



ТРОФИМУКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021

**ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
С УЧАСТИЕМ ИНОСТРАННЫХ УЧЕНЫХ**

11–16 октября 2021 г.

МАТЕРИАЛЫ



**ИНГГ
СО РАН**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ
ГЕОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
НЕФТИ, ГАЗА И УГЛЯ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
ИМ. А. А. ТРОФИМУКА СО РАН
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



ТРОФИМУКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021
Год науки и технологий – 2021

Материалы Всероссийской молодежной научной конференции
с участием иностранных ученых

г. Новосибирск, 11–16 октября 2021 г.

Новосибирск
2021

УДК 55:550.8+338.012(063)
ББК ИЗ6я431
Т 76

Программный комитет

Председатель – академик РАН *А. Э. Конторович*
Зам. председателя – д-р техн. наук *И. Н. Ельцов*

Члены программного комитета:

акад. РАН *В. А. Верниковский*, акад. РАН *М. И. Эпов*, чл.-корр. РАН *В. Н. Глинских*,
чл.-корр. РАН *В. А. Каширцев*, чл.-корр. РАН *В. А. Конторович*, чл.-корр. РАН *И. Ю. Кулаков*,
чл.-корр. РАН *Б. Н. Шурыгин*, д-р геол.-минерал. наук *Л. М. Буриштейн*,
д-р геол.-минерал. наук *Д. В. Гражданкин*, д-р геол.-минерал. наук *Б. Л. Никитенко*,
д-р геол.-минерал. наук *Н. В. Сенников*, д-р геол.-минерал. наук *А. Н. Фомин*,
канд. геол.-минерал. наук *И. А. Губин*, канд. геол.-минерал. наук *Д. А. Новиков*,
канд. геол.-минерал. наук *Т. М. Парфенова*

Организационный комитет

Председатель – *О. А. Локтионова*
Секретарь – *С. М. Ибрагимова*

Члены организационного комитета

М. В. Соловьев, *Д. В. Аюнова*, *К. В. Долженко*, *Ф. Ф. Дульцев*, *Е. А. Земнухова*,
К. И. Канакова, *А. А. Федосеев*, *Е. Е. Хогоева*

Т76 Трофимукские чтения – 2021 : Материалы Всерос. молодежной науч. конф. с участием иностр. ученых / Ин-т нефтегаз. геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН ; Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2021. – 280 с.

ISBN 978-5-4437-1251-2

Сборник содержит материалы докладов, представленных на Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых «Трофимукские чтения – 2021», посвященной 110-летию академика АН СССР и РАН А. А. Трофимука (Новосибирск, Россия, 11–16 октября 2021 г.). В докладах отражены современные теоретические и практические проблемы геологии нефти и газа. Внимание уделено вопросам общей и региональной геологии нефтегазоносных осадочных бассейнов, решению актуальных задач тектоники, седиментологии, литологии, палеогеографии, геохимии, стратиграфии и палеонтологии. В публикациях обсуждаются новые результаты исследований в области геохимии нефти, гидрогеологии и гидрогеохимии нефтегазоносных бассейнов, углеводородного потенциала недр России. Серия работ посвящена моделированию нефтегазообразования в осадочных отложениях Сибири, методам компьютерного моделирования геологических процессов, оценке ресурсов и выявлению закономерностей размещения месторождений углеводородов. В сборник включены доклады, направленные на обсуждение проблем экономики и экологии нефтегазовой отрасли. В ряде докладов представлены результаты изучения геофизических исследований скважин, новые геофизические методы поисков углеводородов. Материалы конференции представляют интерес для специалистов-геологов широкого профиля, а также для преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений, специализирующихся в области наук о Земле.

УДК 55:550.8+338.012(063)
ББК ИЗ6я431

© Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А. А. Трофимука СО РАН, 2021
© Новосибирский государственный
университет, 2021

ISBN 978-5-4437-1251-2

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ (СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, ТЕКТОНИКА, ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ОСАДОЧНЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ)

Багаев Д. З. Геолого-геофизическая модель северной части бассейна Восточно-Сибирского моря с целью обоснования перспективных нефтегазоносных районов.....	8
Гришина А. А., Сапьяник В. В., Торопова Т. Н. Реконструкция обстановок осадконакопления байос-батских отложений в западной части Енисей-Хатангской НГО и сопредельных территорий.....	12
Гришина А. А., Торопова Т. Н., Сапьяник В. В. Геологическое строение западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба и перспективы газоносности меловых отложений (на примере Подпимского ССК).....	15
Дроздов Д. К., Пахомова К. А., Виноградов Е. В. Палеогеографическое положение Сибири в позднем венде – раннем кембрии по результатам палеомагнитного анализа осадочной последовательности Оленекского поднятия	18
Ефременко В. Д. Белемниты и биостратиграфия нижнемеловых отложений Анабарского района Сибири.....	23
Злобина А. В. Стратиграфия и органическая геохимия нижней юры восточной части Анабаро-Ленского регионального прогиба (бассейн р. Келимяр).....	27
Нечаев М. С. Литологическая характеристика отложений овинпармского горизонта лохковского яруса нижнего девона в разрезе ручья Дэршор (гряда Чернышева).....	30
Пахомова К. А., Дроздов Д. К. Палеогеография Суханского осадочного бассейна по палеомагнитным данным хатыспытской свиты (венд Оленекского поднятия)	33
Пащенко А. А. Биостратиграфия синской и куторгиновой свит нижнего кембрия северо-запада Алданской антеклизы.....	38
Смольянова Д. В., Курагин Д. И., Зуева Е. А. Оценка перспектив нефтегазоносности доманиковых отложений юго-восточной части Мухано-Ероховского прогиба	42
Тахватулин М. М., Масленников М. А. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности юрских, триасовых и пермских отложений южного борта Вилуйской синеклизы.....	45
Удегова В. В., Филиппов Ю. Ф. Потенциально нефтегазоносные комплексы Предъенисейского осадочного бассейна на юго-востоке Западной Сибири	48

СЕКЦИЯ 2. ГЕОФИЗИКА. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Глинских А. В. Численное моделирование потенциалов самопроизвольной поляризации с учетом глинистости пласта-коллектора.....	52
---	----

Кальяк А. А. Модель аппаратного комплекса для определения теплофизических свойств горных пород в условиях естественного залегания	56
Крошка Е. С. Сопоставление широкополосных диэлектрических спектров твердых и разрушенных песчаных пород	60
Крошка Е. С., Родионова О. В. Широкополосная диэлектрическая спектроскопия просеянных фракций песка и плавленых гранул	64
Москаев И. А. Численное моделирование данных скважинной электротомографии в геоэлектрических моделях с наклонной двухосной электрической анизотропией	68
Сизиков И. С., Тимофеев А. В., Ардюков Д. Г., Носов Д. А. Результаты измерений силы тяжести и смещений в районе Заполярного и Ямбургского нефтегазовых месторождений	71
Ульянов Н. А., Яскевич С. В., Дергач П. А. Детекция записей слабых локальных землетрясений с использованием машинного обучения.....	76
Федосеев А. А. Определение вещественного состава отложений баженовской свиты на основе электрофизических моделей смесей.....	79
Хогоева Е. Е. Динамика эмиссионного отклика геологической среды по материалам морской сейсморазведки	83
Шилов Н. Н., Грубась С. И., Дучков А. А. Построение сейсмических лучей по решению уравнения эйконала с использованием искусственных нейронных сетей.....	87
Яблоков А. В., Сердюков А. С. Способ подбора архитектуры искусственной нейронной сети для аппроксимации зависимости фазовой скорости поверхностной волны от параметров упругой модели геологической среды	91

СЕКЦИЯ 3. ТЕОРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НЕФТИ И ГАЗА, ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОХИМИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Бондоров Р. А., Фомин А. Н. Мацеральный состав и условия формирования углей васюганской свиты на юго-востоке Западно-Сибирского мегабассейна	95
Бурухина А. И., Фурсенко Е. А. Распределение углеводородов C ₄ –C ₉ в нефтях и конденсатах Бованенковского месторождения (полуостров Ямал, Западная Сибирь)	99
Дребот В. В. Изотопный состав углерода и кислорода гидрокарбонат-иона ($\delta^{13}\text{C}$) в подземных водах территории Торейских озер (Восточное Забайкалье).....	102
Иванников А. А. Органическая геохимия юрских отложений востока Енисей-Хатангского регионального прогиба.....	106
Мельник Д. С. Параавтохтонные битумоиды в породах хатыспытской свиты венда Оленекского поднятия на северо-востоке Сибирской платформы	109

Попова И. Д., Долженко К. В. Влияние асфальто-смолистой компоненты битумоида на пиролитические показатели террагенного органического вещества верхнепалеозойского комплекса Вилуйской синеклизы	113
Пыряев А. Н., Максимова А. А. Изотопный состав подземных вод нефтегазоносных отложений центральной части Зауральской мегамоноклизы	117
Черных А. В., Пыряев А. Н., Дульцев Ф. Ф. Новые данные об изотопном составе рассолов нефтегазоносных отложений Сибирской платформы.....	121

СЕКЦИЯ 4. МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Бардачевский В. Н. Геологическое строение и нефтегазоносность региональных резервуаров нижнемелового клиноформного комплекса Гыданского полуострова	126
Белоусов А. А., Титов Б. Г. Моделирование методики определения содержания в породе урана, тория калия методом пассивной гамма-спектрометрии	130
Зервандо Я. В., Елишева О. В. Предпосылки заполнения резервуаров неокомского интервала разреза Ай-Яунской площади углеводородами	133
Канакова К. И., Канаков М. С., Ибрагимова С. М. Методика выделения литотипов по данным ГИС в отложениях горизонта Ю ₁	138
Котухов П. Д. Влияние структурного строения и литологических особенностей вендских терригенных отложений на перспективы нефтегазоносности южного склона Байкитской антеклизы	142
Ошорова Е. М., Аюнова Д. В. Сейсмогеологическая характеристика и нефтегазоносность меловых отложений Ванкорской зоны нефтегазонакопления.....	146
Татевосян Л. С. Структурная характеристика отложений НГГЗК Чкаловского месторождения и прилегающих территорий	149

СЕКЦИЯ 5. МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫМИ ЗАПАСАМИ НЕФТИ, МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИДРАТНОГО ГАЗА: МЕТОДЫ ИХ ПОИСКОВ, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ

Кузнецова М. И. Выявление перспективных объектов баженовской свиты на территории ЯНАО с применением геолого-геофизических критериев	152
Соколов П. А. Поточный измеритель минерализации водных растворов	156

СЕКЦИЯ 6. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКЕ

Кокорев О. Н., Кейслер А. Г., Истомин А. Д., Носков М. Д., Чеглоков А. А. Геоэкологический прогноз эксплуатации пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов.....	160
---	-----

Кушнарев Р. С., Горяевчев Н. А., Митрофанов Г. М. Тестирование алгоритма поверхностно-согласованной компенсации сейсмических амплитуд.....	164
Петров М. Н. Численное моделирование процессов двухфазной фильтрации в прискважинной зоне трещиновато-пористого коллектора.....	168
Самосудова А. В., Черепанский М. М., Иванов К. А., Кокорев О. Н., Щипков А. А. Концепция автоматизированной системы оперативного контроля уровня подземных вод пункта приповерхностного захоронения твердых радиоактивных отходов III и IV классов филиала «Северский» ФГУП «НО РАО».....	172
Солдатов Н. А., Дробчик А. Н. Адаптация оконных методов детектирования сейсмических событий для сетей с низкой пропускной способностью	177
Темирбулатов О. П., Михайлов И. В. Численное моделирование сигналов электромагнитного зонда с тороидальными катушками в наклонно-горизонтальных скважинах	181
Хлыстун Е. С., Манштейн А. К. Коррекция температурного дрейфа в аппаратуре многочастотного зондирования АЭМП-14	185
Штанько Е. И. Особенности распространения электромагнитного поля в анизотропной слоистой среде.....	189

СЕКЦИЯ 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ И ОЦЕНКА РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ

Галиева М. Ф. Модели палеозойских и мезозойских очагов генерации углеводородов и их роль в формировании доюрских залежей Герасимовского месторождение (Томская область)	193
Космачева А. Ю., Федорович М. О. История процессов нефтегазообразования в угленосных отложениях перми Вилюйской гемисинеклизы (по результатам бассейнового моделирования).....	196
Крутенко Д. С. Зональность распределения плотности глубинного теплового потока, нефтегазоносности и системы разломов западных районов Томской области	199
Побережная Ю. Е., Диева Н. Н. Анализ прогрева залежи высоковязкой нефти на примере залежи Ромашкинского месторождения.....	202

СЕКЦИЯ 8. НЕФТЕПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, РАЗРАБОТКА И ОБУСТРОЙСТВО МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ, МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОИСКОВ, РАЗВЕДКИ, РАЗРАБОТКИ И ТРАНСПОРТА НЕФТИ И ГАЗА

Плетнева К. А., Кибало А. А., Молокитина Н. С. Дисперсные системы на основе ПВС для разработки систем перспективных в газогидратных технологиях реализации попутного нефтяного газа	206
---	-----

СЕКЦИЯ 9. МОДЕЛИРОВАНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ И ОЦЕНКА РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ

Басова С. А. Особенности структуры и динамики налоговой нагрузки нефтедобывающих регионов России	209
Воробьева Е. Ю. Влияние прямых иностранных инвестиций на нефтегазовый комплекс России и экономику в целом.....	216
Гайворонская М. С. Анализ состояния и альтернативы газификации восточных регионов РФ.....	220
Градобоева В. Л. Особенности функционирования малых нефтяных компаний в России.....	224
Ефимова А. В. Налог на дополнительный доход в нефтяной отрасли России.....	228
Земнухова Е. А., Маканин А. М. Особенности оценки эффективности организации арктических минерально-сырьевых центров с учётом мультикритериальности	231
Кожевин В. Д. Особенности развития возобновляемых источников энергии в России.....	235
Комарова А. В., Адель А. М., Мохамед М. Особенности оценки и ранжирования арктических нефтегазовых проектов	241
Крутилина А. Д. Влияние налоговой нагрузки на количество выбросов углекислого газа от сжигания ископаемых видов топлива в странах мира	244
Мишенин М.В. Современные особенности расчёта разового платежа за пользование недрами с целью геологического изучения, разведки и добычи нефти и газа	247
Немов В. Ю. Процессы трансформации мирового топливно-энергетического баланса в условиях роста межрегиональной конкуренции.....	251
Новиков А. Ю. Основные факторы экономического развития ресурсных территорий РФ.....	255
Петрова Н. А. Транспортная обеспеченность Арктической зоны	258
Проворная И. В., Чеботарева А. В. Меры повышения уровня утилизации попутного нефтяного газа в России	263
Рягузова К.Д. Оценка выгод и угроз трансформации мирового рынка нефти вследствие роста добычи сланцевой нефти.....	266
Филимонова И. В., Дочкина Д. Д. Законодательные и нормативно-правовые стимулы развития водородной энергетики в России	270
Филимонова И. В., Кожевина С. И. Перспективные направления технологического развития нефтегазового комплекса России	274
УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ.....	278

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РОССИИ

В. Д. Кожевин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

Аннотация. Возобновляемые источники энергии активно развиваются как в мире, так и в России. Отечественная отрасль ВИЭ уже насчитывает 5,6 ГВт отобранных проектов. В статье был рассчитан показатель LCOE для трех видов генерации ВЭС, СЭС и МГЭС в 2020 г. по итогам отборов мощностей на аукционах ДПМ, описаны основные факторы и драйверы снижения данного показателя. На основе метода цепной подстановки были рассчитаны вклады факторов в изменение показателя LCOE в 2020 г., отметившие более чем 80 % вклад капитальных затрат в изменение показателя.

Ключевые слова: ВИЭ, LCOE, метод цепной подстановки.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN RUSSIA

V. D. Kozhevnikov

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk*

Annotation. Renewable energy sources are actively developing both in the world and in Russia. The domestic renewable energy industry already has 5.6 GW of selected projects. The article calculated the LCOE indicator for three types of generation of wind farms, SES and MSPP in 2020 based on the results of capacity selection at DPM auctions, describes the main factors and drivers of the decline in this indicator. On the basis of the chain substitution method, the contributions of factors to the change in the ROE indicator in 2020 were calculated, which marked more than 80 % of the contribution of capital expenditures to the change in the indicator.

Key words: RES, LCOE, the method of chain substitution.

Все больше промышленных потребителей в мире и России переходят на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), либо заключая двусторонние контракты, либо покупая «зеленые» сертификаты. Данный тренд на развитие ВИЭ в мире не новый, однако в России тренд наиболее активно стал развиваться, только начиная с 28 мая 2013 г., когда были подписаны постановления Правительства РФ № 449 и распоряжение № 861-р о существенных условиях и механизме ДПМ ВИЭ (договоры поставки мощности) [1,2]. Фактически до этого момента ключевые новые ВИЭ промышленного масштаба (СЭС и ВЭС) не существовали в России. ДПМ ВИЭ заключается на 15 лет в отношении объектов генерации, определенных по результатам конкурсного отбора инвестиционных проектов ВИЭ. Основной критерий при отборе на кон-

курсе – это наименьшая заявленная величина полных капитальных затрат на 1 кВт установленной мощности, которая не может превышать предельные значения, установленные в рамках отбора.

Всего в рамках таких отборов в 2013–2020 гг., было отобрано более 5,6 ГВт установленной мощности со сроками ввода объектов до 2024 г. Распределение вводов по конкурсам представлено на рис. 1 по данным Администратора торговой системы оптового рынка электроэнергии.

Крупнейших игроков на рынке новой возобновляемой энергетики в России можно увидеть на рис. 2 (конечные бенефициары мощности). Компании планомерно увеличивают мощности зеленой генерации, продавая старые станции на ископаемых источниках и возводя новые проекты.

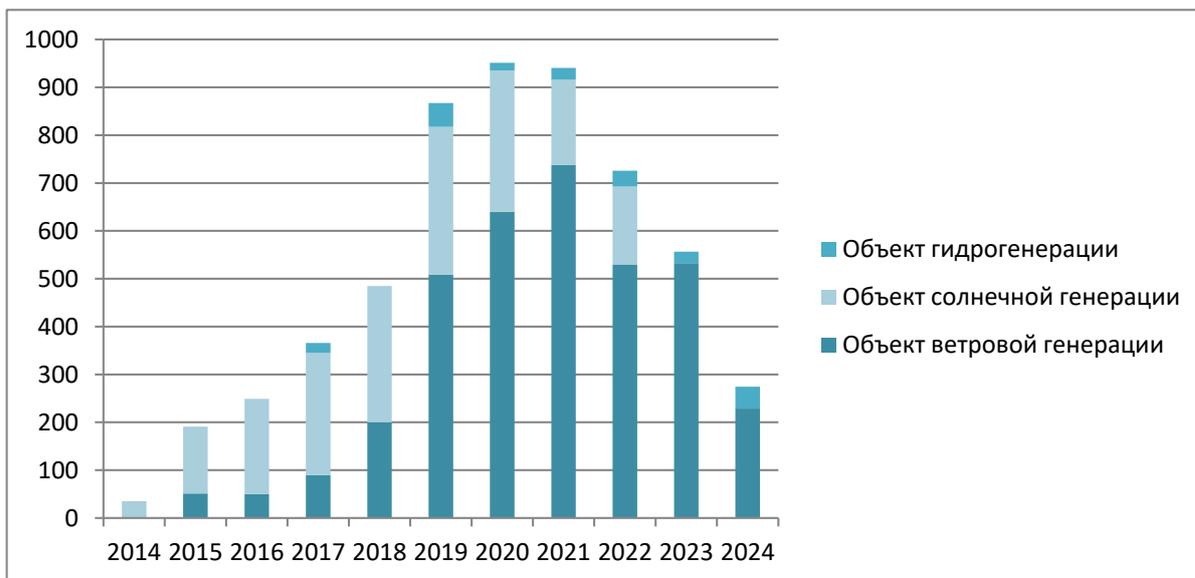


Рис. 1. Ввод объектов ВИЭ в рамках конкурсов ДПМ

Fig. 1. Commissioning of renewable energy facilities in the framework of power supply contracts competitions

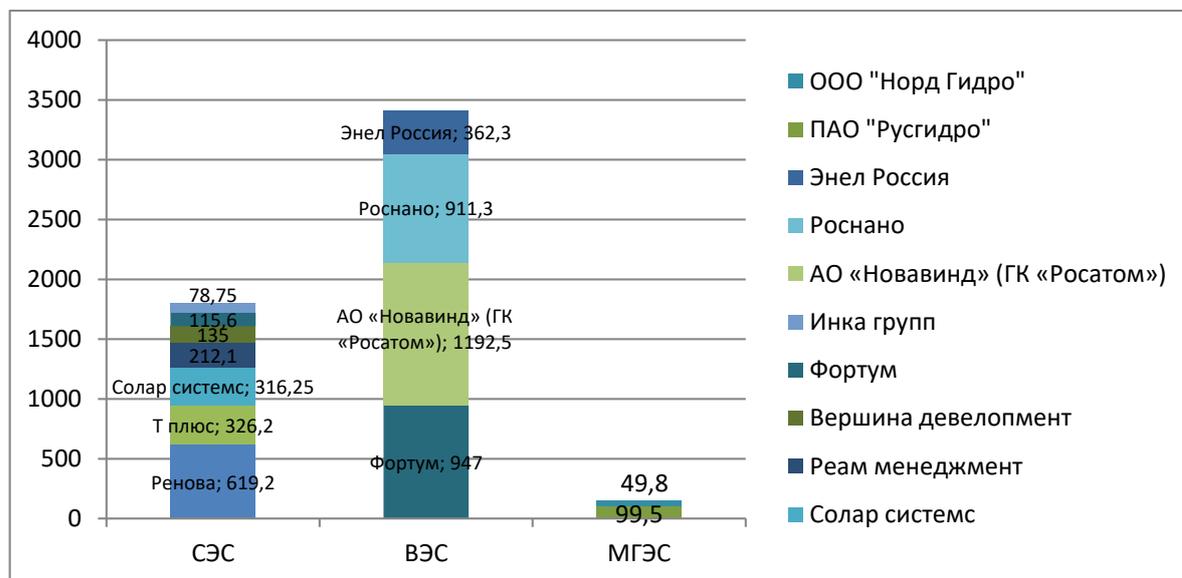


Рис. 2. Крупнейшие бенефициары ВИЭ мощностей в России

Fig. 2. The largest beneficiaries of RE capacities in Russia

Активное развитие ВИЭ в России в том числе связано с поступательным развитием технологий и созданием производств на территории России: Гетероструктурные ФЭМ ГК «Хевел» в г. Новочебоксарске объемом 340 МВт/год, Мультикристаллические кремниевые слитки и пластины ООО «Хелиос-ресурс» в г. Мытищи и г. Саранске объемом 180 МВт/год, Гондолы ВЭУ и системы охлаждения ООО «Вестас Рус» в г. Нижний Новгород объемом 80 гондол/год и др. [3].

Капитальные затраты на 1 кВт значительно сократились во время отборов для ВЭС с 155 тыс. руб. за 1 кВт установленной мощности в 2016 г. до 65 тыс. руб. для объектов с вводом в 2024 г.; СЭС со 108 тыс. руб. в 2015 г. до 83–97 тыс. руб. в 2021–2022 гг. МГЭС же наоборот выросли с 146 тыс. руб. за кВт установленной мощности в 2017 г. до 193 тыс. руб. в 2024 г.

При этом с проблемами столкнулись первые победители конкурсов в виду как некорректного указания капитальных затрат на единицу мощности, так и девальвации рубля в 2014 г. и ухудшении условий банковского финансирования. Так, по словам Павла Шевченко (бывшего директора ГК «Энергия солнца») компания вместе с инвесторами из Bright Capital не смогла исполнить свои обязательства по строительству солнечных электростанций установленной мощностью 435 МВт и в 2016 г. начала распродавать свои ДПМ, выигранные ранее на конкурсах (в течение 2-х лет ДПМ в отношении 13 проектов СЭС совокупной мощностью 195 МВт были проданы структурам ГК «Ренова», ДПМ в отношении 4 проектов совокупной мощностью 60 МВт были проданы компаниям, входящим в группу «Солар Системс», 135 МВт австрийскому фонду Core Value Capital GmbH под управление ГК «Вершина девелопмент»).

Методы и материалы. В рамках работы используется методика для расчета средней расчетной себестоимости производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла генерирующего объекта, получившая обозначение LCOE (levelized cost of electricity):

$$LCOE = \frac{\sum \frac{Cap_t + O\&M_t + F_t + Carb_t + D_t}{(1+r)^t}}{\sum \frac{MWh_t}{(1+r)^t}},$$

где MWh_t – количество произведенной энергии в году t ; $(1 + r)^{-t}$ – коэффициент дисконтирования для года t ; Cap_t – полные капитальные затраты в году t ; $O\&M_t$ – операционные затраты в году t ; F_t – затраты на топливо в году t ; $Carb_t$ – затраты на оплату парниковых газов в году t ; D_t – затраты на обращение с отходами и вывод из эксплуатации в году t .

LCOE отражает стоимость вырабатываемого 1 МВт·ч электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла энергоустановки, учитывая плановый КИУМ (коэффициент извлечения установленной мощности), капитальные расходы на строительство, операционные расходы, топливо, проценты по привлекаемым кредитам, ремонт и вывод из эксплуатации. LCOE представляет собой среднюю минимальную цену продажи электроэнергии, которая обеспечивает безубыточность генерирующего объекта в течение всего срока эксплуатации [4].

LCOE является сводной оценкой общей конкурентоспособности различных технологий, что позволяет заинтересованным сторонам (инвесторам и регуляторам): отбор наиболее эффективных проектов для снижения капитальных и операционных затрат; комплексный анализ влияния технико-экономических и финансовых изменений на возведение генерирующего объекта; сравнение отечественных и зарубежных технологий, определение конкурентных преимуществ проекта; принятие инвестиционных решений по конкретным объектам.

Для целей работы будут рассчитаны LCOE в России на 2020 г. и сопоставлены с мировыми значениями. Для определения влияния факторов (капитальных и операционных) на итоговое значение LCOE применялся метод цепной подстановки, который заключается в последовательной замене базисной величины фактора на фактическую с последующим вычитанием из каждой замены предыдущего значения результативного показателя [5].

Система расчета складывалась из следующих этапов.

1 этап. Каждый фактор базисного периода последовательно меняется на фактическое значение этого фактора. Количество замен равно количеству факторов:

$$LCOE (\text{усл } 1) = f(Cap_t; O\&M_{t-1}),$$

$$LCOE (t) = f(Cap_t; O\&M_t).$$

2 этап. Из каждого условного значения результативного показателя последовательно вычитается предшествующее значение результата. В каждой разности только один фактор (вливающий) будет находиться в разных периодах: отчетном и базисном:

$$\begin{aligned}\Delta LCOE (Cap) &= LCOE (усл 1) - LCOE (t - 1), \\ \Delta LCOE (O\&M) &= LCOE (t) - LCOE (усл 1), \\ \Delta LCOE &= \Delta LCOE (Cap) + \Delta LCOE (O\&M).\end{aligned}$$

3 Этап. Рассчитывается вклад каждого из факторов в общее изменение показателя.

Текущая ситуация в России. Расчет показателя LCOE осуществляется рядом известных международных организаций (IRENA, Bloomberg NEF, Lazard и др.), однако методики расчета у каждой из этих организаций являются индивидуальными, что приводит к разбросам в значениях.

Результаты расчета LCOE в России на 2020 г. показывают его существенное превышение над международными аналогами в 2–4 раза (табл. 1). Сокращение данного отставания возможно при реализации следующих факторов: развитие технологий; усиление конкуренции на конкурсных отборах; появление большого числа опытных, международных девелоперов.

Таблица 1

LCOE российских ВИЭ по видам в 2020 г.

Параметры		СЭС	ВЭС	МГЭС
Год ввода по конкурсу		2020	2020	2020
Кап затраты	тыс. руб./кВт	114,0	111,3	175,5
Опер затраты	руб./кВт в мес.	301,7	209,4	164,5
КИУМ	%	15,08	27,47	47,33
WACC	%	12%	12%	12%
Жизненный цикл	Лет	25 лет	25 лет	25 лет
LCOE РФ*	руб./кВт	13,9	7,0	5,9
LCOE Мир**	руб./кВт	3,3	3,3	3,4

* Расчеты автора ** IRENA

Данные факторы в значительной мере уже реализуются на территории России, что ведет к постепенному снижению себестоимости выработки электроэнергии из новых объектов ВИЭ и сокращению отставания. Развитие внутренних кластеров производства оборудования для ВИЭ (солнечные панели, элементы ветроустановок), приводит к постепенному снижению себестоимости: от 24 руб. за кВт*ч у СЭС и 12,6 руб. за кВт*ч у ВЭС на старте программы ДПМ в 2015–2016 гг. до нынешних значений в 14 и 7 руб., соответственно. Помимо этого, усиливается конкуренция компаний на конкурсных отборах мощностей. Если в первые 3 года программы ДПМ отбиралось не более 200 МВт установленной мощности, то к 2020 г. данный показатель практически достиг 1 ГВт, а капитальные расходы снизились с 155 тыс. руб./кВт (ВЭС) и 108 тыс. руб./кВт (СЭС) до 65 тыс. руб./кВт (ВЭС) в 2024 г. и 50 тыс.руб./кВт в 2022 г., соответственно.

В-третьих, на рынок вышли крупные энергетические и промышленные игроки с международным опытом строительства объектов ВИЭ и развития технологий производства. Enel Group с портфелем проектов по всему миру более 49 ГВт, Фортум – более 3 ГВт, Vestas – 136 ГВт, Siemens Gamesa Renewable Energy – производство более 12 ГВт ветрогенераторов по всему миру (данные с сайтов компаний). Это позволяет реализовывать крупные проекты с конкурентоспособной себестоимостью энергии. Исходя из полученных результатов методом цепной подстановки наибольший вклад в изменение показателя LCOE оказывает изменение капитальных затрат – более 80 % изменения для всех видов объектов генерации (табл. 2). Таким образом показывая особую значимость снижения капитальных затрат (увеличение локализации и создание эффекта масштаба, развитие технологий и другие меры), при формировании кластера ВИЭ в России.

Согласно Renewables 2020 Global status report, данным IRENA и Lazard новые проекты возобновляемых источников энергии оказываются более конкурентоспособными с точки зрения затрат по сравнению с традиционной генерацией и вырабатывают более 26 % мирового производства электроэнергии. Чистый прирост мощностей для возобновляемых источников энергии был выше, чем для ископаемых видов топлива и ядерной энергии вместе взятых, начиная с 2015 г., и в настоящее время ВИЭ составляют более одной трети общемировой установленной мощности [6]. Россия также отмечает подобные тенденции: цены возобновляемой электроэнергии существенно снизились и новые отборы регистрируют все более низкие значения, операционные затраты также продолжают снижаться, а промышленный кластер ВИЭ способен производить более 1,5 ГВт установленной мощности ежегодно. Все это непосредственно сказывается на значениях LCOE, приближая российскую возобновляемую энергетику к международному уровню, даже при учете факторов зависимости потребления ВИЭ от цен на углеводороды или коррупционной составляющей, которые существенно замедляют проникновение ВИЭ в энергобалансы стран [7].

Таблица 2

Вклад капитальных и операционных затрат в LCOE российских ВИЭ по видам в 2020* г.

Параметры	СЭС	ВЭС	МГЭС
LCOE (усл 1)	7,04	5,89	14,00
LCOE (2020)	6,98	5,86	13,85
LCOE (2019)	7,41	5,85	14,67
Δ LCOE (Cap)	-0,37	-0,67	0,04
Δ LCOE (O&M)	-0,06	-0,15	-0,03
Δ LCOE	-0,43	-0,82	0,01
Доля фактора Cap	86,9%	82,1%	281,1%
Доля фактора O&M	13,1%	17,9%	-181,1%

* Расчеты автора

При этом ключевыми внутренними драйверами снижения LCOE российских проектов остаются КИУМ и WACC. Первый показатель является результатом развития технологий, а второй – стоимости заимствования и инвестиционной привлекательности проектов. Внешними драйверами, способными существенно ускорить снижение LCOE, являются государственная поддержка и рост рыночного спроса на зеленую энергию. Основным акцент в снижении стоимости LCOE необходимо делать на капитальных расходах в строительство мощностей. По всем из этих драйверов в последние годы можно было наблюдать существенные изменения: мягкая ДКП Банка России снижала стоимость заимствования, технологический кластер увеличивал локализацию производства, снижая себестоимость, государство продлило программу ДПМ ВИЭ до 2035 г., пусть и в несколько урезанном виде, а крупные промышленные компании и генерация, как Полюс золото и ТГК-1, начали заключать сделки по купле-продаже «зеленых» сертификатов.

Таким образом, до 2035 г. можно ожидать снижение LCOE ВИЭ ниже аналогичного показателя для традиционной генерации, в частности ТЭС, и сокращения разрыва с общемировыми значениями.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. N 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/2121/>.
2. Распоряжение Правительства РФ от 28 мая 2013 г. N 861-р. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/2180/>.

3. Отрасль ВИЭ в РФ. Потенциал развития до 2035г. Роснано. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.rusnano.com/upload/images/sitefiles/files/РОСНАНО%20Презентация%20Отрасль%20ВИЭ%20в%20РФ.pdf>.

4. Развитие ВИЭ в России: технологии и экономика / Под ред. А. Б. Чубайса, В. А. Зубакина и А. Е. Копылова. М.: Издательская группа «Точка». – 2020. – 464 с.

5. Толпегина О. А. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности в 2 ч. Часть 1 : учебник и практикум для вузов / О. А. Толпегина, Н. А. Толпегина. / М.: Изд-во Юрайт, 2020. — 364 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/451595>.

6. REN21. 2020. Renewables 2020 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2017_Full-Report_English.pdf.

7. Eder L. V. World energy market in the conditions of low oil prices, the role of renewable energy sources / L. V. Eder, I. V. Provornaya, I. V. Filimonova, V. D. Kozhevina, A. V. Komarova // Energy Procedia. – 2018. – Vol. 153. – P. 112–117. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610218308804?via%3Dihub>.

REFERENCES

1. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 28 maya 2013 g. N 449 "O mekhanizme stimulirovaniya ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii na optovom rynke elektricheskoy energii i moshchnosti" [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://government.ru/docs/2121/>.

2. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 28 maya 2013 g. N 861-r. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://government.ru/docs/2180/>.

3. Otrasl' VIE v RF. Potencial razvitiya do 2035g. Rosnano. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.rusnano.com/upload/images/sitefiles/files/ROSNANO%20Prezentaciya%20Otrasl'%20VIE%20v%20RF.pdf>.

4. Razvitie VIE v Rossii: tekhnologii i ekonomika / pod red. A. B. CHubajsa, V. A. Zubakina i A. E. Kopylova – М.: Izdatel'skaya gruppa «Tochka», 2020. – 464 s.

5. Tolpegina, O. A., Tolpegina N. A. Kompleksnyj ekonomicheskij analiz hozyajstvennoj deyatel'nosti v 2 ch. CHast' 1 : uchebnik i praktikum dlya vuzov / Moskva : Izdatel'stvo YUrajt, 2020. – 364 s. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://urait.ru/bcode/451595>.

6. REN21. 2020. Renewables 2020 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). [Electronic resource]. – Rezhim dostupa: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2017_Full-Report_English.pdf.

7. Eder L. V., Provornaya I. V., Filimonova I. V., Kozhevina V. D., Komarova A. V. World energy market in the conditions of low oil prices, the role of renewable energy sources // Energy Procedia. – 2018. – Vol. 153. – P. 112–117. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610218308804?via%3Dihub>.