систем хранения электроэнергии в России:

- оптовый рынок электроэнергии и мощности (замещение традиционной генерации с низким коэффициентом использования установленной мощности);

- оказание системных услуг (первичное и вторичное регулирование частоты и мощности, вращающийся резерв, запуск «с нуля»);

- услуги в магистральных и распределительных сетях (разгрузка центров питания, поддержание напряжения и частоты на подстанциях, оптимизация инвестиционных и операционных расходов);

- применение систем хранения электроэнергии у потребителей (поддержание качества электроэнергии, резервное питание, участие в ценозависимом потреблении, снижение заявленной мощности присоединения).

Задача государства и всего энергетического сообщества – разработка таких правил, которые обеспечили бы эффективную интеграцию систем хранения энергии, обеспечивающую решение стоящих перед отраслью задач.

#### **Список литературы**

1. DOE/EPRI 2013 Electricity storage handbook in collaboration with NRECA // Sandia National Laboratories, SAND2013-5131, July, 2013
2. DOE Energy storage database // [http://www.energystorageexchange.org/projects/data\\_visualization](http://www.energystorageexchange.org/projects/data_visualization) (электронный ресурс, дата обращения 23.09.2016)
3. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2015 году // ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы», 2016

---

## ANALYSIS OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM BASED ON SOLAR ENERGY WITH VARIOUS SYSTEMS OF ENERGY STORAGE

**Schastlivtsev A., Mordynsky A.**

Joint institute for High Temperatures RAS, Moscow, Russia

*h2lab@mail.ru*

Keywords: hydrogen, solar energy, accumulation system, autonomous power supply.

For solar energy is important seasonal factor. For example, solar power can decrease in winter at 30 ... 70%, compared with the summer, with this feature becoming more distinctive when moving from the equator toward the poles. In this case, for such systems is important to select the energy storage system that will provide an effective solution to the above problem at minimum capital cost. As one of the possible energy accumulation systems under these conditions the hydrogen-air system based on a gas turbine plant is considered. The main feature of this system is the accumulation of energy combined in form of compressed air by means of compressors, as well as hydrogen and oxygen obtained by water electrolysis. For a comparative analysis the system with lithium-ion battery system and hydrogen-based fuel cell system are considered. A placement of autonomous power supply system is selected region of Maikop, located at a latitude of having a high potential of solar energy in Russia. For analysis was used NASA satellite data on solar radiation, which allowed us to obtain the most reliable results at the average annual solar radiation in the considered area. This allowed more accurately determine the required characteristics of energy storage systems, such as storage capacity, the installed capacity of the equipment, etc. It is shown that the use for a such autonomous systems of hydrogen-air energy storage system reduces the cost of storage for more than 55 ... 60% in comparison with the lithium-ion batteries, as well as to reduce the installed capacity of the equipment at 30 ... 40% in comparison with the hydrogen-based fuel cell system.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research project № 16-38-00780 mol\_a.

**РЕГИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ  
БИОЭНЕРГЕТИКИ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ  
REGIONAL LEVEL ANALYSIS OF GROSS RESOURCES FOR BIOENERGY  
INDUSTRY DEVELOPMENT. CASE STUDY: REPUBLIC OF CRIMEA**

**Каргашин П.Е., Андреев Т.Ю., Рафикова Ю.Ю., Новаковский Б.А.,  
Прасолова А.И.**

ФГБОУ ВО МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, г. Москва, Российская  
Федерация

**Kargashin P., Andreenko T., Rafikova Yu., Novakovskiy B., Prasolova A.**  
Lomonosov MSU, Faculty of Geography, Moscow, Russian Federation

*p.e.kargashin@mail.ru*

This article shows the results of scientific research concerning regional analysis of resources for bioenergy. Republic of Crimea has insufficient number of power plants and quantity of producing energy is less than demands. On the other hand the territory has great capabilities to implement renewable energy sources in electric power industry. We consider bioenergy as a perspective way to reduce lack of energy and increase self-sufficiency.

This research was taken to estimate gross resources for bioenergy industry. Suggested approach presumes step-by-step multilevel analysis. At first we explored data for administrative units and calculated gross energy potential of crop wastes for each region. It allowed to reveal territories with the highest rate. For the further investigation we had chosen Saki District and adjacent cities Saki and Yevpatoriya. This level of analysis showed distribution of agricultural lands within the plot. It became possible by means of space images interpretation. Image processing gave us land use map of the territory and vegetation index values. Such information helped us to determine which areas were used for cultivation. Hence, crop wastes from these plots can be considered as resources for energy production.

As a result we have got a multilevel estimation of resources for energy production from crop wastes. The results are presented as the series of maps. Spatial analysis allowed us to define sufficient territories with most gross resource potential. This investigation was taken as a part of a research funded by RFBR according to the project № 16-05-01015 a.

Keywords: bioenergy, crop waste, GIS, vegetation index

Ключевые слова: биоэнергетика, отходы растениеводства, геоинформационные системы, вегетационный индекс

Использование отходов сельскохозяйственной промышленности в качестве источников энергии является важным аспектом природопользования. Особенно интересны для исследователей регионы с проблемами в энергоснабжении и, вместе с тем, с высокой долей сельского хозяйства в экономике. Одним из таковых является Республика Крым.

Ранее оценки энергопотенциала отходов Крыма носили лишь интегральный характер [1; 2], что безусловно недостаточно для реализации конкретных биоэнергетических проектов на полуострове даже на прединвестиционной стадии. В 2016 году авторами проведена работа по расчету потенциалов основных выращиваемых в Крыму сельскохозяйственных культур на уровне административных районов, результаты приведены в таблице. Оценка проводилась на основе общепринятых подходов [3], с использованием статистических данных 2014 г. [4].

Проведенные исследования показали, что основным энергетическим потенциалом для территории Крыма характеризуются отходы производства зерновых культур – солома. Суммарный валовой энергетический потенциал соломы для Крыма составляет 456 815 тонн условного топлива (т у.т.) в год. Муниципальные районы с максимальным производством соломы: Красногвардейский – 68 575 т у.т., Ленинский – 45 077 т у.т., Нижнегорский – 41 346 т у.т., Джанкойский – 40 476 т у.т.



Таблица. Энергосодержание отходов производства сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий муниципальных образований Республики Крым в 2014 году (жирным шрифтом выделены лидеры среди районов и сельскохозяйственных культур по валовому энергопотенциалу отходов)

Муниципальные образования (районы и городские округа)	Название растительной культуры						
	Зерновые (солома), т у.т./год	Подсолнечник (стебли и лузга), т у.т./год	Рапсозимы, т у.т./год	Картофель, т у.т./год	Овощи, т у.т./год	Виноград, т у.т./год	ИТОГО, т у.т./год
Бахчисарайский	3305	56	0	923	853	<b>4262</b>	9404
Белогорский	19195	3941	1038	704	482	43	25405
Джанкойский	<b>40476</b>	<b>32953</b>	184	<b>1418</b>	<b>1962</b>	53	77629
Кировский	23045	7179	538	468	582	<b>2108</b>	33926
Красногвардейский	<b>68575</b>	<b>38078</b>	<b>1779</b>	934	951	736	112662
Красноперекопский	24114	<b>23834</b>	762	587	906	17	52769
Ленинский	<b>45077</b>	13195	507	<b>1720</b>	665	55	61257
Нижнегорский	<b>41346</b>	11964	640	988	1032	101	56321
Первомайский	36098	4140	327	859	1131	30	42636
Раздольненский	26550	18881	1170	95	291	5	47037
Сакский	33391	5534	<b>1986</b>	666	<b>1538</b>	1090	44230
Симферопольский	32882	2756	1561	<b>1275</b>	<b>1334</b>	<b>4306</b>	44526
Советский	38285	12805	<b>1689</b>	337	632	185	53970
Черноморский	23575	3372	635	354	280	192	28407
Симферополь	0	0	0	133	76	12	220
Алушта	0	0	0	202	215	1876	2293
Евпатория	0	3	0	14	42	12	68
Керчь	0	9	0	553	236	21	834
Судак	0	0	0	217	149	<b>2031</b>	2396
Феодосия	465	0	107	478	430	1741	3238
Ялта	0	0	0	3	12	682	697
г. Севастополь	434	0	0	144	0	<b>5459</b>	6037
Всего по Республике Крым	456815	178701	12921	13071	13895	25015	706065

Также значительным энергосодержанием обладают отходы производства подсолнечника (лузга и стебли) – 17 8701 т у.т. в год (для Крыма в целом). Районы с максимальным его производством: Красногвардейский – 38 078 т у.т., Джанкойский – 32 953 т у.т., Красноперекопский – 23 834 т у.т., Раздольненский – 18 881 т у.т.

Третье место по энергосодержанию имеют отходы, образующиеся при обрезки виноградной лозы, которые для всего полуострова по энергосодержанию эквивалентны 25 015 т у.т. в год. Районы со значительно развитым виноградарством и с максимальным энергетическим потенциалом обрезанной лозы, – городской округ Севастополь – 5 459 т у.т., городской округ Судак – 2 031 т у.т., муниципальные округа: Симферопольский – 4 306 т у.т., Бахчисарайский – 4 262 т у.т., Кировский – 2 108 т у.т. Помимо

вышеперечисленного, наши расчеты показали, что отходы кукурузы на зерно и сою незначительны и составляет для всего Крыма 4 098 и 1 548 т.у.т. в год, соответственно. [5]

Первый этап исследования позволил определить районы, которые имеют достаточный ресурсный потенциал для размещения на их территории объектов генерации электроэнергии, работающих на отходах растениеводства. Полученные выводы характеризуют единицы административного деления целиком и не показывают пространственных особенностей размещения ресурсов в пределах районов Республики Крым. Очевидно, каждый муниципальный район или городской округ характеризуется сочетанием различных типов использования земель и далеко не каждый из них можно рассматривать в качестве ресурсной базы для биоэнергетики. Таким образом, целесообразно проводить дальнейший анализ уже не на основе административно-территориального деления, а по типам землепользования. Для более детального исследования был выбран Сакский район и соседние городские округа: Сакский и Евпаторийский. Площадь исследуемого участка составила 2347 квадратных километров. По вычисленным показателям энергосодержания отходов производства сельскохозяйственных культур эта территория имеет средние значения.

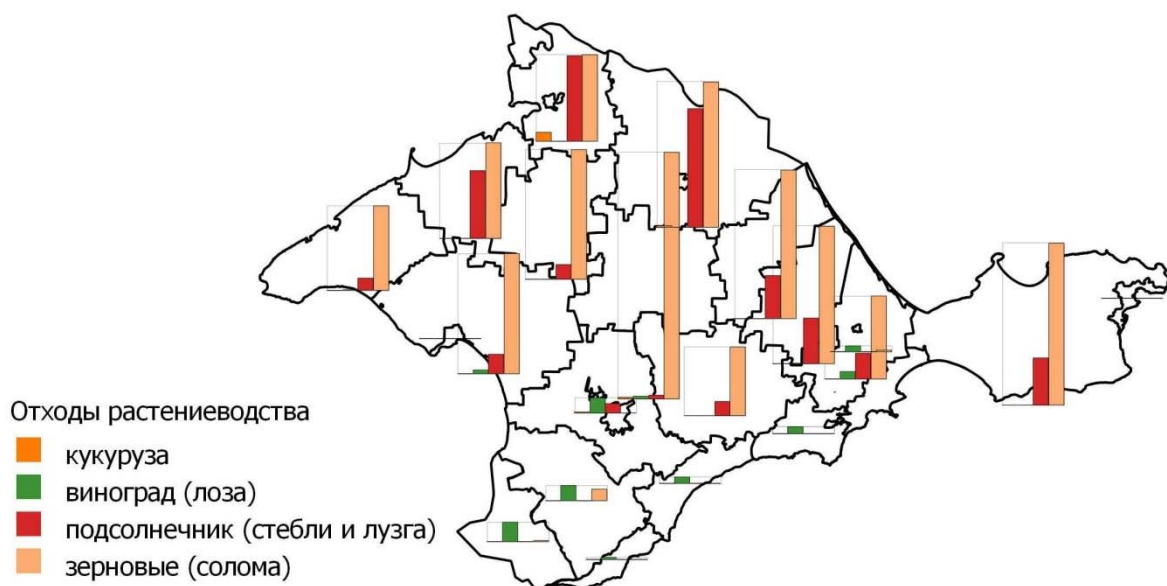


Рис.1. Распределение валового энергопотенциала отходов растениеводства по различным культурам для Республики Крым

Важным и одним из наиболее трудоемких этапов исследования стало выделение разных типов использования земель в пределах тестового участка. Это было сделано по результатам дешифрирования серии космических снимков, сделанных съемочной системой OLI со спутника Landsat-8. Снимки датируются периодом с мая по август 2015 года, также в качестве вспомогательных источников использованы материалы съемочного сезона 2014 и 2016 годов за аналогичный период и данные геопортала Google Earth. Каждый выделенный контур охарактеризован в соответствии с принципами, заложенными в классификациях Land use/Land cover (LULC). В качестве базовой выбрана классификация описанная в [6] и уточнена с учетом региональной специфики и задач исследования. По результатам дешифрирования выявлено, что земли сельскохозяйственного назначения составляют 1866 кв.км, их них по растениеводство

отведено 1449 тыс.кв. км. Полученные результаты в общем соответствуют данным официальной статистики на исследуемую территорию за 2015 год. [7]

На рисунке 2 приведена карта использования земель, на которой показана селитебная и рекреационная зона, объекты промышленности, транспорта, в том числе добывающей, водоемы и водотоки, посадки леса, а также сельскохозяйственные земли. Территории, которые можно рассматривать как потенциальный источник ресурсов для биоэнергетики отнесены к категориям: земледелие, а также садоводство и виноградарство. Эти территории занимают значительную часть исследуемого района, однако данная характеристика не может быть полной так как не все земли использованы под выращивание сельскохозяйственных культур в указанный период.

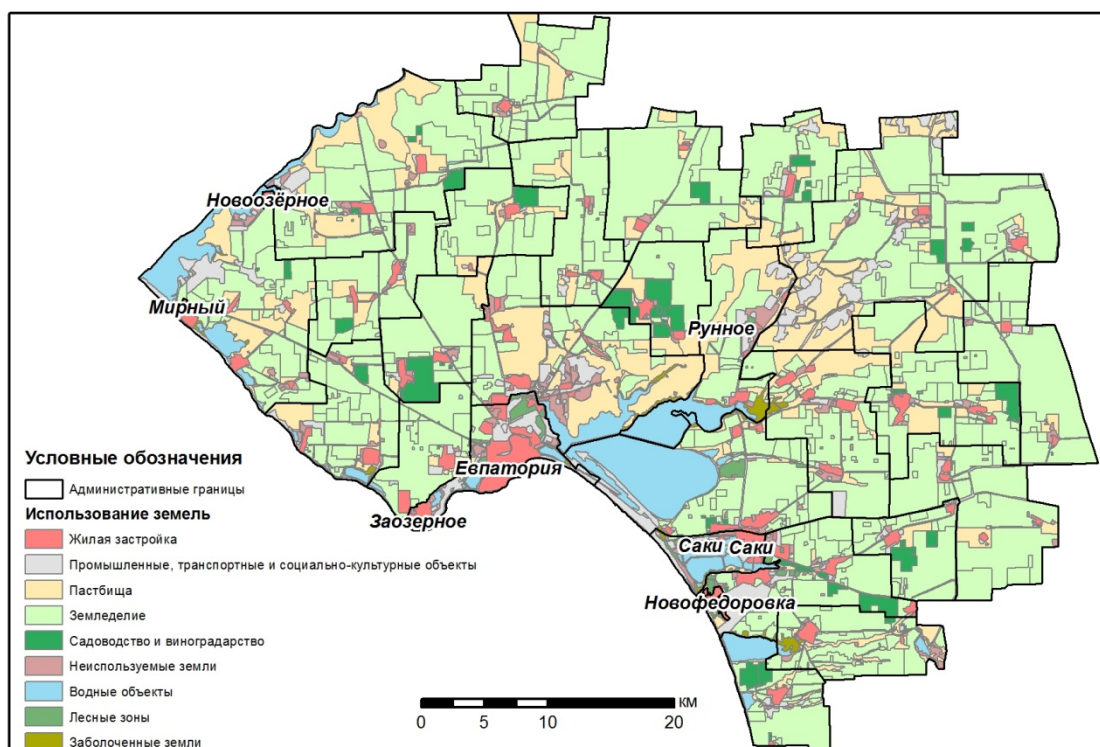


Рис. 2. Использование земель в пределах исследуемой территории

Оценить это возможно на основе обработки космических снимков, а именно с помощью вегетационных индексов, отражающих количество фотосинтетически активной биомассы. В работе использован нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), принцип которого показан в [8]. Серия индексных изображений отражает NDVI за период с мая по август. Для удобства анализа данных значения вегетационного индекса осреднены по выделенным сельскохозяйственным контурам. Рисунки 3 и 4 показывают пространственное распределение показателя в мае и августе. Большее значение индекса свидетельствует о большем объеме биомассы, в цветовом выражении это показано с помощью цветовой шкалы от красного (открытые участки почв) до зеленого (растительность).

В завершении следует наметить перспективы исследования, заключаются в пространственном анализе ресурсной базы и моделировании размещения объектов генерации электроэнергии на основе отходов растениеводства. Такие задачи в настоящее время решаются посредством геоинформационных технологий.



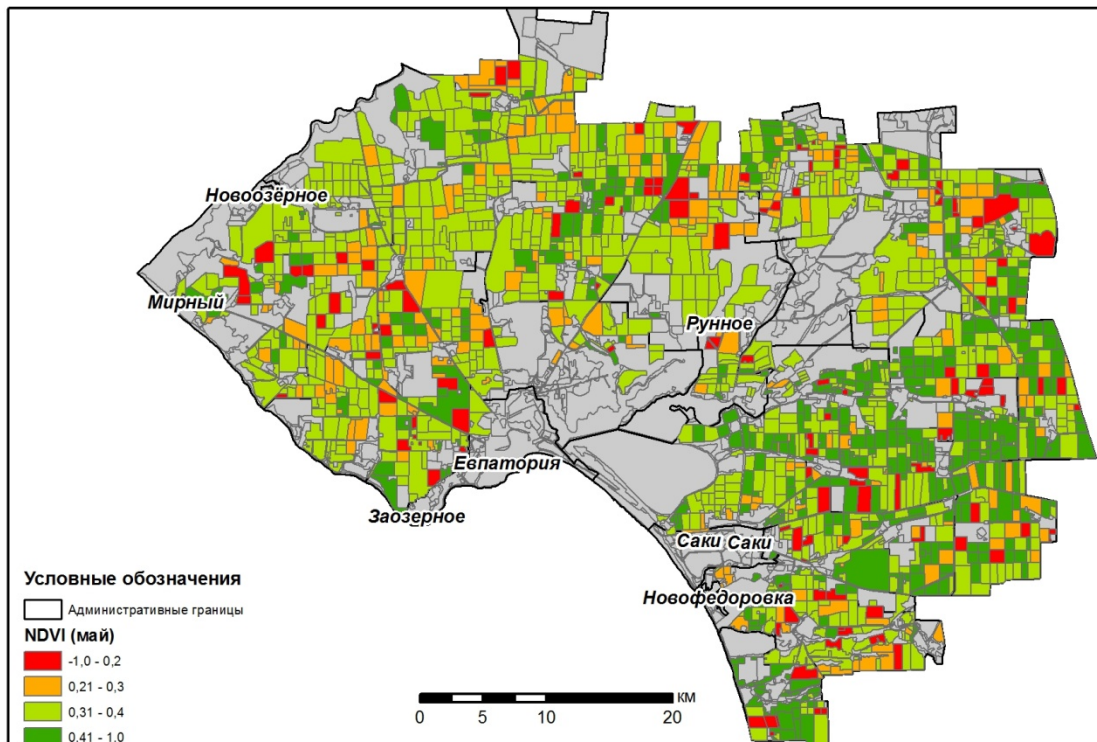


Рис.3. Распределение NDVI в мае по сельскохозяйственным полям

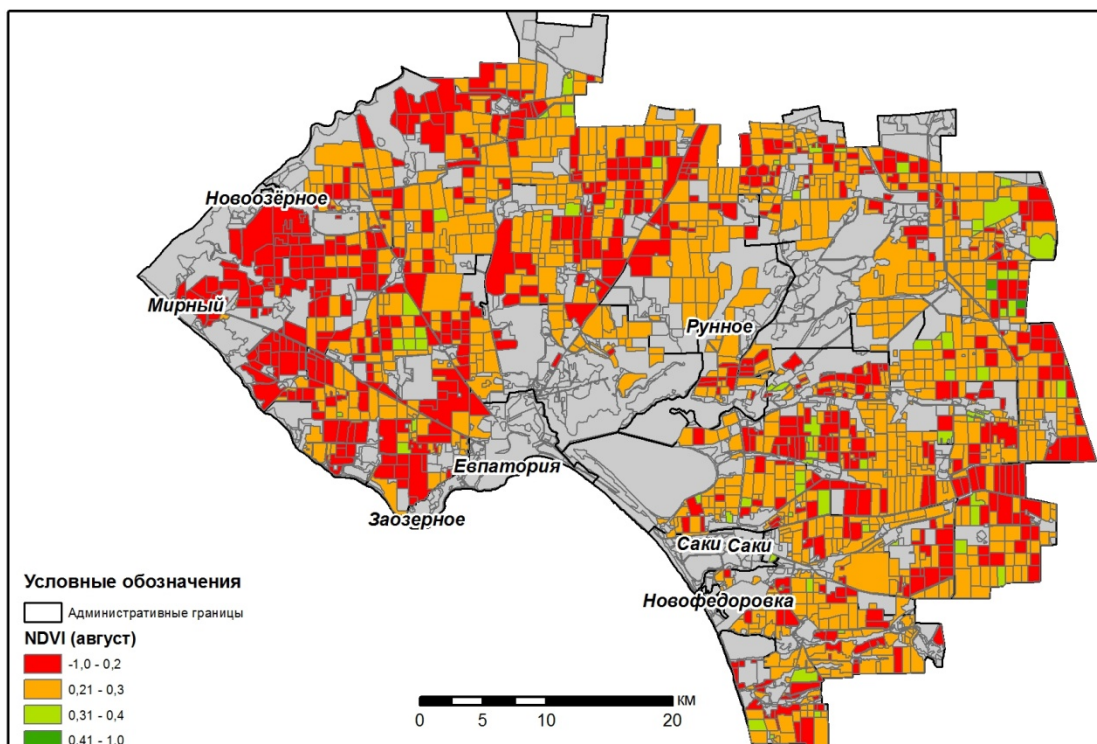


Рис.4. Распределение NDVI в августе по сельскохозяйственным полям.

В настоящем исследовании уже создана база геоданных, которая включает значительный объем необходимой информации и включает векторные данные (административное деление, использование земель, объекты промышленности и рекреации, в том числе действующие электростанции), растровые изображения (многозональные космические снимки и производные изображения), сетевые данные (дороги, линии электропередач). Использование различного представления данных

позволяет решать задачи по оптимизации маршрутов перевозки биотоплива и сырья для него; поиска наиболее удачного положения электростанции с учетом ее потенциальной зоны обслуживания, близости к ресурсной базе и т. д. Представленные результаты выполнены в рамках работ по проекту № 16-05-01015 а, финансируемому РФФИ.

#### Список литературы:

1. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание / Т. И. Андрееенко, Т. С. Габдерахманова, О. В. Данилова и др. — РХТУ им. Д.И.Менделеева Москва, 2015. — С. 160.
2. Кудря С.О. «Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України» / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. та інш. – НАН України, Державний Комітет України з енергозбереження, - К., 2001, 41с.
3. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям). Под редакцией Безруких П.П. М.: «ИАЦ Энергия», 2007. 272 с.
4. База данных показателей муниципальных образований. <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm> (обращение к сайту 06.10.2016 г.)
5. [5] Андрееенко Т. И., Киселёва С. В., Рафикова Ю. Ю. Оценка энергетического потенциала отходов растениеводства Крымского Федерального округа //Иновации в сельском хозяйстве. — 2016. — № 5(20). — С. 449–455.
6. J. R. Anderson, E. E. Hardy, J. T. Roach and R. E. Witmer, A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U.S. Geological Survey Professional Paper, No. 964. USGS, Washington, D.C., 1976, p 19-37.
7. Отчет главы МО Сакский район Республики Крым о результатах своей деятельности за период с октября 2014 года по октябрь 2015 года Интернет-ресурс: <http://sakirs.ru/sakskij-rajonnyj-sovet/documenty-rs/otchety/301-primer-otcheta> ( обращение к сайту 15.09.2016)
8. Krieglger, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R.F., and Richardson, W. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, 1969, p. 97-131.

#### References:

1. Atlas resursov vozobnovlyayemoy energii na territorii Rossii: nauch. izdaniye / Т. I. Andreyenko. Т. S. Gabderakhmanova. О. V. Danilova i dr. — RKhTU im. D.I.Mendeleyeva Moskva. 2015. — S. 160.
2. Kudrya S.O. «Atlas energetichnogo potentsialu vidnovlyuvanikh ta netraditsiyonikh dzherel energii Ukraini» / Kudrya S.O.. Yatsenko L.V.. Dushina G.P. ta insh. – NAN Ukraini. Derzhavniy Komitet Ukraini z energozberezhennya. - K.. 2001. 41s.
3. Spravochnik po resursam vozobnovlyayemykh istochnikov energii Rossii i mestnym vidam topliva (pokazateli po territoriyam). Pod redaktsiyey Bezrukikh P.P. M.: «IATs Energiya». 2007. 272 s.
4. Baza dannykh pokazateley munitsipalnykh obrazovaniy. <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm> (obrashcheniye k saytu 06.10.2016 g.)
5. [5] Andreyenko T. I.. Kiseleva S. V.. Rafikova Yu. Yu. Otsenka energeticheskogo potentsiala otkhodov rasteniyevodstva Krymskogo Federalnogo okruga //Innovatsii v selskom khozyaystve. — 2016. — № 5(20). — S. 449–455.
6. J. R. Anderson, E. E. Hardy, J. T. Roach and R. E. Witmer, A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U.S. Geological Survey Professional Paper, No. 964. USGS, Washington, D.C., 1976, p 19-37.
7. Otchet glavy MO Sakskiy rayon Respubliki Krym o rezultatakh svoey deyatelnosti za period s oktyabrya 2014 goda po oktyabr 2015 goda Internet-resurs: <http://sakirs.ru/sakskij-rajonnyj-sovet/documenty-rs/otchety/301-primer-otcheta> ( obrashcheniye k saytu 15.09.2016)
8. Krieglger, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R.F., and Richardson, W. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, 1969, p. 97-131.

**КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ ПОПУТНЫХ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ  
ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД СУХОКУМСКОЙ ГРУППЫ ГАЗОНЕФТЯНЫХ  
СКВАЖИН СЕВЕРНОГО ДАГЕСТАНА**  
**COMPLEX DEVELOPMENT OF HIGH SALT THERMAL ASSOCIATED WATER  
OF SUKHOKUMSK GAS-OIL WELLS GROUP IN THE NORTHERN DAGHESTAN**

**Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем геотермии  
Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала, Россия

**Alkhasov A.B., Alkhasova D.A., Ramazanov A.Sh.**

Institute for Geothermal Research, Dagestan Scientific Centre RAS, Makhachkala, Russia

*alibek\_alkhasov@mail.ru*

**Abstract.** The research on optimization of thermodynamic cycle implemented in the secondary circuit of a binary geothermal power plant and primary circuit parameters have been carried out. It has been established that there is an optimum temperature of evaporation for a low boiling working fluid according to the maximum power generated by the turbine and the optimal flow rate of geothermal circulation system, corresponding to the maximum net power of the geothermal power plant. An integrated technology has been proposed for processing of salt geothermal water extracted simultaneously with oil in the Northern Dagestan. It will help to extend the life, increase the technical and economic parameters and solve the urgent environmental problem of the oil deposit. Besides it will contribute to substitution of lithium carbonate, edible salt and other valuable chemicals import to Russia.

**Аннотация.** Проведены исследования по оптимизации термодинамического цикла, реализуемого во вторичном контуре бинарной ГеоЭС и параметров первичного контура. Установлено, что существует оптимальная температура испарения низкокипящего рабочего тела, соответствующая максимуму мощности, вырабатываемой турбиной и оптимальный дебит геотермальной циркуляционной системы (ГЦС), соответствующий максимуму полезной мощности ГеоЭС. Предложена комплексная технология переработки минерализованных геотермальных вод, добываемых попутно с нефтью в Северном Дагестане, что будет способствовать продлению срока эксплуатации, повышению технико-экономических показателей и решению острой экологической проблемы нефтяного месторождения, а также замещению импорта в Россию карбоната лития, соли пищевой и других ценных химических продуктов.

**Keywords:** thermal water, temperature, geothermal power plant, capacity, thermodynamic cycle, extraction, salinity, lithium carbonate.

**Ключевые слова:** термальная вода, температура, геотермальная электростанция, мощность, термодинамический цикл, извлечение, минерализация, карбонат лития.

Под комплексным освоением высокоминерализованных термальных вод подразумевается использование их теплового потенциала на различные теплоэнергетические нужды и последующее извлечение химических компонентов из геотермального рассола. Наиболее перспективным является использование теплового потенциала для получения электроэнергии.

подавляющая часть гидрогеотермальных ресурсов России с температурой 100 – 200°C сосредоточена в пластовых водонапорных системах осадочных бассейнов. Характерными особенностями термальных вод этих систем являются высокая минерализация (20 – 200 г/л), повышенное газосодержание, склонность к солеотложению при изменении термобарических условий и высокая коррозионная агрессивность к конструкционным материалам. Энергетическое освоение таких ресурсов обусловлено использованием технологии бинарных ГеоЭС на низкокипящих рабочих агентах. При этом ГеоЭС включает геотермальную циркуляционную систему (ГЦС), в контуре которой циркулирует термальная вода, и цикл паротурбинной установки (ПТУ), где циркулирует низкокипящий вторичный теплоноситель. В ПТУ реализуется цикл Ренкина.

Применение ГеоЭС такого типа значительно увеличивает число регионов, перспективных для развития геотермальной энергетики. В частности, к ним относится Северокавказский регион, как наиболее термически напряженный. Здесь высокие температуры недр сочетаются с наличием мощных водоносных комплексов.

Выбор технологической схемы бинарной ГеоЭС зависит от многих факторов, основными из которых являются гидрогеотермические условия геотермального месторождения и физико-химические показатели качества термальной воды. В настоящее время существует большое разнообразие технологических схем ГеоЭС [1,2].

Бинарный цикл имеет свои преимущества и недостатки. К преимуществам относятся: более полное использование теплоты рассола и закачка его в пласт с меньшей температурой; возможность использования геотермальных ресурсов с пониженной температурой для выработки электроэнергии; агрессивные компоненты геотермального теплоносителя не попадают в турбину, конденсатор и другое оборудование, что обеспечивает более длительный срок их эксплуатации; сопутствующие вредные газы не попадают в окружающую среду. Недостатком цикла является усложнение схемы и некоторая потеря температурного (обычно и без того достаточно низкого) потенциала, поскольку для передачи тепла от флюида к рабочему телу необходима разность температур. Нижняя температура цикла в этом случае лимитируется возможностью выпадения из флюида по мере его охлаждения растворенных в нем солей [3].

При строительстве бинарной ГеоЭС важен выбор рабочего тела во вторичном контуре. Рабочее тело должно обладать благоприятными химическими, физическими и эксплуатационными свойствами при заданных условиях работы, то есть быть стабильным, негорючим, взрывобезопасным, нетоксичным, инертным по отношению к конструкционным материалам, озонобезопасным и дешевым. Желательно выбирать рабочее тело с более низким коэффициентом динамической вязкости (меньше гидравлические потери) и с более высоким коэффициентом теплопроводности (улучшается теплообмен).

Все эти требования одновременно выполнить практически невозможно, поэтому всегда приходится, выбирая то или иное рабочее тело, идти на компромисс. Наиболее важными требованиями при выборе рабочего тела являются достаточная термодинамическая эффективность цикла и минимальные массогабаритные показатели основного оборудования.

При выборе низкокипящих рабочих тел определяющим является величина удельной выработки электроэнергии на 1 кг/с расхода первичного теплоносителя, поэтому эффективность преобразования теплоты в таких установках зависит от термодинамических и теплофизических свойств низкокипящих рабочих тел, характера их изменения при подводе и отводе теплоты.

Выполнен термодинамический анализ различных рабочих агентов, как используемых в бинарных ГеоЭС, так и озонобезопасных агентов нового поколения. В результате оптимизации цикла с учетом получения максимальной мощности на 1 кг/с расхода термальной воды и указанных выше дополнительных факторов установлено, что наиболее перспективными из хорошо освоенных рабочих агентов являются изобутан, R142в и R134а. Дальнейшее их сравнение с учетом дополнительных факторов говорит в пользу изобутана. Рабочий агент R142в (дифторхлорэтан) является галогенизированным производным этана и при взаимодействии с водой образует галогенные кислоты, которые в конечном итоге приводят к коррозии конструкционных материалов. Кроме того, теплофизические свойства изобутана лучше чем у R142в (вязкость изобутана в 1,5 раза ниже, а теплопроводность в 1,2 раза выше). Необходимо отметить, что изобутан совместим с маслами и не вызывает коррозии оборудования энергоустановки. Выбор изобутана, кроме перечисленных выше преимуществ, обусловлен его относительно невысокой стоимостью и экологической безвредностью (потенциал разрушения

озонового слоя  $ODP = 0$ , а потенциал глобального потепления  $GWP = 3$ ). Для сравнения значения  $GWP$  для R134a и R142в соответственно равны 1300 и 2000. Европа призывает запретить в ближайшее десятилетие все HFC-хладагенты, к которым относятся R134a и R142в. Оборудование, работающее в Европе на HFC-агентах, Гринпис предлагает лишать знаков экологической чистоты [4]. Невысокие начальные параметры рабочих тел геотермальных энергетических установок приводят к поиску низкокипящих рабочих тел с отрицательной кривизной правой пограничной кривой в T-S – диаграмме, что позволяет избежать высокой влажности пара при расширении в турбине. Таким рабочим телом является изобутан.

Основную долю общих затрат по геотермальным установкам составляют капитальные затраты. В связи с этим рациональное использование термальных вод требует разработки оптимальных схем и выбора оптимальных параметров для ГеоЭС и теплоэнергетических установок. Оптимальные технические и экономические параметры могут быть установлены только на основе анализа общей совокупности термодинамических, технологических, гидрогеотермических, строительных и других факторов.

При создании ГеоЭС главной целью является получение максимальной полезной электрической мощности при оптимальных экономических показателях. Повышение мощности достигается увеличением расхода первичного теплоносителя, циркулирующего в контуре ГЦС, и оптимизацией термодинамического цикла вторичного контура.

Рассчитаны энергетические характеристики ГеоЭС для большого диапазона температур добываемой воды и различных режимов ее работы при условии использования во вторичном контуре изобутана. Анализ полученных результатов показывает, что существуют оптимальные параметры работы паросиловой установки, которые зависят от температуры воды, поступающей в первичный контур парогенератора-теплообменника. С увеличением температуры испарения изобутана возрастает мощность, вырабатываемая турбиной на 1 кг/с расхода вторичного теплоносителя. При этом по мере увеличения температуры испарения уменьшается количество испаряемого изобутана на 1 кг/с расхода термальной воды. Существует оптимальное значение температуры испарения рабочего агента, соответствующее максимальной мощности энергоустановки (рис.1).

Оптимальная температура испарения рабочего агента зависит от температуры термальной воды, температуры конденсации рабочего агента и наименьшего температурного напора в теплообменнике-испарителе. С повышением температуры термальной воды увеличивается и оптимальная температура испарения.



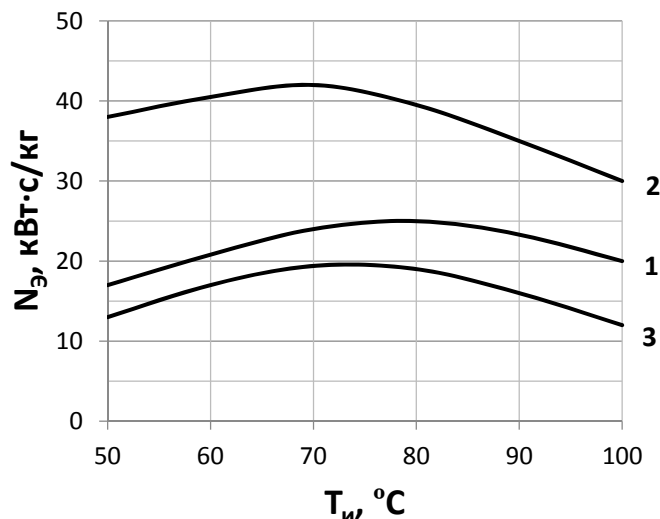


Рис. 1. Зависимость удельной мощности  $N_э$  турбины от температуры испарения  $T_и$  изобутана при температуре термальной воды  $T_T = 130^\circ\text{C}$   
 1 –  $T_к = 30^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T_к = 7^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ ; 3 –  $T_к = 30^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T = 20^\circ\text{C}$

Существенное влияние на эффективность энергоустановки оказывает температура конденсации. Наиболее выгодным для бинарной ГеоЭС является использование конденсационной системы, рассчитанной на самые низкие, допустимые на поверхности температуры. Снижение температуры конденсации до  $7...15^\circ\text{C}$  в периоды холодного времени года позволяет достичь значительного сезонного увеличения мощности ГеоЭС.

При проектировании бинарной ГеоЭС необходимо также оптимизировать параметры геотермальной циркуляционной системы (ГЦС) – дебит системы, число скважин и их диаметры, схему размещения скважин и расстояние между ними. Проведенными исследованиями установлено, что с увеличением дебита ГЦС происходит возрастание полезной мощности ГеоЭС и достигает максимума при некотором оптимальном дебите. Дальнейшее увеличение дебита приводит к снижению полезной мощности, так как резко возрастают затраты энергии на закачку отработанной термальной воды обратно в пласт (рис.2).

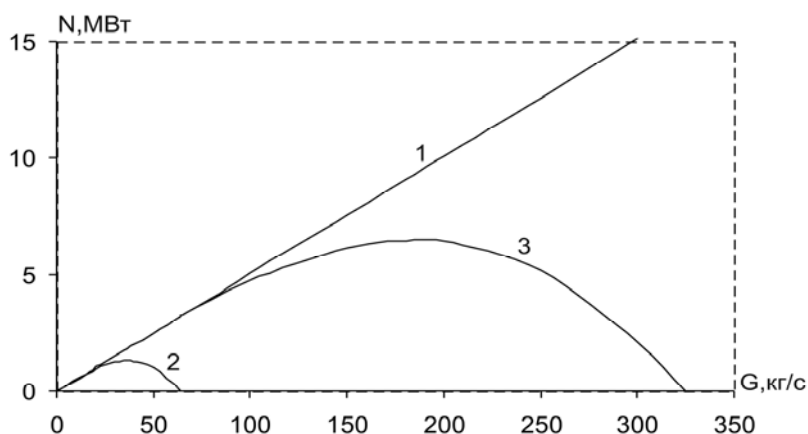
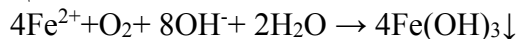


Рис.2. Зависимость мощности ГеоЭС от расхода геотермального теплоносителя, циркулирующего в контуре ГЦС  
 1 – полная мощность энергоустановки; 2 и 3 – полезная мощность при диаметрах скважин 0,122 и 0,251 м соответственно.

Первоочередными для комплексного освоения являются геотермальные минерализованные воды, попутно добываемые с нефтью на Сухокумской нефтегазовой площади на севере Дагестана. Ежегодно добывается до 1,5 млн. м<sup>3</sup> термальной воды с температурой 100-120 °С и минерализацией до 100 г/л и более, которая сбрасывается с гамма-фоном 28-32 мкР/ч на специально отведенные поля фильтрации без какого-либо предварительного обеззараживания, что наносит огромный экологический ущерб окружающей среде. Территория Северного Дагестана является зоной отгонного животноводства, где выявлены локальные участки с гамма-фоном, превышающим естественный (5-6 мкР/ч) в 5-10 раз. Сброс неочищенных вод с высоким радиоактивным фоном приводит засолению и радиоактивному загрязнению прилежащих к нефтяному месторождению территории на многие века. В связи с этим необходимость разработки комплексной, экономичной и экологически безопасной технологии утилизации вод попутно добываемых с нефтью очевидна.

В комплексной технологии утилизации геотермальная минерализованная вода подводится на блок теплообменных аппаратов бинарной ГеоЭС мощностью 0,5 МВт, далее отработанная вода температурой 60 °С поступает на блок водоподготовки, откуда очищенная вода направляется на завод по извлечению химических компонентов. Потребности завода в электроэнергии обеспечиваются бинарной ГеоЭС.

Операцию водоподготовки осуществляется по методике, предложенной в работе [5]: в реактор с исходной водой вводится эквивалентное содержанию  $\text{HCO}_3^-$  количество гидроксида кальция (гашеной извести) и сжатый воздух для окисления  $\text{Fe}^{2+}$ . При этом протекают процессы, которые схематично можно изобразить следующими уравнениями реакций:



Образующиеся твердые фазы  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  и  $\text{CaCO}_3$  обладают высокими коагуляционными и сорбционными свойствами и способствуют очистке рассола не только от механических примесей, растворенных органических веществ, но и от радиоактивных веществ.

Геотермальная минерализованная вода, прошедшая стадию водоподготовки, является литийсодержащим гидроминеральным сырьем. Для комплексной переработки подготовленной воды могут быть успешно применены технологические решения, предложенные для Тарумовских и Берикейских геотермальных вод месторождений Республики Дагестан [6,7]. Целевыми продуктами технологии переработки воды являются карбонат лития и хлорид натрия, попутно – порошок магнезитовый каустический и химически осажденный мел (карбонат кальция).

Переработка только 1.5 млн. м<sup>3</sup> геотермальных минерализованных вод, попутно добываемых с нефтью, позволит получать ежегодно: карбоната лития 300 т, магнезии жженной 1650 т, карбоната кальция 27300 т и соли пищевой 116100 т.

Предварительная технико-экономическая оценка эффективности получения карбоната лития показала, что себестоимость целевого продукта будет составлять не более 130 рублей за 1 кг (при сегодняшней стоимости 7 долларов).

В заключение следует отметить, что литиевые продукты в России производят из импортного карбоната лития, завозимого из Чили. Импорт пищевой соли в Россию ежегодно составляет более 0.5 млн. т [7], при этом потребность Республики Дагестан в соли оценивается примерно 40 тысяч т в год. Комплексная переработка геотермальных минерализованных вод, попутно добываемых с нефтью в Северном Дагестане, позволит: снизить себестоимость добычи нефти, за счет проведения операции подготовки воды для поддержания пластового давления в рамках технологии извлечения химических компонентов; продлить срок эксплуатации нефтяного месторождения до полного

обводнения. Кроме того, такая переработка будет способствовать значительному замещению импорта этих продуктов и решению острой экологической проблемы обширной сельскохозяйственной зоны Северного Дагестана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России. Уникальный идентификационный номер проекта RFMEFI60414X0120.

#### Список литературы

1. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии, М., Физматлит, 2008. 376 с.
2. Томаров Г.В., Никольский А.И., Семенов В.Н., Шипков А.А. Развитие российских геотермальных энергетических технологий // Теплоэнергетика. 2009. №11. С. 2 – 12.
3. Фортон В.Е., Шпильрайн Э.Э. Возобновляемые источники энергии на энергетической сцене мира / Труды Междун. конф. «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы», том 1, Махачкала, 2005. с. 14 – 30.
4. Цветков О.Б., Лаптев Ю.А. Теплофизические аспекты экологических проблем современной холодильной техники// Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. Приложение к спецвыпуску №10. С. 54 – 57.
5. Рамазанов А.Ш., Ахмедов М.И., Рамазанов О.М. Удаление железа и дезактивация подземной минерализованной воды // Химия и технология воды. 1996. Т. 18, № 3. С.285-288.
6. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш., Каспарова М.А. Перспективы комплексного освоения высокопараметрических геотермальных рассолов // Теплоэнергетика. 2015. №6. С. 11-17
7. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш., Каспарова М.А. Перспективы освоения высокотемпературных высокоминерализованных ресурсов Тарумовского геотермального месторождения // Теплоэнергетика. 2016. №6. С. 25-30.

**КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ГТУ С ВНУТРИЦИКЛОВЫМ СЖАТИЕМ ДЛЯ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ  
GAS TURBINE CO-GENERATION UNIT WITH THE INTRACYCLIC  
COMPRESSION FOR THE SMART POWER GRIDS**

**Борисов Ю.А., Вендланд Л.Е., Косой А.А., Прибылов В.Г., Синкевич Е.М.**  
ОИВТ РАН, г. Москва, Россия

**BorISOV Yu.A., Vendland L.E., Kosoi A.A., Pribylov V.G., Sinkevich E.M.**  
JINT RAS, Moscow, Russia

Когенерационные газотурбинные установки (ГТУ) могут занять достойное место в развитии распределенной энергетики и создании интеллектуальных сетей энергоснабжения. Распределенная выработка энергии предполагает расположение генерирующих мощностей в непосредственной близости к потребителям энергии. В качестве первичного источника энергии будет использоваться газообразное топливо, как традиционный природный газ, так и продукты технологий биоэнергетики (биогаз). Биогаз производится с очень низким давлением, таким, что без специального оборудования его не удастся подать в камеру сгорания ГТУ. Чтобы обеспечить работу ГТУ на биогазе необходимо рядом построить компрессорную дожимающую станцию. Такая компрессорная станция существенно увеличивает капиталовложения в строительство и потребляет большое количество энергии. Дело в том, что газ надо сжимать существенно выше давления в камере сгорания (требуется преодолевать большое количество арматуры, теплообменное и топливо регулирующее оборудование). После компрессора газ приходится охлаждать (арматура и топливо регулирующее оборудование не выдерживает высоких температур), безвозвратно теряя при этом энергию. Альтернативное решение – перенести сжатие газа в цикл ГТУ. Это позволит повысить КПД газотурбинных электростанций за счет уменьшения потребления энергии на собственные нужды, увеличить конкурентоспособность отечественных производителей газотурбинной техники, снизить стоимость строительства газотурбинных электростанций.

Работа выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по Соглашению о субсидии № 14.607.21.0157 (уникальный идентификатор проекта RFMEFI60716X0157)

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ  
LIST OF AUTHORS**

Alkhasov A.B. ....	266	Novakovskiy B. ....	260
Alkhasova D.A. ....	86, 266	Parmon V. ....	199
Andreenko T. ....	260	Petrov V.M. ....	229
Baldenkov A. ....	156	Popova E.N. ....	235
Bessel V. ....	16	Prasolova A. ....	260
Bezrukikh P.P. ....	105	Pribylov V.G. ....	272
Bezrukikh P.P.(Jr) ....	105	Rafikova Yu. ....	45, 260
Blinov D.V. ....	143, 162	Ramazanov A.Sh. ....	266
Borisov Yu.A. ....	272	Rustamov N.A. ....	254
Borzenko V.I. ....	162	Ryapin I. ....	257
Chernova N.I. ....	45	Saneev B.G. ....	136
Denshchikov K.K. ....	129	Schastlivtsev A. ....	259
Djukanovic Z.S. ....	10	Sinkevich E.M. ....	272
Djukic M.P. ....	10	Son E.E. ....	61
Dubinin Yu. ....	199	Strebkov D.S. ....	39
Dunikov D.O. ....	143, 162	Svalova V.B. ....	33
Elistratov V.V. ....	229	Tabunschikov Yu.A. ....	169
Fedorov A. ....	199	Tseregorodtseva I.V. ....	177
Finogenov S. ....	190	Tuguzova T.F. ....	136
Fomichev V.K. ....	177	Vendland L.E. ....	272
Ganaga S.V. ....	50, 67, 72, 205	Vlaskin M.S. ....	97
Gandzha S. ....	156	Yakovlev V. ....	199
Gorlov A.A. ....	118	Zhuk A.Z. ....	129
Gorlov A.A. (Jr) ....	112	Алхасов А.Б. ....	266
Gribkov S.V. ....	124	Алхасова Д.А. ....	86, 266
Guterman V. ....	212	Андреевко Т.Ю. ....	260
Ivanova I.Yu. ....	136	Балденков А.А. ....	156
Kadirov A.L. ....	79	Безруких П.П. ....	105
Kargashin P. ....	260	Безруких П.П. (мл) ....	105
Karnaushenko A. ....	221	Бессель В.В. ....	16
Kazakov A.N. ....	143	БЛИНОВ Д.В. ....	143, 162
Kilyanov G. ....	16	Борзенко В.И. ....	162
Kiseleva S.V. ....	45	Борисов Ю.А. ....	272
Kobryanskii V.M. ....	22	Вендланд Л.Е. ....	272
Kodkin V. ....	156	Власкин М.С. ....	97
Kolomentsev A. ....	190	Ганага С.В. ....	50, 67, 72, 205
Kosoi A.A. ....	272	Ганджа С.А. ....	156
Kozhukhovskiy I.S. ....	50, 55	Гзенгер Ш. ....	216
Kudryashov Yu.I. ....	50, 61, 67, 72, 205	Горлов А.А. ....	118
Kuznetsov N.M. ....	184	Горлов А.А. (мл) ....	112
Mingaleeva R. ....	16	Грибков С.В. ....	124
Minin V.A. ....	184	Гутерман В. ....	212
Mitrokhin S.V. ....	143	Денисов Р.С. ....	216
Mordynsky A. ....	259	Деньщиков К.К. ....	129
Nikolaev V.G. ....	50, 55, 61, 67, 72, 205	Джуканович Ж.С. ....	10
Nikolaev V.V. ....	50, 61, 67, 72	Джукич М.П. ....	10

---

Дубинин Ю.В.....	199	Николаев В.В. ....	50, 61, 67, 72
Дуников Д.О. ....	143, 162	Николаев В.Г.....	50, 55, 61, 67, 72, 205
Елистратов В.В.....	216, 229, 255	Новаковский Б.А. ....	260
Жук А.З. ....	129	Пармон В.Н. ....	199
Зайченко В.М.....	171	Петров В.М.....	229
Иванова И.Ю. ....	136	Попель О.С.....	243
Кадыров А.Л. ....	79	Попова Е.Н.....	235
Казakov А.Н. ....	143	Прасолова А.И. ....	260
Казанджан Б.И.....	149	Прибылов В.Г. ....	272
Каргашин П.Е. ....	260	Пыхтина А.И.....	256
Карнаушенко А. ....	221	Рамазанов А.Ш. ....	266
Кильянов Г.М. ....	16	Рафикова Ю.Ю. ....	45, 260
Киселева С.В. ....	45	Романов И.А.....	256
Клименко В.В. ....	252	Рустамов Н.А. ....	254
Ко Аунг .....	100	Ряпин И.Ю.....	257
Кобрянский В.М.....	22	Санеев Б.Г. ....	136
Кодкин В.Л. ....	156	Свалова В.Б. ....	33
Кожуховский И.С.....	50, 55	Синкевич Е.М. ....	272
Коломенцев А. ....	190	Сон Э.Е. ....	61
Косой А.А. ....	272	Стребков Д.С.....	39
Круглик Т.М. ....	253	Табунщиков Ю.А.....	169
Кудряшов Ю.И. ....	50, 61, 67, 72, 205	Тарасенко А.Б. ....	243
Кузнецов Н.М.....	184	Тугузова Т.Ф. ....	136
Кузьмина Ю.С.....	171	Федоров А.В.....	199
Ларина О.М.....	171	Финогенов С. ....	190
Малинин Н.К. ....	100	Фомичев В.К. ....	177
Мелешин В.И.....	226	Церегородцева И.В.....	177
Мингалеева Р.Д. ....	16	Чернова Н.И. ....	45
Минин В.А. ....	184	Шестопалова Т.А.....	100
Митрохин С.В.....	143	Яковлев В.А. ....	199