

Энерджинет

Национальная
технологическая
инициатива

Инфраструктурный центр EnergyNet

Ставки “ревущих двадцатых”: гибкость и водород

Новые технологии и бизнес-практики в
электроэнергетике

МОСКВА 2020

I.A.E.A
БИБЛИОТЕКА

СТАВКИ “РЕВУЩИХ ДВАДЦАТЫХ”: ГИБКОСТЬ И ВОДОРОД

**Новые технологии и бизнес-
практики в электроэнергетике**

Под редакцией

Дмитрия Холкина

Директора Инфраструктурного центра «Энерджинет»

Авторский коллектив

Дмитрий Холкин

Директор Инфраструктурного центра «Энерджинет»

Игорь Чаусов

Руководитель аналитического направления Инфраструктурного центра «Энерджинет»

Дмитрий Тимофеев

Эксперт НТИ «Энерджинет», советник генерального директора АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» (АО «ВНИПИпромтехнологии»)

Кирилл Ермолаев, к.э.н.

Руководитель направления Инфраструктурного центра «Энерджинет»

Александр Волошин, к.т.н.

Директор Центра НТИ «Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем» (Центр НТИ МЭИ), заведующий кафедрой релейной защиты и автоматизации энергосистем НИУ «МЭИ»

Борис Бокарев

Руководитель направления Инфраструктурного центра «Энерджинет»

Владимир Сидорович

Эксперт НТИ «Энерджинет», директор информационно-аналитического центра «Новая энергетика»

Сергей Минаев

Приглашенный автор, журналист

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	6
СТРАТЕГИЯ.....	9
Новая формула энергетического перехода.....	9
Гадание на Рождество: «гибкость» и «водород» станут главными темами нового года.....	25
Призрак нового экономического роста.....	30
Мобилизаторы развития.....	38
Невозможное возможно.....	44
Цифровизация энергетики: перспективы проекта «Интернет энергии».....	50
Труд и капитал энергетического перехода.....	55
Декамерон-2020: энергетический переход во времена пандемии.....	61
Декарбонизация — лекарство от экономического кризиса?.....	71
Если бы энергетики читали Маркса.....	82
Свежий ветер из «окна Овертона».....	94
Калифорния: форвард «зеленой» энергетики или страшная сказка?.....	104
ГИБКОСТЬ.....	107
1 + 1 > 2: нелинейные эффекты новой энергетики.....	107
Новые доклады IRENA: модель рынка для раскрытия потенциала энергетической гибкости.....	111
Тотальная электрификация, новый подход к надежности, больше гибкости.....	116
Децентрализация системной надежности.....	121
Тарифы с умной нагрузкой.....	129
Гипер-персонализация — новое слово в торговле электричеством.....	134
Plug & Play энергетика по-американски.....	137
Торговля гибкостью — на цифровых платформах.....	141
Управление напряжением — инструмент интеграции DER.....	147
Алиса в стране энергетических чудес.....	151
Микрогриды швартуются в портах.....	159
Эра энергетической гибкости.....	163
Умные множества: домохозяйства и электромобили на службе энергетической гибкости.....	168
«Калифорнийская утка» на карантине.....	174
Кругосветка по энергетическим сообществам. Великобритания.....	180
Кругосветка по энергетическим сообществам. Австралия.....	189
Кругосветка по энергетическим сообществам. Голландия и США.....	202
Охота на энергетическую гибкость. Часть первая. Сезон охоты.....	214
Охота на энергетическую гибкость. Часть вторая. Ценная добыча.....	223

Охота на энергетическую гибкость. Часть третья. Охотники.....	231
Энергетические сокровища Агры	237
ВОДОРОД.....	245
Новые рынки для водорода — в городах будущего	245
Новые вводные для российской водородной стратегии	251
Белки, соболя и водородные проекты.....	256
Британские водородные «крейсера».....	261
Водородная гигафабрика: проект Европейской водородной долины.....	265
Принуждение к водороду.....	268
Детали водородного пейзажа — от электростанций до кораблей.....	275
Гонка «водородных вооружений».....	280
Аммиак — корабельное топливо будущего?.....	284
Небо, море, водород.....	292
Водородный реванш против углеродных пошлин.....	300
Сахалин — прорыв в будущее	307
Искусственный интеллект и водород.....	315
ПРАКТИКИ ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ.....	319
За краем сети: автономная электрификация на марше.....	319
Точечная электрификация для зеленых холмов Африки.....	324
Случится ли «момент гиперлупа»?.....	331
АЭК. Промышленные микрогриды и активные энергетические комплексы. Часть первая. Понятие микрогрида.....	340
АЭК. Промышленные микрогриды и активные энергетические комплексы. Часть вторая. Мировой рынок коммерческих и промышленных микрогридов	344
АЭК. Промышленные микрогриды и активные энергетические комплексы. Часть третья. Российский рынок промышленных микрогридов и их синергия с ЭЭС.....	352
Энергопереход для железнодорожного транспорта — угроза или новые возможности?	361
Энергетическое будущее железнодорожного транспорта – сумма технологий?.....	368
МАТЕРИАЛЫ ENERGYNET.CON-2020	379
Обеспечение устойчивой работы и повышение эффективности генераторных установок в энергосистеме с резкопеременной нагрузкой при помощи системы накопления электрической энергии.....	379
Виртуальные электростанции: опыт разработки, роль в новой модели электроэнергетики россии.....	391
Интеллектуальное управление распределенными энергоресурсами на базе цифровой платформы.....	401
Распределенное управление энергетической гибкостью в изолированных энергосистемах	412

Цифровой сервис по прогнозированию мощности электропотребления фидера с помощью методов глубокого обучения нейросети.....	421
Цифровые двойники цифровых подстанций.....	429
Сетевая магистерская программа «интеллектуальные сети электроснабжения» (Энерджинет)	438
Применение методов ИИ для оптимального синтеза проектных решений на примере АСУ ТП электрических подстанций	446
Открытая онтология кибербезопасности электроэнергетики.....	456
Вопросы применения систем основанных на знаниях для оценки угроз кибербезопасности вторичных систем ЦПС.....	464

Предисловие

Начало 2020-х совершенно неожиданно выдалось чрезвычайно кризисным временем для всего человечества. «Черный лебедь» пандемии нового коронавируса прилетел внезапно и прочно обосновался в нашей жизни, решительно определив глобальную повестку не только уходящего года, но и всего начала десятилетия. Несмотря на робкую надежду, которую дает начало массовой вакцинации, будущее остается неопределенным, размытым, туманным. Мы входим в 2021 год, не зная, когда и как закончится пандемия, какие социальные и экономические последствия она принесет, насколько глубоким и продолжительным будет вызванный ею кризис, останется ли мир, в котором мы живем, хотя бы в чем-то прежним, или нас ждет пока что неизвестная нам и потому пугающая «новая нормальность». Настоящий сборник, составленный из публикаций в телеграмм-канале «Internet of Energy» за 2020 год, стал отражением оглушительной неопределенности прожитого времени, полного поиска ответов на сущностные и одновременно практические вопросы.

Год кризиса, отличающийся высочайшей неопределенностью ближайшего будущего, – лучшее время для формирования стратегического, долгосрочного видения. Это видение как раз должно ответить на вопрос о том, каким мир будет по ту сторону кризиса. Последствия пандемии, которые уже сравнивают с Великой депрессией, стали самым тревожным за многие десятилетия звончком для сложившейся миросистемы, даже несмотря на такие локальные позитивные новости конца года, как сравнительно быстрое восстановление глобальной экономики или заключение торгового соглашения между Великобританией и ЕС. Мир со всей очевидностью входит в период формирования посткапитализма, и дорогостоящие программы восстановления экономики, во многом связанные с «зеленой» повесткой, только ускорят этот переход. Важным фактором в формировании посткапиталистических практик становится и осознание того, что если старый социальный порядок оказался не готов к вызову пандемии, то он тем более не эффективен перед лицом менее явного, но более комплексного и масштабного климатического кризиса. В статьях сборника мы постарались дать свой вариант ответа на вопрос о том, какой должна быть энергетика за пределами знаменитых «3D» энергетического перехода, и уловить в глобальных тенденциях и инициативах дух приближающейся энергетики нового социального уклада.

Несмотря на то, что энергетика пострадала от происходивших в 2020 году событий меньше многих других отраслей, кризис не обошел стороной и ее. Примечательно, что связанные с пандемией феномены «новой нормальности» – локдауны, удаленная работа, закрытые границы – ускорили и обострили тенденции, характерные для энергетики последние два десятилетия и обобщенные в представлении об энергетическом переходе. Введение массовых карантинных мер и переход значительной доли населения на работу из дома привели к такому серьезному изменению в

паттернах потребления электроэнергии, что во многих странах это стало проигрыванием энергоэффективного будущего с низким спросом на электроэнергию и очень высокой долей ВИЭ в энергобалансе. Существенное ограничение авиасообщения, падение транспортной активности и спад промышленного производства внезапно позволили увидеть мир, в котором нефти производится слишком много, а спрос на нее слишком мал.

В итоге пандемия сработала как своеобразная «машина времени», позволяющая заглянуть в будущее энергетики. Мы разглядели через призму этой «машины» два главных энергетических тренда этого года, вынесенных в название этого сборника, – энергетическую гибкость и водородную энергетику.

Ценность энергетической гибкости в энергосистемах, возрастающая по мере декарбонизации и децентрализации энергетики, стала в этом году тем более очевидной из-за низкого спроса на электроэнергию и большой доли солнечной и ветровой генерации, при которых особенно непросто управлять балансом в энергосистеме. В прошедшем году появилось множество новых технологических решений и бизнес-практик по управлению гибкостью, в первую очередь, за счет возможностей распределенной энергетики, работающих как на уровне больших энергосистем, так и на локальном уровне микрогридов и энергетических сообществ.

В России самым значимым событием года в сфере управления энергетической гибкостью и развития распределенной энергетики стал запуск пилотного проекта по активным энергетическим комплексам – промышленным микрогридам по-русски, – управление гибкостью в которых, на наш взгляд, станет главным инструментом достижения эффективности их работы. Успешно развивался и другой регуляторный эксперимент в области гибкости – рынок агрегаторов управления спросом, на котором вырос объем торгов и усилилась конкуренция между игроками.

Безусловной «звездой» уходящего года стала водородная энергетика, оказавшаяся «на хайпе» в глобальной повестке и получившая мощный толчок к развитию в России за счет активности на федеральном, региональном и корпоративном уровнях. Водородная энергетика прочно обосновалась в Энергетической стратегии России, был разработан и утвержден План развития водородной энергетики Российской Федерации до 2024 года, на очереди – выход национальной водородной стратегии. Тема водорода все больше захватывает умы, а сам водород видится безальтернативным инструментом масштабной декарбонизации не только энергетики и транспорта, но и многих отраслей промышленности. Поэтому год был чрезвычайно богат на события в водородной энергетике: публикацию водородных стратегий, заключение громких партнерств, появление грандиозных проектов.

Таким образом, трем указанным темам – стратегии развития общества и энергетики, энергетической гибкости и водородной энергетике – и посвящен настоящий сборник.

Мы не знаем наверняка, какими будут 20-е годы этого нового века, но уверены, что происходящие вокруг нас события ускорят наступление будущего, и начинающееся десятилетие, как и 100 лет назад, можно будет смело назвать «революционными». Век назад 20-е годы оказались временем массовой электрификации и во многом породили электроэнергетику, какой мы ее знаем сегодня. Так, именно в 1920 году был принят знаменитый план ГОЭЛРО. Сейчас и мы вступаем в бурное время построения новой энергетики.

Есть гипотеза, что пандемия станет тем рубежом событием, о котором историки будут говорить как об истинном начале XXI века. Надеемся, что энергетическое будущее, создаваемое сегодня, в том числе ради преодоления коронавирусного кризиса, будет технологичнее, эффективнее, справедливее и богаче возможностями, чем энергетика уходящей эпохи. В статьях, которые мы предлагаем вашему вниманию, мы постарались дать представление о том, как и почему это становится возможным уже сегодня.

СТРАТЕГИЯ

Новая формула энергетического перехода

ЭС-энергетика в мире «цветущей сложности»

Дата: 21 декабря

Авторы: Дмитрий Холкин, Игорь Чаусов

Статья опубликована в журнале «Энергетическая политика» №12, 2020 г.

Введение

Российские политики, отраслевые специалисты и эксперты, изучая системные вопросы энергетики будущего, вынуждены выбирать между продолжением советского энергетического проекта и западной идеей энергетического перехода. За ними стоят разные онтологии развития—базовые представления об устройстве природы, общества и человека,—разные матрицы мышления. Многие этого не осознают, но, по большому счету, когда мы горячо спорим о целесообразности программы поддержки ВИЭ или о модернизации старых тепловых генерирующих мощностей, то на самом деле происходит столкновение разных онтологий, разных картин мира.



Владимир Черкасов «Революция продолжается»

Трансформация общественного сознания—это сложный естественный процесс, связанный с уровнем материального благополучия и качеством социальных отношений, особенностями культуры и историческим опытом этого общества. По всей видимости, из-за большого отличия ответов на эти вопросы от западных стран, Россия очень сдержанно реагирует на повестку борьбы с изменением климата, дозированно и с оговорками разделяет «зеленую» риторику, то есть по факту не принимает онтологию устойчивого развития, укоренившуюся во многих развитых странах мира. В то же время прогрессизм (модернистская онтология советского проекта) устарел и нуждается как минимум в актуализации. Что делать? На всех парах разворачивать политику декарбонизации или продолжать свою линию, сформированную еще на старте плана ГОЭЛРО? С ответом не надо торопиться, возможно, есть и другой путь. Приглядимся к тем изменениям, которые сейчас, в кризисный год в обостренной форме происходят вокруг. Возможно, мы увидим проявление новой онтологии развития и определим адекватную ей формулу для российской и глобальной стратегии энергетического перехода.

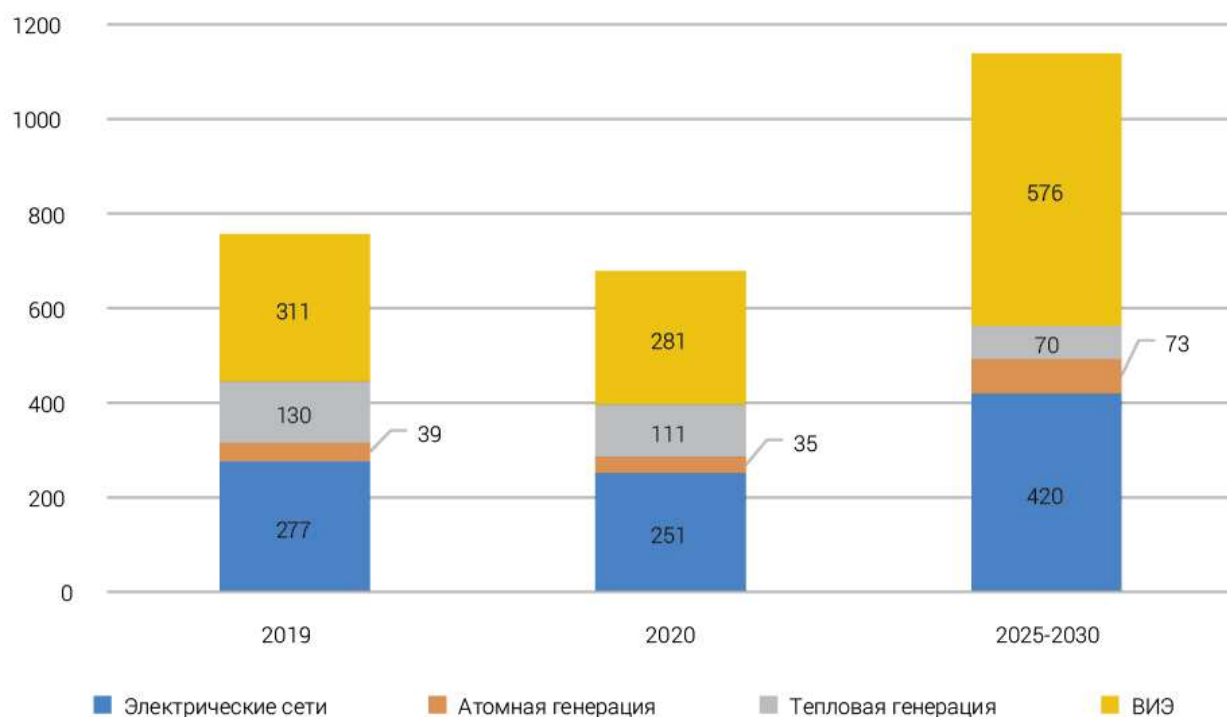
Кризисная ситуация

Пандемия коронавирусной инфекции, вторую волну которой переживает в настоящее время весь мир, не только спровоцировала самый значительный экономический спад со времен Великой депрессии, но и с феноменальной очевидностью выявила глубокий внутренний кризис сложившейся миросистемы. Вызов, брошенный эпидемией, оказался слишком сложным и многофакторным. Он требует быстрых и комплексных решений, высокой согласованности действий на уровне частного капитала, государственных и международных структур. Существующие институты оказались к такому вызову не готовы.



«Четыре кризиса в одном флаконе»

Пандемия не только сама по себе явилась глобальной проблемой, но и выступила катализатором других кризисных процессов в мире. Локдауны, заморозка экономической деятельности и торговых операций спровоцировали мировой экономический кризис. По последним оценкам МВФ, процессы, вызванные коронавирусом, приведут в 2020 году к сокращению объема глобальной экономики на 4,4% [1]. Это сказалось на мировой энергетике. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в 2020 году компании отрасли в силу упавших цен и спроса на нефть могут недосчитаться 1 трлн долларов выручки, а также 400 млрд долларов инвестиций. Это падение на 20% по сравнению с показателями прошлого года [2]. Одним из важных последствий этого стала переоценка инвестиционной привлекательности традиционной и новой энергетики. По мнению Wood Mackenzie, в силу снижения стоимости строительства объектов возобновляемой энергетики, при цене нефти менее 35 долларов за баррель, вложения в них уже сегодня обеспечивают не меньшую отдачу, чем инвестиции в нефтегазовые проекты, и при этом сопряжены с меньшими рисками [3].



Инвестиции в энергосектор в 2019 и 2020 гг. и общие среднегодовые инвестиции по сценарию устойчивого развития

Неслучайно в попытке ответа на вопрос, что же спасет экономику от коронавирусного кризиса, западные эксперты все больше сходятся во мнении: спасение кроется в решении другой глобальной проблемы—климатической. Во время Великой депрессии «Новый курс» президента США Франклина Рузвельта позволил «разогнать» экономику страны за счет вложений в энергетику и инфраструктуру, сейчас аналогичную роль могли бы исполнить национальные программы декарбонизации [4] и инвестиции в энергетический переход. К таким широкомасштабным инвестициям в совместном

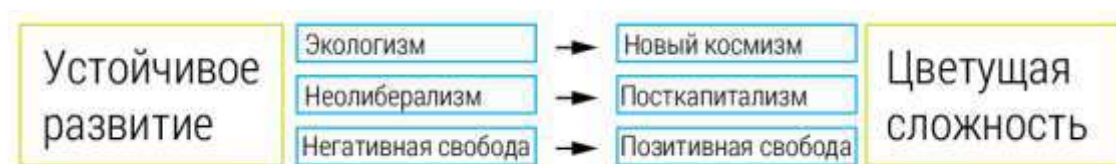
плане пост-коронавирусного восстановления мировой экономики призывают МЭА и МВФ. Согласно их оценкам, за счет мер государственного стимулирования в 2021–2023 годах получится нарастить инвестиции в энергетический переход до 1 трлн долларов в год, что в итоге создаст дополнительный ежегодный прирост мировой экономики на 1,1%, обеспечит 270 млн человек устойчивым доступом к электроэнергии, а также позволит каждый год открывать по 9 млн новых рабочих мест [5]. Правительства ряда стран включили в программы выхода экономики из кризиса существенное финансирование на поддержку «зеленых» мероприятий.

В то же время, ведущие экономисты высказывают сомнения, смогут ли предложенные меры по декарбонизации решить проблемы потепления климата. Международное энергетическое агентство ожидает, что глобальные промышленные выбросы парниковых газов будут примерно на 8% ниже в 2020 году, чем в 2019 году, что является крупнейшим ежегодным падением со времен Второй мировой войны. Но это падение раскрывает важнейшую правду о климатическом кризисе. Проблема слишком велика и сложна, чтобы ее можно было решить путем отказа от самолетов, поездов и автомобилей. Даже если жизнь людей претерпит огромные изменения, перед миром все равно будет стоять задача сокращения выбросов на 90% для того, чтобы достичь целей Парижского соглашения [6]. Для действенной борьбы с потеплением климата требуется существенно более кардинальная трансформация экономической модели общества [7], а также более радикальное вовлечение в решение этих проблем передовых исследований и разработок [8].

Получается, что в рамках сегодняшней, практически мальтузианской онтологии развития, экологическое восстановление попадет в ловушку: мобилизованные государствами и международными институтами инвестиции, возможно, и приведут к краткосрочному разгону экономического роста, но не обеспечат решения климатической проблемы и потому не сформируют долгосрочного эффекта. Такая ловушка возникает потому, что климатический кризис является ничуть не менее комплексным по своей природе и требующим не менее сложных, высокотехнологичных и кооперативных решений, чем борьба с коронавирусом.

Онтология цветущей сложности

Доминирующая в настоящее время во многих развитых странах мира онтология устойчивого развития базируется на трех китах: экологичности, неолиберальной модели общественно-экономических отношений и концепции негативной свободы.



Экологические проблемы, проявившиеся в результате индустриального вмешательства человека в природную среду, в 1960–1970 годах вызвали мощное теоретическое и практическое движение, основанное на идеях нового экологического сознания, исходящего из того, что у человека нет права вмешиваться в естественный, устоявшийся, саморегулирующийся порядок природы со своими планами и свершениями. Сторонники экологизма настаивали на переходе к модели развития, позволяющей за счет отказа от роста производства, регуляции рождаемости, внедрения новых чистых технологий, прекращения использования невозобновляемых ресурсов перейти к устойчивому, равновесному состоянию экономики и общества. Неолиберализм, оформившийся как отдельное направление экономической науки сразу после окончания Второй мировой войны, отталкивался при создании своей программы от доминирующей в то время кейнсианской модели, защищавшей идеи сильного государства, высоких налогов и надежной системы социальной защиты. На фоне тоталитарных режимов он предложил привлекательную систему социальных технологий, позволяющих без чрезмерных издержек согласовывать интересы разделенных индивидов с их различными желаниями. Одним из факторов привлекательности неолиберализма стало то, что он предложил понятную и простую концепцию свободы личности, которая заключалась в отсутствии внешних ограничений и насильственного вмешательства других людей (эту концепцию принято называть негативной свободой [9]). Кратким выражением этой концепции стало утверждение «Я никому не раб». В конце XX века сплав экологизма, неолиберализма и негативной свободы оказался востребованным и стал основой для трансформации мировой политики и экономики.

Однако 2020 год обнажил слабые места онтологии устойчивого развития. Экологизм, исповедующий приспособление к природе, неолиберализм, продемонстрировавший отсутствие действенных инструментов для мобилизации экономики и согласованного решения глобальных задач, негативная свобода, закрепляющая неравенство в мире аскетического культа управления истощающимися запасами ресурсов, а также всепроникающего цифрового контроля—все это не дает надежд на решение проблем изменения климата без упрощения социально-экономической жизни.



Филипп Свиридов «Каникулы практиканта на киберферме»

Человечеству требуется новый подход, который вместо паллиативной политики самоограничений предложит действенное, основанное на передовых достижениях науки решение глобальных проблем, открывающее перед человечеством светлую перспективу будущего. В нем каждый человек получит возможность для самореализации, отличающуюся от пост-апокалиптического выживания. На основе различных форсайтных исследований и позиций ведущих интеллектуалов можно сделать предположение [10], что ключевыми составляющими новой онтологии развития станут новый космизм, посткапитализм и позитивная свобода.

Глобальные проблемы безопасности человечества и установление контроля над ситуацией с изменением климата будут решены в контексте идей и подходов нового космизма (это мировоззрение многое возьмет из русского космизма, но в то же время будет качественно от него отличаться). С позиций космизма проблема глобального изменения климата превращается в задачу по терраформированию Земли. Вопрос не в том, чтобы сдерживать выбросы парниковых газов в атмосферу, а в том, чтобы создать геотехнологическую систему регулирования концентрации этих газов в атмосфере. В рамках парадигмы нового космизма человек возвращает себе право вмешиваться в природу в планетарных масштабах [11], поскольку только такое вмешательство—единственный способ действенного решения экологических и климатических проблем.



Новый космизм. Источник: фотография автора

Организация общества будет трансформироваться на основе подходов так называемого посткапитализма. Экономические отношения будут замещаться роботизированными платформами, человек освободится от неизбежного и необходимого рутинного труда. Это случится не одномоментно, пройдет долгая эпоха, содержащая множество этапов, на каждом из которых при помощи цифровых и социальных технологий будут сниматься транзакции определенного типа [12]. Важно отметить, что в этом контексте труд превращается из вынужденного неэквивалентного обмена работы на деньги в право на добровольное создание благ в силу внутреннего желания, то есть в форму активного творчества.

Возобладает позитивная концепция свободы, характеризующаяся возможностью и наличием ресурсов для реализации собственного потенциала индивидуума. Этой концепции присуще утверждение «Я сам себе хозяин», кроме того, неотъемлемой её частью является участие граждан в управлении или в добровольной кооперации. Движущей силой кооперации и обмена становится не торговля как форма неэквивалентного обмена, а желание создавать и получать в итоге более сложный и насыщенный смыслами и возможностями мир.

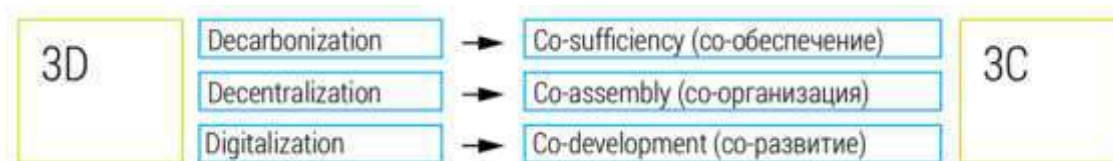
В отличие от онтологии устойчивого развития, приводящей к упрощению мира, новая онтология должна уверенно вести человечество по пути усложнения социальной

жизни общества. Пользуясь метафорой русского мыслителя Константина Леонтьева, новая онтология должна вернуть человечество на путь «цветущей сложности».

Позитивная повестка энергетического перехода

Во многих развитых странах мира реализуются сценарии энергетического перехода (Energy Transition). Эта концепция ориентирована на масштабное использование возобновляемой энергетики, развитие распределенной энергетики и просьюмеров, повсеместное применение в электроэнергетике цифровых управляемых устройств, обеспечивающих возможность реализации интеллектуального управления энергосистемами, основанного на межмашинном (M2M, IoT) взаимодействии. Компактное выражение энергетического перехода сводится к формуле «3D»: Decarbonization, Decentralization, Digitalization.

Эта концепция сформировалась и превратилась в руководящую политику развитых стран мира, разделяющих онтологию устойчивого развития. Она выражает ценностные установки и принципы данной онтологии. Декарбонизация является ответом на отношение к природе как превосходящей человека силе, к которой необходимо приспосабливаться. Децентрализация является естественным результатом распространения на электроэнергетику неolibеральной экономической модели рынка многих бизнес-субъектов с минимальным государственным регулированием. А дигитализация, направленная на замещение людей машинами или же на контроль людей силами машин, является последовательным воплощением концепции негативной свободы, создающей ощущение защищенности индивидуума от влияния других людей за счет формирования цифровой личной сферы (digital privacy), обеспеченной цифровым контролем других вокруг меня. В свете этого утверждения смысловым синонимом дигитализации является термин «дегуманизация». Обращает на себя внимание то, что составляющие «3D» сформулированы через отрицание, указание на то, от чего надо отказываться, а не то, к чему следует стремиться.

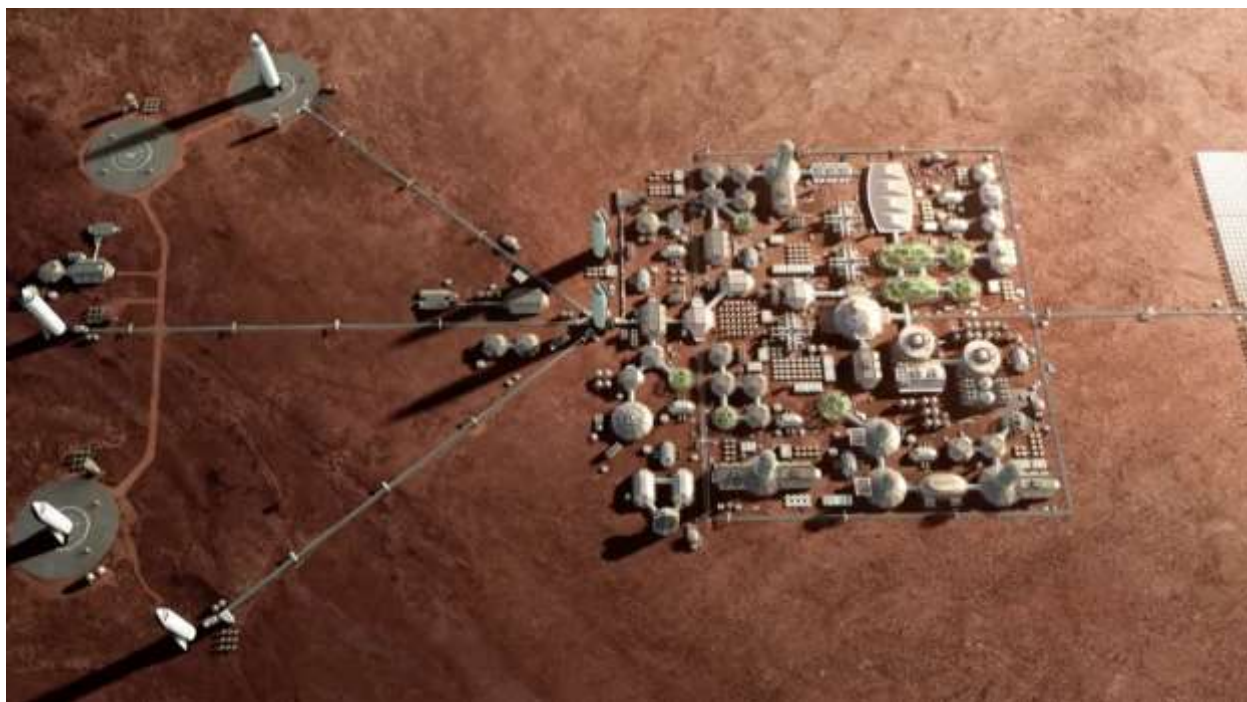


Для новой онтологии развития концепция «3D» не является работающей, она не задает ключевые принципы энергетической инфраструктуры в мире «цветущей сложности». Чтобы вывести новую формулу трансформации энергетики, нужно определить, в какое полезное свойство на следующем витке развития превратится каждое из составляющих «3D». Но можно постараться ухватить новое видение во всем объеме, проектируя образ энергетики для сверхординарных обстоятельств, например, для колонизации Марса, тем более что этот кейс хорошо вписывается в новую онтологию развития. Для терраформирования и промышленного освоения планеты нужны будут большие энергетические мощности атомной энергетики, для

постепенного развития поселений необходимы модульные энергоустановки средней и малой мощности, собирающие энергию из окружающей среды и накапливающие её в форме водорода, для предотвращения потенциально высокой аварийности инфраструктуры потребуется её многократное резервирование, для управления режимами работы такой сложной системы потребуется искусственный интеллект, а для обеспечения быстрой и многократной переорганизации энергетической системы потребуется творческое участие различных людей в её проектировании и планировании. Очевидно, что принципы декарбонизации, децентрализации, дигитализации не являются в этой ситуации полезными подсказками. Куда полезнее их диалектические продолжения «3C»: Co-sufficiency, Co-organization, Co-development.

Огромным достижением политики декарбонизации стало развитие возобновляемых источников энергии. Углеродная нейтральность является важным свойством таких источников энергии. Но, может быть, даже более важно другое их свойство— возможность извлекать энергию из внешней среды в любой точке пространства. Учитывая принципиальную стохастичность и распределенность подобного типа источников, всегда будет стоять важная задача взаимного обмена энергоресурсами между структурными элементами системы. Со-обеспечение (Co-sufficiency)—принцип взаимного и коллективного обеспечения энергетическими ресурсами, преобразуемыми в различные полезные формы на основе универсального носителя (электроэнергии, водорода), в системе, где каждый структурный элемент вносит свой вклад в обеспечение, накопление и гибкое использование энергии. Этот принцип не ставит во главу угла использование именно возобновляемых источников энергии, особенно не всегда и не везде доступных ресурсов ветра и солнца, но предполагает акцент на модульности энергетики и коллективном участии в эффективном получении, распределении и использовании энергетических ресурсов, в том числе с концентрированных мощностей.

Децентрализация сделала свою полезную работу по слову парадигмы централизованных иерархических систем. Но ценным останется и нахождение распределенной энергетики в большой общей экосистеме, а также её способность в режиме, близком к реальному времени, осуществлять согласованное управление и переорганизацию инфраструктуры. Со-организация (Co-organization)—принцип согласованных действий множества разнородных объектов, которые в силу своей слаженности приводят к появлению синергетического эффекта: действия этих объектов как целого достигают эффект больший, чем был бы у суммы действий всех объектов, если бы они действовали поодиночке.



Впечатление художника от города на Марсе, который SpaceX хочет создать с помощью своей транспортной системы Starship. Источник: SpaceX

Современные процессы дигитализации создают лишь цифровую инфраструктуру и системы управления, способные справиться с простыми задачами для стационарных условий функционирования системы. Если же говорить о мире «цветущей сложности», о гибких и динамически развивающихся поселениях и производственных объектах, о необходимости быстрого разворачивания и перестройки инфраструктуры под новые задачи, то возникает необходимость интегрировать людей и различные кибер-физические системы в общий контур управления развитием [13]. Здесь человеку, вооруженному ценностями позитивной свободы и мотивированному на творческую самореализацию, отводится роль постановщика задачи и валидатора найденных умными системами решений. Со-развитие (Co-development)—принцип организации человеко-машинных систем, позволяющий при работе со все более сложными задачами осуществлять усложнение структурных связей в этих системах на основе внутренних ресурсов, горизонтальных связей и распределенного коллективного принятия решений.

Таким образом, для мира «цветущей сложности» нужна концепция развития энергетики, которая использует достижения «3D», но ставит перед собой позитивные задачи, делает следующий шаг, приводящий к приобретению энергосистемами новых полезных свойств. Этот следующий шаг энергетического перехода описывается формулой «3С», который предполагает создание инфраструктуры для сложной и гибкой кооперации умных энергетических машин и творческих людей.

Новые энергетические практики концепции «3С»

А теперь, если мы вернемся с Марса, то и на Земле обнаружим энергетические практики, которые фактически являются реализацией новой онтологии развития. В частности, безуглеродные автономные энергосистемы, рынки энергетической гибкости, энергетические комьюнити—эти и другие практики воплощают новые подходы к трансформации энергетики на основе принципов «3С».

Принцип со-обеспечения (co-sufficiency) наиболее ярко проявляется в работе безуглеродных автономных гибридных энергосистем (АГЭС) с блочно-модульной структурой. Примером такой системы выступает российский проект международной арктической станции «Снежинка», реализуемый Институтом арктических технологий МФТИ при поддержке инфраструктурного центра «Энерджинет». Данный проект будет реализовываться на Ямале в рамках председательства России в Арктическом совете под эгидой рабочей группы по устойчивому развитию в Арктике (SDWG). Особенностью станции «Снежинка» является ее блочно-модульная структура, в рамках которой каждый из структурных модулей вносит свой вклад в обеспечение автономного энергоснабжения за счет генерации на основе ВИЭ или накопления энергии, а также за счет участия в гибком управлении использованием этой энергии. Это необходимо для того, чтобы станция эффективным образом могла обойтись без применения завозного углеводородного топлива. В целевом видении модули станции образуют сеть горизонтальных связей, к которой могут быть пристыкованы все новые и новые модули. Аналогичная структурная идея используется при построении орбитальных космических станций. Чем большее количество модулей собрано в общую структуру, тем большие возможности по автономному энергоснабжению получают все модули, причем это возрастание является нелинейным. Единство этой инфраструктуры обеспечивается не только электрической связностью, но и универсальным углеродно-нейтральным топливом—водородом, который будет использоваться для долгосрочного накопления производимой на базе ВИЭ энергии, её преобразования в электричество, тепло, топливо для транспортных средств и робототехники. Именно водород создает условия для устойчивой и надежной работы такой сложноорганизованной, стохастичной, развивающейся энергосистемы, в то числе имеющей мобильные компоненты.



Эскиз проекта «Снежинка». Источник: МФТИ

Все более распространенной новой энергетической практикой, реализующей принцип со-организации (co-assembly), является платформенное управление агрегированными множествами объектов распределенной энергетики—источниками мощности и гибкости. Эта практика может реализовываться как на локальном уровне внутри микрогридов, где такие платформы формируют со-организующееся энергетическое сообщество, так и на национальном и даже региональном уровне больших энергосистем, где платформенные решения используются для создания виртуальных электростанций, интеграции в оптовые рынки накопителей электроэнергии и управляемой нагрузки. Сетевые и домашние накопители энергии, в том числе подключенные к крышным солнечным панелям, зарядные станции для электромобилей, малая газовая генерация, управляемые нагрузки, например, подключенные к интернету вещей домашние водонагреватели и кондиционеры, объединяются на платформе в динамически меняющуюся совокупность источников энергетической гибкости—пул гибкости—и оказывают соответствующие услуги системным операторам энергосистем, сетевым компаниям, крупной генерации (особенно—ветровой), операторам микрогридов. Примером уже реализованных платформ такого типа выступает британская Piclo Flex—первая в мире платформа для торговли энергетической гибкостью, проходящая пилотное внедрение в национальном масштабе. Проекты по разработке подобной платформы ведутся и в России, в рамках НТИ «Энерджинет». Платформа такого типа не является просто автоматизированной системой управления, поскольку предполагает не директивное управление источниками гибкости, но рыночное взаимодействие за счет заключения краткосрочных самоисполняющихся контрактов. Эффект от работы платформ проявляется в появлении в энергосистеме доступных регулировочных мощностей,

которые могут быть использованы для управления частотой, снижения цен на оптовом рынке, расшивки узких сечений, повышения системной надежности и запаса устойчивости, оптимизации загрузки генерирующих мощностей, повышения КИУМ и доли ВИЭ в энергобалансе и множестве других задач оптимального управления энергосистемами любого масштаба.



Солнечная электростанция Duke Energy во Флориде, обеспечивающая энергией корпорацию Disney в Орланд. Источник: Southern Alliance for Clean Energy

Принцип со-развития (co-development) означает еще более развитый уровень кооперативного поведения, чем в описанных ранее примерах, приводящий не только к получению оперативных результатов, но к достижению долгосрочных эффектов, связанных с усложнением самой совокупности взаимодействующих объектов, решению новых задач. Данный принцип может быть реализован при помощи технологий коллективного планирования и проектирования, обеспечивающих сочетание глубоких инженерных знаний и высоких технологий с возможностью учета множества интересов и мнений сообществ и отдельных людей без привлечения специализированных институтов. Частными случаями реализации данного принципа выступают некоторые энергетические сообщества, частично переходящие на платформенные механизмы краудфандинга (в том числе, с использованием блокчейна) как альтернативы банковским кредитам и инвестициям. Они используют рычаги прямой демократии в локальном масштабе для того, чтобы выстраивать коллективные проекты развития инфраструктуры своих сообществ. Примерами энергетических сообществ, реализующих принцип со-развития, являются экологические коммуны-поселения Aarde Huizen [14], Schoonschip [15], De Ceutel [16] и Republica Papaverweg [17] в Нидерландах, использующие цифровые решения, созданные компаниями Spectral и

Metabolic. Эти энергетические сообщества образуют локальные со-развивающиеся группы, самостоятельно порождающие инфраструктурные решения для оригинальных форм жизнедеятельности.

Территории ускоренного развития новой энергетики

Для развития новых энергетических практик и технологий на базе концепции «3С» и в контексте новой онтологии развития нужны особые механизмы—своеобразные инкубаторы нового энергетического уклада, новых энергетических и технологических рынков [18]. Россия—большая страна, разные её регионы могут стать площадками для «выращивания» энергетических практик, референтных для разных стран мира. В зависимости от особого геоклиматического профиля каждого региона, его экономической специализации, социо-культурных особенностей могут формироваться условия для возникновения и ускоренной эволюции нового образа жизни и деятельности, а также адекватной им энергетической инфраструктуры.

Например, в ЯНАО может развиваться практика автономных безуглеродных поселений для Арктической зоны, на Сахалине—формироваться водородное общество, а в создаваемой в настоящее время территории федерального подчинения «Сириус»—молодежный город будущего с полноценным интернетом энергии. Такие территории, предложенные администрациями субъектов России и муниципальными образованиями в качестве площадок формирования желательного будущего, могли бы отбираться на конкурсных условиях и поддерживаться, в том числе федеральной властью, государственными компаниями и институтами развития.

Выводы

Текущий год стал сложным годом, в котором в единый пазл сложился комплекс разнородных кризисов. Это заставляет нас не только решать задачи выхода из этих кризисов, но и задачи создания своего варианта новой нормальности, восходящей к необходимости формирования и присвоения новой онтологии развития. Доминирующая в настоящее время в экономических развитых странах мира онтология устойчивого развития, в предельных случаях формулируемая как «Остановиться и выжить!», является допустимой, но только за неимением других вариантов, предлагающих реализуемую парадигму восходящего развития.



Энергетика на краю. Источник: фотография автора

По нашей гипотезе новая онтология развития должна базироваться на смыслах и подходах нового космизма, посткапитализма и позитивной концепции свободы. В рамках новой онтологии становится возможным предложить и новую концепцию энергетики будущего, предлагающую, в отличие от энергетического перехода на принципах «3D», позитивную и конструктивную повестку. Эта концепция может быть выражена формулой «3С», которая расшифровывается как Co-sufficiency, Co-assembly, Co-development. Энергосистемы различного масштаба, построенные на таких принципах, будут востребованы и при колонизации Марса, и при освоении Арктики, и при решении проблем изменения климата, и при электрификации и догоняющем развитии стран третьего мира. Эта новая формула энергетического перехода могла бы стать глобальной инициативой России, стать базовым принципом для поступательного высокотехнологичного развития национальной энергетики, а также основой для масштабного технологически состоятельного экспорта. Начать же нужно с малого—реализовать в заинтересованных регионах программы ускоренного развития новой энергетики, воплощающие и демонстрирующие для нескольких типовых ситуаций комплексные решения на базе новой концепции энергетического перехода.

1. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/09/30/world-economic-outlook-october-2020>

2. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/iea-historic-plunge-in-investment-could-undermine-the-energy-transition>
3. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/oil-price-means-renewables-are-a-better-investment-for-the-majors>
4. https://www.thenational.ae/business/comment/investing-in-energy-and-projects-helped-pave-the-way-out-of-the-great-depression-it-can-now-help-build-a-greener-world-1.1014159?utm_source=telegram.me&utm_medium=social&utm_campaign=www.thenational.ae-business-comm
5. <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>
6. <https://www.economist.com/leaders/2020/05/21/countries-should-seize-the-moment-to-flatten-the-climate-curve>
7. <https://www.newstatesman.com/politics/economy/2020/05/top-economists-warn-uk-not-repeat-austerity-after-covid-19-crisis>
8. <https://www.thenewatlantis.com/publications/after-climate-despair>
9. Берлин И. Две концепции свободы
10. Холкин Д.В. Утопия как гипотеза о человечестве. <https://medium.com/internet-of-energy/6a76c3c7a0bc>, <https://medium.com/internet-of-energy/a500d84c5671>
11. Холкин Д.В. Постаптропоцентричная недоутопия. <https://medium.com/internet-of-energy/4da043459d49>
12. Холкин Д.В. СБЧ. Энергетика в эпоху транзакционных машин. <https://medium.com/internet-of-energy/589438d7ddf5>
13. Бушуев В.В. Введение в Энергологию
14. <https://www.aardehuis.nl/nl/>
15. <http://www.spaceandmatter.nl/schoonschip>
16. <https://deceutel.nl>
17. <https://www.republica.amsterdam/en/home>
18. Холкин Д.В. Юрий Громыко. Возможна ли инженерия истории? <https://medium.com/internet-of-energy/ed20b90c2dbb>

Гадание на Рождество: «гибкость» и «водород» станут главными темами нового года

Следуя традиции гадания на Рождество, мы пролистали ленты новостных агентств и попробовали предугадать главные темы наступившего 2020 года

Дата: 9 января

Автор: Игорь Чаусов

1. В поисках энергетической гибкости

Самым главным словом 2020 года и самым ценным ресурсом, который будет нужен мировой энергетике, становится гибкость. Поиски и создание новых источников энергетической гибкости, управление энергетической гибкостью, рынки энергетической гибкости — вот те ключевые тренды, которые мы ожидаем увидеть в новом году.

Казалось бы, основным драйвером энергетического перехода по-прежнему остаются успехи в области ВИЭ. Испанская Iberdrola завершила строительство самой большой в ЕС солнечной электростанции N  nez de Balboa мощностью 500 МВт [1], самая большая в мире плавучая ВЭС от Vestas мощностью 8,4 МВт заработала у берегов Португалии в рамках проекта WindFloat Atlantic [2], а Siemens Gamesa выиграл гигантский тендер на строительство 2600 МВт ветроэнергетических мощностей у берегов Вирджинии [3]. И все это — новости только-только начавшегося года.



Плавучая ВЭС Vestas 8,4 МВт в рамках проекта WindFloat Atlantic

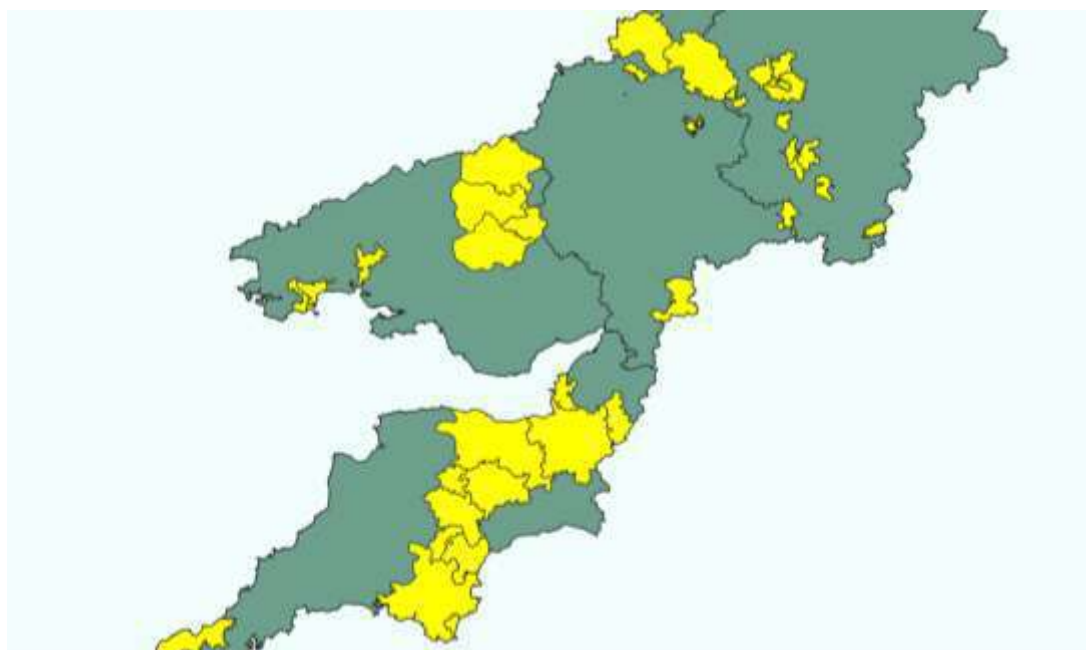
Тем не менее, во многом это — инерционные процессы, которые сами по себе не дадут нового качественного скачка в энергетике. Более того, на фоне ожидания рецессии мировой экономики инвестиции в ВИЭ снижаются: в первой половине 2019 года

инвестиции в «чистую» энергетику упали в сравнении с этим же периодом 2018 года на 15% [4]. Эффективное продолжение энергетического перехода в новом десятилетии зависит именно от успехов в сфере управления энергетической гибкостью.

В подтверждение этих слов BNEF совместно с ACCIONA выпустил в конце 2019 года новое сценарное исследование развития энергетик Испании и Чили, в котором показал, что достижение заявленных странами целей по декарбонизации совершенно невозможно без существенного роста гибкости их энергосистем за счет применения накопителей энергии и «умной» зарядной инфраструктуры для электротранспорта [5].

Тем временем, год начался с первых крупных событий на европейских рынках гибкости. Statkraft в партнерстве с Fluence завершил работы по созданию системы накопления энергии мощностью 11 МВт — одной из крупнейших в Ирландии [6]. Новый накопитель полностью ориентирован на работу на рынке гибкости DS3 объемом 110 МВт, на котором закупаются резервы для регулирования национальной энергосистемы.

Еще более крупный рынок гибкости формируется в Великобритании. Британская сетевая компания Western Power Distribution (WPD) запустила рекордный в истории страны аукцион для источников гибкости, в первую очередь, управляемого спроса, на 334 МВт в Англии и Уэльсе [7]. По итогам 2019 года компания уже закупила 123 МВт гибкости и теперь масштабирует этот опыт в партнерстве с Piclo и Cornwall Local Energy Market [8]. В прошлом году рекорд был установлен UK Power Networks — 170 МВт гибкости, закупленной по результатам аукциона одним сетевым покупателем [9]. По итогам 2019 года рынок гибкости Соединенного Королевства был признан вторым по величине после рынка Нидерландов [10].



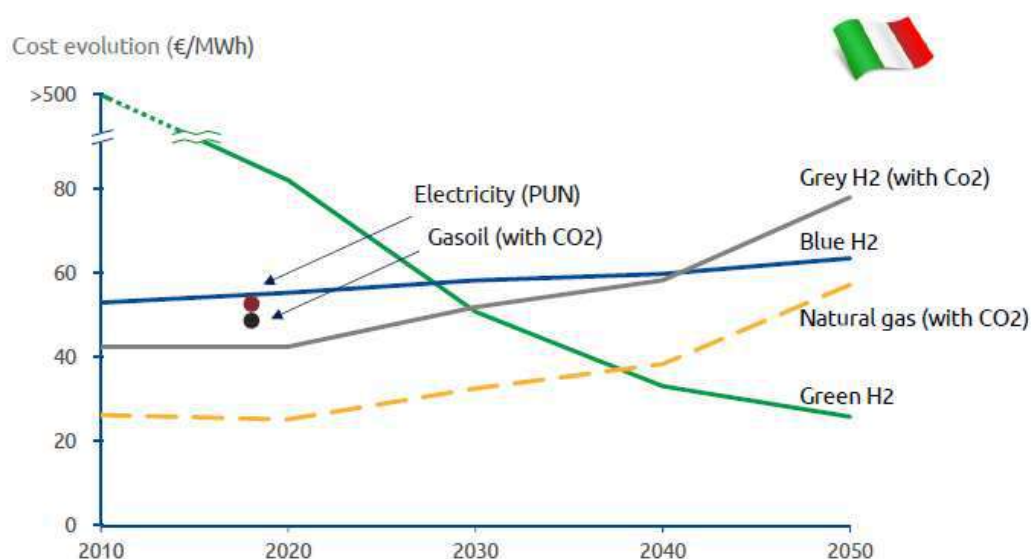
Карта районов Англии и Уэльса, в которых Western Power Distribution закупает энергетическую гибкость у распределенной энергетики

Зарождающийся тренд 2020 года в деле поисков энергетической гибкости — использование технологий искусственного интеллекта для оценки потребности энергосистем и крупных бизнес-игроков энергетических рынков в новых источниках гибкости и декарбонизации [11]. Теперь сочетание искусственного интеллекта с геоинформационными системами предсказывает климатические риски крупного бизнеса и дает советы по инвестициям в «чистую» энергию и источники гибкости.

В новом году Инфраструктурный центр EnergyNet ожидает, что тема энергетической гибкости станет центральной для мировой энергетики, и рассчитывает направить потенциал архитектуры Интернета энергии (IDEA) для создания конкурентоспособных решений по управлению гибкостью.

2. Водородная альтернатива

Неожиданно ставшая в конце 2019 года практически мейнстримом тема водорода, согласно нашим предсказаниям, в новом году станет основным полем для фланговых маневров на энергетических рынках и поиска новых технологических возможностей для декарбонизации мировой экономики. Один из самых интересных обходных маневров, открывающих водородным технологиям новые возможности за рамками электроэнергетического сектора, будет развиваться в сфере промышленного потребления тепла [12]. В результате водородная энергетика будет занимать все более важную роль, соединив ресурсные возможности электроэнергетики, потребность в гибком накоплении электроэнергии и потребности промышленности в «зеленом» источнике тепла для металлургии и производства цемента. Не случайно крупнейшая европейская газовая сетевая компания Snam объявила своим приоритетом на 2020 год инвестиции именно в «зеленый» водород, ожидая наступления ценового паритета между «зеленым» водородом и природным газом (с учетом платы за эмиссию) для европейской промышленности к 2040 году [13].



Прогноз цен на водород и природный газ с учетом платы за эмиссию парниковых газов.

Источник: Snam

По свежим оценкам McKinsey, американский сегмент рынка водородной энергетики прогнозируется на уровне \$140 млрд в год уже через 10 лет — к 2030 году, и обещает обеспечить 700 тыс. новых рабочих мест [14].

Кроме уже обозначенного сектора обеспечения промышленности чистым источником тепла, «зеленый» водород в 2020 году поборется на существующих рынках применения водорода — в химической промышленности, а также на рынках систем хранения энергии и альтернативного топлива для транспорта, особенно специального и грузового.

2020 год будет для водородной энергетики сложным и противоречивым: новый быстрый старт этой темы в 2019 году продолжится напряженной конкуренцией с более традиционными решениями, но водородная энергетика будет той областью, в которой мы ожидаем наиболее интересных сюрпризов в наступившем году.

Источники:

1. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/iberdrola-completes-europes-largest-solar-plant-and-yes-its-subsidy-free>
2. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/worlds-largest-floating-wind-turbine-connected>
3. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/largest-us-offshore-wind-taps-siemens-gamesa-for-turbine-order>
4. <https://about.bnef.com/blog/world-clean-energy-investment-slips-1h-2019-despite-billion-dollar-financings-solar-dubai-offshore-wind-taiwan/>
5. <https://about.bnef.com/blog/assets-providing-flexibility-are-key-to-maximizing-the-role-of-renewable-energy-in-spain-and-chile/>
6. <https://www.current-news.co.uk/news/statkraft-completes-first-ireland-battery-to-join-ds3-flexibility-market>
7. <https://www.current-news.co.uk/news/wpd-announce-largest-ever-flexibility-tender>
8. <https://www.current-news.co.uk/news/wpd-expands-flexibility-services-with-new-184mw-tender>
9. <https://www.current-news.co.uk/news/ukpn-launches-170mw-competition-for-flexibility-on-piclo-flex>
10. <https://www.current-news.co.uk/news/uk-second-worst-market-in-europe-for-flexibility-according-to-new-report>

11. <https://about.bnef.com/blog/ai-could-supercharge-corporate-sustainability-with-new-applications/>
12. <https://about.bnef.com/blog/decarbonizing-industrial-heat-a-key-to-climate-fight-qa/>
13. http://87789.choruscall.com/snam/snam191121v2_presentation.pdf
14. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/5-early-applications-for-green-hydrogen>

Призрак нового экономического роста

Дата: 24 января

Автор: Дмитрий Холкин



Илон Маск

Насим Талеб, писатель и интеллектуал, известный своей серией книг «Incerto», на днях попал впросак. Случайно, по крайней мере, как он утверждает, без всякого подтверждения с его стороны, с его аккаунта через приложение Tesla была совершена покупка на \$4333 [1]. Недальновидный менеджер клиентской службы компании, видимо, не читавший «Антихрупкости», отказал в возврате денег. Талеб написал презрительный твит Илону Маску: «Илон, Ваша служба поддержки в Tesla еще хуже, чем я заявлял в прошлый раз. Это оскорбление для ваших клиентов». Маск, в отличие от менеджера, видимо, читал книги Талеба и ответил, что проблема будет решена. В ответ знаменитый писатель в лучших традициях советских производственных пьес написал: «Спасибо, но было бы неплохо дать такой же ответ людям, у которых не так много подписчиков в Твиттере». Он попытался преподать известнейшему технологическому предпринимателю урок ответственности перед обществом за свои «детища».

Вообще же, вопрос ответственности институтов и ключевых субъектов капиталистического уклада перед обществом стоит с каждым днём все острее. И базовая претензия общества — утрата будущего, невозможность выхода на новый виток экономического роста, исправления проблемы тотального неравенства.

Исчерпание источников экономического роста в рамках доминирующей архитектуры экономических и социальных отношений давно предсказывалось левыми

интеллектуалами [2]. Но, кажется, что о цивилизационном кризисе, с этим связанным, мы можем судить даже по новостной ленте мировых агентств.



Маркс предсказывал, что рынок очень быстро ликвидирует остатки феодального уклада и подчинит каждое национальное учреждение революционной логике глобального рынка. До сих пор британская монархия, один из последних пережитков феодальной миросистемы, казалась блестящим опровержением марксизма. Но последний бастион пал, Меган Маркл и принц Гарри отказались от королевских привилегий и доли суверенного гранта и окунулись с головой в капитализм [3] в его самой грубой, самой современной форме: глобальной, а не национальной, виртуальной, а не солидной, подвижной, в силу своей неотвратимой логики, постоянно порождающей новые причуды и моды.



Шведская активистка Грета Тунберг спорит на Давосском форуме с позицией Президента США и с детской непосредственностью констатирует: «Наш дом (наша планета) по-прежнему горит». А потом озвучивает по-взрослому точные требования к мировому сообществу [4]: банки должны прекратить все инвестиции в ископаемую энергетику, правительства — прекратить субсидирование этой отрасли, а работающие в ней компании — прекратить свою деятельность. И не к 2050 году, а немедленно. Она удивляется неразумности этого мира: «Неужели это оказалось таким плохим для экономики, что мы отказались от идеи обеспечить условия жизни будущим поколениям, даже не попробовав?»



Ларри Финк

Ларри Финк, босс BlackRock, крупнейший фондовый менеджер планеты, в открытом письме от 14 января тоже пророчит: «Я считаю, что мы находимся на пороге фундаментальной перестройки финансов» [5]. Развивая мысль, что фирмы должны делать больше, чем создавать акционерную стоимость, он обещает, что потребует от всех фирм, которыми управляет, более широкого раскрытия информации о выбросах углерода и климатических рисках для их компаний.



На фоне выхода Великобритании из Евросоюза и сдачи конкурентных позиций на международных рынках по сравнению с Китаем и США Европа все больше сползает к методам дирижизма [6]. И если Франция всегда была склонна к этому подходу, то отклонения Германии от практики ордолиберализма называют не иначе как «тевтонский поворот».

CAPITALISM UNDER FIRE

Percent who agree

Change: 2019 to 2020

How true is this for you?

Sense of injustice	74
Desire for change	73
Lack of confidence	66
Lack of hope	26

The system is...

Working for me Not sure Failing me



Capitalism as it exists today
does more harm than
good in the world

56%

2020 Edelman Trust Barometer. "System failing" measure. For full details on how the "system failing" measure was calculated, please refer to the Technical Appendix. POP: MDC. Below is a list of statements, 1 or each one, please rate how true you believe that statement is, 9-point scale; top 4 box, true. General population, 26-mkt avg. Sense of injustice is an average of POP, MDC; 1,2,3,4; Desire for change is POP, MDC; 5; Lack of confidence is POP, MDC; 10; Lack of hope is an average of POP, MDC; 10, 19, 20 (previous scores). TMA, SE, SHY. Please indicate how much you agree or disagree with the following statements. 9-point scale, top 4 box, agree. Question asked of half of the sample. General population, 26-mkt avg.

Edelman 12

В преддверии Всемирного экономического форума в Давосе «Edelman Trust Barometer» провел опрос об отношении жителей планеты к капитализму [7]. Опрос охватил более 34 тысяч человек в 28 странах, от западных либеральных демократий, таких как США и Франция, до стран, основанных на иной модели, таких как Китай и Россия. При этом 56% согласились с тем, что «капитализм в том виде, в каком он существует сегодня, приносит больше вреда, чем пользы».

Мировой маятник качнулся от капитализма в противоположную сторону. Куда? Когда не знают ответа на подобные вопросы, говорят о пост-формациях. Вторя манифесту Маркса, можно сказать: «Призрак бродит по миру — призрак посткапитализма». И от этого призрака ждут ответственных по отношению к общему будущему действий и нового экономического роста.

А что в это время происходит у нас? Правительство Михаила Мишустина, возможно, окажется правительством цифрового экономического роста [8]. По крайней мере, так это выглядит по мнению ряда экспертов и комментаторов. Цифровизация реального сектора экономики — один из главных пунктов программных выступлений нового Председателя Правительства РФ. За этими словами стоит реальное понимание сути дела, ведь на своем предыдущем месте работы в Федеральной налоговой службе Михаил Владимирович, по мнению многих IT-экспертов, достиг больших результатов в области цифровизации налоговой деятельности.



Алексей Оверчук выступает на Гайдаровском форуме

Но главное в другом: адекватность понимания процессов цифровой трансформации просматривается в выступлении Алексея Оверчука на Гайдаровском форуме (чуть ранее планировалось, что с этим докладом выступит Мишустин) [9]. Здесь есть всё самое важное: и про новые цепочки добавленной стоимости, и про изменение институтов собственности, и про цифровые монополии, и про неформальные трудовые отношения. Проактивная деятельность налоговой службы в кооперации с зарубежными коллегами, оказывается, позволяет лучше других видеть изменение механики экономических отношений в цифровом мире, а главное — обнаруживать источники нового экономического роста.

Кажется, что основным лейтмотивом EnergyNet в 2020 году тоже будет тема экономического роста. Юрий Удальцов в своем интервью, сделанном в рамках нашего проекта «Люди цифры», рекомендует еще раз вернуться к вопросу об определении ценности инициатив для общества, государства, бизнеса [10]. В глобальном и национальном контекстах эта ценность может быть адекватной, только если она обеспечивает экономический рост. Кроме того, назначение куратора НТИ Андрея Белоусова на должность первого вице-премьера Правительства России создает новые возможности, но и призывает к повышенной ответственности.

Проекты, которые сформировались в рамках семи проектных направлений EnergyNet в последние два года, должны, наконец, рассматриваться в практической плоскости как истории, полезные для потребителей, для российской энергетики, для национальной экономики, для мира.



Пресс-конференция по случаю старта проекта AHEAD

Первый проект, на который я стал смотреть такими глазами, был презентован на прошедшей неделе [11]. Это проект Arctic Hydrogen Energy Applications and Demonstrations (AHEAD), он инициирован Россией как часть программы деятельности Арктического совета. По итогам его реализации будут созданы решения для полностью автономных (не требующих завоза топлива) и экологически чистых систем энергоснабжения небольших поселений и промышленных объектов в арктической зоне. Ожидается, что этот проект, который будет разворачиваться в этностойбище «Земля надежды» (ЯНАО), позволит создать условия для развития данной территории за счет научных исследований, образовательной деятельности, туризма. При этом

технологии, обрабатываемые в проекте, могут быть востребованы, чем черт не шутит, в объявленных Илоном Маском планах колонизации Марса [12].

Цифровизация в 2020 году из предчувствия должна превратиться в надежное знание о новых источниках и механизмах экономического роста [13]. «Призрак» должен материализоваться в виде новых экономических и социальных отношений, обеспечивающих лучшее будущее.

Шотландский замок, наше время... Сквозь стену появляется призрак и подходит к бару.

Призрак — бармену:

— Налей-ка мне виски.

Бармен наливает виски, призрак залпом выпивает и уходит обратно сквозь стену.

Бармен:

— Хм... виски... с утра?

Источники:

1. https://twitter.com/g_schelle/status/1217480177506312195?s=21
2. <https://dkholkin.wordpress.com/2020/01/10/2019-11-02-world-kfu/>
3. <https://www.economist.com/britain/2020/01/16/harry-meghan-and-marx>
4. <https://meduza.io/video/2020/01/21/nash-dom-vse-esche-v-ogne-vashe-bezdeystvie-razduvaet-plamya-kazhdyy-chas-greta-tunberg-vystupila-na-forume-v-davose>
5. <https://www.economist.com/finance-and-economics/2020/01/16/blackrock-says-it-wants-to-do-more-for-the-climate>
6. <https://www.economist.com/europe/2020/01/16/europe-is-rediscovering-its-penchant-for-statist-intervention>
7. https://fomag.ru/news-streem/davos_kapitalizm_prinosit_bolshe_vreda_chem_polzy_svidetelstvuet_globalnyy_opros/
8. <https://www.interfax.ru/russia/691499>
9. <https://www.youtube.com/watch?v=UBpnYYo8kbw&feature=youtu.be>
10. <https://medium.com/internet-of-energy/cfecccf753ca>
11. <https://russian.rt.com/russia/article/709712-arktika-stanciya-snezhinka-energetika>

12. <https://rg.ru/2020/01/19/ilon-mask-rasskazal-kak-otpravil-million-chelovek-na-mars-k-2050-godu.html>
13. <https://dkholkin.wordpress.com/2019/10/02/2019-10-02-1/>

Мобилизаторы развития

Дата: 7 февраля

Автор: Дмитрий Холкин



А. Белоусов. Фото: Администрация Президента России

Газеты пишут про Андрея Белоусова: «Государственник. Дирижист. Патриот». Говорят, что он является главным идеологом национальных проектов, что увлекается [«всякого рода плановой регулятивностью»](#).

Его соратники, как могут, «смывают» эти ярлыки. Известный российский макроэкономист [Владимир Сальников говорит в интервью](#):

«Такие понятия, как «дирижизм» и «госкапитализм», применительно к Белоусову точно не годятся. Равно как и другие термины из учебников, некогда возникшие постфактум, после того как в экономической политике различных стран были предприняты определенные действия и для них потребовалось придумать названия. Случай России (как, впрочем, и многих других стран) уникален с точки зрения сложности тех задач, которые стоят перед нами, поэтому и решения должны быть уникальными — нельзя взять учебники и сделать все так, как там написано. В этом смысле, если Белоусову удастся решить задачи экономического развития, которые стоят перед страной, то эти решения не будут укладываться в рамки, описываемые терминами типа «дирижизм», потому что подходы нам действительно нужны очень нестандартные».

Указание на нестандартные подходы всё же выдает Андрея Рэмовича с головой. Похоже, от него, занявшего недавно позицию Первого заместителя Председателя Правительства Российской Федерации, можно ожидать нетривиальных ходов, выходящих за пределы канона «Экономикс». То, что Андрей Белоусов способен

находить и проводить в жизнь нестандартные решения, мы знаем по факту появления и продолжающейся реализации Национальной технологической инициативы, одним из «отцов-основателей» которой он является.

Чтобы предугадать, в чем будет состоять эта нетривиальность, следует покопаться в прошлом. В 1994 году для проекта [«Иное. Хрестоматия нового российского самосознания»](#) Андрей Белоусов написал статью [«Структурный кризис советской индустриальной системы»](#). Какие откровения мы находим в тексте, в то время, молодого экономиста?

Бросается в глаза его оппонирование рыночной мифологеме о том, что «правила игры», по которым взаимодействуют субъекты в обществе, автономны по отношению к материально-вещественным условиям функционирования социальных структур. Он сомневается в том, что «рыночная экономика» (под которой понимаются, прежде всего, соответствующая организация экономики и правила функционирования хозяйствующих субъектов) может быть интегрирована практически в любую ресурсно-технологическую производственную систему:

«...опыт трех лет реформ показывает, что ресурсно-технологические условия воспроизводства определяют экономическую конъюнктуру в не меньшей степени, чем текущая экономическая политика. Скрытые глубинные процессы постоянно прорываются на поверхность, определяя как текущие параметры воспроизводства, так и реакцию хозяйства на рыночные правила их функционирования».

Белоусов, обсуждая в этой статье создание новой модели индустриального развития, указывает на тяжелое наследство — «генетический код» прежней разбалансированной индустриальной системы (утяжеленная структура, избыточные затраты и потери ресурсов, несопряженность технологических укладов, деградирующий производственный аппарат), который неизменно воспроизводится и в новых рыночных условиях, — в результате имеющиеся качественные ресурсы бездарно теряются, а пространство альтернатив развития экономики сужается до единственного сценария деиндустриализации страны.

В тексте той статьи чувствуется неудовлетворенность возможностями развития средствами экономического либерализма. Выходит, что нас все же ждёт дирижизм, плановая регулятивность? Я, стараясь уйти от эмоциональных коннотаций, подход Белоусова назвал бы «мобилизацией развития» и к простому дирижизму его не сводил.

Экономика, согласно этому подходу, похожа на биологический организм, экосистему. И способы лечения ее болезней, как и в медицине, могут сильно различаться. Некоторые врачи борются с симптомами, другие пытаются вылечить те органы, на которые жалуется больной, и только немногие врачи системным образом подходят к решению

проблем организма как целого, мобилизуют его «жизненную силу» и добиваются более значимых результатов.

Кстати, мобилизационный рецепт российской экономике от Белоусова уже выписан, и на днях был [озвучен на совещании Президента РФ с членами Правительства](#).



Заседание Рабочей группы по развитию водородной энергетики в РФ при Минэнерго России

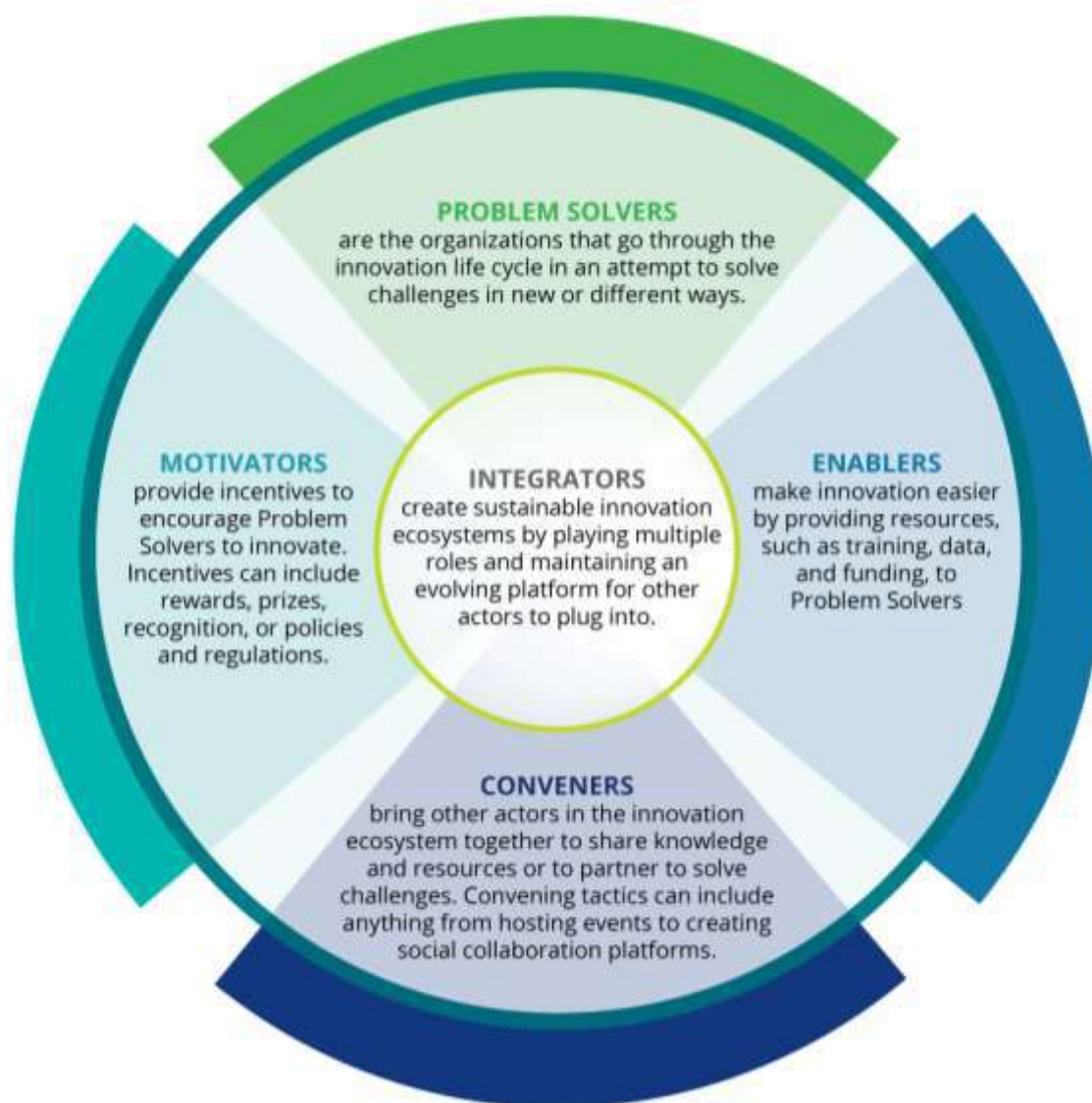
Как, к примеру, мобилизовать экономику страны на формирование нового сегмента — водородной энергетики? Прошедшее 31 января в Минэнерго России заседание рабочей группы по водородной энергетике показало, что водородная тема под влиянием каких-то внешних факторов, о которых мы можем только догадываться, еще больше «раскалилась». Это дал понять председатель рабочей группы Павел Сорокин, это демонстрировали в своих высказываниях и некоторые представители госкомпаний, это видно было и по тому, что формируемая национальная программа начинает интенсивно бюрократизироваться. Последнее, наверное, даже хорошо, потому что предлагаемый группой инициаторов план начинает упаковываться в работающие госуправленческие механизмы. Но одновременно эта бюрократизация плоха, потому что рациональные зерна исходных интенций могут быть потеряны, и мобилизационный импульс экономической системе будет придан фиктивный.

Для нас важно, чтобы программа определяла и удерживала амбициозное целеполагание и четкие рыночные приоритеты, чтобы были зафиксированы по всем приоритетным направлениям пилотные проекты, которые смогут стартовать в ближайшие два года, и чтобы была честно определена технологическая ставка — предмет приложения технологических усилий для обретения рыночного лидерства. Именно эта ставка может стать основным содержанием метапроекта НТИ.

Мобилизационные усилия потребуются здесь немалые. Мы сильно отстали от передовых стран мира в водородных технологиях и еще больше — в практике их

применения. У нас разобщенное, с внутренней непродуктивной конкуренцией академическое сообщество. У нас разнонаправленные интересы и цели участников. Например, на заседании группы атеисты «климатической религии» время от времени пытались осадить пыл других участников и пугали образом Греты Тунберг.

Павлу Сорокину будет тяжело лавировать между этими острыми проблемными позициями и находить компромисс. Мобилизационный конструктив на данном этапе состоит в организации процесса развития водородного сектора экономики вокруг экспортно-ориентированной производственно-технологической повестки.



Пять ролей в секторе публичных инноваций. Источник: Deloitte

Недавно я нашел уже порядком забытую [информацию](#) об innovation enablers (мобилизаторах инноваций). Мобилизаторы — это специализированные субъекты, которые развивают творческую энергию предпринимателей и помогают преобразовать ее в проекты, значительно изменяющие все вокруг. Ключевая роль сегодня [отводится мобилизаторам](#) в цифровой трансформации компаний и отраслей,

они создают пространства для прототипирования продуктов и моделирования новых бизнес-процессов и практик.

В теории управления организационными изменениями мобилизатор определяется как «стратегическая мышца» компании, его деятельность акцентирована на взаимодействии и интеграции, он прилагает усилия для того, чтобы разработанную стратегию привести в действие.

По мере появления в сообществе EnergyNet архитектурного подхода Интернета энергии IDEA, на базе которого могут формироваться комплексные решения из компонент различных участников, в повестке дня возникает вопрос об инфраструктуре и практике мобилизации технологического развития и инноваций. Переход от создания новых технологических решений и бизнес-практик к их распространению потребует появления innovation enablers — тех, кто облегчает прототипирование комплексных решений, предоставляет критические отраслевые знания, обеспечивает доступ к испытательной инфраструктуре и цифровым данным, формирует условия для выхода на первые пилотные и коммерческие проекты. Создать мобилизатор развития EnergyNet — хорошая задача на 2020 год.

Можно ли считать «мобилизатор развития» смысловым переводом «enabler»? На сей счет есть хороший анекдот.

В институте иностранных языков идет экзамен по литературному переводу. Преподаватель дает студенту фразу для перевода на английский язык. Фраза следующая:

*«Эх, лапти мои, четыре оборки,
Хочу дома заночую, хочу у Егорки».*

Студент, как может, переводит ее на английский язык. Преподаватель читает и дает её уже следующему студенту для перевода этой, теперь английской фразы, на русский язык. Студент переводит ее следующим образом:

*«Блистают туфли нестерпимо лаком.
Мне некуда бежать. Все решено.
Мне нынче дома мирный сон уже не лаком,
Мне нынче ночевать у Джорджа суждено!»*

Источники:

1. <https://www.vedomosti.ru/newspaper/articles/2020/02/02/822046-konflikt-ruki?fbclid=IwAR3LhyOn-UI-jESNWQ548HHfHxqNmCNHA8dc0k1LwGzuZ6Teefh7Z6VJWky>
2. <https://eadaaily.com/ru/news/2020/01/30/ekspert-interesy-strany-na-pervomeste-glavnyy-princip-andreya-belousova>

3. <http://old.russ.ru/antolog/inoe/belous.htm>
4. <http://kremlin.ru/events/president/news/62734>
5. <https://habr.com/ru/post/406899/>

Невозможное возможно

Дата: 21 февраля

Автор: Дмитрий Холкин

Меня никак не отпускает мобилизационный посыл Андрея Белоусова, о котором я [писал в прошлый раз](#): «Задачи по запуску инвестиционного цикла достаточно сложные, но выполнимые». Продолжу в том же духе.

На встрече с лидерами рынков НТИ Дмитрий Песков подтвердил актуальность мобилизаторской повестки. Основные приоритеты деятельности НТИ на 2020 год будут связаны с созданием экспортных консорциумов, обеспечением сквозного управления технологическим развитием, продвижением цифровых платформ, масштабированием и развитием лучших практик.

Для нас эти приоритеты выражаются в идее мета-проектов, собирающих на базе платформ комплексные решения для России и экспортных рынков. Их, как вы помните, у нас пока намечено два: «Платформа гибкости» и «Что-то про водородную энергетику». Если с платформой гибкости мы [как-то разобрались](#) и пытаемся с заинтересованными корпорациями сложить бизнес-историю, то по водороду у нас пока что НТИ-сообразных мета-проектных идей нет. Help!



Brett Ryder

Ростки госкапитализма и дирижизма, в опоре на которые уличают Белоусова, пробиваются и в Америке. Генеральный прокурор США Уильям Барр считает, что главная проблема страны — доминирование китайских беспроводных технологий 5G от Huawei, возникшее в результате тоталитарного централизованного планирования в Китае: «Как диктатура Китай может мобилизовать всю нацию — правительство, компании, научные круги могут действовать вместе как одно целое.» Америка срочно изучает практики государственного капитализма и накачивает мощью национальных

чемпионов. Впрочем, возможности китайского централизованного планирования и управления прямо сейчас проходят мобилизационную проверку на прочность вспышкой Covid-19, и еще не факт, что пройдут ее достойно.

Политиков волнует не только то, что Huawei контролирует около 30% рынка и может через свою инфраструктуру вести наблюдения, их беспокоит китайский искусственный интеллект, который будет питаться данными от американского промышленного интернета. На чаше весов, по мнению The Economist, либо поражение на полях сражений холодной технологической войны, либо необходимость пожертвовать самой большой промышленной силой Америки — ее свободным духом.

Берегитесь, товарищи капиталисты, ведь, по словам классика, «социализм есть не что иное, как государственно-капиталистическая монополия, обращенная на пользу всего народа и постольку переставшая быть капиталистической монополией».



Подписался на твиттер Шерил Ингстад, ветерана армии США, бывшего сотрудника Разведывательного управления Министерства обороны (DIA), а с недавних пор — директора вновь образованного Департамента искусственного интеллекта и технологий в Министерстве энергетике США (DoE). Миссия нового департамента сформулирована так: «Преобразовать DoE в ведущее в мире предприятие в сфере AI путем ускорения научных исследований, разработок, распространения и адаптации AI». Это прекрасный пример мобилизации в сфере новых технологий, о котором стоит задуматься и нам, если ставится задача сквозного управления технологическим развитием.

Меня всегда восхищало это министерство как государственный агент технологического развития. Я с интересом слежу за активностями подведомственного DoE Агентства передовых исследований в энергетике (ARPA-E, аналога более известного DARPA), а сейчас еще и буду проглядывать новостные ленты нового департамента. Были времена, когда еще Игорь Иванович курировал отрасль, и я писал в какие-то доклады

для него предложения о создании российского ARPA-E... Мы пошли другим путем. Но я и сейчас считаю, что это было и остается правильным предложением.



Кстати, чиновники Великобритании тоже считают, что это хорошее предложение, и всерьез озаботилась трансфером модели деятельности американских агентств передовых исследований (DARPA и ARPA-E) к себе на остров. Это не просто. Основная фишка этой модели работы с инновациями состоит в том, что в ней решаются проблемы национальной безопасности способами, «не обремененными бюрократическим надзором и не сдерживаемыми ограничениями научного видения». Однако миссия, которую декларирует Доминик Каммингс, главный советник премьер-министра Великобритании и подвижник создания британского аналога ARPA, звучит так: «Сделать Великобританию лучшим местом в мире для тех, кто может изобрести будущее». Ради этого стоит и попробовать. В рамках этой цели правительство пообещало удвоить финансирование исследований до £18 млрд в ближайшие пять лет. Пока еще не определенная часть этой суммы пойдет новому агентству, которое потратит деньги на рискованные, высокооплачиваемые исследования, которых избегает частный сектор. Если [неудачи](#) господина Каммингса в подборе кадров в окружение Бориса Джонсона не будут стоит ему самому и всему кабинету консерваторов политической карьеры, то у него вслед за успехом Brexit может получиться и британская ARPA.

Любопытно, что, по словам экспертов, та модель деятельности, которая должна быть реализована в новом агентстве, должна быть сопоставима с более ранними культурными формам патронажа науки, как это делали Медичи, а не формализованными практиками современной Академии. Этот подход не всем нравится. Британское казначейство оказало сопротивление предыдущим попыткам ослабить контроль за финансированием научных исследований, и в настоящее время

его служащие пытаются решить вопрос о том, как следить за деятельностью британского ARPA.

Внутренняя сложность организации такого агентства состоит в том, что нужно найти правильных людей для управления им, эти люди должны обладать сочетанием воображения, энергии и опыта. Весь фокус в том, чтобы найти и поддержать исследование, которое было бы абсурдно амбициозным, но, на самом деле, не было бы абсурдным по своей сути. Справиться с этим может не каждый.

[The Economist считает](#), что попытка трансфера модели американских агентств вряд ли является гарантированным путем к успеху, но это не означает, что не стоит пытаться. Как показывает опыт ARPA, маловероятные ставки иногда сбываются.



Интересно, когда технологической мобилизацией занимается частный бизнес. Удивительно подобные практики обнаруживать в России.

Знаете, где найти частный НИИЧАВО? Выходите в городе Воронеж из самолета, садитесь в машину и через 2,5 часа поездки на юг в белгородской степи рядом с красивым храмом Преподобного Сергия Радонежского вы увидите инновационный центр «Бирюч». Центр принадлежит агрохолдингу ЭФКО, выручка которого в 2018 году составила 114 млрд руб., а чистая прибыль 2 млрд руб. Здесь закономерно занимаются биотехнологиями и другими разработками, связанными с корневым бизнесом компании. Но удивительно, что здесь занимаются и летательными аппаратами (например, летающим такси), и новыми материалами, и искусственным интеллектом, и топливными элементами. Последнее направление разработок стало причиной того, что меня и других экспертов пригласили в «Бирюч» для обсуждения с главой агрохолдинга Валерием Кустовым и его коллегами перспектив развития водородной

энергетики. А после семинара нас провели [по лабораториям](#), в которых занимаются твердооксидными топливными элементами.

На первый взгляд все выглядит очень основательно и привлекательно: амбициозные бизнес-цели, поддержка губернатора, хорошее лабораторное оборудование, практика обратного инжиниринга, опытный «профессор» и, самое главное, — большое количество молодежи. Это хороший микс для того, чтобы здесь проросли высокотехнологичные продукты в области водородной энергетики. Коллеги только в начале пути, но движутся быстро.

Мы поспорили между собой, на что инновационный центр больше похож — на европейский R&D-центр или на «шарашку»? Нерасторопная охрана на входе, забор, множество калиток и дверей, открываемых электронным ключом, запрет на фотографирование. С другой стороны, приятная даже зимой территория, необычная архитектура, умные и благожелательно настроенные люди, демократичный «хозяин» — Валерий Кустов. Кстати, это последнее — наличие хозяина — сильно отличает «Бирюч» от ничьих «Сколково» и «Иннополиса». У него — инженера-электрика по базовому образованию и, кроме того, кандидата психологических наук — есть миссия, большой бизнес-опыт и неудовлетворенное техническое любопытство. Это все мобилизует его на нетривиальные для бизнеса активности, а он мобилизует окружающий мир. Я склонен относить этот центр к современным частным НИИЧАВО, где, как и в советской утопии, находятся «люди, которым интереснее доводить до конца или начинать сызнова какое-нибудь полезное дело, чем глушить себя водкой, бессмысленно дрыгать ногами, играть в фанты и заниматься флиртом разных степеней легкости». Когда-нибудь я построю свой «Бирюч».



Есть правда в том, что для технологического прорыва нужны условия, в которых люди не будут скованы бюрократическим контролем и доминирующим научно-технологическим видением. В рассказе Раймонда Джоунса «Уровень шума» (есть хорошая советская экранизация этого рассказа в рамках цикла «Этот фантастический мир») молодому перспективному учёному предоставляют великолепно оборудованную лабораторию, большую библиотеку и демонстрируют кадры, на которых показано, как некто изобрёл антигравитационную машину, но разбился сам вместе с машиной при её испытаниях. Учёному предлагают проделать работу по восстановлению машины, и ему со временем удастся это сделать, хотя разработанное им устройство получается очень громоздким и неэффективным, но оно, наперекор современным научным взглядам, работает. Выясняется, что это был психологический эксперимент, ведь никакого разбившегося изобретателя и никакой антигравитационной машины, показанной на видео, на самом деле не было...

Техническая реализация Интернета энергии в виде демонстрационного комплекса была подобным экспериментом. У нас были теоретические концепции (архитектурный подход IDEA), заделы по отдельным компонентам, информация об аналогичных проектах в мире, но уверенности, что концепт во всей полноте реализуем, не было. Сейчас демокомплекс выполняет на реальных физических устройствах, объединенных в четыре ячейки-просьюмера, энергетические транзакции в той логике, как описано в архитектурном фреймворке IDEA. Четыре просьюмера, связанные внутренней сетью, а также присоединенные к внешней сети, участвуют каждые 10 минут в торгах, обеспечивающих наиболее дешевые варианты поставки энергии, на основе заключенных смарт-контрактов с учетом топологических возможностей и ресурсных ограничений осуществляют энергообмен, по зарегистрированным результатам поставки осуществляют финансовые расчеты в криптовалюте. На демокомплексе можно убедиться, что данный подход обеспечивает экономическую самооптимизацию энергообеспечения потребителей, отсутствие проблем при отключении от внешней сети и энергоснабжение на доступных внутренних ресурсах, plug&play подключение новых просьюмеров к системе энергообмена.

Наш эксперимент тоже не совершенен. Есть куда развивать решение, и мы это намерены делать в рамках следующих проектов. В частности, планируем с определенными доработками перенести результаты работы в сингапурский проект REIDS.

Мобилизация — не средство от всех болезней. Мобилизация нужна для сверхусилия, прорывного действия. Чаще потребность в мобилизации осознается тогда, когда приходит беда, очень редко — как реакция на предполагаемые вызовы. Но всегда это личный выбор человека, волевой порыв. И тогда невозможное становится возможным.

Цифровизация энергетики: перспективы проекта «Интернет энергии»

Дата: 26 февраля

Автор: Александр Волошин

Сегодня энергетика является одной из самых капиталоемких отраслей, наибольшие расходы в которой связаны с поддержанием технического состояния оборудования и обеспечением надежного электроснабжения потребителей. Однако сейчас происходят серьезные изменения, которые уже через 10–15 лет кардинально изменят и отрасль, и нашу жизнь. Принципиально новой парадигмой генерации, передачи и распределения электроэнергии становится концепция «Интернета энергии».

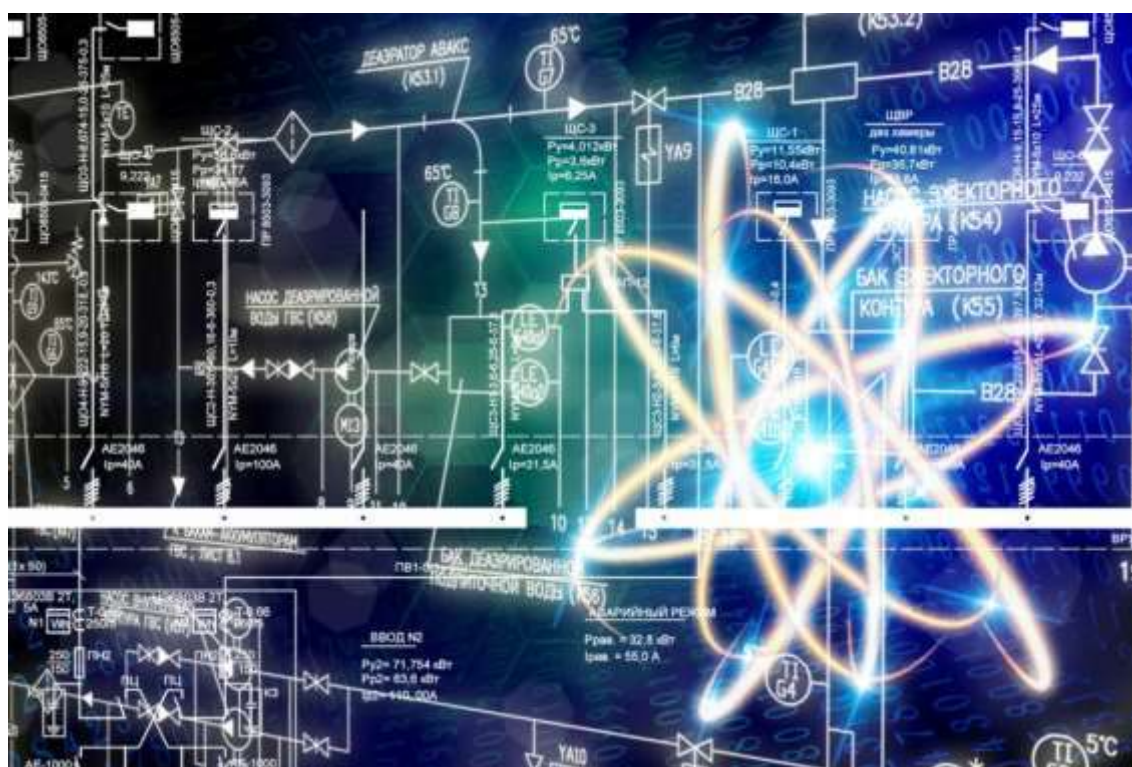


Фото: depositphotos.com

В обозримом будущем концепция «Интернета энергии» сформирует рынок таким образом, что электроэнергетическая инфраструктура станет более распределенной и доступной, как сотовая связь и интернет. По данным отчета Redenex «Макро возможности микрогенерации», распределенная генерация, в том числе на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в ближайшее время станет доминирующим направлением в мировых инвестициях в энергетическом комплексе.

Как это будет работать?

«Интернет энергии» — это концепция, которая предполагает создание локальной энергетической инфраструктуры (микроэнергосистема или микрогрид), в которую интегрируются производители и потребители энергии и в рамках которой они могут

свободно обмениваться энергией. Концепция построена на абсолютно иной архитектуре, которая, в отличие от традиционной, представляет собой децентрализованную электроэнергетическую систему. Здесь реализовано интеллектуальное управление потоками электроэнергии, осуществляемое за счет одноранговых энергетических транзакций между ее пользователями. [Энергетическая транзакция](#) — акт взаимодействия двух и более субъектов микроэнергосистемы, который [состоит](#) из трех слоев энергоинформационного обмена: финансово-договорного, информационно-управляющего и физического (электрического).

Для функционирования такой микроэнергосистемы необходимы программно-аппаратные комплексы с распределенной архитектурой и системами управления, построенные с применением различных методов искусственного интеллекта, которые обеспечат:

- синтез договорных условий (смарт-контракты);
- выдачу управляющих воздействий на силовое оборудование, соответствующих договорным условиям и обеспечивающих выполнение технологических ограничений;
- реализацию энергообмена на физическом уровне.

В конечном итоге реализация концепции приведет к тому, что энергия станет дешевле, к участникам рынка присоединятся «умные вещи», будет создана сеть мелких генераторов, появятся более эффективные системы накопления энергии и будет создана инфраструктура распределительных сетей 110 кВ и ниже. Добиться этого крайне важно, поскольку одним из трендов развития глобального рынка является рост спроса на энергию, особенно в развивающихся странах. К 2035 году миру понадобится электричества [на 60% больше](#), чем сегодня.

Кроме технологической части построения архитектуры «Интернета энергии», необходимо отрегулировать экономические и правовые взаимодействия субъектов отрасли, в том числе общие требования для пользователей инфраструктуры. Наиболее активно к этому [идут](#) Европейский союз, Великобритания, США, Канада, Япония, Австралия и Россия.

Технологии для малой распределенной энергетики

Технологии «Интернета энергии» хорошо подходят для малой распределенной энергетики или микрогрид (англ. MicroGrid). Такие микроэнергосистемы создаются для электроснабжения локальной группы потребителей электроэнергии, которые испытывают трудности с обеспечением надежного и качественного электроснабжения. Как правило, к таким группам относятся потребители в изолированных поселках, не имеющих связей с большой энергосистемой, либо имеющих слабые связи.

Создание микроэнергосистемы предполагает установку распределенных по электрической сети источников энергии как традиционных, так и на основе ВИЭ, а также установку накопителей электроэнергии. Такая локальная энергосистема, включающая разные типы производителей и потребителей электроэнергии, требует применения нового типа систем управления и защиты, которые должны обеспечить их гибкую интеграцию в общую инфраструктуру «Интернета энергии».

Для создания устройств, поддерживающих технологии «Интернета энергии», необходимо проводить специальные испытания на совместимость как на физическом уровне передачи электроэнергии, так и на уровне цифровых систем управления и защиты. Прототипы устройств для реализации этой технологии должны проходить испытания в комплексе с реальными силовыми устройствами, включенными в контур цифрового моделирования. Для проведения таких испытаний необходим комплекс, представляющий собой особую киберфизическую модель микроэнергосистемы, одна часть которой моделируется в цифровом симуляторе реального времени (например, таком как RTDS), а другая часть является реальной электрической сетью с реальными физическими устройствами (генераторами, инверторами, накопителями и др.).

Создание таких киберфизических моделей для малых распределительных сетей для отработки технологии «Интернета энергии» является очень важной задачей на пути к реализации концепции «Интернета энергии», так как позволяет отладить все три слоя энергоинформационного обмена и реализовать на практике механизм энергетических транзакций на этапе разработки продуктов и комплексных решений.

Однако для проведения таких испытаний необходимо симулировать полноценный обмен энергией между цифровой частью модели и ее реальной физической частью. Это позволяет сделать специальное устройство, которое носит название «четырёхквadrантный усилитель мощности». Характерной чертой четырёхквadrантных усилителей мощности, в отличие от обычных, является их способность не только выдавать мощность, но и потреблять ее. При этом токи и напряжения, рассчитанные в виртуальной модели, инжектируются в реальную электрическую сеть при помощи четырёхквadrантных усилителей.

Затем реакция реальной физической части модели оцифровывается и вводится в цифровой симулятор уже на следующем шаге расчета (через 50 мкс). Такие киберфизические модели позволяют, с одной стороны, создавать модели микрогрид большой размерности, включающие накопители ЭЭ, ВИЭ и другое перспективное оборудование в рамках цифрового моделирования, а с другой стороны — в физической части подключать для проведения исследований и испытаний реальное оборудование: энергорутеры, накопители электроэнергии, управляемые интеллектуальные присоединения и др.

«Интернет энергии» в России

[По прогнозам](#) Центра стратегических разработок (ЦСР), «цифровой переход» и развитие розничного сегмента электроэнергетики позволят сдерживать рост цен на электроэнергию (на 30–40% к 2035 году по сравнению с инерционным сценарием) и [обеспечат](#) российским компаниям потенциальный рынок сбыта размером \$40 млрд к тому же году.

Именно на такой путь развития делает ставку Направление «Энерджинет» Национальной технологической инициативы (НТИ). Первым проектом в России, осуществляющим разработку и реализацию полноценной киберфизической модели для испытаний технологий «Интернета энергии», является полигон «Testbed «Энерджинет»», созданный Центром компетенций НТИ МЭИ «Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем» в целях реализации плана мероприятий «Энерджинет» Национальной технологической инициативы. Физическая часть полигона «Testbed «Энерджинет»» представлена электродинамической моделью ЭЭС, а также реальными установками ВИЭ, кроме того, используются реальные цифровые системы защиты и автоматического управления.

В декабре 2019 года в Центре компетенций НТИ МЭИ «Технологии транспортировки электроэнергии и распределенных интеллектуальных энергосистем» состоялся ввод в эксплуатацию испытательного полигона «Testbed «Энерджинет»», построенного с использованием моделирующего комплекса RTDS, четырехквadrантных усилителей фирмы PONOVO POWER Co, присоединённых к электродинамической модели ЭЭС.

Создание полигона «Testbed «Энерджинет»», работающего по технологии Power Hardware in Loop (PHIL), является первым таким проектом в России и одним из немногих в мире. Ввод в эксплуатацию полигона «Testbed «Энерджинет»» станет важной вехой в реализации плана мероприятий «Энерджинет», так как позволит вывести разработки устройств и систем на качественно новый уровень.



Труд и капитал энергетического перехода

Энергетический переход создает миллионы новых рабочих мест, но требует адекватных финансовых инструментов и оригинальных регуляторных решений

Дата: 10 марта

Автор: Игорь Чаусов

Пока аналитические агентства пытаются спрогнозировать, насколько сильным для мировой экономики будет эффект от распространения коронавируса (спойлер — годовые потери могут составить \$2,7 трлн [\[1\]](#)), а биржи панически реагируют на стремительное падение цен на нефть не менее стремительным падением индексов [\[2\]](#), международные организации, активно поддерживающие энергетический переход, стараются смотреть на долгую перспективу и оценивать потенциал новой энергетики для формирования всеобщего блага.

Труд: рабочие места энергетического перехода

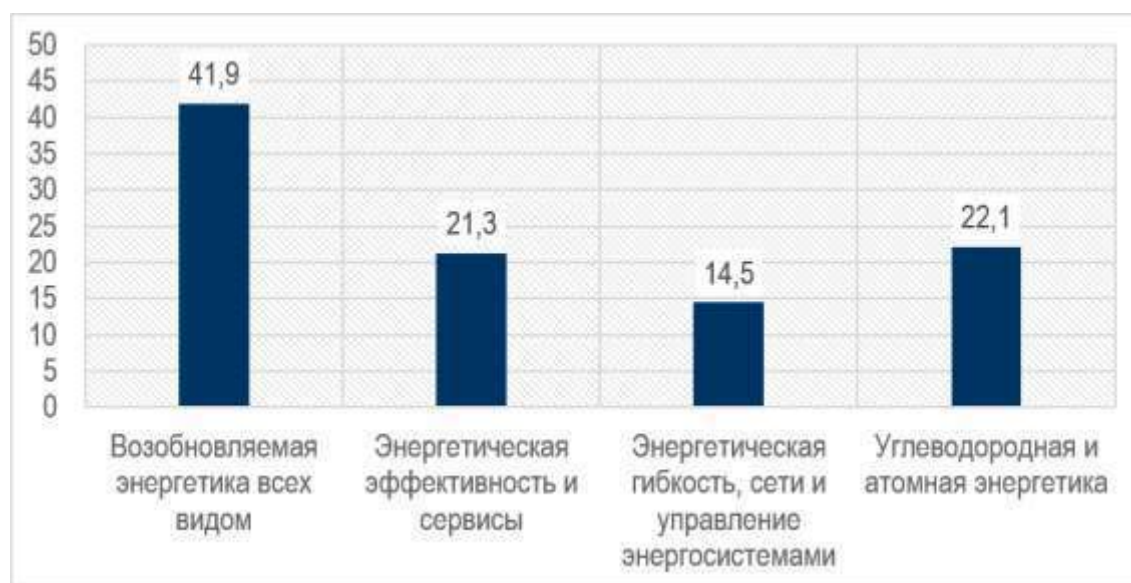
Одним из самых очевидных общественных благ, формируемых в экономике, являются новые рабочие места, которые через механизм заработной платы обеспечивают массовое распределение добавленной стоимости новой энергетики и способствуют снижению имущественного неравенства. Именно этот показатель для оценки социального-экономического вклада энергетического перехода использует Международное агентство по возобновляемой энергии (IRENA) в своем новом докладе [\[3\]](#).



Согласно анализу IRENA, число рабочих мест, создаваемых одной только возобновляемой энергетикой, выросло с 7,3 млн в 2012 году до 11 млн в 2018 году [\[4\]](#), и этот вклад энергетики в мировую экономику будет нарастать. В докладе рассмотрены два сценария: реализация текущих планов, в котором доля ВИЭ в мировом

энергобалансе к 2050 году составит 55%, и ускорение энергетического перехода, при котором эта доля достигнет 86%.

Во втором сценарии обнаруживается существенный потенциал роста числа рабочих мест, связанных с энергетическим переходом: в энергетике к 2050 году появятся 36 млн новых рабочих мест, из которых 16 млн будут напрямую связаны с ВИЭ. При этом общее количество работников, задействованных в энергетике, составит почти 100 млн человек (1,3% населения) даже с учетом того, что в крупных традиционных секторах — углеводородной и атомной энергетике — падение числа рабочих мест составит 27% и 42% соответственно.



Число рабочих мест в различных секторах энергетики в 2050 году, млн. Источник: IRENA

Вклад секторов, не связанных с ВИЭ, но необходимых для энергетического перехода, оказывается также весьма существенным: в сфере энергетической эффективности и сервисов будут работать 21,3 млн человек (прирост на 21%), в обеспечении энергетической гибкости, сетях и управлении энергосистемами — 14,5 млн (прирост на 8%). В региональном разрезе особенно сильно прирост рабочих мест почувствуют Восточная Азия (на 36%) и Юго-Восточная Азия (16%). Для Европы и Америки этот эффект будет менее значительным — от 6% до 8%.

Впрочем, описанное будущее не наступит само по себе, и самый важный фактор раскрытия указанного потенциала, по мнению IRENA, — устойчивые и уверенные инвестиции в новую энергетику.

Капитал: финансы энергетического перехода

Общий объем финансовых ресурсов и капитала, который необходим для осуществления энергетического перехода и достижения углеродной нейтральности к 2050 году, IRENA оценивает в рекордные \$110 трлн. При этом инвестиции в новые технологии в энергетике, например, в 2018 году составили всего \$288 млрд.

С начала года IRENA опубликовала три доклада с рекомендациями по финансовым инструментам, которые должны помочь в привлечении необходимых инвестиций.



Цель суверенных (государственных) гарантий [\[5\]](#) — привлечение частных инвестиций за счет снижения рисков инвесторов. В числе механизмов, обеспечивающих государственные гарантии, доклад называет следующие меры:

- письма поддержки и гарантийные письма;
- опционы с правом покупки и правом продажи, в рамках которых при изменении инвестиционных условий инвесторы получают возможность выхода из проекта с компенсациями;
- особый кредитный статус и кредитные преференции, в том числе предоставляемые с задействованием банков развития;
- двусторонние договоры, формирующие частно-государственные партнерства, в частности, по механизму концессий.

В настоящее время в мире накоплен огромный институциональный капитал: \$2 трлн в фондах и эндаументах, \$8 трлн — в фондах национального благосостояния, \$33 трлн — в страховых фондах и компаниях и \$44 трлн — в пенсионных фондах, но всего 2% проектов в сфере новой энергетики с 2008 по 2019 годы привлекли инвестиции из этих фондов [\[6\]](#).

Чтобы изменить эту ситуацию, IRENA дает следующие рекомендации:

- формировать государственную политику и регулирование, стимулирующие институциональных инвесторов к вложениям в новую энергетику;
- вводить механизмы проектных облигаций и проектных фондов на рынке капитала;
- снижать регуляторные барьеры для самих проектов в сфере новой энергетики;
- создавать частно-государственные инвестиционные структуры типа банков развития.

Особую роль в инвестициях в энергетический переход играет механизм «зеленых» облигаций, размер рынка которых в 2018 году составлял \$167 млрд [7]. Этот финансовый инструмент — пока что единственный на глобальном рынке капитала, обеспечивающий инвестиции, направляющие деньги массовых инвесторов напрямую в проекты, связанные с энергетическим переходом. При этом, если 10 лет назад «зеленые» облигации покупали только международные структуры типа банков развития, то в 2019 году среди их покупателей были уже и суверенные и муниципальные фонды, и финансовые институты, управляющие активами, и корпорации. Это доказывает эффективность инструмента для привлечения инвестиций.

В 2010–2019 годах в проекты, связанные с ВИЭ, были привлечены 23% от всех инвестиций, идущих по механизму «зеленых» облигаций, еще 19% — в проекты по энергетической эффективности, и 14% — в проекты, связанные с экологически чистым транспортом.

Обращает на себя внимание то, что среди мер финансовой поддержки энергетического перехода, описанных в докладе IRENA, не фигурирует широко используемое, например, в Европе прямое государственное субсидирование энергетических проектов. Это соответствует позиции самих игроков рынка новых энергетических технологий, в частности, европейских операторов виртуальных электростанций, которые говорят о том, что субсидирование в настоящее время скорее вредит отрасли, поскольку снижает доверие инвесторов к конкурентоспособности технологий, и потому становится токсичным фактором [8].

Тарифное регулирование: меню мер законодательного стимулирования инноваций

Как видно, именно грамотное законодательное регулирование во многом видится залогом успеха привлечения инвестиций и развития новой энергетики.

Обзор зарекомендовавших себя оригинальных подходов, называемых «альтернативным регулированием», в такой интересной области, как стимулирование естественных монополий — энергоснабжающих и сетевых компаний — к инновациям, в

рамках большого проекта Renovate Initiative опубликовали аналитики SEPA [\[9\]](#). Это оригинальное регулирование нацелено на решение трех основных проблем: психологической и кадровой неготовности к новым технологическим проектам в энергетической отрасли, высоких управленческих рисков и неопределенностей и необходимости управлять большим числом изменений в ходе проектов.



На основе анализа опыта различных регуляторных инициатив в США, Великобритании и Австралии SEPA выделяет следующие «альтернативные регуляторные фреймворки», продемонстрировавшие свою эффективность в отношении государственного регулирования деятельности энергоснабжающих и сетевых компаний:

1. Регулирование, основанное на целевых показателях (PBR), при котором тарифная составляющая дохода компаний на регулируемых рынках ставится в зависимость от достижения ими индикативных показателей эффективности. Такой подход применяется в Великобритании (механизм RIIO), а также в штатах Миннесота, Нью-Йорк, Гавайи, Массачусетс и Иллинойс.
2. Многолетнее индикативное планирование (MRP), формирующее долгосрочный план по регулируемому доходу от тарифной деятельности, необходимому для возврата инвестиций, и близкий к механизму долгосрочных гарантий для концессионеров, который должен быть введен в России. Такой подход применяется в Миннесоте, Нью-Йорке, Калифорнии, Массачусетсе и Флориде.
3. Поощрительное вознаграждение (PIM) — разновидность PBR, которая ставит размер регулируемого дохода компаний в зависимость от коммерческих показателей их деятельности, в основном прибыли или рентабельности, в предыдущие периоды. Применяется в штатах Миннесота, Нью-Йорк, Гавайи, Род Айленд.
4. Поточковый подход оценки результатов пилотных проектов — оригинальный метод регулирования, который ставит регулируемые доходы компаний в зависимость от

достижения целей пилотных проектов, заявляемых компаниями, причем для каждой компании формируется цепочка пилотных проектов, как правило, с возрастающими требованиями по эффективности их реализации. Этот подход используют Австралия, а также штаты Нью-Йорк и Иллинойс.

Представленные четыре инструмента регуляторного стимулирования инноваций могут быть интересны в России как средства тарифного регулирования государственных монополий, вносящие модификации в определение тарифов на основе оценки необходимой валовой выручки (НБВ), а также в рамках механизмов утверждения инвестиционных программ.

[1] https://www.bloomberg.com/graphics/2020-coronavirus-pandemic-global-economic-risk/?itm_source=inline

[2] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-08/rout-in-u-s-stock-futures-would-trigger-trading-curbs-at-5?srnd=premium-europe>

[3] <https://www.irena.org/publications/2020/Feb/Measuring-the-socioeconomics-of-transition-Focus-on-jobs>

[4] <https://www.irena.org/publications/2019/Jun/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2019>

[5] <https://www.irena.org/publications/2020/Jan/RE-finance-Sovereign-Guarantees>

[6] <https://www.irena.org/publications/2020/Jan/RE-finance-Institutional-capital>

[7] <https://www.irena.org/publications/2020/Jan/RE-finance-Green-bonds>

[8] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/no-subsidies-please-says-europes-energy-storage-sector>

[9] <https://sepapower.org/resource/renovate-solution-set/>

Декамерон-2020: энергетический переход во времена пандемии

Что ждет цифровую энергетику во время и после пандемии?

Дата: 2 апреля

Автор: Игорь Чаусов

Подобно персонажам Бокаччо, сбежавшим от пандемии чумы, как сейчас модно говорить, в самоизоляции, нам остается наблюдать за происходящим, строить догадки о будущем и рассказывать занимательные истории.



Джон Уильям Уотерхаус «Декамерон», 1916 г.

Оценка долгосрочных последствий происходящих сейчас событий практически невозможна по той простой причине, что ни у властей, принимающих сейчас решения, ни у консультирующего их научного сообщества нет уверенного и однозначного ответа на ключевые вопросы относительно этой пандемии. Сколько она продлится? Надолго ли должны при этом сохраняться сдерживающие меры социального дистанцирования и связанная с этим постановка экономики на паузу? Носит ли заболеваемость коронавирусом сезонный характер? Случится ли вторая волна при снятии или смягчении мер сдерживания? Вырабатывается ли у переболевших долговременный иммунитет? Когда появится доступная для массового применения вакцина и появится ли она вообще?

Удивительно, но до сих пор эпидемиологи и инфекционисты по всему миру с одинаковой уверенностью дают противоположные ответы на эти вопросы.

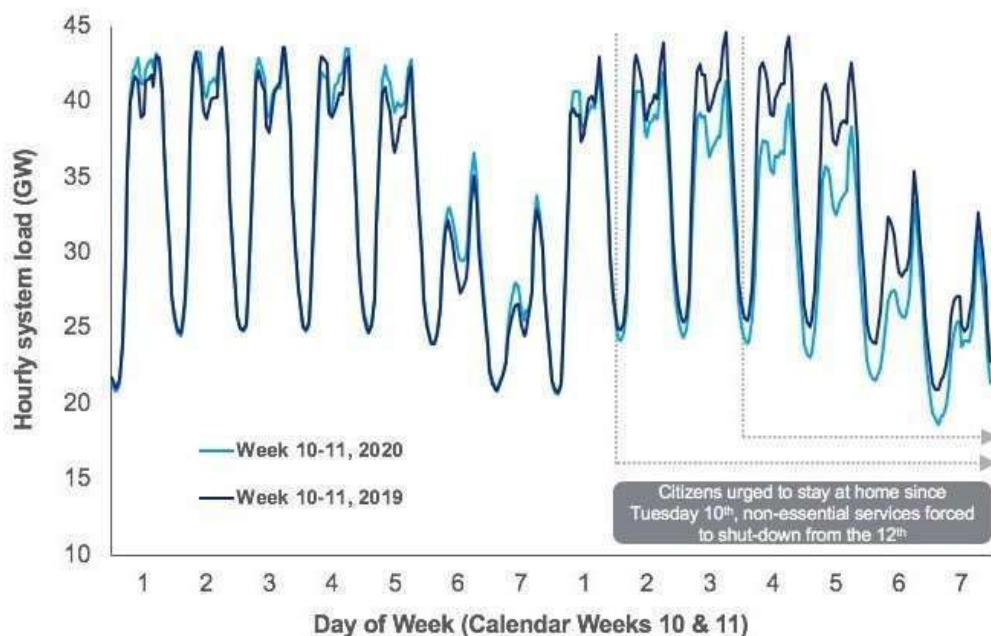
Получившие широкую известность математические модели [1] в своих предсказаниях расходятся с наблюдаемой статистикой эпидемии в Китае. Особенно сильно это касается второй волны распространения болезни, которая должна была, но все никак не начинается в Ухани. Сегодня все страны и экономики мира оказались в беспрецедентной ситуации именно в силу необычайно высокой степени неопределенности будущего.

COVID-19 и меры по борьбе с ним, с одной стороны, приобрели глобальный характер совсем недавно, с другой стороны, уже сказались на современной энергетике. При этом электроэнергетика, в отличие от сильно пострадавшего транспорта, оказалась устойчивой по отношению к «коронавирусным» шокам инфраструктурой. Тем не менее, некоторые интересные выводы о влиянии пандемии на энергетику уже обнаруживаются.

Новелла первая. Потребление и гибкость во время пандемии

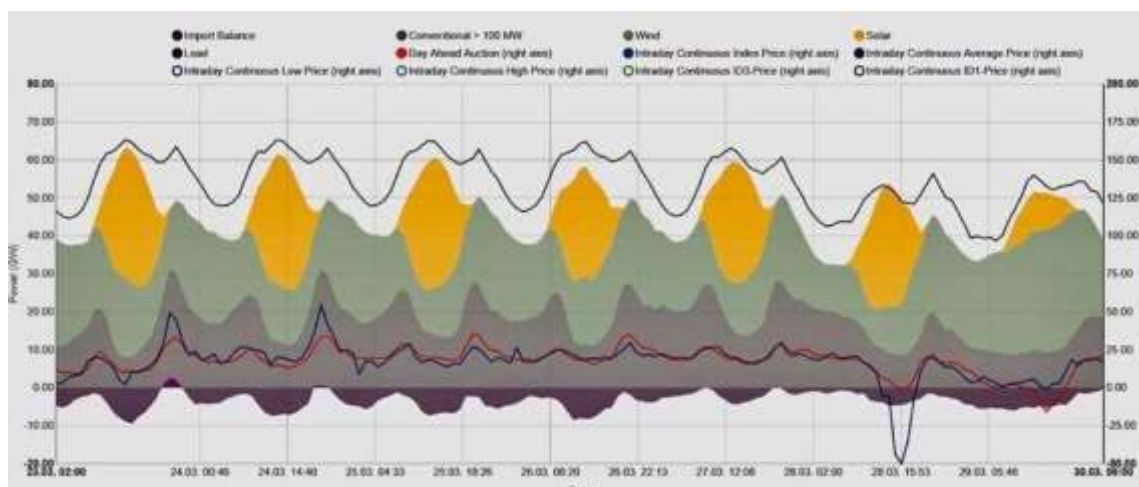
Социальное дистанцирование, самоизоляция, закрытие всех «несущественных» для жизнедеятельности бизнесов и активностей, ограничение работы общественного транспорта не могли не сказаться на потреблении электроэнергии, но как именно? Компенсирует ли рост домашнего электропотребления спад промышленного потребления и потребления офисной и коммерческой недвижимости? Данные из Европы и США показывают, что домохозяйства не в состоянии спасти падающий спрос на электроэнергию.

В Испании потребление электроэнергии за первый квартал упало на 2,7% при сравнении год к году [2], в Италии снижение потребления на первой неделе карантина снизилось в сравнении с предыдущей неделей еще больше — на 8,1% при снижении потребления мощности на 7,3% [3]. В Великобритании, по данным агрегатора Limejump, потребление к 24 марта упало на 20% в сравнении с 3 марта — временем до введения жестких мер реагирования на пандемию [4]. Изменился и профиль потребления: утренний пик существенно сгладился, но в силу солнечной весенней погоды дневное потребление из сети просело еще сильнее, и вечерний пик, наоборот, стал более существенным. Любопытно, что по данным британского сбыта Octopus Energy суточное потребление домохозяйств, сидящих в самоизоляции, выросло всего лишь на 2–4%. По данным, которые приводит сотрудник KPMG Сергей Роженко, потребление мощности в Германии из-за пандемии упало на 6–8%, а цены на электроэнергию — до 40%, причем основной удар пришелся на угольную и газовую генерацию, потерявшую до 15 ГВт загрузки [5].



Потребление мощности в Италии на 10-й и 11-й неделе 2019 и 2020 годов. Источник: Wood Mackenzie

На фоне такого падения потребления, что особенно примечательно, выросла потребность в энергетической гибкости. Британский системный оператор (NG ESO) ближе к лету ожидает провала в потреблении мощности на 20 ГВт. Может сложиться ситуация, когда мощность, подаваемая в систему со стороны ВИЭ и АЭС, будет больше, чем потребляемая мощность [6]. В этих условиях происходит своеобразный переворот ценности гибкости: самое большое значение приобретает гибкость, способная работать «на загрузку». Поэтому такие британские агрегаторы, как Flexitricity, возлагают надежды на скорый запуск нового рыночного сервиса гибкости — динамического сдерживания, — в рамках которого источники гибкости реагируют на отклонение частоты за пределы интервала $50 \pm 0,2$ Гц очень быстрым пропорциональным регулированием мощности [7].



Генерация и потребление электроэнергии, цены на электроэнергию в Германии на 13-й неделе 2020 года. Источники: 50 Herz, Tennet, Transnet BW, EEX, EPEX SPOT

Под неожиданным ударом оказались энергоснабжающие и сетевые компании, отвечающие за надежность электроснабжения: по оценкам Электрического института Эдисона (EEI), до 40% их работников могут оказаться заражены и больны, что очень существенно скажется на их способности обслуживать сети и вести при необходимости восстановительные работы [8]. Некоторые сети превентивно отреагировали на этот вызов. Например, британская компания SPEN — DSO, обслуживающая 3,5 млн потребителей в Мерсисайде, Чешире, Северном Шропшире, Северном Уэльсе и на юге Шотландии — ввела в действие свой аварийный план и перешла к работе в условиях, аналогичных крупной продолжительной аварии [9]. В этих условиях возрастает роль локальных, распределенных источников гибкости, в которых будут нуждаться распределительные сети, нагрузка на которые в условиях «затворничества» населения как раз увеличится.

Новелла вторая. Декарбонизация под угрозой?

Вирусная пандемия вполне может отобрать у изменения климата почетное звание главной глобальной угрозы, с которой столкнулось современное человечество. Соблазн заместить декарбонизацию в повестке дня мирового сообщества на борьбу с коронавирусом и предотвращение возможной новой, еще более страшной пандемии тем более велик в силу быстрого и позитивного влияния самоизоляции на снижение загрязнения воздуха и эмиссии парниковых газов [10]. Примечательно, что Международное энергетическое агентство с первых же дней введения активных мер сдерживания пандемии призвало мировое сообщество не забыть про чистую энергетику при разработке мер поддержки экономики [11]. На этом фоне чешский премьер-министр, напротив, призвал закрыть вопрос с европейской программой Green Deal и сосредоточить все ресурсы на спасении европейской экономики, погибающей от мер по сдерживанию коронавируса [12].

Впрочем, достаточно радикальные климатические группы призывают объединить борьбу с двумя этими угрозами и перейти к формированию «новой нормальности» социального дистанцирования и самоизоляции, своего рода нового типа поведения после конца пандемии [13]. В этом утопическом или, наоборот, антиутопическом постапокалиптическом будущем человечество добровольно отказывается от массовых передвижений и значительной части не критической экономической активности и переходит к «онлайн-автономизации», чтобы одновременно снизить эмиссию парниковых газов и защитить себя от угрозы новой пандемии. Похожую картину тотального отказа от всех лишних перемещений, массовых собраний, встреч с массовым переходом всех коллективных форм в онлайн неожиданно рисует и один из основателей BNEF Михаэль Либрих [14].



Но пока что «зеленая» энергетика скорее страдает от пандемии, чем выигрывает от нее. Несмотря на попытку лоббирования [\[15\]](#), американские компании энергетического перехода не получили поддержку в рамках уникального пакета помощи бизнесу размером в \$2 трлн долларов [\[16\]](#). Тем не менее, они не теряют надежды добиться от Правительства и Конгресса достаточных мер поддержки, чтобы наверняка остаться на плаву в условиях «идеального коронавирусного шторма», запрашивая такие меры, как налоговые каникулы, отсрочку обязательств и прямое субсидирование [\[17\]](#).

На этом фоне часть американских компаний рынка «зеленой» энергетики откладывают и сворачивают проекты, часть уже приступила к массовому увольнению сотрудников [\[18\]](#), но значительная часть производств, связанных с ВИЭ, по-прежнему продолжают работу [\[19\]](#). Особенно сильно в силу спада коммерческого потребления электроэнергии страдает в США сектор рынка ВИЭ, связанный с установкой солнечных панелей таким коммерческим потребителям [\[20\]](#). Европейские компании рынка «зеленой» энергетики, несмотря на уже ставшие ощутимыми задержки в поставки оборудования для СЭС из Китая и сдвига сроков реализации многих проектов [\[21\]](#), напротив, чувствуют себя достаточно уверенно, и даже включились, как и Tesla в США, в мобилизацию для производства медицинского оборудования, в первую очередь, аппаратов ИВЛ [\[22\]](#).

Тем не менее, аналитики Wood Mackenzie начали активно пересматривать предыдущие оптимистичные прогнозы по росту рынков энергетического перехода. Согласно их новым расчетам, рынок распределенных систем накопления энергии из-за пандемии

будет расти на 31% медленнее [\[23\]](#), а рынок ветроэнергетики потеряет в темпах роста 6,5% [\[24\]](#).



Неожиданную поддержку чистая энергетика получила со стороны стремительно падающего рынка нефти: в условиях цен ниже \$35 за баррель многие проекты в сфере ВИЭ и накопителей энергии оказываются более рентабельными и привлекательными для инвестиций, чем добыча нефти [\[25\]](#). В условиях длительного снижения спроса на нефть и существенного превышения предложения над этим спросом возникает риск исчерпания возможностей логистической инфраструктуры по приему сырой нефти, что приведет в итоге к отрицательным ценам на нефтяном рынке [\[26\]](#). Если при этом цены не восстановятся достаточно быстро, сложится уникальная и парадоксальная ситуация, при которой несмотря на то, что нефть на какое-то время станет почти даровым ресурсом, произойдет сильный отток инвестиций из этого сектора в сторону проектов энергетического перехода.

Новелла третья. Время долгосрочных стратегий и экспериментов

Хорошо известна история о том, как во время эпидемии чумы в 1664–1666 годах в самоизоляции в Вулстропе Исаак Ньютон разработал основы дифференциального исчисления и теорию света. Возможно, период тотальной неопределенности — лучшее время для долгосрочных стратегий, экспериментов и мыслей на будущее.

Следуя этой идее, в самый разгар пандемии 30 марта Администрация сингапурский портов (PSA), порт Джуронг, Сингапурская газовая компания, Сингапурская корпорация сжиженного природного газа и Sembcorp подписали с японскими Chiyoda и Mitsubishi соглашение, запускающее долгосрочное исследование возможности применения «зеленого» водорода в сингапурской энергетике с использованием технологии транспортировки водорода в жидком органическом носителе [\[27\]](#). В условиях ожидаемого очень существенного падения цены «зеленого» водорода он становится вполне реальной альтернативой нефти. В новом докладе BNEF оценивает перспективы падения цен на водород до \$2,4 за кг уже к 2030 году [\[28\]](#).

Формированием стратегического видения занялась и британская Ассоциация электрических и газовых сетей (ENA), выпустившая программный доклад, обозначающий стратегические приоритеты развития сетевой инфраструктуры Великобритании [\[29\]](#). Среди этих приоритетов, помимо декарбонизации и кастомизации услуг, для электрических сетей — обеспечение энергетической гибкости в интересах энергосистемы, а для газовых сетей — подготовка к транспортировке водорода. В скором времени ожидается выход британской энергетической «белой книги», которую разрабатывает Департамент энергетики, бизнеса и стратегии (BEIS), и в которой центральная роль, как ожидается, будет отведена опять же энергетической гибкости [\[30\]](#).



Тем временем, калифорнийский системный оператор CAISO успешно завершил смелый эксперимент в сфере энергетической гибкости. На базе ветроэнергетического парка Туле мощностью 131 МВт в Сан-Диего CAISO и Avangrid Renewables доказали, что мощные ветрогенераторы, включенные в сеть через инверторы, являются

источниками энергетической гибкости и могут успешно оказывать сервисы по регулированию частоты, перетоков активной мощности и поддержания уровня напряжения [31]. Это открывает перед генерацией на базе ВИЭ новые коммерческие возможности на рынках энергетической гибкости и системных услуг [32].

Сейчас нам остается ждать развития событий и использовать это время для формирования своего стратегического видения развития энергетических практик, которое станет актуальным после, будем надеяться, скорого завершения пандемии. Опыт мобилизации современной электроэнергетики в кризисных условиях и тектонические сдвиги на рынках могут в итоге усилить энергетический переход и связанные с ним новые цифровые практики. Время покажет, так ли это.

[1] <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/medicine/sph/ide/gida-fellowships/Imperial-College-COVID19-NPI-modelling-16-03-2020.pdf>

[2] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/spanish-energy-sector-counts-blessings-in-coronavirus-crisis>

[3] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/us-utility-sector-braces-for-coronavirus-impact>

[4] <https://www.current-news.co.uk/news/covid-19-drives-down-demand-as-lockdown-affects-usage-patterns>

[5] https://www.facebook.com/RozhenkoEnergy/?__tn__=%2CdkCH-R-R&eid=ARDnGiGS-Oin5NAZxyua9EbHqt1W9A9scEudBFf-28KOpBiZsKpjyNkiAq3qy6ZR_R1_cjBzo-Ge90&hc_ref=ARRYLzpG8_9fn8ckPOMImpQH1C-WxugSMhw24PvxfSYI9h68gGFKlvsJm6DuQaDLVWc&fref=nf&hc_location=group

[6] <https://www.current-news.co.uk/news/covid-19-and-flexibility-pandemic-to-change-established-and-expected-patterns>

[7] <https://www.nationalgrideso.com/industry-information/balancing-services/frequency-response-services/dynamic-containment>

[8] <https://www.eei.org/issuesandpolicy/Documents/Electric%20Companies%20and%20Pandemics%20-%20What%20You%20Should%20Know.pdf>

[9] <https://www.current-news.co.uk/news/spen-enacts-contingency-plans-to-target-critical-operations-in-light-of-covid-19>

[10] <https://sciencebusiness.net/news/covid-19-cutting-air-pollution-it-will-not-slow-climate-change>

- [11] <https://www.iea.org/commentaries/put-clean-energy-at-the-heart-of-stimulus-plans-to-counter-the-coronavirus-crisis>
- [12] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/eu-green-deal-should-now-be-canceled-says-czech-pm>
- [13] <https://www.forbes.com/sites/jeetendrsehdev/2020/03/31/coronavirus-or-climate-change-greta-thunberg-and-the-woke-generation-teach-us-important-lessons-in-leadership/>
- [14] <https://about.bnef.com/blog/covid-19-the-low-carbon-crisis/>
- [15] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/clean-energy-groups-seek-tax-credit-extensions-direct-pay-provisions-in-coronavirus-stimulus-package>
- [16] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/clean-energy-assistance-wont-be-part-of-massive-coronavirus-stimulus-bill>
- [17] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/what-the-solar-and-wind-industries-want-from-the-next-coronavirus-stimulus>
- [18] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/sungevity-again-lays-off-nearly-400-employees-citing-coronavirus>
- [19] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/much-u.s-solar-manufacturing-continues-despite-covid-19-restrictions>
- [20] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/its-like-a-snow-day-every-day-coronavirus-threatens-commercial-renewables-demand>
- [21] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/economics-of-european-solar-braced-to-ride-out-coronavirus-storm>
- [22] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/how-europes-energy-sector-is-responding-to-the-cornonavirus>
- [23] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/woodmac-distributed-storage-outlook-shrinks-for-2020-due-to-coronavirus>
- [24] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/coronavirus-impacts-trims-global-wind-demand-by-4.9gw>
- [25] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/oil-price-means-renewables-are-a-better-investment-for-the-majors>

[26] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-27/one-corner-of-u-s-oil-market-has-already-seen-negative-prices>

[27] https://www.reuters.com/article/us-singapore-japan-energy/singapore-japanese-companies-join-to-explore-hydrogen-as-energy-source-idUSKBN21H0Z0?feedName=environmentNews&feedType=RSS&utm_campaign=Carbon%20Brief%20Daily%20Briefing&utm_medium=email&utm_source=Revue%20newsletter

[28] <https://about.bnef.com/blog/hydrogen-economy-offers-promising-path-to-decarbonization/>

[29] https://www.energynetworks.org/assets/files/electricity/futures/network_innovation/electricity_network_innovation_strategy/Elec_E-Doc_FINAL.pdf

[30] <https://www.current-news.co.uk/news/beis-aiming-to-publish-energy-white-paper-in-spring-despite-covid-19>

[31] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/justin-california>

[32] <http://www.caiso.com/Documents/WindPowerPlantTestResults.pdf>

Декарбонизация — лекарство от экономического кризиса?

Смелые инвестиции и эксперименты в ожидании роста экономики после пандемии

Дата: 28 апреля

Автор: Игорь Чаусов

Пустые улицы, мрачные небоскребы, масса безработных и закрытый банк — картина Диего Риверы «Замороженные активы» как будто запечатлела сегодняшний Нью-Йорк, хоть и была написана там в 1931 году во время Великой депрессии. Вот и нынешний мэр Нью-Йорка Билл де Блазио в конце марта заявил, что экономический кризис из-за пандемии COVID-19 может оказаться настолько же масштабным, как Великая депрессия [\[1\]](#).



Диего Ривера «Замороженные активы», 1932

Практики от энергетики, напротив, полны оптимизма и используют период неопределенности для того, чтобы инвестировать в те решения на долгую перспективу, которые они будут использовать для выхода из рецессии. В их представлении будущее скорее похоже на фреску Саймона Фогеля «Богатство нации»: ученые, инженеры и рабочие создают новую экономику.



Саймон Фогель «Богатство нации», 1938

Кризис — лучшее время для экспериментов

Самые масштабные эксперименты с новыми практиками в последнее время предпринимаются в области энергетической гибкости. Социальное дистанцирование и режим самоизоляции создают уникальные условия для таких экспериментов.

Во-первых, за счет резко сократившегося потребления можно увидеть, какой будет энергосистема в условиях продолжающегося роста энергоэффективности, особенно если в ней уже сегодня ощущается избыток ВИЭ. Например, в Великобритании потребление в пасхальные выходные упало до 15,2 ГВт — почти до уровня генерации на базе ВИЭ и АЭС, имеющих очень ограниченные регулировочные возможности [2]. Во-вторых, то, что бытовые потребители проводят практически все время дома, дает возможность экспериментировать с их пользовательскими предпочтениями и привычками. Этим обстоятельством в Нью-Йорке воспользовалась местная энергоснабжающая компания Sustainable Westchester, запустившая вместе с провайдером систем demand response Logical Buildings программу вовлечения 115

тысяч бытовых потребителей в свою практику управления спросом [3]. Пока эти потребители все равно проводят время дома, им предлагается зарабатывать по \$24 в месяц за каждый киловатт, который они будут отключать по предварительной команде. При этом Sustainable Westchester и Logical Buildings одновременно исследуют возможности поведенческого управления спросом и продают услугу 4-часового сглаживания потребления компании Con Edison.

Тем временем, Google тоже включился в эксперименты с энергетической гибкостью и начал тестирование новой технологии управления вычислительными мощностями своих дата-центров, подстраивающей график электропотребления под выработку на ВИЭ [13]. Программа старается так спланировать работы серверов на день вперед, чтобы потребление из сети было максимальным тогда, когда доля «зеленой» энергии на рынке велика, и снизить его, когда эта доля мала. Эксперимент должен, в частности, показать, каким ресурсом гибкости обладают такой быстро растущий класс потребителей, как дата-центры.

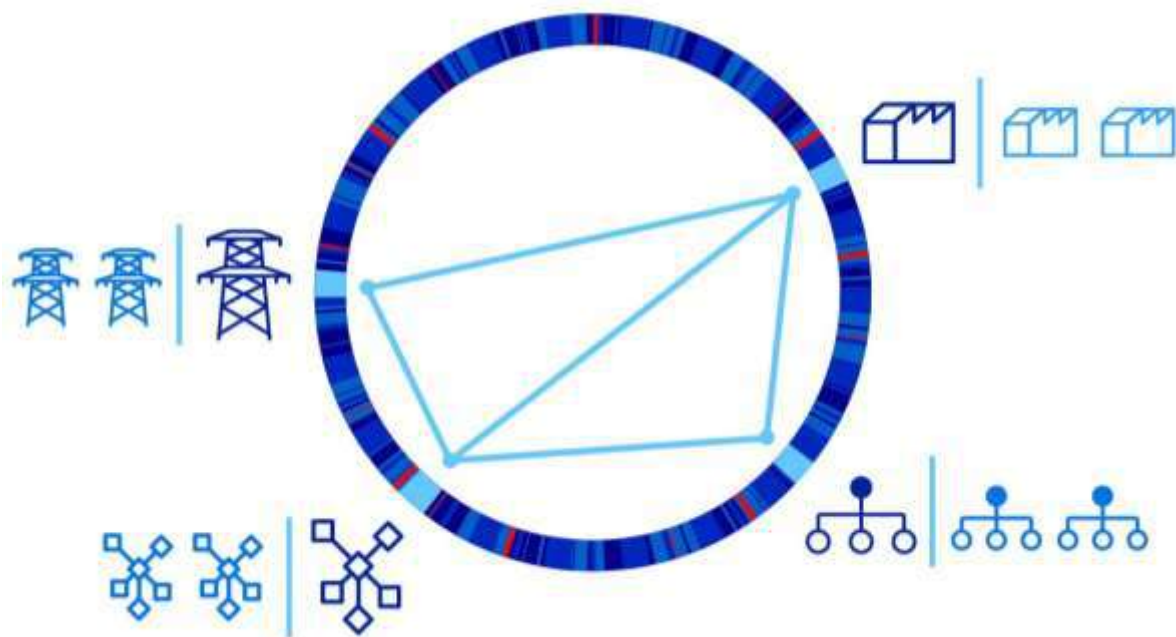
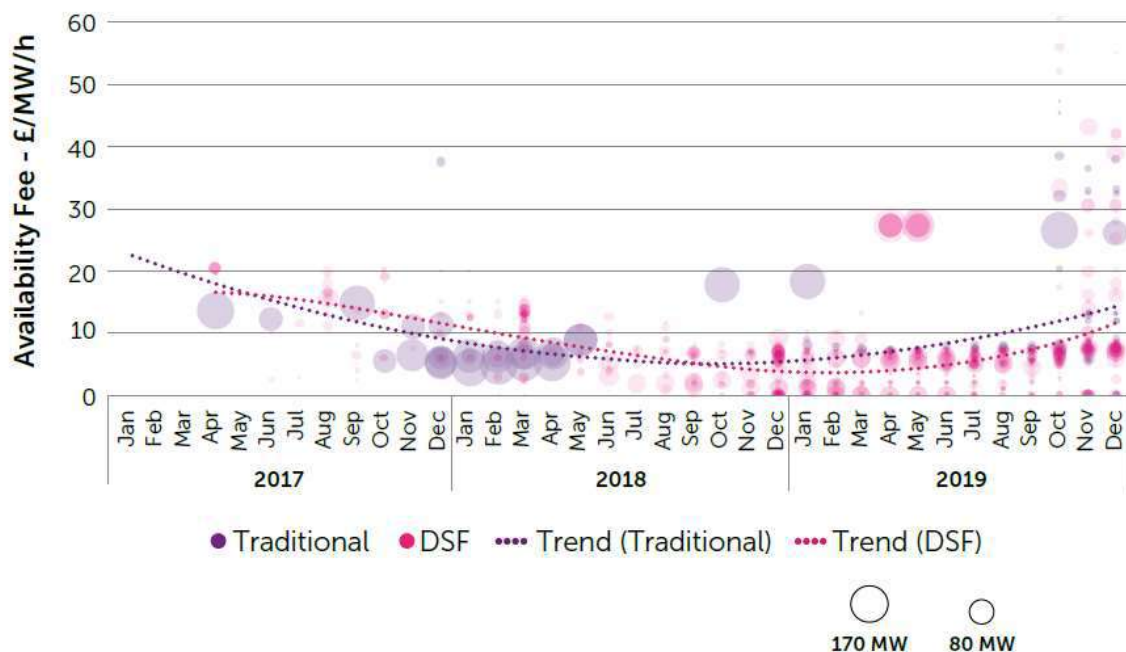


Схема взаимодействия на площадке Equigy. Слева против часовой стрелки: TSO, DSO, агрегаторы источников гибкости, распределенный реестр хранения информации о транзакциях.
Источник: Equigy

Существенно более масштабно к вопросу управления источниками гибкости потребителей подошли в Европе. Консорциум трех системных и сетевых операторов — TenneT, Swissgrid и Terna — запустил первую в своем роде международную платформу рынка гибкости Equigy, которая позволит TSO и DSO в Германии, Нидерландах, Швейцарии и Италии покупать услуги гибкости как у агрегаторов и виртуальных электростанций, так и у самих владельцев источников гибкости — накопителей, электрозаправок, управляемых нагрузок, распределенной генерации [4]. Фиксация и

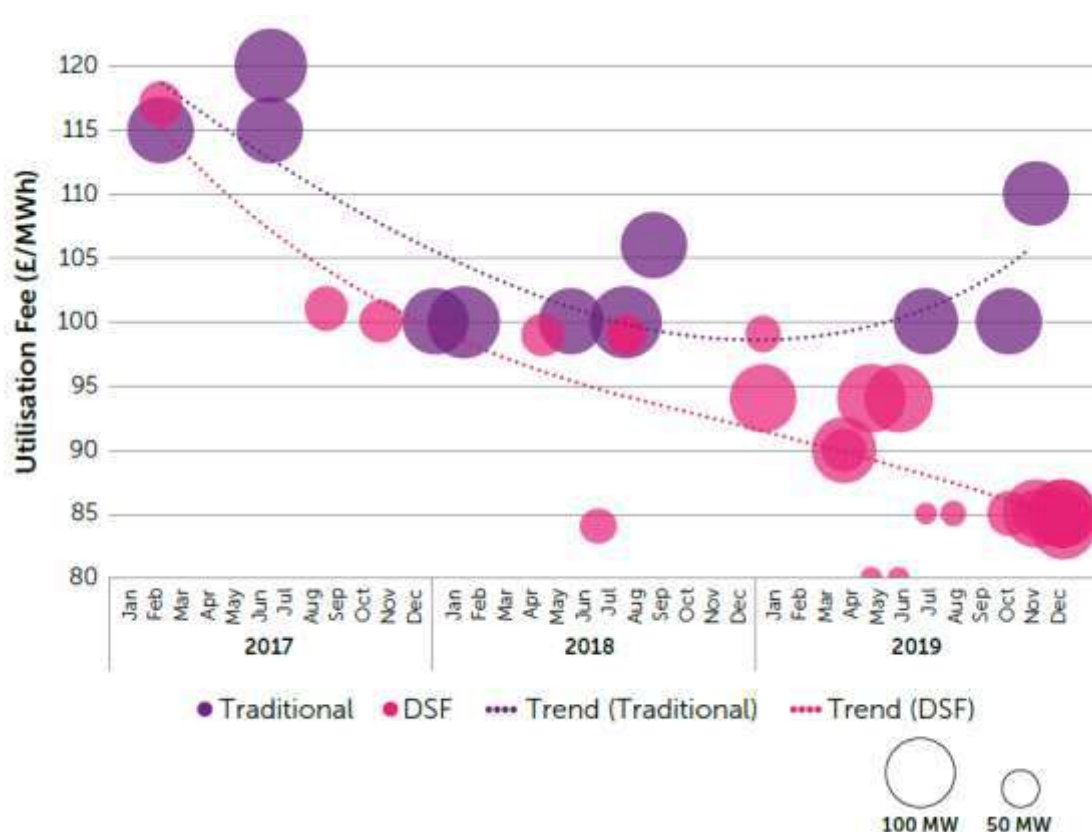
верификация исполнения контрактов в Equigy осуществляется с использованием блокчейна. По охвату новая рыночная платформа должна стать самой крупной из существующих и превзойти британские проекты Piclo Exchange и TreDER, о которых мы [писали](#).



Цены (£ за МВт в час) на готовность к оказанию услуги по динамическому регулированию частоты (D-FFR) традиционными субъектами отрасли (фиолетовый цвет) и распределенными источниками гибкости (малиновый цвет) в 2017–2019 гг. Источник: NG ESO

В самой Великобритании, тем временем, экспериментируют в первую очередь с конструкцией и правилами рынка энергетической гибкости. В рамках отчета National Grid ESO об участии источников гибкости, размещенных у потребителей, в энергетических рынках, описаны ближайшие планы по запуску нового механизма торговли этой гибкостью [5]. В настоящее время гибкость на стороне потребителей может участвовать в рынках краткосрочного оперативного резерва (STOR), быстрого резерва и регулирования частоты (FFR), а также в годовых и 4-годовых аукционах на рынке мощности. Учитывая накопленный опыт участия активов потребителей на этих рынках, конструкцию рынка решили изменить. Во-первых, в ней появляются еженедельные аукционы на оказание системных услуг по регулированию частоты. Во-вторых, меняется сама конструкция таких сервисов: вводятся три сервиса — динамическое удержание, более тонкое динамическое выравнивание и еще более тонкое динамическое регулирование. Кроме того, в работу запущены два новых пилотных проекта: Pathfinder — оказание услуг по поддержанию напряжения и управлению перетоками в сетях силами потребителей — и TERRE — трансграничный проект

торговой площадки, на которой английские источники гибкости смогут продавать услугу резервирования в Европе.



Цены оказания услуги быстрого резерва (£/МВт·ч) традиционными субъектами электроэнергетики (фиолетовый цвет) и распределенными источниками гибкости (малиновый цвет) в Великобритании в 2017–2019 гг. Источник: NG ESO

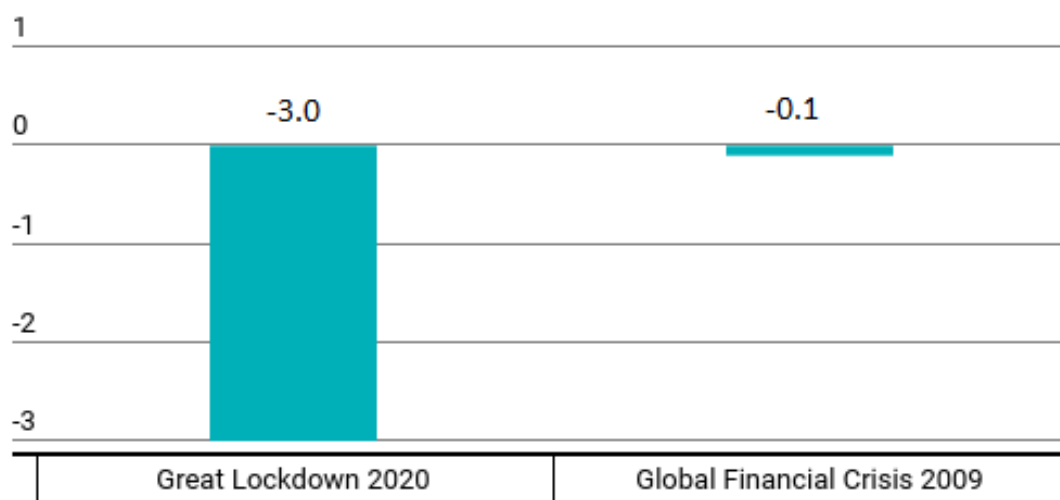
Стараются не отставать от экспериментальных практик и инвестиции в уже работающие «зеленые» бизнесы. Например, испанский энергетический гигант Iberdrola в 2020 году расширил пакет инвестиций до рекордных для своей практики \$10 млрд, которые направлены на строительство 30 солнечных и 50 ветровых электростанций во Франции, Германии и США и одной ГАЭС в Португалии, а также эксперименты с плавучими ветроустановками [6].

Куда ведет нас новый курс?

С оценкой происходящего в мировой экономике, которую дал Билл де Блазио, соглашаются специалисты из совершенно полярных экономических течений. Например, глава МВФ Кристина Георгиева — яркая представительница монетаризма — назвала кризис худшим событием в мировой экономике с 1929 года [7], а лауреат Нобелевской премии кейнсианец Джозеф Стиглиц высказал мысль о том, что США идут к новой Великой депрессии за счет ошибочных действий во время пандемии [8]. Стремительность возникновения разноплановых событий — от рекордного роста безработицы в США до первых в истории отрицательных цен на нефтяные фьючерсы

— повышает и без того беспрецедентную неопределенность будущего, а вместе с ней
— и градус алармизма в заявлениях экспертов.

В обновленном прогнозе ближайшего будущего мировой экономики МВФ оценивает падение глобального ВВП в 2020–2021 годах от 3% до 8% с перспективой восстановления не ранее 2025 года в зависимости от того, насколько длительной и масштабной окажется пандемия [\[9\]](#).



Падение мирового ВВП (%) во время кризисов 2009 и 2020 годов. Источник: МВФ

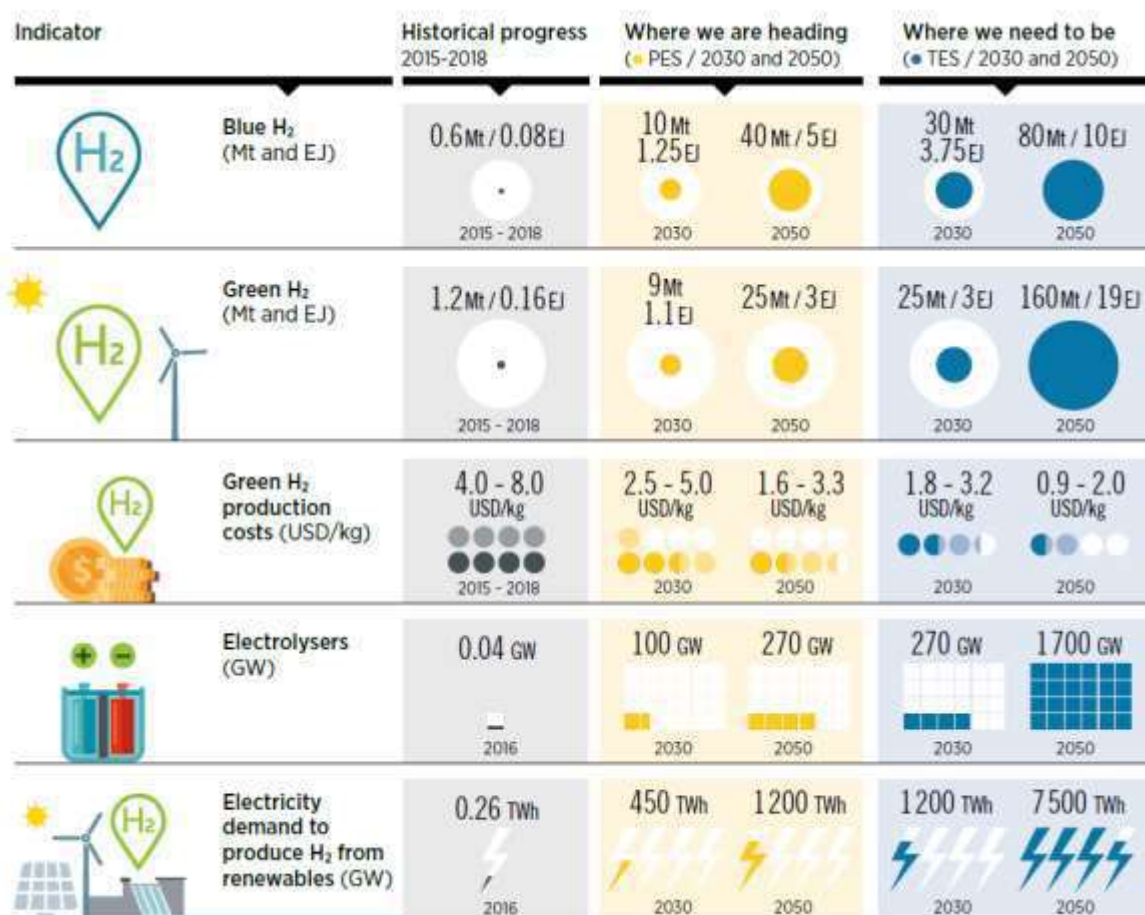
На мрачном фоне таких апокалиптических прогнозов неожиданно оптимистично прозвучал голос Международного агентства по возобновляемой энергии (IRENA), выпустившего доклад с оценкой социально-экономических возможностей, которые открывает декарбонизация мировой экономики и связанная с ней новая энергетика [\[10\]](#).

Доклад намечает четыре сценария развития энергетики и декарбонизации мировой экономики:

1. **Базовый сценарий (BES)** — меры согласно Парижскому соглашению, — который принят за базу отсчета всех эффектов.
2. **Плановый сценарий (PES)** — сумма мер, планируемых правительствами ведущих экономик мира.
3. **Целевой сценарий энергетической трансформации (TES)** — амбициозный, но реалистичный сценарий сокращения эмиссии на уровне, достаточным, чтобы замедлить потепление в XXI веке до 1,5°C.
4. **Дополнительные перспективы глубокой декарбонизации (DDP)** — дополнительный к TES сценарий, обеспечивающий достижение полной углеродной нейтральности к 2050 году.

Декарбонизация, по мнению IRENA, будет опираться на пять «технологических столпов»:

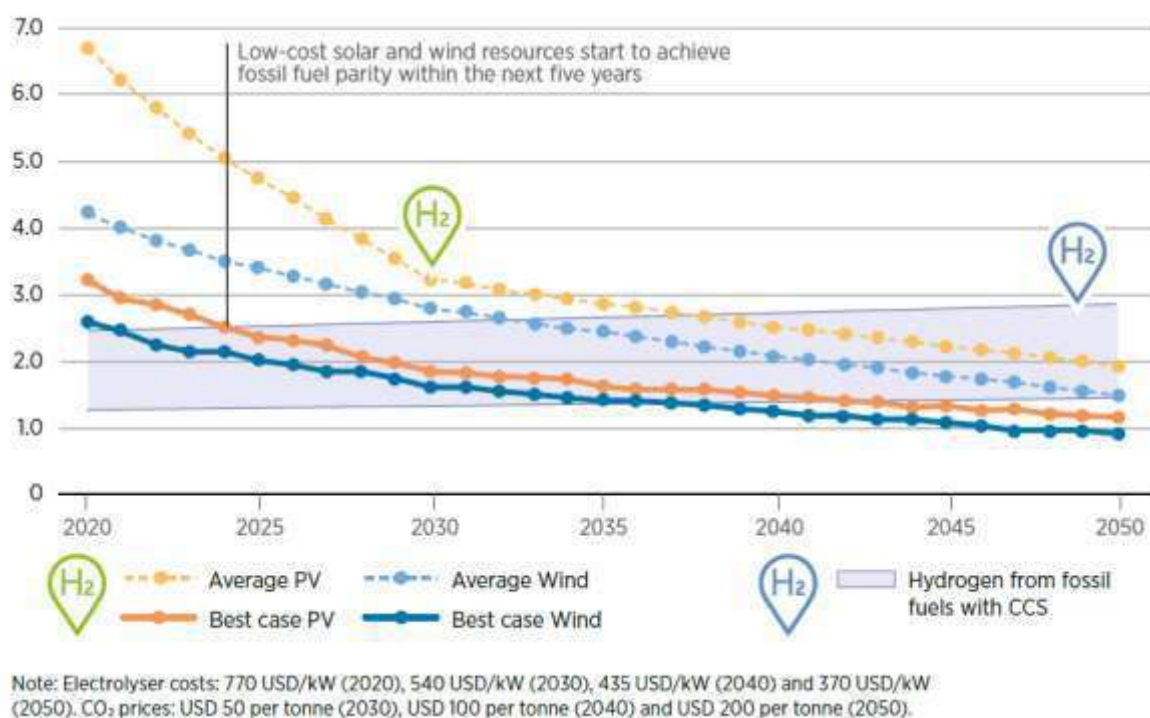
- Электрификацию экономики на основе ВИЭ;
- Управление и торговлю **гибкостью** в энергосистемах;
- Использование конвенциональных ВИЭ — гидроэнергетики и биотоплива;
- **«Зеленый» водород** в промышленности, энергетике и на транспорте;
- Оригинальные решения для сложно декарбонизируемых отраслей (например, авиации).



Прогноз рынка и роли водорода в декарбонизации мировой экономики. Источник: IRENA

Особенно интересен обновленный прогноз по использованию водорода. В рамках сценариев PES и TES IRENA ожидает рынок «голубого» водорода в размере 10–30 млн тонн в год в 2030 году и 40–80 млн тонн в год в 2050 году, рынок «зеленого» водорода — до 9–25 млн тонн в год в 2030 и 25–160 млн тонн в год в 2050 году, в зависимости от сценария. При этом цены на «зеленый» водород упадут до \$1,8–2,5 за кг к 2030 году и

до \$0,9–1,6 за кг к 2050 году. Установленная мощность электролизеров должна достичь 100–270 ГВт в 2030 году и 270–1700 ГВт в 2050 году, также в зависимости от сценария.



Себестоимость производства водорода (LCOH) от различных видов энергии, \$/кг. Источник: IRENA

Обещание светлого будущего

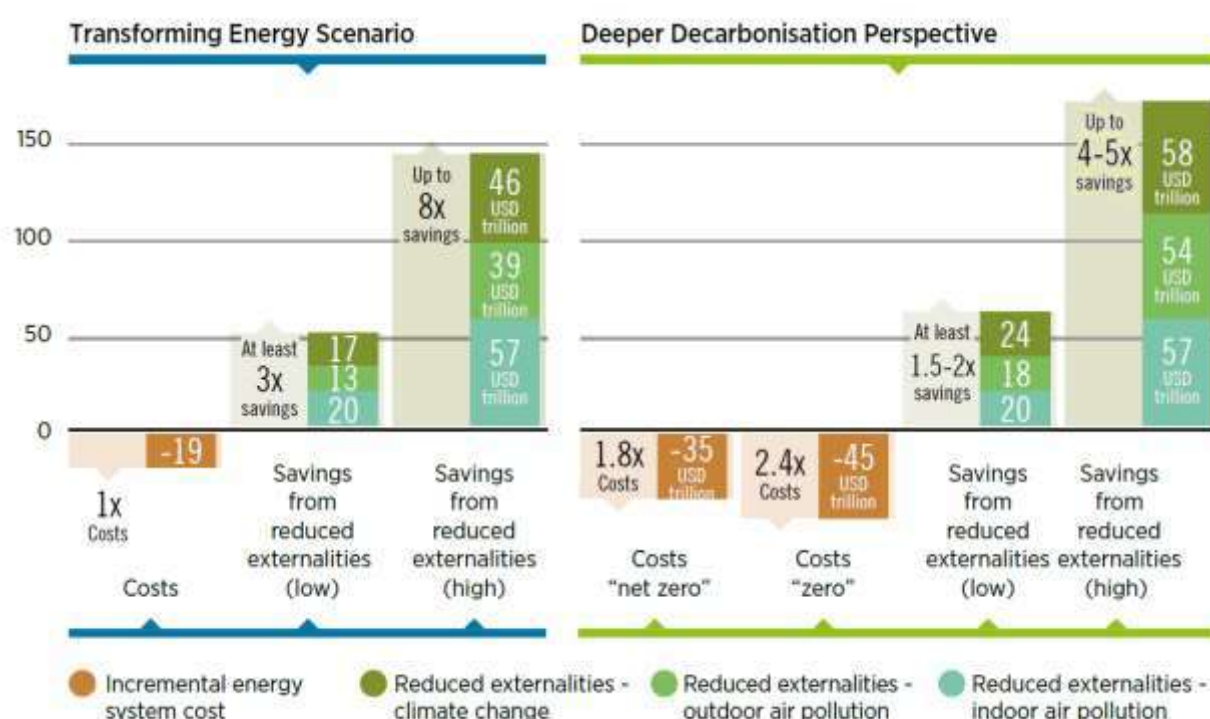
Реализация целевого сценария TES позволит получить очень существенные социально-экономические эффекты. Мировой ВВП вырастет за следующие 30 лет на дополнительные 2,4%, или \$98 трлн за счет всех мероприятий, необходимых в рамках сценария.

Экономический рост, который обещает IRENA в своем докладе, формируется совокупностью большого числа факторов, основные из которых — следующие:

- Инвестиции в основной капитал, обеспечивающие декарбонизацию экономики;
- Повышение эффективности энергетики в ряде регионов за счет перехода на использование дешевеющих ВИЭ;
- Увеличение объема глобальной торговли технологиями и, частично, «зелеными» энергетическими ресурсами (например, водородом);
- Появление новых рабочих мест, стимулирующее общий рост спроса на экономические блага;

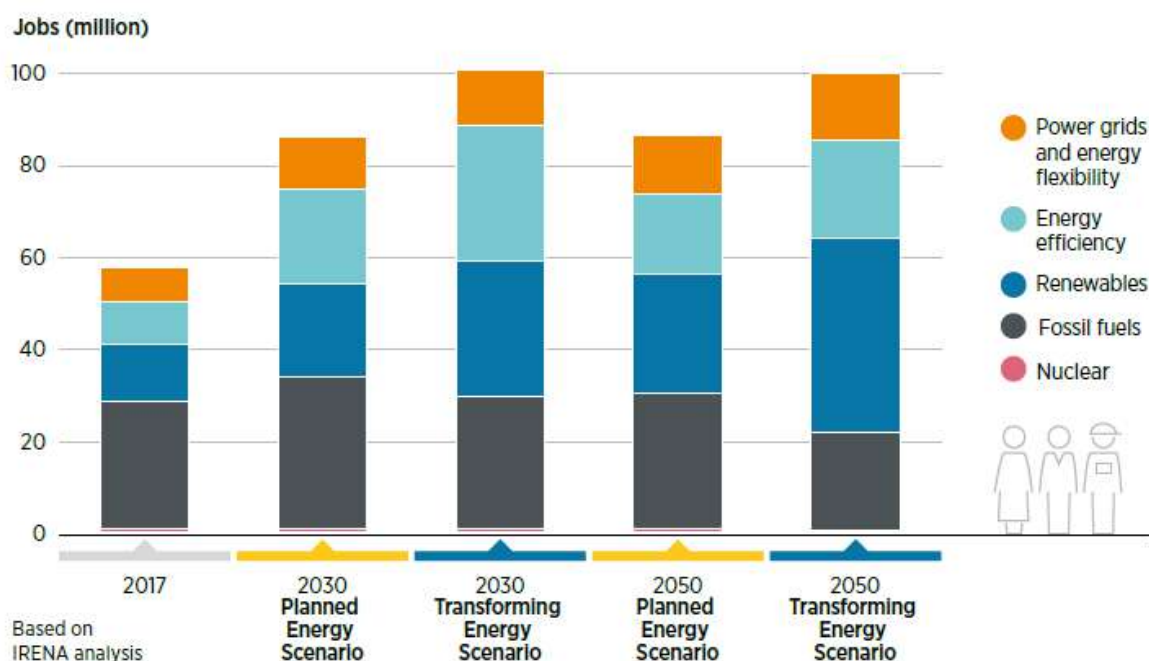
- Рост потребления электроэнергии и энергоемких товаров и услуг, связанный, в частности, с появлением новых рабочих мест;
- Социальные и экологические последствия декарбонизации.

Именно последний фактор, суммирующий влияние различных косвенных драйверов на рост ВВП, IRENA видит в качестве основного источника того нового экономического блага и богатства, которые заложены в упомянутые 2,4% прибавки к экономическому росту. Социальные и экологические последствия включают рост качества и продолжительности жизни, рост доли трудоспособного населения, снижение общественных расходов на здравоохранение и ликвидацию чрезвычайных ситуаций, снятие экологических рисков для сельского хозяйства и другой экономической деятельности, зависящей от климата и окружающей среды.



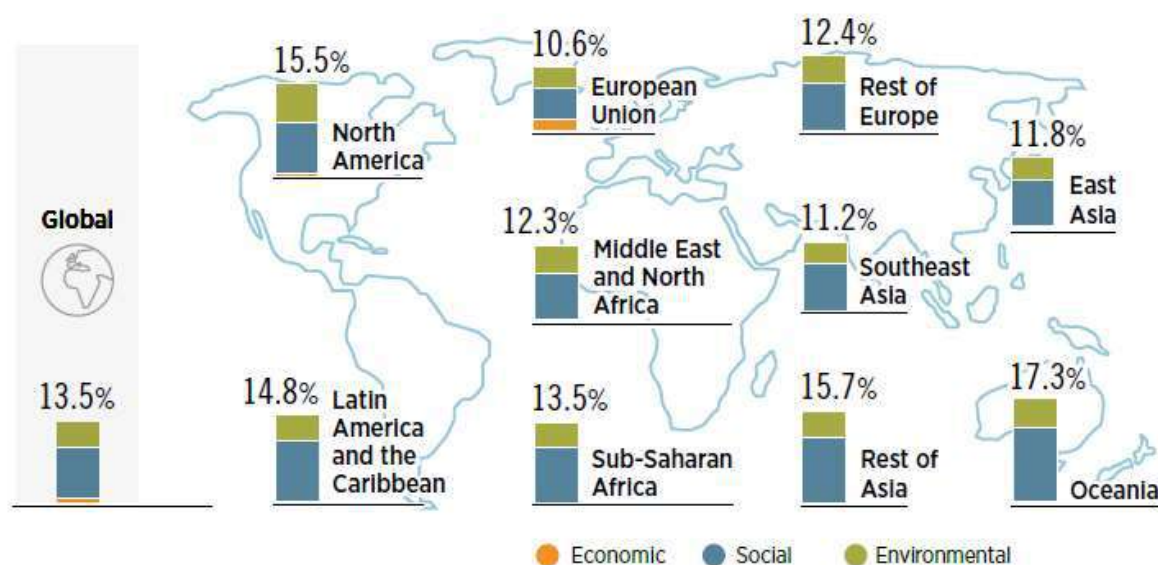
Затраты и эффекты от декарбонизации мировой энергетики: снижение воздействия изменения климата на экономику, снижение влияния загрязнения воздуха в городах и в жилых помещениях. Источник: IRENA

Количество рабочих мест в энергетике достигнет к 2050 году 100 млн — на 40 млн больше, чем сегодня, причем 14,5 млн дополнительных рабочих мест принесет сектор управления гибкостью и электрическими сетями. Необходимые инвестиции в реализацию TES до 2050 года составляют \$15 трлн: на каждый вложенный доллар будет получено 4–5 долларов эффекта.



Число рабочих мест в энергетике по секторам в зависимости от сценария. Источник: IRENA

Кроме перечисленных классических, во многом монетарных показателей социально-экономической эффективности, IRENA использует также новый комплексный индикатор — **глобальное благосостояние**, — которое в сценарии TES вырастет за следующие на 6,9% к 2030 году и на 13,5% к 2050 году. Этот индикатор включает в себя оценку состояния окружающей среды, в которой живут люди, оценку улучшения их экономических условий, также как занятость, уровень инвестиций и потребления, а также их социальное обеспечение образованием и медициной.



Рост глобального благосостояния (%) по регионам мира к 2050 году в рамках сценария TES.
Источник: IRENA

О том, что декарбонизация может стать основой нового «Нового курса», в США и ЕС заговорили задолго до внезапного начала кризиса. Но в отличие от ушедшей в коронавирусную тень и так и не выбравшейся за рамки лозунгов политической программы Green New Deal [11], доклад IRENA задает одновременно целостное и детальное, измеримое видение будущего. Опираясь на это видение, Европарламент уже предложил включить свою программу декарбонизации European Green Deal в пакет мер по выходу из рецессии, связанной с COVID-19 [12].

[1] <https://www.businessinsider.com/bill-de-blasio-new-york-is-war-footing-fight-coronavirus-2020-3?r=US&IR=T>

[2] <https://www.current-news.co.uk/blogs/low-lockdown-demand-give-a-taste-of-the-future-says-flexitricitys-alastair-martin>

[3] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/in-new-york-a-new-way-for-stay-at-home-customers-to-get-paid-for-shaving-peak-energy>

[4] <https://www.current-news.co.uk/news/european-consortium-launch-new-sustainable-flexibility-solution-equity>

[5] http://powerresponsive.com/wp-content/uploads/2020/04/Power-Responsive-Annual-Report-2019.pdf?utm_source=Energyst&utm_medium=Energyst&utm_campaign=Annual%20Report%202019

[6] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/iberdrola-plots-post-lockdown-investment-spree>

[7] <https://www.reuters.com/article/us-health-coronavirus-imf/imfs-georgieva-says-coronavirus-crisis-is-worst-since-great-depression-idUSKBN2221QD>

[8] <https://www.theguardian.com/business/2020/apr/22/top-economist-us-coronavirus-response-like-third-world-country-joseph-stiglitz-donald-trump>

[9] <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/04/14/weo-april-2020>

[10] <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>

[11] <https://www.nytimes.com/2019/02/21/climate/green-new-deal-questions-answers.html>

[12] <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20200415IPR77109/covid-19-meps-call-for-massive-recovery-package-and-coronavirus-solidarity-fund>

[13] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/google-tests-shifting-data-center-loads-to-capture-grids-clean-energy>

Если бы энергетики читали Маркса

Останется ли электрическая сеть гегемоном энергетики будущего?

Дата: 5 июня

Автор: Дмитрий Тимофеев

«В современной жизни найдется мало тревог, о которых человек не мог бы забыть, увлекшись размышлениями о том, откуда в разных местах берется электричество»

Ален де Боттон

Персональная история

Однажды в кафе на Чистопрудном бульваре два энергетика завели беседу о будущем ЕНЭС России. Старший товарищ-визионер убежденно заявил, что электрические сети уйдут в прошлое, а энергоснабжение потребителей будет полностью удовлетворяться за счет периодической доставки им на дом накопителей энергии различной мощности. В качестве аналогии он вспомнил «асфальтовые трубопроводы» Аляски, по которым доставлялся сжиженный газ потребителям, а также привел свой любимый пример по быстрому переходу телекоммуникационной отрасли с проводов на сотовую связь. Младший товарищ скептически отнесся к перспективе исчезновения электрических сетей, обосновав свою позицию тем, что в большинстве стран мира сетевые компании стали «инфраструктурой для бедных», а ВИЭ, накопители и микро-сети, как правило, применяются небольшой прослойкой богатых и продвинутых пользователей. Этот неоконченный спор стал отправной точкой для долгого поиска подсказок в разрешении этой дилеммы в трудах философов, экономистов и ученых-технократов.



Жижек «разрывает» Маркса

Во время пандемии коронавируса нетрудно признать свою интеллектуальную «деревянность» и попытаться стать чуточку мудрее, перечитав вместе с философом Славоем Жижекком классическое наследие Карла Маркса^[1]. Вся история XX-XXI вв. показывает, что марксизм — это единственное учение, которое нацелено на революционные преобразования общества. При этом за счет тесной связи с реальными практиками марксизм позволяет создать конкретный план действий. Попытка использовать марксизм для ответа на вызовы XXI века делается философом Славоем Жижекком на базе онтологии разрыва, которая подразумевает, что социальная реальность всегда содержит в себе некий основополагающий разрыв (скрытое противоречие)^[2]. Жижек утверждает, что любая невозможность всегда является исторически детерминированной. А Маркс писал, что философия и политэкономика должны быть нацелены на превращение любой невозможности в новую возможность через освобождение — революцию.

Основой традиционного марксизма является диалектический материализм, но в наше время появились новые направления логики и философии (объектно-ориентированная онтология, акторно-сетевая теория, нео-материализм), которые более адекватны условиям современной жизни. Для «неожиданного» прочтения Маркса в условиях XXI века Славой Жижек выбирает объектно-ориентированную онтологию (рис. 1)^[3].

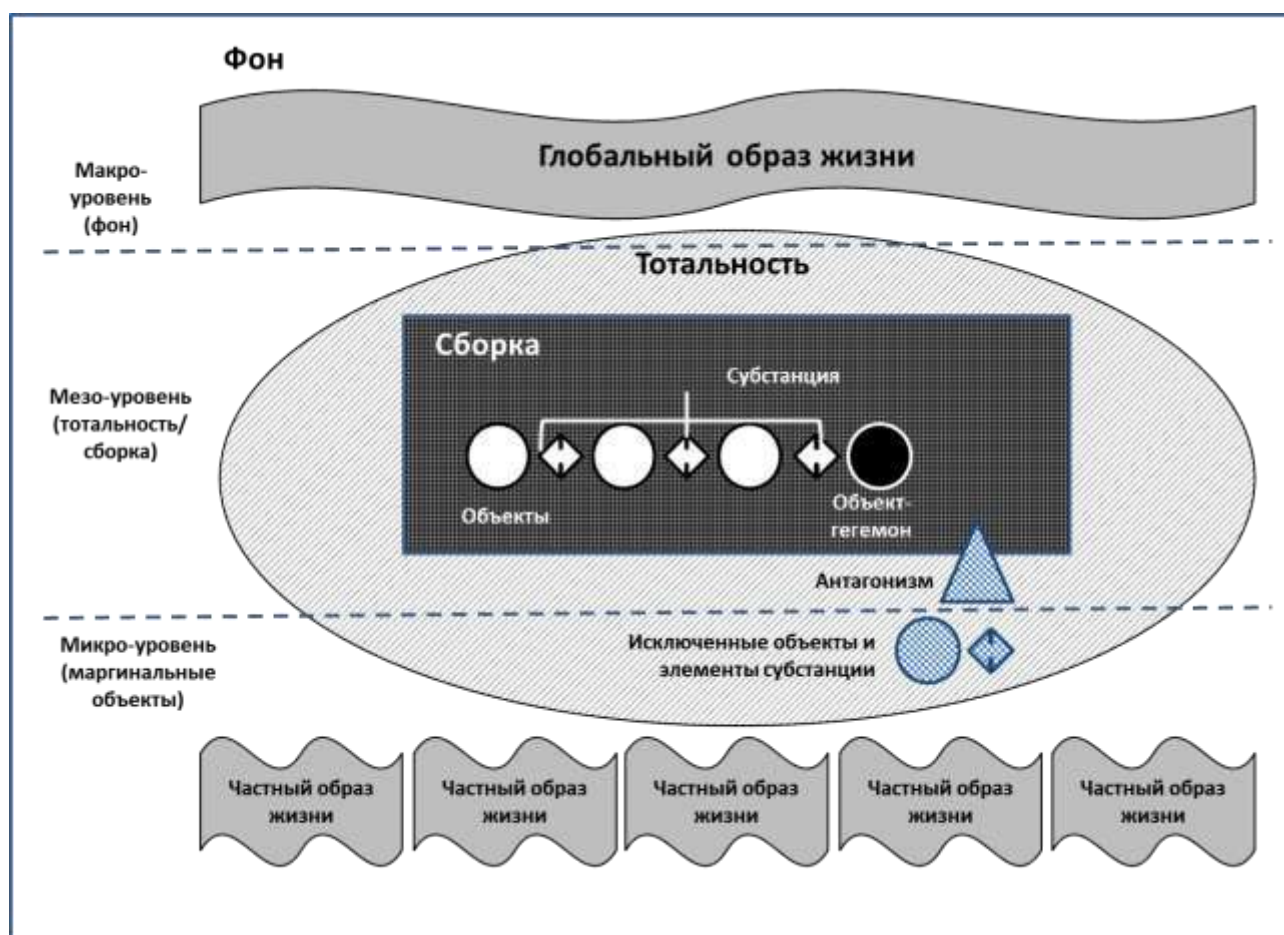


Рис. 1. Схема объектно-ориентированной онтологии нео-марксизма

При этом Жижек использует разрыв между двумя ключевыми концептами объектно-ориентированной онтологии: сборка и тотальность.

Сборка — совокупность объектов (людей и вещей), образующих человеко-машинную систему (простые объекты, объект-гегемон, связывающая субстанция — формальные законы и неформальные нормы). Объект-гегемон имеет привилегированный статус и неявно форматирует всю сборку под себя. Поскольку мир оформляется конкретными практиками (деятельностью), то политика развития должна отталкиваться от материальных вещей и проблем, а не от «виртуальных» ценностей и убеждений. Поэтому в рамках объектно-ориентированной онтологии очень важна роль не-людей (объектов). Человеческие и нечеловеческие объекты в сборке ответственны за те или иные практики, а субстанция поддерживает материальные и виртуальные связи между объектами. Любая сборка лучше познается по ее неудачам, чем по её успехам. Неудачи сборки связаны с «тайным» противоречием (антагонизмом). Революция по Марксу, или «освобождение» от противоречия по Жижеку заключается в кардинальном изменении фона (макро- и микро-уровень), при котором сборка (мезо-уровень) меняется, и невозможное становится возможным.

Тотальность включает в себя и сборку, и конститутивный антагонизм, то есть нечто исключенное из сборки (технология, группа лиц), но являющееся зародышем

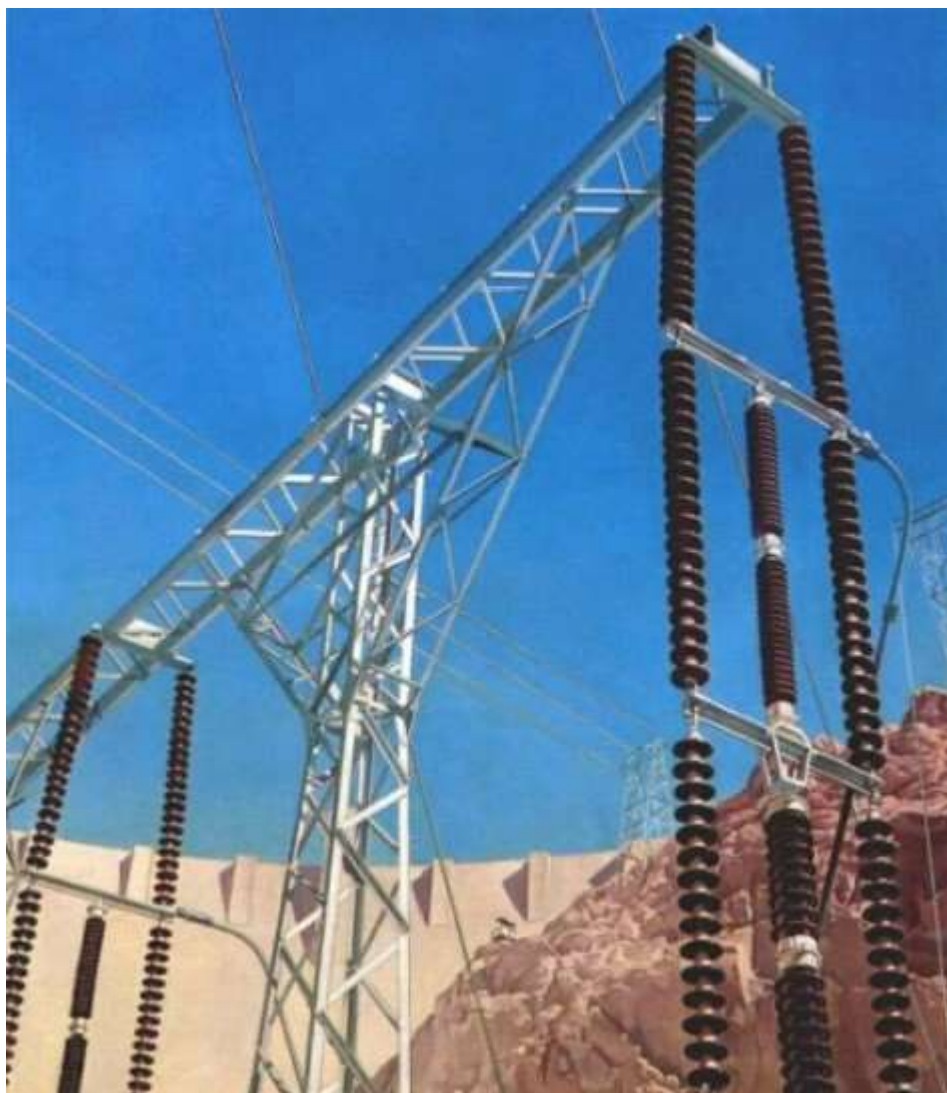
следующего витка эволюции этой социо-технической системы. Фоном для тотальности является образ жизни, который есть способ организации наслаждения жизнью для общества. Все общественные практики, которые составляют образ жизни, являются по своей сути насильственными. В современном обществе выделяются глобальный (всеобщий) и частные (национальные) образы жизни.

Из-за антагонизма любая тотальность содержит в себе неизбежные кризисы, которые являются симптомами гнили в ядре системы. Эта червоточина внутри тотальности (мезо-уровень) требует заполнения новыми объектами с макро-уровня (новая субстанция) и микро-уровня (желающие объекты).

Исключённые объекты желают стать частью новой сборки для того, чтобы реализовать свою идентичность (стать собой). Любые инновационные технологии и группы людей, которые их продвигают, могут достичь полной реализации заложенного в них потенциала только в рамках новой сборки. Новые объекты становятся больше (масштабируются) за счет того, что при интеграции в тотальность-гегемона происходит «затемнение» их антагонизма.

Причиной непредсказуемости будущей конфигурации тотальности является отказ действовать по правилам со стороны объектов (люди и вещи), поскольку в имматериализме способность действовать у них равная. Механизм делегирования агентности от человека к объекту следующий: при проектировании инженер закладывает в вещь определенную программу действия, которая после массового тиражирования данного объекта начинает обуславливать действия людей. Признание агентности вещей часто блокируется человеческим сознанием, поскольку адекватное восприятие «вещей-в-себе» практически невозможно из-за их сверхвысокой интенсивности для эмоционального и этического восприятия человека.

Эмерджентные свойства новой сборки проистекают из непредсказуемых встреч объектов, при этом агентность (воля к действию) хаотично распределена между ними. При этом нужно учитывать, что 200 лет назад субъектом исторического развития являлся те люди, которые проявляли наибольшую активность (максимизация деятельности), то в современном мире активным «желающим» объектом является тот, который смог стать пассивным, уйти из-под давления и манипуляций тотальности.



Беседа: небо и земля, Чарльз Шилер

«Освобождение» энергетики по Марксу

Овладев основами теории, рассмотрим, как новое прочтение марксизма можно применить к практике электроэнергетики. В электроэнергетике есть полный консенсус по поводу перспективности ВИЭ (генерация), также есть всеобщее согласие по цифровизации энергосбытовой деятельности. А вот единого вектора развития электросетевого комплекса пока нет. Применение нео-марксистской методологии к данному объекту включает в себя:

Невозможность — представить существование ЕЭС без ЕНЭС практически невозможно, и подобные воззрения укоренены в исторической инерции этой масштабной социотехнической (человеко-машинной) системы, формирование которой началось 140 лет назад. Кроме того, отсутствуют экономические предпосылки для сетевой революции. Удельный уровень потерь электрической энергии при передаче по электрическим сетям снизился в РФ с 11,97% в 2011 г. до 10,43% в 2019 г. Снижение потерь на 1,5 п.п. означает повышение эффективности электросетевого комплекса на 13%. Потери энергии первичных топливных ресурсов в секторе генерации многократно больше (50–

70%). Сходный уровень эффективности энергетики наблюдается и в США — почти 70% используемой обществом энергии теряется в процессе транспортировки и преобразования (rejected energy)[4].

Сборка и Тотальность — под сборкой можно понимать объединение всех объектов ЕНЭС как человеко-машинной системы (персонал и менеджмент, ЛЭП и подстанции, различные группы потребителей, стейкхолдеры ЕНЭС, нормативно-правовая среда и системы расчетов). Каждый элемент в ЕНЭС имеет свой технический (ЛЭП, подстанции) или гуманитарный потенциал (персонал), который проявляется в особенностях работы этой человеко-машинной системы. Технические и нормативно-правовые диапазоны эксплуатационных возможностей ЛЭП и подстанций, а также вариации компетенций и поведения сетевиков в совокупности определяют регулярность (стабильность) ЕЭС. Тотальность включает в себя помимо всего вышеперечисленного еще и антагонизм (распределенная генерация, микро-сети, топливные элементы и энергосберегающие технологии).

Объект гегемон — в ЕЭС это провода, поскольку они определяют функции сборки (передавать энергию и связывать все в сеть). В случае ЕЭС централизованный характер энергетической инфраструктуры окрашивает все элементы данной социо-технической системы. Согласно концепции больших технологических систем Томаса Хьюза, хотя данные системы социально-конструируемы и вначале сильно зависят от различных групп людей (Т.А. Эдисон и Н. Тесла для электроэнергетики), со временем они начинают проявлять «мягкий» детерминизм в отношении других объектов и сборок[5].

Субстанция — взаимодействие объектов внутри ЕЭС происходит не в пустоте, активную роль при этом играет субстанциональная составляющая — институциональная среда (формальные законы и неформальные нормы)[6]. Энергосистемы представляют собой социально конструируемые артефакты, так как вместе с изобретением технологии и ее внедрением разрабатывается также и специфическая организационная форма[7].

Желания — с точки зрения теории социо-технического транзита Френка Гила, развитие сложных систем происходит в трех измерениях[8]: Макро-уровень (ландшафт) представляет собой общество в целом, для которого ЕЭС выполняет общественно-полезную функцию (энергоснабжение). «Цепочка эквивалентности», т.е. пучок потенциальных векторов развития сборки задается для ЕЭС глобальными процессами ускорения экономики (цифровизация), расширения прав и свобод (децентрализация), а также борьбы с изменением климата (декарбонизация); Мезо-уровень (отраслевой режим) — это сборка и ее субстанциональный вакуум, то есть ЕЭС и институциональная среда. «Диаграмма сборки» определяет стабильность ЕЭС и пределы ее гибкости под давлением внешних изменений, приходящих с мезо- и микро-уровня; Микро-уровень (ниши) включает в себя инновационные технологии и группы людей, которые их развивают и продвигают. Это новые объекты (ВИЭ, виртуальные электростанции, накопители энергии), которые в соответствии со свойством сборки «объект желания»

стремятся интегрироваться в ЕЭС и трансформировать ее полностью, выйдя за пределы традиционной «диаграммы сборки» социо-технической системы.

Фон — ландшафтом для развития ЕЭС являются глобальный и частный (национальный) образы жизни. Основными тенденциями макро-масштаба являются 3D — диджитализация, децентрализация, декарбонизация. На примере развития энергетики в США и ЕС («Запад»), а также Китая и Японии («Восток») можно проиллюстрировать влияние фона. Необходимо отметить, что западная концепция «smart grid» является примером техно-культурного колониализма, поскольку разные страны имеют свой взгляд на реальность (национальная онтология)[\[9\]](#). Поэтому многие страны успешно защищаются от нео-колониализма за счет изобретения на базе своей национальной традиции новой версии радикальной современности (Общество 5.0 в Японии[\[10\]](#), «Сяокан» — общество малого благосостояния в КНР[\[11\]](#)). Современные потребители привыкли к стандартам 24/7, изобилию энергии и просьюмеризму, а единая энергосистема, относящаяся к 4-му и 5-му технологическим укладам, часто не может адекватно удовлетворить эти повышенные запросы[\[12\]](#). Примерами «насилованных» практик в ЕЭС являются: ограничение на возможность быстрой смены поставщика энергии, перекрестное субсидирование между юридическими и физическими лицами, а также то, что возможности индивидуального и общественного развития ограничиваются топологией и работоспособностью ЛЭП.

Кризис — учащающиеся масштабные аварии и блекауты являются своеобразным проявлением червоточки в ядре электросетевого комплекса (global grid)[\[13\]](#). Провалы и недостатки в работе ЕЭС (плохая интеграция ВИЭ, значительные потери, излишняя капиталоемкость и высокие тарифы) более ярко намекают на ее будущий образ, а текущая эффективность ЕЭС, напротив, мало что может сказать визионерам. Если раньше ЕЭС соединял физически и экономически все пространство РФ, то теперь по разным причинам она часто разъединяет, например, через трудности технологического подключения или ограничения пропускной способности. Эта проблема внутри тотальности (мезо-уровень) требует заполнения новыми объектами с макро-уровня (новая институциональная среда) и микро-уровня (инновационные технологии). При интеграции новых объектов происходит взаимная притирка ЕЭС и инновационных технологий и институтов, в ходе которых изменяется сущность ЕЭС, а технологии из нишевых решений приобретают статус всеобщего технологического стандарта.

Эмерджентность — если попытаться непредвзято посмотреть на ЕЭС не-человеческим взглядом, то достаточно четко видны следующие феномены: (а) поэтапно возрастающая агентность программ и механизмов; (б) постоянные усилия по сведению к минимуму «человеческого фактора» в ЕЭС, сначала исходя из требований безопасности человека, а потом исходя из необходимости ускорения активной адаптации сети. Все это выводит нас на тезис о доминировании не-человеческих объектов в современных ЕЭС, ведь развитие технологий привело к способности

объектов действовать без участия людей[14]. При этом многие группы людей в современном мире, напротив, являются исключёнными из капиталистического общества и не участвуют в важнейших практиках. Для больших технологических систем разработана теория техноценозов, постулирующая эволюционное развитие сообществ изделий[15]. Например, в ЕЭС совокупность техноценозов (энерго-ячейки, реклоузеры, smart-контракты, межмашинное взаимодействие и IoT) может стать агентом исторических изменений наряду с людьми[16].

Марксистское прочтение макро-трендов 3D (диджитализация, децентрализация, декарбонизация) может помочь в формировании вектора энергетического освобождения в XXI веке. С учетом распределенной агентности есть три объекта, претендующих на освобождение ЕЭС:

Распределенная генерация и микро-сети занимают маргинальное положение в доминирующей сборке, которая построена на централизации. В пользу того, что распределенная генерация и микро-сети являются потенциальным «желающими» объектами, свидетельствует тот факт, что они «выламываются» из ЕЭС, становятся «пассивными» с т.з. доминирующей пока сборки;

Водородные технологии, которые пока «пассивно» прячутся от традиционной ЕЭС за спинами ВИЭ и газотранспортной инфраструктуры, также могут привести к освобождению. В потенциале топливные элементы позволяют практически полностью отказаться от объекта-гегемона (ЛЭП);

«Негаватт» (negawatt) — является наиболее скрытым «желающим» объектом, который подразумевает всю совокупность технологических и организационных инноваций, нацеленных на минимизацию энергопотребления[17]. В эпоху антропоцена капиталистическая система переходит в стационарный режим (degrowth), при котором материальные потребности снижаются и виртуализируются[18]. Данные процессы могут отвратить человечество от энергетического эпикурейства и кардинально изменить общественно-полезную функцию ЕЭС.

Безусловно, все три исключенных объекта в той или иной мере воздействуют на ЕЭС, но диффузия новых технологий в доминирующую социально-технологическую систему занимает около 50 лет[19]. В условиях, когда потребители не готовы оплачивать одновременно капитальные и операционные затраты ЕЭС, а также научно-исследовательские и внедренческие издержки новых технологий, ведущая роль принадлежит правительству. Поэтому особенности процессов развития ЕЭС зависят от глобального и национальных образов жизни. Постиндустриальные державы — ЕС и США — используют борьбу с глобальным потеплением как драйвер для своего технологического развития. В процессе декарбонизации американской и европейской экономики ресурсы гибкости энергосистем становятся все более дефицитными, ценными и востребованными. Поэтому западные энергетики формируют дорожные

карты по повышению гибкости энергосистем, которые включают в себя эшелонированный комплекс технических и рыночных мероприятий. Необходимо учитывать, что трансформация энергосистем развитых стран осложняется тем, что электрические сети построены давно, настроены на индустриальную экономику и не учитывают экологические требования современности. Электросетевой комплекс ЕС и США, относящийся к 3-му и 4-му технологическим укладам, проявляет свою нечеловеческую агентность за счет того, что очень медленно переходит к smart grid, т.е. интегрирует информационные технологии (5-й технологический уклад). В условиях демократии и рыночной экономики возможности быстрого выбора и тиражирования той или иной новой технологии в качестве отраслевого стандарта сильно затруднены. Поэтому ВИЭ и микро-сети, развиваемые платежеспособными и технически продвинутыми потребителями, постепенно превращают национальные энергосистемы в сообщества автономных «энерго-блюдец»[\[20\]](#).



Линии электропередач, Фу Баоши

В отличие от США и ЕС, восточные страны используют свои преимущества в коллективной организации общества и разрабатывают оригинальные концепции развития энергетики, которые создают альтернативные источники гибкости энергосистемы. Так, например, Китай в полном соответствии с постулатами легизма разрабатывает концепцию «кибер-физически-социальных» сетей, которые объединяют в себе:

- три технологических передела, управляющие совокупными энергопотоками в различных физических формах (добыча и поставка первичной энергии, вторичное преобразование и транспортировка энергии, а также конечное энергопотребление);
- системы социальных рейтингов, контролирующие поведенческие паттерны граждан (системы тотального видеонаблюдения, общенациональные базы данных, алгоритмы скоринга граждан с применением искусственного интеллекта).

Поскольку индустриализация Китая прошла сравнительно недавно, практически все линии электропередачи являются более новыми по сравнению с западными аналогами. В рамках древнего противостояния между Севером и Югом власти Китая используют электрические сети как связующее звено между избыточным ВИЭ потенциалом северных провинций и энергоемкой промышленностью южных территорий.

Япония реализует свою концепцию «Общество 5.0», несущую в себе дух синтоизма и основанную на повсеместном внедрении кибер-физических систем, сочетании компактного и облачного искусственного интеллекта, а также использовании людей, роботов и IoT в качестве источников big data для тотальной оптимизации технологических и социальных процессов в стране. Оптимизация энергосистемы трактуется широко и во многом базируется на использовании водородных технологий как на стороне производства, так и в сфере потребления энергии. Дополнительно на скорость преобразований японской энергосистемы влияет более короткий цикл освоения новых технологических укладов (США — 55–60 лет, Китай — 60 лет, Япония — 20 лет)[\[21\]](#).

Выводы для России

На главную ошибку Карла Маркса указывал Йозеф Шумпетер, единственный экономист, применявший, как и Маркс, исторический подход к разработке экономической теории. По мнению Шумпетера, марксизм переоценил осознанность и мотивацию пролетариата: вместо того чтобы коллективно строить более справедливое общество, каждый представитель пролетарского класса был больше ориентирован на то, чтобы стать небольшим буржуа[\[22\]](#).

Пока США и Китай участвуют в гонке инноваций в процессе перехода к 6 технологическому укладу, Россия может реализовывать стратегию опережающего транзита к 7 социо-гуманитарному техноукладу[\[23\]](#). Согласно прогнозам В.Е. Лепского, в рамках данного техуклада будут использоваться «технологии производства» людей, способных без внешней стимуляции генерировать идеи, создавать их информационную упаковку и технологии реализации этих идей, превращать идеи в материальные продукты посредством новых технологий, организовывать условия жизни и формы сознания. Источник человеческой активности смещается от внешней (социальной, культурной, силовой) стимуляции внутрь сознания, к его активным,

волевым и творящим слоям. Это означает изменение концепции человека и очередной проект создания «нового человека», на этот раз нацеленный не на идеологию, а на технологию. Ключевая характеристика такого «нового человека» — способность порождать новые реальности (технологические, культурные, социальные)[24].

У России есть значительный потенциал для «освобождения» от ЕНЭС (большой потенциал ВИЭ и водородной энергетики, значительная по площади зона децентрализованного энергоснабжения, потребители, способные «затянуть пояса»), но его реализация затрудняется несоответствием субъектов развития масштабу существующих проблем[25]. Учитывая длительный цикл России в устойчивом овладении новыми технологическими укладами (80 лет), необходимо срочное введение НТИ 2.0 для выращивания российских субъектов развития.

[1] Жижек, С., Руда, Ф., Хамза, А. Читать Маркса / пер. с англ. Д. Кралечкина; под науч. ред. С. Щукиной; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. — 176 с.

[2] <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/philosophy/2012/02/2012-02-10.pdf>

[3] Грэм Харман Имматериализм. Объекты и социальная теория / Г. Харман; пер. с англ. А. Писарева. М.: Издательство Института Гайдара, 2018. — 152 с.

[4] <https://renen.ru/ob-energeticheskom-balanse/>

[5] Hughes T. P. The Evolution of Large Technological Systems // The Social Construction of Technological Systems. The MIT Press, 2012. P. 45–76.

[6] <https://medium.com/internet-of-energy/https-medium-com-p-74cacf568177>

[7] Широков А. А. Концепция больших технологических систем Томаса Хьюза — между технологическим детерминизмом и социальным конструктивизмом // Социология науки и технологий. 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-bolshih-tehnologicheskikh-sistem-tomasa-hyuza-mezhdu-tehnologicheskim-determinizmom-i-sotsialnym-konstruktivizmom>

[8] <https://foresight-journal.hse.ru/2010-4-4/27044644.html>

[9] Srinivasan R. Whose Global Village? Rethinking How Technology Shapes Our World. N.Y.: New York University Press, 2017.

[10] Ворожихин В. В. «Общество 5. 0» как ответ человечества на вызовы глобального развития // Россия: тенденции и перспективы развития. 2019. №14–1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obschestvo-5-0-kak-otvet-chelovechestva-na-vyzovy-globalnogo-razvitiya>

- [11] Лукьянов Анатолий Евгеньевич Философские прообразы «Китайской мечты» // Вестник РУДН. Серия: Философия. 2015. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/filosofskie-proobrazy-kitayskoy-mechty>
- [12] https://ssau.ru/files/resources/dis_protection/Sal%27nikova_A_A_Upravlenie_innovacionnymi_proektami.pdf
- [13] <http://theglobalgrid.info/>
- [14] Глобальное будущее 2045. Антропологический кризис. Конвергентные технологии. Трансгуманистические проекты. М.: Канон+, 2014. — 352 с.
- [15] <http://www.kudrinbi.ru/public/10091/index.htm>
- [16] <https://medium.com/internet-of-energy/87224da0b72b>
- [17] <https://www.renewableenergyworld.com/2014/11/23/whats-a-negawatt/#gref>
- [18] <https://www.degrowth.info/en/catalogue-entry/464077/>
- [19] https://econpapers.repec.org/article/eeeeenepol/v_3a38_3ay_3a2010_3ai_3a11_3ap_3a6586-6596.htm
- [20] <https://medium.com/internet-of-energy/89658815b4ce>
- [21] Космонавтика XXI века. Попытка прогноза развития до 2101 года. // Под ред. академика РАН Б. Е. Чертока. — М. Изд-во: РТСофт, 2011- 864 с.
- [22] Шумпетер Й. Десять великих экономистов от Маркса до Кейнса. — М.: Издательство Института Гайдара, 2011. — 416 с.
- [23] Филин С.А. Концепция технико-научно-технологических циклов // Региональная экономика: теория и практика. 2014. №45. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-tehniko-nauchno-tehnologicheskikh-tsiklov>
- [24] Бахтияров О. Люди новой воли: социогуманитарный уклад и его творцы // Развитие и экономика. 2012. № 3. С. 150–163.
- [25] Лешкевич Т. Г. Проблема субъектности и бессубъектное состояние России в контексте экономотцентричности современной эпохи // Научная мысль Кавказа. 2012. №2 (70). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-subektnosti-i-bessubektnoe-sostoyanie-rossii-v-kontekste-ekonomotsentrichnosti-sovremennoy-epohi>

Свежий ветер из «окна Овертона»

Пазл новой нормальности собирается вокруг целей декарбонизации

Дата: 11 июня

Авторы: Дмитрий Холкин, Игорь Чаусов

Только кризис — реальный или предполагаемый — вызывает реальные изменения. Когда происходит этот кризис, предпринимаемые действия зависят от идей, которые лежат вокруг.

Милтон Фридман

Идеи, подоспевшие к кризису

В 1947 году в швейцарской деревне Мон Пелерин был создан небольшой аналитический центр. Общество «Мон Пелерин» состояло из самопровозглашенных «неолибералов», таких как философ Фридрих Хайек и экономист Милтон Фридман.



Общество «Мон Пелерин»

В те дни, сразу после войны, большинство политиков и экономистов поддерживали идеи Джона Мейнарда Кейнса, британского экономиста и защитника сильного государства, высоких налогов и надежной системы социальной защиты. Неолибералы, напротив, опасались, что растущие государства возвестят новый тип тирании. И они восстали.

Члены Общества «Мон Пелерин» знали, что им предстоит долгий путь. Хайек отметил, что время, необходимое для того, чтобы новые идеи восторжествовали, «обычно составляет поколение или даже больше». Еще они знали, что реальные изменения вызываются кризисами. Когда происходит этот кризис, предпринимаемые действия зависят от идей, которые лежат вокруг. Тогда идеи, однажды отклоненные как нереальные или невозможные, могут запросто стать неизбежными.

И это именно то, что случилось. Во время кризисов 1970-х годов (экономический спад, инфляция и нефтяное эмбарго ОПЕК) неолiberaлы были готовы и ждали своего часа. Вместе они помогли ускорить трансформацию глобальной политики и экономики. Консервативные лидеры, такие как президент США Рональд Рейган и премьер-министр Великобритании Маргарет Тэтчер, приняли когда-то радикальные идеи Хайека и Фридмана, а со временем это сделали и их политические противники, такие как Билл Клинтон и Тони Блэр.

Вернемся в наше время — начало лета 2020 г. На дворе преотличный кризис. Писать о его перипетиях мы не будем, об этом сейчас говорит каждый. Куда более важно понять, какие окружающие нас идеи лягут в основу новой нормальности. На основе анализа множества выступлений и статей крупных аналитиков и экспертов можно увидеть, что новый смысловой пазл складывается всего из четырех фигур, четырех групп идей.

Фигура первая — новый экономический рост

По мнению *Petroleum Economist*, социально-экономическое влияние Covid-19 будет чрезвычайно высоким [\[1\]](#). Поддержка кризиса дорого обходится правительствам развитых стран — \$6,3 трлн для стран G20 по состоянию на 29 апреля. Инвестиции в стабильность происходят одновременно с тем, как правительства теряют значительные доходы в национальные бюджеты, приводя дефицит и заимствования к беспрецедентным в мирное время уровням. ВВП США сократился на 4,8% в первом квартале 2020 года, и ВТО ожидает общего снижения на 5,9% за весь 2020 год. Кроме того, ожидается, что ВВП Франции, Германии и Италии сократится соответственно на 7,2%, 7,0% и 9,1% в 2020 году. Экономический спад в Европе имеет такие темпы и масштабы, каких не наблюдалось со времен Второй мировой войны. Совокупный эффект может привести к повышению уровня самообеспеченности на местном и национальном уровнях и оставить на долгие годы заметный след в объемах мировой торговли. По оценкам ВТО, в 2020 году глобальная торговля сократится на 13–32%.



Строительство новой дороги в Теннесси в период Великой Депрессии, 1936 г.

The National по данному поводу вспоминает уроки истории XX века [\[2\]](#). Во время Великой Депрессии президент США Франклин Рузвельт поставил во главу угла программы «Новый курс» инфраструктуру и энергетику. Управление долины Теннесси, созданное в 1933 году, строило плотины и гидроэлектростанции на юго-востоке страны. Плотина Гувера на реке Колорадо, которая тогда была самой большой гидроэлектростанцией в мире, была закончена в 1936 году. Управление электрификации сельских районов, созданное в 1935 году, к моменту смерти г-на Рузвельта в 1945 году увеличило долю ферм с электричеством с 10% до 90%.

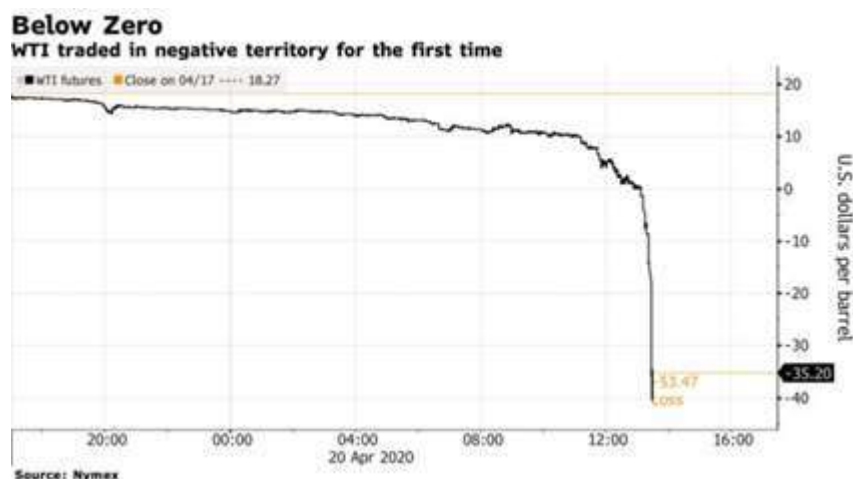
По мнению авторов The National, аналогичную роль могли бы исполнить национальные программы декарбонизации. Еще до коронавирусного кризиса были предложены две новые экологические инвестиционные программы: «Зеленый Новый курс», разработанный некоторыми членами Демократической партии в США, и Европейский «зеленый курс», призванный сделать Европейский Союз углеродно-нейтральным к 2050 году. В этой связи новые инфраструктуры для зарядки электромобилей, распределения водорода, улавливания углерода и высоковольтные континентальные суперсети становятся ключевыми компонентами нового экономического роста.

The Guardian представляет позиции по данному поводу в разных странах мира [\[3\]](#). Правительство Германии, например, призывает в рамках программы восстановления экономики инвестировать в будущие устойчивые рабочие места, которые сократят выбросы CO₂, а не вернуться к обычному бизнесу. А представитель регионального правительства Нового Южного Уэльса (Австралия) заявил, что его правительство будет рассматривать инициативы в области электроэнергетики после пандемии на основе

трех позиций: «Будут ли они обеспечивать декарбонизацию? Будут ли они предоставлять новые рабочие места? И смогут ли они обеспечить более быстрый экономический рост?»

Фигура вторая — нефть уступает лидерство

В мировой нефтегазовой отрасли после резкого снижения потребления нефти и газа и падения цен на них наступают времена медленного и неуверенного восстановления спроса. Международное энергетическое агентство ожидает снижения потребления природного газа в 2020 году на беспрецедентные в истории газового рынка 4% при спаде инвестиций в добычу на 50%. В 2021–2025 года темпы роста составят 1,5% в год — ниже, чем ожидавшийся до кризиса прирост в 1,8% в год [4]. Шоковое падение потребления нефти и цен на нее до средних значений ниже \$30 за баррель привели к тому, что в 2020 году доходы крупнейших нефтяных компаний упали на 50–85% по отношению к докризисному уровню [5]. Впервые в мировой истории в апреле 2020 года наблюдались отрицательные цены на нефть, связанные с риском переполнения нефтяных хранилищ и началом массового использования танкерного флота в качестве резервной инфраструктуры для хранения нефти [6].



Впервые в мировой истории в апреле 2020 года наблюдались отрицательные цены на нефть

IEA ожидает, что в среднем за 2020 год падение потребления нефти составит 9,3 млн баррелей в сутки, причем в апреле уровень потребления был таким же, как в 1995 году, и восстановление спроса не ожидается до конца года даже при самом оптимистичном сценарии [7]. С другой стороны, инвестиции в нефтегазовый сектор падали быстрее падения спроса, и, по мнению BloombergNEF, к концу года на рынке возможен резкий переход от нынешнего профицита в 17,3 млн баррелей в сутки к дефициту в размере 6,3 млн баррелей в сутки [8]. Эти прогнозы не добавляют рынку нефти ни стабильности, ни инвестиционной привлекательности. Еще более важным для будущего может оказаться переоценка инвестиционной привлекательности традиционной и новой энергетики. По оценке Wood Mackenzie, в силу снижения стоимости строительства объектов возобновляемой энергетики при цене нефти менее \$35 за баррель вложения

в них уже сегодня обеспечивают не меньшую отдачу, чем инвестиции в нефтегазовые проекты, и при этом сопряжены с меньшими рисками [\[9\]](#).

Фигура третья — потепление климата

Аналитики BloombergNEF исходят из того, что в начале 2020 года был достигнут беспрецедентный уровень консенсуса среди ученых, гражданского общества, финансового сообщества, корпораций, местных и национальных правительств, что движение к низкоуглеродной экономике является правильным направлением действий [\[10\]](#). Этот широкий консенсус — хотя и отнюдь не всеобщий — не исчез внезапно из-за появления глобальной угрозы иного рода. Они считают, что выход из Covid-19 будет форсировать некоторые процессы декарбонизации и децентрализации энергетики. Люди будут более требовательны к качественному воздуху. Некоторые начнут отдавать предпочтения использованию личных транспортных средств вместо общественного транспорта, и при этом будут готовы покупать электромобили. Вообще, пандемия сфокусировала умы на значении цифровизации во многих областях, включая здравоохранение, логистику и мониторинг инфраструктуры. Сохранение этого импульса по цифровизации в процессе восстановления может способствовать сокращению транспортных выбросов, загрязнения воздуха и нагрузки на транзитные сети в будущем.



Переломный момент в деле декарбонизации

Похожими размышлениями делятся аналитики The Economist [\[11\]](#). Международное энергетическое агентство ожидает, что глобальные промышленные выбросы парниковых газов будут примерно на 8% ниже в 2020 году, чем в 2019 году, что является крупнейшим ежегодным падением со времен Второй мировой войны. Это

падение раскрывает важнейшую правду о климатическом кризисе. Проблема слишком велика, чтобы ее можно было решить путем отказа от самолетов, поездов и автомобилей. Даже если люди претерпят огромные изменения в том, как они ведут свою жизнь, этот печальный эксперимент показал, что у мира все еще будет потребность сокращения выбросов на 90% для того, чтобы достичь целей Парижского соглашения.

По мнению The Economist, пандемия, показывая масштаб предстоящей проблемы, одновременно создает и уникальный шанс для принятия государственной политики, которая уводит экономику от углерода с меньшими финансовыми, социальными и политическими издержками, чем это могло бы быть в противном случае. Низкие цены на энергоносители облегчают сокращение субсидий на ископаемое топливо и введение налога на углерод. Доходы от этого налога в течение следующего десятилетия могут помочь восстановить пострадавшие государственные финансы. Предприятия, находящиеся в самом сердце экономики ископаемого топлива — нефтяные и газовые компании, производители стали, автопроизводители — уже переживают агонию сокращения своих долгосрочных мощностей и занятости. Возвращение экономики «из состояния медикаментозной комы на ноги» — это обстоятельство, специально созданное для инвестиций в благоприятную для климата инфраструктуру, которая стимулирует рост и создает новые рабочие места. Низкие процентные ставки делают затраты меньше, чем когда-либо.



Люди хотят чего-то лучшего

Оппозиция подталкивает свои правительства к более радикальным решениям. Например, The Guardian приводит мнение видного лейбориста Эда Милибэнда: «Я думаю, что мы должны стремиться к самому амбициозному плану восстановления

климата в мире. Это должно быть не что иное, как амбиции правительства. Старый аргумент, что вы можете иметь экономический успех или заботу об окружающей среде, просто полностью ошибочен». Он уверен, что его позиция отражает общественное настроение: «Да, люди хотят выйти из изоляции, как только это будет безопасно, но также, пройдя через то, через что они прошли, они хотят чего-то лучшего» [\[12\]](#).

Фигура четвертая — посткапиталистический порядок

NewStatesman собрал мнения ведущих экономистов по вопросам выхода из кризиса мира и Великобритании [\[13\]](#). Ими было отмечено, что закрытие обширных сфер глобальной экономики только сейчас (в период пандемии) позволяет достичь минимально необходимых темпов для достижения целевого показателя в 1,5°C. Это свидетельствует о масштабах структурной проблемы, с которой мы сталкиваемся в борьбе с климатическим кризисом и обеспечении устойчивого будущего для жителей этой планеты — особенно такого, которое является справедливым. Нынешнее сокращение выбросов обошлось огромной ценой: люди погибли и лишились средств к существованию, бизнес рухнул, и надвигается опустошительная глобальная рецессия.

Они считают, что системная трансформация требуемых масштабов — от расточительности и неравенства к устойчивости и общему процветанию — должна осуществляться под руководством государства и общественности и основываться на принципах демократической подотчетности. По их мнению, кризис ясно показал, что рынок сам по себе совершенно не способен обеспечить темпы, масштабы или степень координации, необходимые для решения сложных глобальных проблем, а частная промышленность не может противостоять серьезным потрясениям без решительной государственной поддержки.

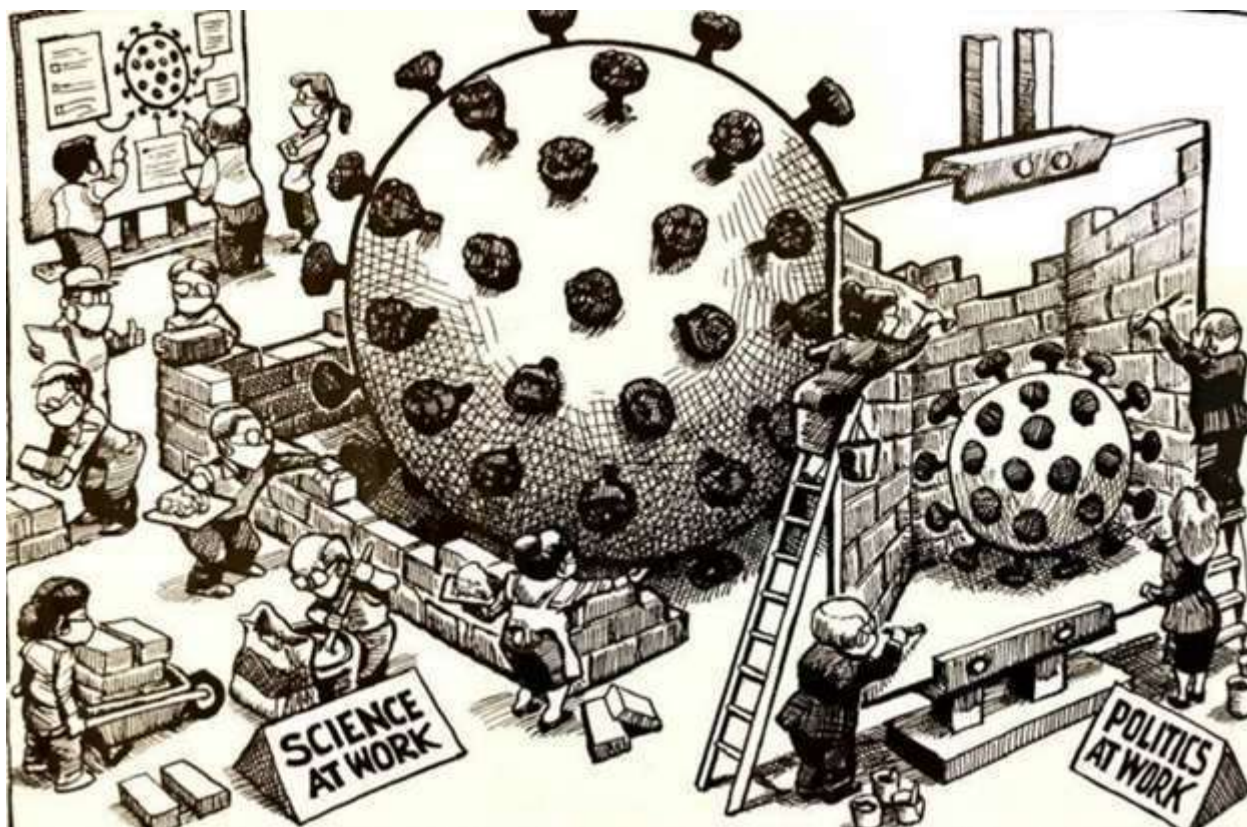


Левый интеллектуал Рутгер Брегман в *The Correspondent* обсуждает необходимость смены доминирующей идеологии и экономической модели западного мира [14]. Если и была одна догма, которая определяла неолиберализм, то это то, что большинство людей эгоистичны. И именно из этого циничного взгляда на человеческую природу вытекали все остальные — приватизация, растущее неравенство, эрозия общественной сферы. Теперь открылось пространство для иного, более реалистичного взгляда на человеческую природу: чтобы человечество развивалось к сотрудничеству. Именно из этого убеждения может последовать все остальное — правительство, основанное на доверии, налоговая система, основанная на солидарности, и устойчивые инвестиции, необходимые для обеспечения нашего будущего. И все это как раз вовремя, чтобы подготовиться к самому большому испытанию этого века, нашей пандемии в замедленном движении — изменению климата.

Окно возможностей

Из этих фигур собирается новый пазл, одна фигура другую цепляет и удачно сочетается. Пандемия с ее самоизоляцией и замедлением производственно-экономических процессов приводит к новой Великой депрессии. Выход из неё связывают с масштабными инвестициями в борьбу с потеплением климата, благо что нефтегазовый рынок — последний оплот сырьевой экономики, раздираемый внутренней конкуренцией при снижающемся спросе, — начинает «сыпаться» и уступать место новой энергетике. Решение глобальных проблем, таких как пандемия или потепление климата, безуспешно или малоэффективно в институциональном и идеологическом контексте неолиберализма. А значит, могут оказаться востребованными новые формы социальной деятельности, построенные на принципах посткапитализма. Что интересно — главной идеей смыслового пазла нашего времени является декарбонизация. Для России, как и для любого другого субъекта мировой политики и экономики, этот пазл является новым окном возможностей.

Был такой неолиберал, американский электроинженер и юрист, Джозеф Овертон. И его интересовал вопрос о том, как немыслимые вещи со временем становятся неизбежными. Его имя сохранилось в истории благодаря понятию «окно Овертона», которое было им введено в рамках неких политических исследований. Идеи, которые попадают в это окно, являются тем, что считается «приемлемым» или даже «популярным» в текущий момент времени. Если вы политик, который хочет быть переизбранным, вам лучше оставаться в этом окне. Но если вы хотите изменить мир, вам нужно сдвинуть окно. Как? Толкая его по краям, выглядя неразумным, невыносимым и нереалистичным.



Каждый по своему пользуется окном возможностей

А что делать, когда «окно Овертона» только что сдвинулось, и из него подул свежий ветер? Продолжать тянуть его в свою сторону или воспользоваться новыми возможностями?

P.S.

Главное, чтобы не получилось, как в старом анекдоте.

Из окна дуло. Штирлиц закрыл окно. Дуло исчезло.

[1] <https://www.petroleum-economist.com/articles/low-carbon-energy/energy-transition/2020/like-a-bat-out-of-hell-part-one-energy-implications>

[2] https://www.thenational.ae/business/comment/investing-in-energy-and-projects-helped-pave-the-way-out-of-the-great-depression-it-can-now-help-build-a-greener-world-1.1014159?utm_source=telegram.me&utm_medium=social&utm_campaign=www.thenational.ae-business-comm

[3] https://www.theguardian.com/australia-news/2020/may/14/seizing-the-moment-how-australia-can-build-a-green-economy-from-the-covid-19-wreckage?utm_term=Autofeed&CMP=tw_tgu&utm_medium&utm_source=Twitter#Echobox=1589392734

[4] <https://www.iea.org/reports/gas-2020/2021-2025-rebound-and-beyond#abstract>

- [5] <https://www.iea.org/articles/energy-market-turmoil-deepens-challenges-for-many-major-oil-and-gas-exporters>
- [6] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-04-19/oil-drops-to-18-year-low-on-global-demand-crunch-storage-woes>
- [7] <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-april-2020>
- [8] <https://about.bnef.com/blog/oil-markets-start-to-recover-may-tilt-into-deficit-in-2h/>
- [9] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/oil-price-means-renewables-are-a-better-investment-for-the-majors>
- [10] <https://about.bnef.com/blog/cheung-covid-19-and-the-energy-transition-our-greatest-decade-awaits/>
- [11] <https://www.economist.com/leaders/2020/05/21/countries-should-seize-the-moment-to-flatten-the-climate-curve>
- [12] <https://www.theguardian.com/environment/2020/may/17/labour-to-plan-green-economic-rescue-from-coronavirus-crisis>
- [13] <https://www.newstatesman.com/politics/economy/2020/05/top-economists-warn-uk-not-repeat-austerity-after-covid-19-crisis>
- [14] <https://thecorrespondent.com/466/the-neoliberal-era-is-ending-what-comes-next/61655148676-a00ee89a>

Калифорния: форвард «зеленой» энергетики или страшная сказка?

Как один из самых передовых в части «зеленой» энергетики регионов мира преодолевает сложности трансформации отрасли

Дата: 2 сентября

Автор: Дмитрий Холкин

В зависимости от того, кого вы спросите, Калифорния является или лидером в области чистой энергии, или предостерегающей страшной сказкой. Перебои в подаче электроэнергии в августе вызвали резкую критику со стороны республиканцев и Белого дома. «В Калифорнии, — написал Дональд Трамп в своем твиттере, — демократы намеренно ввели веерные отключения электричества, заставляя американцев оставаться в темноте».



В Калифорнии на территории ветропарка системного оператора CAISO строят систему накопления мощностью 70 МВт, подключенную непосредственно к электросети

«Золотой штат» долгое время был главным испытательным полигоном Америки для «зеленых» компаний. Калифорнийцы покупают половину всех электромобилей, продаваемых в Америке. Это самый большой рынок солнечной энергии в стране. Поскольку Калифорния имеет дело с тепловыми волнами, регулярными лесными пожарами и при этом поставила своей целью достижение безуглеродности электричества к 2045 году, потребность в надежной электросети становится все более

очевидной. И удовлетворению этой потребности отнюдь не способствуют ни введенная в прошлом году практика превентивных веерных отключений потребителей для предупреждения лесных пожаров, ни продолжающийся кризис с банкротством PG&E — одной из крупнейших энергоснабжающих компаний штата.

Нынешний энергетический кризис в Калифорнии имеет несколько причин. Например, в последние годы были выведены из эксплуатации газовые электростанции суммарной мощностью 9 ГВт (этого достаточно для обеспечения электроэнергией 6,8 млн домов). За тот же период в электрическую сеть штата было интегрировано солнечной энергии на общую мощность больше этих 9 ГВт, которая без достаточного количества аккумуляторов менее надежна, чем энергия, полученная из ископаемого топлива.

Из-за аномальной жары в августе жители Калифорнии стали значительно больше пользоваться кондиционерами. Обычно спрос на электричество возрастает ближе к вечеру, когда выработка солнечной энергии падает. Очевидно, что в данной ситуации необходимы батареи, которые смогут накапливать избыточную солнечную энергию и снижать нагрузку на систему, в том числе в ночное время.

По оценкам оператора электрической сети Калифорнии, для хранения достаточного количества возобновляемой энергии потребуется порядка 12 ГВт аккумуляторов, чтобы поддерживать баланс между спросом и предложением. Это огромный скачок по сравнению с текущей ситуацией: по данным на конец 2019 года общая мощность работающих во всем штате батарей составляет всего 500 МВт. При стоимости на единицу энергии около \$400 за кВт·ч и использовании «четырёхчасовых» батарей, проект усовершенствования энергосистемы Калифорнии может обойтись штату почти в \$19 млрд.

А какие на практике реализуются решения в сложившейся ситуации?

Государственные регуляторы обязали коммунальные службы и энергоснабжающие компании закупить дополнительные 3,3 ГВт мощности, включая гигантские батареи, которые заряжаются при избытке энергии и могут продавать электроэнергию обратно в сеть.

19 августа Is Power, электроэнергетическая компания, поддерживаемая частными инвестициями, представила проект хранения мощностью 250 МВт в Сан-Диего, крупнейший в своем роде в Америке.

В июле власти города Монтерей заявили, что Vistra Energy, дочерняя компания Texas Power Company, может построить до 1,2 ГВт систем накопления энергии.

Новый мандат калифорнийских регуляторов требует, чтобы новые дома устанавливали солнечные панели на своих крышах с этого года. Sunrun, лидер рынка солнечной энергетики, все чаще связывает такие установки с батареями. Например, в июле

компания выиграла контракты с поставщиками энергии в районе залива Сан-Франциско на установку 13 МВт солнечных панелей и батарей. Они могут снабжать электроэнергией жителей во время отключения электроэнергии или подавать электроэнергию в сеть, чтобы помочь удовлетворить пиковый спрос.

Еще один способ предотвратить перебои — это обуздать спрос. Enel, европейская энергетическая компания, имеет контракты с местными коммунальными службами для работы с крупными коммерческими и промышленными клиентами. Когда спрос растет, Enel платит клиентам за снижение энергопотребления, ослабляя спрос на энергосистему. Компания под названием OhmConnect предлагает подобный сервис для домовладельцев.

Всего этого пока недостаточно для того, чтобы обеспечить надежность энергоснабжения потребителей. По этой причине 1 сентября калифорнийские регуляторы проголосовали за то, чтобы отложить вывод из эксплуатации четырех газовых электростанций.

Какой урок можно извлечь из данной истории для России? Во-первых, даже самые передовые регионы мира, реализующие «зеленую» политику, не преодолели порога новой системной сложности, связанной с переходом к возобновляемой распределенной энергетике. Будут востребованы новые подходы к архитектурной организации энергосистем, а также новые методы и средства технологического и коммерческого управления. Во-вторых, последователям «пионеров» будет проще принимать рациональные решения по трансформации энергетики, если систематически изучать проблемные кейсы и извлекать из них практические знания. В-третьих, имеет смысл целенаправленно сделать какой-либо из южных регионов России масштабным испытательным полигоном новой энергетики. Это позволит развивать собственные технологии и практики, формировать производственный и инжиниринговый потенциал для масштабного и сбалансированного применения новых технологий в России, а также для наращивания высокотехнологичного экспорта.

По материалам:

1. <https://www.economist.com/business/2020/08/29/businesses-compete-to-battle-californias-blackouts>
2. <https://coal-liza.livejournal.com/83707.html>
3. <https://medium.com/internet-of-energy/845c8ec78328>

ГИБКОСТЬ

1 + 1 > 2: нелинейные эффекты новой энергетики

Новые рецепты по эффективному планированию и использованию распределенных источников энергии и гибкости

Дата: 15 января

Автор: Игорь Чаусов

Массовое распространение распределенных источников энергии и гибкости в современных энергосистемах делает чрезвычайно актуальным вопрос о максимально полезном использовании этих источников не только в интересах их владельцев, но и для повышения эффективности работы энергосистемы в целом.

На примере США видно, что распределенные источники энергии и гибкости могут обеспечить огромный ресурс для управления энергосистемой. По оценкам Wood Mackenzie, совокупный ресурс энергетической гибкости, который смогут обеспечить энергосистеме США такие устройства у потребителей («за счетчиком»), как «умные» термостаты, электромобили, накопители электроэнергии, бытовые насосы и кондиционеры, к 2023 г. составит почти 90 ГВт [1]. В получение доступа к этим ресурсам, по данным Navigant Research, в рамках различных программ вовлечения конечных потребителей в управление энергосистемой (DSM) энергоснабжающие компании в ближайшие 5 лет вложат более \$1 млрд [2].

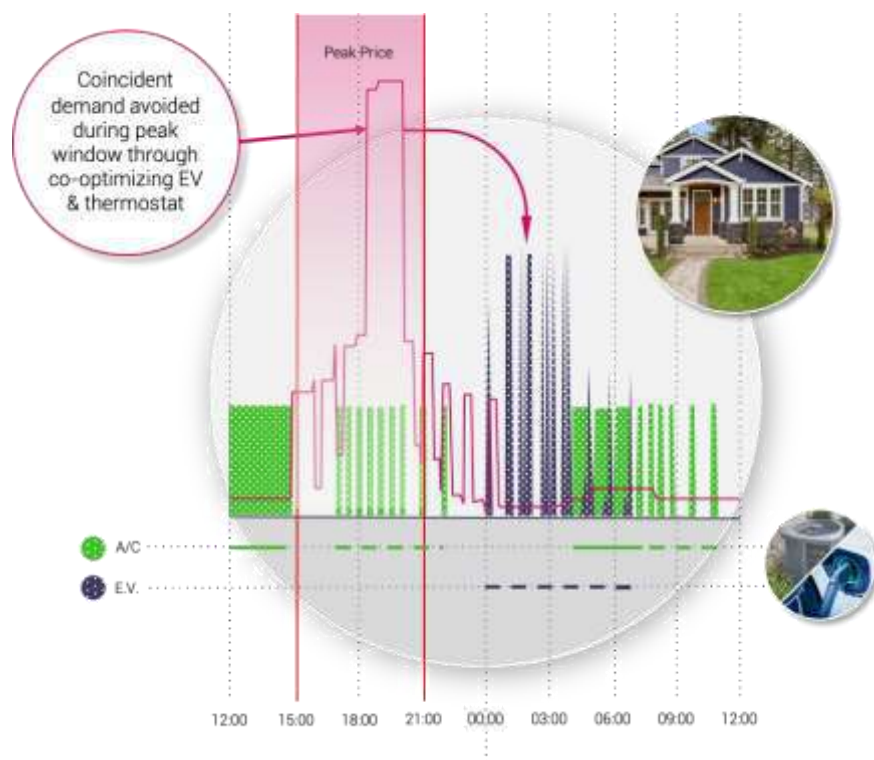


Прогноз совокупного ресурса энергетической гибкости на стороне конечных потребителей в США. Источник: Wood Mackenzie

Основным источником экономических эффектов и для потребителей, и для энергосистемы на этом рынке станет многофункциональное использование источников гибкости, при котором один и тот же источник гибкости одновременно используется на различных рынках для получения суммирующихся полезных эффектов. Такая тактика применения источников гибкости называется Smart Electric Power Alliance (SEPA) стэкингом, или суммированием ценности, и существенно улучшает экономику использования и возвратность инвестиций в новые энергетические активы у потребителей.

О возможностях и перспективности многофункционального применения систем накопления электроэнергии с получением именно этого нелинейного эффекта суммирования ценности в условиях российских рынков мы писали в докладе [«Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры»](#).

Показательным примером эффекта суммирования ценности, который приводится в работах SEPA, является совместная программа по интегрированному управлению энергопотреблением домохозяйств, которую предлагают сбытовая компания Indiana Michigan Power и стартап Tendril в Индиане и Мичигане. Управление одними и теми же системами кондиционирования (HVAC) позволяет на 80% снизить пиковое потребление мощности в рамках практики управления спросом (DR) и на 50% сократить время работы этих систем в рамках практики повышения энергоэффективности.



Интегрированное управление энергопотреблением термостатов и зарядкой электромобиля.

Источник: SEPA

Оригинальная мысль специалистов SEPA, которую они показывают на примере работы различных энергоснабжающих компаний, состоит в том, что описанный стэкинг (суммирование ценности) необходимо учитывать в бизнес-моделях энергоснабжающих компаний и агрегаторов управления спросом, причем как при формировании тарифных планов и кастомизации работы с потребителями, так и при планировании финансирования программ по вовлечению ресурсов гибкости, размещенных у конечных потребителей, в управление энергосистемами.

Более того, SEPA предлагает распространить учет нелинейных эффектов применения распределенных источников энергии и гибкости на практику планирования развития электрических сетей и сетевого строительства и пересмотреть устоявшуюся линейную модель такого планирования. Традиционная модель предполагает последовательное прогнозирование потребления электроэнергии и мощности из сети с учетом прогнозируемой выработки на базе распределенных ВИЭ, оценку имеющихся возможностей сети, определение потребности в ее развитии, ремонтах и модернизации, и, наконец, планирование конкретных мероприятий и технических воздействий.

В качестве альтернативы SEPA предлагает нелинейную, циклическую модель планирования развития сети, которая предполагает активное вовлечение энергоснабжающих компаний и даже конечных потребителей в процесс планирования в качестве стейкхолдеров, учет которых и предварительные договоренности с которыми позволяют существенно уменьшить потребность в инвестициях на стороне сети и увеличить эффективность использования планируемых к вводу или модернизации сетевых мощностей [3].



Циклическая модель планирования развития электрической сети. Источник: SEPA

В рамках этой циклической модели должен быть обеспечен двусторонний информационный обмен между сетевой компанией, энергоснабжающими компаниями и потребителями, на основе которого формируется уточненный прогноз потребления из сети и нагрузок на сеть. На основе этого прогноза ведется оценка сетевых возможностей, и далее при определении «узких мест» в сети и необходимых мер по ее развитию ведется учет возможностей по снижению нагрузки на сеть за счет решений на стороне потребителей (от управления спросом до собственной генерации). На основе такого анализа, который может включать и предварительные договоренности с энергоснабжающими компаниями, муниципалитетами или операторами микрогридов, составляется план мероприятий по развитию как сети, так и энергетических ресурсов потребителей, который затем превращается в запросы предложений со стороны инжиниринговых компаний. Выбранные проекты, совмещающие меры на стороне сети и на стороне потребителей, в конечном счете формируют бюджет и контрактную схему инвестиционного цикла.

Реализация описанного подхода в США требует развития нормативно-правовой базы работы сетевых компаний, и в настоящее время идет активная работа по разработке этой базы для Округа Колумбия как пилотной территории, в рамках которой этот подход будет апробирован в деятельности местной сетевой компании Potomac Electric Power (Pepco) [4].

[1] <https://sepapower.org/knowledge/maximizing-value-from-ders-through-value-stacking/>

[2] <https://www.navigantresearch.com/reports/bring-your-own-device-dsm-programs-for-utilities-and-retail-energy-suppliers>

[3] <https://sepapower.org/knowledge/proposing-a-new-distribution-system-planning-model/>

[4] <https://www.utilitydive.com/news/dc-regulators-should-direct-pepco-to-consider-non-wires-grid-solutions-sep/556034/>

Новые доклады IRENA: модель рынка для раскрытия потенциала энергетической гибкости

IRENA и IEA разработали классификацию энергетической гибкости и модель энергетического рынка для раскрытия ее потенциала

Дата: 15 января

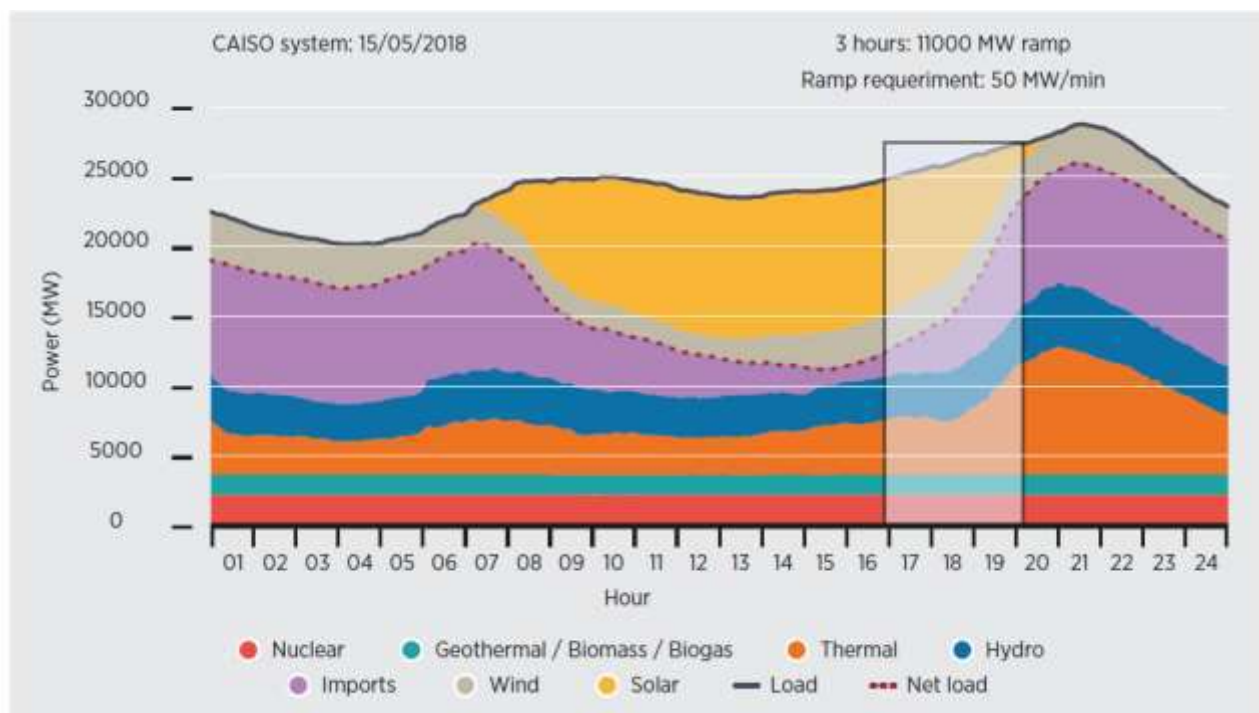
Автор: Игорь Чаусов

Насколько большими являются ресурсы энергетической гибкости в мировой энергетике? В какой степени они уже раскрыты и задействованы, а в какой остаются скрытыми и не используются? Ответы на эти вопросы в части гибкости, ресурсы которой размещены у конечных потребителей электроэнергии и тепла, в конце 2019 года дали IEA и IRENA, разработав первую версию теоретической базы и классификации энергетической гибкости.

Энергетическая гибкость на стороне потребителей, согласно определению IEA и IRENA, — это та часть спроса на электроэнергию (потребления электроэнергии), которая может быть снижена, увеличена или сдвинута на заданный временной промежуток без ограничения той полезной функции, ради которой потребитель использует электроэнергию [\[1\]](#). При этом определяются три типа целей, в которых используется ресурс энергетической гибкости:

- эффективная интеграция переменных ВИЭ в энергосистему,
- снижение пиковых нагрузок на энергосистему и сезонной зависимости этих нагрузок,
- снижение цен на электроэнергию и мощность.

По оценкам IEA, в 2019 г. совокупный ресурс энергетической гибкости составил 457 ГВт (4000 ТВт·ч при пересчете на потребление), из которых в настоящее время используется (управляется) всего лишь 9%. К 2040 г. IEA ожидает прирост ресурса гибкости до 800 ГВт (7000 ТВт·ч) за счет массового распространения электротранспорта, систем накопления электроэнергии, практик power-to-hydrogen, управляемой нагрузки. Из них будут использоваться уже более 25% — за счет роста рынков гибкости, таких как рынок управления спросом, и увеличения числа бизнес-практик, связанных с торговлей гибкостью [\[2\]](#).

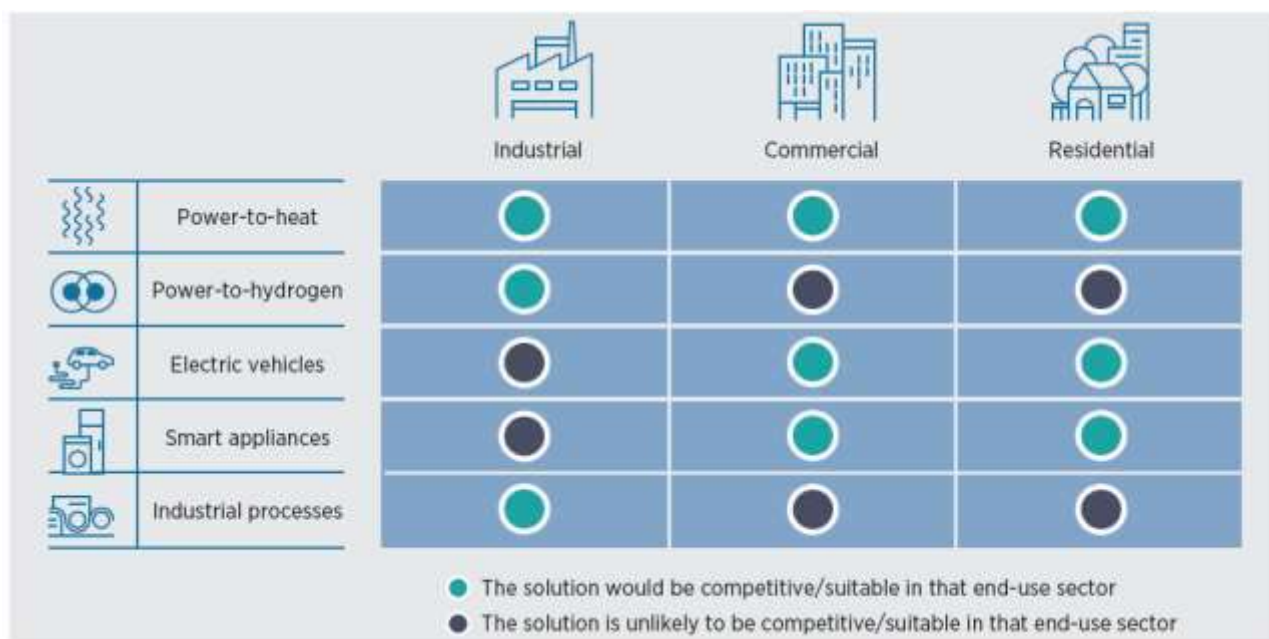


Суточный профиль генерации и потребления электроэнергии в Калифорнии 15 мая 2018 года.
Источники: CAISO, IRENA

Потребность в гибкости IRENA демонстрирует на хрестоматийном примере «калифорнийской утки», но с актуальными данными CAISO для одного дня 2018 года: общая потребность регулировочных мощностей в Калифорнии в течение трех вечерних часов с 16:30 до 19:30 составляет 11 ГВт, и при этом скорость набора мощности ими должна быть не менее 50 МВт в минуту.

Ресурс энергетической гибкости, согласно IRENA, распределен между промышленными, коммерческими и частными потребителями, и его можно классифицировать по пяти типам источников:

- Электрификация тепловой энергетики и накопление тепла (power-to-heat);
- Получение, накопление, транспортировка и использование водорода (power-to-hydrogen);
- Пассажирский и грузовой электрический транспорт;
- «Умные» электроприборы и гаджеты;
- Интеллектуальное управление индустриальными процессами.



Матрица типов источников гибкости и типов потребителей, у которых они могут быть размещены. Зеленые кружки — ресурс гибкости есть у потребителя, синие кружки — ресурса гибкости, как правило, нет у потребителя. Источник: IRENA

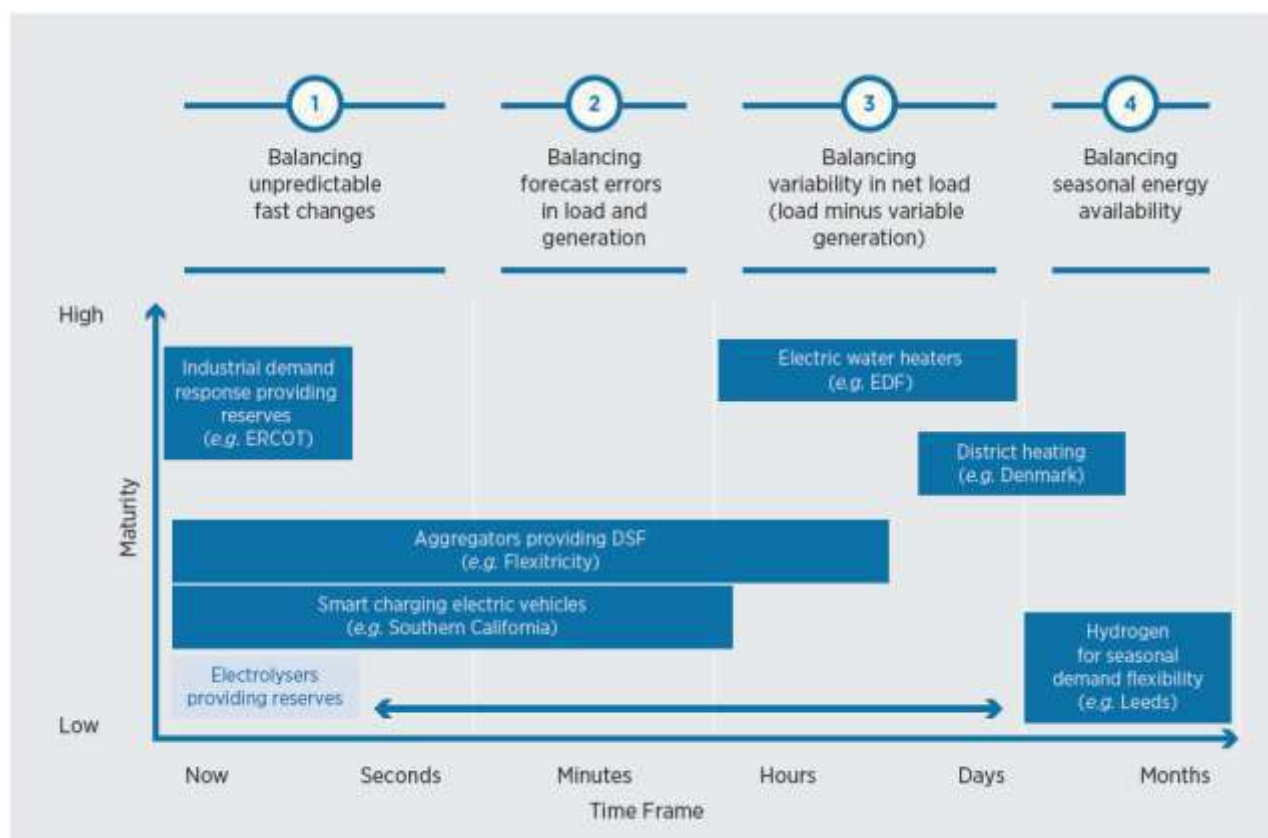
IRENA также вводит четыре характерных режима времени, в которых различные типы источников могут предоставлять энергетическую гибкость:

Балансирование быстрых непрогнозируемых изменений соотношения генерации и потребления — в пределах секунд;

Балансирование ошибок прогнозирования спроса и предложения — в пределах минут;

Балансирование вариабельности общего потребления из сети (потребление за вычетом вариабельной генерации) — в пределах часов и дней;

Балансирование сезонных изменений потребления и доступности электроэнергии — в пределах месяцев.



Характерные времена, на которых обеспечивается предоставление ресурса гибкости. Источник: IRENA

Чрезвычайно большую роль в раскрытии не используемого сейчас ресурса гибкости, наравне с новыми технологиями и новыми бизнес-моделями, IRENA определяет за новой конструкцией электроэнергетического рынка, структура которого должна быть оптимизирована для того, чтобы получить максимальную пользу и собрать как можно больше эффектов от применения распределенных источников энергии и гибкости. Для этого IRENA предлагает ввести двухсоставную модель рынка с долгосрочной компонентой — «рынком энергии» — и краткосрочной компонентой — «рынком доставки» [\[3\]](#).

«Рынок энергии» в рамках этой модели по назначению близок к российскому рынку мощности и необходим для надежного удовлетворения спроса на электроэнергию в долгосрочной перспективе на основе аукционов, учитывающих прогнозы роста электропотребления. Этот рынок обеспечит защищенность инвестиций и снижение стоимости капитала за счет сокращения величины инвестиционных рисков и позволит осуществлять стратегическое планирование развития ВИЭ, соотношения централизованной и распределенной генерации, а также максимизировать социальные эффекты (сокращение эмиссии, создание рабочих мест) от развития энергетики.

«Рынок доставки», напротив, должен быть основан на краткосрочных контрактах и представляет собой развитие рынка на сутки вперед в сторону рынка реального

времени, ориентированного на торговлю как электроэнергией, так и гибкостью как особым товаром между распределенными источниками и распределенными же потребителями. Модель предполагает, что на этом рынке будут допустимы очень существенные колебания цен, а также «отрицательные цены» на электроэнергию. Игроками на этом рынке должны быть все виды распределенных энергетических ресурсов, накопители электроэнергии, активные потребители, просьюмеры, агрегаторы, виртуальные электростанции и все другие субъекты новой энергетики.

Российской энергетике в рамках продолжающегося регуляторного эксперимента по работе агрегаторов управления спросом предстоит дать свой ответ на вопрос о том, какой должна быть целевая модель рынка, позволяющего вовлекать ресурсы энергетической гибкости конечных потребителей, — рынка управления спросом. Эта модель должна позволить раскрыть, как минимум, тот потенциал в 4–6 ГВт управляемого спроса, который отмечен в нашем докладе [«Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности»](#).

[1] <https://www.irena.org/publications/2019/Dec/Demand-side-flexibility-for-power-sector-transformation>

[2] <https://www.iea.org/reports/status-of-power-system-transformation-2019>

[3] <https://www.irena.org/publications/2020/Jan/IRENA-Power-system-structures>

Тотальная электрификация, новый подход к надежности, больше гибкости

Новый доклад Wood Mackenzie подводит ключевые итоги 2019 года и определяет главные тренды на ближайшее будущее

Дата: 20 января

Автор: Игорь Чаусов

В новом докладе аналитическое агентство Wood Mackenzie [\[1\]](#) рассматривает итоги 2019 года и рассуждает о том, какие тренды проявились в ушедшем году и какие надолго определяют развитие энергетики.



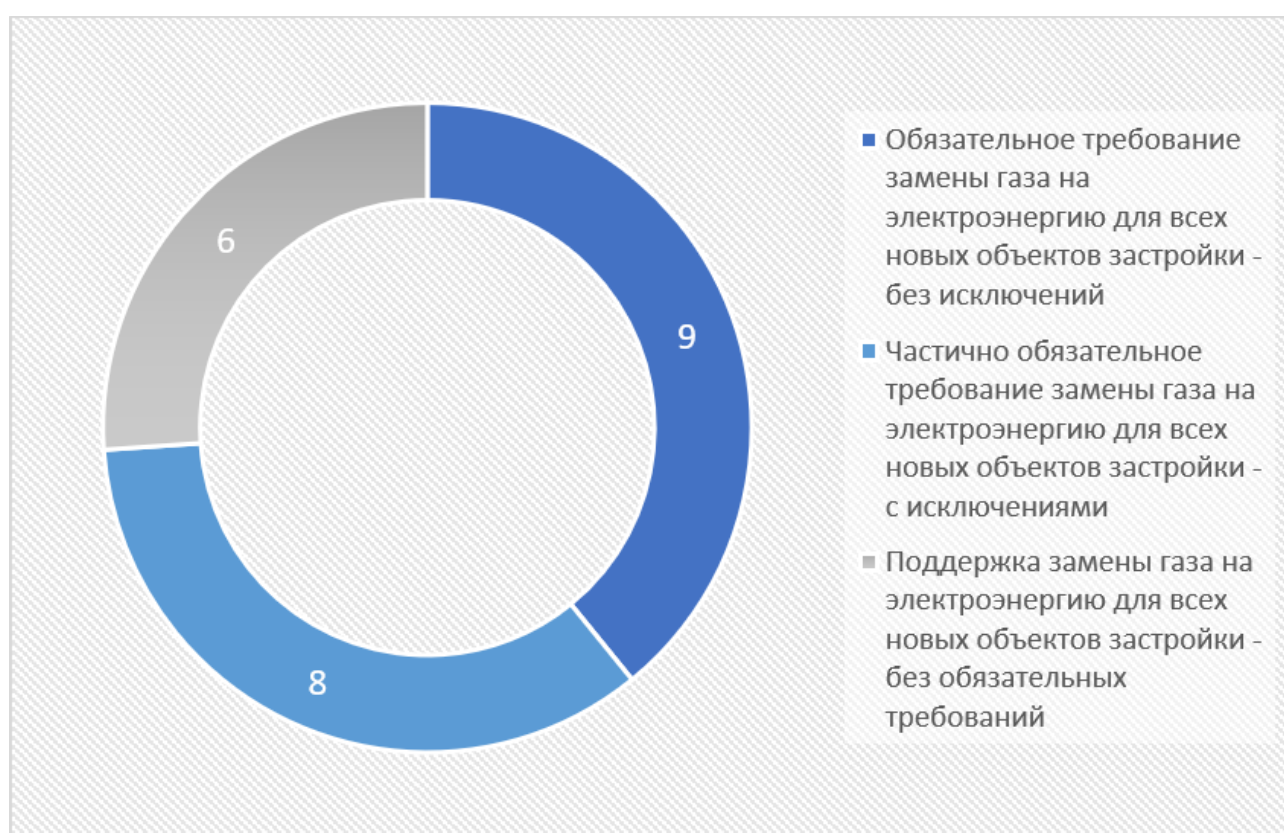
1. Успехи электротранспорта значительнее, чем можно было ожидать

В 2019 году по всему миру было установлено 4,8 млн новых зарядок для электротранспорта, и к 2025 году ожидается, что их число увеличится еще на 18,3 млн зарядных станций. Количество электромобилей в 2020 году должно превысить 38 миллионов, что, впрочем, по-прежнему составляет всего лишь 3% от общего числа автомобилей на планете [\[2\]](#). И тем не менее, быстрый рост числа электромобилей — один из ключевых трендов, меняющих электроэнергетику. Это одновременно и вызов, особенно с точки зрения роста потребности в мощности, и возможность, поскольку электромобили и «умные» зарядные станции приносят в энергосистемы дополнительную гибкость.

Самые крупные успехи в распространении электромобилей ожидаются в Китае: этот рынок к 2025 году может достичь доли в 50% от мирового.

2. Тотальная электрификация недвижимости

Новый значимый тренд, идущий в контексте декарбонизации, — отказ от использования природного газа для отопления и тотальная электрификация всех энергетических нужд зданий и сооружений. 23 города в США в декабре 2019 года приняли в той или иной форме правила, ужесточающие политику по потреблению природного газа для отопления зданий или вводящие требования к полной электрификации зданий без возможности использовать природный газ для отопления.



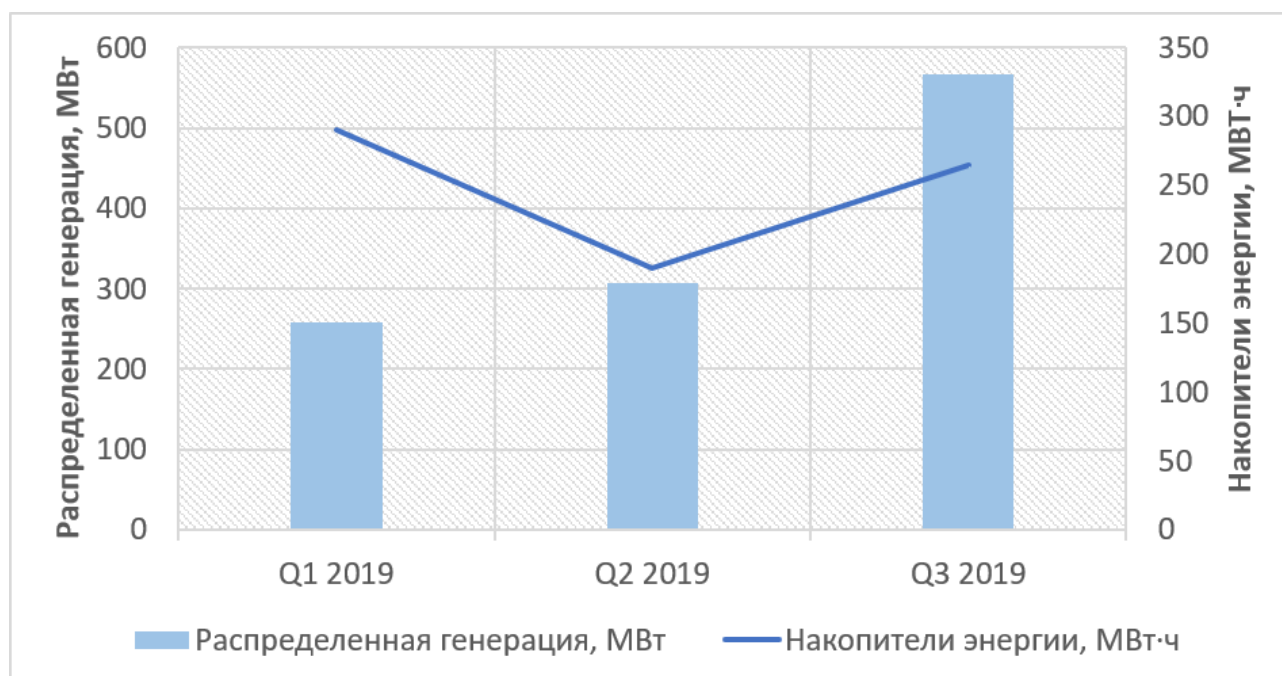
Число городов в Калифорнии, в которых в 2019 году введены требования или меры поддержки по замене использования природного газа на электроэнергию на объектах недвижимости.

Источник: Wood Mackenzie

На примере опыта штата Нью-Йорк в части электрификации отопления и отказа от природного газа и споров между правительством штата и газовым монополистом National Grid можно сказать, что успехи в декарбонизации строительного сектора и новой недвижимости будут напрямую зависеть от того, насколько развитой и гибкой будет сеть распределенных источников генерации и накопителей энергии и от того, насколько этому будет способствовать политика газовых компаний.

3. Забытая надежность выходит на первый план

Крупные системные аварии в Калифорнии, Англии и Уэльсе, Австралии во второй половине 2019 года, значительная часть которых была связана с крупными лесными пожарами, все больше наводит потребителей на мысль о том, что в условиях энергетического перехода о надежности забывать нельзя и за нее нужно платить, но не очевидно, что сетям. Крупные промышленные и коммерческие потребители ищут решения по обеспечению бесперебойности электроснабжения, не связанные с подключением к сетям, и все больше находят их на стороне распределенной генерации, накопителей энергии и микрогридов. В США страхи потребителей относительно способности сетей обеспечить надежность энергоснабжения особенно сильно подогрело историческое банкротство PG&E.



Ввод новых мощностей в сфере распределенной генерации (МВт) и накопителей энергии (МВт·ч) по кварталам 2019 года в США. Источник: Wood Mackenzie

Поэтому Wood Mackenzie ожидает, что на Западном побережье доля микрогридов в новых вводимых энергетических мощностях вырастет с нынешних 13% до 25% уже к 2021 году. При этом американский рынок микрогридов в 2019 году составил 553 МВт [\[3\]](#).

4. Управление спросом приобретает новые роли

Управление спросом оказывается все более полезным и значимым ресурсом, причем не только в рамках задачи «срезания пиков» и снижения цен на электроэнергию. Новую роль управление спросом и другие ресурсы гибкости приобретают в задачах резервирования энергосистемы на случай различных аварийных событий, экстремальной и аномальной погоды и других событий, в которых задачей управления

спросом становится поддержание надежности и работоспособности энергосистемы тогда, когда сети и традиционная генерация не готовы справиться с этой задачей.

Например, 2 октября 2019 года из-за сочетания аномальной высокой температуры воздуха во многих штатах, плановых ремонтных работ в межсезонье и ряда аварийных событий с оборудованием в сетях спрос на управление спросом на рынке PJM превысил 395 МВт, в том числе в непииковые часы. Более того, все более значимым становится ресурс долгосрочного управления спросом с возможностью снижения нагрузки на многие часы и даже дни.

5. «Умные» нагрузки становятся главным ресурсом гибкости

Чрезвычайно обнадеживающие результаты по созданию новых ресурсов гибкости показали различные опыты с интеллектуальным управлением водонагревателями и термостатами. Особенно значимым оказалось то, что дополнительное оборудование, включающее только систему управления и набор интерфейсов, позволяет сделать «умными» широкий класс уже установленных водонагревателей, не имевших до этого возможности быть «гибкой нагрузкой».

Требование к наличию удаленного интеллектуального управления у электрических приборов, обладающих потенциалом гибкости, таких как термостаты, выходит в США уже на законодательный уровень штатов. В Вашингтоне соответствующее законодательство, как ожидается, будет принято к 2022 году.

6. Переменные успехи распределенной энергетики как альтернативы сетям

Распределенная энергетика по-прежнему выступает альтернативой инвестициям в развитие распределительных сетей с большим трудом, и удачные кейсы, в которых новых энергетическим решениям удалось показать большую инвестиционную привлекательность, чем мероприятиям по развитию сетей, даже в США исчисляются десятками, что существенно меньше, чем число проектов по сетевому строительству. По оценкам Wood Mackenzie, количество таких кейсов в 2019 году уменьшилось с 98 до 54 в сравнении с 2018 годом, но должно вырасти в следующем году. Тем не менее, все большее число энергоснабжающих компаний рассматривают распределенную энергетику как альтернативу сетевому строительству: например, в штате Нью-Йорк в 2020 году появятся согласованные между энергоснабжающими компаниями штата двухлетние Планы внедрения распределенной энергетики.

7. Электрификация и управление энергетической гибкостью будут главными трендами 2020 года

Вслед за США и Европой электрификация таких отраслей, как массовый транспорт и отопление домохозяйств и зданий, а также поиски ресурсов энергетической гибкости и

управление ими становятся значимой частью развития энергетики таких стран, как Китай, Япония и Австралия. Например, Государственная сетевая корпорация Китая приняла в конце 2019 года дорожную карту по созданию в стране Интернета вещей для энергетики, который во многом будет работать как раз на управление ресурсами гибкости.

Последнее предсказание Wood Mackenzie относительно гибкости практически точно совпадает с [нашими ожиданиями от главных тем 2020 года](#). Но американские коллеги существенно расширяют наше видение, показывая на примерах, как, казалось бы, очевидные процессы — электрификация всего, что еще не электрифицировано, и отыскание гибкости там, где ее еще не нашли, — приводят к неочевидным системным последствиям. Эти последствия, такие как рост значимости управления спросом для надежности электрических сетей или возникновение опосредованной электрификации стальной и цементной промышленности за счет «зеленого» водорода, о которой мы [писали](#) в прошлом году, очень непросто заметить по небольшому пока еще числу кейсов, в которых они проявляются. Поэтому так важно [честно и пристально вглядываться](#) в происходящие в современной энергетике события и всегда помнить, что иногда неочевидная их интерпретация может оказаться самой верной.

[1] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/woodmacs-key-takeaways-from-the-grid-edge-in-q4>

[2] <https://www.autonews.ru/news/5c9114d69a7947491f827c6e>

[3] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/microgrid-development-slowed-in-2019>

Децентрализация системной надежности

США, Австралия и Великобритания ищут возможности сделать распределенную энергетику инструментом обеспечения надежности энергосистемы

Дата: 23 января

Автор: Игорь Чаусов

Что означает массовое распространение распределенных источников энергии, особенно ВИЭ, с точки зрения системной надежности энергосистемы? Бытует обоснованное мнение, что распределенная энергетика — порожденное декарбонизацией и децентрализацией неизбежное зло, источник дополнительных рисков снижения системной надежности и причина крупных блэкаутов. Но, возможно, все как раз наоборот, и распределенные источники энергии и гибкости — ВИЭ, системы накопления энергии и управление спросом — могут превратиться в эффективный инструмент обеспечения стабильности работы электрических сетей, бесперебойного электроснабжения потребителей и надежности всей энергосистемы. В трех странах, активно вовлеченных в энергетический переход и переживших за последние несколько лет ряд крупных аварий с массовым отключением потребителей — США, Австралии и Великобритании — развиваются новые подходы к тому, как сделать распределенную энергетику таким инструментом.

1. США: распределенные накопители и собственная генерация спасут калифорнийскую энергосистему

Масштабные и смертоносные лесные пожары, охватившие Калифорнию осенью 2018 и 2019 годов, бросили принципиально новый вызов электроэнергетике и электрическим сетям штата. Одной из основных причин возникновения пожаров оказались короткие замыкания на линиях электропередач в малонаселенной местности, происходившие в условиях экстремально жаркой, сухой и ветреной погоды и отсутствии надлежащего ухода за просеками вокруг ЛЭП [\[1\]](#). Лесные пожары только в 2018 году нанесли ущерб в \$14 млрд, значительная доля которого пришлась на калифорнийскую энергоснабжающую компанию Pacific Gas and Electric Co. (PG&E), объявившую в итоге о банкротстве, ставшем уникальным событием в истории американских энергетических компаний такого масштаба [\[2\]](#).



В таких условиях PG&E с начала 2019 года перешла к практике превентивного отключения линий электропередач в целях предотвращения возможных случаев возникновения лесных пожаров. В связи с массовым распространением в Калифорнии распределенной генерации на базе ВИЭ такое принудительное отключение участков сети привело, в частности, к тому, что от энергосистемы оказалась отключена и часть генерирующих мощностей, снабжавших потребителей за пределами отключенных участков. Каждое такое отключение, в свою очередь, существенно осложнило задачу управления балансом мощности в калифорнийской энергосистеме, и без того испытывающей традиционный дефицит энергетической гибкости.

Такие действия PG&E в октябре 2019 года дважды приводили к массовому отключению потребителей на срок до нескольких суток: сперва 9–12 октября без электричества остались более 2 млн потребителей, затем 26–27 октября оказались отключены более 3 млн человек в районах Центрального побережья, Сьерра-Невады и бухты Сан-Франциско [\[3\]](#).



Карта отключения электроэнергии в целях общественной безопасности (PSPS) в Калифорнии в октябре 2019 года. Желтые зоны — территории отключения потребителей. Красные зоны — лесные пожары. Источники: PG&E, BNEF

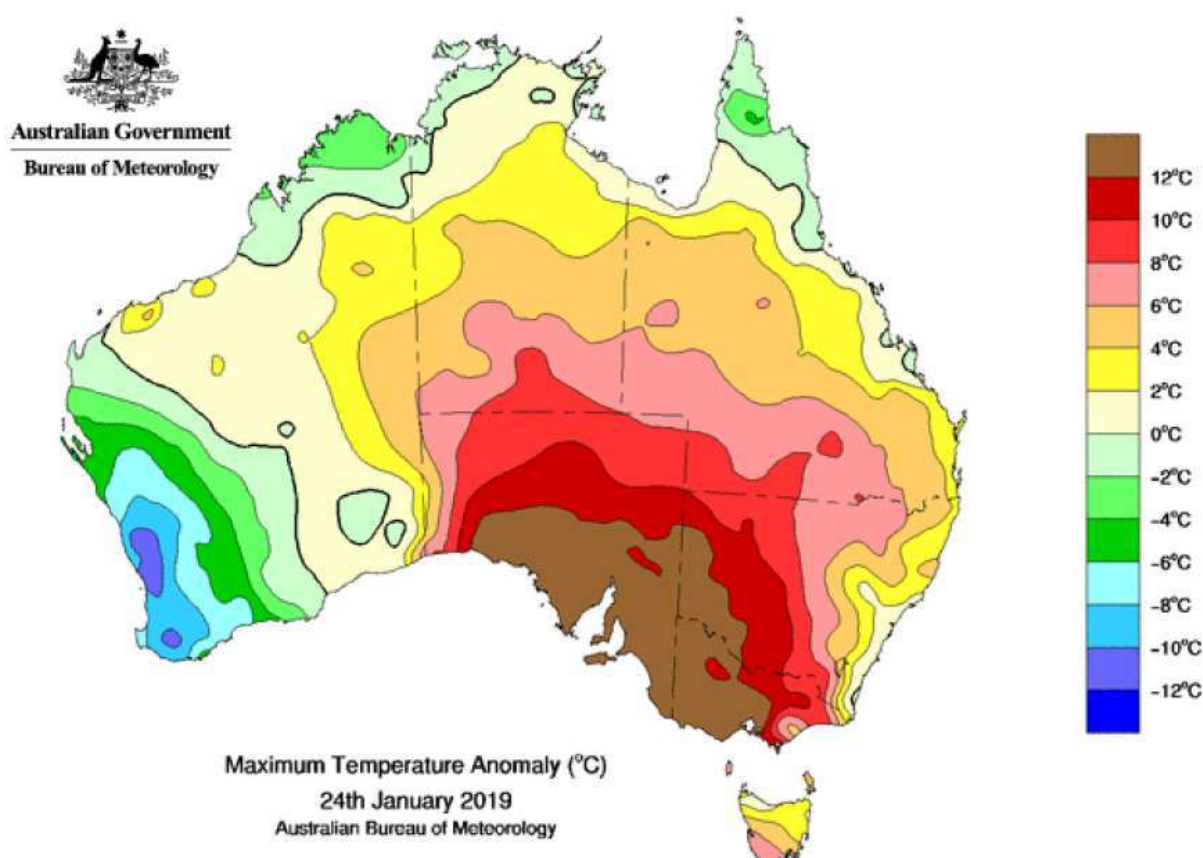
Оригинальное решение, позволяющее, с одной стороны, продолжить практику превентивного противопожарного отключения участков сети, но, с другой стороны, сохранить электроснабжение потребителей, предложила Комиссия по коммунальным предприятиям Калифорнии. Она расширила финансирование Программы стимулирования собственной генерации (SGIP), нацеленной на поддержку установки собственных резервных источников энергии у потребителей, со \$100 млн до \$613 млн на горизонте до 2024 года [4]. Программа SGIP нацелена на компенсацию затрат потребителей на установку собственных источников энергии, в первую очередь, накопителей энергии, в том числе в сочетании с солнечными панелями, и резервных генераторов. В программе могут участвовать калифорнийские потребители, проживающие на территориях с повышенным риском возникновения лесных пожаров или в зонах наибольшего риска применения практики отключения электроэнергии в целях общественной безопасности (PSPS). Приоритет в программе отдан потребителям, особенно зависимым от бесперебойности электроснабжения, например, по медицинским причинам.

Это решение уже оказало существенное влияние на калифорнийский рынок систем накопления электроэнергии, сместив интерес инвесторов с крупных проектов сетевых накопителей в сторону распределенных систем, стоящих «за счетчиком» у конечных потребителей.

Таким образом, распределенные накопители энергии и собственная генерация в Калифорнии становятся эффективным инструментом полной разгрузки участков сети, которые по тем или иным причинам необходимо отключить, при сохранении надежного энергоснабжения потребителей.

2. Австралия: управление спросом обеспечит защиту сетей в Виктории и Новом Южном Уэльсе

Этой зимой Восточная Австралия столкнулась с еще более мощными, масштабными и разрушительными лесными пожарами, чем те, что происходили в Калифорнии осенью. Эти лесные пожары вызвали аварии в электрических сетях: 4 января 2020 года на транзите между Викторией и Новым Южным Уэльсом и 7 января 2020 года — между Новым Южным Уэльсом и Квинслендом. Но существенно большие неприятности австралийским энергетикам доставляет накладываются на сложную пожарную ситуацию стремительный рост потребления мощности кондиционерами, которые в условиях экстремальной жары массово используют австралийцы. В 2018–2019 годах такой резкий рост потребления мощности трижды приводил к аварийному отключению потребителей: в 2018 году без электричества остались 94 тыс. человек, а 24 и 25 января 2019 года — более 200 тыс. человек и крупный алюминиевый завод, причем дефицит мощности в энергосистеме составил порядка 270 МВт [5].



Карта максимальных дневных температур в Австралии 24 января 2019 года в день системной аварии в электрических сетях. Источник: АЕМО

Оператор австралийского рынка AEMO во всех этих случаях был вынужден применять механизм Торговли аварийным резервом поддержания устойчивости (RERT), поскольку в условиях дефицита мощности цена на электроэнергию резко возросла до уровня \$6,9 и даже \$10,2 за кВт·ч.

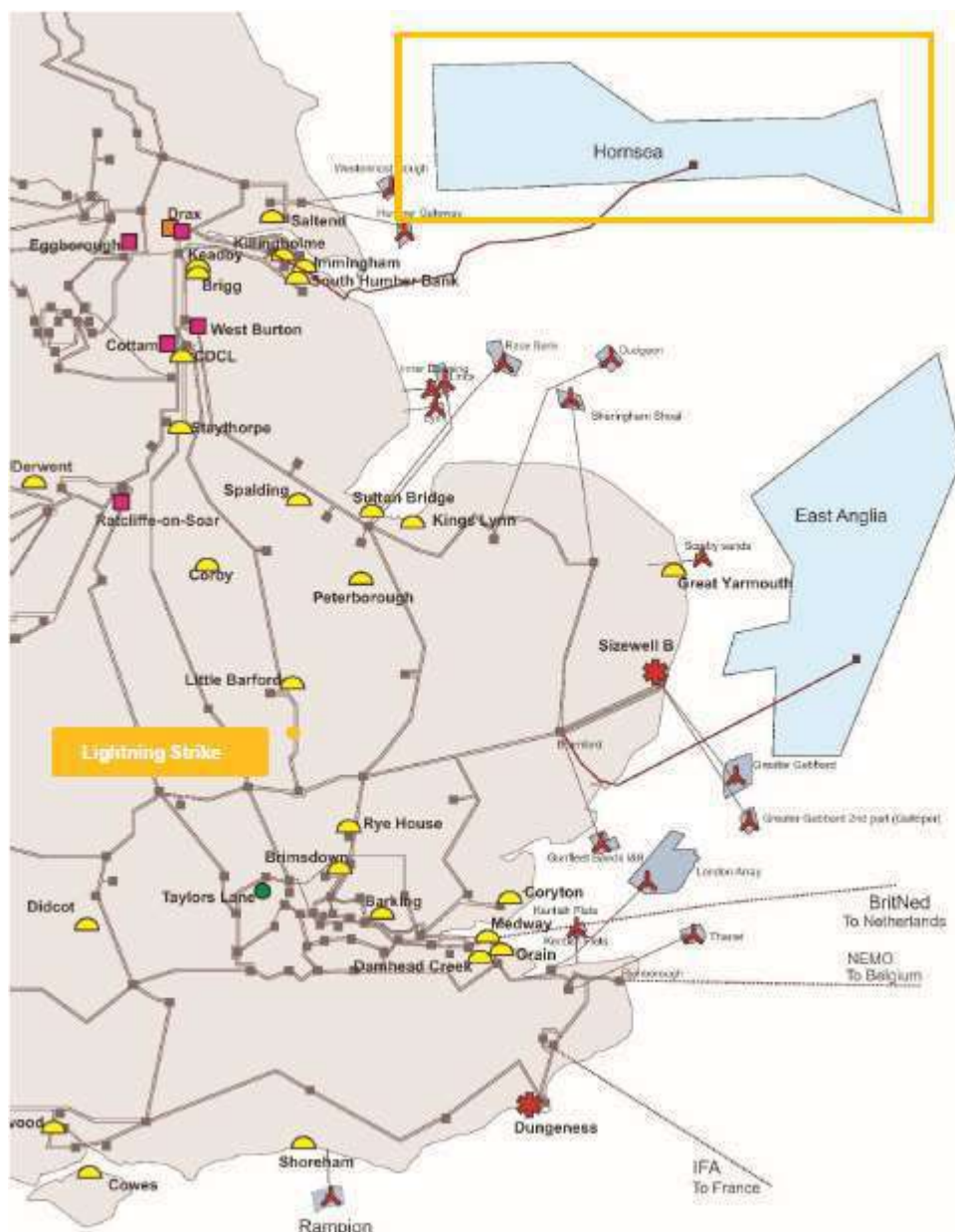
Еще более крупный блэкаут произошел в Австралии 28 сентября 2017 года по причине резкого отключения ветровой генерации при срабатывании технологических защит, отреагировавших на обрыв системообразующей линии электропередач под действием торнадо. В течение 7 секунд из энергобаланса выпали 456 МВт генерации, что привело к полномасштабному блэкауту в Южной Австралии.

Для решения возникших проблем с надежностью сетей и предотвращения подобных случаев отключения потребителей из-за нехватки мощности в энергосистеме AEMO и правительства штатов активно развивают практику погодного управления спросом. В рамках этой практики событием, инициирующим снижение мощности потребителей, выступает рост температуры воздуха выше определенной отметки, при которой возникает риск снижения надежности сетей и возникновения небаланса мощности.

Таким образом, распределенная управляемая нагрузка в рамках практики demand response в Австралии может выступать инструментом обеспечения надежности и устойчивости электрической сети и всей энергосистемы.

3. Великобритания: распределенные ВИЭ помогут полностью перезапустить энергосистему

Один из самых известных блэкаутов произошел в Великобритании 9 августа 2019 года и привел к отключению более миллиона потребителей почти на целые сутки и прекращению железнодорожного сообщения в Южной Англии практически на три дня [6]. Расследование этого инцидента показало, что его основной причиной стало срабатывание технологических защит, среагировавших на короткое замыкание в сетях (произошедшее из-за удара молнии) на двух крупных генерирующих объектах: газовой ТЭС Little Barford мощностью 740 МВт и самого большого в мире оффшорного ветропарка Hornsea One мощностью 1200 МВт. Общий дефицит мощности в энергосистеме достиг 1481 МВт, что существенно превышало доступный резерв для регулирования частоты [7]. В связи с этим событием в начале этого года владельцы газовой станции RWE и ветропарка Ørsted были оштрафованы на \$5,9 млн каждый [8].



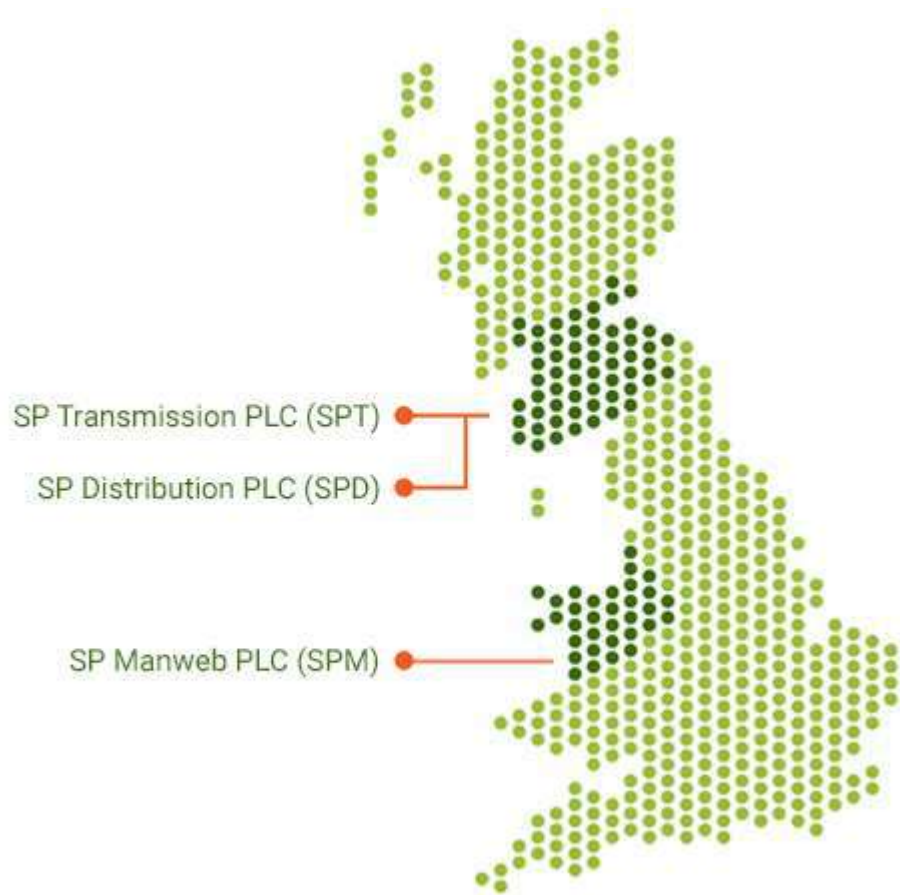
Карта событий блэкаута в Англии и Уэльсе 9 августа 2019 года. Источник: National Grid

Но грандиозный масштаб блэкаута был обусловлен не только отключением этих двух электростанций от сети. В рамках своего выступления и затем в частной беседе с автором этой заметки на Сингапурской энергетической неделе директор Центра интеграции энергетических систем Университета Ньюкасла профессор Фил Тэйлор указал, что в значительной степени к аварийному развитию событий привело то, что существенная доля генерации в энергобалансе в момент аварии приходилась на распределенные источники энергии, присоединенные к распределительным сетям. При аварийном срабатывании защит на линиях в этих сетях в ряде случаев происходило не восстановление баланса мощности, но, наоборот, дальнейшее выпадение генерации из баланса и падение частоты.

Тем не менее, распределенная генерация на базе ВИЭ может, при правильном ее использовании, напротив, обеспечить восстановление энергосистемы в случае самого

тяжелого по последствиям сценария блэкаута, когда происходит полное отключение всей генерации и обесточивание всех потребителей. В таком случае необходим «black start» — перезапуск энергосистемы из полностью обесточенного состояния.

National Grid намерена потратить до марта 2022 года \$13,5 млн на проект Distributed ReStart, в рамках которого проверяется возможность обеспечить такой перезапуск энергосистемы типа «black start» с использованием распределенных ВИЭ. Компания реализует этот проект совместно с Iberdrola, ее британской дочкой SP Energy Network и технологической компанией TNEI [\[9\]](#).



SPD и SPM — распределительные сети, в которых будет реализован пилотный проект Distributed ReStart. Источник: SP Energy Network

В рамках промежуточного отчета по проекту Distributed ReStart были определены площадки для пилотирования технологии «black start» посредством распределенных ВИЭ и других DER. Ими стали принадлежащие SP Energy Network сети SPD и SPM в Южной Шотландии, Мерсисайде, Чешире, Северном Шропшире и Северном Уэльсе [\[10\]](#).

Таким образом, распределенные источники энергии на базе ВИЭ в сочетании с накопителями будут использоваться в Великобритании как эффективный инструмент обеспечения послеаварийного перезапуска энергосистемы.

Приведенные примеры решений и пилотных проектов показывают, что распределенная энергетика сама по себе отнюдь не является источником проблем для обеспечения надежности энергосистемы. Напротив, распределенные источники энергии и мощности могут быть использованы как мощный инструмент обеспечения этой надежности.

[1] <https://www.energynetworks.com.au/news/energy-insider/power-lines-and-bushfires-the-pge-story/>

[2] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/pge-creditors-propose-30b-bankruptcy-plan-as-california-floats-21b-wildfire>

[3] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/pressure-mounts-for-public-control-of-pge-as-shares-hit-record-low>

[4] https://www.greentechmedia.com/amp/article/california-finalizes-plan-shifting-key-energy-storage-incentive-toward-blac?__twitter_impression=true

[5] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/australias-fire-hit-grid-braces-for-an-even-bigger-threat>

[6] <https://www.theguardian.com/business/2019/aug/12/what-are-the-questions-are-raised-by-the-uks-recent-blackout>

[7] https://www.ofgem.gov.uk/system/files/docs/2019/09/eso_technical_report_-_final.pdf

[8] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/orsted-and-rwe-fined-millions-for-major-uk-blackout>

[9] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/u-k-looks-into-whether-renewables-could-re-start-the-grid>

[10] <https://www.nationalgrideso.com/document/159801/download>

Тарифы с умной нагрузкой

Тарифы на электроэнергию как способ стимулирования новых энергетических практик

Дата: 30 января

Автор: Игорь Чаусов

Развитие в нагрузку

«Зелеными» тарифами, в рамках которых потребитель оплачивает не только электроэнергию, но еще и гарантию того, что эта электроэнергия была произведена на базе ВИЭ и имеет низкий углеродный след, уже давно никого не удивишь. Более того, в ряде стран, например, в Великобритании не менее распространенной практикой стали «зеленые» тарифы на газ, либо гарантирующие, что компания продает биогаз, либо означающие, что газовая компания покупает «газовые оффсеты» — выплачивает специальные компенсации за эмиссию парниковых газов, получающихся из проданного природного газа.

Такие тарифы стали настолько распространенными, что British Gas, последней из крупных британских компаний установившая «зеленые» тарифы [\[1\]](#), недавно подверглась серьезной критике за то, что она гарантирует декарбонизацию своей электроэнергии при помощи «зеленых сертификатов», а не более надежных прямых договоров с компаниями-генераторами, использующими 100% ВИЭ [\[2\]](#).



Но некоторые британские энергоснабжающие компании пошли в своей практике дальше и начали использовать тарифное меню не только в рамках тренда декарбонизации, но и для стимулирования новых энергетических практик, в первую очередь — распределенной энергетики. Английская сбытовая компания Bristol Energy запустила три новых «зеленых» тарифа, в рамках которых потребитель не только оплачивает экологически чистую энергию, но также получает гарантию, что она была произведена в рамках его собственного региона — Юго-Западной Англии и Уэльса — одним из 54 независимых генераторов, которым он таким образом помогает. При этом часть денег в рамках тарифа направляется Bristol Energy на свои социальные программы, напрямую вообще не связанные с энергетикой.

Еще более необычный тариф предложила своим британским потребителям компания Co-op Energy в партнерстве с Octopus Energy. В рамках тарифа Power Community она перепродает потребителям электроэнергию, которую производят небольшие городские или сельские сообщества, жители которых совместно инвестируют в генерацию на основе ВИЭ [3]. Потребителям за дополнительные £5 в месяц предлагают поддержать такие сообщества и их вклад в декарбонизацию и децентрализацию электроэнергетики. В настоящее время в Великобритании насчитывается несколько сотен подобных энергетических сообществ, не только полностью обеспечивающих свои собственные потребности в электроэнергии, но и стремящихся реализовать излишки «зеленой» энергии. Например, ассоциация Community Energy England (CEE), в которую входят 200 энергетических сообществ, призвала другие сбытовые компании последовать примеру Co-op [4].

В условиях появления такого рода тарифов, привязанных к договорам между генераторами, сбытовыми компаниями и потребителями, в энергетике очень сильно возрастает роль верификации исполнения всех тех обещаний, за которые конечные потребители отдают свои деньги. Не случайно, по оценке GTM, единственным значимым рынком применения блокчейна в энергетике сегодня оказываются именно «сертификаты соответствия» [5]. Блокчейн отлично подходит для независимого и надежного отслеживания цепочек поставки на всех их стадиях, и потому позволяет гарантировать потребителю происхождение электроэнергии. Новым качеством, которое получает потребитель в силу применения блокчейна, становится проверяемое знание о той электроэнергии, которую он потребляет и за которую платит.

«Умный» учёт для дела



Несмотря на появление новых интерактивных практик работы энергоснабжающих компаний с потребителями и внедрение базовой для этих практик инфраструктуры «умного» учета, большинство крупных компаний по-прежнему недооценивают потенциал кастомизации электроэнергии и используют «умные» счетчики точно так же, как использовали аналоговые, с той лишь разницей, что теперь данные с них поступают удаленно и автоматически. Об этой тенденции говорит свежий доклад Американского совета по энергоэффективной экономике (ACEEE): в рамках своего исследования ACEEE нашел среди 26 включенных в него энергоснабжающих компаний всего лишь одну, которая за счет установки «умных» счетчиков предлагала потребителям весь спектр сервисов, которые могут быть обеспечены с появлением таких счетчиков [6]. На этом фоне показательно, что за последние два года в штатах Массачусетс, Вирджиния, Кентукки и Нью-Мексика программы по установке «умных» счетчиков были приостановлены регуляторами или legislatures штатов: законодатели посчитали, что эти программы при больших затратах, перекладываемых на потребителей, не приносят им никаких новых возможностей [7].

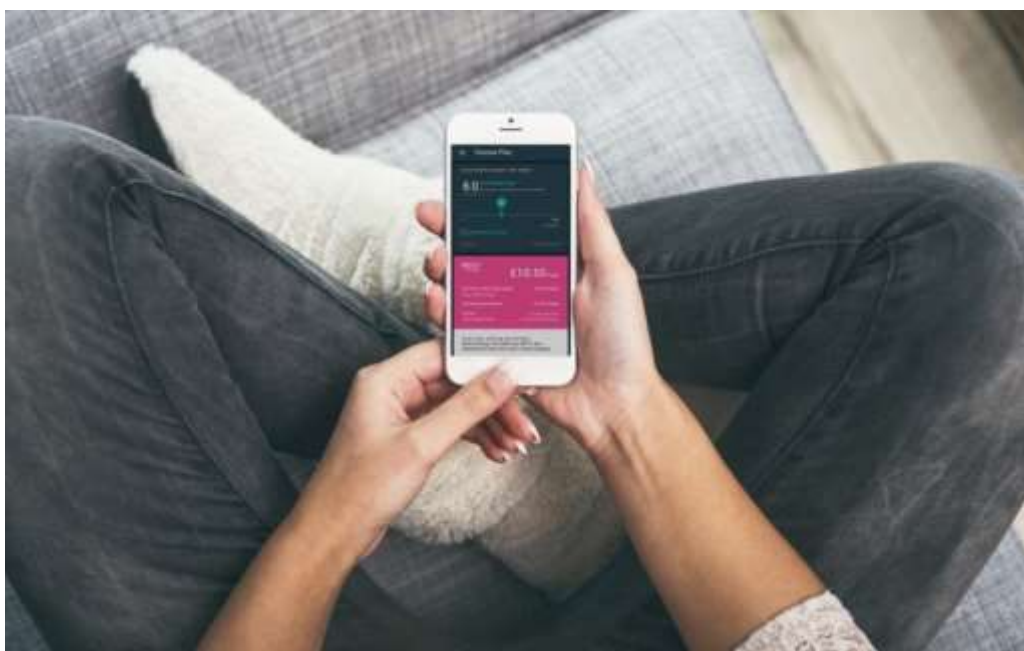
ACEEE называет шесть сервисов, которые могут быть предоставлены потребителям за счет «умных» счетчиков и тарифной политики сбытовой компании:

- Обратная связь, которую дают потребителю в режиме реального времени;
- Обратная связь, которую дают потребителю на основании его поведения;
- Участие в поддержании уровня напряжения;

- Управление спросом за счет гибкой тарификации (time-of-use tariff);
- Управление энергоэффективностью;
- Дезагрегация и анализ пользовательских данных под профиль и цели, выбранные пользователем.

Ряд сбытовых компаний инвестируют в «умные» счётчики и связанные с ними цифровые приложения, чтобы предоставить своим клиентам как можно более кастомизированную услугу электроснабжения и предложить им богатое тарифное меню. Itron и Landis+Gyr вкладывают деньги в установку систем дезагрегации данных о потреблении в свои «умные» счетчики [8], тогда как Bristol Energy в партнерстве с Eliq создают приложение на базе искусственного интеллекта, которое анализирует поведение потребителей и дает им советы, как сделать их энергопотребление более дешевым и «зеленым» [9].

Оригинальное тарифное меню



Гибкие тарифы с зависимостью цен на электроэнергию от времени, или тарифы time-of-use (ToU), играют существенную роль в практиках управления спросом. Согласно докладу IRENA, обобщающему многолетнюю практику в этой области, тарифы ToU уже внедрены в 17 странах мира, и, например, в Швеции уже сейчас позволяют достичь потенциала управления спросом в 8 ГВт [10]. Доклад выделяет четыре типа тарифов ToU: ступенчатый (с фиксированными временными зонами), гибкий в реальном времени, с фиксированным пиковым временем, но переменной ценой, и с фиксированными пиковыми временем и ценой.

Еще более необычная, но и более отдаленная перспектива в сфере тарифов — явный учет оборудования, которое находится у потребителя, при формировании цены на

электроэнергию для него. Такой подход может оказаться действенным в случае агрегаторов управления спросом и виртуальных электростанций, работающих по модели агрегаторов. Интересную перспективу для таких тарифов открывает решение британского системного оператора National Grid ESO начать покупать резерв первичного регулирования («инерцию») не только у генераторов, но и у сбытовых компаний и агрегаторов, которые должны предоставлять ее за счет управления синхронными компенсаторами и двигателями в режиме синхронных компенсаторов [11].

В цифровой энергетике электроэнергия становится все более кастомизированной, потребители — все более активными, и мощным средством вовлечения их и их денег в новые энергетические практики оказывается оригинальное тарифное меню.

[1] <https://www.current-news.co.uk/news/british-gas-becomes-latest-supplier-to-offer-100-renewable-tariff>

[2] <https://www.current-news.co.uk/news/british-gas-green-future-tariff-offers-100-renewables-but-use-shortcuts>

[3] <https://www.current-news.co.uk/news/co-op-energy-launch-community-power-tariff>

[4] <https://environmentjournal.online/articles/community-energy-groups-need-suitable-tariffs-after-fit-closure/>

[5] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/energy-blockchains-most-obvious-use-case-is-not-what-you-think>

[6] <https://aceee.org/leveraging-advanced-metering-infrastructure-save>

[7] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/why-most-u-s-utilities-arent-making-the-most-of-their-smart-meters>

[8] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/itron-and-landisgyr-take-smart-meter-energy-disaggregation-mainstream>

[9] <https://www.current-news.co.uk/news/bristol-energy-partners-eliq-to-develop-beis-backed-ai-app>

[10] https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_ToU_tariffs_2019.pdf?la=en&hash=36658ADA8AA98677888DB2C184D1EE6A048C7470

[11] <https://www.current-news.co.uk/news/national-grid-eso-claims-world-first-approach-to-inertia-awarding-328m-in-contracts>

Гипер-персонализация — новое слово в торговле электричеством

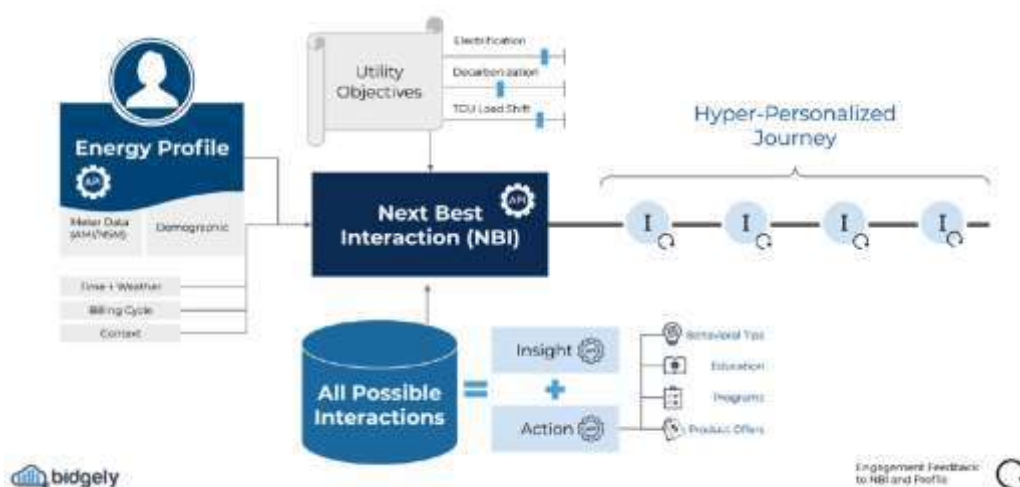
О максимально достижимой кастомизации торговли электроэнергией при помощи искусственного интеллекта

Дата: 5 февраля

Автор: Игорь Чаусов

Гипер-персонализация — новое слово не только для энергетики, но даже для розничной Интернет-торговли, откуда происходит этот тренд. Под гипер-персонализацией понимается новый подход к торговле, в котором сочетаются две идеи: предельная персонализация взаимодействия продавца с потребителем, при которой это взаимодействие строится на анализе большого массива данных об индивидуальных особенностях спроса и потребления каждого покупателя, и максимально возможной кастомизации товара, при котором свойства и особенности продаваемого товара настраиваются под каждого покупателя и его персональные особенности так, чтобы практически каждому покупателю продавать уникальный товар по эксклюзивным условиям.

Доклад, выпущенный GTM совместно с компанией Bidgely, говорит о том, что самая нужная технология для всех игроков энергетического рынка, желающих работать с конечными потребителями, — это технология искусственного интеллекта, потому что именно она является ключом к претворению идей гипер-персонализации на практике [1]. Ссылаясь на данные Accenture, доклад прогнозирует, что европейский сегмент рынка энергетических сервисов в рамках гипер-персонализации достигнет к 2030 году размеров от \$57 млрд до \$80 млрд и охватит три направления: инфраструктуру для электромобилей, управление распределенными источниками энергии, стоящими «за счетчиком», и сервисы, связанные с энергетической гибкостью.

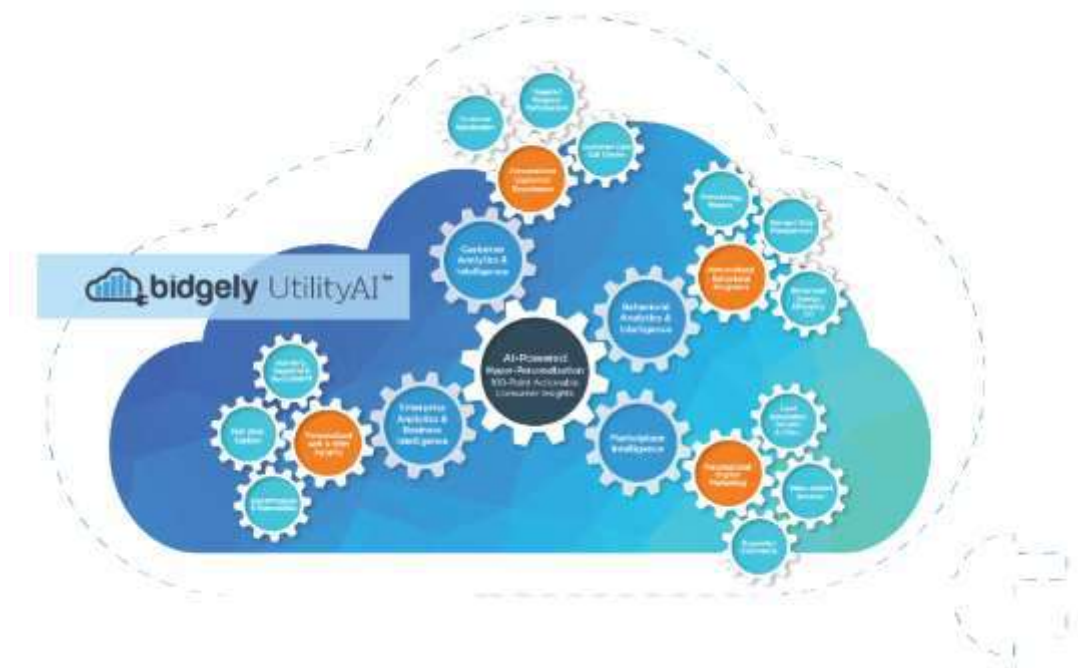


Цепочка гипер-персонализированных взаимодействий сбытовой компании с потребителем.

Источник: GTM и Bidgely

Ключевой инфраструктурной единицей для гипер-персонализации, согласно GTM и Bidgely, является «умный» счетчик со встроенным ПО на основе искусственного интеллекта, который позволяет анализировать данные каждого пользователя так качественно, чтобы каждое следующее предложение этому покупателю со стороны сбытовой или сетевой компании было еще более адресным, привлекательным и взаимно выгодным, чем предыдущее. Такой подход в докладе назван «следующим лучшим взаимодействием» (NBI) и предполагает постоянное обучение искусственного интеллекта во взаимодействии с потребителем электроэнергии.

По идее, развернутой в докладе, в рамках гипер-персонализации должны собираться и анализироваться следующие виды данных: личный опыт взаимодействия потребителя с энергоснабжающей компанией, поведенческие особенности и паттерны потребителя, рыночные данные и действия потребителя на других энергетических рынках (например, рынке газа).



Задачи искусственного интеллекта в гипер-персонализации потребления электроэнергии.

Источник: GTM и Bidgely

Это должно позволить формировать персональные предложения по всему набору пользовательских сервисов, о которых мы писали в нашей [предыдущей статье](#), и, в частности, следующие решения для потребителей:

- персональные тарифы;
- адресные программы управления спросом с механизмами обратной связи;

- личные планы по зарядке электромобилей;
- предложения по электрификации персонального энергопотребления;
- предложения сопутствующих товаров и технологий, например, «умных» термостатов;
- личные планы по декарбонизации энергопотребления.

Аналитическое агентство Accenture, в свою очередь, дает четыре близких к идеям GTM и Bidgely совета компаниям, желающим внедрить гипер-персонализацию в свои бизнес-модели [2]:

- Максимально использовать возможности новых технологий анализа данных, основанных на искусственном интеллекте;
- Использовать во взаимодействии с потребителями только наиболее релевантные для них предложения и не использовать обобщенные гипотезы о потребительском спросе;
- Стремиться определить для каждого потребителя ту ценность (value), которая наиболее важна для этого потребителя в энергоснабжении (низкая стоимость, высокая надежность, степень декарбонизации, социальная ответственность);
- Стремиться определить для каждого потребителя ту ценность (value), которую потребитель сейчас не получает в процессе энергоснабжения, но которую ему можно было бы предложить, и тем самым обеспечить рост его спроса.

Понятия и практики быстро растущей розничной Интернет-торговли позволяют по-новому взглянуть на проблему конкуренции на энергетическом рынке и удовлетворенности розничных коммерческих и частных потребителей, а также представить себе будущее энергетической торговли, очень сильно отличающееся от современной практики сбытовой деятельности, — будущее, в котором энергия — предельно кастомизированный товар, а каждый потребитель — гипер-персонализированный субъект энергетики.

[1] http://www2.greentechmedia.com/l/264512/2020-01-23/d7l68?gtm_source=Website&_ga=2.170643235.2001981749.1580648326-199297787.1578551096

[2] <https://www.accenture.com/us-en/blogs/blogs-hyper-personalization-pays-energy-customer-experiences>

Plug & Play энергетика по-американски

Консорциум лабораторий по модернизации сети (GMLC) Министерства энергетики США и SEPA подвели итоги конкурса на лучший «энергетический USB»

Дата: 6 февраля

Автор: Игорь Чаусов

Массовое распространение различных распределенных источников энергии и энергетической гибкости, поставляемых на рынок огромным количеством вендоров, и не менее массовое распространение самых разнообразных новых цифровых энергетических практик и сервисов выводят на первый план проблему обеспечения интероперабельности и бесшовной интеграции распределенных источников энергии в эти новые цифровые сервисы и связанные с ними системы управления.



Интероперабельность в электроэнергетике будет означать, что любой распределенный источник энергии и гибкости сможет участвовать в любом энергетическом сервисе, успешно взаимодействуя с цифровыми системами и приложениями, которые реализуют этот сервис. Но помимо такой интероперабельности очень важно добиться простоты и высокой скорости подключения объектов распределенной энергетики к множеству новых цифровых сервисов. Такое подключение должно происходить по принципу plug & play, как сегодня через USB-порты происходит подключение флэш-карт к компьютерам или при помощи Bluetooth происходит подключение друг к другу

множества беспроводных гаджетов. Бесшовная интеграция по принципу plug & play означает отказ от необходимости проектирования и индивидуальной настройки подключения для каждого объекта и каждого устройства распределенной энергетики и переход к моментальному полностью автоматическому присоединению.

Подход к одной из частей проблемы plug & play энергетики — бесшовному подключению к системам интеллектуального управления — в рамках конкурса на лучшее решение по интероперабельности в цифровой распределенной энергетике в конце 2019 года был продемонстрирован в США [\[1\]](#). Организаторами конкурса выступили Консорциум лабораторий по модернизации сети (GMLC) Министерства энергетики США (DoE) и Альянс интеллектуальной энергетики (SEPA).



Команды — участники конкурса Plug & Play DER Challenge на Северо-Американской неделе умной энергетики 2019. Источник: SEPA

Amzur Technologies, DERNetSoft и RTI предложили открытый протокол управления распределенной энергетикой (openDEM), компания Ecogy Energy — специальный интерфейс ESI Server, и команда в составе DigySQL, EPRI, Intech Energy и Sentient Buildings — открытую платформу интеграции ресурсов на стороне потребителей (openDSRIP). Все команды сосредоточились на разработке программных интерфейсов с открытым кодом, которые позволяют обеспечить автоматическую регистрацию и закрепление локации источника энергии и гибкости в сети. В остальном же решения серьезно отличаются друг от друга.

Протокол openDEM

Решение, предложенное Amzur Technologies, DERNetSoft и RTI, представляет собой программный протокол, построенный на базе давно применяемого протокола обмена информацией по управлению спросом openADR. Новый протокол позволяет устройствам потребителей взаимодействовать с агрегаторами управления спросом и виртуальными электростанциями, автоматически обнаруживая для сервисов устройства, обозначая роли устройств в сервисах, локализуя географическое местоположение устройств и обеспечивая кибер-безопасность. При этом протокол не включает ни обмен оперативными данными между сервисом и оборудованием, ни обмен управляющими сигналами при участии оборудования в сервисе. Протокол openDEM построен на базе XML с передачей данных в формате JSON и использует вспомогательный протокол DDS.

Компания RTI уже входила в консорциум по разработке протокола [OpenFMB](#), также направленный на создание условий для интероперабельности в распределенной энергетике, и новое решение openDEM во многом продолжает подход OpenFMB.

Виртуальный сервер ESI Server

Команда Ecogy Energy единственная из конкурсантов предложила полностью оригинальное решение, создаваемое с нуля с использованием распространенных ICT-протоколов и стандартов Modbus, DNP3 и IEEE 2030.5. Виртуальный сервер ESI Server, который может быть развернут на любом современном промышленном компьютере, обеспечивает автоматическую регистрацию устройств и передачу данных о местоположении ресурса, времени участия в сервисе, данных о мощности и выданной или полученной энергии, а также финансовых данных. Таким образом, протокол, используемый сервером, обеспечивает оперативное участие распределенных энергетических ресурсов в сервисах. Кроме того, обеспечивается защищенность данных.

Платформа openDSRIP

Консорциум DigySQL, EPRI, Intech Energy и Sentient Buildings предложил свое решение в виде инструментальной платформы интеграции распределенных источников энергии и гибкости, использующей существующие и зарекомендовавшие себя стандарты и протоколы. Решение нацелено на интеграцию DER с системами управления агрегаторов и энергоснабжающих компаний. Оно позволяет защищенным образом обмениваться данными о событиях участия оборудования в работе сервисов, задавать сценарии участия оборудования в сервисах энергетической гибкости, управлять учетными данными пользователей и оборудования и представляет собой платформу-посредник для работы с владельцами распределенных ресурсов энергии и гибкости.

В России на решение проблем интероперабельности и достижение эффекта plug & play присоединения распределенных энергетических ресурсов нацелен проект IC ENERGYNET по разработке архитектуры Интернета энергии ([IDEA](#)). В рамках этого проекта предложено оригинальное архитектурное решение по бесшовной интеграции и взаимодействию устройств распределенной энергетики в трех слоях: финансово-транзакционном (Transactive energy), информационно-управляющем (Internet of Things) и физико-энергетическом (Neural Grid). Реализация этого решения в феврале 2020 года будет показана на реальном объекте в рамках демонстрационного комплекса в МФТИ.

Подход IDEA к проблеме интероперабельности и plug & play присоединения в энергетике принципиально отличается от предложенных в рамках конкурса GMLC и SEPA как раз тем, что не сводит эти проблемы только к информационной интеграции и необходимости новых ICT-протоколов. Информационная интеграция — только один из трех аспектов энергетического plug & play присоединения. Кроме него в рамках IDEA решаются также задачи бесшовного присоединения к транзакционным возможностям (в США наибольшую активность в этой части отдельно от ICT-компаний проявляют блокчейн-стартапы) и задача поддержания устойчивости и надежности энергосистемы при физическом plug & play присоединении новых источников энергии и гибкости к электрическим сетям. Последний аспект в США частично рассматривается в работах IEEE, но вне связи с транзакционной и информационной интероперабельностью. Таким образом, IDEA предлагает принцип сборки всех составляющих, необходимых для полноценной реализации plug & play в распределенной энергетике.

[1] <https://sepapower.org/resource/launching-plug-and-play-distributed-energy-resources-into-the-future/>

Торговля гибкостью — на цифровых платформах

Европейские подходы к рынку и платформам управления энергетической гибкостью

Дата: 19 февраля

Автор: Игорь Чаусов

Британский взгляд на платформы и рынки гибкости

Сколько платформ нужно, чтобы управлять энергетической гибкостью на уровне целой страны? Оказывается, достаточно всего двух принципиальных типов платформ гибкости:

1. **Peer-to-peer платформа** — платформа, обеспечивающая торговлю электроэнергией и гибкостью между просьюмерами и потребителями на локальном уровне энергетических сообществ и микрогридов.
2. **Платформа системных (сетевых) сервисов** — платформа, на которой в масштабе национального или даже регионального рынка системные и сетевые операторы будут приобретать сервисы со стороны как крупных, так и мелких энергетических активов, в частности, работающих посредством агрегаторов.

Такая простая типология платформ гибкости содержится в новом докладе британского регулятора рынка электроэнергии и газа Ofgem [\[1\]](#). Доклад содержит одно из первых в мировой практике определений платформы гибкости.

Платформа гибкости — это IT-платформа, на которой реализуются сервисы по координации, торговле, диспетчеризации и поддержке для рынков энергетической гибкости.

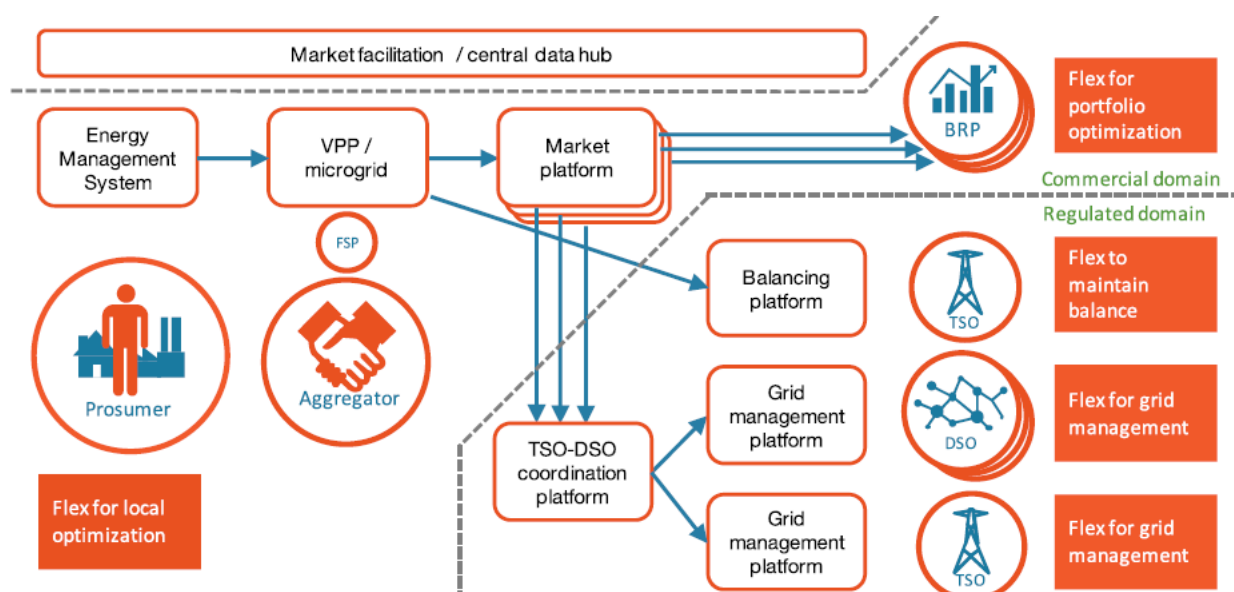
Приведенная типология удивительно точно перекликается с двумя типами энергетических транзакций, описанными в разработанной IC ENERGYNET архитектуре Интернета энергии (IDEA): одноранговой peer-to-peer транзакцией между двумя пользователями Интернета энергии (просьюмерами) и транзакцией peer-to-operator между пользователем Интернета энергии и оператором системного сервиса, например, агрегатором управления спросом, сетевым и системным оператором [\[2\]](#).



Доклад Ofgem в дискуссионной форме ставит вопрос о том, какая конструкция рынка энергетической гибкости отличается наибольшей эффективностью и требует ли она наличия единой национальной платформы гибкости. Ofgem предлагает спектр из четырех типовых моделей для рынка гибкости, но не делает между этими моделями очевидного выбора:

1. **Рынок без координации.** Действуют множество разных рынков гибкости, на которых одновременно работает множество различных платформ гибкости, единая стандартизация торговли гибкостью отсутствует, рынки гибкости не имеют централизованного управления.
2. **Рынок с координацией.** Действуют множество разных рынков гибкости, на которых одновременно работает множество различных платформ гибкости, но вводится единая стандартизация торговли гибкостью, роль централизованного управления рынками сводится к координации между ними и платформами.
3. **Рынок как супер-платформа.** Действуют множество разных рынков гибкости, для которых развернута единая платформа гибкости, выступающая технологической основой всех этих рынков, вводится единая стандартизация торговли гибкостью и централизованное регулирование рынков со стороны операторов платформы.
4. **Единый рынок.** Действует единый рынок гибкости и одна единая платформа гибкости, выступающая основой этого рынка, вводится единая стандартизация торговли гибкостью и централизованное регулирование рынка и работы платформы.

Описанные модели рынка, на наш взгляд, имеют большое значение для идущей в настоящее время в России разработки целевой модели рынка управления спросом на электроэнергию и ставят вопрос о том, насколько единым и централизованным должен быть этот рынок.



Референтная архитектура управления энергетической гибкостью. Источник: USEF

Ofgem во многом опирается в своем исследовании на проектное видение (white paper) по платформам гибкости, выпущенное USEF еще в 2018 г [5]. В этом документе рассматриваются уже существующие IT-системы для управления и торговли гибкостью, а также предлагается референтная архитектура управления гибкостью, в рамках которой вводятся четыре платформы, затем обобщенные специалистами Ofgem:

1. Платформа торговли гибкостью на оптовом рынке;
2. Платформа балансирования энергосистемы за счет гибкости;
3. Платформа координации операторов распределительных сетей (DSO) и системных операторов (TSO);
4. Платформа управления энергосистемой для системных и поддерживающих сервисов.

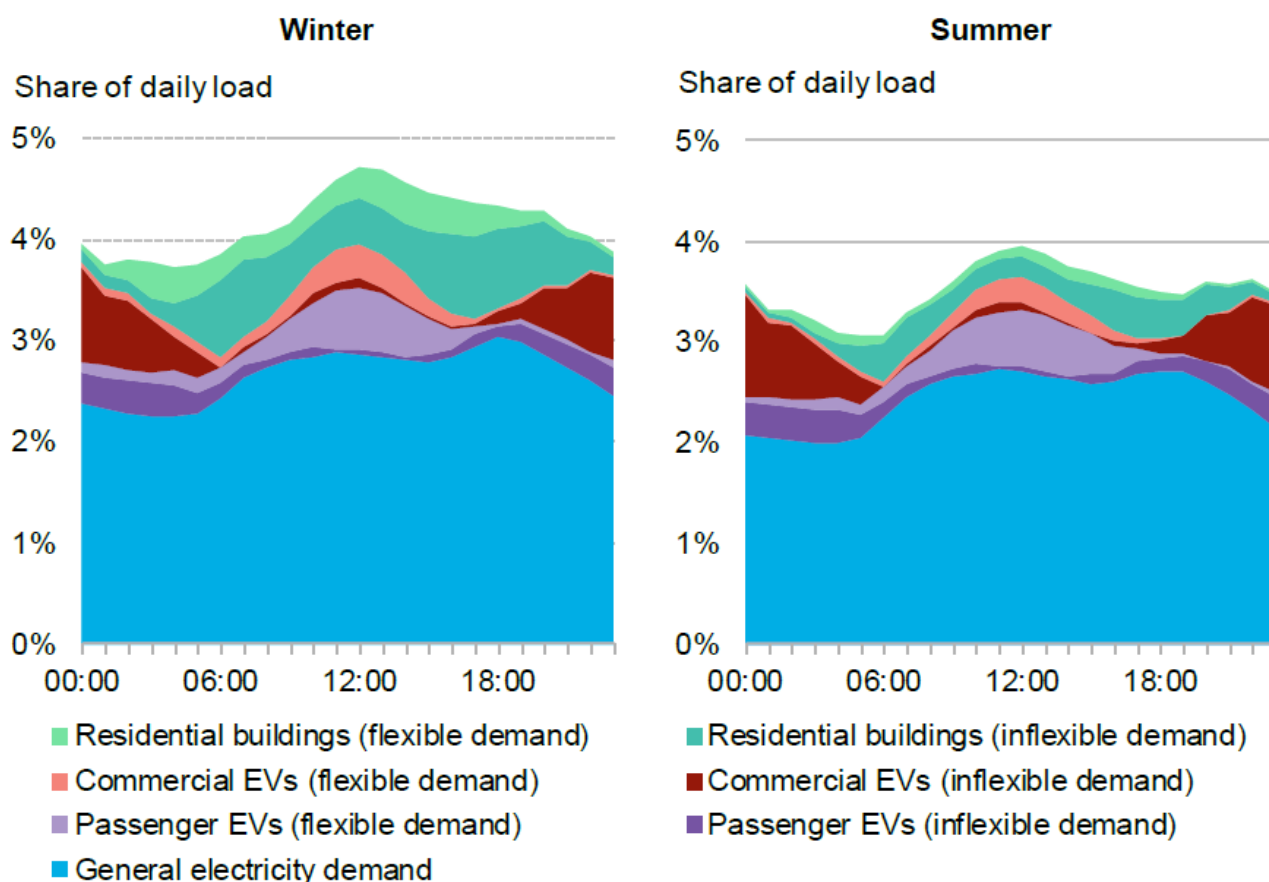
Peer-to-peer рынки и секторальная синергия — источники скрытой гибкости

На необходимости введения peer-to-peer рынков энергетической гибкости настаивает в своем новом докладе ELEXON, британский администратор балансирующего рынка (BSC) [3]. ELEXON указывает на то, что в настоящее время отсутствие возможности одноранговой, горизонтальной торговли гибкостью приводит к тому, что значительная доля уже имеющихся источников гибкости не монетизируются достаточным образом и предоставляют сервисы гибкости очень небольшое число часов в году, но при этом многие локальные энергетические сообщества испытывают дефицит ресурсов гибкости

для того, чтобы повысить эффективность или увеличить декарбонизацию своего энергопотребления.

Вывод о большой роли локальных энергетических сообществ и peer-to-peer торговли в обеспечении энергетической гибкости косвенно подтверждается новыми данными о возможном масштабном участии таких сообществ в энергосистеме, которые приводят Шотландские электрические сети (SPEN). Согласно результатам их исследования, к 2030 году локальные энергетические сообщества в Великобритании могут обеспечить электроснабжение 2,2 млн домохозяйств, а общая установленная мощность их генерации достигнет 5,3 ГВт [4].

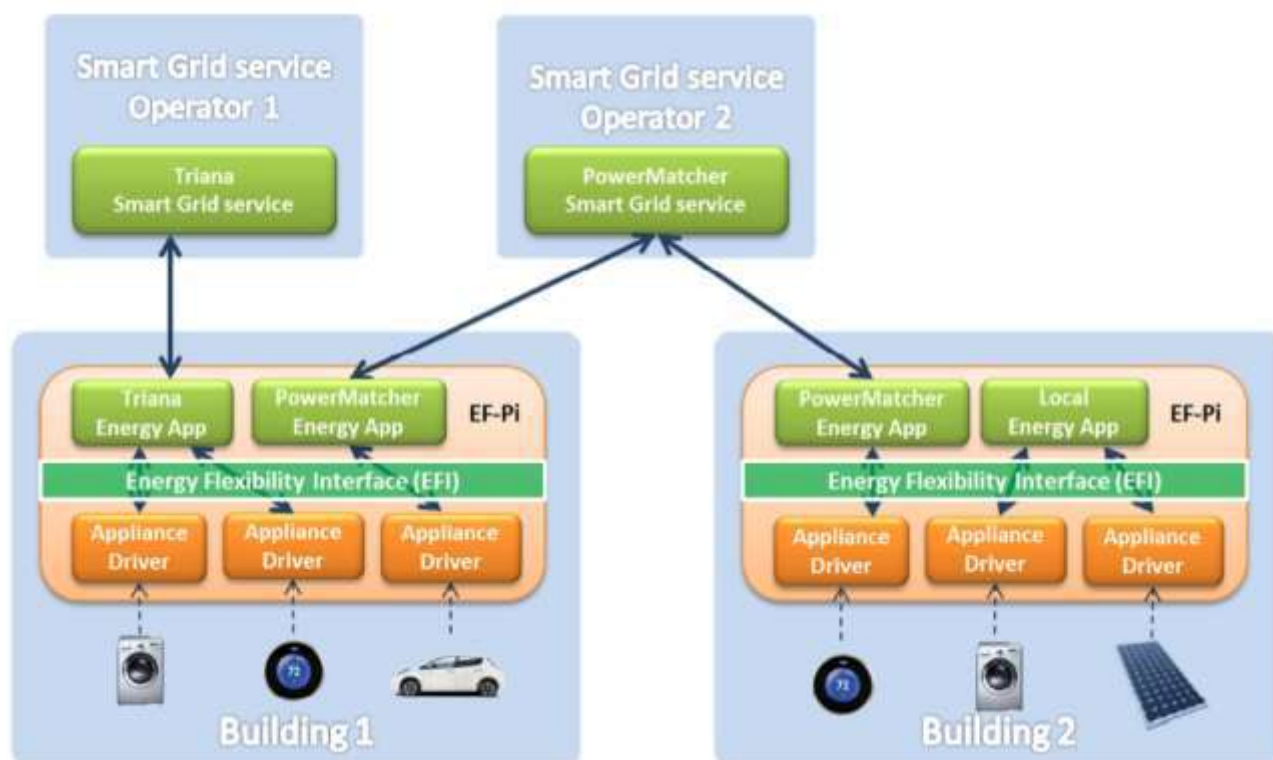
Новый взгляд на проблему торговли энергетической гибкостью дает отчет Bloomberg New Energy Finance о секторальной синергии (sector coupling) в энергетике, на который мы уже [обращали внимание](#). В этом отчете показано, что огромным ресурсом энергетической гибкости в ближайшем будущем станет управление зарядными станциями электромобилей и управление системами ЖКХ. Исследование показывает, что в Северной Европе активная синергия между электроэнергетикой, транспортом и ЖКХ с согласованным управлением гибкостью во всех этих трех отраслях позволит снизить на 30% ввод новых газовых пиковых электростанций и на 40% — установку новых накопителей электроэнергии [6].



Дополнительный вклад синергии электроэнергетики с транспортом и ЖКХ в потребление и энергетическую гибкость в Северной Европе в 2050 г. Источник: BNEF

Масштабные проекты в Европейском союзе

Работа USEF и Ofgem — далеко не первая и не единственная попытка предложить единый подход к проблеме торговли энергетической гибкостью. С 2015 г. в Германии и Нидерландах консорциум TNO, Alliander, INRG и Technolution ведет разработку собственного решения для унификации сервисов, предоставляющих энергетическую гибкость, — Платформу и интерфейс энергетической гибкости (EF-Pi) — и предлагает цифровую управляющую приставку Power Matcher [\[7\]](#) как аппаратную основу для разворачивания своей платформы.



Архитектура Платформы и интерфейса энергетической гибкостью (EF-Pi). Источник: [\[7\]](#)

Существенно более масштабный проект по разработке единой европейской архитектуры рынков и платформ энергетической гибкости в рамках программы финансирования ЕС Horizon-2020 ведет в настоящее время консорциум ITERRFACE, объединяющий системных операторов, IT-компании и университеты Люксембурга, Греции, Бельгии, Болгарии, Финляндии, Словении, Кипра, Сербии, Италии, Румынии, Испании, Венгрии, Германии, Латвии, Эстонии и Португалии [\[8\]](#). В рамках деятельности этого очень крупного и разнопланового консорциума заявлены три группы демонстрационных площадок, на которых будут отрабатывать различные типы рынков и платформ гибкости:

1. **Гибкость для управления состоянием электрических сетей.** Будут показаны три прототипа платформ гибкости: платформа взаимодействия DSO с потребителями

(Италия), интеллектуальный узел распределительной сети (Болгария) и единая платформа управления гибкостью стран Северной Балтики (Финляндия, Эстония и Латвия).

2. **Peer-to-peer торговля энергией и гибкостью.** Будут показаны два прототипа peer-to-peer платформ: локальный рынок (Венгрия) и платформа торговли гибкостью между DSO и TSO (Болгария).

3. **Паневропейский клиринговый рынок.** Будут показаны два прототипа общеевропейской рыночной платформы гибкости: модель оптового рынка для участия распределенных источников энергии и гибкости (Румыния, Болгария и Греция) и рынок агрегаторов локальных источников гибкости (Румания).

[1] https://www.ofgem.gov.uk/system/files/docs/2019/09/ofgem_fi_flexibility_platforms_in_electricity_markets.pdf

[2] <https://idea-go.tech/IDEA-whitepaper-ru.pdf>

[3] <https://www.elexon.co.uk/about/elexon-insights/elexon-insights-how-nationwide-flexibility-markets-could-help-industry-trade-unused-electricity-and-spare-network-capacity/>

[4] <https://www.current-news.co.uk/news/a-national-strategy-could-kick-start-a-community-energy-revolution-spen-says>

[5] https://www.usef.energy/app/uploads/2018/11/USEF-White-Paper-Flexibility-Platforms-version-1.0_Nov2018.pdf

[6] <https://about.bnef.com/blog/electrification-can-cut-emissions-of-transport-buildings-and-industry-in-europe-by-60-by-2050/>

[7] <http://flexiblepower.github.io/technology/efpi/>

[8] <http://interrface.eu/content/home>

Управление напряжением — инструмент интеграции DER

Энергосберегающая технология снижения напряжения (CVR) как инструмент интеграции распределенных источников энергии в сеть

Дата: 25 февраля

Автор: Игорь Чаусов

Технология энергосберегающего управления напряжением (conservative voltage reduction — CVR) хорошо известна и применяется в распределительных сетях по всему миру — особенно широко в США — уже более 20 лет. Ее суть состоит в компенсирующем снижении напряжения на определенных участках сети при росте нагрузки на этих участках. Снижение напряжения при определенных профилях нагрузок обеспечивает снижение потерь и приводит к довольно неплохому эффекту энергосбережения в размере 1–3% от потребления на тех участках, где применяется CVR.



Общий потенциал применения этой технологии в США, по оценке Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории (PNNL), достигает 58 ТВт·ч в год [\[1\]](#). Для управления уровнем напряжения применяют различные сетевые устройства: секционированные трансформаторы, компенсаторы падения напряжения, статические компенсаторы и т. д.

Объединив эту технологию с современными возможностями цифрового моделирования и удаленным мониторингом состояния сети в реальном времени, американская компания Utilidata за последние 10 лет достигла существенного

прироста возможностей CVR, увеличив энергосберегающий эффект до 4–5% от суммарного потребления на участке сети, где применяется CVR. Не останавливаясь на достигнутом, компания нашла новую интересную область применения своим технологиям гибкого управления сетями — интеграцию распределенных источников энергии, в первую очередь, крышной солнечной генерации [\[2\]](#).

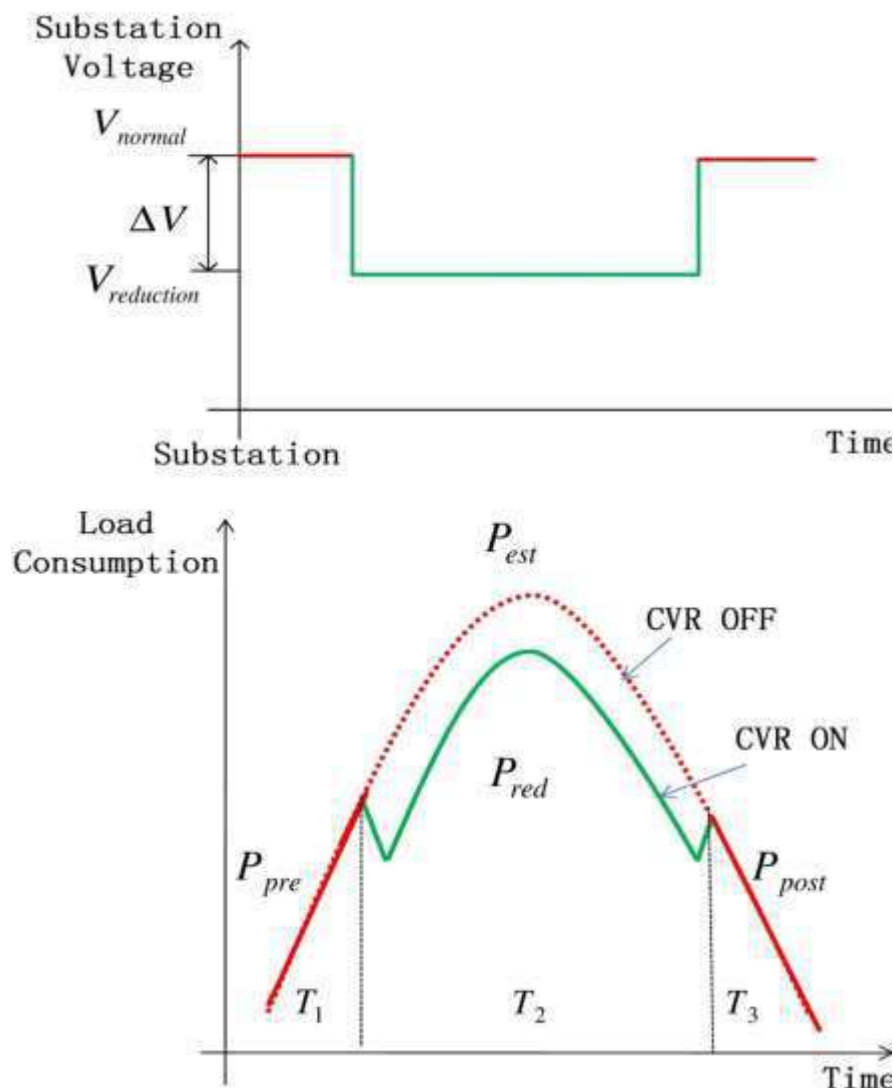


Иллюстрация эффекта снижения уровня напряжения на потребляемую мощность. Источник: ASCE

Новый подход к интеграции DER в распределительные сети состоит в согласованном регулирования напряжения при помощи двух типов устройств: сетевых устройств, реализующих CVR, и инверторов, через которые солнечная генерация подключена к сетям, и которые стоят у конечных потребителей. В условиях малой выработки на солнечных панелях и больших нагрузок за стабилизацию напряжения и снижение потерь отвечают в основном сетевые устройства, но в условиях существенной выработки на солнечных панелях и падения потребления из сети стабилизация напряжения и снижение потерь обеспечивается удаленно управляемыми инверторами, стоящими «за счетчиком». Такой «симбиоз» между сетями и

потребителями, с одной стороны, позволяет достичь большего эффекта снижения потерь, чем дает только локальная стабилизация напряжения на инверторах, с другой стороны, обеспечивает продление срока службы сетевого оборудования в условиях существенных скачков напряжения, вызванных изменчивым соотношением выработки и потребления на фидерах распределительных сетей.

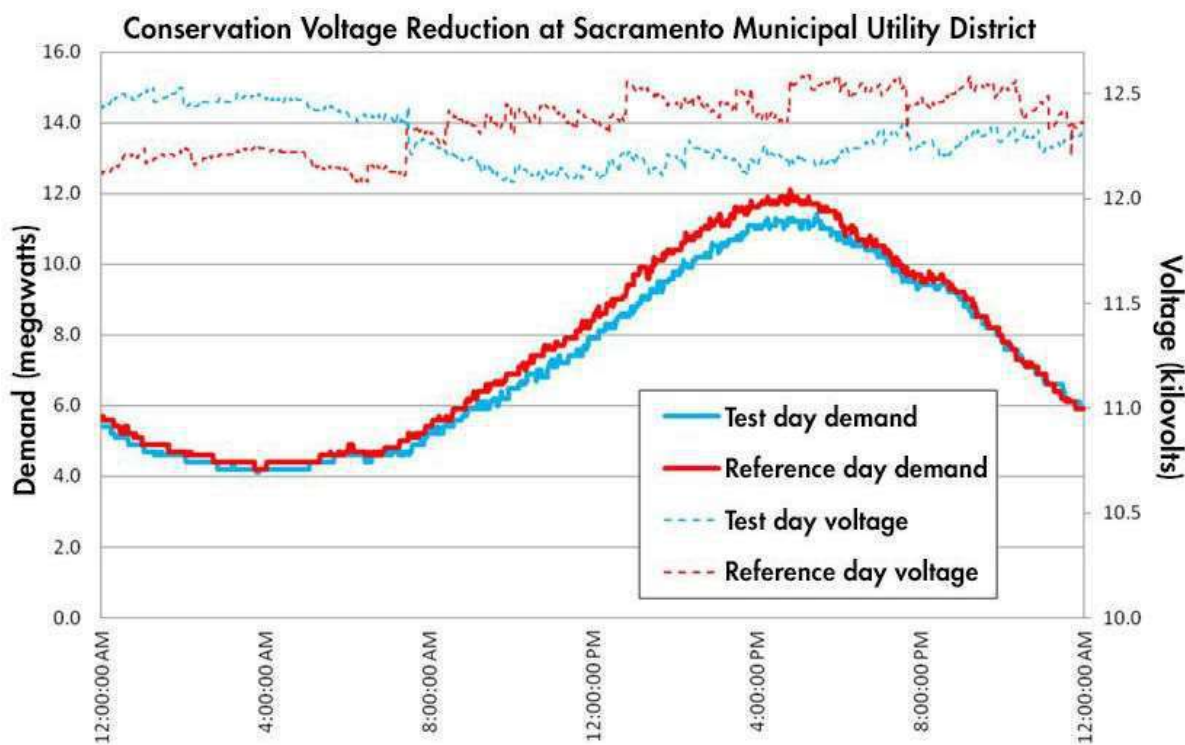
В своем подходе Utilidata объединяет сразу несколько технологий цифровой энергетики:

Собственную технологию анализа состояния сети в реальном времени, позволяющую, в частности, выявлять участки сети с большой генерацией на распределенных солнечных панелях;

Технологию управления оборудованием микрогридов и отдельных инверторов от Siemens;

Технологию «умных» счетчиков и удаленного мониторинга параметров потребления от Itron и Landys+Gyr.

В результате получается согласованное управление уровнями напряжения, потерь и эффективности применения DER как на стороне распределительных сетей, так и «за счетчиком», на стороне конечных потребителей, которое дает синергетический эффект: и сети, и потребители сообща получают большую эффективность.



Потребление электроэнергии и уровень напряжения на фидерах распределительных сетей в Сакраменто, Калифорния без CVR (красные линии) и с применением CVR (синие линии).

Источник: SMUD

Другая инновация Utilidata состоит в том, что технология CVR устанавливается конечным потребителем на свой «умный» счетчик в формате приложения (App), работающего на базе IoT платформ OpenWay Riva от Itron и Revelo от Landys+Gyr. Приложение Utilidata предлагает не только участие в работе CVR и повышении эффективности применения DER, но также глубокий анализ технических данных об электропотреблении, включая выявление мест коротких замыканий на линиях, предсказание аварий на оборудовании потребителей и даже выявление несанкционированного удаленного доступа к «умным» устройствам пользователей.

В настоящее время Utilidata участвует со своей оригинальной технологией CVR на базе данных, полученных в реальном времени, в тендере штата Нью-Йорк на лучшее решение по управлению «умными» (удаленно управляемыми) инверторами [3]. В 2020–2021 годах в рамках этого тендера технология будет апробирована в рамках управления инверторами, через которые в городках Клиффорд Парк, Рексфорд и Баллстон Лейк к сетям присоединена солнечная генерация общей мощностью 1 МВт.

[1] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/voltage-management-a-hidden-energy-efficiency-resource>

[2] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/utilidata-long-time-grid-voltage-specialist-sets-aim-on-grid-edge-controls>

[3] <https://portal.nyserda.ny.gov/servlet/servlet.FileDownload?file=00Pt000000HL3dREAT>

Алиса в стране энергетических чудес

Национальный рынок гибкости, эволюционирующие регуляторные «песочницы», отрицательные цены на электроэнергию, поддержание частоты при помощи накопителей и другие чудеса британской энергетики

Дата: 2 марта

Автор: Игорь Чаусов

Всё страньше и страньше! Всё чудесатее и чудесатее! Всё любопытственнее и любопытственнее!

Л. Кэрролл, «Приключения Алисы в Стране Чудес»

Великобритания, подобно кэрролловской Алисе, все глубже проваливается в «кроличью нору» энергетического перехода. Отрицательные цены на энергетическом рынке становятся обыденными, на падение частоты в энергосистеме быстрее всех реагируют — и удерживают ее на нормативном уровне — накопители энергии, а регуляторы проводят масштабное обновление нормативных «песочниц» и на общенациональном уровне запускают два крупнейших в мире пилота по торговле энергетической гибкостью. Но обо всем — по порядку...



Национальная рыночная площадка гибкости

Нужно бежать со всех ног, чтобы только оставаться на месте, а чтобы куда-то попасть, надо бежать как минимум вдвое быстрее!

Л. Кэрролл, «Приключения Алисы в Стране Чудес»

Достаточный ресурс энергетической гибкости позволит Великобритании к 2030 году экономить до £8 млрд в год по сравнению с затратами на работу существующей энергосистемы, а к 2050 году в условиях массового распространения электромобилей и тотальной электрификации теплоэнергетики размер этой экономии — при необходимом развитии практик по управлению гибкостью — будет находиться в пределах £17–40 млрд в год [1].

И британские энергетики намерены не упустить эти возможности. Стоило Ofgem определиться со своим представлением о том, какие [платформы гибкости](#) нужны Великобритании, как, используя поддержку Департамента стратегии бизнеса, энергетики и промышленности (BEIS), сразу два крупных оператора — Electron и Piclo — запускают свои пилотные проекты, один из которых стартует сразу же на общенациональном уровне [2].

Проект Piclo Exchange — это общая для всей Великобритании торговая платформа энергетической гибкости, на которой покупателями выступают все шесть операторов распределительных сетей (DNO, превращающиеся в DSO), а также системный оператор британской энергосистемы (NG ESO), а продавцами — более 250 источников энергетической гибкости от накопителей энергии и виртуальных электростанций до агрегаторов demand response, зарегистрированных на площадке Piclo Flex по всей стране. При этом гибкость может быть куплена в рамках различных сервисов от регулирования частоты до поддержания уровня напряжения или оптимизации загрузки сетей. До этого Piclo запускала только региональные площадки по торговле гибкостью в пределах действия одного из сетевых операторов, но теперь перешла к масштабированию. В проекте участвуют также крупные агрегаторы Anesco и Kaluza. Финансирование проекта со стороны BEIS — всего £0,5 млн.



Принципиальная схема торговой площадки Piclo Exchange. Источник: Piclo

Проект TraDER от Electron предоставляет коммерческую торговую площадку для прямых транзакций по купле-продаже гибкости между крупными генераторами и сетевыми компаниями, с одной стороны, и владельцами распределенных источников гибкости, с другой стороны. Площадка станет для владельцев источников гибкости единой точкой доступа к различным сервисам от балансирования спроса и предложения до регулирования частоты и разгрузки сетей. Пилот запускается в течение ближайших 6–8 недель на Оркнейских островах, об уникальных особенностях распределенной энергетики на которых мы уже [писали](#).

В проекте участвуют Scottish and Southern Electricity Networks, Community Energy Scotland, EDF UK, Kaluza, Energy Systems Catapult, Elexon и CGI IT UK. Государственное финансирование проекта составляет £1,6 млн.



Ветрогенераторы на Оркнейских островах

Вокруг энергетической гибкости между отраслевыми игроками начинают разворачиваться политические баталии. Алармистский доклад Energy UK, Ассоциации распределенной энергетики (ADE) и Британской ассоциации электротехнических и смежных предприятий (BEAMA) призывает национального регулятора энергетического рынка Ofgem к более активным действиям, необходимым, чтобы не упустить возможности, которые открывают практики по работе с энергетической гибкостью [3]. Эти действия включают обновление Плана развития «умной» и гибкой энергосистемы, выработку соответствующей амбициозной государственной политики и адаптацию энергетических рынков к торговле гибкостью.



Сам Ofgem совместно с BEIS называет гибкость «решающим фактором» в достижении энергетического перехода в Великобритании. В открытом письме к Ассоциации операторов электрических сетей (ENA) регуляторы призывают сетевых операторов к активной координации между рынками системных услуг и энергетической гибкости и выдвижению инициатив по новому нормативному регулированию и новым моделям энергетического рынка, которые помогли бы сетям эффективнее использовать распределенные ресурсы гибкости [4].

В годовом отчете Национальной инфраструктурной комиссии (NIC) вопрос гибкости также занимает центральное место [5]. В частности, доклад рекомендует снять барьеры для выхода агрегаторов управления спросом на рынок мощности, координировать планы по созданию рынков гибкости с планами по крупному сетевому строительству и ускорить обновление законодательства, чтобы обеспечить повсеместный доступ накопителей энергии на все энергетические рынки.

Шесть новшеств в регуляторных «песочницах»

Нет ничего на свете, из чего нельзя было бы сделать вывод. Надо только знать, как взяться за дело.

Л. Кэрролл, «Приключения Алисы в Стране Чудес»

После почти трех лет работы регуляторных «песочниц», вполне зарекомендовавших себя как инструмент поддержки новых энергетических практик, Ofgem существенно обновил правила их работы [15]. Более того, в рамках этого обновления регулятор переходит к эволюционирующим «песочницам», регламент работы которых будет намного чаще корректироваться за счет обратной связи со стороны компаний, которые воспользовались этим механизмом.



Изменения еще более облегчат компаниям использование «песочниц». Во-первых, исчезнут «трансферные» окна для подачи заявок на участие в регуляторных «песочницах». Во-вторых, становится возможным в рамках экспериментов снимать различные ограничения регламентов балансирующего рынка (BSC) и соглашений о техническом присоединении (DCUSA). Компании, использующие «песочницы», смогут запускать в них готовые бизнесы, а не только пилотные проекты. При этом стартапы смогут теперь показывать участие в регуляторных экспериментах как способ снятия регуляторных рисков при привлечении инвестиций. Ofgem выпустит детальный путеводитель по запуску регуляторных «песочниц», в котором учтет обратную связь от инноваторов, накопленную за два года. Наконец, компании, получившие отрицательное заключение на свои заявки по вхождению в регуляторные эксперименты, теперь всегда будут получать обратную связь и консультации Ofgem по причинам отказа.

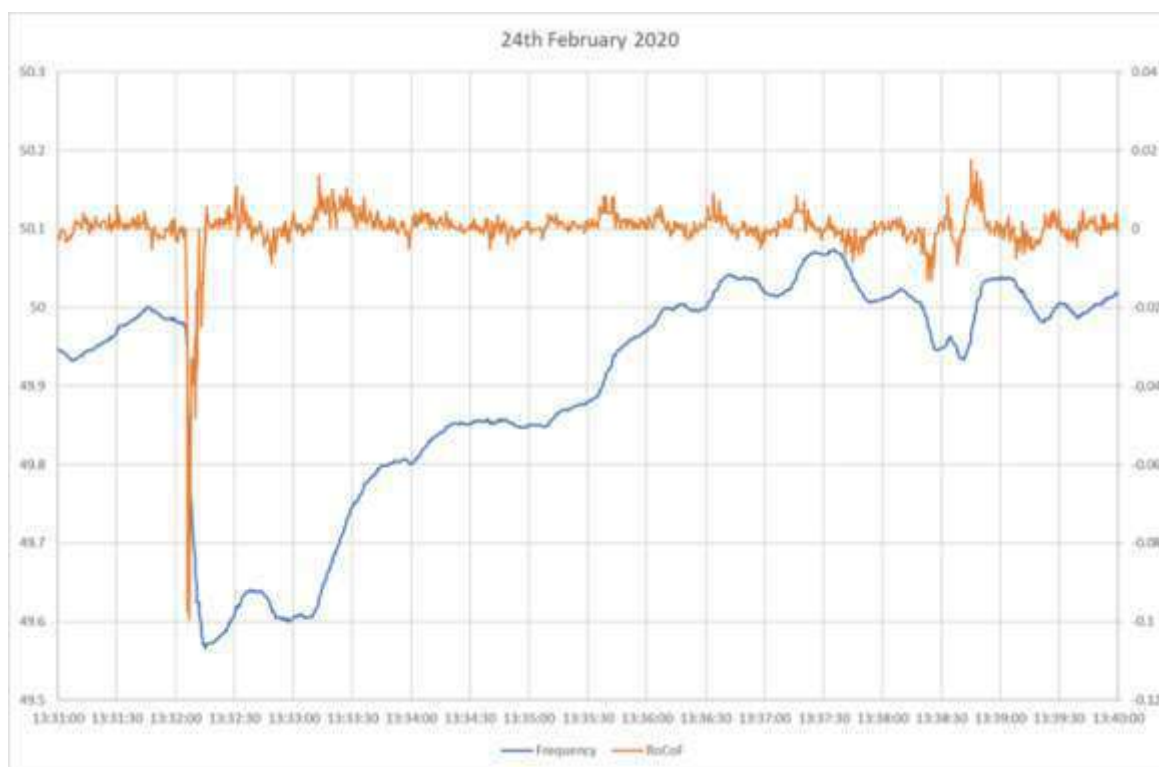
Механизм регуляторного эксперимента в прошлом году активно использовался для создания региональных рыночных площадок для распределенной энергетики. ВР в рамках него создала платформу для микрогенерации, торгующей излишками энергии, а Verv совместно с British Gas — локальный peer-to-peer рынок солнечного электричества в Хакни [6]. Тем временем, Centrica в своей регуляторной «песочнице» в Корнуолле апробировала локальный рынок гибкости в партнерстве с Western Power Distribution [7].

Накопители спасают частоту и зарабатывают на отрицательных ценах

Какой сегодня день странный! А вчера все шло, как обычно! Может, это я изменилась за ночь?

Л. Кэрролл, «Приключения Алисы в Стране Чудес»

Источники энергетической гибкости, особенно системы накопления электроэнергии, уже приносят энергосистеме Великобритании неоценимую пользу. Когда 24 февраля 2020 года из-за внезапного отключения подводной линии Nemo, связывающей Великобританию с Бельгией, из баланса выпало более 1 ГВт мощности, а частота упала до 49,59 Гц, именно агрегаторы управления распределенными накопителями Flexitricity и Upside Energy первыми отреагировали на запрос NG ESO и поставили в систему необходимую мощность, не дав частоте уйти ниже аварийных 49,50 Гц [8].



Отклонения частоты и мощности в энергосистеме Великобритании 24.02.2020. Источник: Flexitricity

Аналогичный случай произошел в июле 2019 года, когда при падении частоты до 49,59 Гц цена на электроэнергию резко скакнула до £98 за МВт·ч [9]. Тогда необходимую гибкость системе предоставили Social Energy и Limejump. До этого в июне похожее отключение транзита между Францией и Англией привело к падению частоты до 49,63 Гц, и снова Flexitricity и Limejump успешно отработали запрос системного оператора [10].

При этом накопители энергии в Великобритании активно зарабатывают на ставших уже обыденными отрицательных ценах на электроэнергию — следствии значительной доли ветровой генерации в энергетическом балансе. С начала 2020 года Drax Electric Insights насчитал уже 22 случая отрицательных получасовых цен вплоть до –£60 за МВт·ч [11]. В прошлом году периоды отрицательных цен в мае по продолжительности достигали 9 часов подряд [12], а в декабре цены падали до –£88 за МВт·ч [13].



Цены на электроэнергию на PCB в Великобритании в декабре 2019 года. Источник: Drax Electric Insights

В такие периоды операторы, предоставляющие на разных рынках источники гибкости, не только получают дополнительную монетизацию использования накопителей, заряжая их с получением дохода, но и обеспечивают себе увеличение прибыли за счет оказания услуг по балансированию системы и снятию сетевых ограничений на прием мощности от ветрогенерации. При этом совокупные суточные платежи владельцам ветровой генерации на балансирующем рынке за отключение их генераторов от системы в штормовую погоду — при особенно хороших условиях для выработки, — происходящее из-за внеплановых ремонтов на крупных линиях постоянного тока (HVDC) могут достигать £31 млн [14], и энергетическая гибкость эффективно снижает именно такие затраты, удешевляя энергосистему.

[1] <https://www.current-news.co.uk/news/action-needed-to-ensure-uk-doesnt-miss-flexibility-opportunity>

[2] <https://www.gov.uk/government/publications/flexibility-exchange-demonstration-competition-flex-winning-projects/flex-competition-winning-projects>

- [3] <https://www.energy-uk.org.uk/files/docs/Research%20and%20reports/DeliveringthepotentialofFlexibility.pdf>
- [4] <https://www.current-news.co.uk/news/flexibility-crucial-to-evolving-networks-says-ofgem-and-beis>
- [5] <https://www.current-news.co.uk/news/flexibility-takes-centre-stage-in-nic-annual-report-as-a-clear-level-of-ambition-needed>
- [6] <https://www.current-news.co.uk/news/bp-and-british-gas-named-among-new-regulatory-sandbox-participants-as-energy-marketplaces-take-off>
- [7] <https://www.current-news.co.uk/news/centrica-lem-achieves-breakthrough-as-flexibility-trading-platform-goes-live>
- [8] <https://www.current-news.co.uk/news/frequency-response-providers-called-into-action-following-belgian-interconnector-trip>
- [9] <https://www.current-news.co.uk/news/flexibility-response-triggered-by-drop-in-grid-frequency-to-49-59hz>
- [10] <https://www.current-news.co.uk/news/french-interconnector-trip-triggers-flexibility-providers-into-action>
- [11] <https://www.current-news.co.uk/news/negative-pricing-will-be-a-big-feature-as-high-winds-get-the-uk-network-off-to-a-strong-start>
- [12] <https://www.current-news.co.uk/news/uk-negative-power-pricing-record-smashed-and-balancing-costs-spike-during-extraordinary-weekend>
- [13] <https://www.current-news.co.uk/news/surging-wind-and-plunging-prices-as-flexibility-helps-to-balance-record-breaking-generation-2>
- [14] <https://www.current-news.co.uk/news/western-link-hvdc-outage-caused-record-constraint-management-payments-as-wind-power-surged>
- [15] <https://www.current-news.co.uk/news/ofgem-unveils-updated-innovation-sandbox>

Микрогриды швартуются в портах

Порты становятся все более привлекательными площадками для создания промышленных микрогридов

Дата: 17 марта

Автор: Игорь Чаусов

*А порт не спит... Товарные вагоны
По рельсам двигаются и скрипят...
Течет зерно струей неугомонной,
И грузчики у схода голосят.
И дни текут, пропахшие душистой
Пшеничной пылью, дымом и смолой;
Всё тот же зной, томительный и мглистый,
И плачущий мартын над головой...*

Эдуард Баргрицкий «Порт»

Промышленные микрогриды становятся все более привлекательными решениями для энергоснабжения крупных морских портов. Собственная генерация, накопители энергии и регулируемые нагрузки, собранные под единым управлением в микроэнергосистему — эффективное дополнение к электроснабжению от сети. Микрогрид увеличивает надежность электроснабжения и придает ему гибкость — возможность управлять величиной мощности, потребляемой из сети, и за счет этого оптимизировать расходы на электроснабжение. Более того, энергетическая гибкость, которую микрогрид придает портовой энергетической инфраструктуре, позволяет существенно нарастить электрификацию всех технологических процессов, идущих в порту, в том числе перейти на использование исключительно электрической тяги в виде различных электропогрузчиков и даже подключить к энергосистеме порта пришвартованные корабли [\[1\]](#).



Порт Лонг-Бич

Калифорнийский порт Лонг-Бич запустил проект создания микрогрида, который должен помочь в достижении стратегической цели полной электрификации портового транспорта и технологического оборудования [2]. Рост спроса на мощность делает оптимизацию стоимости присоединения к сетям и покупки электроэнергии из сети чрезвычайно насущной и требует оригинальных решений.

Таким решением выступает создание микрогрида стоимостью \$7,1 млн в составе 300 кВт солнечной генерации, стационарных накопителей мощностью 330 кВт и емкостью 670 кВт·ч, а также 500 кВт уже установленных дизельных дизель-генераторов. Микрогрид с управляемыми нагрузками за счет большого ресурса энергетической гибкости позволит снизить затраты на электроснабжение и будет увеличивать долю «зеленой» энергии, потребляемой портом. Изюминкой этого микрогрида является мобильная система накопления электроэнергии мощностью 250 кВт и емкостью 220 кВт·ч, которая при необходимости доставляет электроэнергию к наиболее критичным потребителям порта и может использовать как передвижной источник энергии, приезжающий в те участки порта, где на короткий срок возникает пиковая потребность в мощности, ради удовлетворения которой нет смысла реконструировать собственные сети порта. Аналогичная «передвижная аккумуляторная батарея» мощностью 1 МВт и емкостью 4 МВт для срочной подачи мощности к потребителю была реализована в Нью-Йорке Consolidated Edison и NRG Energy [3].

Проект получил \$5 млн финансирования от Калифорнийской энергетической комиссии в рамках Программы инвестиционных платежей в электроэнергетике. Проект реализуется большим консорциумом в составе администрации порта, компаний Schneider Electric, Southern California Edison, а также EPRI, NREL и ряда местных колледжей. Проект должен быть реализован к августу 2021 г.

Аналогичный проект с 700 кВт солнечных панелей и 700 кВт накопителей реализуется с 2018 г. в порту Сан-Диего [\[4\]](#). Как ожидается, совместно с переходом к энергоэффективным управляемым нагрузкам, микрогрид в Сан-Диего снизит совокупные платежи за электроэнергию на 60%.



Военно-морское командование надводных кораблей ВМФ США в Порте Хаенем

Микрогриды привлекают внимание не только коммерческих потребителей, свою апробацию таких решений на базе распределенной энергетики ведет ВМФ США. На военно-морской базе Порт Хаенем в Калифорнии флот совместно с EPRI и гражданским подрядчиком Northern Reliability Inc. ведут работы по установке солнечной генерации и накопителей на 250 кВт мощности и 1 МВт·ч емкости, которые будут повышать надежность электроснабжения базы и снижать ее расходы на это электроснабжение [\[5\]](#).

О планах Сингапура создать крупный микрогрид морского порта с согласованным управлением портовыми сетями, генерацией и нагрузками в терминале Пасир Панджанг мы подробно писали в нашем [докладе](#).



Порт Белфаста

Еще один любопытный проект такого рода, в рамках которого в создании промышленного микрогрида заинтересован морской порт, запускается в настоящее время в Белфасте [6]. В рамках этого проект стоимостью \$9,5 млн будет реализован внутренний рынок между микрогридом и множеством собственников электрических нагрузок с ценозависимым управлением их потреблением. Микрогрид будет также питать различных коммерческих потребителей, которые размещаются в зданиях исторической части порта в рамках ее активной джентрификации. Любопытно, что сам порт Белфаста является крупнейшей в Великобритании портовой площадкой, с которой для установки в море отправляются оффшорные ветрогенераторы, и специализируется на логистике для морской возобновляемой энергетики [7].

[1] <https://ieeexplore.ieee.org/document/8887201>

[2] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/california-ports-turning-to-microgrids-for-energy-security-demand-flexibility>

[3] <https://www.utilitydive.com/news/coned-nrg-partner-on-4-mwh-mobile-battery-storage-demo-for-rev-docket/437125/>

[4] <https://microgridknowledge.com/microgrids-benefit-ports-san-diego/>

[5] <https://www.power-eng.com/2019/12/10/solar-battery-hybrid-microgrid-bound-for-epri-navy-testing-deployment/#gref>

[6] <https://www.belfast-harbour.co.uk/port/renewables>

[7] <https://www.belfast-harbour.co.uk/port/renewables>

Эра энергетической гибкости

Дата: 25 марта

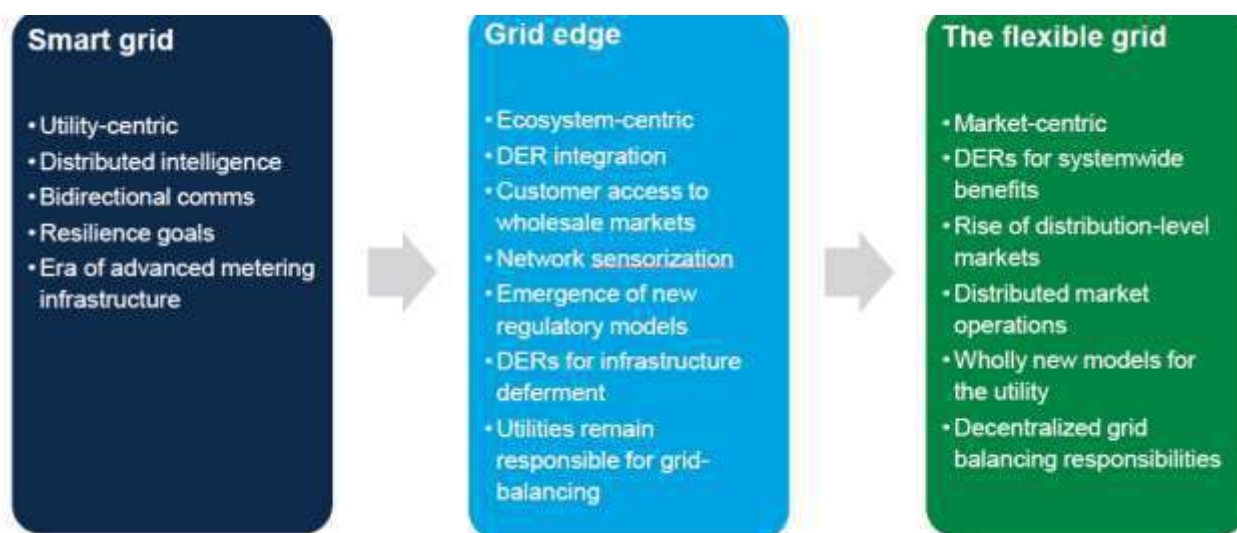
Автор: Игорь Чаусов

О переходе от локальных практик к рынкам энергетической гибкости

Пока быстро нарастающая пандемия COVID-19 и беспрецедентные меры по борьбе с ней ставят на паузу мировую экономику, а вместе с ней и энергетический переход, возникает возможность задуматься о стратегическом будущем энергосистем и энергетических рынков. Wood Mackenzie называет это будущее ни больше ни меньше новой эрой гибких энергосистем (flexible grid), или эрой энергетической гибкости.



В своем новом докладе Wood Mackenzie выделяет три крупных стадии развития энергосистем с распределенными источниками энергии, последовательно сменяющими друг друга по мере роста доли таких источников в энергобалансе [\[1\]](#).



Стадии развития «умной» энергетики. Источник: Wood Mackenzie

Стадия «умных сетей» (smart grid) характеризуется централизованным ответом энергосистем и электрических сетей на вызов распределенной энергетики и ВИЭ за счет новых — цифровых — технологий. Самым важным качеством, которое обеспечивают «умные сети», на этом этапе становится надежность электроснабжения в усложняющихся условиях работы, достигаемая за счет наблюдаемости, цифровизации и роста числа измерений. Главными драйверами изменений на этом этапе остаются энергоснабжающие и сетевые компании.

Стадия «энергетической передовой линии» (grid edge), которая как раз завершается на рубеже 2020 года, отличается активной интеграцией распределенной энергетики в сети, выстраиванием локальных экосистем активных потребителей, появлением у них возможности вносить вклад в управление энергосистемами, апробацией новых регуляторных моделей. Можно сказать, что эта стадия сосредоточилась на новых практиках, связанных с распределенными источниками энергии и гибкости, в частности, на практиках по управлению энергетической гибкостью. Главными драйверами на этой стадии были технологические компании — операторы таких новых цифровых практик.

Наконец, следующая стадия «гибких энергосистем», скорый переход к которой обещает Wood Mackenzie, будет отличаться тем, что за счет переформатирования энергетических рынков и появления национальных или даже региональных рынков гибкости распределенные энергетические ресурсы начнут оказывать полезное действие на энергосистемы в целом и станут полноправными участниками управления этими энергосистемами. Например, сегодня в США 32 ГВт распределенных энергетических мощностей оказывают прямое или опосредованное агрегаторами влияние на оптовый рынок электроэнергии. При этом процесс развития локальных рынков на уровне распределительных сетей продолжится, и рынки образуют сложную вертикаль от крупных региональных объединений до одноранговых торговых площадок локальных сообществ. Ключевыми драйверами, как не трудно понять, на

этой стадии становятся как раз операторы новых рынков — стейкхолдеры, определяющие правила этих рынков.

В профессиональном сообществе последние два года продолжается активная [дискуссия](#) на тему о том, как должны быть устроены такие новые рынки энергетической гибкости.



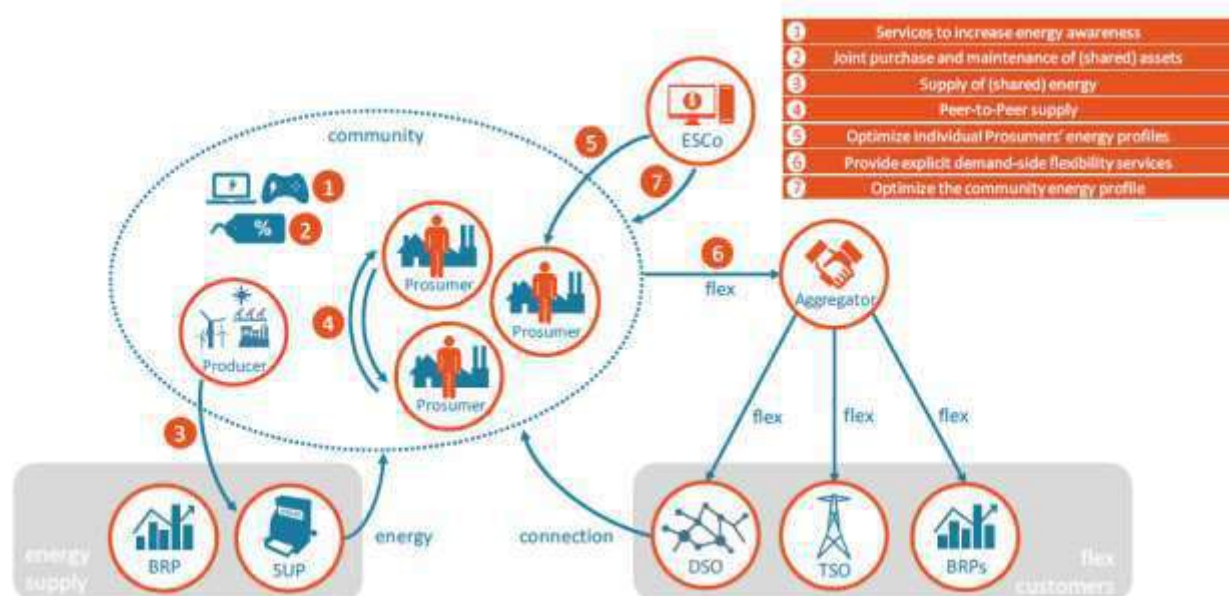
Временные рамки и масштабные уровни торговли энергетической гибкостью. Источник: IEA — ISGAN

Интересный вариант сегментации рынка гибкости дает доклад международной группы в рамках Международной сети по развитию умных сетей (ISGAN), действующей как программа Международного энергетического агентства (IEA) [2]. ISGAN определяет четыре сегмента по тому, в каких целях используется энергетическая гибкость:

1. Гибкость для управления балансом мощности. Сегмент, в котором на краткосрочном периоде (до часа) торгуется энергетическая гибкость, используемая для поддержания баланса мощности в энергосистеме, включая регулирование частоты.
2. Гибкость для управления балансом энергии. Сегмент, в котором на среднесрочном и долгосрочном (от суток до нескольких лет) торгуется энергетическая гибкость, которая используется для управления балансом спроса и предложения энергии, в том числе для управления рынков электроэнергии и долгосрочного планирования использования энергетических ресурсов.
3. Гибкость для управления передачей энергии. Сегмент, в котором на горизонте от нескольких минут до нескольких часов торгуется энергетическая гибкость, влияющая на пропускную способность электрических сетей и возможности транспорта электроэнергии и мощности от центров генерации к центрам потребления.
4. Гибкость для управления качеством электроэнергии. Сегмент, в котором в краткосрочном режиме (от секунд до нескольких минут) торгуется энергетическая гибкость, оказывающая локальное воздействие на уровень напряжения в электрических сетях и поддерживающая необходимое качество электроэнергии.

Чрезвычайно интересный анализ вариантов торговли гибкости применительно к городскому энергетическому сообществу был подготовлен в прошлом году европейским фондом USEF («Универсальным фреймворк по умной энергетике») [3]. Этот доклад любопытен в первую очередь тем, что рассмотрение городского энергетического сообщества захватывает максимально широкий круг стейкхолдеров, участвующих в торговле гибкостью. Он позволяет посмотреть на взаимоотношения большого числа субъектов: просьюмеров, городского энергетического сообщества, в которое они входят, энергоснабжающей и сбытовой компании, у которой они покупают энергию, локальных генераторов, агрегаторов, работающих с просьюмерами, сетевых компаний (как TSO, так и DNO), оператора распределенной энергосистемы (DSO) и национального системного оператора. Подготовленные USEF схемы позволяют выделить следующие необходимые уровни рынков энергетической гибкости:

- Локальный одноранговый рынок энергетического сообщества, на котором просьюмеры торгуют друг с другом и с местными генераторами;
- Розничный рынок гибкости, в рамках которого торговля гибкостью будет происходить между просьюмерами, сбытовыми компаниями и энергоснабжающими компаниями;
- Оптовый рынок гибкости, на котором за счет агрегаторов локальные энергетические сообщества, просьюмеры и местные генераторы получают возможность опосредованно торговать с субъектами оптового рынка и операторами распределенных энергосистем (DSO).



Модель торговли энергетической гибкостью и взаимного оказания услуг вокруг городского энергетического сообщества. Источник: USEF

При этом USEF практически повторяет выводы ISGAN и выделяет три предмета управления гибкостью, или три рыночных платформы, на которых гибкость необходима для разных задач [4]:

1. Рыночная платформа — управление рынком электроэнергии за счет гибкости. Соответствует гибкости для управления балансом энергии в подходе ISGAN.
2. Балансирующая платформа — управление балансом мощности и частотой. Соответствует гибкости для управления балансом мощности у ISGAN.
3. Платформа управления сетями — управление в интересах TSO и DSO. Соответствует объединению гибкости для управления передачей и качеством электроэнергии в подходе ISGAN.



Предметы торговли энергетической гибкостью. Источник: USEF

В настоящее время в ряде стран Европы, в первую очередь, Великобритании, начался переход к пилотированию рыночных площадок для торговли гибкостью. Но еще ни одна из стран, даже лидеров энергетического перехода, не ввела общенациональную модель рынка гибкости даже в режиме эксперимента.

[1] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/will-the-2020s-define-the-next-phase-of-the-grid-edge>

[2] <https://www.iea-isan.org/flexibility-in-future-power-systems/>

[3] <https://www.usef.energy/app/uploads/2019/02/USEF-White-Paper-Energy-and-Flexibility-Services-for-Citizens-Energy-Communities-final-CM.pdf>

[4] https://www.usef.energy/app/uploads/2018/11/USEF-White-Paper-Flexibility-Platforms-version-1.0_Nov2018.pdf

Умные множества: домохозяйства и электромобили на службе энергетической гибкости

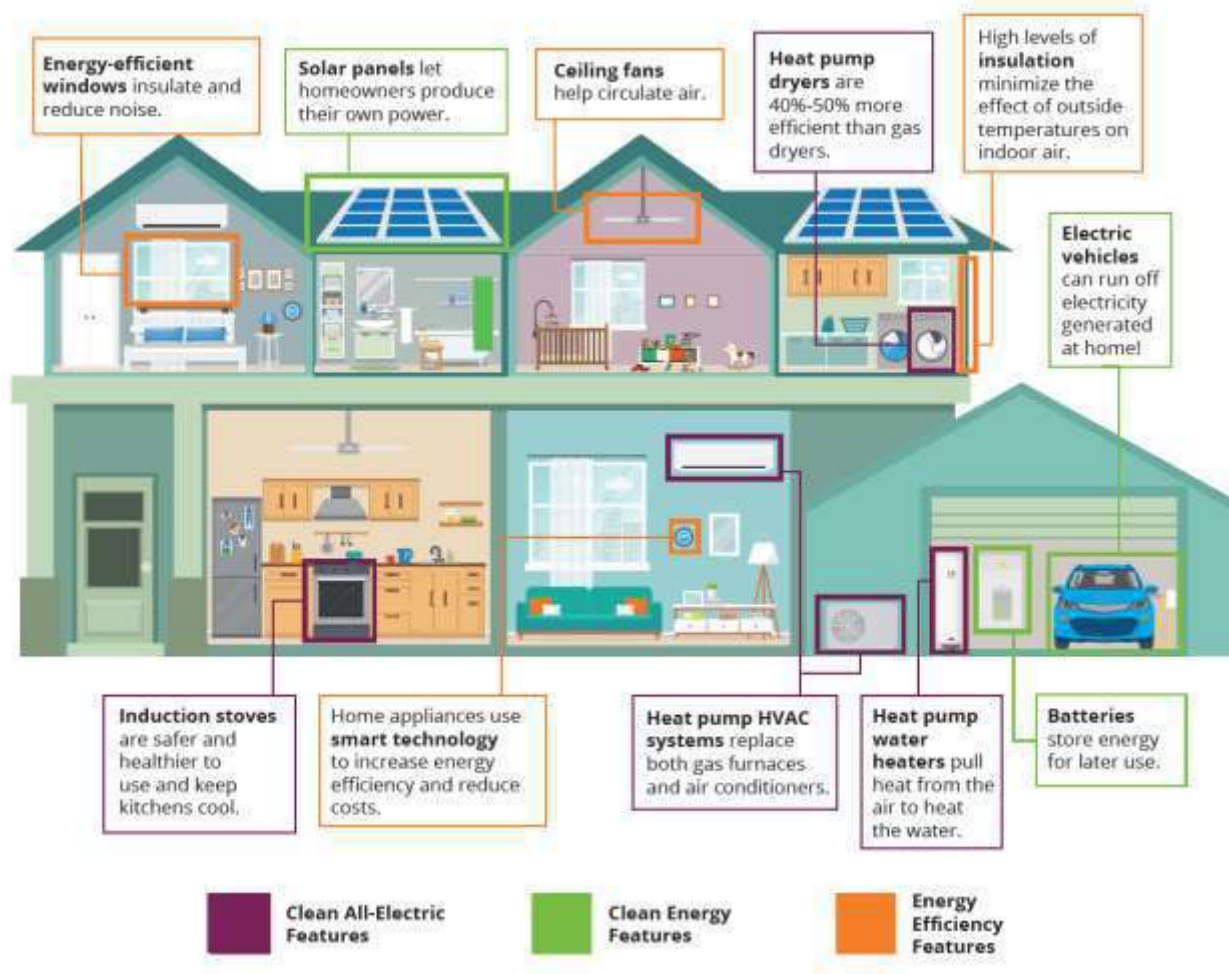
Корпоративные парки электромобилей, агрегированные домашние накопители и полностью «электрические» дома становятся успешными игроками на рынке гибкости

Дата: 5 апреля

Автор: Игорь Чаусов

Роль домохозяйств и электротранспорта, агрегированных в управляемые множества, предоставляющие на рынках энергетическую гибкость, становится все более заметной. Этому способствует быстрое развитие бизнесов, действующих по моделям агрегаторов и виртуальных электростанций (VPP) и использующих для управления множествами агрегированных объектов цифровые платформы.

По оценке SEPA, к середине 2019 года треть всех мощностей, находящихся под управлением энергоснабжающих компаний в США в рамках программ demand response, принадлежала бытовым потребителям [\[1\]](#). Аналитическое агентство Rethink Technology Research ожидает, что к 2025 году в секторе управления спросом домохозяйств по всему миру будет собрано 212 млн домохозяйств [\[2\]](#). И эти данные не учитывают гибкость, которую частные потребители смогут предоставлять на рынки вне программ по управлению спросом. Navigant Research оценивает мировой рынок систем интеллектуального управления энергетикой домохозяйств (HEMS) — как уже существующих, так и строящихся — в \$4,4 млрд в 2019 году с перспективой роста до \$12 млрд к 2028 году [\[3\]](#).



Устройство «полностью электрического дома». Источник: Edison Electric

Своего рода расширением рынка HEMS выступает новый рынок создания «полностью электрических» домов. В таких домах все бытовые процессы, в том числе отопление, приготовление пищи, охлаждение и кондиционирование полностью электрифицированы. Этот новый рынок включает как системы интеллектуального управления энергетикой домохозяйств, и потому частично пересекается с рынком HEMS, так и различное энергетическое оборудование для этих домохозяйств: тепловые насосы, зарядные станции для персональных электромобилей, системы HVAC, кухонное и водонагревательное оборудование. Navigant Research прогнозирует быстрый рост этого сектора: если к 2020 году он достигает \$2,4 млрд, то к 2029 году должен вырасти до \$12,9 млрд [4]. В «полностью электрических» домах значительная доля электрических нагрузок связана с инертными тепловыми процессами, они располагают существенными ресурсами энергетической гибкости, и их множества, собранные под правильным управлением, — пулы гибкости — могут стать успешными игроками на рынках энергетической гибкости.

Popular Mechanics Magazine

REGISTERED IN U. S. PATENT OFFICE AND CANADA

WRITTEN SO YOU CAN UNDERSTAND IT

Vol. 72

AUGUST, 1939

No. 2

The ELECTRIC HOME of the FUTURE

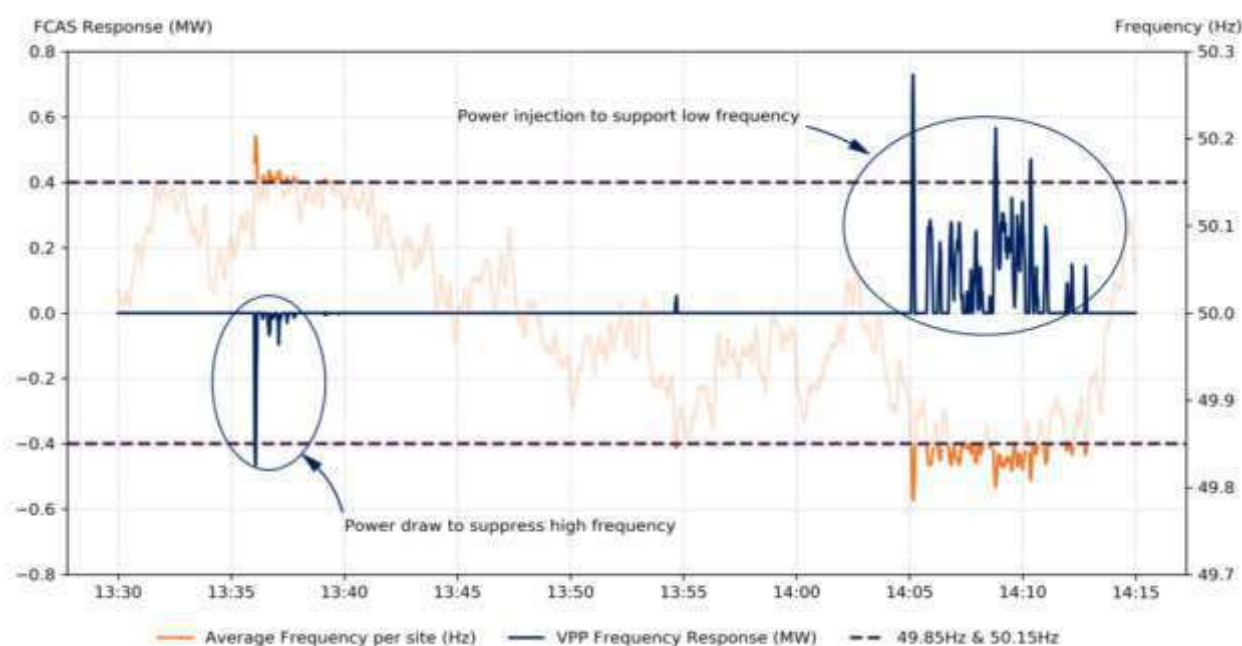


«Электрический дом» — не такая уж новая идея... Обложка журнала «Popular Mechanics Magazine» за август 1939 года

Мощным конкурентным преимуществом источников гибкости, установленных в домохозяйствах, является то, что большинство этих источников не требует дополнительных инвестиций в капитальное строительство и установку, так как они были куплены домохозяйствами для решения бытовых задач, вообще не связанных с энергетикой. Работа на рынках гибкости — дополнительный канал монетизации и повышения эффективности использования такого оборудования.

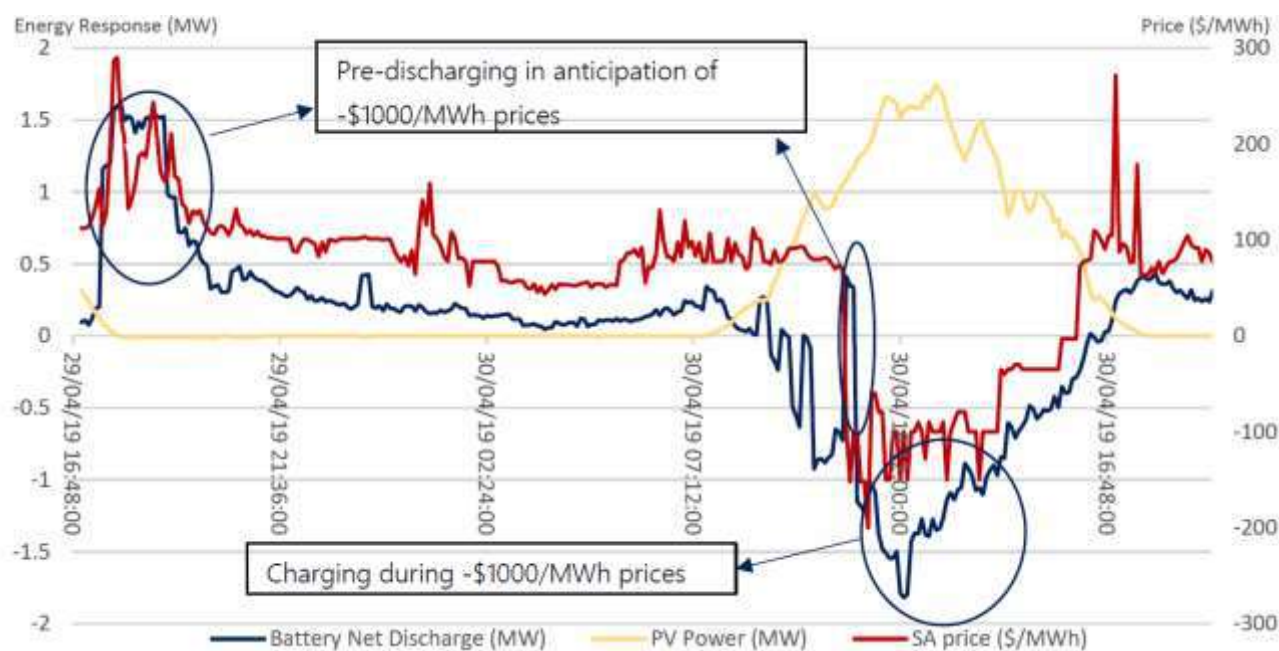
Понимая коммерческие перспективы управления распределенными источниками гибкости, принадлежащими домохозяйствам, крупные агрегаторы активно вкладываются в освоение компетенций по такому управлению. Британский агрегатор

Catapult привлек IT-компанию SysMech, чтобы создать облачную Платформу цифровой интеграции (DIP) в рамках расширения своей «живой лаборатории», уже включающей 100 домохозяйств [5]. Цель проекта — сформировать за счет технологий IoT открытый для стартапов интероперабельный полигон по апробации и демонстрации различных технологий интеллектуального управления домашней энергетикой, в том числе домашними источниками гибкости. Общую потребность энергосистемы Великобритании в хранении энергии для обеспечения гибкости, необходимой для углеродной нейтральности, Catapult оценивает в 4–8 ГВт накопления электроэнергии, 254–258 ГВт накопления тепловой энергии (в том числе — за счет электрификации отопления) и 150–164 ГВт водородного накопления [6].



Работа виртуальной электростанции на базе домашних накопителей энергии по регулированию частоты в энергосистеме Южной Австралии 10 декабря 2019 года. Источник: АЕМО

Один из перспективных источников гибкости — стоящие в домохозяйствах накопители энергии. Пилотный проект Оператора австралийского энергетического рынка (АЕМО) по участию домашних накопителей в рынках, связанных с сервисами гибкости — регулировании частоты и балансировании ВИЭ — в Южной Австралии показал неплохие результаты. За счет предоставления этих сервисов домохозяйства экономят до 35% затрат на энергоснабжение, а срок окупаемости установленных в них накопителей не превышает 7 лет [7]. При этом предварительный отчет АЕМО на конкретных кейсах показывает, что агрегированные под интеллектуальным управлением множества домашних накопителей одинаково хорошо справляются с удержанием частоты в заданном диапазоне $50 \pm 0,15$ Гц, работая как на «разгрузку», так и на «загрузку».



Участие агрегированных домашних накопителей энергии на рынке электроэнергии в Австралии 30 апреля 2019 года. Источник: AEMO

Кроме того, такие множества успешно реагируют на возникающие на рынке небалансы спроса и предложения, приводящие к резким колебаниям цен, разряжаясь в период пика цен и заряжаясь при низких и отрицательных ценах, в конечном счете увеличивая долю ВИЭ в энергетическом балансе и поддерживая систему во время сетевых ограничений [8].



Почтовый электрический фургон на службе UPS

Другой потенциально сильный игрок на рынках гибкости — логистические компании, курьерские службы и почтовые сервисы. Ожидается, что в странах, активно переходящих на электротранспорт, именно такие компании станут первыми операторами больших электрических автопарков. Первые ласточки, желающие попробовать свой «электрический флот» на рынке гибкости, уже появляются. В Великобритании один из крупнейших глобальных логистических сервисов UPS совместно со знаменитым стартапом MOIXA и компанией UK Power Networks Services запустили проект «Локальная энергосистема электрического автопарка» (EFLES) по использованию электрического автопарка в качестве агрегированного источника гибкости, предоставляемой в интересах распределительных сетей [9]. В депо UPS в Кэмдене разработанная MOIXA платформа GridShare будет управлять множеством зарядных станций для снижения затрат на электроэнергию и оказания сервисов гибкости в адрес сетевой компании.

[1] <https://sepapower.org/resource/2019-utility-demand-response-market-snapshot/>

[2] <https://rethinkresearch.biz/report/residential-demand-response-2019-2025/>

[3] [https://www.navigantresearch.com/news-and-views/global-home-energy-management-revenue-is-projected-to-reach-more-than-\\$12-billion-in-2028](https://www.navigantresearch.com/news-and-views/global-home-energy-management-revenue-is-projected-to-reach-more-than-$12-billion-in-2028)

[4] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/a-boom-is-coming-for-all-electric-homes-despite-lag-in-consumer-awareness>

[5] <https://www.current-news.co.uk/news/sysmech-to-deliver-software-platform-for-energy-systems-catapult-run-innovation-test-environment>

[6] <https://es.catapult.org.uk/reports/innovating-to-net-zero/?download=true>

[7] <https://www.energy-storage.news/blogs/virtual-power-plant-demonstration-in-australia-shows-financial-and-network>

[8] <https://aemo.com.au/-/media/files/electricity/nem/der/2019/vpp-demonstrations/aemo-knowledge-sharing-stage-1-report.pdf?la=en&hash=50B02E668A57A9B5257951537F431134>

[9] <https://www.current-news.co.uk/news/ups-moixa-and-ukpn-launch-truly-innovative-fleet-electrification-project>

«Калифорнийская утка» на карантине

Карантин позволяет увидеть паттерны спроса на энергетическую гибкость и ускоряет создание соответствующих рынков

Дата: 8 апреля

Автор: Игорь Чаусов



Пока жители Техаса, следуя решению губернатора штата, сидят из-за коронавируса по домам, местные энергетики используют инфраструктуру «умного» учета, чтобы проанализировать паттерны электропотребления. Любопытный доклад о том, как за счет карантина изменилась знаменитая «калифорнийская (точнее — техасская) утка», подготовила исследовательская группа Pecan Street [\[1\]](#). Аналитики группы сравнили электропотребление 114 домов в Остине, 79 из которых оборудованы крышными солнечными панелями, и 50 домов — зарядными станциями для электромобилей.



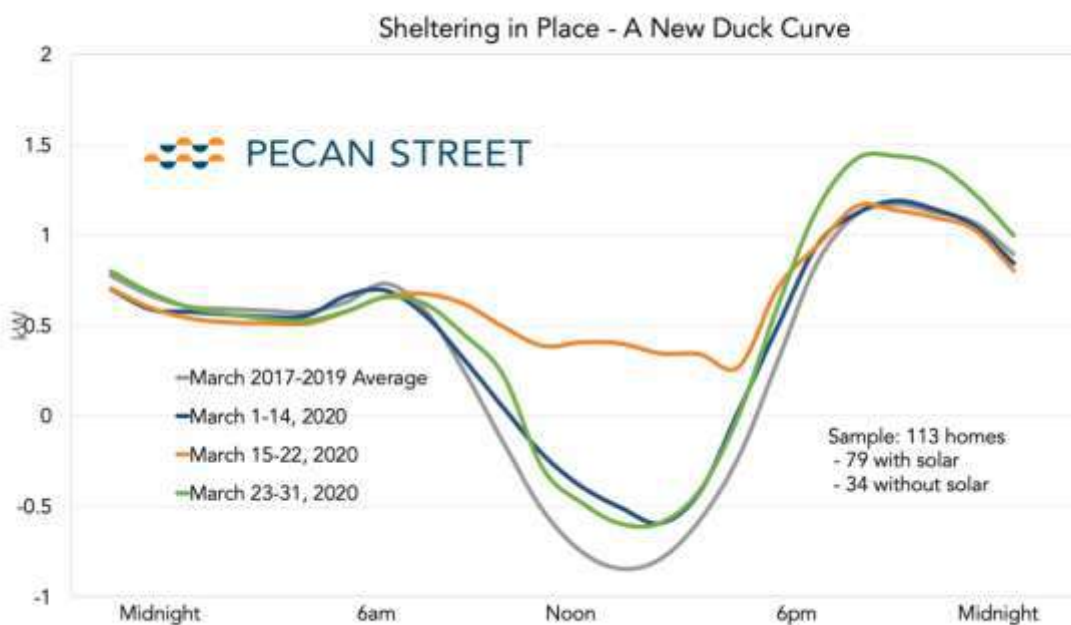
Потребление электроэнергии домохозяйствами в Остине, Техас в марте 2020 г. в сравнении с аналогичным периодом 2017–2019 гг. Источник: Pecan Street

В целом электропотребление домохозяйств в марте 2020 в сравнении с этим же периодом 2017–2019 годов выросло почти на 20%. При этом, по оценке EIA, в США в 2020 году в итоге потребление в коммерческом секторе упадет на 4,7%, а в промышленности — на 4,2% по сравнению с прошлым годом [2].



Суточный профиль потребления электроэнергии домохозяйствами в Остине, Техас в марте 2020 г. в сравнении с аналогичным периодом 2017–2019 гг. Источник: Pecan Street

Провал потребления из сети, приходящийся на середину дня, стал менее заметным или даже исчез, что ожидаемо, поскольку выработка на крышных солнечных панелях перестала покрывать потребление находящихся днем дома людей. Любопытно, что вырос вечерний пик. С одной стороны, это объясняется тем, что люди перестали возвращаться с работы в разное время, и совмещенный максимум потребления стал менее широким и более высоким. С другой стороны, можно было бы предположить, что в силу разных привычек вечерний пик, наоборот, растянется, потому что периоды приготовления еды, просмотра телевизора и других активностей, не обусловленные во время карантина временем возвращения с работы, в разных домохозяйствах будут приходиться на разное время. Но эта гипотеза в полной мере не оправдалась. Забавным оказалось наблюдение, что за время карантина от недели к неделе росло потребление энергии холодильниками, что свидетельствует о том, что люди стали намного чаще их открывать, что-то доставать и что-то в них убирать.

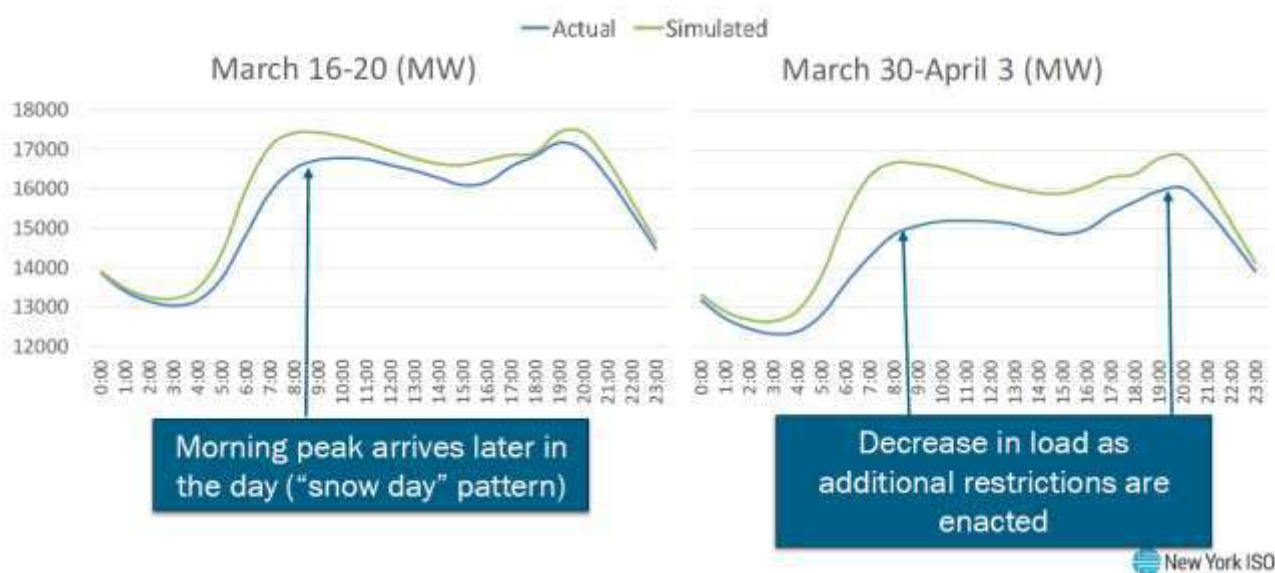


Суточный профиль перетока мощности между домохозяйствами и сетью в Остине, Техас в марте 2020 г. в сравнении с аналогичным периодом 2017–2019 гг. Источник: Pecan Street

Наиболее ярким открытием стала существенная разница в потреблении с 15 по 22 марта 2020 года в сравнении с другими периодами карантина: профиль потребления на этой неделе идет выше и существенно ровнее. Это объясняется разницей средних дневных температур: из-за жаркой погоды сидящие по домам люди существенно больше использовали кондиционеры [3]. Именно погодный фактор в итоге оказался наиболее значимым для формирования профиля потребления, а значит и спроса на энергетическую гибкость, необходимую, чтобы компенсировать провалы и пики на кривой потребления. Получается, потребление из сети, зависящее и от выработки на ВИЭ, и от потребления, таким образом, оказывается дважды подверженным влиянию

погодных условий, и климатическое прогнозирование приобретает особую значимость.

Выравнивание суточного профиля потребления вследствие карантинных мер наблюдается и на примере штата Нью-Йорк — региона, где собственная солнечная генерация в домохозяйствах совсем не распространена, и для которого характерен классический профиль типа «двугорбый верблюд». Данные местной сетевой компании NYISO показывают, что совокупное падение электропотребления в штате после начала активной фазы борьбы с пандемией составило 8%, а на суточном профиле потребления практически исчез утренний пик: в деловых районах Нью-Йорка, где расположена коммерческая недвижимость, потребление в утренние часы упало на 18%, в районах массового проживания людей утренний пик снизился на 8% и сместился на более позднее время [9].

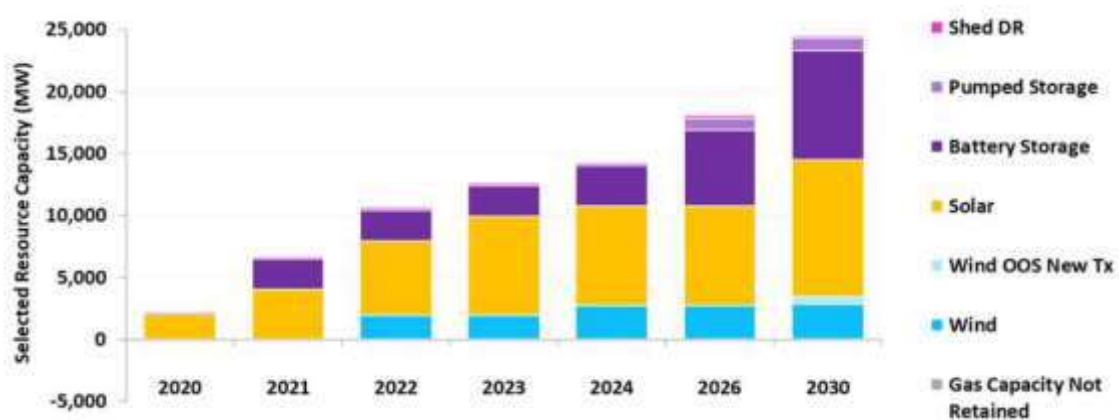


Суточные профили потребления электроэнергии в штате Нью-Йорк 16–20 марта и 30 марта — 3 апреля 2020 года. Источник: NYISO

Снижение потребления электроэнергии будет иметь и более долгосрочный эффект. Wood Mackenzie ожидает, что и в следующем году в США снизится пиковое потребление мощности: на 2,1 ГВт в Техасе (зона рынка ERCOT) и на 4,7 ГВт в зоне рынка PJM [8].

Как мы уже отмечали, потребность в энергетической гибкости как ресурсе для регулирования балансов в энергосистеме только возрастает в условиях неопределенности профиля потребления. Стремясь ответить на эту потребность, Великобритания — один из мировых лидеров в освоении практик управления гибкостью — сделала еще один шаг на пути к национальному рынку энергетической гибкости. Ассоциация электросетевых компаний (ENA) совместно с системным оператором (NG ESO) и международной юридической компанией CMS предложили типовую договор на оказание услуг энергетической гибкости, по сути, задав стандарт

описания и параметров сделок на этом рынке [4]. Пока что этот стандарт касается только долгосрочных договоров, в которых описываются параметры предоставления услуг гибкости, но эти услуги могут включать очень широкий круг сервисов от регулирования частоты до резервирования на случай аварийных событий. Тем не менее, форма договора предусматривает, что его условия не будут меняться длительное время, а сами договоры лучше всего подходят для модели рынка с агрегаторами, которые будут на долгосрочных условиях предоставлять стандартизированные услуги сетевым компаниям. Стандарт договора — результат обобщения опыта всех шести сетевых компаний, входящих в ENA, по покупке услуг гибкости у агрегаторов [5].



Потребность во вводе новых источников энергии и гибкости в Калифорнии. Источник: CPUC

Пока Великобритания подбирается в оптовому рынку гибкости, обновленная оценка потребностей в энергетической гибкости была проведена в Калифорнии силами Комиссии по коммунальным услугам Калифорнии (CPUC) и местного системного оператора (CAISO) [6]. Штат, практически исчерпав возможности по управлению спросом, делает очевидную ставку на системы накопления электроэнергии. CPUC оценивает потребность во вводе новых накопительных мощностей к 2030 году в 10 202 МВт батарейных систем и еще 974 МВт систем длительного хранения, например, ГАЭС или гравитационных накопителей [7]. Возможности развития управления спросом в штате оцениваются существенно скромнее — всего лишь в 222 МВт.

[1] <https://www.pecanstreet.org/2020/04/covid/>

[2] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/eia-forecasts-coronavirus-to-push-down-u.s-electricity-demand-lower-renewables-buildout>

[3] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/tracking-the-duck-curve-under-coronavirus-lockdown-and-other-findings-from-pecan-street>

[4] https://www.energynetworks.org/assets/files/electricity/futures/Open_Networks/ONP-WS1A%20-%20Standard%20Flexibility%20Services%20Agreement%20-%20Final%20V1.1%20PUBLISHED.pdf

[5] <https://www.energynetworks.org/assets/files/ONP-WS1A-P2%20Existing%20Processes-PUBLISHED.pdf>

[6] <http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/Published/G000/M330/K357/330357384.PDF>

[7] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/most-promising-long-duration-storage-technologies-left-standing>

[8] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/coronavirus-will-undercut-power-demand-from-east-to-wecc>

[9] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/how-new-yorks-coronavirus-lockdown-is-driving-down-power-demand>

Кругосветка по энергетическим сообществам. Великобритания

Дата: 8 мая

Автор: Игорь Чаусов

Энергетические сообщества — новая, но уже успевшая завоевать популярность просьюмерская модель устройства локальной энергетики, в рамках которой распределенные источники энергии и гибкости принадлежат самим потребителям электроэнергии — членам сообщества. Отличительная черта энергетического сообщества — совместное использование этих активов местной энергетики, которое может быть организовано множеством путей от кооперативной собственности на активы до создания локальных рынков. В поисках наиболее удачных архитектурно-технических решений для своего энергоснабжения и наиболее эффективных способов взаимодействия внутри себя и с внешним миром большой энергетики локальные энергетические сообщества становятся площадками смелых экспериментов в области новых энергетических практик — формирования локальных рынков гибкости, строительства кооперативных микрогридов, достижения энергетической автономии и многих других. Эти эксперименты показывают, что энергетические сообщества могут приносить существенную пользу энергосистемам, а новые технологии — немалый экономический эффект для таких сообществ.

Часть первая. Остров энергетических сокровищ

*Но няня уж идет за мной.
Чрез океан плыву домой,
Печально глядя сквозь туман
На берег вычитанных стран.
Роберт Стивенсон*

Наша первая остановка в путешествии в Великобританию — на родине Роберта Стивенсона — в Шотландии. Сокровищница новых энергетических практик Шотландии расположена в Северном море — на Оркнейских островах, на которых более 10% жителей имеют собственные источники энергии, и энергетическое сообщество которых реализует сразу два проектных эксперимента — TraDER и ReFLEX, — технико-экономическое обоснование которых уже завершено, и по которым в мае стартует стадия реализации.



Джон Симсон Тейлор. Кирквалл, Оркнейские острова

Проект TraDER претендует на звание первого в своем роде в мировой практике локального энергетического рынка реального времени, на котором между собой будут торговать ВИЭ и источники гибкости, такие как накопители электроэнергии, управляемая нагрузка и локальная маневренная генерация [1]. Назначение рынка — за счет услуг поставщиков гибкости обеспечить как можно более высокий коэффициент использования ВИЭ в местной энергосистеме. На торговой платформе от Electron в настоящее время зарегистрировано более 1300 участников — ВИЭ и источников гибкости — среди которых большое число домохозяйств, использующих регулируемые системы электрического отопления и водонагревательные системы с интеллектуальным управлением. Такие домохозяйства, имеющие возможность планировать свое электропотребление в соответствии с прогнозом выработки на островных ветрогенераторах, будут торговать услугой по «страхованию» обязательств этих ветрогенераторов на локальном рынке: в период сильных ветров накапливать вырабатываемую ими энергию в виде горячей воды, а при падении выработки — снижать свое потребление и использовать накопленную воду. В рамках трехлетнего проекта предполагается отработать такие сервисы, как динамическое увеличение потребления и торговля предотвращением разгрузки генерации [2]. Проект реализуется при финансовой поддержке Департамента стратегии бизнеса, энергетики и промышленности (BEIS), шотландских сетей SSEN, EDF UK, Kaluza, Energy System Catapult и Elexon — почти всех значимых игроков британского рынка распределенной энергетики.



Стромнесс, Оркнейские острова

На фоне беспрецедентного падения электропотребления и чрезвычайно высокой доли ВИЭ в энергобалансе в Великобритании срочно ищут пути балансирования энергосистемы в такой ситуации. Системный оператор NG ESO в срочном порядке запустил особый тип контрактов — услуги по гибкой разгрузке, — в рамках которых ВИЭ будут отключаться от энергосистемы за специальную плату во время низкого потребления [\[3\]](#). Опыт, который будет получен в рамках TraDER, должен позволить в будущем не прибегать к таким чрезвычайным мерам, как оплачиваемое отключение ВИЭ, используя вместо этого для балансирования локальные источники гибкости. Британские энергетики смотрят на сложившуюся сейчас ситуацию низкого спроса как на шанс заглянуть в будущее, когда декарбонизация приведет к энергетике, в которой практически вся генерация будет осуществляться стохастическими ВИЭ, и технологически подготовиться к этому будущему, в котором управлять придется в первую очередь источниками гибкости на стороне просьюмеров и потребителей [\[4\]](#).



Команда проекта ReFLEX. Источник: UKRI

Проект ReFLEX, в отличие от локального энергетического рынка, предполагает создание централизованной системы интеллектуального управления местными ВИЭ и источниками гибкости — зарядными станциями для электромобилей и систем ЖКХ [5]. Проект сосредоточен в первую очередь на способах мотивации местного сообщества к инвестициям в эти ВИЭ и источники гибкости. В рамках проекта на Оркнейских островах вводится «зеленый» тариф, оплата энергии по которому позволяет потребителям финансово поддержать местных владельцев ВИЭ и который позволяет самим просьюмерам с ВИЭ продавать электроэнергию в сеть, получая плату на основе этого тарифа. Кроме того, в проекте реализована цифровая площадка для аренды и лизинга источников энергии и гибкости — финансовых инструментов, облегчающих островитянам их инвестиции. Проект реализует консорциум местных организаций в составе Европейского центра морской энергетики (ЕМЕС), Ассоциации шотландских энергетических сообществ, Университета Хериота — Уатта и Совета Оркнейских островов, а также компаний Aquatera, Solo Energy и Doosan Babcock.

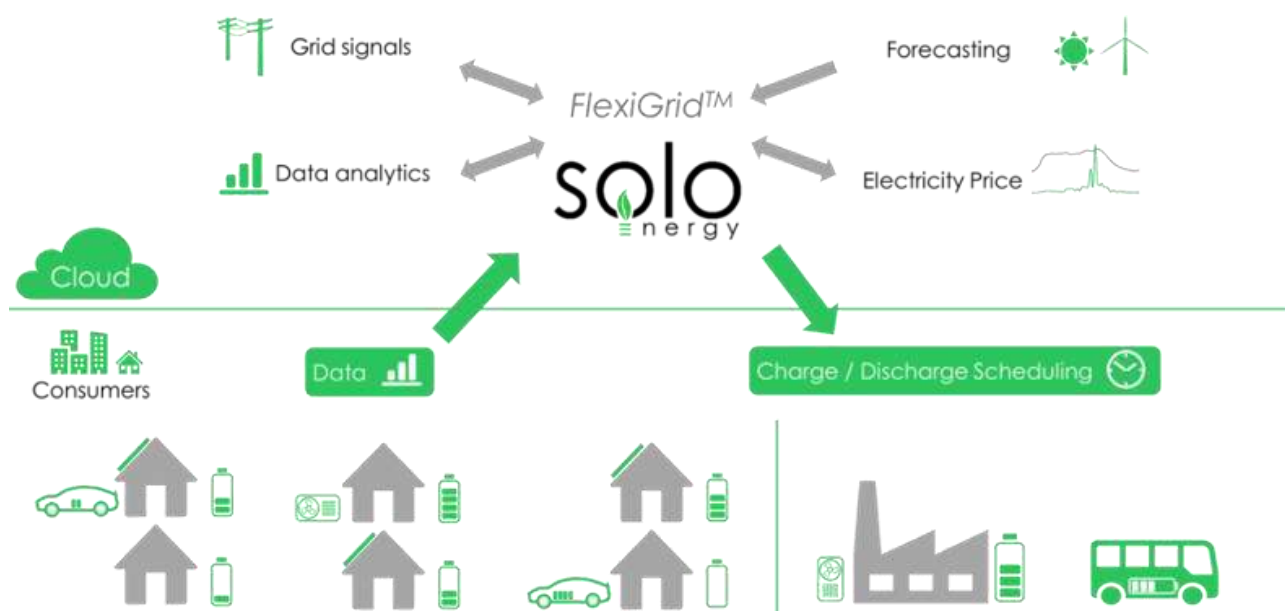
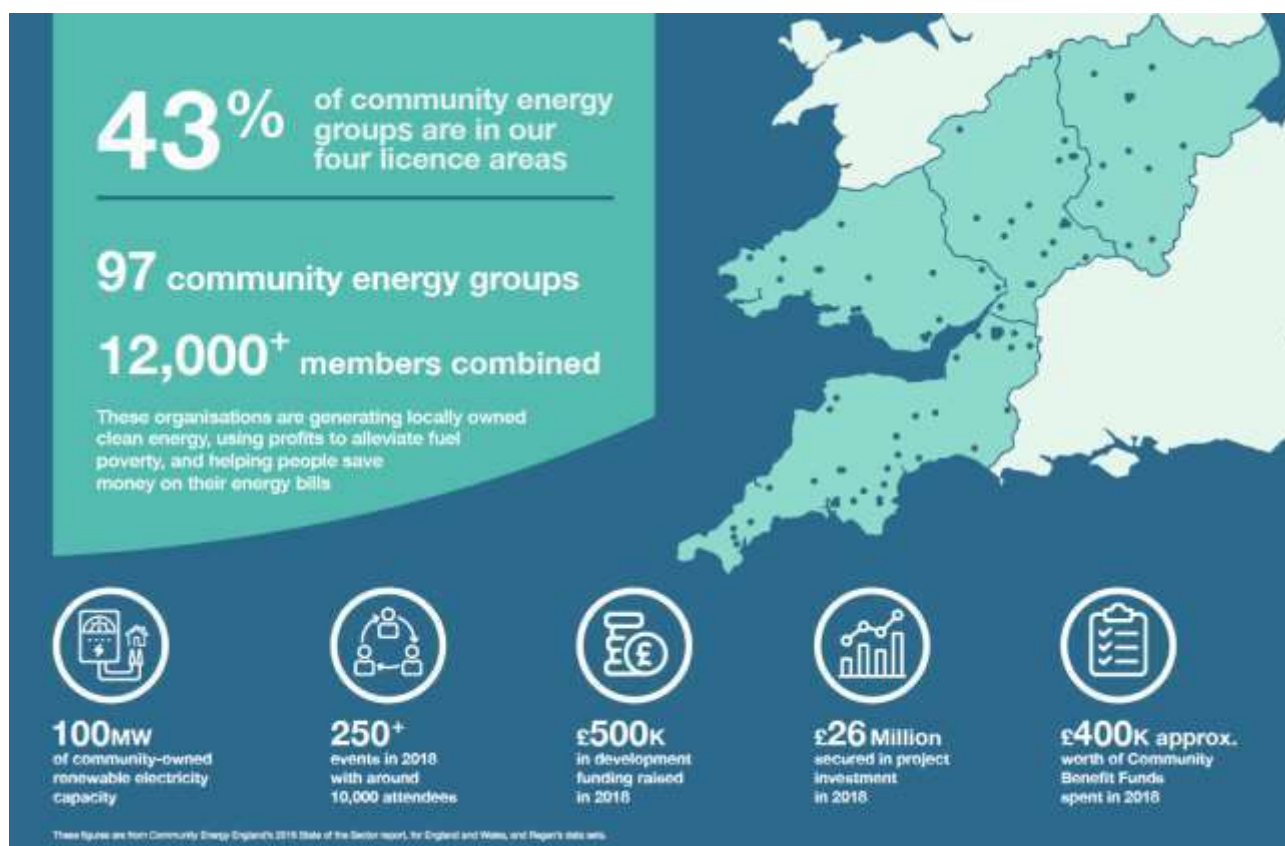


Схема работы системы управления энергетической гибкостью FlexiGrid в рамках проекта ReFLEX. Источник: Solo Energy

В другой части Великобритании — английском Корнуолле — местные Западные распределительные сети (WPD) сделали ставку на поддержку локальных энергетических сообществ и опробуют новую для себя бизнес-модель энергетических консультантов [6]. В их географическом регионе расположены 97 энергетических сообществ с общей установленной мощностью генерации более 100 МВт, для которых WPD выполняет постоянный мониторинг, анализ и планирование их деятельности, запускает аналитические онлайн-сервисы, осуществляет управление проектными фондами, ведет консультации и образовательную деятельность. Эти сервисы позволяют энергетическим сообществам региона получать экономический эффект в виде снижения расходов на свое энергоснабжение до £10,7 млн в год. Более того, в связи с пандемией коронавируса WPD сформировало фонд помощи местным энергетическим сообществам в размере £0,5 млн [7].



Энергетические сообщества Юго-Западной Англии и формы их поддержки. Источник: WPD

В конце прошлого года WPD совместно с технологической компанией Centrica, NG ESO, бельгийской компанией N-SIDE, а также Эксетерским университетом и Лондонским Имперским колледжем запустили свою модель Локального рынка энергетической гибкости, использующего в том числе и блокчейн. На этом рынке, работающем как аукционная площадка, WPD и NG ESO размещают лоты на оказание услуг гибкости, а локальные энергетические сообщества по результатам аукционов оказывают эти услуги. На этапе пилотирования в проекте участвуют всего несколько сообществ, объединяющие 100 домохозяйств и 125 коммерческих просьюмеров [8].

5 STEPS OF BLOCKCHAIN IN THE CORNWALL LOCAL ENERGY MARKET



Применение блокчейна на Локальном энергетическом рынке в Корнуэлле. Источник: Centrica

Свой проект управления гибкостью в энергетических сообществах развивается и в Уэльсе. В небольшом городе Бетесда была реализована схема коллективных инвестиций жителей в строительство ГЭС небольшой мощности и в настоящее время действует геймефицированная модель мотивации этих жителей к тому, чтобы потреблять электроэнергию в первую очередь от этой ГЭС в часы, когда ее выработка максимальна [9]. На основе анализа потребления электроэнергии, ее выработки на ГЭС и цены на электроэнергию на розничном рынке региона игровое приложение назначает каждому потребителю очки, зависящие от того, какой вклад в снижение общей стоимости энергоснабжения он внес.

Управление спросом домохозяйств играет в Великобритании очень большую роль в решении задачи управления энергетической гибкостью, и не только в энергетических сообществах. Новый доклад Ассоциации распределенной энергетики (ADE) указывает, что этот тип сервисов переходит от пилотных проектов к коммерциализации, и в ближайшие 2–5 лет такие сервисы станут на рынке распространенными коммерческими услугами [10]. Доклад интересен тем, что в нем назван ряд передовых бизнес-моделей для компаний, желающих управлять спросом. К передовым ADE относит следующие бизнес-модели:

Динамическое ценообразование (ToU). Бизнес-модель применяется энергоснабжающими компаниями и предполагает использование тарифа, в рамках которого цена на электроэнергию зависит от времени потребления и может динамически изменяться в зависимости от спроса.

Энергия как сервис (EaaS). Бизнес-модель также применяется энергоснабжающими компаниями и состоит в том, что такая компания устанавливает на стороне потребителя системы управления его нагрузками, а также источники энергии или

накопители энергии, и осуществляет управление ими, гарантируя потребителю то, что его электрические нагрузки всегда будут обеспечены электроэнергией. В ряде случаев модель вообще исключает продажу электроэнергии и предполагает оказание услуг по освещению и отоплению домохозяйств и обеспечению бесперебойной работы холодильников, плит, телевизоров и других домашних устройств за фиксированную ежемесячную плату.

Управление стилем жизни. Бизнес-модель для вендоров и сервисных компаний предполагает продажу потребителям устройств с интеллектуальным управлением их электропотреблением как предметов, связанных с определенным стилем жизни. В пределе модель предполагает продажу потребителю так называемой Smart Life: полного пакета товаров и услуг, которые обеспечивают управление энергопотреблением, потреблением тепла, газа и воды, перевозки электрическим транспортом, доставку продуктов и еды, мониторинг состояния здоровья и многие другие полезные аспекты жизни.

Эффективное потребление. Бизнес-модель для сервисных и энергоснабжающих компаний, предполагающая анализ данных об электропотреблении и продажу сервисов и рекомендаций по повышению энергоэффективности клиентов, построенных на основе этой аналитики.

Рыночная площадка. Бизнес-модель для сервисных компаний — операторов рыночных платформ по торговле управлением спросом. Модель основана на предоставлении удобной площадки, на которой потребители могли бы продавать управление своим спросом покупателям энергетической гибкости. Именно по этой модели действуют компании Electron и Centrica в проектах на Оркнейских островах и в Корнуолле.

Обращает на себя внимание то, что среди перечисленных моделей нет ни одной чисто вендорской — все они предполагают сервисно-ориентированный подход и кастомизацию оказываемых услуг, причем две модели — EaaS и управление стилем жизни — выходят за рамки энергетики и ориентируются на то, что управление гибкостью — дело профессиональных организаций, а клиент должен получить комплексный сервис, связанный с удовлетворением именно его потребностей, связанных с его жизнью.

[1] <https://www.current-news.co.uk/news/project-trader-hits-milestone-that-could-have-profound-impact-on-energy-network>

[2] <https://www.electron.org.uk/trader>

[3] <https://www.current-news.co.uk/news/national-grid-eso-unveils-new-contracts-to-reduce-renewables-output>

[4] <https://www.current-news.co.uk/blogs/the-current-green-heavy-grid-is-a-taste-of-whats-to-come>

[5] <http://www.emec.org.uk/ukri-gives-green-light-to-reflex-orkney-project-2/>

[6] <https://www.current-news.co.uk/news/wpd-launches-community-energy-strategy-to-help-level-the-playing-field>

[7] <https://www.westernpower.co.uk/downloads-view/112141>

[8] <https://www.centrica.com/media-centre/news/2019/cornwall-local-energy-market-achieves-major-flexibility-breakthrough/>

[9] <https://dashboard.energylocal.org.uk/?club>

[10] <https://www.current-news.co.uk/news/domestic-dsr-on-the-verge-of-widespread-rollout-but-barriers-remain>

Кругосветка по энергетическим сообществам. Австралия

Дата: 12 мая

Автор: Игорь Чаусов



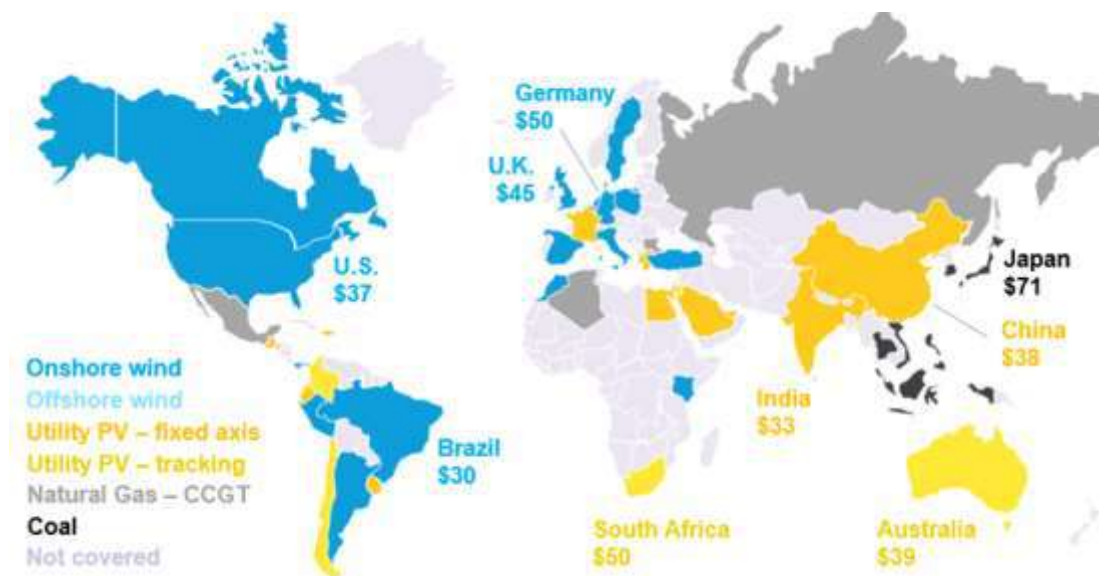
Сэр Артур Эрнест Стритон, Сиднейская бухта, 1907

Часть вторая. Вниз — под экватор

*Пускай кто-то хвалит свой берег родной,
А мне дайте буш с его далью степной.
Так едем на запад, за линию гор,
Где сцены из детства так радуют взор.*

Генри Лоусон

Интерес энергетических сообществ к созданию собственных микрогридов во многом объясняется продолжающимся удешевлением технологий распределенной энергетики, таких как ВИЭ и накопители энергии. Новые данные Bloomberg New Energy Finance показывают, что LCOE солнечной генерации составляет в среднем \$44 за МВт·ч, LCOE наземной ветрогенерации — \$50 за МВт·ч. В импортирующих природный газ регионах ВИЭ для микрогридов — самые дешевые источники энергии. При этом LCOS систем накопления электроэнергии опустился до \$150 за МВт·ч, в связи с чем накопители стали в регионах с завозным газом самым дешевым решением для регулирования баланса мощности и покрытия пикового спроса на электроэнергию, если каждый пик длится не более двух часов [\[1\]](#).

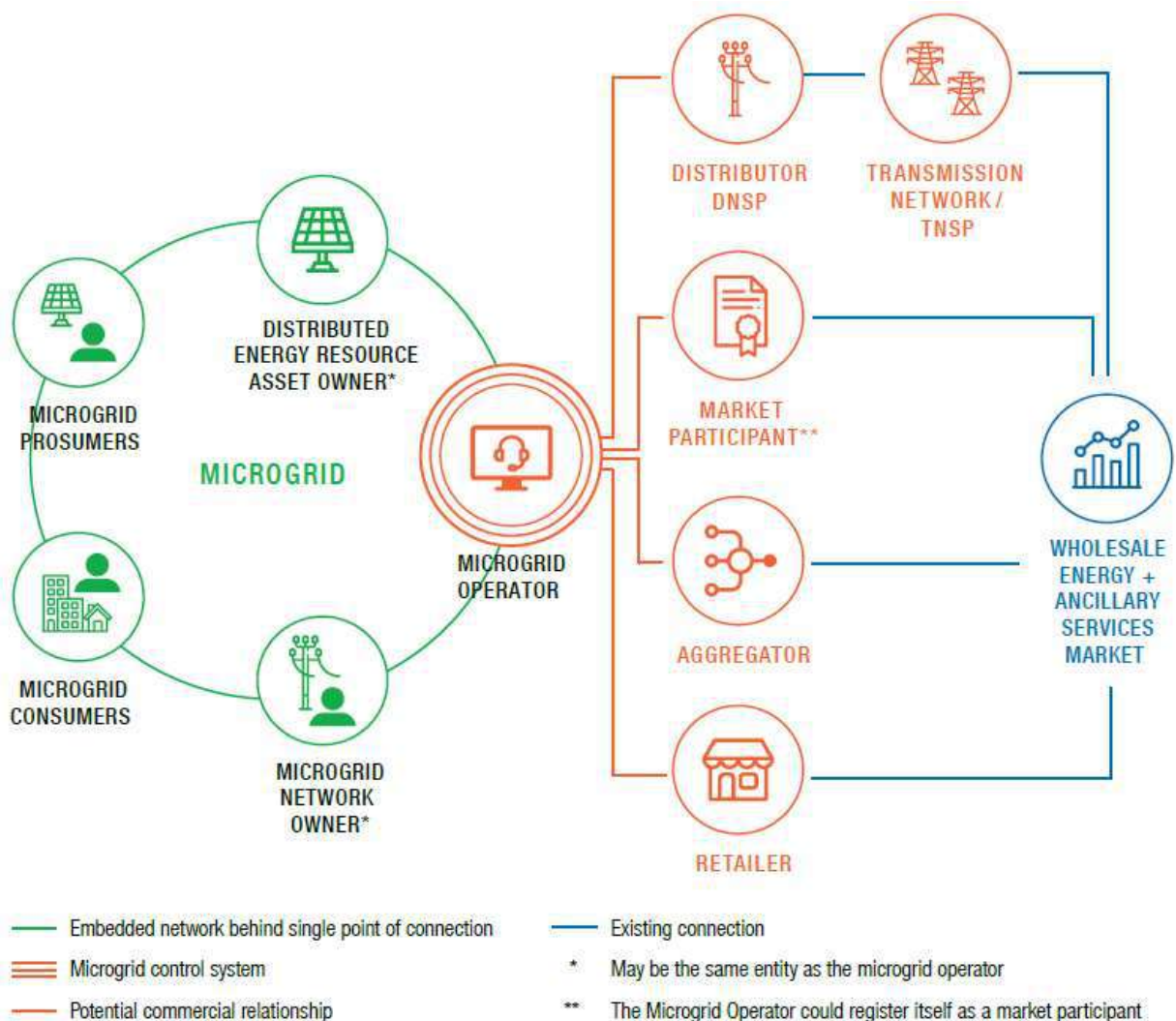


Источники энергии, обеспечивающие в случае строительства новых генерирующих объектов наименьшее значение LCOE (\$/МВт·ч). Источник: BNEF

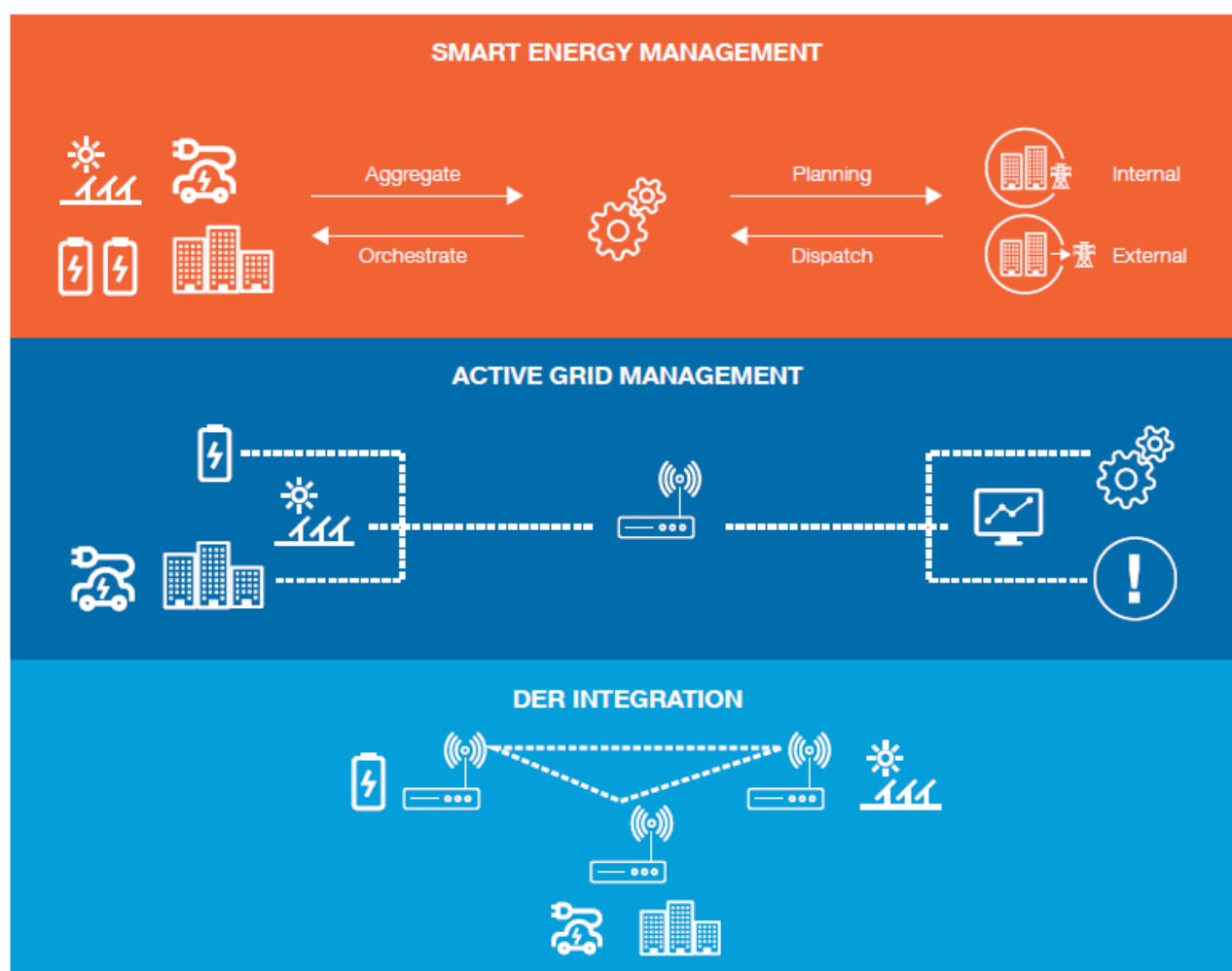
В Австралии дополнительным фактором, увеличивающим привлекательность микрогридов, становится такая особенность централизованной энергосистемы, как отсутствие достаточно развитой и плотной инфраструктуры электрических сетей. С одной стороны, в условиях масштабной декарбонизации это существенно повышает спрос на энергетическую гибкость, которая почти ни в одном регионе Австралии не может быть обеспечена сетевой передачей недостающей или избыточной мощности, и микрогриды могут стать такими источниками гибкости. С другой стороны, в Австралии значимая доля экономической активности и энергетических сообществ сосредоточена на территориях, вообще не имеющих централизованного электроснабжения, что делает востребованными автономные микрогриды.



Наиболее ярким примером австралийского энергетического сообщества, использующего микрогрид не только для экономической оптимизации своего электроснабжения, но и для того, чтобы зарабатывать на сервисах для большой энергетики, является кампус Университета Монаша в Клайтоне, в 20 км юго-западнее Мельбурна [2]. Микрогрид стоимостью более \$7 млн, из которых почти \$3 млн вложило Австралийское агентство по возобновляемой энергии (ARENA), создается силами университета и местной высокотехнологичной компании Indra [3]. Микрогрид объединяет 20 зданий с общей нагрузкой до 3,5 МВт, часть которой – управляемая, 8 групп солнечных панелей в сумме на 1 МВт, гибридный накопитель от компании redT в составе редокс-ванадиевой проточной батареи мощностью 180 кВт на 900 кВт·ч емкости и литий-ионной батареи мощностью 120 кВт на 120 кВт·ч заряда, а также две зарядных станции для электромобилей общей мощностью 22 кВт [4].

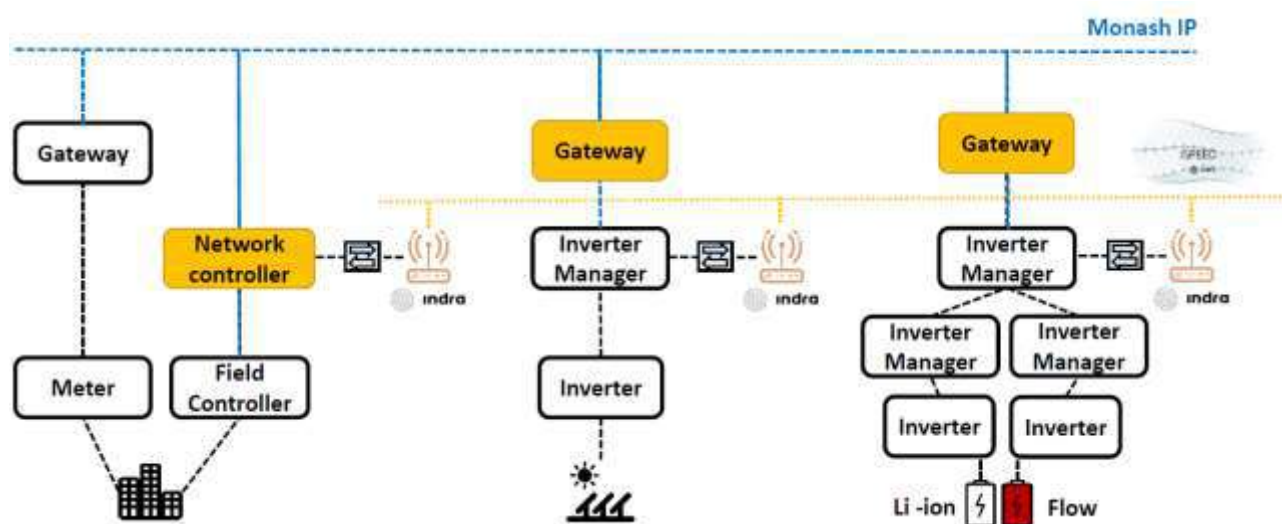


Архитектурным ядром этой локальной энергосистемы является Оператор энергетического рынка микрогрида (МЕМО) — полностью роботизированная система рыночного и технологического управления микрогридом и его взаимодействием с внешним миром [5]. МЕМО осуществляет интеллектуальное управление активами самого микрогрида (генерацией и накопителем), а также генерацией на стороне просьюмеров и управляемыми нагрузками потребителей. Внутри микрогрида развернут локальный рынок, в котором МЕМО торгует с этими просьюмерами и потребителями, кроме того, МЕМО взаимодействует с субъектами энергетического рынка штата Виктория — местными сетевыми и сбытовыми компаниями и различными агрегаторами, — и может сам быть участником этого рынка и рынка системных услуг.



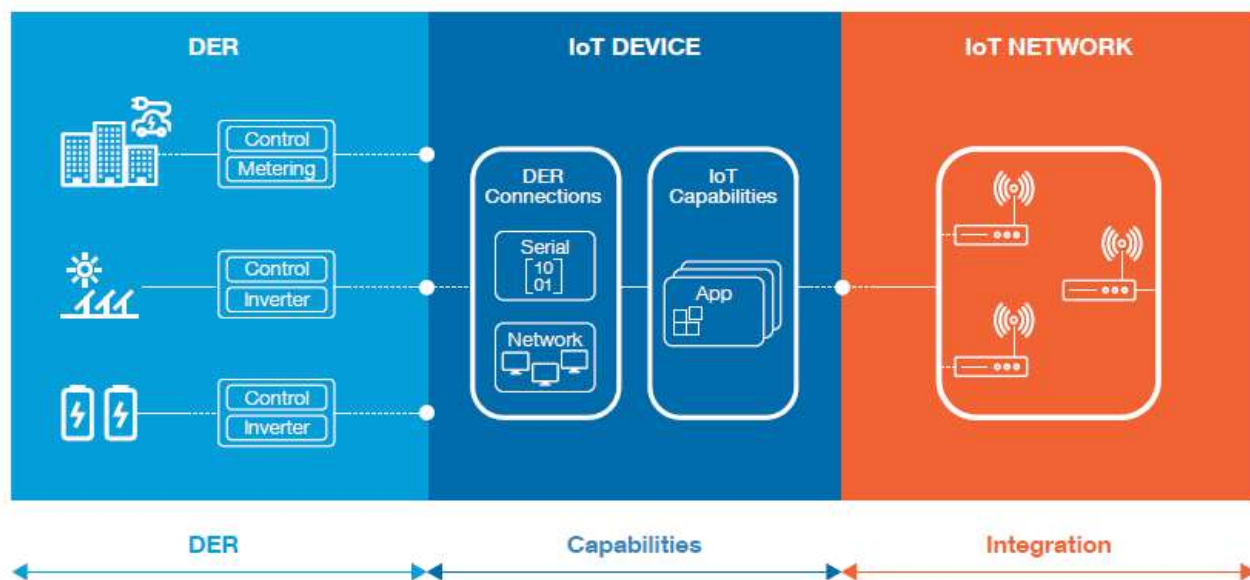
Слои системы управления микрогридом кампуса Университета Монаша в Клайтоне. Источник: Monash University

Архитектура, по которой микрогрид формируется вокруг МЕМО, состоит из трех слоев: интеграции распределенных источников энергии и гибкости (DER), управления активной сетью и интеллектуального управления энергетикой [6].



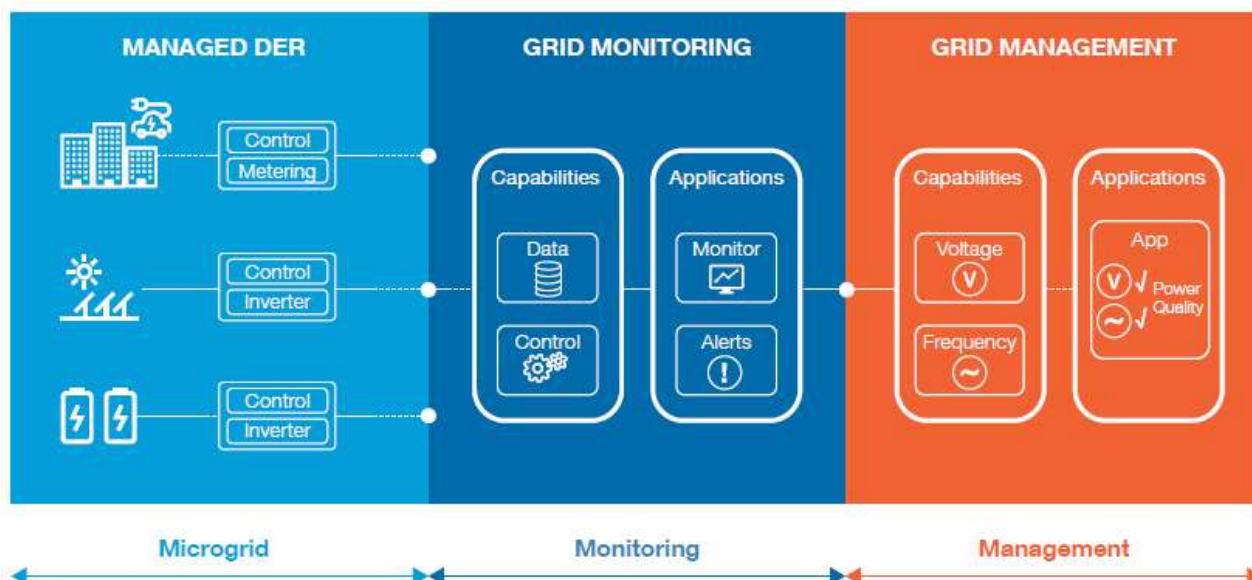
Архитектура интеграции DER в микрогрид кампуса Университета Монаша в Клайтоне. Источник: INDRA

Первый — коммуникационный — слой архитектуры обеспечивает информационную интеграцию DER при помощи оригинальной системы IoT от компании Minsait Utilities («дочки» INDRA), в которой помимо распространенной технологии PRISM использована программно-аппаратная платформа Node#1 с шиной данных на собственном протоколе реального времени iSPEED, который поддерживают все приложения не только этого, но и двух других архитектурных слоев.



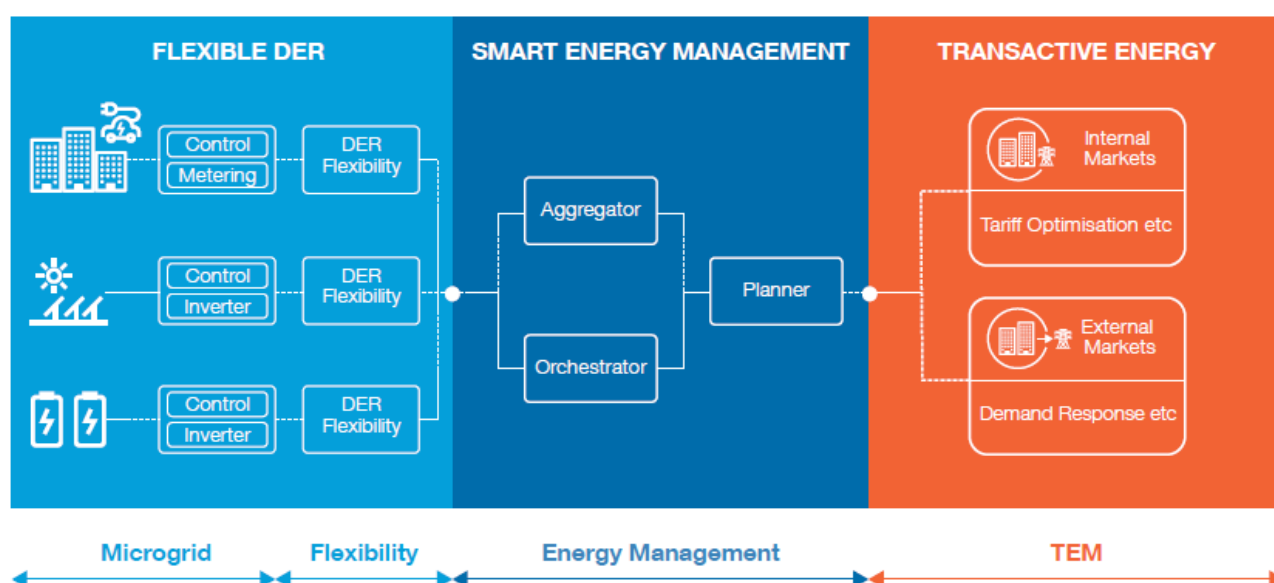
Слой интеграции DER. Источник: Monash University

Второй — технологический — слой использует IoT-инфраструктуру для распределенного управления перетоками мощности и качеством электроэнергии в сети микрогрида. В рамках этого слоя также развернута система iPA для мониторинга и аналитики состояния сети в реальном времени.



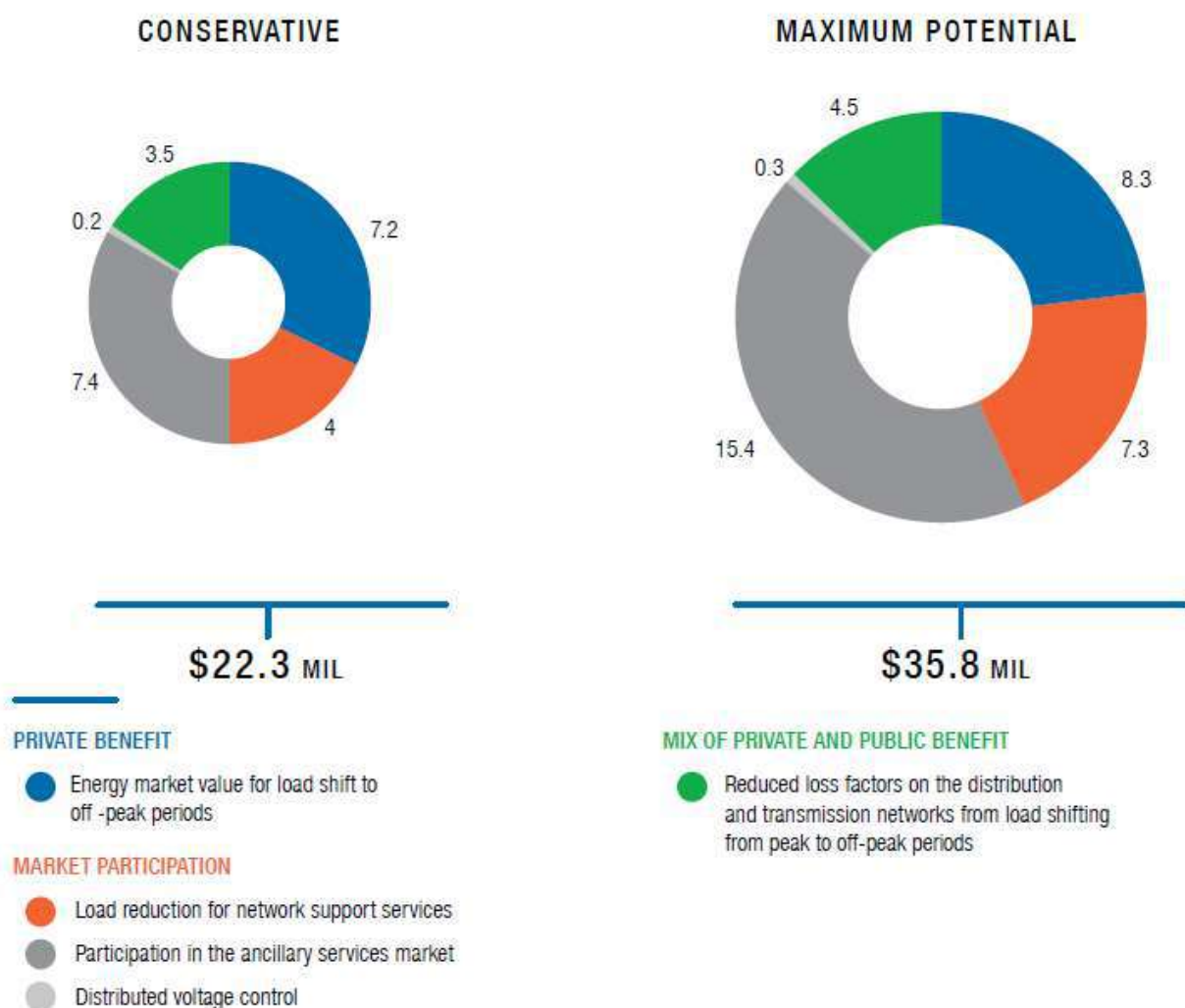
Слой управления активной сетью. Источник: Monash University

Третий — транзакционный — слой представляет собой энергетический рынок, на котором осуществляются агрегация, планирование и оркестрирование работы активов микрогрида, просьюмеров и потребителей. В рамках этого слоя развернуты внутренний рынок, на котором целью торгов является снижение совокупных расходов на электроснабжение, и участие на внешних рынках для формирования общего заработка. Коммерческие отношения в микрогриде устроены таким образом, что его участники платят MEMO за интеллектуальное управление и использование активов микрогрида, при этом сами получая плату как от MEMO — за использование своих активов на внешних рынках, так и друг от друга — за вклад своих активов в общее электроснабжение.



Слой интеллектуального управления энергетикой. Источник: Monash University

На основе работы микрогрида кампуса в Клайтоне Университет Монаша по заказу правительства штата Виктория провел детальный анализ рыночных возможностей таких микрогридов как поставщиков энергетической гибкости для штата. В период 2019–2023 годов удовлетворение потребностей энергосистемы штата в системных услугах могло бы приносить владельцам и резидентам гипотетических микрогридов — таких же, как уже построенный в Университете Монаша,— от \$22,3 млн до \$35,8 млн в год [7]. Более половины из них — за счет продажи услуг гибкости: снижения потерь в сетях, управления уровнем напряжения, регулирования частоты и снижения потребления в пиковые часы.



Структура экономического эффекта от микрогридов в штате Виктория, Австралия (\$ млн в год).
Источник: Monash University

Похожий по масштабу проект микрогрида создает недалеко от Сиднея сообщество эко-поселения Навара. Его цель — обеспечить эко-поселение на 100% возобновляемым электрическим. Для этого в составе микрогрида уже развернута солнечная генерация мощностью 526 кВт и 460 кВт накопителей, подключены 60 домохозяйств с управляемой нагрузкой. Планы предусматривают увеличение мощности солнечных панелей до 1052 кВт, накопителей — до 825 кВт, а числа домохозяйств — до 120 [8].

Микрогрид имеет возможность выдавать мощность в сети Нового Южного Уэльса. В микрогриде действует централизованная система оптимального управления, в том числе — нагрузками домохозяйств. Стоимость проекта — \$2,47 млн, из которых половина — финансирование со стороны ARENA [\[9\]](#).



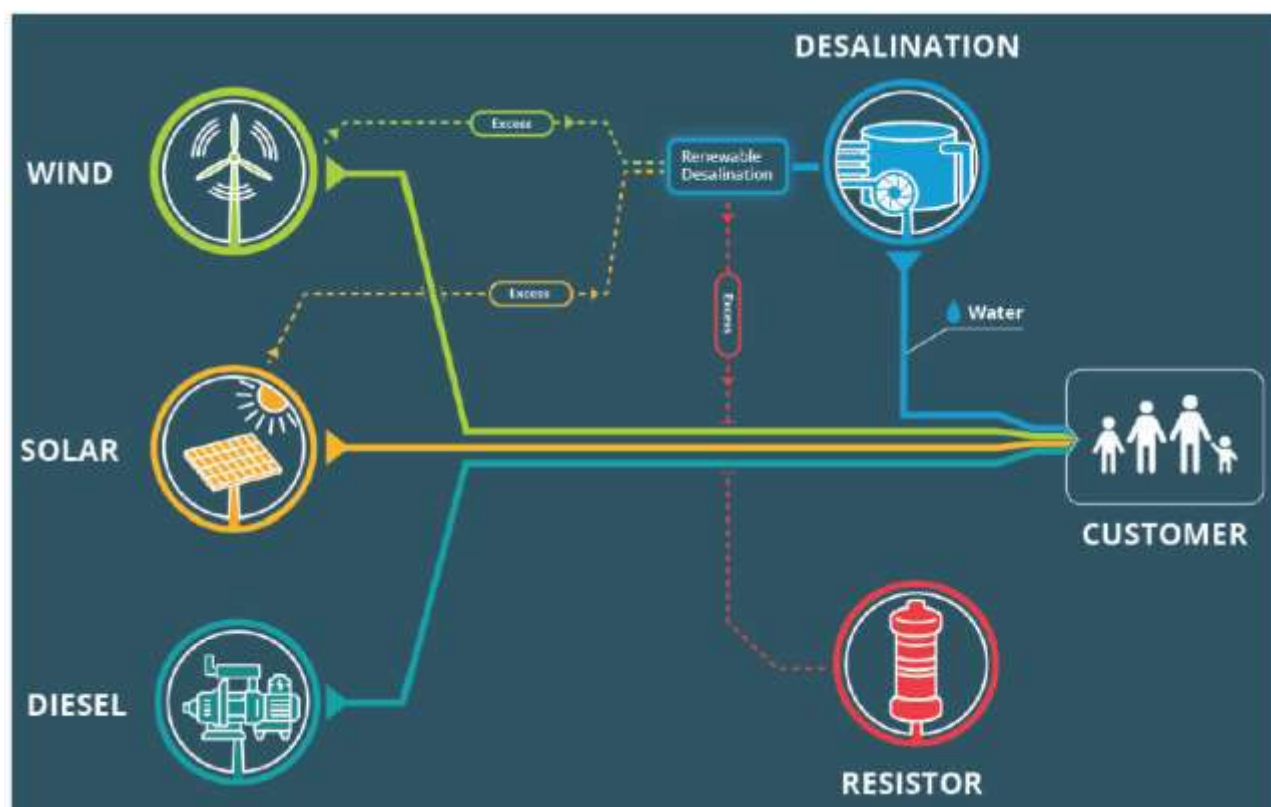
Экопоселение Навара. Источник: Navara Ecovillage

Австралия — один из мировых лидеров в создании микрогридов для островных энергетических сообществ, во многом — в силу географического фактора. На островах основная задача микрогридов — снизить расход привозного дизельного топлива за счет использования ВИЭ, тем самым сделав электроснабжение одновременно и более автономным, и более дешевым, и более экологичным.



Остров Кинг

Визитная карточка австралийских remote microgrid для энергетических сообществ находится на острове Кинг рядом с Тасманией [\[10\]](#). Микрогрид стоимостью \$17,7 млн включает 6 МВт дизельных генераторов на биотопливе, 470 кВт солнечных панелей, 5 ветрогенераторов общей мощностью 2,5 МВт, а также системы накопления электроэнергии — батареи на 3 МВт мощности и 1,5 МВт·ч емкости, а также два маховиковых накопителя по 1 МВт мощности для регулирования частоты. Кроме того, в задачах оптимизации и регулирования используется управление нагрузками потребителей и специальная динамическая резистивная система мощностью 1,5 МВт. Динамическая резистивная система — специальная тонко регулируемая резистивная нагрузка, необходимая для компенсации избыточной выработки на ВИЭ, когда этот избыток мощности уже не может быть ни использован потребителями на острове, ни накоплен СНЭ. Она участвует в регулировании частоты в изолированной энергосистеме.



Архитектура микрогрида на острове Роккнест. Источник: Hydro Tasmania

Аналогичная конфигурация применена в микрогриде стоимостью \$6 млн на острове Роттнест недалеко от Перта [\[11\]](#). Интересная особенность проекта — использование опреснительной установки на 14 млн литров мощностью 145 кВт в качестве управляемой нагрузки. Кроме того, в составе микрогрида — 7 дизельных генераторов общей мощностью 2,2 МВт, по 600 кВт солнечной и ветрогенерации, динамическая резистивная система мощностью 0,5 МВт.

Похожий проект стоимостью \$13,4 млн реализуется на острове Флиндерс в проливе Басса рядом с Тасманией. 900 жителей острова составят энергетическое сообщество с микрогридом в составе 2 МВт дизельных генераторов, 0,5 МВт солнечной генерации и накопителей на 0,5 МВт·ч [\[12\]](#). Еще один проект — на далеком острове Лорд-Хау в 600 км от побережья, где за \$10,4 млн в дополнение к имеющейся дизельной генерации строится микрогрид с 1,2 МВт солнечных панелей и 3,2 МВт·ч накопителей для энергоснабжения 350 жителей [\[13\]](#).



Остров Лорд-Хау

Наверное, самое необычное из «островных» энергетических сообществ Австралии находится вообще не на острове. Это — подземный город Кубер-Педи, мировая столица добычи опалов, где живут более 1,5 тысяч человек. Для его электроснабжения вместо существующей дизельной генерации создается микрогрид в составе 4 МВт ветрогенерации, 1 МВт солнечных панелей, аккумуляторного накопителя на 1,5 МВт с емкостью 0,5 МВт·ч, двух маховиков по 850 кВт и динамической резистивной системы на 3 МВт [\[14\]](#). Дизельные генераторы до 70% времени будут использоваться только в качестве резервных источников энергии. Микрогрид располагается непосредственно над городом, большая часть которого находится в шахтах и туннелях под поверхностью.



Микрогрид подземного города Кубер-Педи. Источник: Hydro Tasmania

Чувствуя перспективу роста числа энергетических сообществ со своими микрогридами и источниками гибкости, ARENA запустила в прошлом году крупный проект по созданию цифровой платформы deX для локальных рынков распределенной энергетики [15]. В рамках проекта с бюджетом более \$31 млн создается платформенное решение для локальной торговли электроэнергией, торговли сервисами гибкости, а том числе — работы в режиме виртуальной электростанции.

[1] <https://about.bnef.com/blog/scale-up-of-solar-and-wind-puts-existing-coal-gas-at-risk/>

[2] <https://www.monash.edu/net-zero-initiative/microgrid>

[3] <https://arena.gov.au/projects/indra-monash-smart-city/>

[4] https://www.monash.edu/_data/assets/pdf_file/0004/1980499/Monash-Net-Zero_Microgrid-Operator-Whitepaper_20190617-1.pdf

[5] https://www.monash.edu/_data/assets/pdf_file/0011/1980497/Monash-Net-Zero_Microgrid-Operator-Commercialisation-Brochure_20190617.pdf

[6] https://www.monash.edu/_data/assets/pdf_file/0010/1980496/Smart-Energy-City_Introductory-Report_20190731.pdf

[7] https://www.monash.edu/_data/assets/pdf_file/0006/1980501/Monash-Net-Zero_Microgrid-Operator-Factsheet_20190617.pdf

[8] <https://nararaecovillage.com/nev-power/>

[9] <https://arena.gov.au/projects/narara-ecovillage-smart-grid/>

[10] <https://www.hydro.com.au/clean-energy/hybrid-energy-solutions/success-stories/king-island>

[11] <https://arena.gov.au/assets/2017/02/rotnest-island-water-renewable-energy-nexus.pdf>

[12] <https://microgridnews.com/flinders-island-microgrid-tasmania/>

[13] <https://arena.gov.au/blog/lord-howe-island-renewables-replace-diesel-fuel/>

[14] <https://www.hydro.com.au/clean-energy/hybrid-energy-solutions/success-stories/coober-pedy>

[15] <https://arena.gov.au/assets/2019/03/dex-project-progress-report.pdf>

Кругосветка по энергетическим сообществам. Голландия и США

Дата: 22 мая

Автор: Игорь Чаусов

Часть третья. Домики на воде

*Июньский вечер засветил огни,
И озарил зеркальные озера.
Наш столик посреди лужайки скоро
Совсем потонет в лиственной тени.*

Мартинус Нейхоф

Национальная традиция жизни на воде возникла в Нидерландах очень давно — в ответ на дефицит места под жилую застройку. Нехватка жилья после Второй Мировой войны при избытке подлежащего списанию водного транспорта всех мастей породила своего рода жилищный бум на воде — сегодня в Нидерландах более 10 тыс. барж-домов. По иронии судьбы, к концу XX века самым дефицитным стало как раз место на каналах.



Георг Хендрик Брейтнер. Улица Дамрак в Амстердаме

Впрочем, по понятным причинам, жизнь на старых тесных баржах и лодках лишена полноценного комфорта. Голландские архитекторы из компании Space & Matter, посмотрев свежим взглядом на многовековую традицию, нашли решение этих проблем в том, чтобы перевернуть идею жизни на кораблях и начать строить вместо этого полноценные дома на воде.



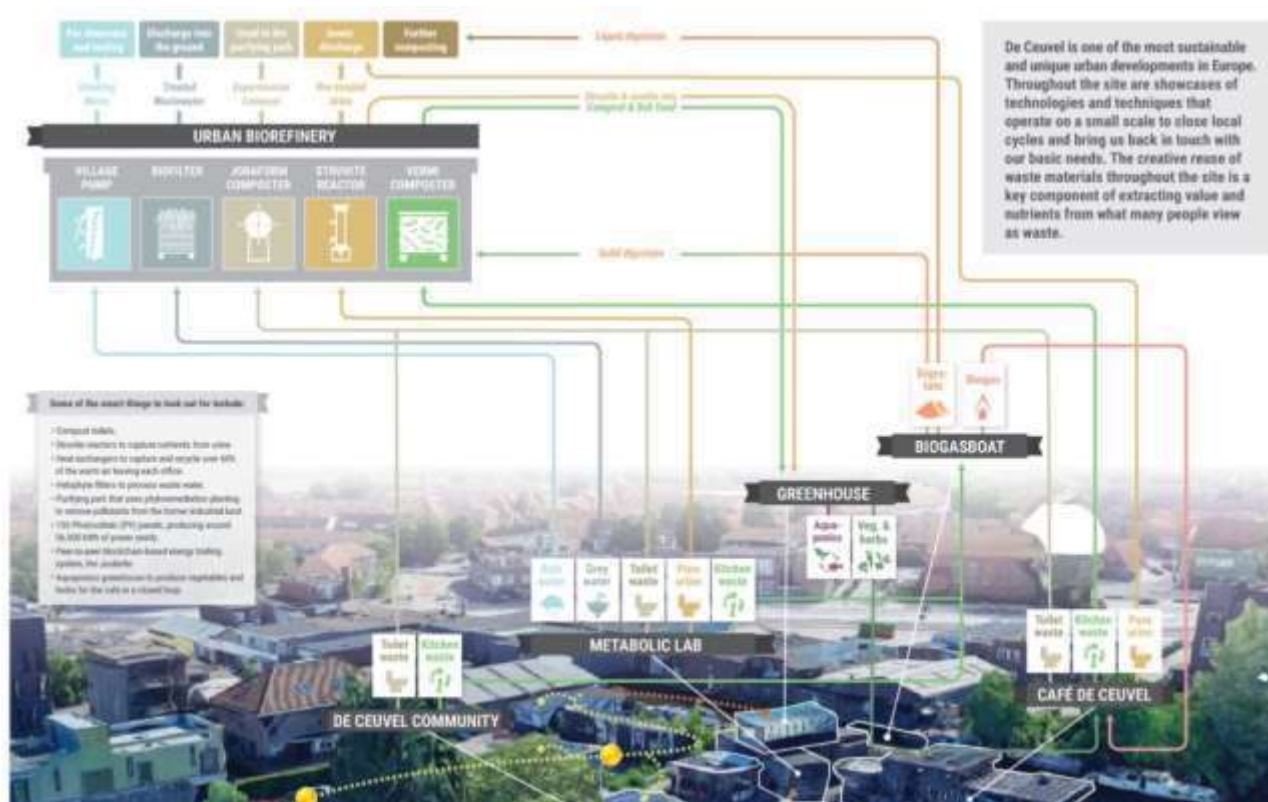
Квартал на воде Schoonschip

Оригинальный квартал Schoonschip с плавающей застройкой находится на севере Амстердама [\[1\]](#). Каждый из 47 плавучих домов оборудован солнечными панелями, системами накопления электроэнергии и тепла, солнечными водонагревательными коллекторами и погруженными в воду тепловыми насосами, в некоторых домах установлены обогревательные системы на биогазе. При этом все дома объединены в микрогрид с единой системой управления SECS, разработанной компанией Spectral [\[2\]](#). Система управления использует технологии машинного обучения и обеспечивает как оптимизацию энергоснабжения, так и возможность предоставлять сервисы гибкости на внешнем рынке, полностью автоматизирует учет и финансовые расчеты за электроэнергию и предоставленные сервисы. Она позволяет также подключать к микрогриду лодки на электрической тяге, как используемые для передвижения по кварталу, так и любые другие, поскольку уже несколько лет весь водный транспорт, плавающий в городах Нидерландов, может быть только на электрической тяге.



Коммуна De Ceudel

В Schoonschip все энергетические ресурсы в составе микрогрида управляются централизованно, как единая система. Более радикальный подход к энергетике поселения нового типа реализован в рамках коммуны De Ceudel, находящейся совсем недалеко от плавучих домов [3]. Эта коммуна, о которой мы уже писали в своих [статьях](#), состоит из жилых барж, часть из которых размещена на суше.



В ней действует локальный peer-to-peer рынок, на котором баржи торгуют друг с другом электроэнергией, вырабатываемой установленными на них солнечными панелями, и покупают электроэнергию из сети [4]. В рамках этого проекта, совместного с крупной голландской сетевой компанией Alliander, Spectral использует другую свою разработку — платформу локального рынка энергии и гибкости SPEX, в которой реализованы одноранговые транзакции с фиксацией на базе блокчейна [5]. В коммуне De Ceuvél для взаимных расчетов за электроэнергию создана даже собственная криптовалюта Jouliette — по имени Джеймса Джоуля и названию единицы измерения энергии, — которая позволяет конвертировать поставленную соседям электроэнергию в товары и услуги внутри коммуны, например, в местном ресторане, магазине, на ферме или для оплаты каршеринга.

Используемая в De Ceuvél платформа SPEX позволяет не только торговать электроэнергией внутри энергетического сообщества, но также торговать настраиваемыми сервисами гибкости среди ее абонентов и агрегировать ресурсы гибкости этих абонентов для оказания услуг гибкости на внешних рынках. Платформа использует технологию торговых агентов, реализующих заданные пользователями настройки в своих стратегиях. Наиболее полно этот функционал развернут в Гронингене, где к платформе присоединены домохозяйства кварталов Рейтдип и Сельверг, торгующие как друг с другом, так и продающие электроэнергию и гибкость местной энергоснабжающей компании [6].



Карта энергетических сообществ города Гронинген, подключенных к платформе SPEX.

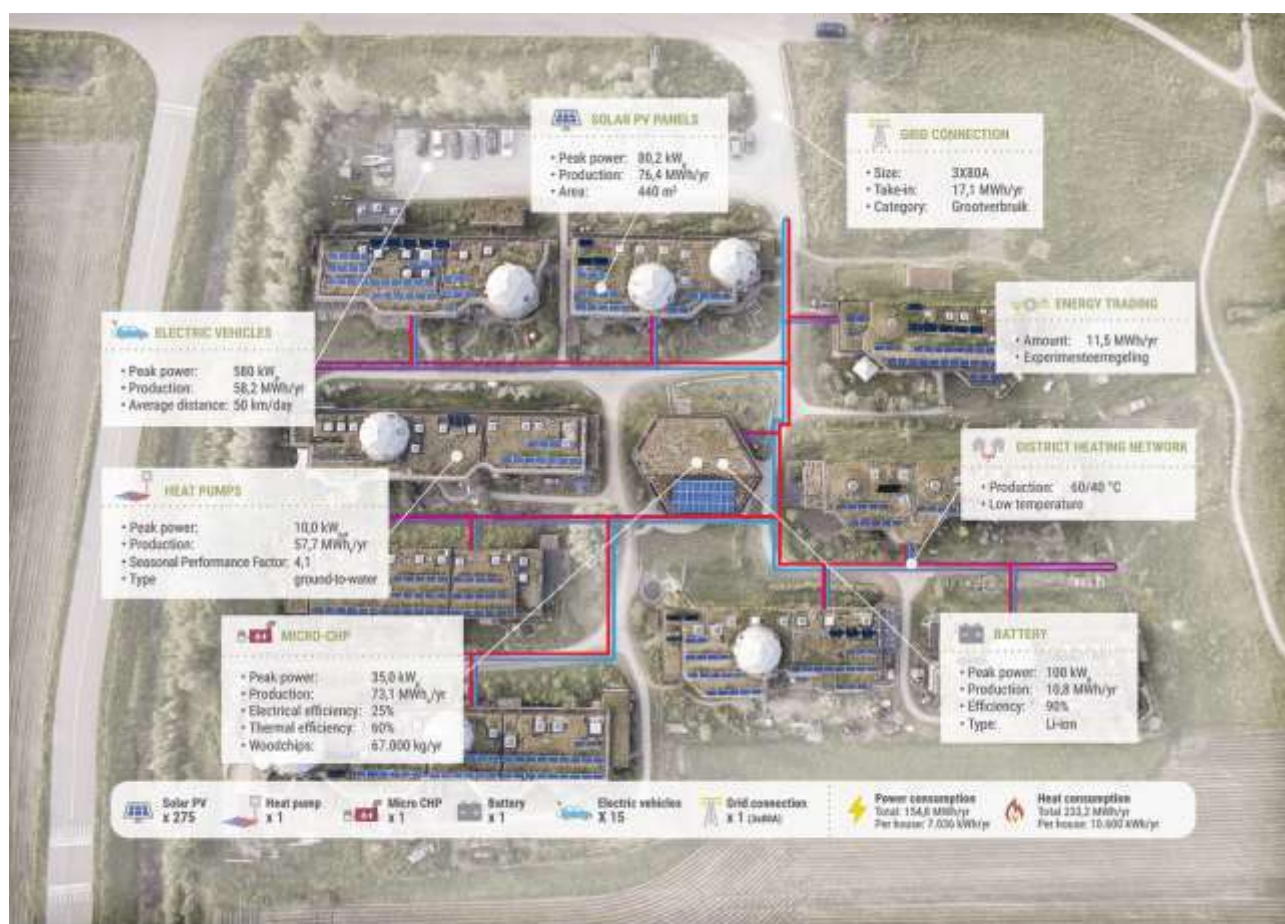
Источник: Spectral

Не менее оригинальный взгляд на поселение будущего предлагает экологическое сообщество «Земные корабли» (Aardehuizen), также построенное вокруг идеи максимальной ресурсной эффективности и автономности [7]. Необычные домики с заросшими крышами и прозрачными куполами для лучшего естественного освещения оснащены солнечными панелями в сумме на 80 кВт.



Экопоселение Aardehuizen

Кроме того, в поселении есть микро-ТЭЦ на 35 кВт, тепловой насос на 10 кВт, система накопления электроэнергии мощностью 100 кВт и зарядные станции для электромобилей общей мощностью 580 кВт, а также присоединение к электрической сети. Сформированный из этих источников энергии и гибкости микрогрид управляется системой Интеллектуальной интеграции распределенной энергетики (SIDE) от компании Metabolic — материнской компании Spectral [8]. SIDE обеспечивает, помимо оптимального управления, функцию peer-to-peer торговли электроэнергией между объектами микрогрида, принадлежащими разным собственникам, в среднем в размере 11,5 МВт·ч в год.



Конфигурация микрогрида экопоселения Aardehuizen. Источник: Metabolic

Университет Фраунгофера совместно с Metabolic и Spectral провел детальное технико-экономическое исследование описанных нами микрогридов в энергетических сообществах. Результаты этого исследования показывают, что для микрогридов возможно подобрать конфигурацию, которая обеспечит положительный экономический эффект для их владельцев и потребителей. Например, в случае экопоселения Aardehuizen LCOE снижается до €0,12 за кВт·ч в варианте использования микрогрида в сравнении с €0,29 за кВт·ч в варианте покупки всей энергии из сети. Срок окупаемости проекта — 8 лет. В случае лодочной коммуны De Ceuvel LCOE падает до €0,19 за кВт·ч при сроке окупаемости проекта в 7 лет [9].

Три описанных нами поселения нового типа — Schoonschip, De Ceuvel и Aardehuizen — объединяет не только стремление к экономии, экологичности и ресурсной автономии, но и желание построить новый, пост-капиталистический формат экономических отношений между их жителями, в котором, с одной стороны, остается очень важен экономический обмен, но при этом, с другой стороны, целью участников этих отношений является не извлечение финансовой прибыли, но коллективное достижение тех самых экологичности и автономии, точнее — трудно переводимой комплексной «sustainability» (долгосрочной устойчивости) жизни поселения. И важную роль в технологической реализации таких новых типов экономических отношений играют платформы одноранговых локальных энергетических рынков.

Часть четвертая. Страна Элли и Тото

*Но ветер с востока ворвался сюда,
А море вернуться должно
Туда, где когда-то, бог знает, когда,
Безбрежно шумело оно.*

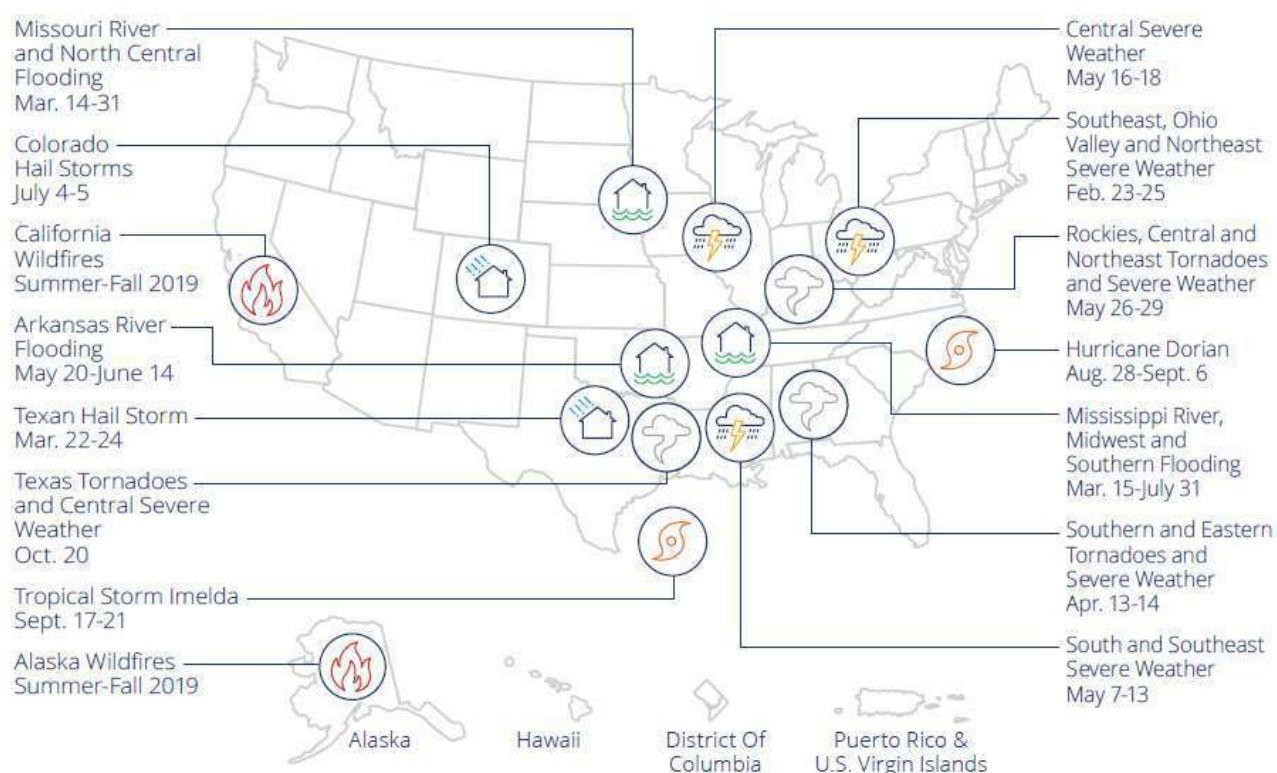
Роберт Фрост

По данным Wood Mackenzie, в США в 2018 году действовало 2 250 микрогридов, установленная мощность которых за 2019 год возросла на 545 МВт [\[10\]](#). Американский рынок микрогридов — один из самых больших в мире. На нем представлены и микрогриды энергетических сообществ, например, проект «Умное соседство» в Алабаме. В составе микрогрида — 333 кВт солнечных панелей, литий-ионный накопитель на 333 кВт и газовая микро-турбина мощностью 400 кВт. Американский вариант архитектуры микрогрида в Алабаме — более традиционный: все активы находятся в собственности соответствующего кооператива и управляются централизованно системой SCEISMIC, разработанной в Ок-Риджской национальной лаборатории. В контур управления включены также системы кондиционирования и вентиляции у потребителей. Важной особенностью микрогрида является возможность проработать 12 часов на одном только заряде батарей — на случай отключения электроэнергии во время нередких в Алабаме сезонных ураганов.



Орин Уайт. Летнее море в Кармеле (Калифорния)

Создание микрогридов как способа обеспечить надежное электроснабжение энергетических сообществ во время стихийных бедствий становится в США своеобразным трендом, особенно в Калифорнии и штатах американского Юга. В Калифорнии такие микрогриды выступают экологичной и технологичной альтернативой решению местной энергоснабжающей и сетевой компании PG&E установить по всему штату множество резервных дизельных генераторов, которые будут включаться во время превентивных сетевых отключений, регулярно используемых для предотвращения лесных пожаров [11]. Альянс интеллектуальной электроэнергетики (SEPA) недавно выпустил два доклада, посвященные этой новой практике «резервных» микрогридов. Согласно исследованию SEPA, только за 2019 год в США произошло 14 природных, в частности, погодных катаклизмов с ущербом более миллиарда долларов каждый [12].



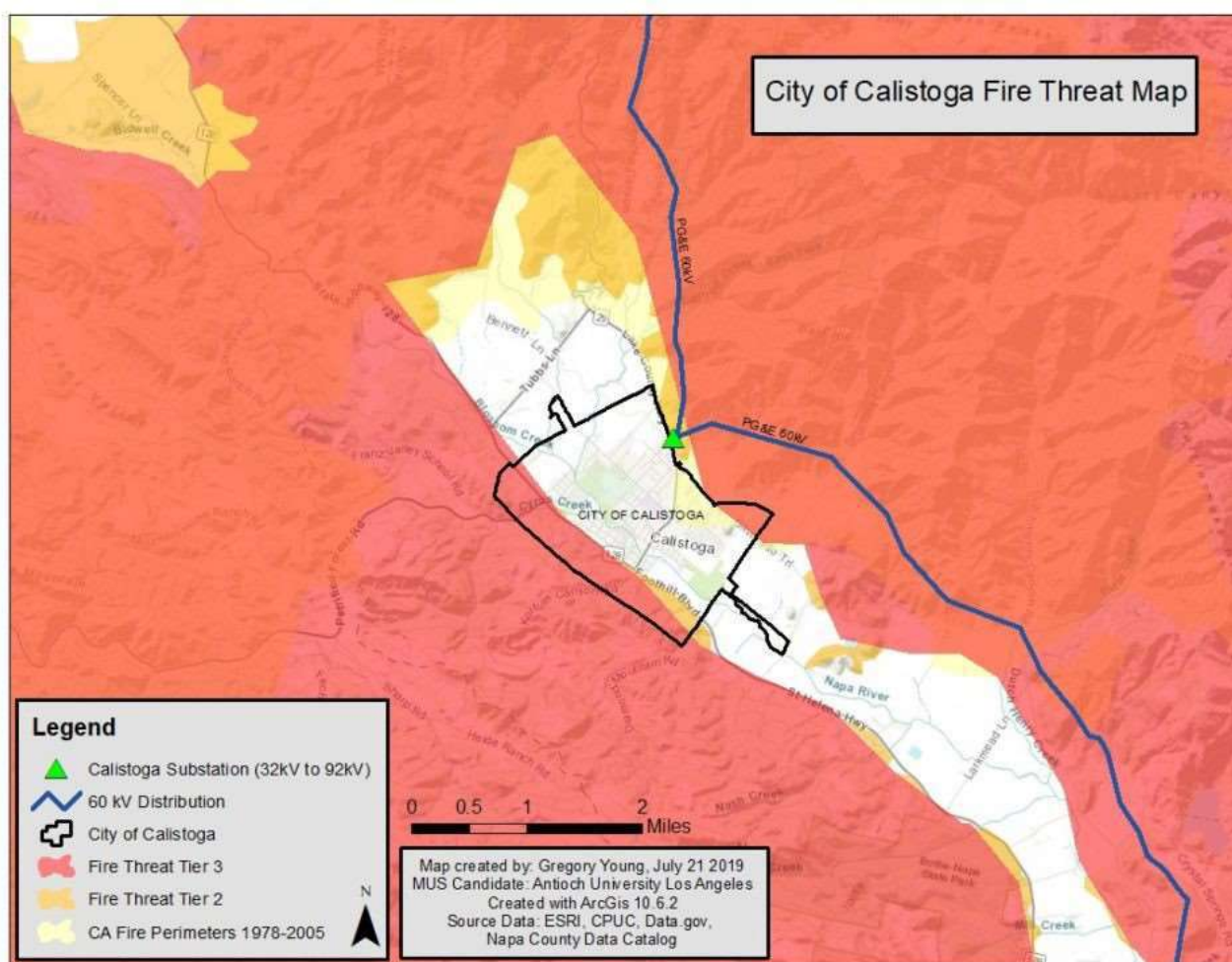
Природные стихийные бедствия с ущербом более \$1 млрд в США в 2019 году. Источник: SEPA

Среди интересных примеров микрогридов, необходимых энергетическим сообществам для обеспечения надежности на случай стихийных бедствий — крупный микрогрид в городе Бивертон (штат Орегон) в составе 300 кВт солнечных панелей и 1 МВт дизельных генераторов, принадлежащих городу, а также 250 кВт накопителей, принадлежащих энергоснабжающей компании. Микрогрид может обеспечить питание наиболее важных потребителей в течение 21 дня в полностью автономном режиме. Другой пример — микрогрид на острове Окракок (штат Северная Каролина), в котором установлены 3 МВт дизельной генерации, накопитель энергии мощностью 500 кВт и емкостью 1 МВт·ч, 15 кВт солнечных панелей, 175 термостатов и 50 электрических водонагревателей с удаленным управлением. Во время урагана Дориан в 2019 году за

счет микрогрида электроснабжение острова было восстановлено в течение 3 дней — быстрее, чем возобновлено сетевое энергоснабжение с материка [13].

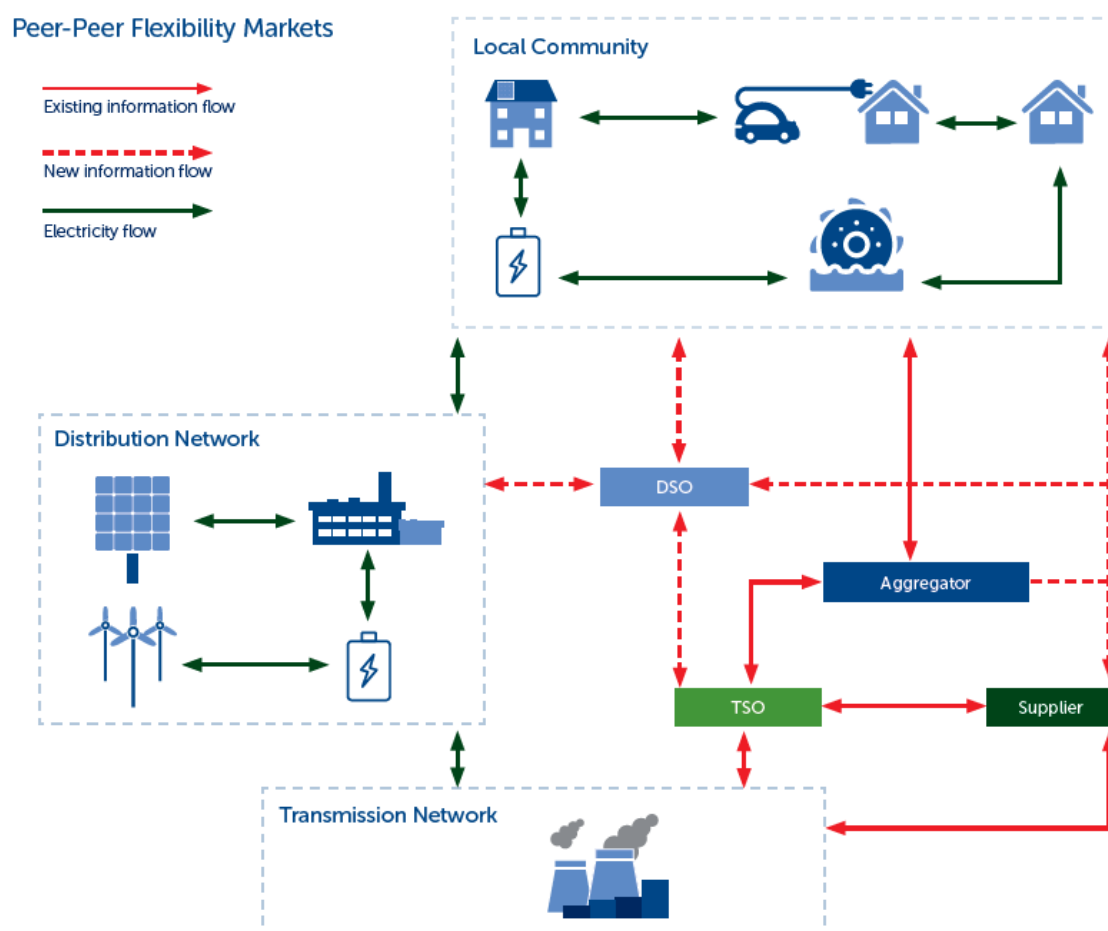
Еще один вариант использования микрогридов — энергоснабжение наиболее важных для поддержания жизни на территории объектов. Так, в индейской резервации Блю Лейк (штат Калифорния) микрогрид на базе микро-ГЭС используется для энергоснабжения водоканала и станции подачи чистой воды [14].

Особенно сильный интерес к обеспечению надежности за счет создания микрогридов в Калифорнии проявляют те энергетические сообщества, которые питаются от энергосистемы по длинным линиям, риск аварий на которых в период лесных пожаров особенно велик, и которые проходят по труднодоступной лесистой или горной местности, а потому первыми попадут под превентивное отключение. Примеры таких сообществ — в городах Голета, Калистога и в районе Монтесито в Санта-Барбаре [15]. Везде в этих местах микрогриды создавались совместными инвестициями жителей — членов энергетических сообществ — в целях предотвращения длительных отключений во время сезонных лесных пожаров.



Карта пожароопасных территорий и электрических сетей вокруг города Калистога (Калифорния). Красная область—зона повышенной опасности лесных пожаров. Источник: Energy Central

За время этого аналитического путешествия в Великобритании произошли события, заставляющие нас как бы на обратном пути снова заглянуть туда. В стадию реализации вступил масштабный проект Локальная энергетика Оксфордшира (LEO) по созданию локального энергетического сообщества масштабов целого графства — один из самых масштабных и амбициозных проектов такого рода в мире [16]. В частности, в рамках проекта предполагается развернуть платформу рынка гибкости Piclo Flex с подключением к ней всех просьюмеров и владельцев источников гибкости графства. Проект реализуется крупным консорциумом в составе Электрических сетей Шотландии и Юга (SSEN), EDF Energy и технологических компаний Piclo, Origami и Nuvve, а также Оксфордского университета и Университета Брукса. В числе задач проекта помимо разворачивания локального рынка гибкости — выработка общего подхода к быстрому подключению новых просьюмеров и распределенной генерации, разработка новых подходов к долгосрочному планированию развития энергосистем в условиях существования энергетических сообществ и исследование новых вариантов архитектуры энергетического рынка в ситуации, когда распределенная энергетика превалирует над централизованной [17].



Взаимодействие субъектов вокруг локальных и общих рынков гибкости. Источник: SSEN

Одновременно с переходом к реализационной стадии этого проекта компания Piclo на днях анонсировала пилотный проект по созданию рынка гибкости на базе платформы Piclo Flex в Словении. В качестве заказчиков и будущих пользователей участвуют словенский системный оператор ELES и три крупнейшие DSO страны [18].

[1] https://schoonschipamsterdam.org/#site_header

[2] <https://spectral.energy/solutions/secs/>

[3] <https://deceudel.nl/en/about/sustainable-technology/>

[4] <https://spectral.energy/news-3/jouliette-at-deceudel/>

[5] <https://spectral.energy/solutions/spex/>

[6] <https://spectral.energy/projects/# groningen>

[7] <https://www.earthshipglobal.com/design-principles>

[8] <https://www.metabolic.nl/news/how-side-systems-can-unlock-an-energy-revolution/>

[9] <https://www.metabolic.nl/projects/side-systems/>

[10] <https://www.energy-storage.news/blogs/smart-neighbourhood-smart-microgrid>

[11] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/why-pges-wildfire-blackout-resiliency-plans-rely-so-much-on-backup-diesel-generators>

[12] <https://sepapower.org/resource/the-microgrid-playbook-community-resilience-for-natural-disasters/>

[13] <https://sepapower.org/resource/the-microgrid-case-studies-community-resilience-for-natural-disasters/>

[14] <https://microgridknowledge.com/community-microgrids-examples/>

[15] <https://energycentral.com/c/ec/achieving-resilience-through-renewables-driven-community-microgrids>

[16] <https://www.current-news.co.uk/news/project-leo-to-get-larger-and-more-complex-as-it-moves-onto-second-phase>

[17] <https://project-leo.co.uk/about/leo-workstreams/>

[18] <https://www.current-news.co.uk/news/piclo-announces-first-international-flexibility-trial-joining-slovenian-consortium>

Охота на энергетическую гибкость. Часть первая. Сезон охоты

Об ускоренном формировании мировой индустрии энергетической гибкости

Дата: 26 июня

Автор: Игорь Чаусов

Песнь охотников звучит:

«Гей, вставайте! Кто там спит?

Время тоже каждый час

На прицел берет и нас.

Вальтер Скотт

Глобальный экономический кризис, нарастающий вслед за пандемией коронавирусной инфекции, уже стал самым значительным после Великой депрессии и рискует превзойти ее по глубине и серьезности последствий. Мировая экономика остро нуждается в путях выхода из создавшейся плачевной ситуации, и все громче и убедительнее становятся голоса тех, кто утверждает, что этот выход — в широкомасштабном энергетическом переходе к углеродно-нейтральной экономике. Краеугольным камнем новой энергетики — в силу высокой доли ВИЭ в энергобалансе — станет энергетическая гибкость, ценность которой за время пандемии во многих странах уже существенно выросла, а в углеродно-нейтрально будущем станет чрезвычайно высокой. В странах, делающих сегодня ставку на энергетический переход, развернулась настоящая охота на новые источники гибкости и способы работы с ними.



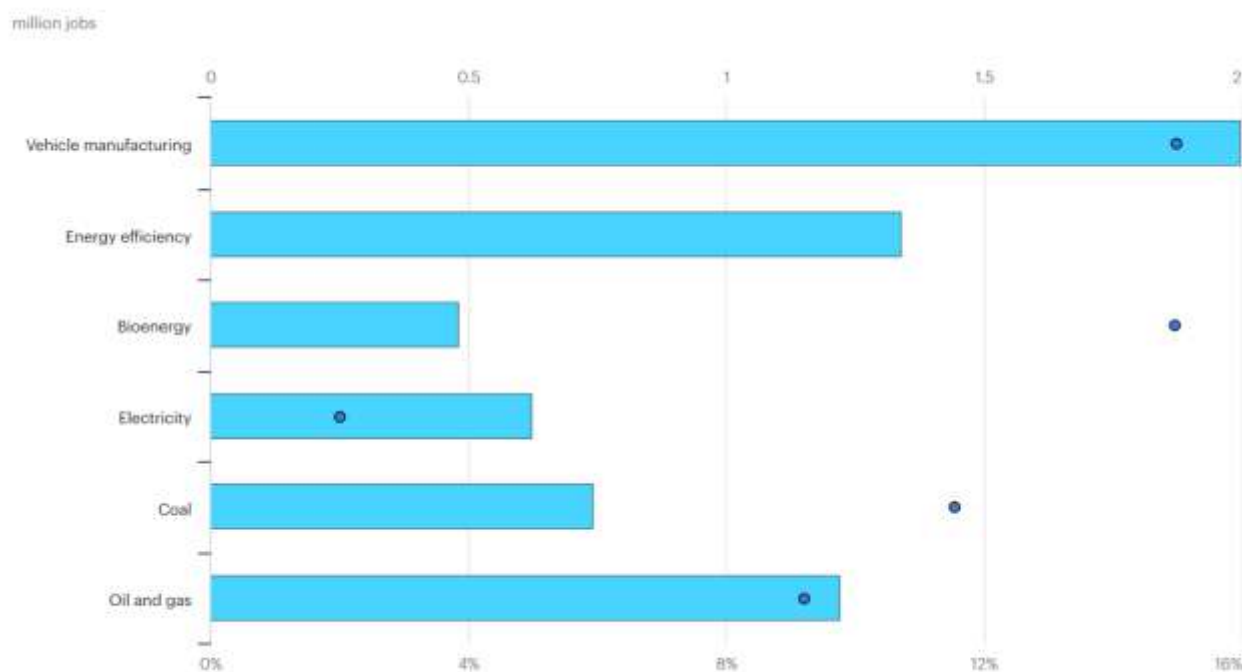
Эдвин Лорд Уикс «Раджа Гвалиора отправляется на охоту»

Системный кризис, настигший мировую экономику, может оказаться сильнее, чем ожидалось еще весной. Международный валютный фонд (МВФ) ухудшил собственный апрельский прогноз и теперь ожидает падения глобальной экономики в этом году на 4,9% вместо спрогнозированных ранее 3%, причем развитые экономики упадут на беспрецедентные 8%, а развивающиеся — на более скромные 3%, причем общие потери достигнут \$12,5 трлн [1]. Восстановление, которое начнется в 2021 году, будет медленным: средний по миру рост составит 5,4%, так что следующий год с трудом отыграет потери этого [2]. Оценки Всемирного банка еще хуже: в 2020 году экономика упадет на 5,2%, а в 2021 вырастет всего лишь на 4,2% [3].



Прогноз изменения ВВП в 2020 и 2021 годах. Источник: IMF

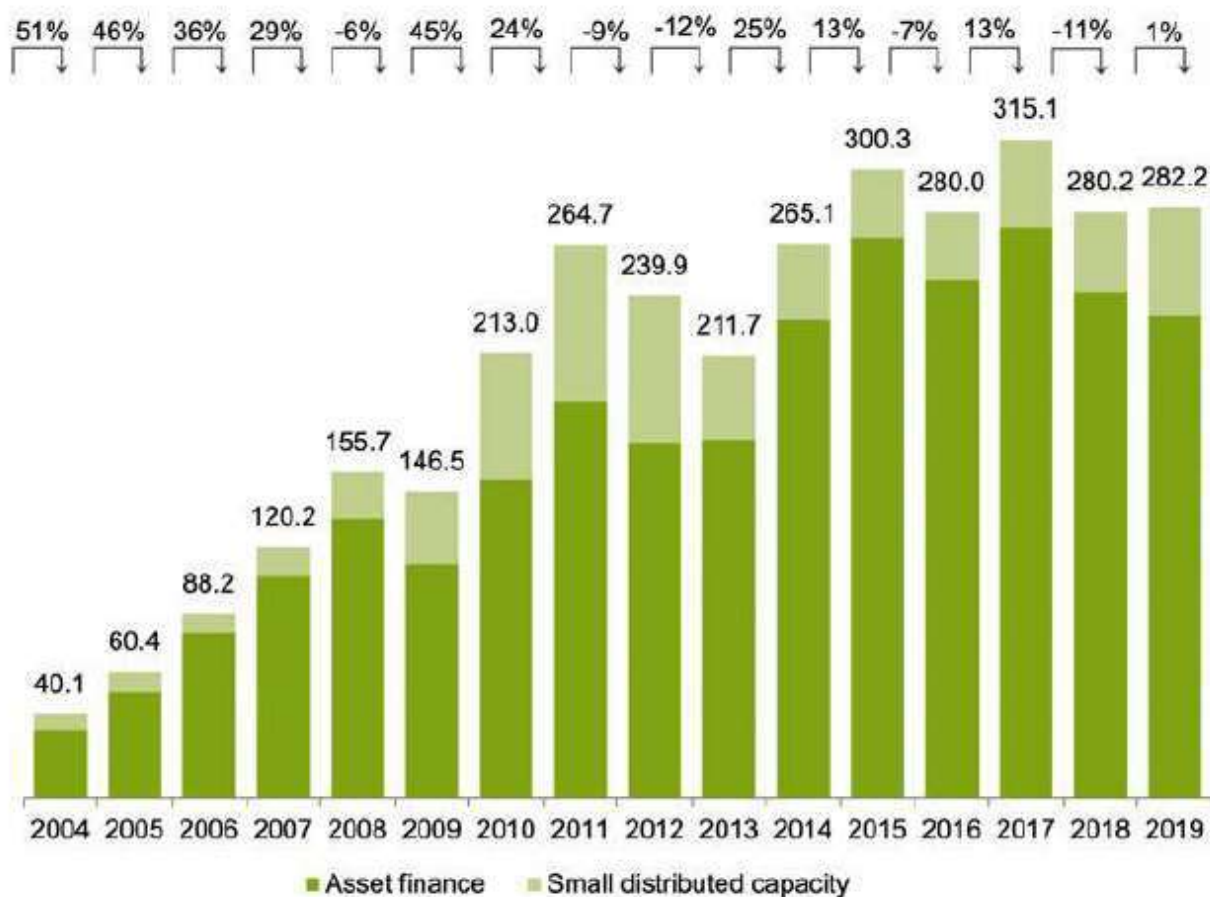
Кризис не обошел стороной и мировую энергетику. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), энергетика в 2020 году может недосчитаться \$1 трлн выручки компаний отрасли в силу упавших цен и спроса, а также \$400 млрд инвестиций — это рекордное падение на 20% по сравнению с показателями прошлого года [4]. Инвестиции в электроэнергетический сектор упадут на 10%, спад составит \$80 млрд [5]. Эта ситуация имеет и важное социальное измерение: почти 7 млн человек, занятых сегодня в энергетике и смежных секторах, рискуют потерять работу [6].



Число работников, рискующих потерять рабочие места в связи с экономическим кризисом.
Источник: IEA

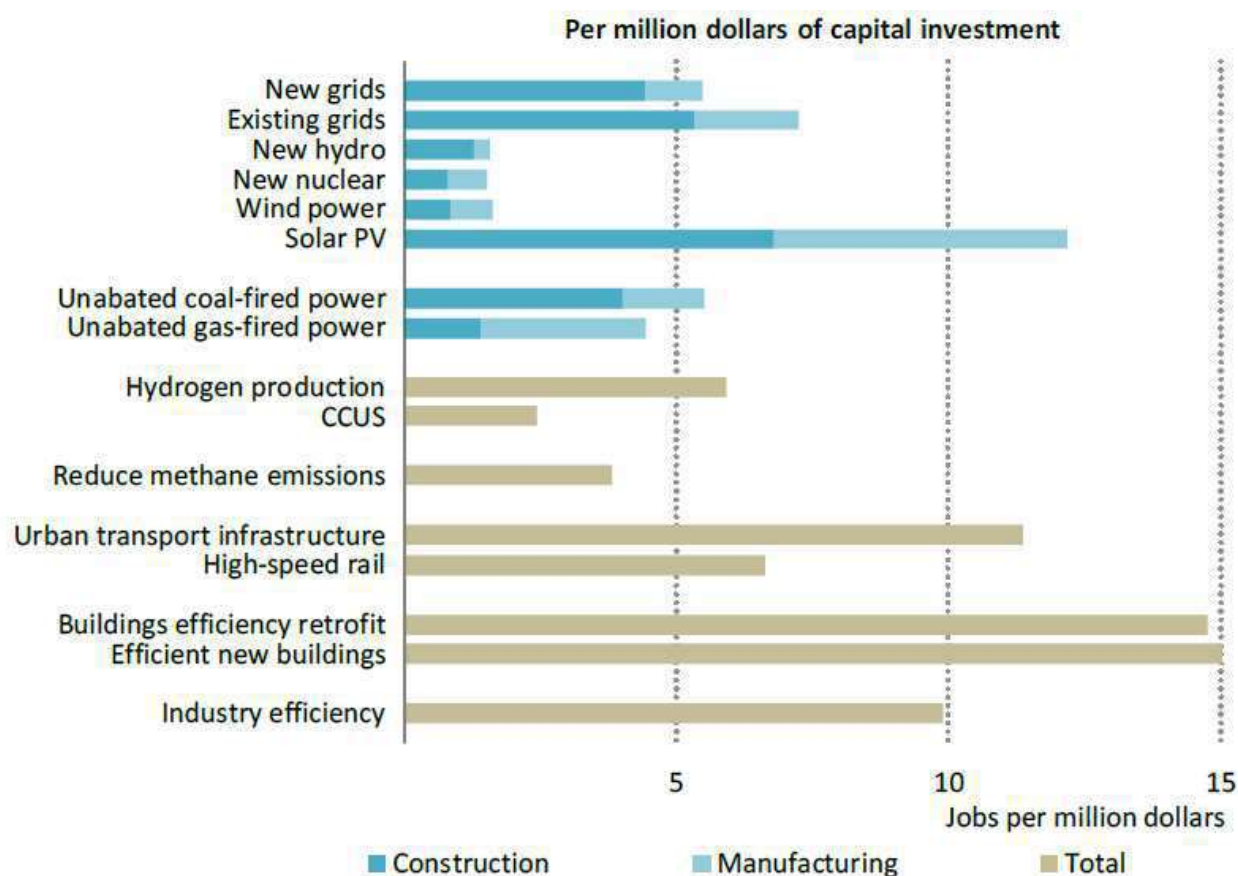
Но снижение инвестиционной активности распределяется по разным секторам неравномерно. Если в нефтегазовом секторе и традиционной энергетике оно составляет более 30%, то в области ВИЭ и новой энергетики — примерно 10% [7]. Этот разрыв позволяет оптимистам энергетического перехода надеяться на ускоренное завершение эпохи нефти и газа и служит дополнительным аргументом в пользу построения безуглеродной энергетики как пути выхода из глобального кризиса. Так, по мнению исследовательской группы The Shift Project, спад инвестиций в добычу настолько опережает тренд на снижение спроса на нефть, что через несколько лет Европа от профицита перейдет к дефициту нефти, причем это только подстегнет энергетический переход, и общемировой пик добычи нефти придется уже на 2027 год [8].

На этом фоне голоса, призывающие сделать энергетический переход к углеродно-нейтральной экономике основой пост-коронавирусного восстановления этой экономики, звучат все громче. В докладе, подготовленном ООН совместно с Франкфуртской школой и Bloomberg New Energy Finance, указано, что за последние 10 лет инвестиции в ВИЭ составили \$2,7 трлн — почти в 3 раза меньше, чем необходимо для строительства 826 ГВт новой генерации на базе ВИЭ, которая предусмотрена имеющимися правительственными планами и программами [9]. Существует большой потенциал к наращиванию инвестиций в энергетический переход, и правительственные планы могут быть намного более амбициозными.



История инвестиций в «зеленую» энергетику. Источник: BNEF

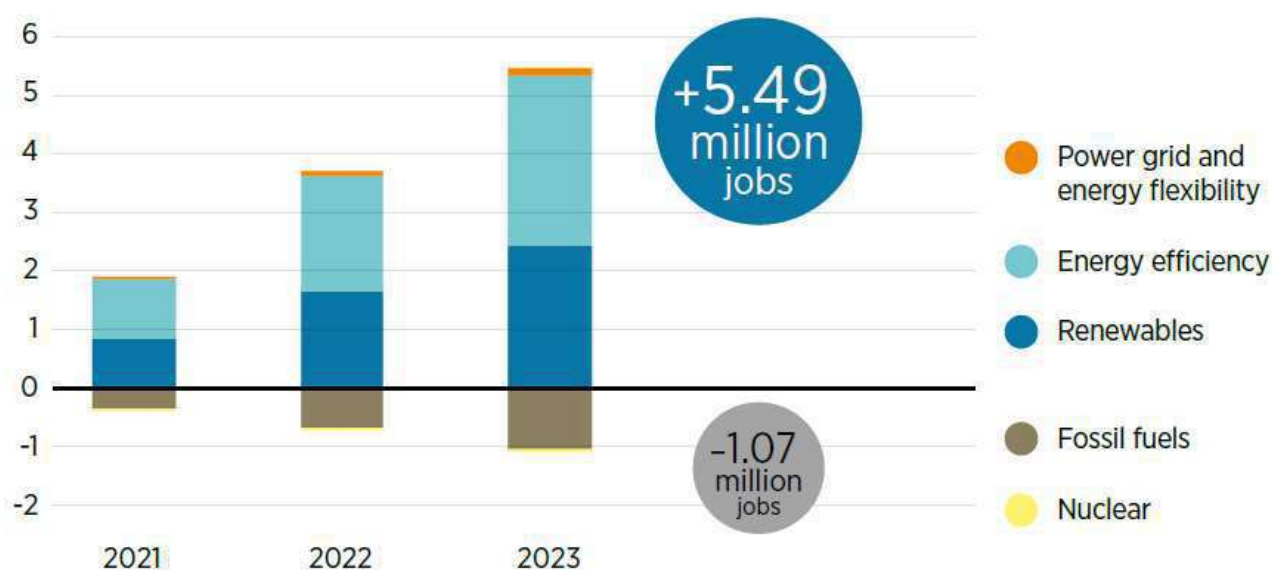
К таким широкомасштабным инвестициям в совместном плане пост-коронавирусного восстановления мировой экономики призывают МЭА и МВФ. Согласно их оценкам, за счет предлагаемых мер государственного стимулирования в 2021–2023 годах получится нарастить инвестиции в энергетический переход до \$1 трлн в год, что в итоге обеспечит дополнительный ежегодный прирост мировой экономики на 1,1%, обеспечит 270 млн человек устойчивым доступом к электроэнергии, а также позволит каждый год создавать 9 млн рабочих мест [\[10\]](#).



Количество рабочих мест, которые создает энергетический переход, в расчете на миллион долларов инвестиций. Источник: IEA

К позициям МЭА и МВФ в своем новом докладе, посвященном восстановлению после пандемии, присоединяется Международное агентство по возобновляемой энергетике (IRENA). Согласно прогнозам IRENA, при должной политической и регуляторной поддержке на стадии восстановления мировой экономики в 2021–2023 годах «чистая» энергетика сможет привлечь даже большие инвестиции — до \$5,9 трлн за три года. Возможности по обеспечению занятости в этот период IRENA оценивает в 4,5 млн новых рабочих мест [\[11\]](#). В число сторонников «зеленого» пути восстановления экономики входит и Всемирный банк, указывающий в своем новом докладе, что инвестиции в низко-углеродную экономику способны принести доход, в четыре раза превышающий эти инвестиции [\[12\]](#).

Transforming Energy Scenario vs. Planned Energy Scenario:
Difference in energy sector jobs (million jobs)

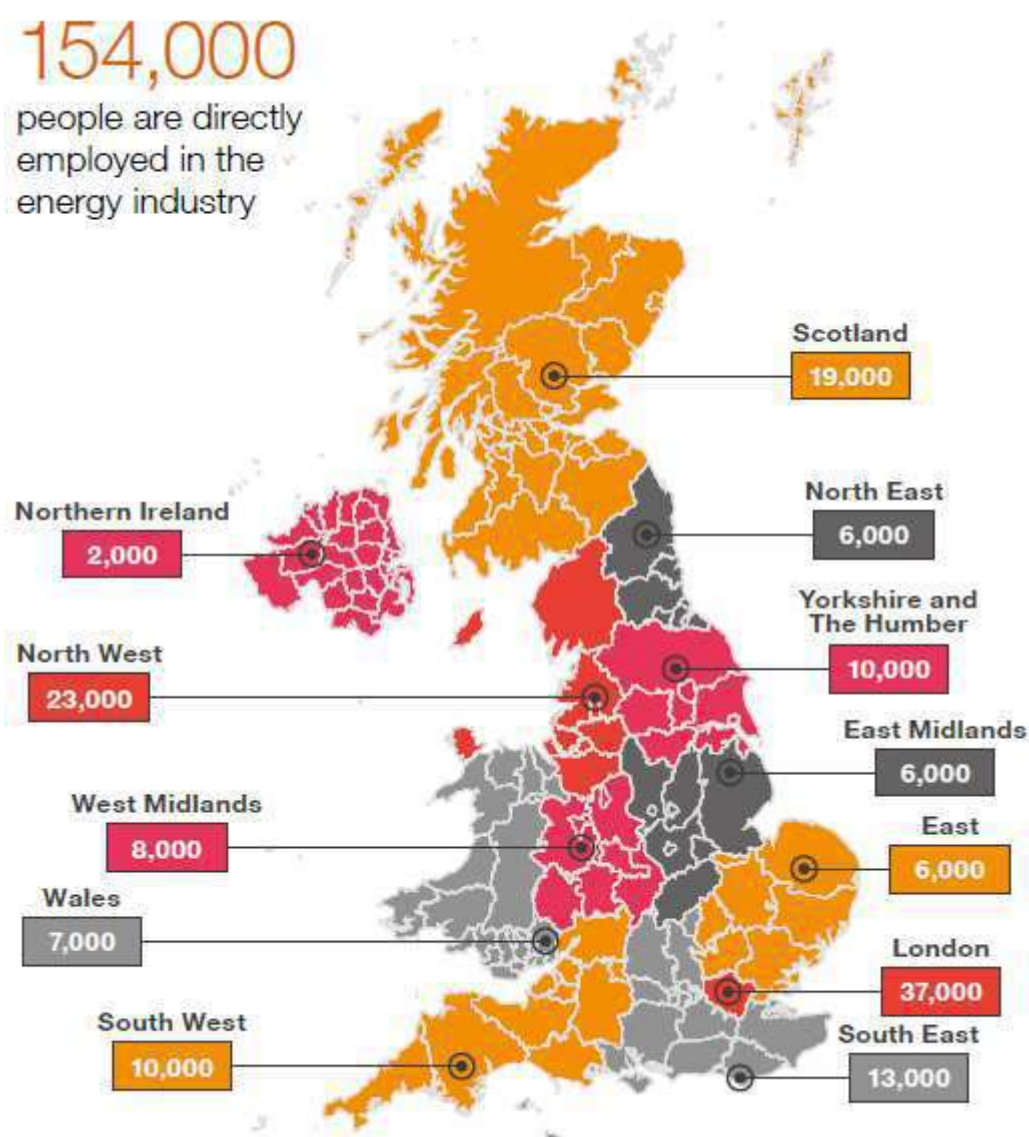


Изменения в числе рабочих мест в 2021–2023 годах в рамках сценария ТЕС энергетического перехода. Источник: IRENA

На уровне национальных правительств пути пост-коронавирусного восстановления экономики стали предметом жарких дискуссий. Европейский союз, по всей видимости, оказался в лидерах по степени определенности позиции и принял предварительное решение делать ставку на «зеленое» восстановление экономики, по крайней мере, на уровне Брюсселя [\[13\]](#). Уже запускается объединенный фонд ЕС для инвестиций в ВИЭ по новому Механизму финансирования возобновляемой энергетики (REFM) [\[14\]](#). В то же время в США не только вопрос ставки на энергетический переход, но и сами планы экономического восстановления окончательно скрылись из виду в дыму ожесточенного сражения демократов с республиканцами, происходящих на фоне не менее ожесточенных сражений демонстрантов с памятниками и полицией [\[15\]](#). Позиция Китая, как всегда, остается неуловимо-комплексной. С одной стороны, центральным правительством принят план восстановления экономики за счет инвестиций в инфраструктуру в размере \$1,4 трлн в 2020–2025 годах [\[16\]](#). С другой стороны, из семи инфраструктур, определенных в Китае в качестве приоритетных для инвестиций, к низко-углеродному будущему прямое отношение имеет только одна — зарядные станции для электротранспорта [\[17\]](#).

Интересная ситуация с планами по выходу из кризиса за счет поддержки энергетического перехода сложилась в Великобритании. В условиях незакрытого гештальта с брекзитом на Бориса Джонсона оказывается все большее давление общественности и профессионального сообщества, призывающих Правительство тори принять такой план восстановления экономики, который вывел бы Соединенное Королевство в лидеры углеродно-нейтральной экономики. Среди этих призывов звучат голоса национального системного оператора (National Grid ESO) [\[18\]](#), Климатической

ассамблеи [19], Конфедерации британской промышленности [20] и Комитета по изменению климата [21] и Инфраструктурной группы по энергетической эффективности [22]. Более 200 крупнейших корпораций и банков направили Борису Джонсону открытое письмо с призывом сделать построение низко-углеродного будущего основой восстановления британской экономики [23]. Сам Джонсон аккуратно назвал «зеленое» восстановление важным для Великобритании [24], а Правительство запустило серию круглых столов по этому вопросу [25].



Рабочие места в энергетике Великобритании в 2020 году. Источники: PwC и Energy UK

«Зеленая» энергетика открывает для Великобритании дополнительные возможности и в борьбе с кризисом занятости. Разведывательная группа по энергетике и климату (ECIG) оценила число новых рабочих мест, которые создаст энергетический переход в Соединенном Королевстве, в 694 тыс. к 2030 году [26]. Прогноз PwC и Energy UK еще оптимистичнее: «зеленое» восстановление экономики создать 1,1 млн новых рабочих мест в энергетике и смежных отраслях [27].

- [1] <https://blogs.imf.org/2020/06/24/reopening-from-the-great-lockdown-uneven-and-uncertain-recovery/>
- [2] <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/06/24/WEUpdateJune2020>
- [3] <https://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects>
- [4] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/iea-historic-plunge-in-investment-could-undermine-the-energy-transition>
- [5] <https://www.iea.org/articles/the-covid-19-crisis-is-undermining-efforts-to-invest-in-a-secure-and-sustainable-electricity-sector>
- [6] <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-sector-energy-efficiency-and-vehicle-manufacturing-jobs-at-risk-post-covid-19-and-share-of-total-sector-employment>
- [7] <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery/covid-19-and-energy-setting-the-scene#abstract>
- [8] https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/06/Study_Risk-supply-Europe_TSP-with-Rystad-Data.pdf
- [9] https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf
- [10] <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>
- [11] <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Post-COVID-Recovery>
- [12] <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33958/149871.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [13] <https://www.euractiv.com/wp-content/uploads/sites/2/2020/05/Green-Deal-Recovery-Package.pdf>
- [14] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/how-europes-solar-rebound-is-facing-a-fossil-fuel-pushback>
- [15] <https://time.com/5835402/green-stimulus-climate-change-coronavirus/>
- [16] <https://www.eastasiaforum.org/2020/05/05/how-green-is-chinas-post-covid-19-new-infrastructure-stimulus-spending/>
- [17] <https://chinaenergyportal.org/en/white-paper-on-the-development-of-new-infrastructure-construction/>
- [18] <https://www.current-news.co.uk/news/net-zero-much-be-hard-wired-into-covid-19-recovery>

- [19] <https://www.climateassembly.uk/news/interim-briefing-post-lockdown-steps-aid-economic-recovery-should-drive-progress-net-zero-target/>
- [20] <https://www.current-news.co.uk/news/cbi-latest-to-call-for-green-recovery-to-help-uk-build-back-better>
- [21] <https://www.theccc.org.uk/2020/06/25/covid-19-can-be-an-historic-turning-point-in-tackling-the-global-climate-crisis/>
- [22] <https://www.current-news.co.uk/news/green-covid-19-recovery-a-historic-opportunity-as-organisations-turn-up-the-heat>
- [23] <https://www.corporateleadersgroup.com/reports-evidence-and-insights/pdfs/final-290520-business-groups-ceo-resilient.pdf>
- [24] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-06-03/boris-johnson-sees-green-recovery-essential-to-u-k-recovery>
- [25] <https://www.gov.uk/government/news/business-secretary-leads-economic-recovery-roundtables>
- [26] https://ca1-eci.edcdn.com/reports/ECIU_Sealing-the-red-wall_release.pdf?mtime=20200623134139&focal=none
- [27] <https://www.energy-uk.org.uk/publication.html?task=file.download&id=7561>

Охота на энергетическую гибкость. Часть вторая. Ценная добыча

Дата: 28 июня

Автор: Игорь Чаусов



Виктор-Пьер Хюгюэ «Соколиная охота»

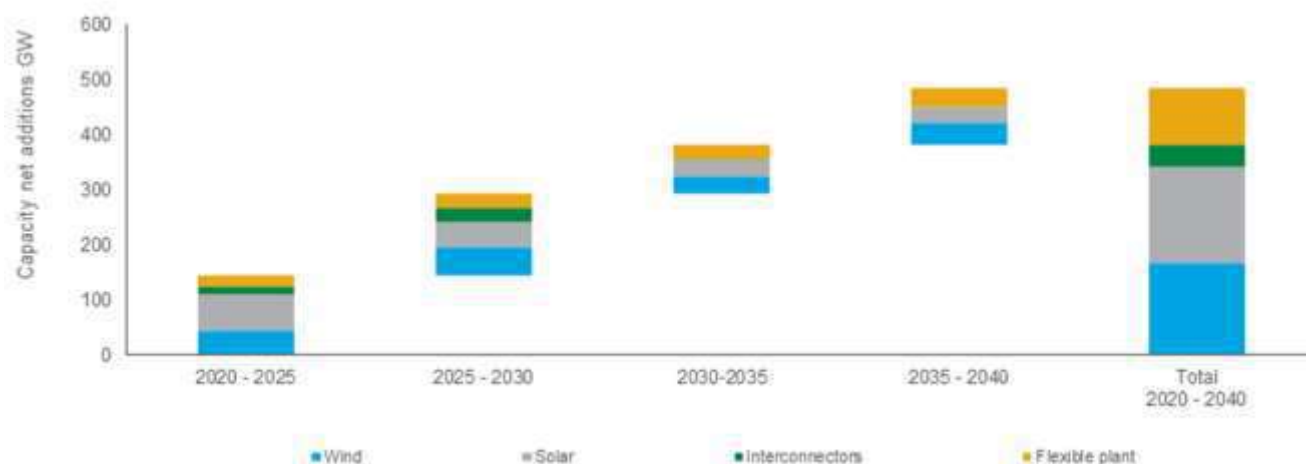
*Густо падает снег...
В темноте не увидишь,
Где затаился фазан.
Только крыльев внезапный вспорх
Да ястреба колокольчик.*

Сайгё

Гибкость — ценная дичь

Великобритания, вероятно, первой из стран мира ощутила на себе, что такое полноценная низко-углеродная энергосистема. Так, в силу вызванного карантинными мерами падения спроса на электроэнергию, совпавшего с сезонным летним спадом потребления, уже два месяца там не работает ни одна угольная электростанция [\[28\]](#). При этом объем торгов на балансирующем рынке (BM) в апреле и мае этого года

оказался в два раза больше в сравнении с 2019 годом, что показывает резкий рост спроса на резервы для балансирования энергосистемы [29]. Активной покупкой гибкости занялись британские сетевые компании, например, UKPN закупила в первом полугодии на платформе Piclo Flex доступ к 123 МВт энергетической гибкости с общей суммой контрактов £14 млн [30]. В целом дополнительные расходы на балансирование энергосистемы и поддержание качества электроэнергии летом 2020 года, возникшие в силу низкого потребления и нехватки гибкости в системе, National Grid ESO оценивает в £823 млн [31].



Прогноз по вводу новых мощностей в пяти странах Западной Европы (Великобритания, Германия, Франция, Италия и Испания). Источник: Wood Mackenzie

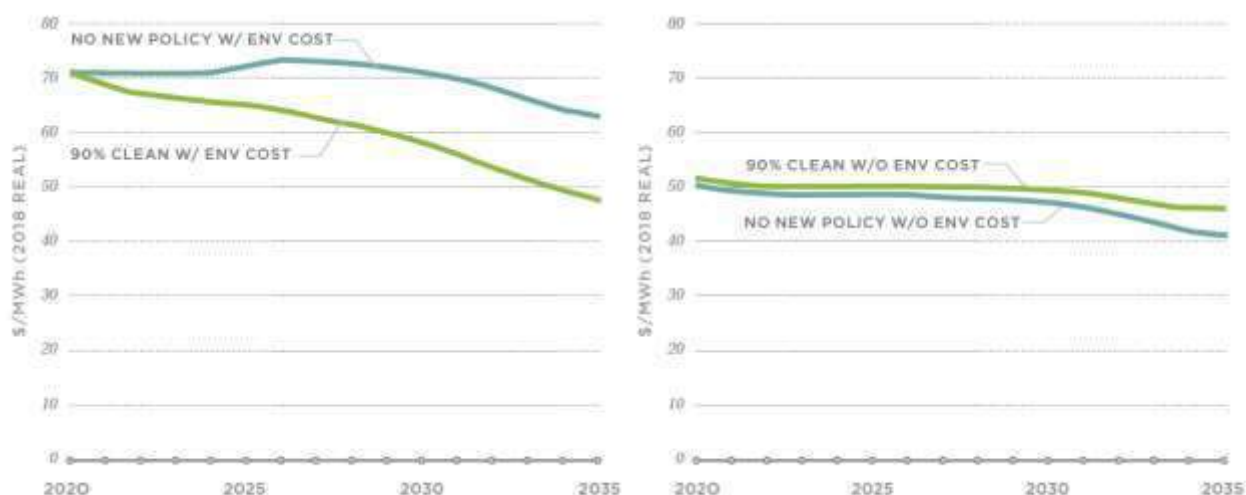
По оценкам Wood Mackenzie, аналогичная ситуация, при которой доля ВИЭ в энергобалансе будет устойчиво находиться на уровне 30–50%, уже в 2023 году сложится во всех крупных странах Западной Европы — Великобритании, Германии, Франции, Италии и Испании [32]. При этом к 2040 году в Европе Wood Mackenzie ожидает ввод 169 ГВт ветровых и 172 ГВт солнечных мощностей, а также 86 ГВт накопителей, которые обеспечат не только практически полное исчезновение угольной, но и существенное сокращение газовой генерации [33].

В связи с прогнозируемым закрытием угольных ТЭС и некоторых АЭС в Европе, замещаемых в энергобалансе ВИЭ, **общая потребность Европы в энергетической гибкости, согласно оценке аналитического агентства Timega Energy, достигнет 30 ГВт уже к 2023 году и 60 ГВт к 2030 году [34].** Доклад составлен в феврале этого года и не учитывает потенциальные инвестиции в «зеленое» восстановление экономики и ускорение энергетического перехода. В условиях такого ускорения ценность энергетической гибкости и спрос на нее существенно вырастут даже сверх приведенных и без того существенных оценок.



Потребность в энергетической гибкости в Западной Европе к 2030 году. Источник: Timera Energy

Дополнительный оптимизм сторонникам низко-углеродного восстановления экономики придают результаты моделирования работы энергосистемы США в рамках радикального сценария достижения 90% углеродной нейтральности, выполненные Калифорнийским университетом в Беркли. Согласно этим результатам, такая энергосистема, 10–12% мощностей в которой приходится на источники гибкости, обеспечит стоимость электроэнергии на 10% ниже уровня сегодняшних цен и при этом создаст 29 млн новых рабочих мест в 2020–2035 годах [\[35\]](#).



Цена на электроэнергию (\$/МВт·ч) в сценариях 55% и 90% углеродной нейтральности энергосистемы США с учетом и без учета платы за эмиссию. Источник: University of California Berkley

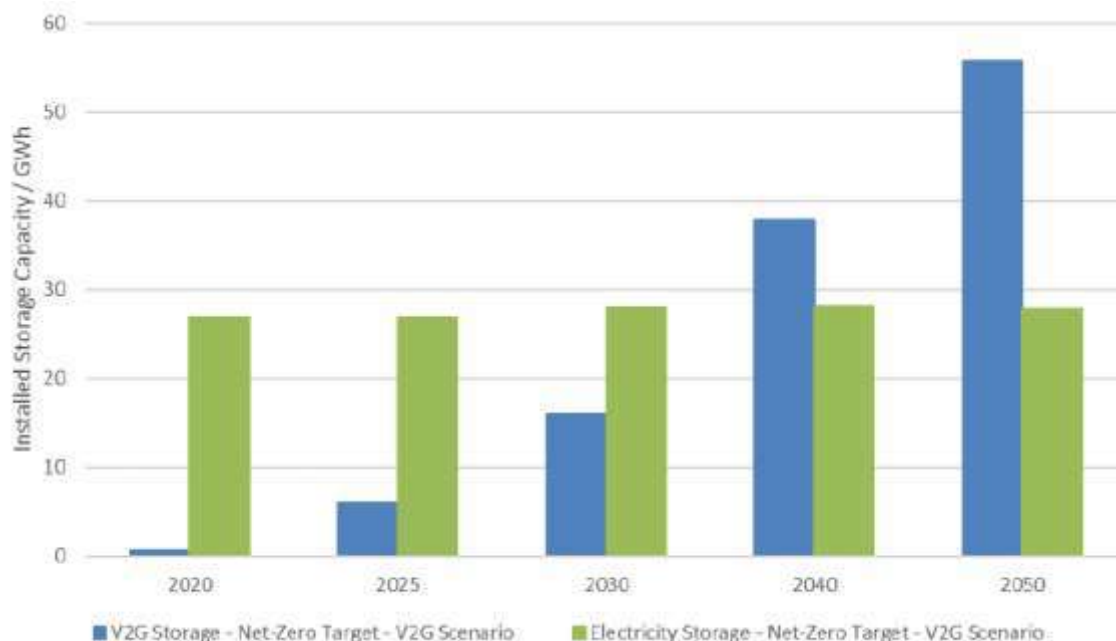
Кроме того, исследование, проведенное Грэнтемовским исследовательским институтом изменения климата и окружающей среды Лондонской школы экономики, показало, что бизнес энергетических компаний, которые инвестируют в «зеленую» энергетику или занимаются ею, становится за счет этого более маржинальным и рентабельным [36].

Где обитает гибкость?

Зарядные станции электромобилей, интеллектуальное электрическое отопление и водородные электростанции — вот те нераскрытые источники углеродно-нейтральной энергетической гибкости, на которые технологические компании сегодня ведут охоту.

Согласно открытому письму компаний Kaluza, Octopus Energy, Centrica, E.On и Moixa, направленному Ofgem, если бы все зарядные станции электромобилей в Великобритании оказывали услуги гибкости, этим летом Британия сэкономила бы £133 млн за счет снижения объема торгов на балансирующем рынке [37]. Часть потенциала гибкости зарядной инфраструктуры уже используется. Британская компания Ev.energy, владеющая 25 МВт зарядных станций, стала одним из победителей упомянутого аукциона гибкости UKPN [38]. Еще большими возможностями, по оценкам сетевой компании Western Power Distribution (WPD), располагают V2G-зарядки. Поэтому WPD в кооперации с Crowd Charge запускает в марте 2021 года пилотный проект, в рамках которого будет бесплатно устанавливать зарядные станции с функцией V2G владельцам электромобилей Nissan, живущим в Мидленде, Юго-Западной Англии в Южном Уэльсе, а также заплатит участникам проекта по £120 за то, что их автомобили будут в определенные часы подключены к этим станциям. После завершения проекта его участники смогут выкупить зарядки за £250 при рыночной цене £5500 [39]. Использование мощности V2G-станций, уже подключенных к системе управления гибкостью компании Kaluza, с началом британского карантина в марте выросло в два

раза [\[40\]](#). В долгосрочной перспективе 2050 года, по оценке аналитиков Energy System Catapult, технологии V2G будут обеспечивать в Великобритании доступ энергосистемы к 50 ГВт·ч накопительной емкости автомобильных аккумуляторов [\[41\]](#).



Накопительная емкость (ГВт·ч) электромобилей, подключенных к V2G-станциям, и стационарных накопителей. Источник: Energy System Catapult

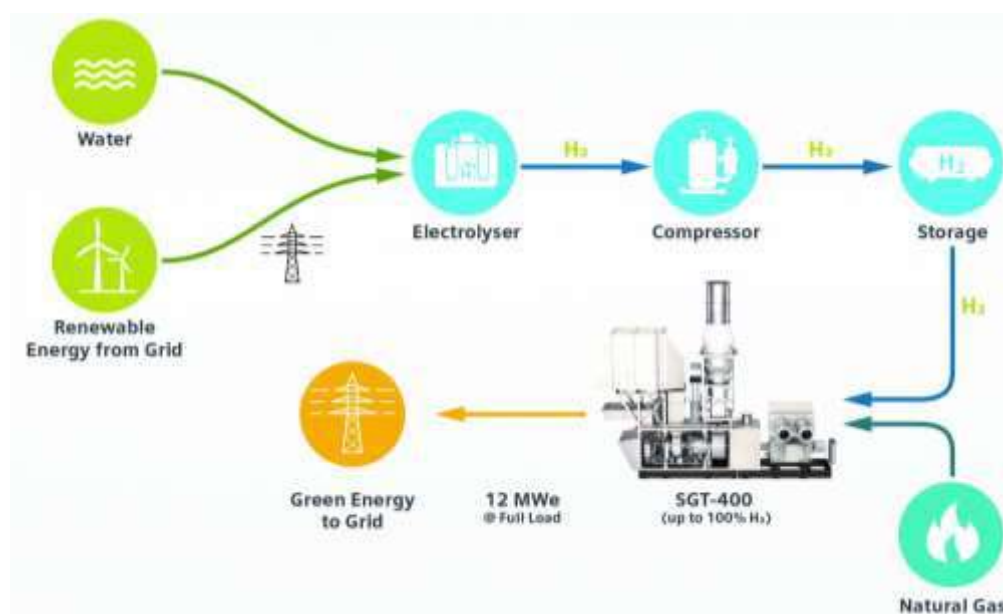
По оценке Wood Mackenzie, к 2030 году 13,8% новых автомобилей будут электрическими, а число зарядных станций возрастет 8,6 млн в Европе, 10, 8 млн в США и 9,8 млн в Китае [\[42\]](#). Интересно отметить, что рост рынка электромобилей не только обеспечит большой ресурс энергетической гибкости, но и сам по себе может выступить стимулом экономического роста. Например, Центр развития силовых установок рассчитал, что британские компании в 2020–2025 годах могут получить дополнительную выручку от участия в переходе страны на электромобили в размере £25 млрд [\[43\]](#).

Недооцененным источником энергетической гибкости выступает электрификация отопления домохозяйств и применение интеллектуальных термостатов. В США в настоящее время программы по электрификации отопления действуют в штатах Мэн, Калифорния и Нью-Йорк [\[44\]](#). Ставку на «умные» термостаты делает Google. Дочерняя компания IT-гиганта Google Nest совместно с энергоснабжающей компанией Consumers Energy и сервисной компанией Uplight запустила в Мичигане пилотный проект по установке 100 тыс. бесплатных дистанционно управляемых термостатов, которые обеспечат запас гибкости в 14 МВт, и за удаленный доступ к которыми их пользователи будут получать по \$75, что компенсирует примерно 20% среднего счета за электроэнергию за летние месяцы [\[45\]](#). Исследование компаний EnergyHub, Rheem и United Illuminated показывает, что в качестве источников гибкости могут использоваться также тепловые насосы и водонагреватели на их основе [\[46\]](#).



Таким ваш дом видит интеллектуальный термостат от Google. Источник: Google Nest

Пилотные проекты по использованию отопления для балансирования энергосистемы реализуются и в Великобритании. National Grid ESO и Сетевая компания Шотландии и Юга (SEN) запустили проект «4D Heat», в рамках которого они исследуют возможность 380 тыс. домовладений в Шотландии использовать электрическое отопление для того, чтобы балансировать выработку ветрогенераторов, расположенных в Северном море [47]. Интересный комплексный проект «Интеллектуальная локальная энергосистема» (SLES) стартовал в Западном Сассексе. Проект формирует виртуальную электростанцию из домашних и муниципальных источников гибкости в составе 350 крышных солнечных панелей с накопителями от MOIXA, 12 МВт сетевых муниципальных накопителей от Connected Energy, 250 тепловых насосов от PassivSystems и пяти кластеров зарядных станций для электромобилей, кроме того используются водородная заправочная станция с электролизером от ITM Power и система интеллектуального электрического отопления домов фирмы ICAX [48].



Принципиальная схема проекта HYFLEXPOWER. Источник: Siemens

Чрезвычайно интересный проект HYFLEXPOWER по использованию водородной энергетики как источника гибкости в мае этого года был запущен компаниями Engie, Siemens, Centrax, Arttic и Немецким аэрокосмическим центром (DLR) в Сайа-Сюр-Вьен во Франции. Проект предполагает в 2020–2023 годах создание маневренной водородной электростанции, работающей по принципу power-to-hydrogen-to-power на базе поставляемых Siemens электролизеров и газовой турбины SGT-400, которая к 2023 году должна быть адаптирована к работе на чистом водороде [49].

[28] <https://www.current-news.co.uk/news/coal-absent-from-gb-grid-for-two-months-as-it-continues-to-smash-records>

[29] <https://www.current-news.co.uk/news/use-of-balancing-mechanism-doubles-as-covid-19-highlights-imperfect-system>

[30] <https://www.ukpowernetworks.co.uk/internet/en/news-and-press/press-releases/World-first-for-Flexibility-markets-as-UK-Power-Networks-reveals-biggest-ever-tender.html#art-top>

[31] <https://www.nationalgrideso.com/news/how-lockdown-affecting-costs-managing-electricity-system>

[32] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/wind-solar-and-storage-to-dominate-europes-grids-by-2030>

[33] <https://www.woodmac.com/news/opinion/power-system-flexibility-key-to-europes-net-zero-targets/>

[34] <https://timera-energy.com/wp-content/uploads/2020/02/Timera-Flex-to-Decarbonise-27Feb20.pdf>

[35] <http://www.2035report.com/wp-content/uploads/2020/06/2035-Report.pdf?hsCtaTracking=8a85e9ea-4ed3-4ec0-b4c6-906934306ddb%7Cc68c2ac2-1db0-4d1c-82a1-65ef4daaf6c1>

[36] http://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2020/06/GRI_policy-report_Does-it-pay-for-firms-to-go-green-1.pdf

[37] <https://www.current-news.co.uk/news/smart-charging-could-have-saved-133m-in-grid-balancing-costs-during-lockdown>

[38] <https://www.current-news.co.uk/news/ev-energy-scoops-up-contract-as-domestic-evs-win-flexibility-tender>

[39] <https://electricnation.org.uk>

- [40] <https://www.current-news.co.uk/news/lockdown-highlights-need-for-increased-data-and-domestic-flexibility-says-kaluza>
- [41] <https://es.catapult.org.uk/reports/storage-and-flexibility-vehicle-to-grid/?download=true>
- [42] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/north-america-china-and-europe-will-install-29m-residential-and-public-ev-chargers-by-2030>
- [43] <https://www.apcuk.co.uk/app/uploads/2020/06/APC-Passenger-car-electrification-report-online-v1.pdf>
- [44] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/so-what-exactly-is-building-electrification>
- [45] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/can-free-smart-thermostats-boost-demand-response-potential-in-the-covid-19-era>
- [46] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/energyhub-shows-that-heat-pump-water-heaters-can-be-demand-response-assets>
- [47] <https://www.current-news.co.uk/news/national-grid-eso-and-ssen-partner-for-win-win-smart-heating-project>
- [48] <https://www.current-news.co.uk/news/revolutionary-31m-project-to-integrate-heat-transport-and-energy-in-vpp>
- [49] <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/hyflexpower-worlds-first-integrated-power-x-power-hydrogen-gas-turbine-demonstrator>

Охота на энергетическую гибкость. Часть третья. Охотники

Дата: 30 июня

Автор: Игорь Чаусов



Эжен Фромантен «Охота»

*Высохли травы.
У соколов злые глаза.
Поступь коней
Молодою и легкою стала.*

Ван Вэй

В охоте на энергетическую гибкость особенно помогают цифровые платформы, позволяющие легко привлекать новые источники гибкости и управлять ими. Новым словом в платформенных технологиях становятся сегодня системы активного управления сетью (AMN) для сетевых компаний. Например, UKPN использует систему AMN для управления источниками гибкости, законтрактованными на долгий срок по итогам аукциона. При этом используется AMN, созданная фирмами Smarter Grid Solution, Nexant и GreenSync, которая выступает своего рода платформой виртуальной

электростанции, но агрегируемая гибкость не перепродается, а используется самой сетевой компанией для обеспечения устойчивой работы сети [50].

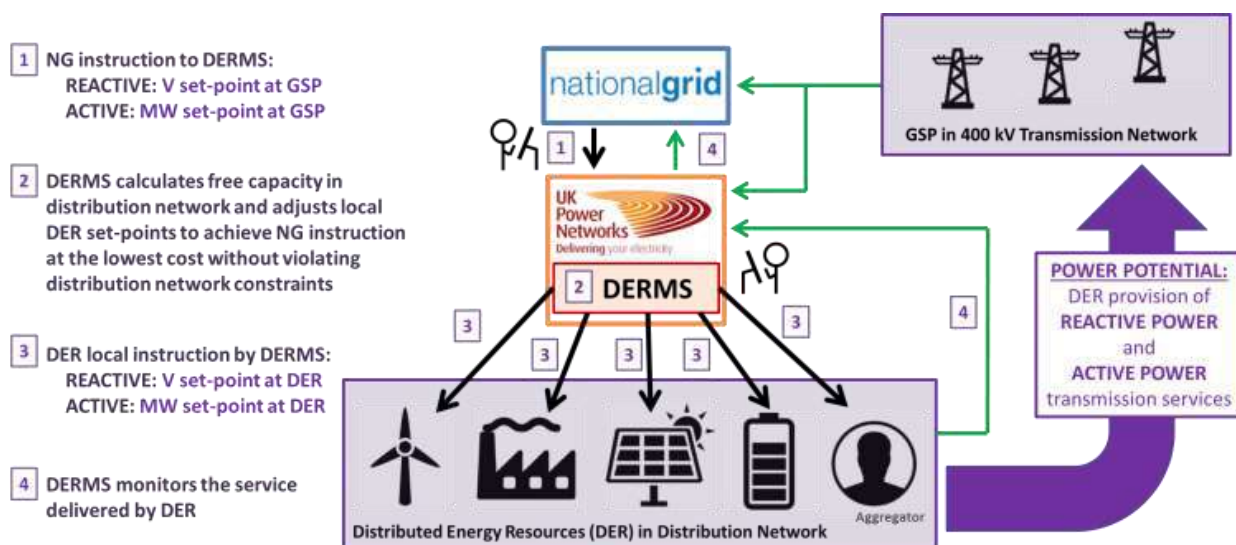


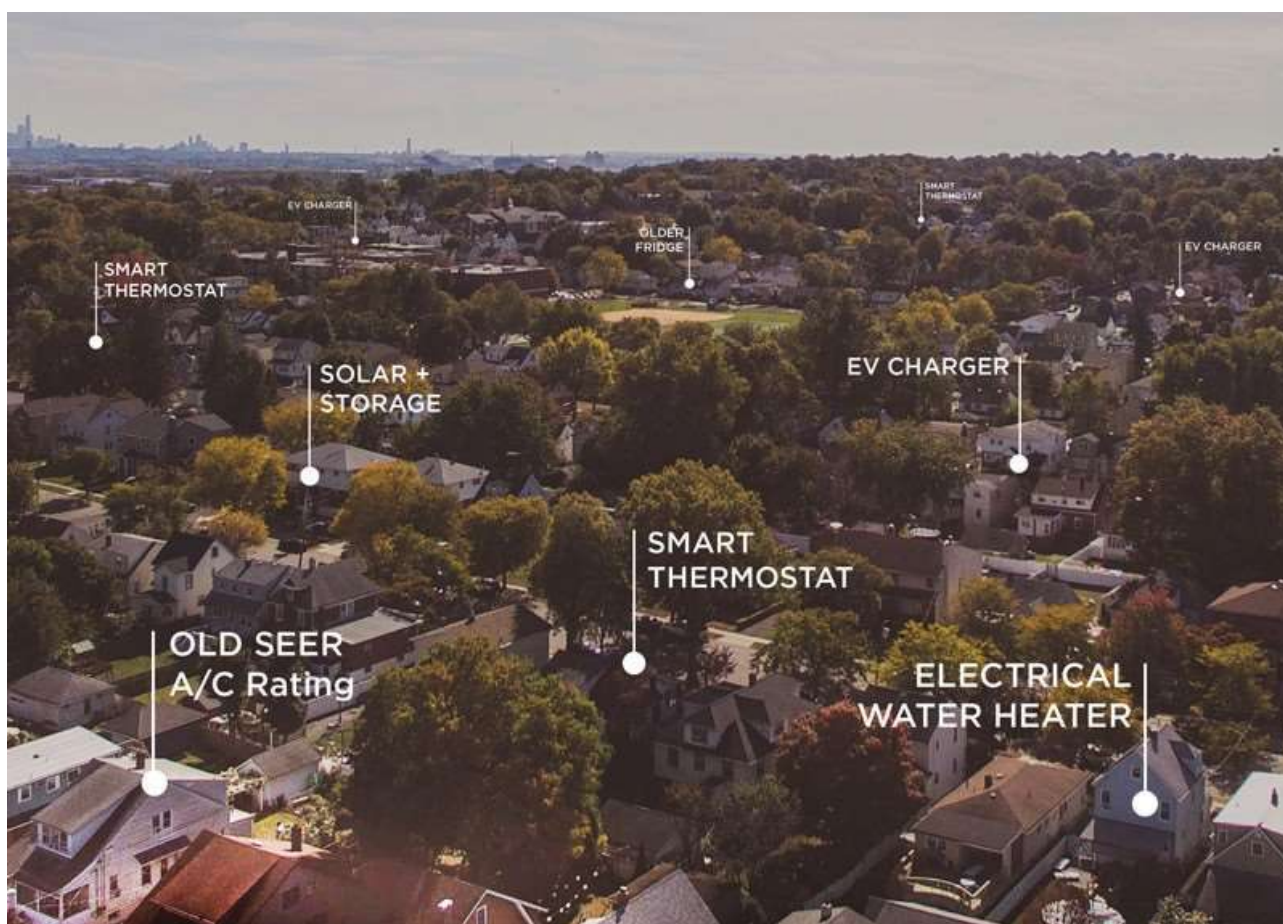
Схема пилотного проекта по реализации DERMS как системы управления гибкостью в интересах электрической сети в рамках системы активного управления сетью (AMN). Источник: UKPN

Аналогичное решение на базе технологий искусственного интеллекта от компаний Evergreen Smart Power, Energy Assets Networks и Myenergi используется в рамках британского пилотного проекта DINO для управления зарядными станциями и тепловыми насосами в интересах поддержания необходимого уровня загрузки сетевого оборудования и напряжения в сети [51].



Интерфейс оператора систему управления гибкостью бытовых потребителей. Источник: EnergyHub

С возможностями цифровых платформ по интеграции распределенных источников гибкости различных производителей связано появление новой бизнес-модели «приходи со своим устройством» (BYOD), суть которой заключается в том, что оператор платформы, предоставляющий сервисы гибкости, не требует от пользователя установить свое или партнерское оборудование — зарядную станцию, инвертор к накопителю или термостат, — но обеспечивает подключение имеющихся у пользователя устройств. Эта бизнес-модель успешно применяется компанией EnergyHub в Массачусетсе, Мэриленде и Род-Айленде [52].



Так на мир смотрит оператор сервисов гибкости, использующий модель BYOD. Источники: Bigely и EnergyHub

Немалую роль в удачной охоте на энергетическую гибкость играет подходящая конструкция рынка электроэнергии и гибкости, причем эта конструкция по-прежнему остается дискуссионным вопросом.

Великобритания отвечает на этот вопрос традиционным способом, стремясь допустить источники гибкости, такие как накопители и управление спросом, на рынки мощности и системных услуг. Так, в мае Ofgem снял барьеры для участия в британском рынке мощности накопителей и агрегаторов управления спросом, снизив, в частности, порог входа до 1 МВт [53]. Более оригинальный вариант конструкции рынка для управления гибкостью демонстрирует Техас. Под диспетчерским управлением местного системного

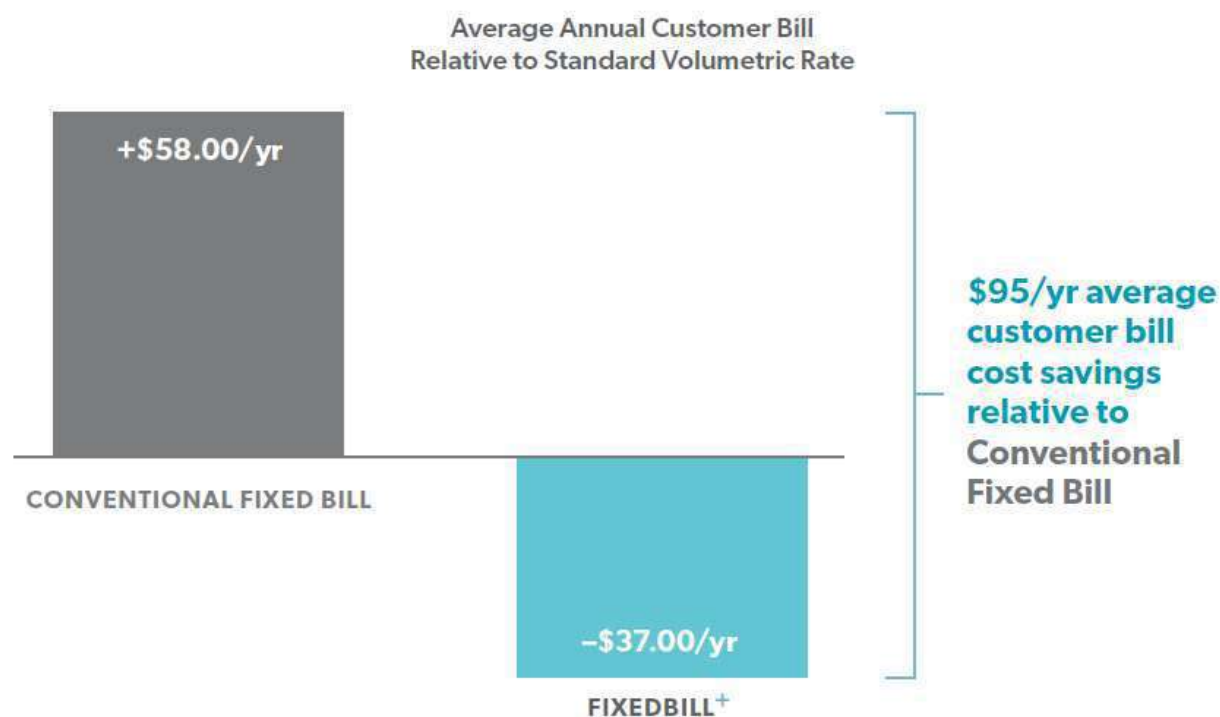
оператора ERCOT находятся 23,9 ГВт ветрогенерации, 2,3 ГВт солнечной генерации и 55,5 ГВт газовой генерации, еще 13,5 ГВт ветровой и 12,7 ГВт солнечной генерации должны быть введены до конца 2022 года [\[54\]](#). Для балансирования такой энергосистемы используется одноставный рынок, на котором торгуется только электроэнергия, а рынка мощности в Техасе вообще нет. При этом на этот рынок электроэнергии допущены накопители, но пока что не допущены агрегаторы управления спросом. Управление гибкостью осуществляется исключительно за счет высокой волатильности цен на электроэнергию и эластичности спроса и предложения.

Впрочем, с точки зрения компаний, занимающихся торговлей гибкостью в Великобритании, таких как Kiwi Power и Pivot Power, наличие нескольких сегментов рынка, где представлены источники гибкости, позволяет диверсифицировать бизнес-стратегию и увеличить выручку за счет практики одновременного участия во многих сегментах, называемой «со-оптимизацией» [\[55\]](#).



Локальное энергетическое сообщество в Великобритании. Источник: ECO2 Solar

Частью экспериментов с конструкцией рынка являются новые типы тарифов для бытовых потребителей, стимулирующие их к участию в локальных рынках и предоставлению доступа к своим источникам гибкости. Например, в британском Парламенте слушается законопроект по локальному энергообмену, который позволяет оплачивать электроэнергию, произведенную и потребленную в рамках одного локального сообщества, не по общим, а по частным для этого сообщества правилам и тарифам.



	Standard Volumetric Rate	Conventional Fixed Bill	FixedBill ⁺
Volumetric charge (\$/kWh)	\$0.11/kWh	0.00/kWh	0.00/kWh
Fixed charge (\$/month)	\$10/mo	\$125/mo	\$117/mo
Average annual customer bill (\$/year)	\$1,440/yr	\$1,498/yr	\$1,403/yr

Сравнение традиционных схем оплаты электроэнергии с FixedBill+. Источник: The The Brattle Group

Другим оригинальным предложением для тарифного меню является идея фиксированного счета «FixedBill+» от американской аналитической компании The Brattle Group. Суть идеи состоит во введении фиксированной ежемесячной абонентской платы, заменяющей платеж за потребленную электроэнергию, и гарантирующей снижение среднемесячных расходов на электроэнергию в обмен на предоставление потребителем удаленного доступа к своим управляемым нагрузкам для их использования в управлении спросом. По оценке The Brattle Group, применение FixedBill+ экономит потребителю примерно \$40 в год в сравнении с оплатой энергии по счетчику и \$95 в год в сравнении с оплатой по обычным фиксированным тарифам [56].

[50] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/uk-power-networks-platform-for-flexibility-services-could-be-groundbreaking>

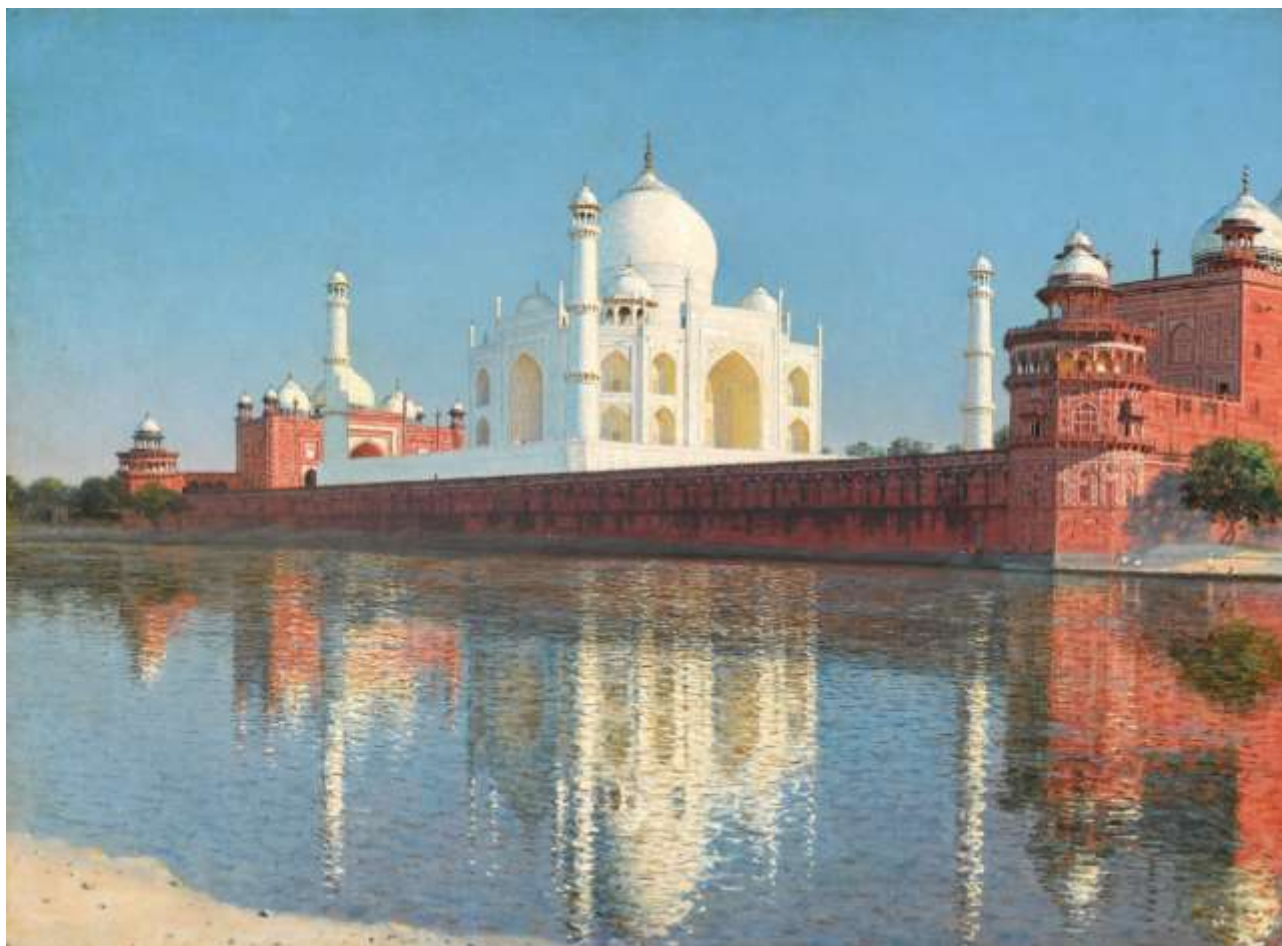
- [51] <https://www.energyassets.co.uk/about-us/news/article/ai-powers-dino-smarter-local-energy-networks/>
- [52] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/bring-your-own-everything-programs-the-future-of-distributed-energy-integration>
- [53] <https://www.current-news.co.uk/news/barriers-for-storage-and-dsrs-removed-from-the-capacity-market>
- [54] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/flexibility-without-a-capacity-market-what-texas-can-teach-the-uk>
- [55] <https://www.current-news.co.uk/news/kiwi-warns-against-ffr-only-approach-as-it-unveils-co-optimisation-offer>
- [56] https://brattlefiles.blob.core.windows.net/files/19251_fixedbill_working_paper_brattle_june_2020.pdf

Энергетические сокровища Агры

Объем инвестиций в обеспечение энергетической гибкости Индии в ближайшие 10 лет составит \$31 млрд

Дата: 3 августа

Автор: Игорь Чаусов



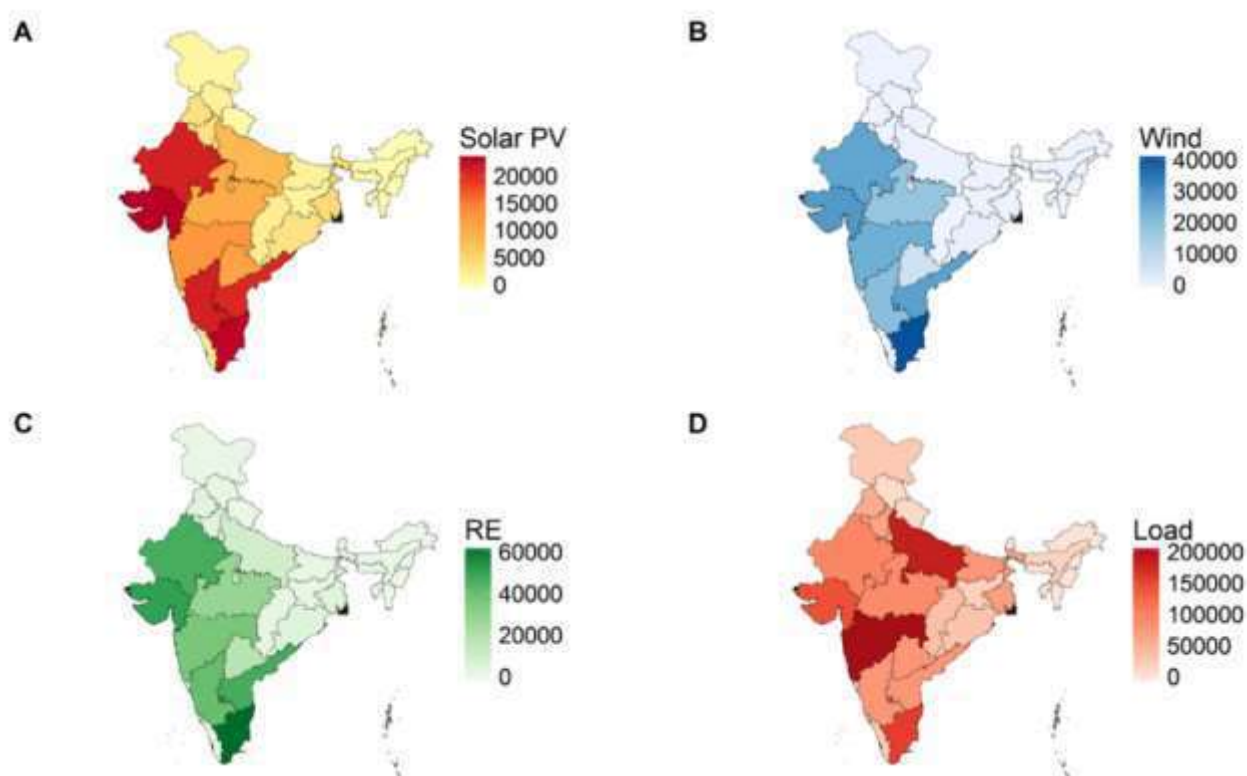
Василий Верещагин «Мавзолей Тадж-Махал в Агре» (1874–1876 гг.)

*Долы, омытые Индом шумящим,
ветром — лесные, дрожащие чаши,
с гималайскою в небо летящей
снежной короной своей...*

Рабиндранат Тагор

За последние несколько лет Индия стала одним из самых привлекательных рынков для новых энергетических решений в мире, и этого не меняет даже пандемия коронавирусной инфекции. Несмотря на действовавший жесткий карантин то, что в стране зафиксировано уже более 1,7 млн случаев заболевания, а число погибших приближается к 40 тыс. [\[1\]](#), глубина экономического кризиса, вызванного пандемией, в Индии оказывается меньшей, чем во многих других странах, в том числе —

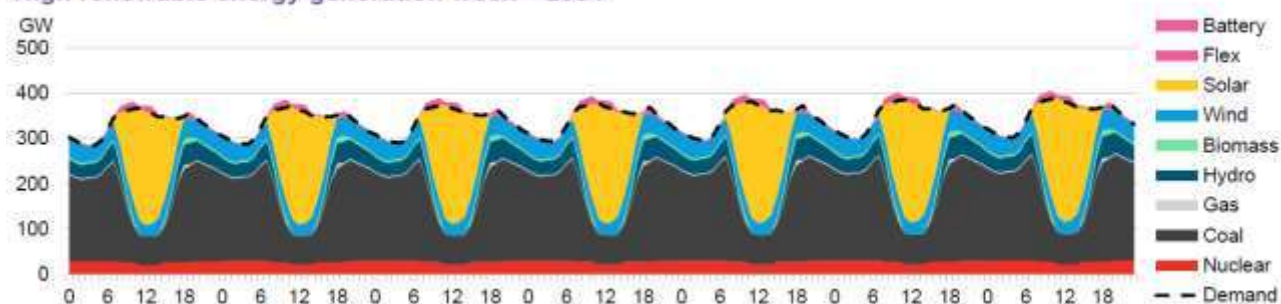
развивающихся экономиках. По оценке Международного валютного фонда (МВФ), темпы роста индийского ВВП замедлились в этом году до 1,9%, что существенно хуже прошлогодних 4,2%, но все равно не означают рецессии [2]. По размеру экономики Индия уверенно держит третье место после Китая и США с ВВП по ППС в размере \$11,3 трлн [3].



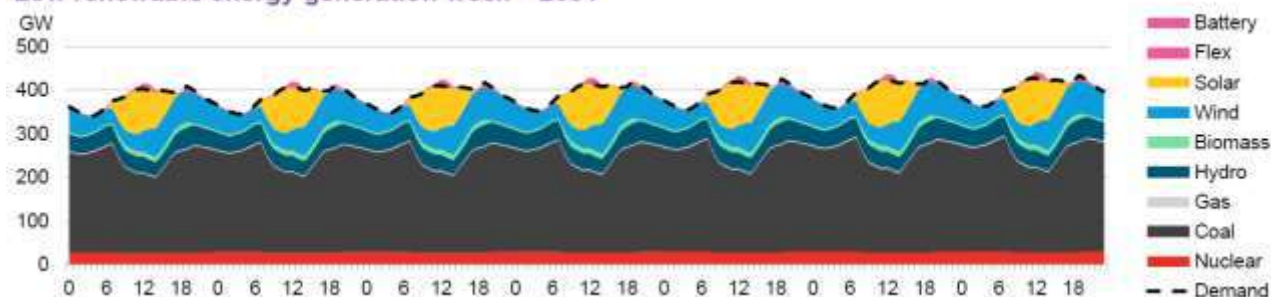
Потенциальная выработка на солнечных (А), ветровых (В), всех возобновляемых (С) мощностях и потребление (D), ГВт·ч. Источник: NREL

Наиболее интересная ситуация складывается с генерацией на базе ВИЭ. Bloomberg New Energy Finance (BNEF) в своем новом докладе даже называют эту ситуацию «Индийской революцией чистой энергетики». Среднегодовой рост мощностей ВИЭ в последние 5 лет держался на уровне 22%, и сегодня в Индии более 86 ГВт возобновляемой генерации. В ближайшие годы темпы ввода новых ВИЭ увеличатся до 27%, и согласно планам правительства Нарендры Моди к 2022 году установленная мощность ВИЭ достигнет 175 ГВт, а к 2030 году — 450 ГВт, что сделает индийскую энергетику одной из самых «зеленых» в мире с долей углеродно-нейтральной электроэнергии до 43%.

High renewable energy generation week – 2034



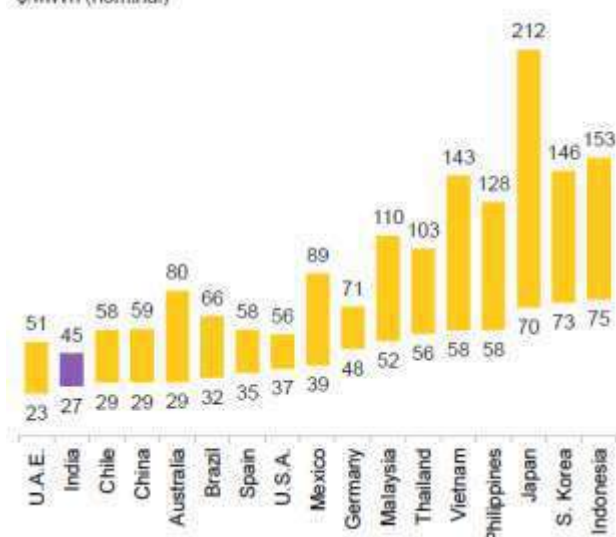
Low renewable energy generation week – 2034



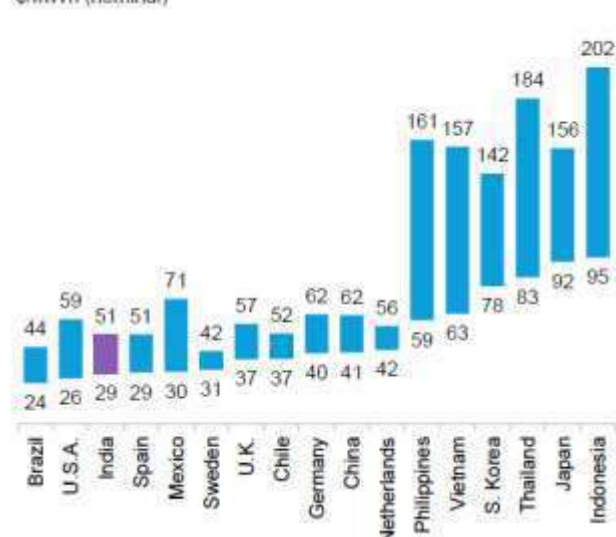
Недельный профиль работы энергосистемы Индии. Источник: BNEF

При этом «зеленая» энергия в Индии за последние несколько лет стала одной из самых дешевых в мире: в 2020 году LCOE солнечной генерации достигло \$27–45 за МВт·ч, ветрогенерации — \$29–51 за МВт·ч, причем цена на аукционах по строительству мощностей ВИЭ упала с 2015 года на 53%, а объем этих аукционов в 2019 году стал самым большим в мире и достиг 89 ГВт (для сравнения — в Китае размер аналогичного рынка — 65 ГВт) [4].

\$/MWh (nominal)

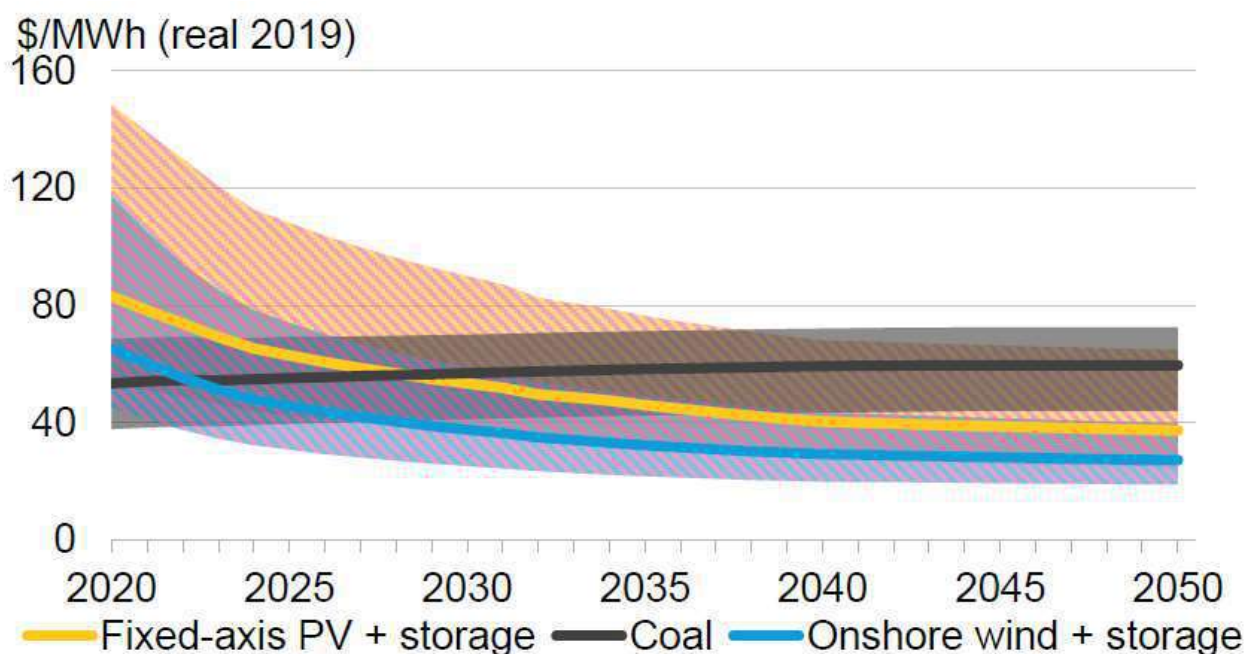


\$/MWh (nominal)



LCOE солнечной (слева) и ветровой (справа) генерации в 2020 году. Источник: BNEF

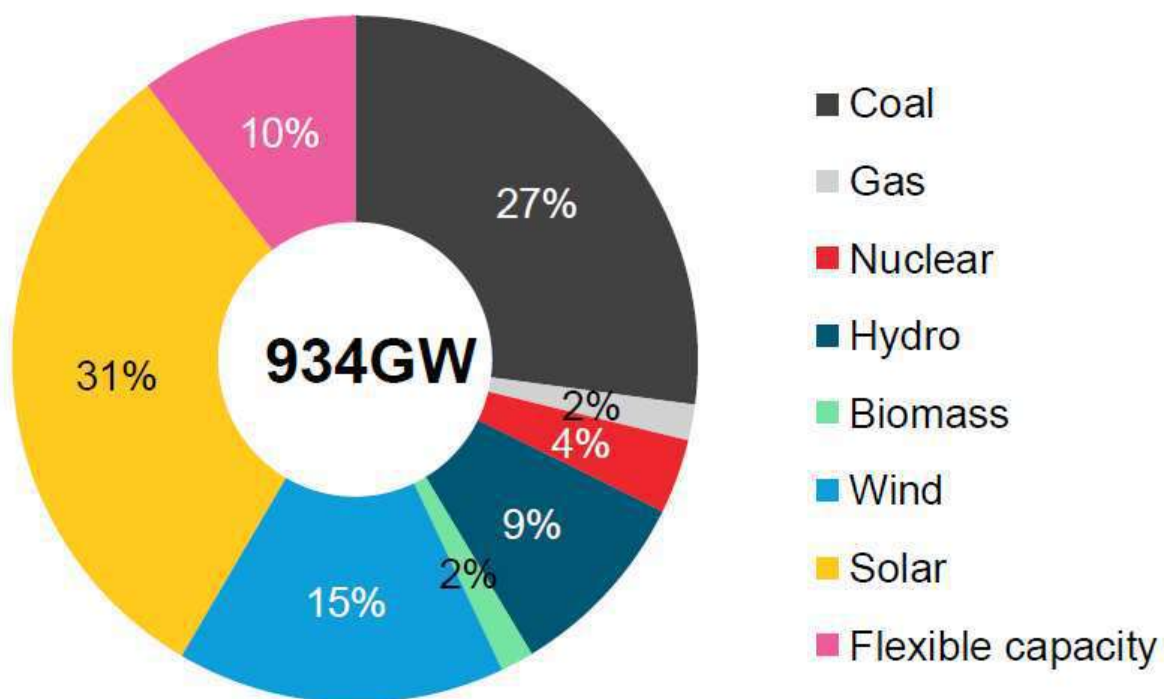
По совокупности факторов, таких как государственная поддержка и инвестиционный климат, в прошлом году BNEF в своем «Климатоскопе» поставил Индию на первое место среди всех стран мира по привлекательности создания там мощностей ВИЭ [5].



Прогноз LCOE «диспетчируемых» ВИЭ (солнце + накопитель; ветер + накопитель) и угольной генерации в Индии. Источник: BNEF

Вследствие бурного роста экономики и уровня жизни, в Индии наблюдается и быстрый рост электропотребления, достигающего 1,1 МВт·ч на человека в год [6]. Тем не менее, по данным Международного энергетического агентства (IEA), это все еще существенно ниже, чем в таких развивающихся экономиках, как Мексика или Китай, так что электропотребление продолжит расти со средним темпом 7% в год [7].

Сочетание растущего потребления и стремительного развития возобновляемой энергетики подстегивает спрос на энергетическую гибкость. В том же докладе BNEF оценивает потребность Индии в энергетической гибкости к 2034 году в 10% от всей установленной мощности, что составляет 93,4 ГВт, причем объем инвестиций в обеспечение энергетической гибкости в ближайшие 10 лет составит \$31 млрд, из которых \$23 млрд придется на «пиковую» газовую генерацию, а \$8 млрд — на управление спросом и системы накопления электроэнергии [4].



Энергетический баланс Индии в 2034 году. Источник: BNEF

Подробный анализ растущего запроса энергетики Индии на гибкость в случае ввода 274–390 ГВт ВИЭ к 2030 году был проведен Комиссией по энергетическому переходу (ETC) индийского Института энергетики и ресурсов (TERI) и американской Национальной лабораторией возобновляемой энергии (NREL) в рамках совместной Инициативы по климатической политике (CPI) [8].

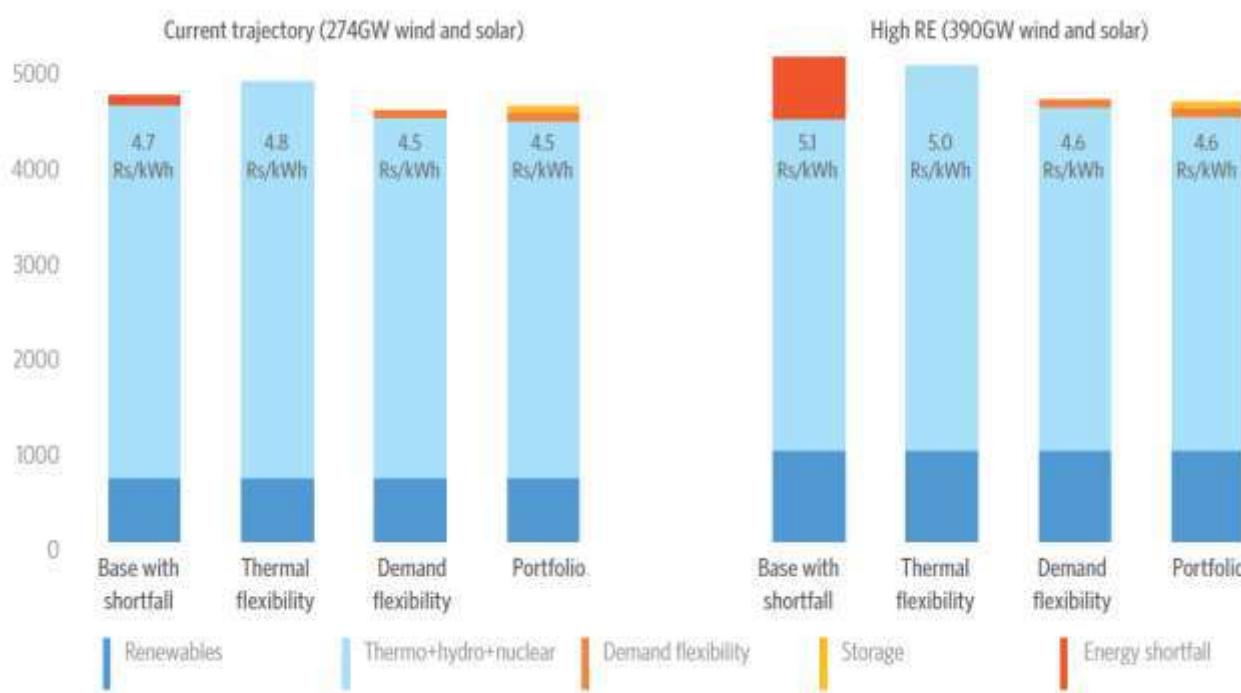


Увеличение потребности в энергетической гибкости (в x раз) в Индии к 2030 году по сравнению с 2018 годом. Источник: TERI, NREL

По результатам этого анализа были выделены четыре показателя спроса на гибкость:

- Первичный, вторичный и третичный резервы для регулирования, потребность в которых в целом составит 35–43 ГВт;
- Скорость набора или сброса мощности («ramp»), потребность в которой вырастет до 765–1050 МВт/мин;
- Сезонная разница потребности в электроэнергии (между летними и зимними месяцами), которая увеличится до 5,7–7,1 ТВт·ч в месяц;
- Суточная разница потребности в мощности (между дневным пиком и ночным провалом выработки на ВИЭ), которая достигнет 70–100 ГВт, и которая включает резервы для регулирования.

Важный вывод этого исследования состоит в том, что обеспечение гибкости за счет сочетания различных типов источников — генерации, накопителей, управления потреблением — эффективнее использования одной только маневренной тепловой генерации: стоимость электроэнергии снижается на 8%.



Стоимость электроэнергии в энергосистеме Индии в 2030 году (индийских рупий за кВт·ч).

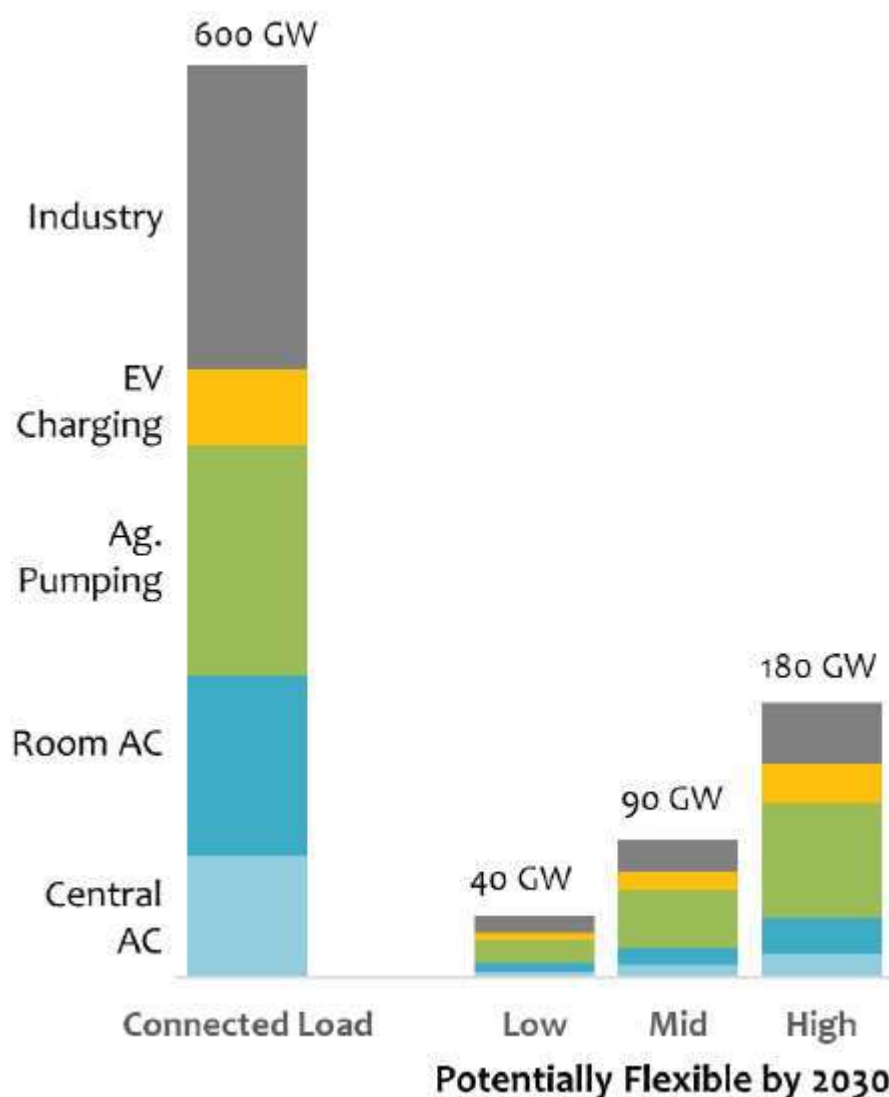
Источник: TERI, NREL

В исследовании выделены следующие источники энергетической гибкости, не связанных с генерацией:

- Охлаждение и кондиционирование помещений;

- Насосы и системы мелиорации в сельском хозяйстве;
- Промышленные нагрузки;
- Электромобили и зарядные станции;
- Системы накопления электроэнергии;
- Системы накопления тепла и холода;
- Передача электроэнергии по сетям.

По оценке TERI и NREL, первые четыре источника из этого списка к 2030 году могут обеспечить 40–180 ГВт энергетической гибкости. Распределение этой гибкости, как и потребности в ней, географически неоднородна, поэтому часть штатов, такие как Карнатака или Тамилнад, можно назвать «импортерами гибкости», а такие как Уттар-Прадеш — «экспортерами гибкости». Некоторые штаты, такие как Бихар, способны обеспечить себя энергетической гибкостью сами.



Потребляемая мощность и ресурс гибкости в Индии по типам нагрузок. Источник: TERI, NREL

В выпущенном в этом году докладе по Индии IEA отмечает важность начатой в 2018 году реформы электроэнергетического рынка и рекомендует индийскому правительству активно внедрять на рынке механизмы управления спросом, в частности, зависящие от времени суток тарифы для промышленности и населения [7].

[1] <https://coronavirus.jhu.edu/region/india>

[2] https://www.imf.org/external/datamapper/NGDP_RPCH@WEO/OEMDC/IND

[3] <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2020/01/weodata/weorept.aspx>

[4] https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/2020-06-26-Indias-Clean-Power-Revolution_Final.pdf

[5] <http://global-climatescope.org/assets/data/reports/climatescope-2019-report-en.pdf>

[6] <https://www.iea.org/countries/india>

[7] https://webstore.iea.org/download/direct/2933?fileName=India_2020-Policy_Energy_Review.pdf

[8] <https://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2019/02/CPI-India-Flexibility-February-2019.pdf>

ВОДОРОД

Новые рынки для водорода — в городах будущего

Летающие такси, города будущего и безуглеродное производство стали для их строительства могут оказаться новыми крупными рынками для «зеленого» водорода

Дата: 28 января

Автор: Игорь Чаусов

Как будто отвечая на вопрос, заданный в [нашей заметке](#), старший вице-президент по развитию бизнеса Siemens Middle East назвал водород новой нефтью Ближнего Востока [1]. В партнерстве с Управлением по электроэнергетике и водоснабжению Дубая (DEWA) Siemens строит в настоящее время первый в регионе комплекс по производству водорода на основе электроэнергии, полученной на солнечной электростанции [Мухаммеда бин Рашида аль Мактума](#). PEM-электролизеры будут производить 230 кг «зеленого» водорода в день, часть которого будет использоваться для хранения энергии солнца и в вечерние часы вырабатывать электроэнергию, а часть — поступать на заправочные станции на площадке EXPO-2020 в Дубае, которая стартует 20 октября этого года. Всемирная выставка со времени ее основания была попыткой взгляда в светлое технологическое будущее, и в Дубае она в значительной степени должна продемонстрировать взгляд на будущее городов. Водород в городе будущего занимает важное место, и в ряде проектов рассматривается как связующая все энергоемкие сферы городского хозяйства основа энергетики и транспорта.

Одной из самых необычных сфер применения водорода в городах будущего может стать летающий транспорт, например, воздушные такси. Образец такой летающей машины-коптера на пять пассажиров показал в середине прошлого года американский стартап Alaka'i: шести-лопастной коптер Slai питается жидким водородом и использует топливные элементы, чтобы обеспечить энергией электродвигатели, вращающие винты [2]. Компания обещает, что на одной заправке, длящейся 10 минут, коптер с пассажирами сможет пролететь до 400 км со скоростью 190 км/ч. Хорошо известно, что водородные топливные элементы эффективнее электрохимических аккумуляторов на тяжелых дронах-коптерах. Этот же вывод, вероятно, окажется справедливым и для пассажирских коптеров-такси. И водород в этой области, при условии снижения стоимости топливных элементов, может оказаться ключевой технологией, позволяющей осуществить рыночный прорыв летающих автомобилей.



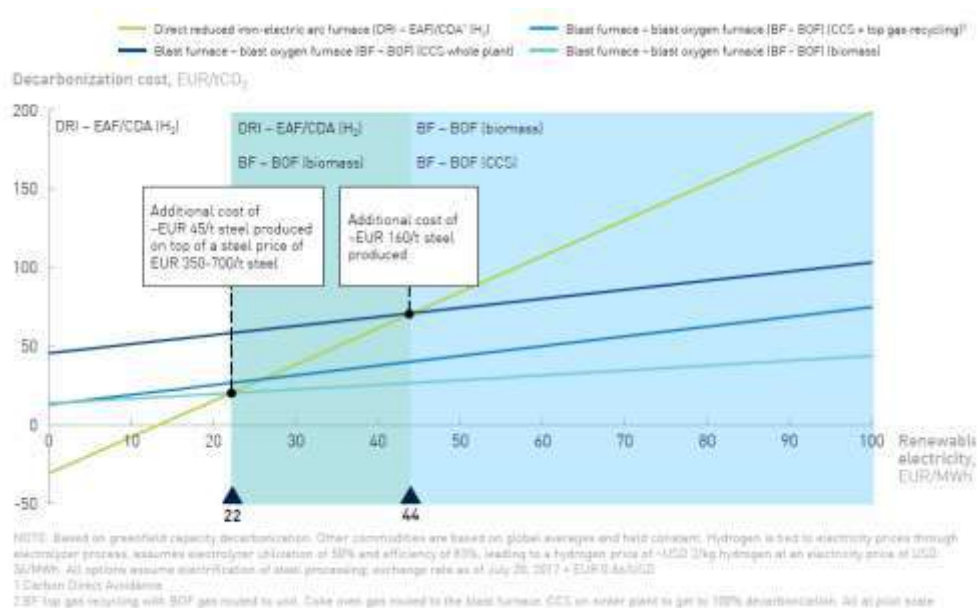
Водородное летающее такси Skai. Источник: Alaka'i

Существенно более крупный проект настоящего, а не выставочного города будущего, Woven City Toyota создает в Японии [3]. На территории 70 гектаров в месте размещения закрывающихся автомобильных заводов у подножия горы Фуджи в начале 2021 года появится полноценный город будущего — «живая лаборатория» новых городских технологий и практик с 2000 жителей, которыми станут сами разработчики новых технологических решений и их семьи. Водороду в рамках проекта отведена центральная роль во всем энергоснабжении: накопление солнечной энергии, электро- и теплоснабжение домов, обеспечение водородных автомобилей и автобусов топливом. Город, в котором архитектура «умных» домов будет выполнена с применением натуральных или «зеленых» материалов — дерева, стекла, «безуглеродной» стали, — окажется насыщен роботами, автономным транспортом, решениями по персональной мобильности, центрами быстрого прототипирования и огромным числом систем управления с искусственным интеллектом [4].



Концепт города Woven City. Источник: Toyota

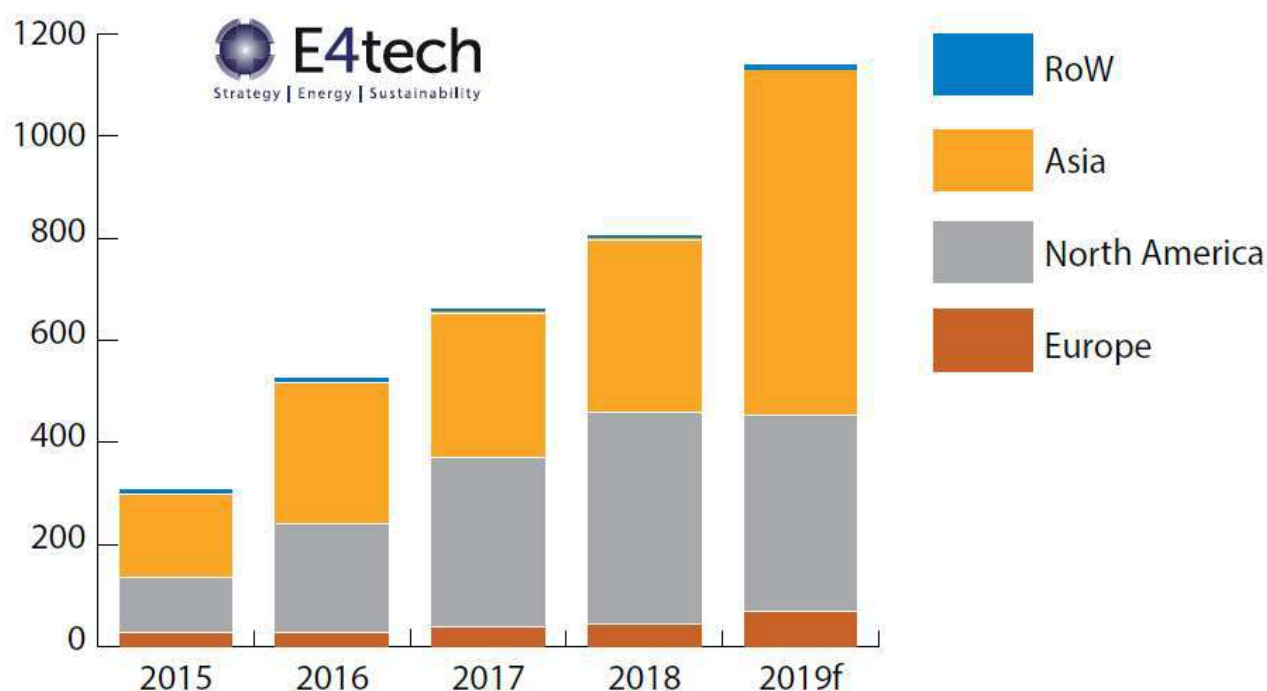
«Зеленое», или декарбонизированное производство стали, которая останется основным конструкционным материалов еще долгое время, — еще один крупный рынок использования водорода. И этот рынок, возможно, стартует первым из всех сфер применения водорода и сыграет для всей водородной энергетики роль главного драйвера так ожидаемого взрывного масштабирования. По оценкам крупнейшего европейского консорциума в сфере водородной энергетики FCH JU, декарбонизация производства стали за счет замены природного газа на «зеленый» водород становится конкурентоспособной при плате за эмиссию CO₂ от €45 до €160 на тонну стали и цене на электроэнергию от ВИЭ, питающую электролизеры, от €22 до €44 за МВт·ч [5].



Сравнение стоимости декарбонизации производства стали различными методами, включая применение водорода (желтая линия). Источник: FCH JU

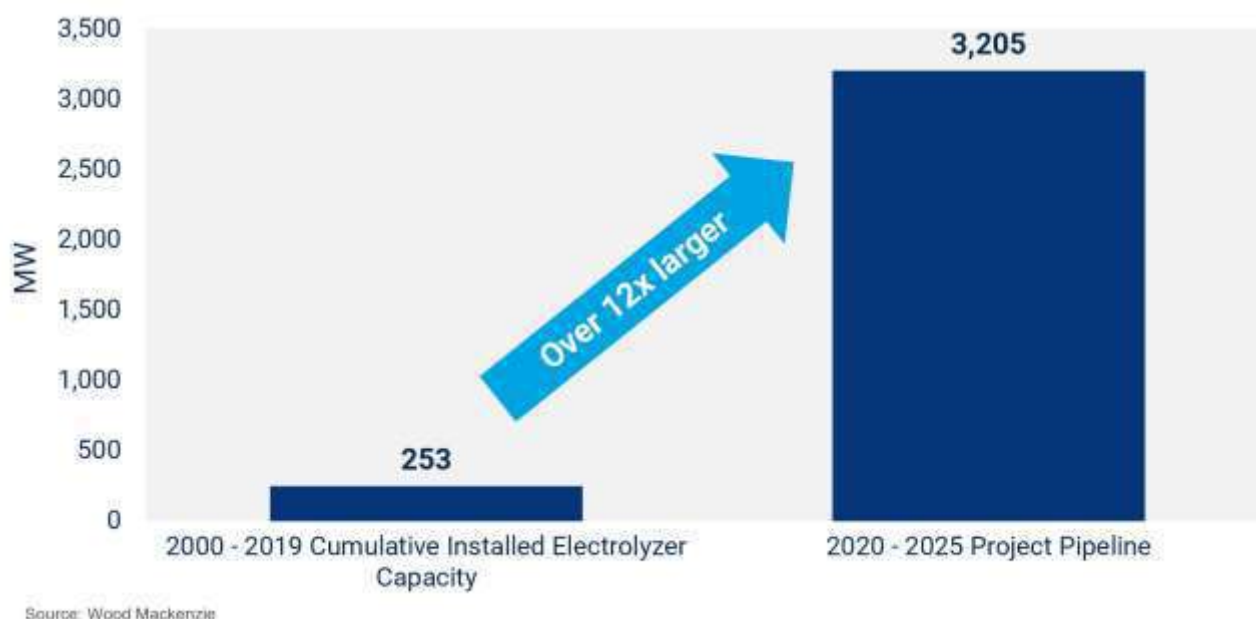
На фоне таких ожиданий немецкая компания Avaston AG в городе Зальцгиттер запустила проект по производству стали с использованием водорода, производимого на электролизерах Siemens мощностью 2,2 МВт, которые питаются от ветроэнергетических установок общей мощностью 30 МВт [6].

В целом же по рынку водородной энергетики, включающему как само топливо, так и водородные технологии, наблюдается существенный рост, который, как ожидается, ускорится. Обзор рынка водородных топливных элементов за 2019 год от E4Tech указывает, что их продажи выросли за год на 40% до 1,1 ГВт установленной мощности [7].



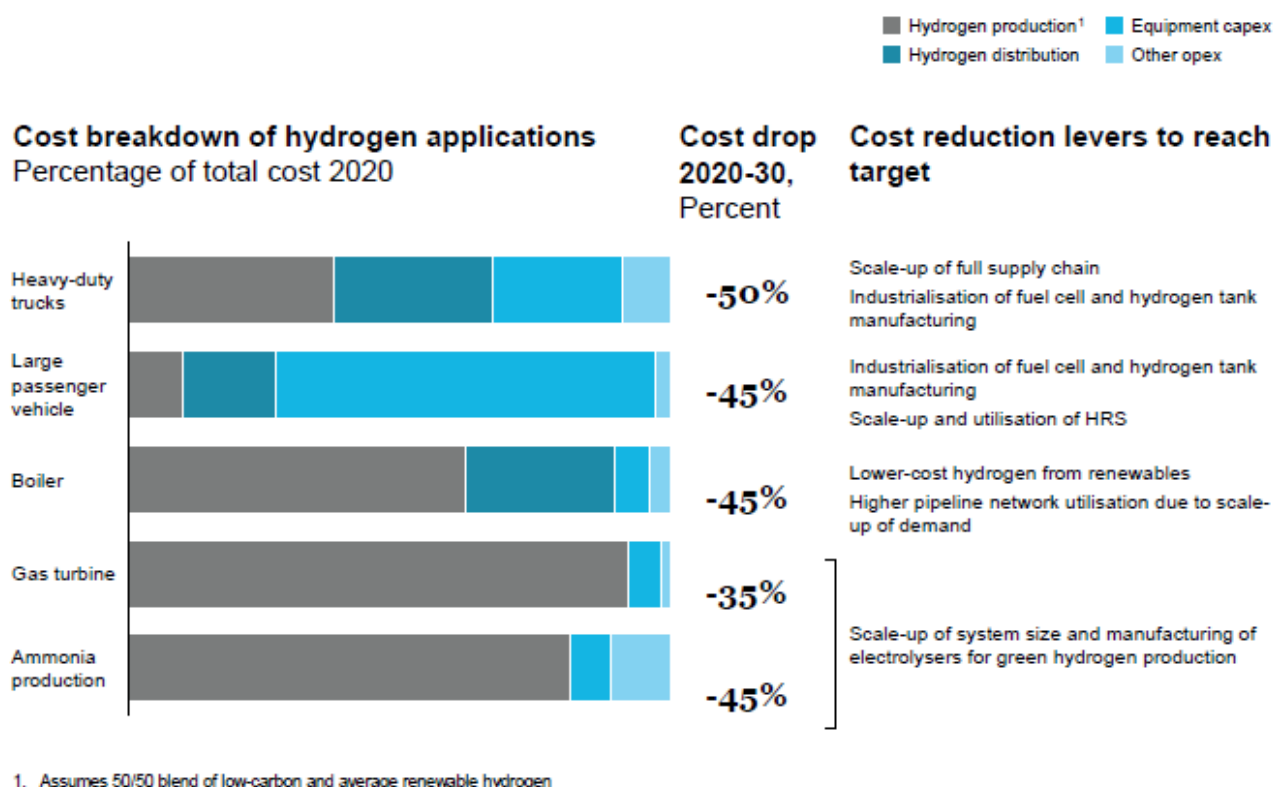
Ввод мощностей по производству водорода электролизом (МВт) по регионам. RoW — остальной мир. Источник: E4Tech

В сфере производства «зеленого» водорода, согласно докладу Wood Mackenzie, в ближайшие пять лет ожидается ввод в строй 3,2 ГВт электролизных мощностей — в 12 раз больше, чем было введено с начала века [8].



Прогноз установленной мощности (МВт) электролизеров для производства водорода.
Источник: Wood Mackenzie

Такое серьезное масштабирование водородной отрасли, по оценкам Hydrogen Council, приведенным в их новом докладе, станет мощным драйвером снижения стоимости водорода для конечных потребителей: ожидается, что она упадет в зависимости от сферы применения на 35–50% за ближайшие 10 лет [9].



Прогноз по снижению стоимости водорода для конечных потребителей по сферам применения. Источник: Hydrogen Council

В условиях таких повышенных ожиданий от размера и темпов роста рынка и грандиозных планов по применению водорода в самых необычных сферах энергетики и за ее пределами России нужно поторапливаться с реализацией своих водородных инициатив, чтобы, с одной стороны, не опоздать к разделу этого пирога, и, с другой стороны, не упустить возможность использовать водородные возможности в развитии собственных городов и промышленности.

[1] <https://www.arabianbusiness.com/energy/438001-green-hydrogen-to-be-the-new-oil-in-the-next-20-years-says-siemens-middle-east-chief-manuel-kuehn>

[2] <https://www.wired.com/story/alakai-flying-car-air-taxi-evtol-hydrogen/>

[3] <https://www.forbes.com/sites/sebastianblanco/2020/01/06/ces-2020-toyota-woven-city-will-weave-together-ai-hydrogen-power-and-the-future/#7cf234dddeb2>

[4] <https://www.woven-city.global>

[5] https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf

[6] <https://www.power-eng.com/2019/11/18/siemens-building-electrolysis/#gref>

[7] <http://www.fuelcellindustryreview.com>

[8] https://www.woodmac.com/news/editorial/the-future-for-green-hydrogen/?utm_source=gtm&utm_medium=article&utm_campaign=wmpr_energytransition20

[9] <https://hydrogencouncil.com/en/cost-reduction-study-announcement/>

Новые вводные для российской водородной стратегии

Аппетиты стран-импортеров водорода в 2050 году составят 25 млн тонн в год

Дата: 10 февраля

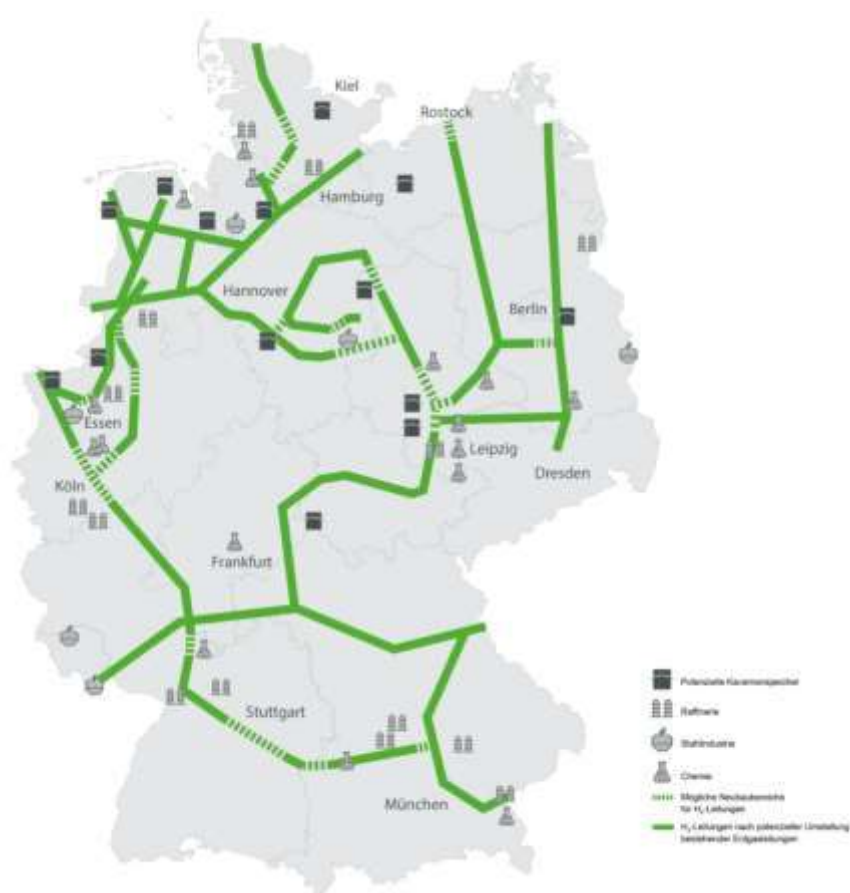
Автор: Игорь Чаусов

25 млн тонн в год—именно такой объем импортных поставок водорода для декарбонизации транспорта, промышленности, электроэнергетики и ЖКХ может понадобиться на горизонте 2040–2050 годов шести странам: Японии, Германии, Южной Корее, Нидерландам, Малайзии и Сингапуру. Эти страны объединяет то, что все они, с одной стороны, претендуют на роль лидеров в развитии водородной энергетики, с другой стороны, не имеют собственной ресурсной базы, чтобы удовлетворить свои потребности в водородном топливе. С учетом того, что импорт будет закрывать лишь часть растущей потребностей водородных экономик стран-лидеров, такая оценка означает, что общий объем рынка энергетического водорода превысит к 2040 году 34,8 млн тонн в год, указанные в нашем [докладе](#) в «умеренном» сценарии и приблизится к 82,2 млн тонн в год в рамках «оптимистичного» сценария.



Европейская газовая инфраструктура готовится принимать и транспортировать импортный водород

В Европе локомотивами развития водородной энергетики сегодня становятся инфраструктурные энергетические компании: оператор газовых сетей Gasunie и оператор магистральных электрических сетей Tennet [\[1\]](#). Совсем недавно они совместно с Немецким институтом топлива (DBI GUT), Юлихским исследовательским центром и Рейнско-Вестфальским техническим университетом Аахена (IAEW) выпустили доклад, посвященный долгосрочному будущему энергетической инфраструктуры Германии и Нидерландов [\[2\]](#). В этом докладе потребность в импорте водорода оценивается на уровне 10,3 млн тонн в год к 2050 году в наиболее реалистичном из рассматриваемых сценариев, при котором потребление газа в Европе падает, а доля ВИЭ в электроэнергетике и электрификация транспорта и промышленности существенно растут. В рамках более радикального сценария, при котором декарбонизация экономики Германии и Нидерландов достигается без существенного роста доли ВИЭ, потребность в импортном водороде оказывается намного больше и доходит до 51,4 млн тонн в год. На фоне таких прогнозов Германия готовится переводить до 90% своих газовых сетей на перекачку смеси метана с водородом и разрабатывает Национальную водородную стратегию [\[3\]](#).



Один из вариантов карты газовой инфраструктуры для транспортировки водорода в Германии.
Источник: FNB Gas

Оценку потребности в импорте водорода в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) позволяет сделать доклад Института экономических исследований АСЕАН и Восточной Азии (ERIA), подготовленный для Рабочей группы G20 по энергетическому переходу (ETWG) [4]. Лидером по потребности в импортном водороде — до 7,8 млн тонн в год — оказывается Япония, что неудивительно ввиду национальных планов этой страны по построению «водородного общества». Вторым по значимости рынком (до 5,2 млн тонн в год), к которому необходимо присматриваться странам-экспортерам, названа Южная Корея.

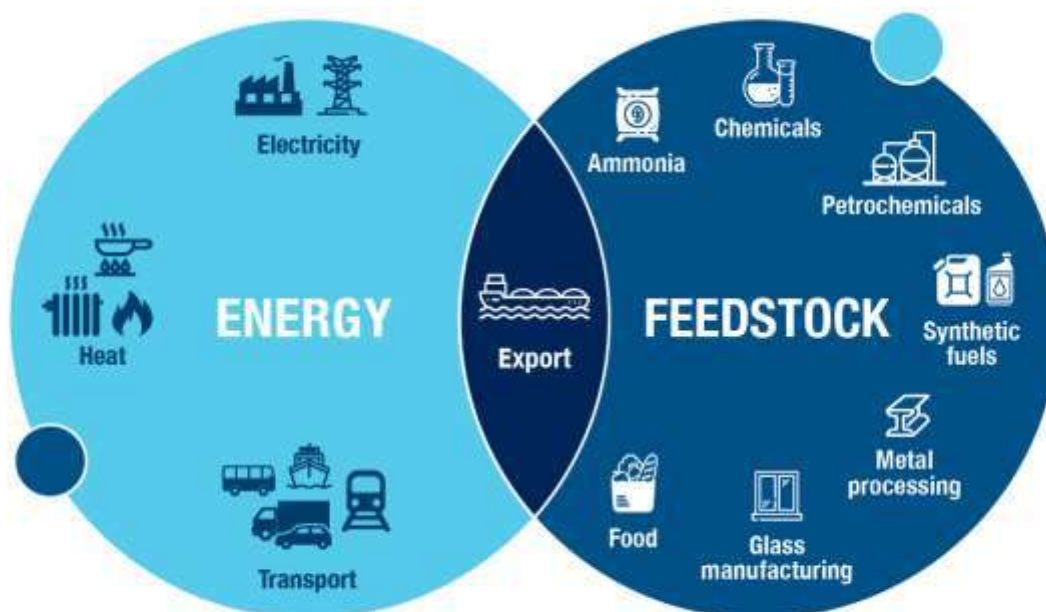


Прогнозируемый импорт водородного топлива в 2040–2050 годах, млн тонн в год. Источник: IC ENERGYNET на основе данных TenneT, Gasunie (желтые столбцы, данные по 2050 г.) и ERIA (синие столбцы, данные по 2040 г.)

Приведенная в этом докладе оценка стоимости производства водорода в странах-экспортерах в АТР (Австралия, Индонезия, Новая Зеландия, Бруней, Лаос) указывает на то, что цена водорода к 2040–2050 годам без учета транспортировки составит \$1,8 до \$2,4 за кг «зеленого» водорода при цене морской транспортировки от \$0,46 до \$0,54 за тонну-километр в зависимости от выбранной технологии. Ожидается, что наиболее дешевой окажется технология жидких органических носителей, сжиженный водород будет сопоставим по транспортным затратам, а перевозка в виде аммиака будет наиболее дорогим способом. Исходя из этих данных, с учетом перевозки на расстояние в 4000 км килограмм импортного водорода будет стоить от \$3,5 до \$4,5. Цены на импортный водород в Германии, по оценке Юлихского исследовательского центра, будут достигать \$3,9 за кг [5].

Несмотря на скромный объем прогнозируемого спроса на импортный водород—до 400 тыс. тонн в год—для России особое место среди стран-импортеров может занять Сингапур. В нашем [докладе](#) мы уже писали, что Сингапур может стать для России точкой выхода на азиатский рынок энергетических технологий. Есть основания предполагать, что Сингапур окажется не менее перспективной, чем Япония, точкой выхода России на глобальный рынок водорода. Компании KBR и Argus Media ведут

консультации с Инфраструктурным центром «Энерджинет» по включению России в число наиболее подходящих стран-экспортеров в рамках доклада, который разрабатывается по заказу Стратегической группы при кабинете Премьер-министра Сингапура, Администрации энергетического рынка (ЕМА), Национального секретариата по изменению климата (NCCS) и Коллегии по экономическому развитию (EDB) Сингапура [6].



Роль водорода в энергетике, на транспорте, в промышленности и ЖКХ. Источник: CSIRO

Необходимо заметить, что в разработанной год назад для Правительства Австралии силами Организации Британского содружества по научным и промышленным исследованиям (CSIRO) Национальной водородной дорожной карте оценка мирового объема импорта водорода существенно скромнее — 3,8 млн тонн в год к 2030 году [7]. Так что можно сказать, аппетиты стран-импортеров в прогнозных оценках за прошедший год только выросли, подогревая ожидания от появления глобального рынка водорода.

Автор благодарит информационный ресурс RenEn и лично Владимира Сидоровича за публикацию полезных и актуальных материалов по теме водородной энергетики в Германии.

[1] <https://renen.ru/the-eu-will-direct-up-to-800-twh-of-electricity-to-produce-hydrogen-by-2050/>

[2] <https://www.tennet.eu/news/detail/gasunie-and-tennet-climate-goals-can-only-be-achieved-with-an-integrated-european-energy-system/>

[3] <https://renen.ru/germany-s-hydrogen-strategy-preliminary-concept/>

[4] <https://www.eria.org/publications/demand-and-supply-potential-of-hydrogen-energy-in-east-asia/>

[5] https://www.fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/News/TransformationStrategies2050/_node.html

[6] <https://www.kbr.com/en/insights-events/press-release/singapore-selects-kbr-and-argus-major-hydrogen-feasibility-study>

[7] <https://www.csiro.au/en/Do-business/Futures/Reports/Hydrogen-Roadmap>

Белки, соболя и водородные проекты

О республике, царстве и стратегии развития водородной энергетики

Дата: 12 февраля

Автор: Дмитрий Тимофеев

Известный культуролог Александр Эткинд в своей новой книге «Природа зла. Сырье и государство» сделал интересный анализ взаимосвязи природных ресурсов и доминирующего политического строя [\[1\]](#). Как известно, в Северной Европе меха были символом богатства и власти. Предметом внешней торговли Новгорода была серая белка, поскольку в лесах Евразии ее ареал обитания практически совпадает с ареалом человека, а ее сухие, легкие и недоступные гнили шкурки были идеальным товаром. В течение трех веков беличий мех устойчиво лидировал в новгородском экспорте, хотя другие меха ценились выше, но по объемам не составляли конкуренцию белке. Новгородский экспорт оценивают в полмиллиона беличьих шкурок в год, в 1391 году один только Лондон импортировал 351 тыс. шкурок.

Белки как распределенный общинный ресурс, добываемый для массового потребления, являлись залогом общего богатства и относительного равенства новгородцев. Это ярко выражалось в городской инфраструктуре — Великий мост через реку Волхов строился всем миром, каждый устоя моста ремонтировался конкретной новгородской сотней и таким образом объединял всех горожан [\[2\]](#). Пока Новгород торговал белкой, в нем сохранялось благополучие, независимость от князя и подобие демократии. Оккупация Новгорода московскими войсками в 1478 году происходила на фоне сырьевой катастрофы — падение цен и уменьшения экспорта меха.



Новгородское вече. Художник К. В. Лебедев

На смену новгородской белке пришел московский соболь. Предмет роскоши, он не конкурировал с шерстью и имел устойчивый спрос в Европе. Московские купцы создавали пушной промысел в несколько этапов. Во-первых, казаки отнимали уже выделанные меха у туземцев. Во-вторых, новгородцы накладывали на туземцев дань (ясак) в виде определенного количества шкур в год. В-третьих, служивые люди создавали в городах и на дорогах таможенные посты, которые снимали пошлину (десятую часть) с перевозок меха. Массовое насилие рутинно применялось в отношении животных и людей, меха обменивались на железные изделия, алкоголь и табак, к которым быстро привыкали северяне. Ресурсная зависимость Московского государства стремительно росла: в 1557 году каждый мужчина в Югре должен был сдать одну соболиную шкуру в год, в 1609 году — уже семь. А в 1560–1570 гг. объемы пушной торговли резко упали, что совпало со Смутным временем. В ответ царь монополизировал экспортную торговлю любым мехом и внутреннюю торговлю соболями.

Почему история торговли соболями и белками в XIV-XVI вв. важна для Дорожной карты водородной энергетики Российской Федерации? Ответ дает социология вещей, которая анализирует не взаимодействия людей, но описывает роль вещей в социальных взаимодействиях [3]. Согласно классической традиции республика (*res publica*) — это нечто большее, чем форма правления; это определенное состояние народа, поддерживаемое постоянным участием граждан в решении общезначимых вопросов [4].

Ученые из Европейского университета в Санкт-Петербурге сравнили два типа сетей вещных элементов (дом и город) и сделали вывод о том, что демократию в России сложно построить из-за недостатка средств на децентрализацию, заложенных в землю еще в советское время труб и железок, а также отсутствия инфраструктуры гражданской коммуникации. Например, собственникам квартир в многоэтажке невозможно эффективно взаимодействовать в рамках ТСЖ (мини-аналог новгородского вече), поскольку централизованная разводка тепла, водоснабжения и канализации, открытый доступ к благоустроенной придомовой территории и автостоянкам затрудняет исключение недобросовестных граждан, «бесплатно» пользующихся общими ресурсами. В настоящее время слаба инфраструктура гражданской коммуникации — ограничены реальные возможности участия индивидов и структур гражданского общества в обсуждении и принятии решений о развитии объектов жизнеобеспечения. Концепцию свободы в современной России желательно переосмыслить с точки зрения затрат на ее производство и доставку [5].



Великий государь, царь и самодержец всея Руси. Художник С.В. Иванов

Сегодня в проекте Дорожной карты по развитию водородной энергетики архетипически проявляется противостояние Новгородской республики и Московского царства. С одной стороны, рассматриваются масштабные проекты экспорта водорода в Европу и Азию, реализуемые на базе активов крупнейших компаний, с другой стороны, россыпь проектов и инициатив по применению водородных технологий на внутреннем рынке, за которые ратуют малые и средние инновационные компании. Экспортные проекты нацелены на быстрое вхождение в глобальный рынок и базируются на импортных водородных технологиях, а малые и средние проекты ориентированы на постепенное развитие отечественных технологий и постепенное формирование российского водородного рынка через региональные пилотные проекты. Единственное, в чем сходятся обе группы проектов, — это в запросах на государственную поддержку и финансирование.

В качестве одного из «московских» проектов можно привести инициативу АО «Газпром» по строительству мощностей по конверсии природного газа в водород с применением адиабатической или плазменной конверсии [6]. Газпром планирует предложить в 2050 году водород по цене €1,14 за кг, поскольку энергоёмкость адиабатической конверсии метана в 5 раз ниже, чем у европейских технологий power-to-gas [7]. Также Газпром планирует использовать существующую газотранспортную инфраструктуру для транспортировки водорода в странах ЕС (доля водорода в газовой

смеси — 25–30%), что позволит снизить затраты на глубокую декарбонизацию экономики Европы при достижении снижения эмиссии парниковых газов на 49%. Объем инвестиций Газпрома в новые водородные заводы мощностью 15–20 млн тонн в год можно оценить на уровне 1,2–1,5 трлн рублей, также необходимы дополнительные капитальные вложения (не менее 1 трлн рублей) в систему очистки водорода от примесей до уровня стандартного качества, переделку турбин для компрессорных станций, обновление контрольной аппаратуры, установку водородных компрессоров для блендирования, устройство хранилищ водорода.

К группе «новгородских» инициатив относится проект строительства круглогодичной арктической станции «Снежинка», которая не потребляет углеводороды и не загрязняет окружающую среду [8]. Сроки реализации проекта — 2020–2022 гг., а общая его стоимость оценивается в €10–12 млн. Главная особенность «Снежинки» в том, что это — станция замкнутого цикла, которая работает в режиме «нулевого выброса», то есть не производит никаких отходов генераторов и выхлопов в атмосферу. На территории станции будут установлены ветряки, солнечные панели и три жилых купола. Водород на «Снежинке» будет производиться электролизом и использоваться, главным образом, в холодное время года. С апреля по сентябрь станция сможет работать преимущественно на энергии ветра и солнца. Важно, что такой «зеленой» энергией станция будет обеспечивать не только себя, но и питать небольшой поселок, где проживает несколько десятков ненецких семей. Интеграция водородной энергетики в жизненный уклад местного населения критически важна и является основным отличием проектов локальной энергетики [9].

В Европе во многом сделана ставка на децентрализованные проекты по производству «зеленого» водорода, позволяющие укрепить на базе локального самообеспечения энергией общеевропейскую энергетическую безопасность (мета-проект «Электролизеры»). А новая имперская «эра Рейва», дарующая японскому народу порядок, гармонию и процветание, основана на глобальных водородных цепочках поставок, интегрирующих Японию со странами Запада и Востока (мета-проект «Инфраструктура дальней транспортировки H₂»). Чем станет водородная энергетика России в XXI веке — инфраструктурой свободы или базисом нового Левиафана — зависит от сопряжения больших и малых проектов в рамках Дорожной карты, а также ответственности, взятой на себя малыми компаниями и крупными корпорациями. Критически важно определить российский мета-проект, на базе которого можно достичь синергии между крупными экспортными проектами и инициативами по развитию отечественной водородной экономики.

[1] Эткинд А. Природа зла. Сырье и государство. — М.: Новое литературное обозрение, 2019. — 504 с.

[2] Новгород как respublica: мост к величию <https://magazines.gorky.media/nz/2003/4/novgorod-kak-res-publica-most-k-velichiyu.html>

[3] Хархордин, О. Инфраструктура свободы: общие вещи и respublica: коллективная монография / О. Хархордин, Р. Алапуро, О. Бычкова. — СПб.: Издательство Европейского университета в Санкт-Петербурге, 2013. — 352 с.

[4] Олег Хархордин: Сколько стоит свобода https://promo.vedomosti.ru/opinion/articles/2013/06/10/gorod_kak_res_publica

[5] Свобода дорогой товар <https://novayagazeta.ru/articles/2013/05/31/54940-svoboda-151-dorogoy-tovar>

[6] Russia Looks to Hydrogen as Way to Make Gas Greener for Europe, 8 ноября 2018 г. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-11-08/russia-looks-to-hydrogen-as-way-to-make-gas-greener-for-europe>

[7] Вклад газовой отрасли в формирование энергетической модели на основе водорода / А. Г. Ишков, О. Е. Аксютин, К. В. Романов и др. // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». — 2017. — С. 12–20.

[8] Лед тронулся <https://www.kommersant.ru/doc/4225728>

[9] Водородный переход в локальной энергетике: зарубежный опыт и российские перспективы <https://energypolicy.ru/?p=2766>

Британские водородные «крейсера»

Демонстрационные пилотные проекты, отобранные Великобританией на второй фазе Конкурса по поставкам водорода

Дата: 20 февраля

Автор: Игорь Чаусов

Даже перестав быть глобальной империей, Великобритания отнюдь не утратила статуса мощной морской державы, более того, за последние десятилетия она прибавила к своему морскому могуществу энергетическую составляющую, став одним из мировых лидеров в области оффшорной ветроэнергетики.



Сегодня настало время спускать на воду новые энергетические «крейсера», которые позволят Соединенному Королевству завоевать лидерство в торговле на новом — водородном — рынке и сформировать промышленный потенциал Великобритании по производству и поставке «голубого» и «зеленого» водорода. Этими «крейсерами» станут пять демонстрационных проектов, отобранных на второй фазе [Конкурса по поставкам водорода](#) с общим государственным финансированием в размере £90 млн, проведенного Департаментом стратегий бизнеса, энергетики и промышленности.

В некоторых проектах особенно интересно то, что, действуя в своем традиционном имперском духе владычицы морей, Великобритания делает ставку на оффшорную

энергию и газ для производства водорода и даже — оффшорное производство самого водорода.

Dolpfin

Проект по оффшорному производству «зеленого» водорода из морской воды на плавучей платформе, на которой установлен ветрогенератор мощностью 10 МВт, а также комплекс из опреснительной установки и электролизера мощностью 2 МВт. Водород будет доставляться до газового хранилища на побережье по подводному трубопроводу. Ожидаемая цена водорода при размещении платформы в 100 км от берега — £2,10 за кг.



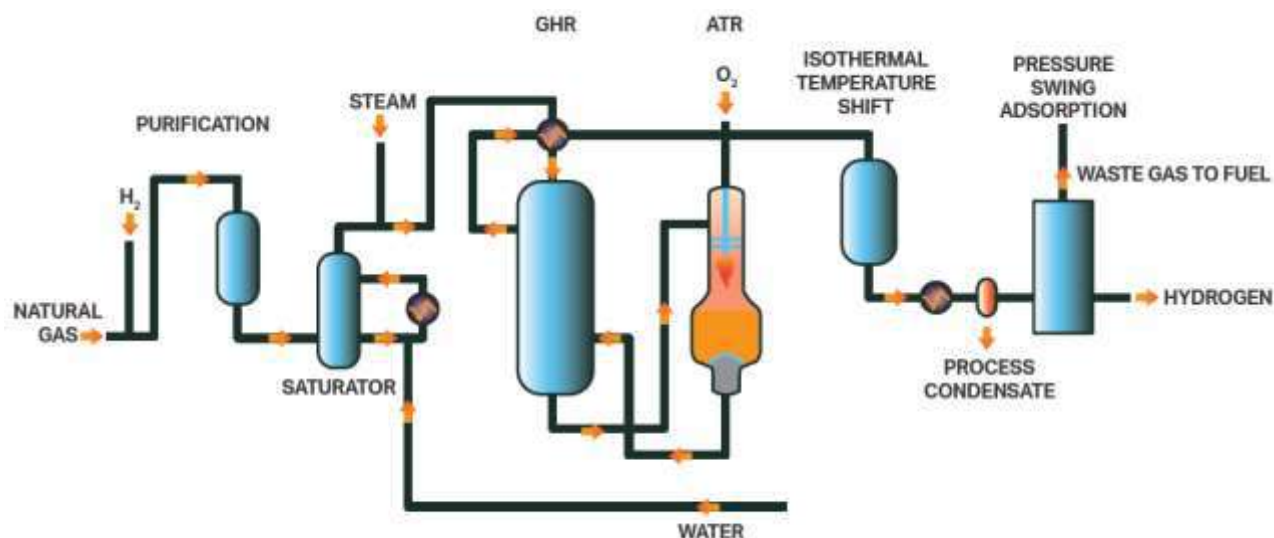
Концептуальная модель плавучей платформы с производством «зеленого» водорода.
Источник: ERM Ltd.

Исполнитель: Environmental Resources Management Ltd.

Финансирование: £3,12 млн.

HyNet

Проект по производству «голубого» водорода из шельфового природного газа с технологией CCS огромной мощностью 100 тыс. кубометров в час в рамках большого промышленного комплекса HyNet Cluster. Ожидаемая цена водорода — £1,74 за кг.



Технологическая схема технологии паровой конверсии метана. Источник: Progressive Energy Ltd., Johnson Matthey

Консорциум: Progressive Energy Ltd., Essar, Johnson Matthey, SNC-Lavalin

Финансирование: £7,48 млн.

Gigastack

Проект предполагает создание прибрежного производства «зеленого» водорода на базе PEM-электролизеров общей мощностью 100 МВт, которое будет получать электроэнергию от оффшорных ветрогенераторов Hornsea Two. В рамках проекта водород будет поставляться на нефтеперерабатывающий завод Phillips 66 Humber Refinery. В рамках проекта также создается предприятие по массовому выпуску PEM-электролизеров большой производительности. Ожидаемая цена водорода — от £4,16 до £6,93 за кг.

Консорциум: ITM Power Trading Ltd., Ørsted, Element Energy.

Финансирование: £7,5 млн.

Acorn Hydrogen Project

Проект по производству «голубого» водорода из природного газа, добываемого в Северном море, предполагает использование высокоэффективной технологии конверсии метана от компании Johnson Matthey мощностью 6 тонн в час и применение

процесса улавливания и захоронения углекислого газа (CCS). Ожидаемая цена водорода — £2,66 за кг.

Консорциум: Pale Blue Dot Energy, Johnson Matthey.

Финансирование: £2,7 млн.

HyPER

Проект предполагает производство водорода мощностью 440 кубометров в час из газа по новой технологии сорбционной паровой конверсии метана (SE-SMR), разработанной Gas Technology Institute и позволяющей снизить эмиссию парниковых газов без применения CCS. Ожидаемая цена водорода — от £1,91 до £2,37 за кг.

Консорциум: Cranfield University, Gas Technology Institute, Doosan Babcock.

Финансирование: £7,44 млн.

Водородная гигафабрика: проект Европейской водородной долины

Стартовал крупнейший в мире проект по производству «зеленого» водорода на базе оффшорных ветровых мощностей

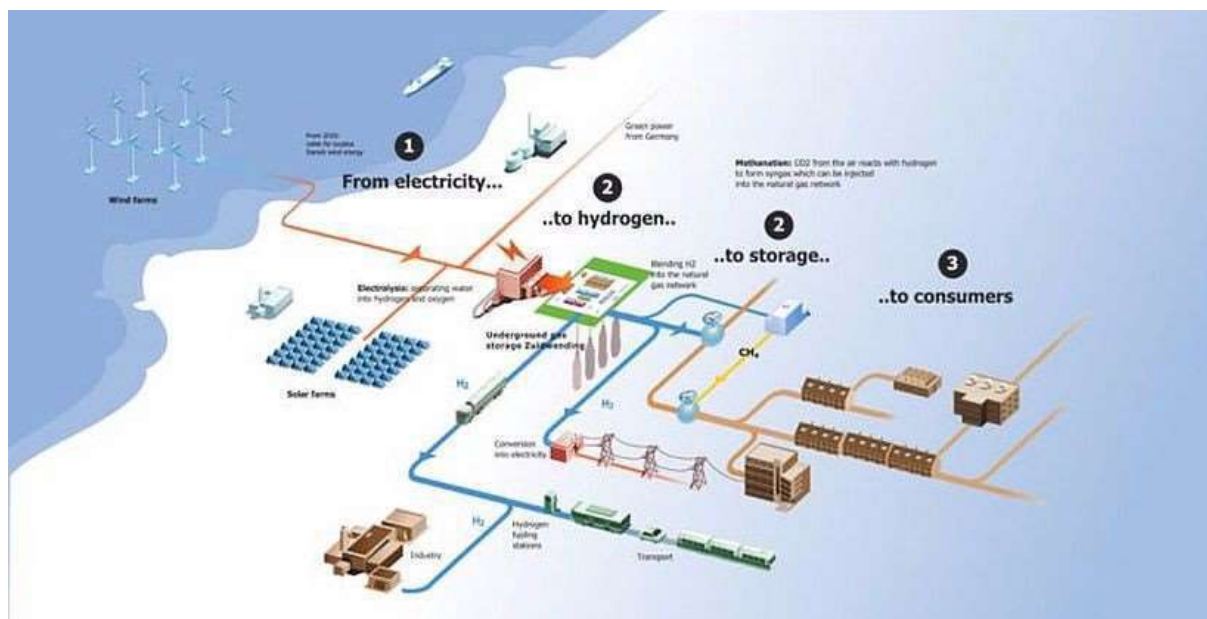
Дата: 28 февраля

Автор: Игорь Чаусов

Проектный консорциум в составе нефтяного гиганта Shell, голландского оператора газовых сетей Gasunie и администрации портов провинции Гронинген дал старт технико-экономическому обоснованию гигантского проекта NorthH2 по созданию в Северном море ветроэнергетических мощностей для производства на их базе «зеленого» водорода в порту Эмсхавен на севере Нидерландов [\[1\]](#). Предполагается, что обоснование проекта займет один год.



Проект предполагает создание целого водородного кластера, который консорциум называет Европейской водородной долиной. К 2030 году планируется ввести в строй от 3 до 4 ГВт ветроэнергетических мощностей. Этот водород будет производиться электролизом как в Эмсхавене, связанном с оффшорными ветропарками подводными линиями электропередач, так и на оффшорных плавучих платформах в непосредственной близости от ветрогенераторов. К 2040 году установленная мощность ветропарка, работающего на производство водорода, должны вырасти до 10 ГВт, а проект в целом выйдет на производительность в 800 тыс. тонн «зеленого» водорода в год.



Принципиальная схема производства, хранения и распределения «зеленого» водорода.
Источник: H2euro

Shell выступает в рамках проекта основным инвестором в новые мощности ВИЭ, задача Gasunie — подготовить газовую инфраструктуру для приема, хранения, транспортировки и подачи водорода потребителям, а также для смешивания водорода с природным газом и дальнейшей транспортировки метан-водородной смеси. Shell уже имеет опыт инвестиций в ветровые мощности в Северном море, поскольку владеет 20% ветропарка мощностью 730 МВт у побережья Нидерландов. Gasunie также имеет опыт реализации водородных пилотных проектов, в частности, создания электролизной установки мощностью 1 МВт и проектирования еще более крупной установки мощностью 20 МВт рядом с Делфзейлом.



Газотранспортная система Нидерландов готовится транспортировать «зеленый» водород.
Источник: Gasunie

По оценкам Wood Mackenzie, для окупаемости проектов по производству водорода методом электролиза стоимость электроэнергии, поставляемой ветрогенераторами, не должны превышать €30 за МВт·ч, и в рамках проекта NorthH2 ожидается достижение этих показателей.

Похожие проекты, но пока что в пилотной стадии и существенно меньшего масштаба, реализуют в настоящее время в Великобритании Equinor, National Grid и Drax, использующие в эстуарии Хамбер технологию паровой конверсии метана с CCS [2], а также в Бельгии, где в порту Остенде планируется создание электролизного производства водорода HyPort мощностью 50 МВт на базе ветровых мощностей, причем водород будет использоваться на демонстрационной электростанции, вводимой в строй в 2022 году, в качестве основного топлива [3].

[1] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/shell-exploring-worlds-largest-green-hydrogen-project>

[2] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/equinor-nat-grid-and-drax-give-glimpse-of-net-zero-future>

[3] <https://deme-group.com/news/hyport-green-hydrogen-plant-ostend>

Принуждение к водороду

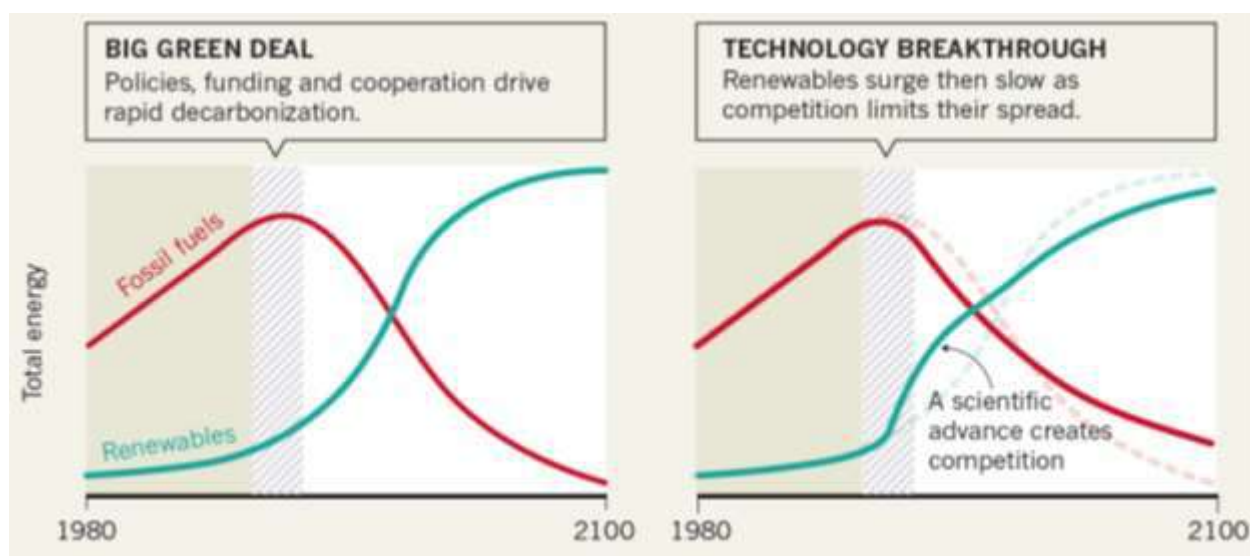
Дмитрий Тимофеев о формировании российской водородной политики в опережение климатических санкций

Дата: 5 марта

Автор: Дмитрий Тимофеев

Исторически сложилось так, что большинство крупных технологических переходов происходили неожиданным образом. Энергопереход от биомассы к углю в XVIII–XIX вв., например, стал основой индустриальной революции. Переход к ВИЭ будет также весьма разрушительным для современного уклада. Экспортеры нефти могут потерять глобальное влияние, тогда как страны-импортеры будут усиливать свои позиции. Согласно данным Международного агентства по возобновляемой энергии (IRENA), экономики, которые добывают нефть и газ, могут потерять \$7 трлн к 2040 году [\[1\]](#).

Научный коллектив, объединяющий исследователей из Университетов Лондона (University of London) и Уорика (University of Warwick), немецкого Института международной политики и безопасности (Institute for International and Security Affairs, SWP), разработал четыре сценария геополитического будущего, связанного с процессами декарбонизации мировой экономики [\[2\]](#).

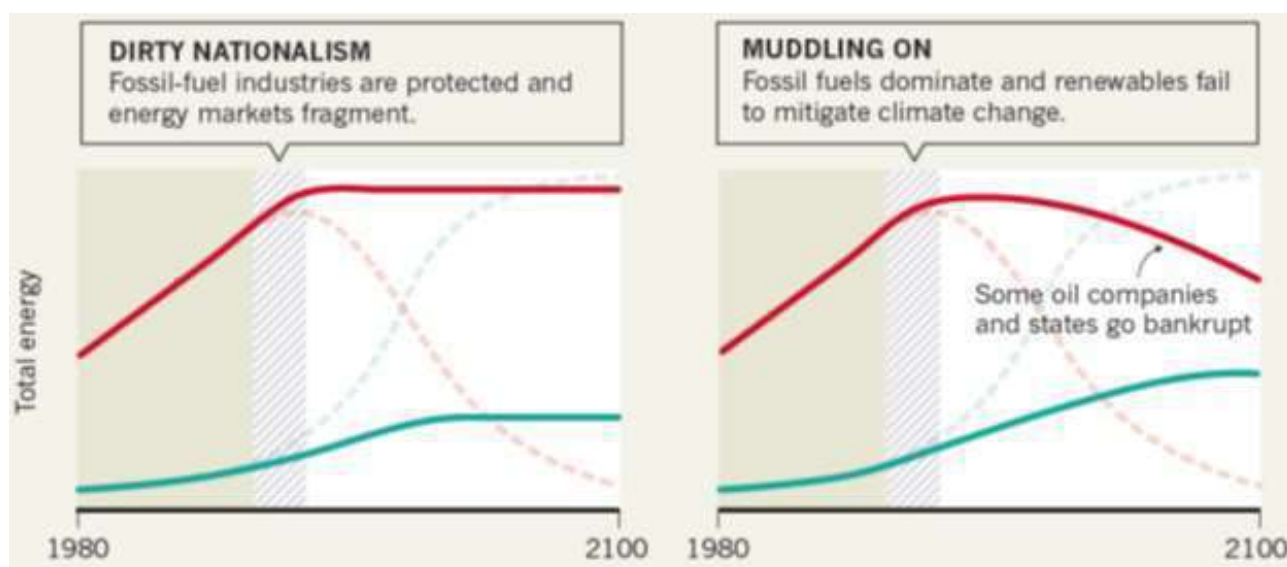


Сценарии «Большая зеленая политика» и «Технологический прорыв». Источник: University of London

«Большая зеленая политика» (Big green deal) — сценарий, предполагающий, что глобальный консенсус по изменению климата приводит к согласованной международной политике в области энергоперехода. Страны G-20 формируют масштабный «Зеленый климатический фонд», значительно превышающий \$100 млрд в год, устанавливают амбициозные климатические цели, финансовые рынки лишают ископаемые виды топлива доступа к капиталу, происходит перераспределение

инвестиций в пользу низкоуглеродных бизнесов. «Зеленые» технологические корпорации доминируют в Fortune 500 к 2030 году. Волна «зеленой» глобализации, в соответствии с целями устойчивого развития (ЦУР), позволяет всем странам получить выгоды от декарбонизации. Издержки «петро-государств» компенсируются, чтобы они смогли плавно перейти к устойчивой экономике, избегая последней попытки затопить мир дешевой нефтью и газом. Результатом является беспроигрышная ситуация для климата и безопасности. Геополитическое напряжение в данном сценарии низкое.

«Технологический прорыв» (Technology breakthrough) — сценарий, в котором технический прогресс направляет мир по другому пути. Инновации в хранении энергии облегчают интеграцию ВИЭ в энергосистему и способствуют дальнейшему удешевлению «зеленой» энергии. США и Китай лидируют в масштабировании «зеленых» технологий, учитывая их большие внутренние рынки, дружественные к «зеленым» технологиям нормативные условия и наличие отраслевых гигантов (Google и State Grid Corporation of China), реализующих стратегии устойчивого развития. При таком сценарии конкуренция между странами резко возрастает. Мир расколется на два лагеря в ходе новой холодной войны «зеленых» технологий. Технологические лидеры будут удерживать власть, а все другие страны вынужденно тяготеть к одному из глобальных лидеров, при этом усиливаются региональные блоки и растет геополитическое соперничество. Эти блоки стремятся контролировать важные для энергоперехода базовые материалы, например, редкоземельные металлы, кобальт и литий. Они отказывают в доступе к технологиям странам за пределами их группы. Гонка ВИЭ помогает смягчить изменение климата и быстро вытесняет ископаемое топливо, но при этом некоторые регионы существенно проигрывают. Например, Европа отстает от Китая и США, потому что единый рынок ЕС остается менее интегрированным. Некоторые развивающиеся страны будут исключены из энергоперехода, запрет на доступ к передовому энергетическому ноу-хау подорвет достижение ЦУР. Производители ископаемого топлива должны будут быстро адаптироваться к падению спроса на углеводороды. Некоторые из «петро-государств» не справятся, и политическая напряженность вырастет в странах к югу от Сахары, в Африке, Ближнем Востоке и Центральной Азии.



Сценарии «Грязный национализм» и «Инерционный». Источник: University of London

«Грязный национализм» (Dirty nationalism) — сценарий, где в ходе выборов к власти приходят популисты, что приводит к усилению национализма. Политика популистов ставит самодостаточность в качестве основного приоритета, тем самым благоприятствуя развитию местных видов энергии по сравнению с импортными. Это приводит к наращиванию использования ископаемого топлива, в том числе угля и сланца, но также и развитию ВИЭ. США защищают жёсткими протекционистскими мерами свою промышленность и энергетику, поэтому в геополитику возвращается логика игры с нулевой суммой — выигрыш одной страны означает проигрыш у других государств. Общественное мнение оборачивается против иностранных энергетических инвесторов.

Происходит фрагментация энергетических рынков перед лицом протекционизма, который ограничивает эффекты масштаба в экономике и замедляет прогресс в декарбонизации. Экспортеры ископаемого топлива стремятся нарастить объёмы производства, несмотря на падение цен и ограничения международной торговли. Сила глобального соперничества маргинализирует ООН и подрывает многосторонние институты, такие как Рамочная конвенция ООН по климату (РКИК ООН). Страны ЕС не могут прийти к согласию, в результате получают ослабление совместной политики. Это разрушает Парижское соглашение о климате и механизм добровольных сокращений выбросов. Из-за дальнейшего изменения климата цены на продовольствие увеличиваются в результате засух. Усиливается борьба за водные и другие общие ресурсы, что умножает глобальные риски.

«Инерционный сценарий» (Muddling on) складывается в результате взаимодействия энергетических клубов при незначительной роли международного сотрудничества. Поскольку удельные затраты продолжают снижаться, ВИЭ будут увеличивать свою долю в энергобалансе к 2030–2050 гг., но ископаемое топливо остается доминирующим источником энергии. Скорость энергоперехода слишком медленная, чтобы смягчить

изменение климата, но слишком быстрая для того, чтобы ТЭК успел приспособиться. Некоторые национальные нефтяные компании обанкротятся, а другие объединятся в несколько глобальных энергетических гигантов. Экспорт углеводородов концентрируется в небольшом количестве стран и транснациональных корпораций, которые жестко конкурируют между собой. Экспорт ископаемого топлива становится рискованным бизнесом, доходы падают и ОПЕК рушится.

По мнению Индры Оверленда, главы Центра энергетических исследований при Норвежском институте международных отношений, Россия может приступить к энергопереходу (100% ВИЭ+водород), только если другие страны сформируют большой и мощный климатический клуб и введут серьезные санкции против стран, не выполняющих Парижское соглашение [3]. Этот вариант развития событий в принципе соответствует вышеописанному сценарию «Big green deal». Текущая геополитическая политика ЕС и США позволяет сделать вывод о высокой вероятности принуждения к декарбонизации в течение следующих 20 лет.

В 2019 г. в рамках выполнения своей политической программы вновь избранный Председатель Еврокомиссии Урсула фон дер Ляйен инициировала работу по введению пограничного углеродного налога (Carbon Border Tax) [4]. Вновь назначенный комиссар Еврокомиссии по налогообложению Паоло Джентилони включил введение налога на выбросы углерода и пересмотр Директивы ETD 2003/96/ЕС в число своих шести приоритетов [5]. Основная идея по внедрению схемы кросс-границной углеродной корректировки (border carbon adjustment scheme) базируется на взимании налога на импорт, эквивалентного затратам, которые несут европейские предприятия. Платеж будет осуществляться через покупку разрешения на выбросы углерода на Европейской углеродной бирже (в 2020 г. стоимость квот на EU ETS составляет около 25 евро за тонну CO₂). В среднесрочной перспективе поставки российских углеводородов и металлов в ЕС попадут под действие данной схемы. Поскольку экспорт России очень углеродоемкий (2 млрд тонн CO₂ экв.), при декарбонизации ЕС к 2050 г. значительные объемы углеводородов будут не востребованы (30% газ, 70% нефть).



В 2020 г. Россия была обвинена западными спецслужбами во вмешательстве в президентские выборы США путем дискриминации кандидатов от демократической партии, так как предлагаемая ими политическая программа (Green New Deal) может фактически обанкротить Россию [6]. «Зеленый новый курс» США при его реализации в течение следующего десятилетия может кардинально повысить уровень электрификации американской экономики, практически устранив углеводороды из энергобаланса США. Массовый переход американцев на электромобили за счет выделения федеральных налоговых льгот и прекращением субсидирования бензина приведет к резкому падению спроса на нефть в США. Глобальные рынки нефти (100 млн баррелей в день) чрезвычайно чувствительны и снижение спроса за счет США (21 млн баррелей в день), что может привести к значительному падению цен. Электрификация транспорта США приведет к падению цен на эти электромобили, а также ускорению инноваций в области хранения энергии. Дешевые электромобили с лучшими эксплуатационными характеристиками увеличат продажи электромобилей по всему миру. Это приведет к падению в 2020–2030 гг. цен на нефть с текущих \$60 за баррель до \$2 за баррель. Бурное развитие в США ветровой и солнечной энергетики, а также декарбонизация систем теплоснабжения могут нанести аналогичный ущерб рынкам природного газа.

Нефть и газ составляют 65% российского экспорта и 40% валового внутреннего продукта РФ. Рост использования экологически чистой энергии и электрификация транспорта может привести к падению валового внутреннего продукта России ниже уровня Мексики (менее \$1 трлн). Пока Россия недооценивает климатические риски и не готова трансформировать «красную» экономику в «зеленую» [7].

Но процессы декарбонизации мировой экономики таят не только угрозы, но и дают большие возможности. В рамках реализации Парижского соглашения (статья 6) глобальный углеродный рынок будет полностью перезагружен. Вводится новый инструмент «Механизм устойчивого развития», который подразумевает совместные рыночные и нерыночные действия стран по снижению эмиссии парниковых газов. В национальных обязательствах по Парижскому соглашению 82 страны упоминали возможное использование глобального углеродного рынка для достижения климатических целей, на текущий момент три страны активно осуществляют деятельность с углеродными единицами сокращения (Швейцария, Япония и Норвегия).



Потенциал углеродных рынков, создаваемых в рамках статьи 6 Парижского соглашения, был оценен в рамках исследования Международной ассоциации углеродного трейдинга (IETA) при поддержке Carbon Pricing Leadership Coalition [\[8\]](#). Объем углеродного рынка в рамках этой статьи составляет около \$167 млрд в год в 2030 г. с потенциалом роста до \$347 млрд в год в 2050 г. Консервативная оценка доли Российской Федерации на глобальном углеродном рынке за счет лесных проектов, а также инициатив по повышению энергоэффективности оценивается в \$1,5–2 млрд в год.

Необходимо приложить все усилия для доступа России на глобальный углеродный рынок с перенаправлением полученных финансовых ресурсов на развитие водородных технологий. Магистральным путем декарбонизации энергетики в России должно стать развитие ВИЭ и производство «зеленого» водорода, а не эксперименты с использованием «запертых» мощностей атомной и газовой отраслей. Согласно исследованию World Energy Council Germany, Россия относится к «скрытым чемпионам» водородной экономики с потенциальной долей рынка до 15% за счет огромного

потенциала ВИЭ, низкого водного стресса, доступностью земельных ресурсов и выгодного географического положения на глобальных водородных рынках Азии и Запада [9]. Использование технологий водородной энергетики может сократить выбросы парниковых газов на 81,9 млн тонн в год, что вкупе с поглощающей способностью бореальных лесов (450–600 млн тонн CO₂ экв.) позволит России стать одним из лидеров в борьбе против изменения климата.

[1] International Energy Agency. Outlook for Producer Economies: What Do Changing Energy Dynamics Mean for Major Oil and Gas Exporters? (IEA, 2018).

[2] How the energy transition will reshape geopolitics <https://www.iass-potsdam.de/en/output/publications/2019/how-energy-transition-will-reshape-geopolitics>

[3] Renewables & geopolitics: Russia <https://www.pv-magazine.com/2019/04/11/renewables-geopolitics-russia/>

[4] Ursula von der Leyen's Agenda https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/political-guidelines-next-commission_en.pdf

[5] Commissioners-designate, <https://ec.europa.eu/commission/interim/commissioners-designate>

[6] Why the Russian Petro-State Is Actually Terrified of a Bernie Sanders Presidency: The Green New Deal <https://www.commondreams.org/views/2020/02/23/why-russian-petro-state-actually-terrified-bernie-sanders-presidency-green-new-deal>

[7] Готова ли Россия к экологической катастрофе? <https://ru.valdaiclub.com/events/posts/articles/gotova-li-rossiya-k-ekologicheskoy-katastrofe/>

[8] The Economic Potential of Article 6 of the Paris Agreement and Implementation Challenges», IETA, University of Maryland and CPLC. Washington, D.C. September 2019

[9] International aspects of a Power-to-X Roadmap <https://www.frontier-economics.com/media/2642/frontier-int-ptx-roadmap-stc-12-10-18-final-report.pdf>

Детали водородного пейзажа — от электростанций до кораблей

Грузовики, автобусы, корабли и электростанции для покрытия пикового потребления — сферы применения, в которых водород имеет хорошие шансы

Дата: 11 марта

Автор: Игорь Чаусов

Из неясного золотисто-голубого марева, в котором с трудом можно разглядеть мост и лодку, на зрителя стремительно мчится паровоз — единственная однозначно распознаваемая, но тоже размытая и до конца не определенная деталь пейзажа. Четко прорисована только паровозная труба. Так знаменитая картина «Дождь, пар и скорость» Уильяма Тёрнера передает ощущение технологического прогресса — сочетание скорости и неотвратимости неопределенного будущего, как бы скрытого за дождливой дымкой.

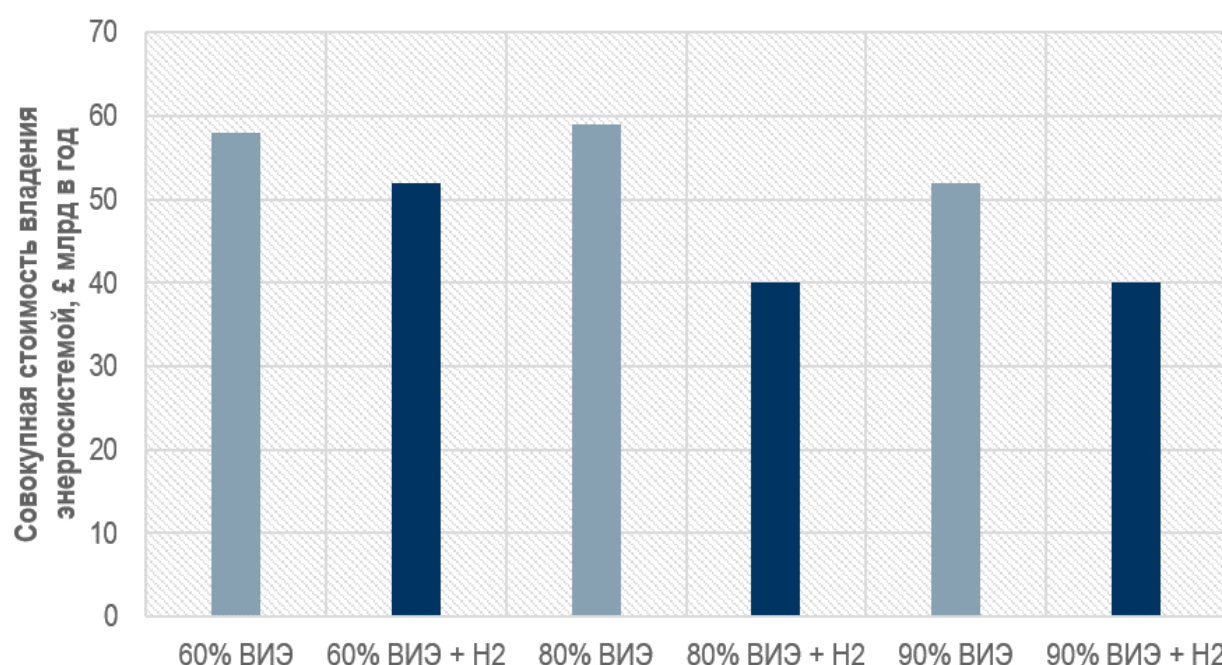


Уильям Тёрнер. Дождь, пар и скорость. 1844 г. Лондонская национальная галерея

Что мы сможем рассмотреть сегодня, если взглянем в «пейзаж» водородного будущего, не менее размытый, чем поздние работы Тёрнера? Какие детали этого «водородного пейзажа» уже приобрели четкие очертания?

Водородная газовая генерация

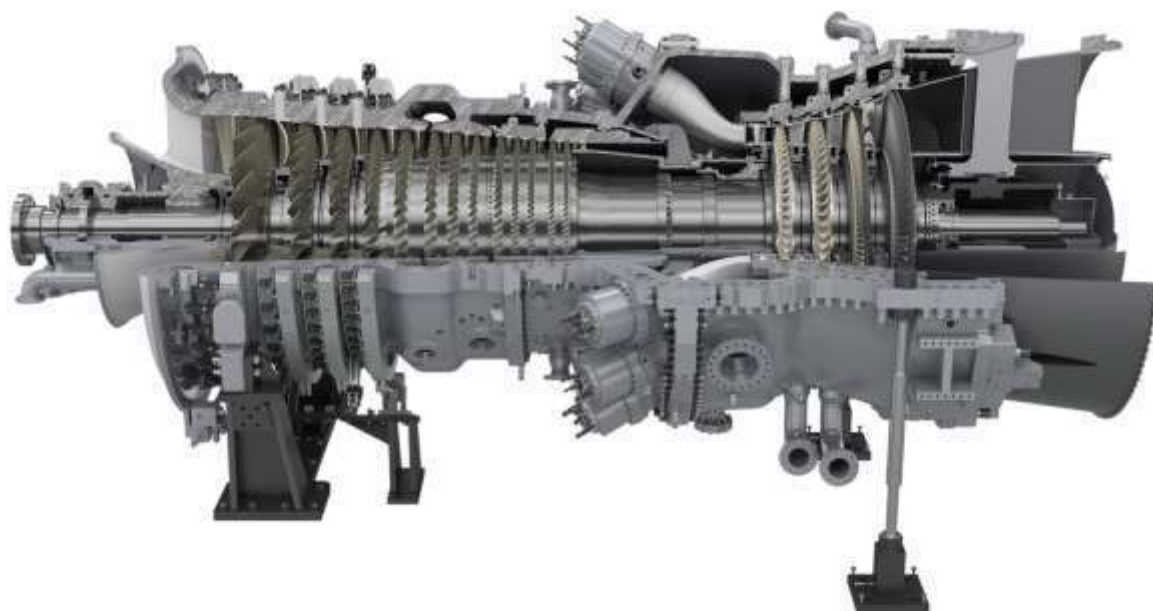
На этот вопрос помогают ответить недавно вышедшие рекомендации Национальной инфраструктурной комиссии Великобритании (NIC) под руководством сэра Джона Армитта, бывшего председателя комитета по проведению лондонской Олимпиады [1]. Рекомендации однозначно называют водород наравне с биоэнергетикой новым технологическим залогом перехода к «углеродной нейтральности», причем в рамках доклада внимание сосредоточено на водороде как «зеленом» топливе для маневренной генерации.



Совокупная стоимость владения энергосистемой Великобритании при различных сценариях сочетания ВИЭ с водородной генерацией. Источник: NIC

Согласно результатам моделирования, проведенного NIC, тепловая генерация на базе газовых турбин, использующих водород, полученный паровой конверсией из природного газа с применением технологий CCS, позволит снизить платежи потребителей электроэнергии почти на 30%. Сравнение ведется с вариантом роста доли ВИЭ и наращивания недостаточной базовой генерации за счет АЭС, который в настоящее время рассматривает британское правительство и Ofgem [2]. При применении более «зеленого», но более дорогого водорода, получаемого электролизом, стоимость владения энергосистемой Великобритании может как вырасти на 3%, так и снизиться на 6%, в зависимости от доли ВИЭ в энергобалансе.

Любопытно, что указанный экономический эффект достигается за счет того, что водород используется не только для покрытия пикового потребления, но также и в качестве топлива для базовой тепловой генерации, не имеющей при этом углеродного следа. Сценарий, который рассматривает NIS, предполагает, что водородная генерация заменит в планах 6 ГВт новых атомных мощностей и 13–16 ГВт имеющихся газовых и угольных мощностей, а также снизит покупку электроэнергии в ЕС на 20 ТВт·ч в год.



Газовая турбина Siemens SGT6–5000F (260 МВт) может работать на смеси метана с 30% водорода. Источник: Siemens

Разработки водородных газовых турбин большой мощности, подходящих для использования в энергосистеме, ведут практически все ведущие машиностроительные концерны мира. По данным Siemens, возможность использования 100% водорода уже достигнута на турбинах мощностью 30–60 МВт, а на турбинах мощностью от 100 до 600 МВт возможно применение смеси метана с 30% водорода [3]. Обзор ETN Global оценивает технологически достигнутый уровень содержания водорода в топливе для газовых турбин в 60% [4]. Прогресс и большие инвестиции в этой области позволяют надеяться, что на горизонте 2035 года водородные газовые турбины выйдут на массовый рынок.

Водород в автобусах и на кораблях

Существенными деталями «водородного пейзажа» ближайшего будущего станут различные транспортные средства на водороде. Доклад Wood Mackenzie оценивает количество автомобилей на водородных топливных элементах в долгосрочной перспективе в 9 млн машин, что составляет весьма скромную долю рынка, особенно в

сравнении с электромобилями [5]. Впрочем, пока что этот рынок растет почти на 250% в год, во многом в силу своей небольшой величины.



Грузовик Nicola One на водородных топливных элементах. Источник: Nicola Motors

Гораздо большие шансы водород имеет на тяжелом транспорте, особенно при применении в качестве топлива для автобусов и грузового автотранспорта. В этой сфере применения водород обладает экономическими преимуществами перед батарейным электрическим транспортом уже сегодня.



Беспилотный автономный катамаран Energy Observer с водородными топливными элементами и электрическими двигателями. Источник: MIT Tech. Rev.

Наконец, неожиданную перспективу для водорода открывают планы по декарбонизации морских грузоперевозок [6]. Международный совет чистого транспорта (ICCT) показал, что почти все тихоокеанские перевозки между Северо-Восточной Азией и США могут быть выполнены с применением водорода как судового топлива, причем 43% из них не потребуют для этого ни дополнительных дозаправок, ни уменьшения полезного объема на судах в пользу хранения на них водорода.

Таким образом, на «водородом пейзаже» ближайшего будущего все четче прорисовываются не только поезда, автобусы и грузовики, уже выходящие на рынок, но и корабли, а в более далекой перспективе, пока что еще в дымке неопределенности, уже становится виден абрис водородных электростанций.

[1] <https://www.nic.org.uk/publications/net-zero-opportunities-for-the-power-sector/>

[2] <https://www.current-news.co.uk/news/hydrogen-and-bioenergy-offer-cheaper-route-to-net-zero-than-nuclear-finds-nic>

[3] <https://new.siemens.com/global/en/company/stories/energy/hydrogen-capable-gas-turbine.html>

[4] <https://etn.global/news-and-events/news/hydrogen-gas-turbines-report/>

[5] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/hydrogen-mobility-coming-soon-to-a-bus-or-truck-near-you>

[6] <https://renen.ru/vodorod-vysokij-potentsial-v-sektore-morskih-gruzoperevozok/>

Гонка «водородных вооружений»

О мега-проектах по производству «зеленого» водорода мощностью 100+ МВт

Дата: 12 апреля

Автор: Игорь Чаусов

На фоне пересмотра прогнозов роста рынков ВИЭ в сторону их сильного понижения, связанного с шоком от пандемии COVID-19 и начинающегося глобального экономического кризиса, из-за которого в 2020–2021 годах ветроэнергетика не досчитается 4,9 ГВт новых мощностей [\[1\]](#), солнечная энергетика — 23 ГВт [\[2\]](#), неожиданно оптимистично выглядит рынок проектов водородной энергетики, ориентированных на намного более долгосрочную перспективу. Аналитическое агентство Wood Mackenzie пересмотрело свой прогноз по рынку производства «зеленого» водорода на горизонте 2025 года с 3,2 ГВт [\[3\]](#) до внушительных 8,2 ГВт [\[4\]](#).



Производство азотных удобрений на базе «зеленого» водорода в Пилбаре, Австралия.
Источник: ARENA

Причиной такого смелого — в 2,5 раза — повышения прогноза стали анонсированные в последние несколько месяцев 17 новых проектов по производству водорода на базе мощностей ВИЭ мощностью более 100 МВт. География этих проектов широка: Австралия, Франция, Германия, Нидерланды, Парагвай, Португалия, Великобритания и США. Мир вступает в гонку «водородных вооружений»: некоторые страны

рассчитывают застолбить за собой позиции крупных экспортеров, некоторые — обеспечить свои потребности и не стать слишком зависимыми импортерами.

Среди наиболее значимых проектов можно выделить следующие:

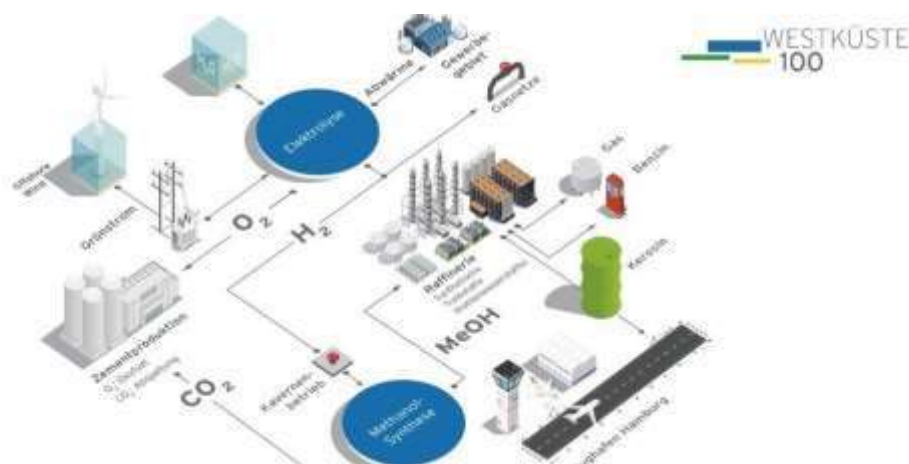
Asian Renewable Energy Hub (Австралия). Долгосрочный — 50+ лет — проект в Западной Австралии, в рамках которого 12 ГВт солнечных и ветровых мощностей будут направлены на производство «зеленого» водорода. К 2027 году ожидается выход на мощность электролизного производства водорода в 1 ГВт [5].

HuGreen Provence (Франция). Совместный проект Engie и Air Liquid предполагает производство водорода на базе солнечной генерации в Провансе. План по выходу на проектную мощность такой: 306 тонн водорода в год в 2023 году, 3 306 тонн в год — в 2026 году и 11 508 тонн в год — в 2030 году [6].

NorthH2 (Нидерланды). Проект Shell и Gasunie предполагает производство в провинции Гронинген 800 тыс. тонн водорода в год на базе ветрогенерации, установленной в Северном море. Об этом проекте мы уже [писали](#).

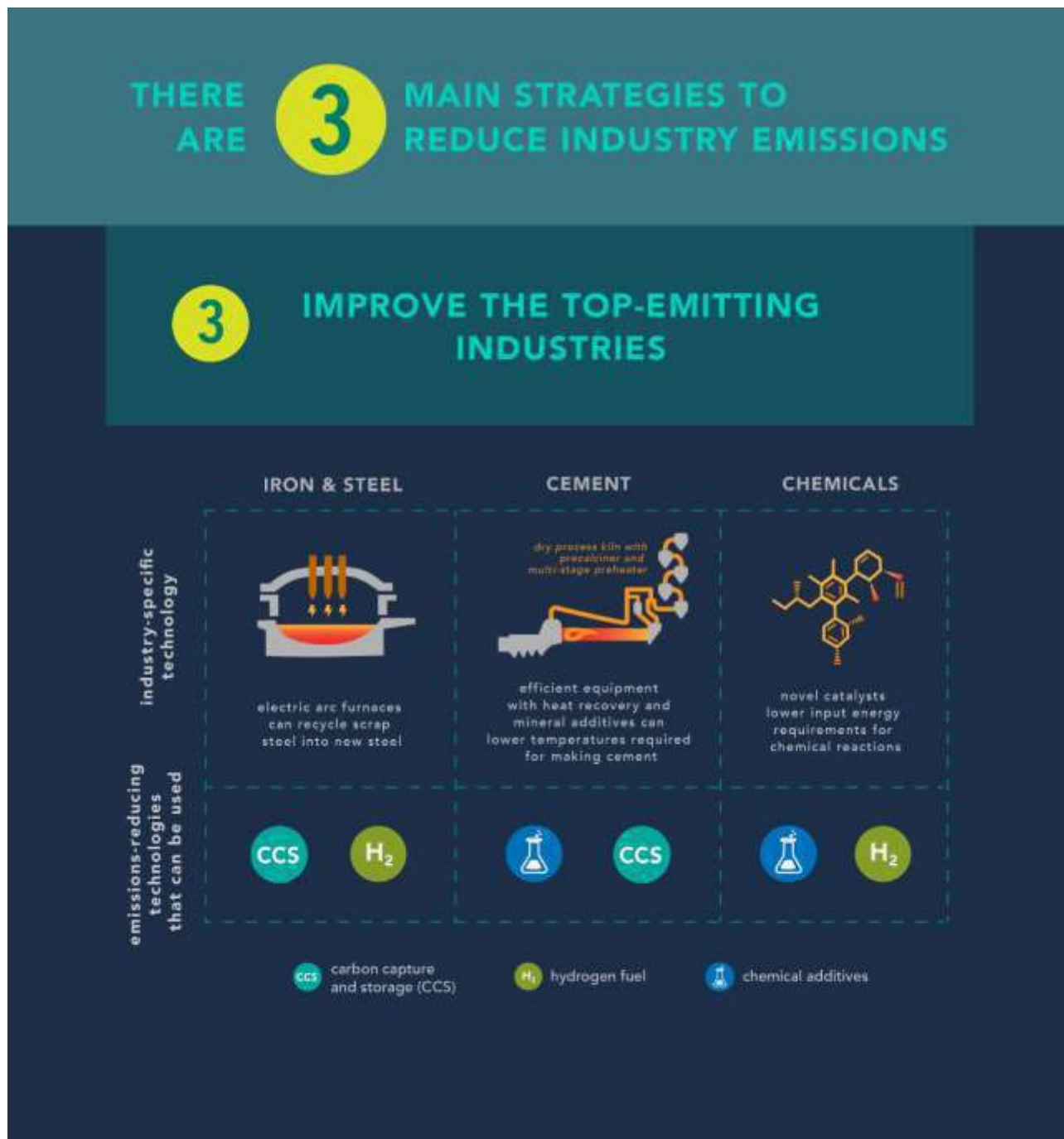
Omega Green Complex (Парагвай). Любопытный проект бразильской ECB Group по производству биодизеля, в рамках которого Thyssen Krupp создает электролизное производство водорода мощностью 310 МВт для гидроочистки дизеля [7].

Westcuste-100 (Германия). Проект «живой лаборатории» водородной энергетики в Шлезвиг-Гольштейне предполагает производство водорода на ветровых мощностях (более 700 МВт) и его использование в как можно большем наборе сфер экономики: на автомобильном, железнодорожном, авиационном транспорте, в промышленности, в энергетике и ЖКХ [8]. Проект реализует крупный консорциум в составе EDF, Holcim, Thyssen Krupp, OGE, Orsted, Raffinerie, Stadtwerke, Агентства по развитию города Хайде и Института трансформации энергосистем Университета прикладных наук Западного побережья.



Сферы производства и применения водорода в рамках «живой лаборатории» Westcuste-100 в Шлезвиг-Гольштейне. Источник: Westcuste-100

Активность на новом рынке подогревают ожидания от декарбонизации промышленности, в которой водород сыграет даже более крупную роль, чем в декарбонизации транспорта или теплоэнергетики. Исследовательская группа Energy Innovation, ссылаясь на Shell, оценивает потребление водорода в промышленности в 2040 году на уровне 5–7 млн тонн в год [9].



Отрасли промышленности, обладающие наибольшим потенциалом декарбонизации, в том числе, за счет водорода. Источник: Energy Innovation

Рост амбиций на рынке «зеленого» водорода подтверждается и возрастающей активностью со стороны Китая, на волне пандемии перехватившего у Японии флаг «водородной Олимпиады». Китайская провинция Хэбэй утвердила план из 43 проектов

по производству и применению водорода общей стоимостью \$1,23 млрд до 2035 года. К зимней Олимпиаде-2022 в Пекине провинция собирается выйти на ежегодное производство 21 тыс. тонн водорода, а к 2035 году — 50 тыс. тонн [10].

Появление в Энергетической стратегии России целого раздела про водородную энергетику и четкое обозначение цели — выйти на экспорт 2 млн тонн водорода в год к 2035 году — важный шаг в этой намечающейся гонке [11]. Но России, очевидно, не хватает собственных пилотных проектов, чтобы не отстать от лидеров в намечающейся жесткой борьбе за рынок.

[1] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/coronavirus-impacts-trims-global-wind-demand-by-4.9gw>

[2] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/coronavirus-impact-cuts-23gw-from-2020-solar-outlook-woodmac>

[3] <https://www.woodmac.com/news/editorial/the-future-for-green-hydrogen/>

[4] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/mega-projects-help-double-green-hydrogen-pipeline-in-just-five-months>

[5] <https://asianrehub.com>

[6] <https://www.tpbm-presse.com/hygreen-provence-grdf-rejoint-le-consortium-d-entreprises-partenaires-du-projet-3410.html>

[7] <https://www.ecbgroup.com.br/en/noticias/24/in-an-unprecedented-initiative>

[8] <https://www.westkueste100.de>

[9] <https://energyinnovation.org/publication/technologies-and-policies-to-decarbonize-global-industry-review-and-assessment-of-mitigation-drivers-through-2070/>

[10] <https://www.nasdaq.com/articles/chinas-hebei-approves-%241.2-bln-hydrogen-production-and-consumption-projects-2020-04-03>

[11] <https://minenergo.gov.ru/node/1920>

Аммиак — корабельное топливо будущего?

Морская индустрия в поисках углеродно-нейтрального горючего

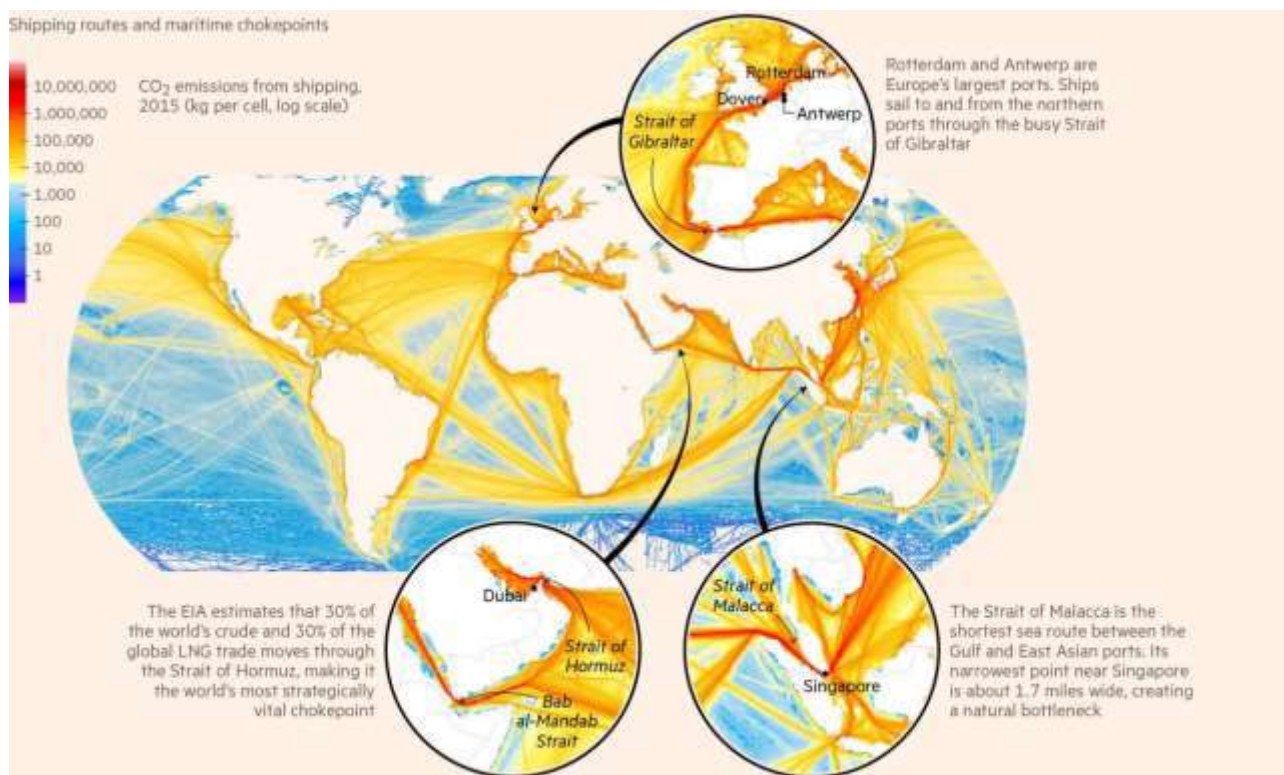
Дата: 25 мая

Автор: Игорь Чаусов

«Кто владеет нефтью, тот правит миром», — эта знаменитая сентенция принадлежит не политику или нефтяному магнату, ее в самом начале XX века высказал адмирал сэра Джон Фишер, знаменитый Первый Морской лорд и реформатор Королевского флота, один из создателей того, что сегодня мы называем геополитикой. Самая известная реформа Фишера — перевод британского флота с угля на жидкое нефтяное топливо. Вслед за военным последовал и торговый флот. Использование передового для того времени энергоносителя обеспечило как технологическое лидерство в кораблестроении, так и геополитическое лидерство Британской империи на морских коммуникациях вплоть до Второй мировой войны. Именно по настоянию Фишера правительство Великобритании инвестировало в покупку акций Англо-Персидской нефтяной компании, известной сегодня как BP.

Несмотря на то, что сегодня, в условиях кризиса нефтяного перепроизводства, это высказывание, очевидно, требует кардинального пересмотра, его исходное основание остается верным и актуальным. Это основание состоит в том огромном значении, которое морская торговля и морские коммуникации имеют для мировой экономики и политики — не меньшее, но даже большее, чем в начале XX века. По данным Конференции ООН по торговле и развитию (UNCTAD), на судовые перевозки в 2019 году пришлось 80% грузооборота мировой торговли [\[1\]](#).

В начале XX века лидерство на море было связано с переходом от угля к нефти. С каким топливом, способным заменить нефтяное судовое топливо, лидерство будет связано в XXI веке? В эпоху энергетического перехода это топливо должно отвечать, в первую очередь, на вызов декарбонизации. По оценкам Международного совета по чистому транспорту (ICCT), морские перевозки сегодня формируют 3–5% от общемировых выбросов углекислого газа, а к 2050 году, если не обеспечить декарбонизацию водного транспорта, будут ответственны за 17% антропогенной эмиссии парниковых газов [\[2\]](#).



Карта эмиссии парниковых газов морским транспортом по состоянию на 2015 год. Источник: Financial Times

Судовым топливом будущего должен стать аммиак, производимый из «зеленого» водорода. По крайней мере, так считает международный консорциум в составе норвежского нефтяного гиганта Equinor, финской двигателестроительной компании Wärtsilä, немецкого концерна MAN Energy Solutions, корейской судостроительной корпорации Samsung Heavy Industries, малайзийской судоходной компании MISC Berhad и крупнейшего в мире морского классификационного общества — Регистра Ллойда [3]. В 2023 году они намерены пустить в эксплуатацию первое в мире судно на аммиаке — принадлежащий норвежской нефтесервисной компании Eidesvik корабль Viking Energy, обслуживающий оффшорные нефтяные платформы. На специально переоборудованном корабле будет смонтирована система хранения жидкого аммиака, аммиачные топливные элементы, которые разрабатывают MAN и Wärtsilä, и электродвигатели, которые будут питаться от этих топливных элементов.

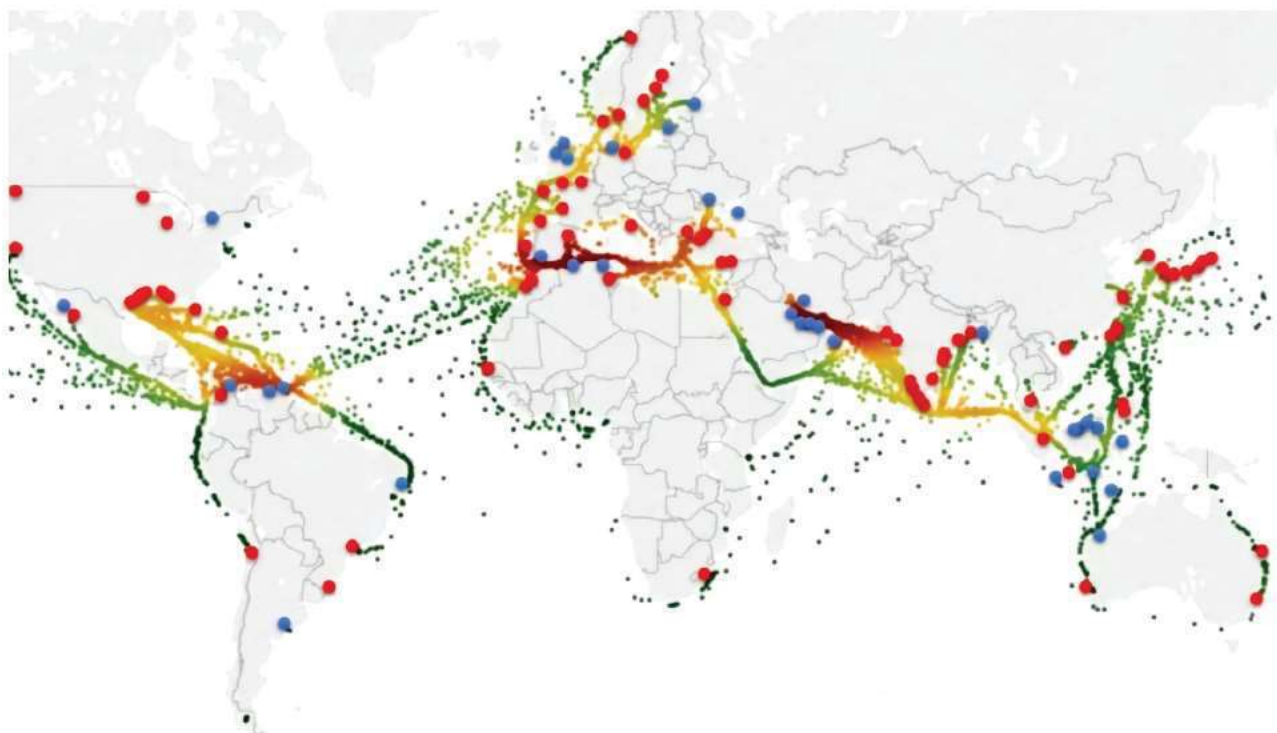


Корабль Viking Energy

Амбициозный и рискованный характер проекту придает то, что в настоящее время в мире нет ни одного образа судовой энергетической установки на аммиаке, и сама возможность создания такой установки с достаточно высоким КПД и низким уровнем выбросов NO_x вызывает обоснованные сомнения. Впрочем, описанный консорциум — не единственный, ведущий работу в этом направлении: аналогичные задачи решают в Японии концерн IHI совместно с Киотским университетом [\[4\]](#), а также Университет Делавэра в США в рамках финансирования со стороны ARPA-E [\[5\]](#).

Запрос на технологию углеродно-нейтральной и при этом экономичной главной судовой энергетической установки чрезвычайно велик в силу обязательства Международной морской организации (ИМО) снизить к 2050 эмиссию парниковых газов морским транспортом как минимум в 2 раза по сравнению с уровнем 2008 года [\[6\]](#). По оценке Международного морского фонда (GMF) и Университетского колледжа Лондона, достижение этой цели создаст крупный рынок и потребует в ближайшие 30 лет инвестиций в размере \$1,0–1,4 трлн [\[7\]](#). Эта оценка основана как раз на сценарии применения аммиака как «зеленого» судового топлива. Альтернативный сценарий, который рассматривает ICCT, — применение на кораблях сжиженного водорода, о чем мы уже [писали](#).

● Ammonia loading facilities ● Ammonia unloading port facilities



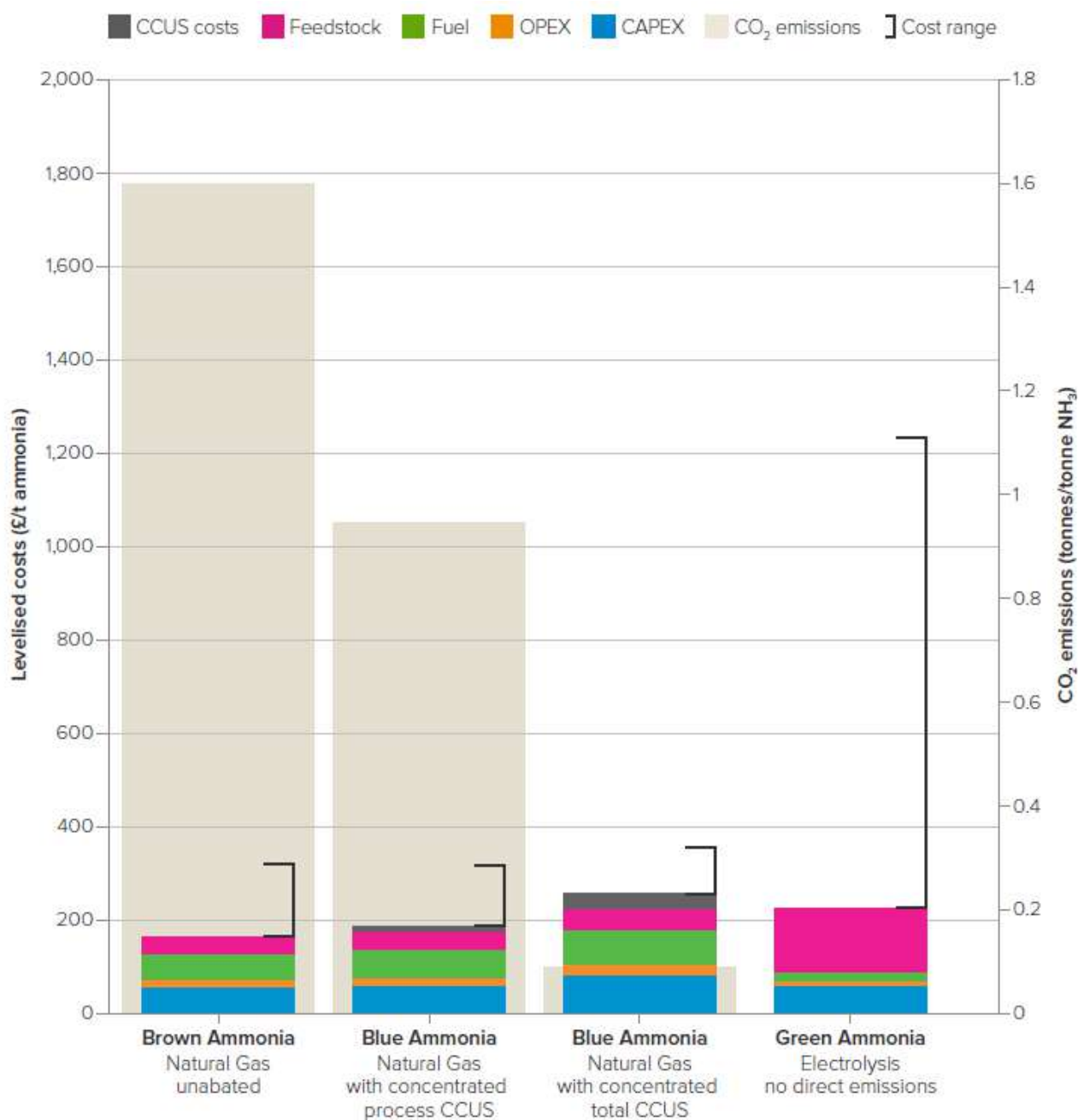
Маршруты морской торговли аммиаком и портов, располагающих инфраструктурой по отгрузке (синие точки) и приему (красные точки) аммиака по состоянию на 2017 г. Источник: Royal Society

В обзоре по проблеме аммиака как энергоносителя, подготовленном Лондонским королевским обществом [8], вводятся три типа аммиака, обозначаемые цветами, — по аналогии с водородом в зависимости от технологии производства и величины углеродного следа:

«Коричневый» аммиак — из природного газа без использования технологий фиксации углекислого газа. Его стоимость без учета платы за эмиссию оценивается в €170–320 за тонну.

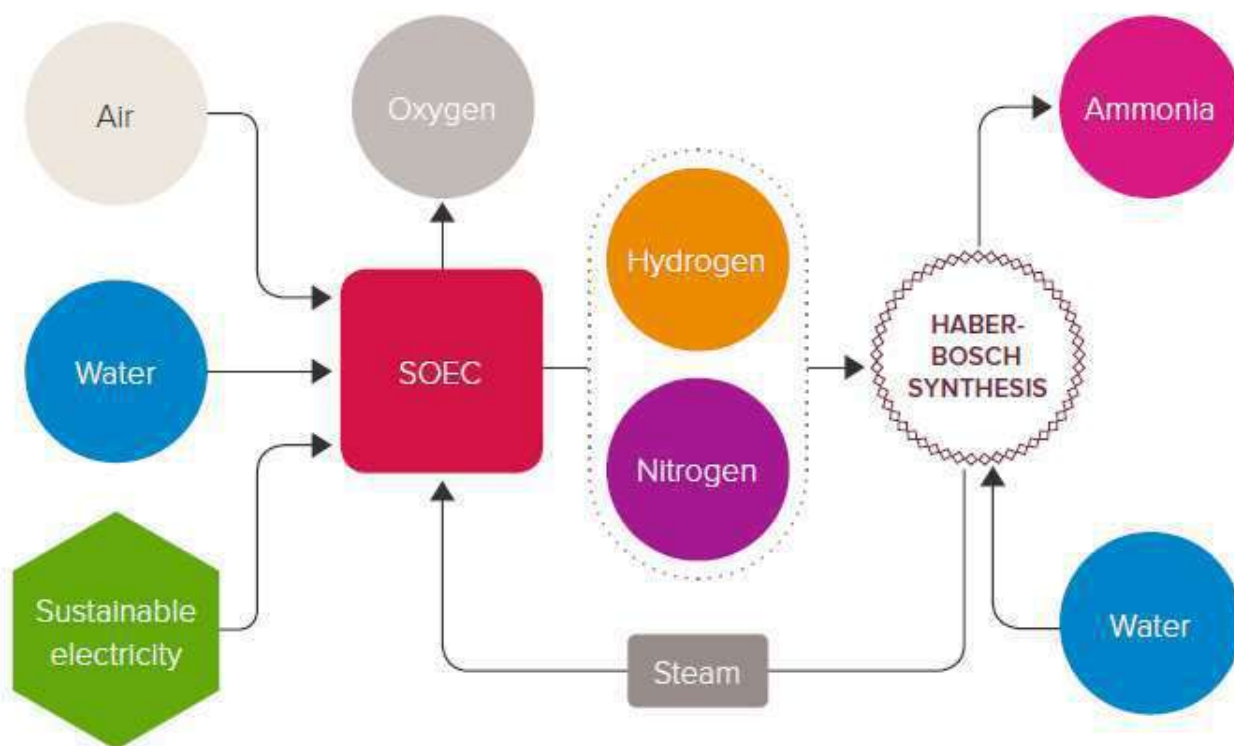
«Голубой» аммиак — из природного газа с применением технологии CCUS. Стоимость без учета платы за эмиссию оценивается в диапазоне €190–360 за тонну в зависимости от того, на всех ли стадиях процесса используется технология CCUS.

«Зеленый» аммиак — из «зеленого» водорода, произведенного электролизом с использованием электроэнергии от ВИЭ. Стоимость оценивается в широком диапазоне €220–1220 за тонну в зависимости от LCOE производства электроэнергии на основе ВИЭ в том или ином регионе.



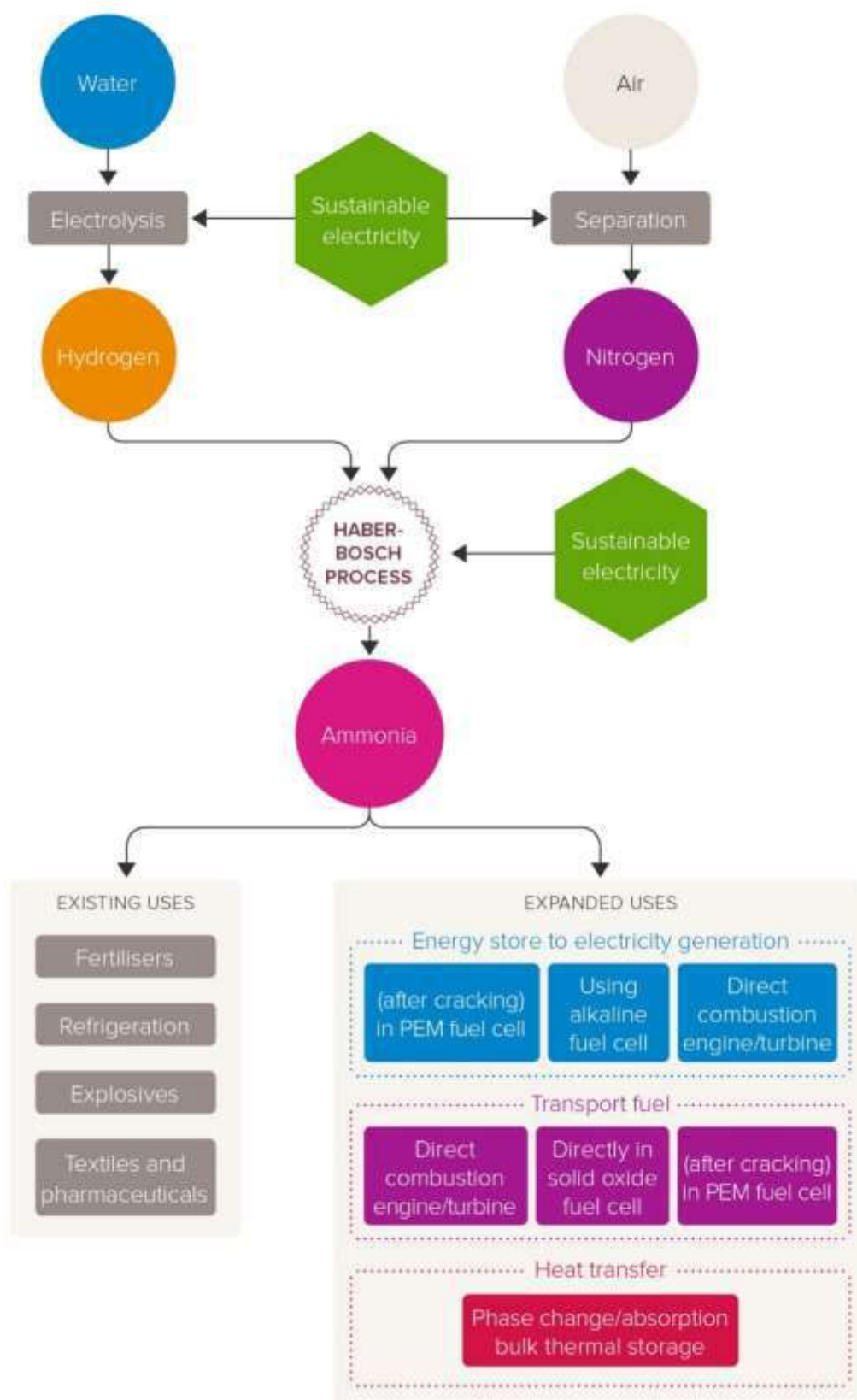
Приведенная стоимость аммиака (€ за тонну) и эмиссия парниковых газов при производстве аммиака (тонна на тонну аммиака). Источник: Royal Society

Технология производства «зеленого» аммиака объединяет хорошо отработанные технологии электролиза воды и процесса Габера — Боша, ее TRL достигает 5–9 в зависимости от исполнения. Пилотные установки-демонстраторы производительностью 20–30 кг в день работают в Фукусимском институте возобновляемой энергетики (AIST) в Японии и Лаборатории Резерфорда — Эплтона (RAL) в Великобритании [9].



Принципиальная схема производства «зеленого» аммиака с использованием батареи твердо-оксидных электролизных ячеек (SOEC), разрабатываемых в проекте SOC4NH₃. Источник: Royal Society

Оригинальную разработку альтернативной технологии получения углеродно-нейтрального аммиака ведет датская компания Haldor Topsøe в кооперации с Орхусским университетом, Техническим университетом Дании, датским системным оператором и компаниями Vestas, Equinor и Ørsted в рамках проекта SOC4NH₃ [\[10\]](#). Цель проекта — создание батареи твердо-оксидных электролизных ячеек, способных осуществлять одновременно электролиз воды и сепарацию воздуха с выделением кислорода. Ожидается, что эта технология позволит на 5–10% снизить расход энергии на производство аммиака.



Принципиальная схема производства и применения аммиака в качестве энергоносителя и химического сырья. Источник: Royal Society

Дополнительный стимул проектам, связанным с «зеленым» водородом, в частности, проектам по производству и применению углеродно-нейтрального аммиака должно

придать то, что поддержке таких водородных проектов уделяется очень большое внимание в рамках новой, пост-коронавирусной редакции «Европейской зеленой сделки» — пакета мер «Зеленой сделки по восстановлению экономики» [11]. В частности, в сфере водородной энергетики теперь будет использован такой хорошо зарекомендовавший себя механизм косвенного субсидирования, как контракты на разницу цен (CfD). Механизм предполагает заключение контракта между консорциумом, реализующим проект в области производства «зеленого» водорода, и назначенной ЕС банковской структурой, по которому эта структура обязана компенсировать консорциуму потери, возникшие ввиду потенциальной разницы между заявленной в проекте ценой водорода и той ценой, которая установится на момент выхода проекта на рынок. Таким образом, в рамках «Зеленой сделки» за счет CfD, по сути, страхуется маржинальность первой волны водородных проектов, попадающих под действие пакета мер ЕС.

[1] [https://unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-\(Series\).aspx](https://unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-(Series).aspx)

[2] <https://theicct.org/marine>

[3] <https://www.ft.com/content/2014e53c-531f-11ea-a1ef-da1721a0541e>

[4] <https://www.ammoniaenergy.org/articles/direct-ammonia-fuel-cells-take-another-step-forward-in-japan/>

[5] [https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351\(19\)30321-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2542435119303216%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(19)30321-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2542435119303216%3Fshowall%3Dtrue)

[6] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/marine-sector-looks-to-ammonia-to-decarbonize-shipping>

[7] <https://www.globalmaritimeforum.org/news/the-scale-of-investment-needed-to-decarbonize-international-shipping>

[8] <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf>

[9] <https://ammoniaindustry.com/green-ammonia-pilot-plants-now-running-in-oxford-and-fukushima/>

[10] <https://blog.topsoe.com/ammonia-can-become-the-co2-free-fuel-of-the-future>

[11] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/a-green-hydrogen-cfd-and-eu-wide-renewables-tenders-leak-lifts-lid-on-eus-green-deal>

Небо, море, водород...

Водородная декарбонизация транспорта — в небе и на воде

Дата: 2 июня

Автор: Игорь Чаусов

Водородные технологии становятся все более модной темой, приобретая в глазах энергетических компаний статус не только многообещающего, но и «горячего», актуального направления, не приняв участие в развитии которого они рискуют опоздать на новые рынки. Например, согласно опросу консалтинговой компании DNV GL, проведенному среди почти тысячи руководителей и специалистов корпораций нефтегазового сектора, 42% респондентов ожидают, что их компании уже в 2021 году будут инвестировать в водородные проекты [\[1\]](#). Примечательно, что год назад этот показатель был всего 20%.



Самолет на водородных топливных элементах. Источник: ZeroAvia

Инвестиции в водородную энергетику становятся все более привлекательными за счет того, что она приобретает в странах ЕС статус одного из магистральных направлений выхода из кризиса и восстановления после пандемии. В рамках антикризисных предложений Европейской комиссии — плана «Новое поколение ЕС» с бюджетом в €750 млрд — реанимация европейской экономики напрямую связана с реализацией Европейской зеленой сделки, в частности, с построением «чистой водородной экономики» [\[2\]](#).

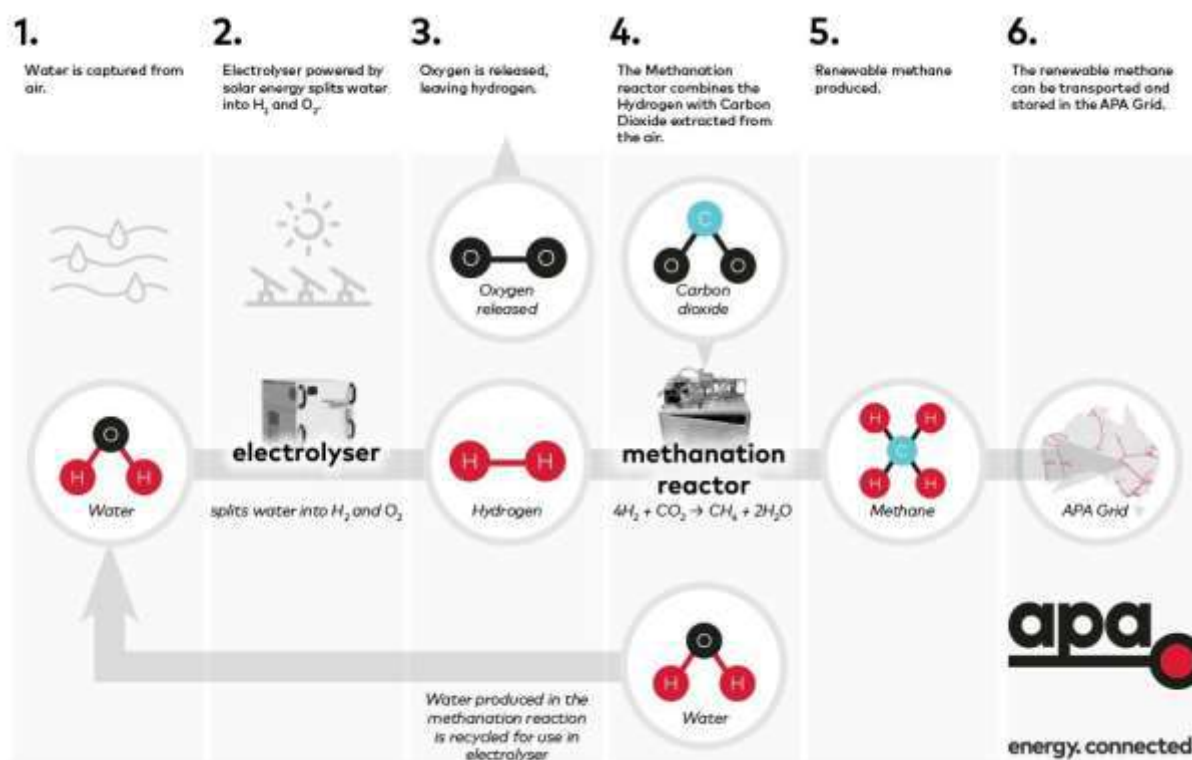
Одной из самых необычных, но при этом перспективных сфер приложения водородных усилий становится декарбонизация воздушного и морского транспорта. Несмотря на сложно преодолеваемые технико-экономические барьеры в этих областях, связанные со стоимостью водородных систем и трудностями при хранении достаточного

количества водорода на борту, в Европе запускается сразу несколько комплексных проектов в сфере водородной декарбонизации воздушного и морского транспорта.



Аэропорт Копенгагена

Самый крупный и многосоставный из таких проектов стартовал в конце мая в аэропорту Копенгагена. Проектный консорциум в составе ветроэнергетического концерна Ørsted, судового гиганта A.P. Moller-Maersk и скандинавских авиакомпаний SAS намерен создать электролизное производство водорода, использующее электроэнергию от оффшорных ветрогенераторов общей мощностью более 5 ГВт, расположенных вокруг балтийского острова Борнхольм. На первом этапе проекта мощность электролизеров составит всего 10 МВт, а водород будет использоваться только для заправки автобусов, тягачей и грузовиков в аэропорте. Но на втором этапе проекта, который намечен на 2027 год, предполагается создать рядом с аэропортом производство синтетического топлива на базе «зеленого» водорода и углекислого газа, полученного в рамках технологий CCUS. Метанол будет производиться для заправки судов Moller-Maersk, синтетический керосин — для пассажирских лайнеров SAS. Электролизные мощности на этом этапе достигнут 250 МВт, а к проекту в качестве потребителей такого углеродного-нейтрального топлива намерены присоединиться местная паромная компания DFDS и логистический оператор DSV Panalpina. Наконец, на третьем этапе проекта к 2030 году мощность электролизеров достигнет 1,3 ГВт, а уровень замещения традиционного топлива у потребителей — 30% [3].



Процесс получения синтетического метана. Источник: APA Group

Производство и применение углеродно-нейтральных синтетических топлив из водорода и углекислого газа, с одной стороны, решает проблему относительно низкой объемной энергоемкости чистого водорода, но, с другой стороны, само по себе представляет собой технический барьер. Похожая технология, также не дошедшая еще до стадии коммерческого применения, отрабатывается в Австралии в рамках запущенного в этом году пилотного проекта по производству синтетического метана из «зеленого» водорода и использования этого метана в газораспределительной сети Южной Австралии [4]. Проект, финансируемый Австралийским агентством по возобновляемой энергетике (ARENA), ведут технологическая компания APA Group и местные газовые сети Southern Green Gas.



Индустриальный парк Монгстад (Норвегия), на базе которого создается водородная инфраструктура для заправки кораблей. Источник: Equinor

Не менее амбициозный скандинавский проект в сфере водородной энергетики для морского транспорта стартовал недавно в Норвегии на базе индустриального парка Монгстад в провинции Вестланн. В рамках проекта создается инфраструктура для заправки судов жидким водородом, производимым на нефтехимических мощностях компании Equinor. Кроме норвежского нефтяного гиганта, в проектный консорциум входят компании BKK и Air Liquid, а фирмы Wilhelmsen и NorSea ведут разработку грузовых судов на жидком водороде [\[5\]](#). Первым судном такого типа в рамках проекта должен стать морской паром Топека. В качестве потребителей жидкого водорода в проект собираются войти паромные компании Norled и Viking Ocean Cruises. Во многом похожий на проекты в Дании и Норвегии Ланкастерский водородный хаб, в рамках которого водород будет использоваться как топливо для региональных поездов и паромов, создается в Великобритании [\[6\]](#), о чем мы уже [писали](#) в своих заметках.



Концепт водородного паромы Topeka. Источник: Wilhelmsen

В то же время ряд норвежских компаний занимаются применением жидкого водорода на пассажирских судах. Системный интегратор Norwegian Electrical Systems совместно с судостроительной фирмой Naviard Design намерен по заказу крупного судовладельца Navita в 2023 году спустить на воду первый в мире круизный лайнер на водородных топливных элементах мощностью 3,2 МВт и жидком водороде [7]. О некоторых проектах в сфере водородного морского транспорта — на базе [«солнечного» водорода](#) и на базе [аммиака](#) — мы уже писали в своих заметках.



Концепт норвежского водородного пассажирского лайнера. Источник: Naviard Design

Всего же по оценкам Европейского агентства по безопасности на морском транспорте (EMSA), DNV GL и Roland Berger, в мире насчитывается более 10 активных проектов гражданских судов на топливных элементах [8], по результатам которых можно сделать вывод, что пока что за счет существенно более высокой стоимости самих судов и топливной инфраструктуры в портах стоимость владения такими судами на жизненном цикле будет на 50% больше, чем кораблями на дизельном топливе [9].



Концептуальная схема авиационного транспорта на «зеленом» водороде. Источник: ZeroAvia

Применение водорода в пассажирской авиации — еще более сложная задача, чем достижение приемлемых экономических показателей его использования на морском транспорте. Тем не менее, в рамках решения этой задачи в последнее время также наблюдается высокая проектная активность, связанная с ростом спроса на решения по декарбонизации авиации. По оценкам Roland Berger, если сегодня вклад пассажирских самолетов в эмиссию парниковых газов составляет всего лишь 2,5%, то к 2050 году — во многом в силу ожидающихся успехов в декарбонизации других отраслей экономики — эта доля вырастет до 19–24%. При этом сегодня авиационный керосин с учетом топливной системы пассажирского лайнера обеспечивает плотность хранения энергии на борту на уровне 9,5 кВт·ч/л, тогда как жидкий водород — в лучшем случае 2,1 кВт·ч/л [10]. Хорошо известен ряд уже закрытых проектов применения жидкого водорода в авиации, например, знаменитая летающая лаборатория Ту-155, регулярно экспонируемая на МАКС.



Самолет «Сигма-4» на МАКС-2019. Источник: журнал «Профиль»

Тем не менее, попытки создания пассажирских летательных аппаратов на водороде в последнее время приобрели второе дыхание. Некоторые проекты уже увенчались успехом: американский четырехместный прототип HY4 с дальностью полета до 1500 км и крейсерской скоростью 145 км/ч совершил свой первый полет [\[11\]](#). В прошлом году на МАКС был продемонстрирован российский двухместный прототип «Сигма-4» на топливных элементах, созданных в Центре компетенций НТИ по новым и портативным источникам энергии [\[12\]](#).

Наши соотечественники играют ключевую роль и в создании американского прототипа легкомоторного самолета на водороде, который разрабатывает компания ZeroAvia, получившая грант в £2,7 млн от британского правительства [\[13\]](#). Этот калифорнийский стартап создает 20-местный водородный самолет на топливных элементах с дальностью до 500 км на базе легкомоторного Piper PA-46-350P [\[14\]](#).



Концепт водородного аэротакси. Источник: Bartini

Наиболее футуристическое направление в водородном авиатранспорте — летающие такси, основанные на применении мультикоптерных технологий. Об одном из таких проектов — Alaka'i Skai — мы недавно [писали](#), но этот проект — далеко не единственный в своем роде. Большую активность в создании коптерных такси на водороде проявляют российский стартап Bartini с проектом 4-местного аэротакси с дальностью полета до 550 км и скоростью 300 км/ч [\[15\]](#) и израильская компания Metro Skyways с летающим автомобилем на 6–14 мест с дальностью 150 км и скоростью 270 км/ч, который эта компания в настоящее время переводит с аккумуляторных батарей на водород [\[16\]](#).

[1] <https://www.dnvgi.com/publications/heading-for-hydrogen-176253>

[2] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_940

[3] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/orsted-to-power-decarbonization-hub-for-land-sea-and-air-transport>

[4] <https://www.apa.com.au/news/media-statements/2020/apa-groups-renewable-methane-pilot-project-receives-arena-funding/>

[5] <https://norseagroup.com/news/the-fuel-of-the-future-will-be-produced-at-mongstad>

[6] <https://www.lancaster.ac.uk/energy-lancaster/research/hydrogen-hub/>

[7] <https://www.rechargenews.com/transition/world-s-first-liquid-hydrogen-fuel-cell-cruise-ship-planned-for-norway-s-fjords/2-1-749070>

[8] <http://www.emsa.europa.eu/component/flexicontent/download/4545/2921/23.html>

[9] <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/10/f68/fcto-h2-at-ports-workshop-2019-viii4-boillot.pdf>

[10] <https://www.rolandberger.com/en/Publications/Hydrogen-A-future-fuel-of-aviation.html>

[11] <http://hy4.org/hy4-technology>

[12] <https://iz.ru/907093/2019-08-06/rossiiskii-vodorodnyi-samolet-predstaviat-na-maks-2019>

[13] <https://www.zeroavia.com/press-release-18-09-2019>

[14] <https://www.zeroavia.com>

[15] <https://bartini.aero>

[16] <http://metro-skyways.com/evtol.html>

Водородный реванш против углеродных пошлин

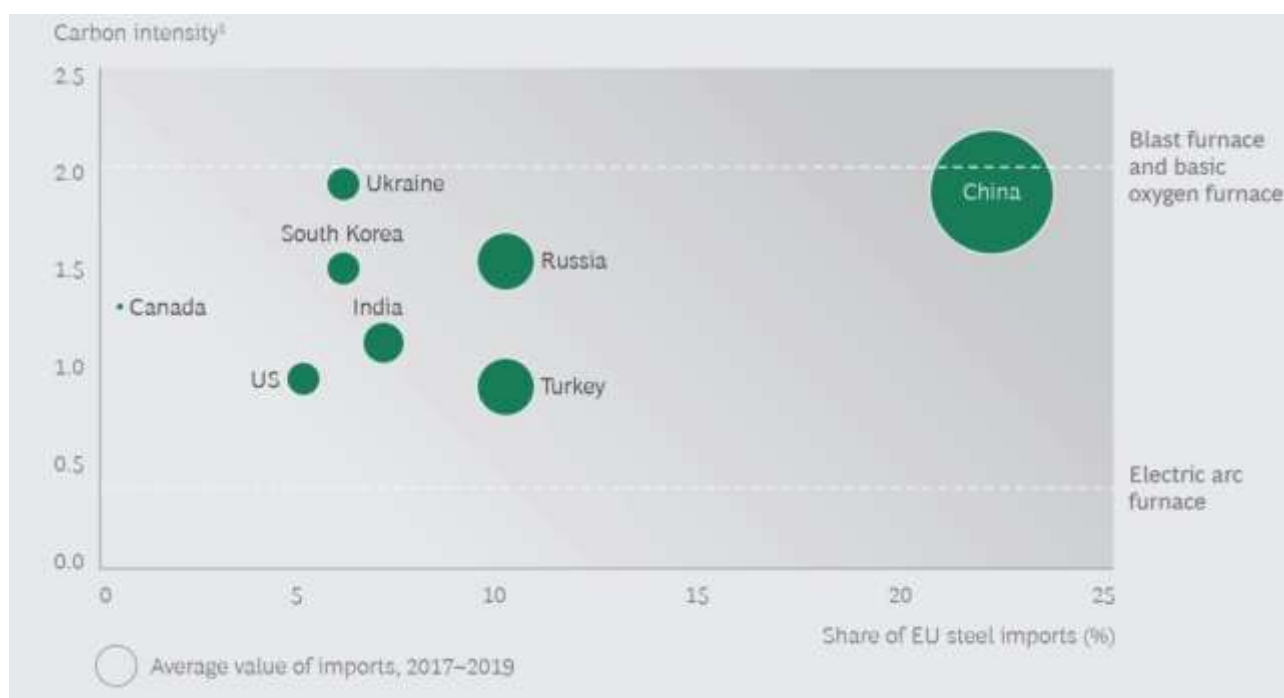
Риски и возможности, которые приносит России декарбонизация Европы

Дата: 9 июля

Автор: Игорь Чаусов

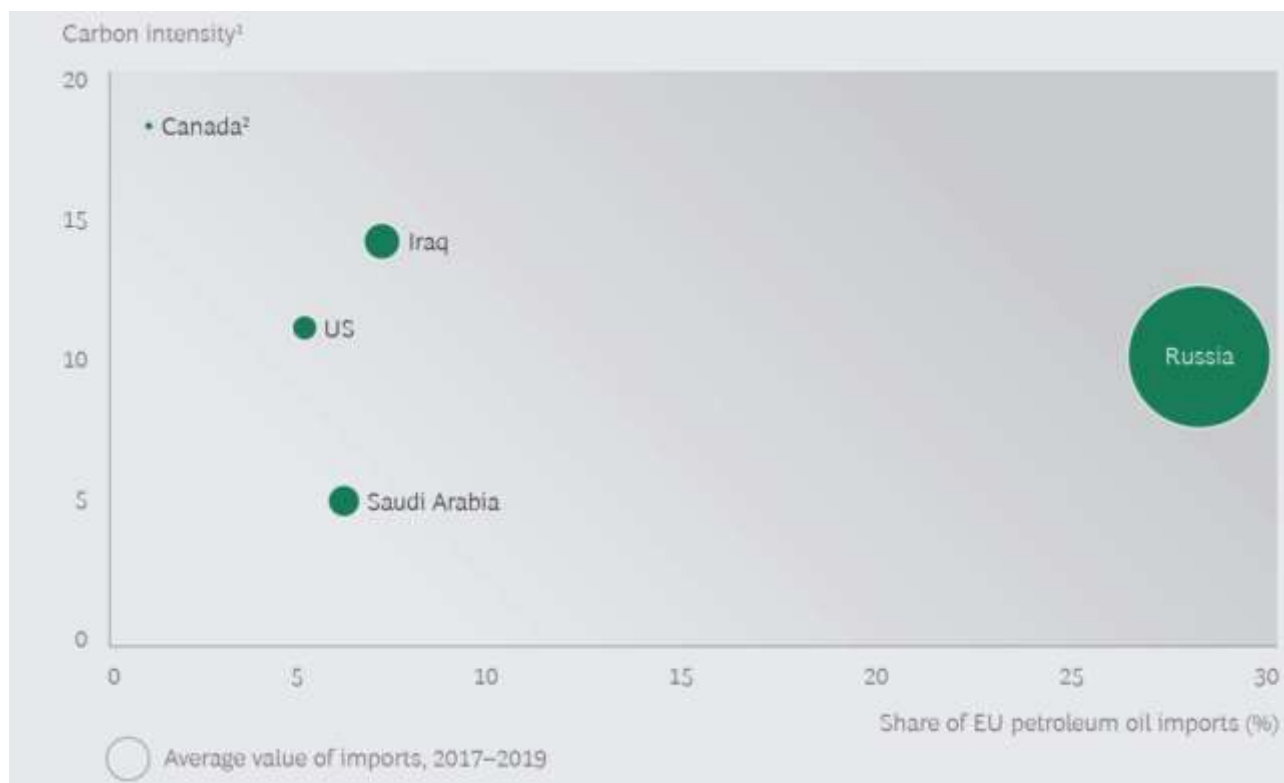
Декарбонизация Европы может нанести новый удар по российской экономике. Политика Европейского союза по построению углеродно-нейтральной экономики вплотную подбирается к введению так называемой углеродной пошлины, или механизма пограничного углеродного регулирования (СВАМ). Механизм СВАМ предполагает платеж за ввоз товаров в ЕС, пропорциональный углеродному следу этих товаров. Величина платежа и способ определения углеродного следа — вопросы пока что дискуссионные, но размер новой пошлины оценивается в \$25–30 за тонну-эквивалент CO₂ — на уровне цены эмиссии в европейской системе торговли выбросами (ЕТС) [\[1\]](#). Законопроект находится в Европейской комиссии на второй стадии обсуждения, его принятие планируется во втором квартале 2021 года [\[2\]](#).

KPMG оценивает потенциальные потери российский экспортеров, связанные с новой пошлиной, от €6 млрд в 2028–2030 годах при оптимистичном сценарии ее введения, предполагающем отсрочку начала действия механизма, до €50,6 в 2022–2030 годах, если пошлину, согласно пессимистичному сценарию, введут без отсрочки, и она будет учитывать косвенные выбросы парниковых газов [\[3\]](#).



Углеродный след (тонн CO₂ на единицу продукции) и доля рынка ЕС некоторых стран-экспортеров стали. Источник: BCG

BCG в своем анализе называет Россию в числе стран, для которых возникающие риски особенно велики. Россия является одним из крупнейших поставщиков стали и стального проката и крупнейшим поставщиком нефти и нефтепродуктов в Европу, но при этом удельные выбросы CO₂ на единицу продукции в России выше, чем во многих странах-конкурентах, присутствующих на европейском рынке. BCG оценивает связанное с углеродными пошлинами потенциальное снижение прибыльности продажи нефти на 20% и стали на 40%. Но за счет меньшего углеродного следа при добыче нефти Саудовская Аравия, например, будет платить за эту нефть пошлину на 30–50% меньшую, чем Россия [\[4\]](#).



Углеродный след (тонн CO₂ на единицу продукции) и доля рынка ЕС некоторых стран-экспортеров нефти. Источник: BCG

Но декарбонизация европейской экономики создает не только риски, но и возможности для России. Главная из этих возможностей и одновременно ключ к решению намечающейся проблемы с углеродными пошлинами — построение водородной энергетики. Российский водород, конкурентным преимуществом при производстве которого послужит как дешевая электроэнергия, так и дешевый природный газ, может стать как новым «чистым» экспортным продуктом, так и средством для снижения «углеродной емкости» экспортируемой стали.

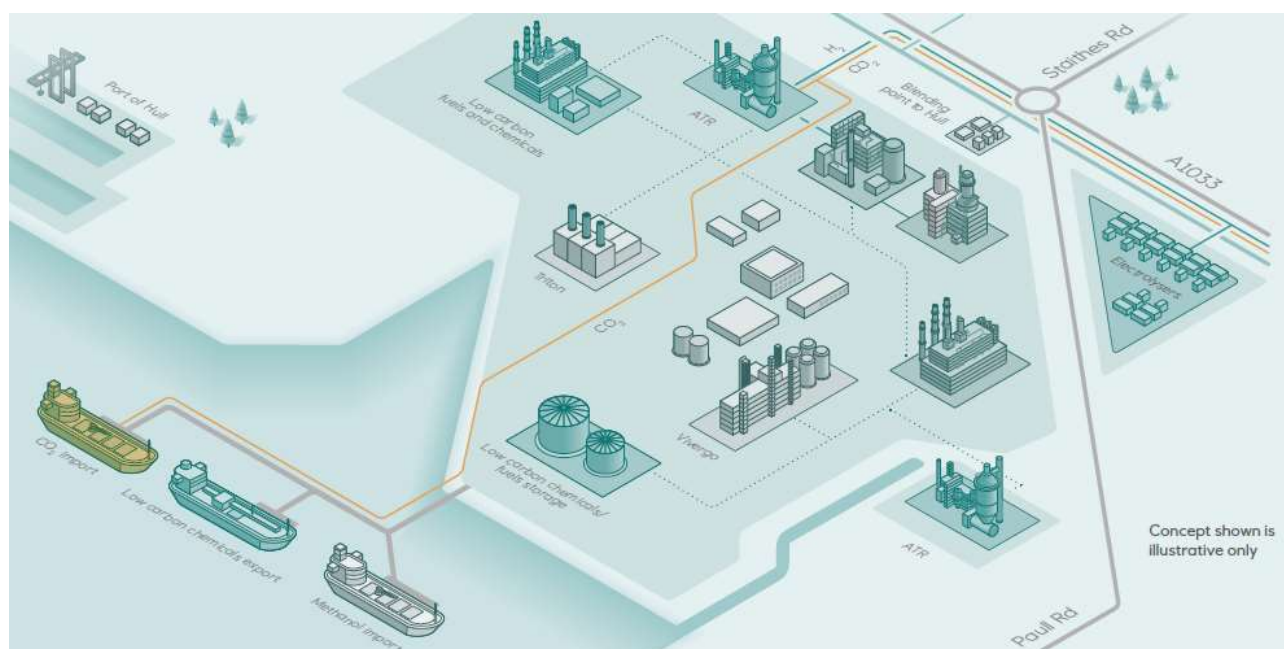
Позиции России на формирующемся водородном рынке улучшает то, что европейские страны рассматривают возможности использования как «зеленого» водорода, полученного электролизом на базе ВИЭ, так и «голубого» водорода, полученного конверсией метана с применением CCS [\[5\]](#). При этом недавно опубликованная

«Национальная водородная стратегия Германии» предполагает потребность страны в водороде к 2030 году на уровне 5,3–6,8 млн тонн в год и явно признает, что обеспечить эту потребность без импорта будет невозможно [6].

Обнародованная вчера «Водородная стратегия для климатически нейтральной Европы» предполагает, что мощности ЕС по производству «зеленого» водорода к 2030 году достигнут 10 млн тонн в год, и так же называет международную торговлю и импорт водорода важными составляющими достижения углеродной нейтральности [7]. Стратегия ЕС, аналогично немецкой, предполагает как использование «возобновляемого» водорода, так и водорода, полученного из газа.

«Некоторые из нынешних поставщиков газа в ЕС <...> рассматриваются в качестве экспортеров чистого водорода»

«Водородная стратегия для климатически нейтральной Европы»



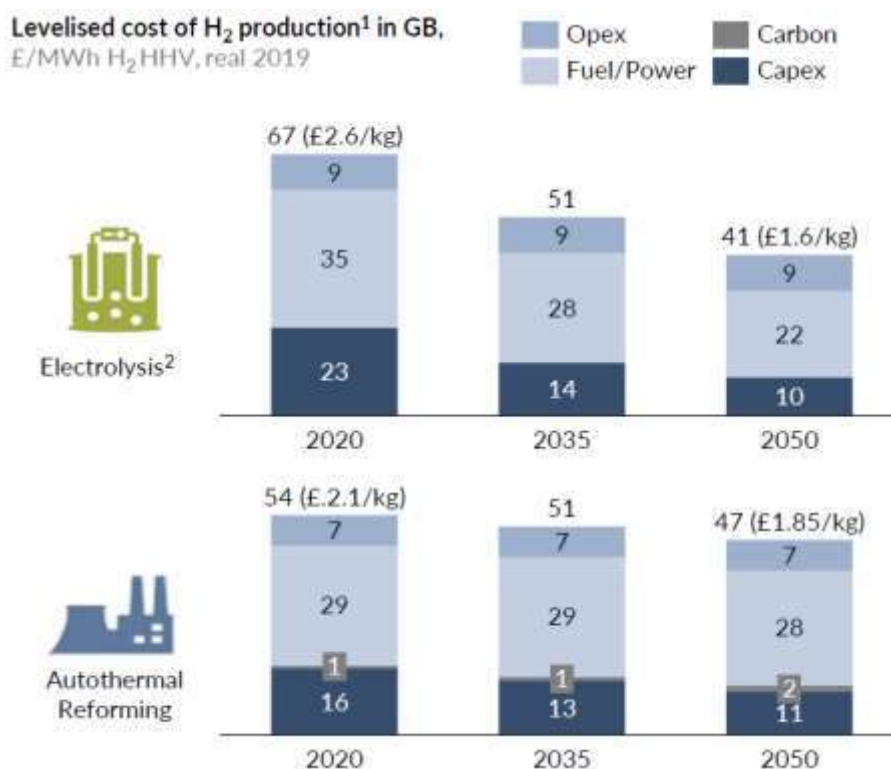
Концепт водородного химико-энергетического кластера H2N Saltend. Источник: Equinor

Можно утверждать, что в настоящее время за счет лоббистских усилий крупной промышленности в мире наблюдается рост интереса к «голубому» водороду. Например, Equinor объявил о планах создания в английском регионе Хамбер проекта H2N Saltend по производству «голубого» водорода на базе риформера метана (ATR) мощностью 600 МВт, который будет поставлять водород химическому промышленному парку Салтенд и местной газовой электростанции, переходящей на использование смеси метана с 30% водорода [8]. Интересно, что проект — в случае масштабирования — будет нацелен на экспорт водорода в ЕС.



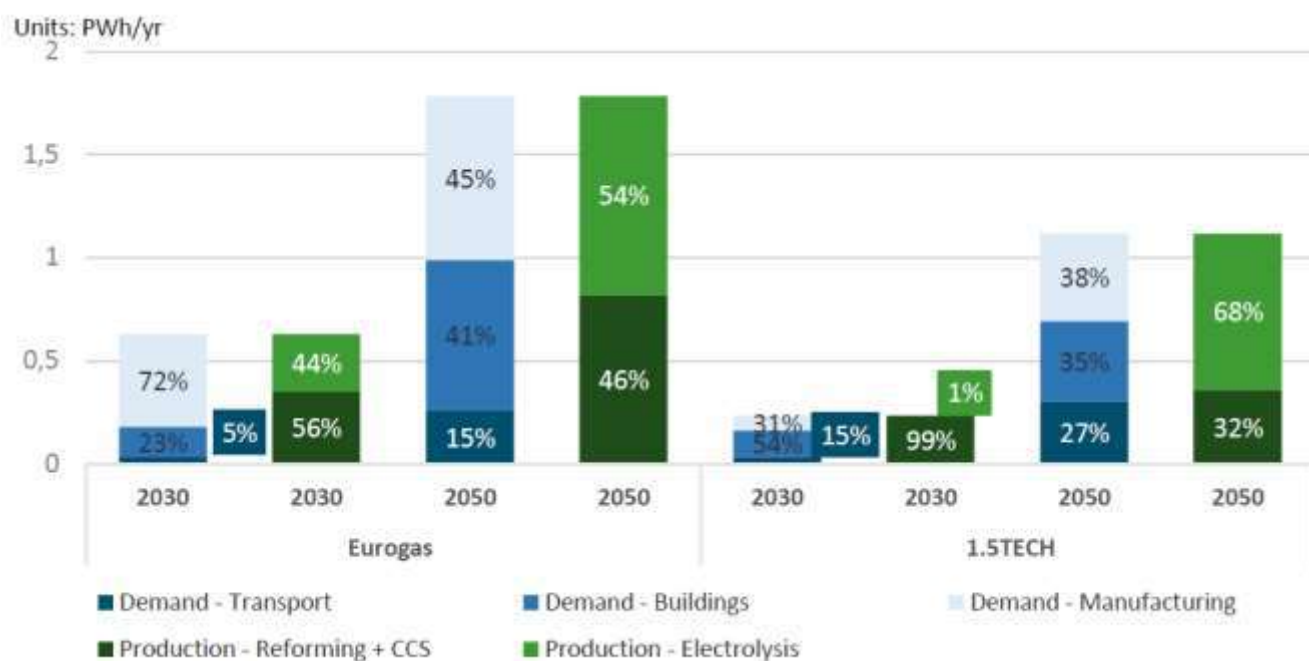
Индустриальный парк Салтенд. Источник: Equinor

Аналитическое агентство Aurora Energy Research в своем исследовании пришло к выводу, что потребность Великобритании в водороде для существенной декарбонизации экономики может составить к 2050 году 10–30 млн тонн при стоимости водорода £1,6–1,9 за кг, причем в ряде сценариев до 73% этого водорода будет производиться из газа [9]. Наиболее интересный вывод исследования состоит в том, что между стоимостью декарбонизации экономики за счет «зеленого» водорода и за счет водорода, полученного из газа с применением CCS, нет принципиальной разницы, и это существенно осложняет выбор между вариантами водородной стратегии. DNV GL в своем отчете для ассоциации EUROGAS также приходит к выводу, что в 2050 году доля «голубого» водорода останется высокой — до 46% [10].



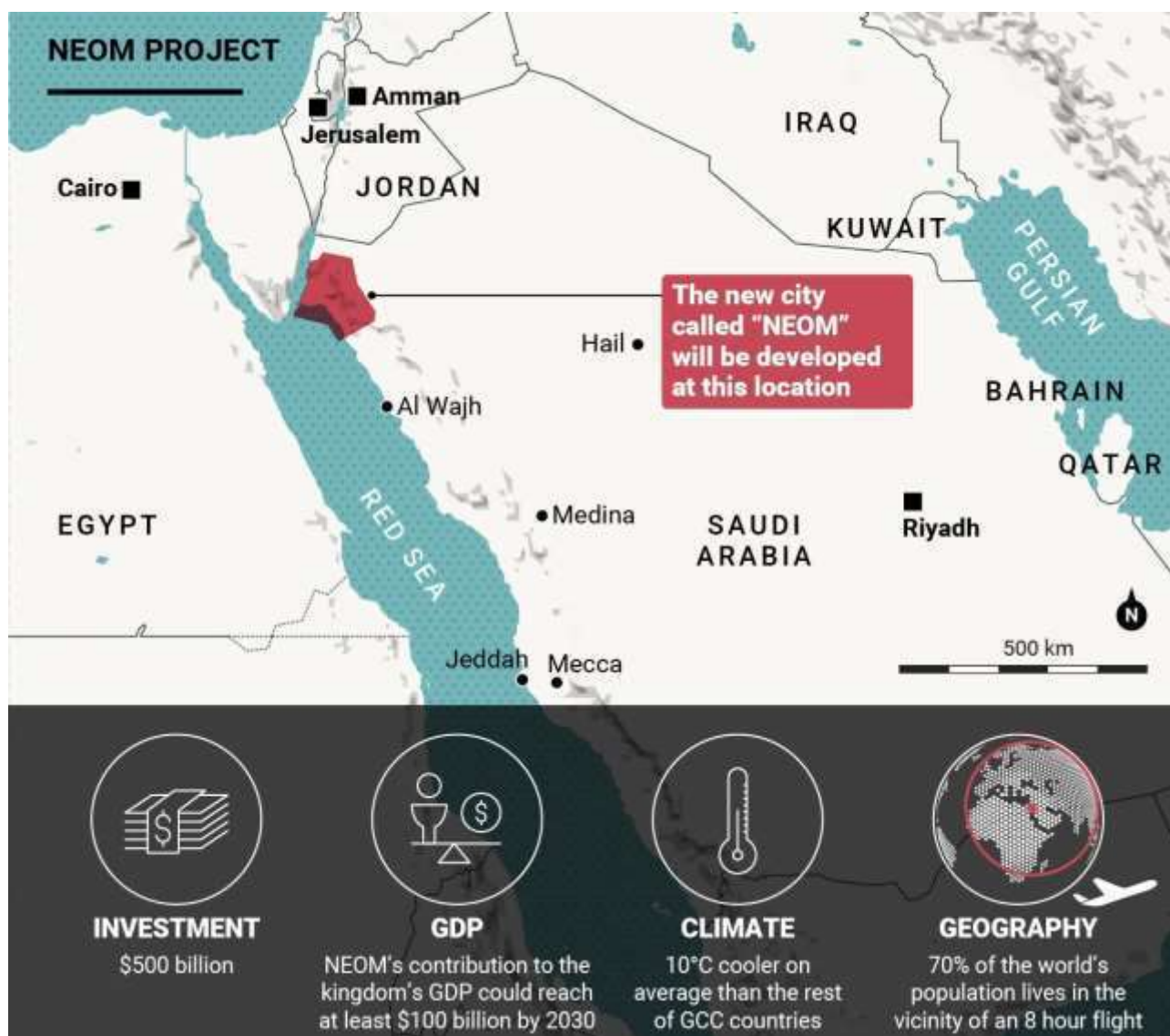
Прогноз себестоимости производства водорода (£ за МВт·ч) в Великобритании. Источник: Aurora Energy Research

В исследовании Aurora Energy Research, кроме того, приведена оценка возможности использования водородной газовой генерации как источника гибкости: при КИУМ такой пиковой генерации 15%, себестоимость выработки электроэнергии на водородной ПГУ составит £158 за МВт·ч при себестоимости выработки на ПГУ на метане в размере £147 за МВт·ч. Другую возможность использования водородной энергетики для обеспечения энергетической гибкости на базе завода в Дуйсбурге продемонстрировали Thyssen Krupp и E.ON, успешно проведя на своих электролизерах серию сертификационных тестов для оборудования, принимающего участие в первичном регулировании частоты и мощности [11].



Производство и потребление водорода в Европе (ПВт·ч в год), необходимое для полной декарбонизации энергетики, согласно разным сценариям. Источник: DNV GL

Тем временем, традиционный нефтегазовый визави России — Саудовская Аравия, — напротив, решила сделать ставку на экспорт «возобновляемого» водорода в рамках проектного соглашения американского гиганта Air Product, саудовской ACWA Power и проектируемого в Саудовской Аравии города Neom. Электролизеры Thyssen Krupp производительностью 650 тонн водорода в день будет использовать электроэнергию от солнечных панелей и ветрогенераторов общей мощностью 4 ГВт, причем водород будет поставляться в виде аммиака, производимого по технологии Haldor Topsøe [12].



Расположение проектируемого города будущего Neom. Источник: Discoverneom

С учетом перспективы углеродных пошлин, надвигающихся вслед за «зеленым» восстановлением европейской экономики, для России становится все более актуальным не упустить возможность водородного реванша, которая открывается как в газовом секторе, так и в электроэнергетике, и даже в декарбонизации собственной промышленности.

[1] <https://www.niskanencenter.org/the-european-union-plans-to-implement-a-carbon-border-adjustment-mechanism/>

[2] <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12228-Carbon-Border-Adjustment-Mechanism>

[3] <https://www.rbc.ru/business/07/07/2020/5f0339a39a79470b2fdb51be?from=newsfeed>

[4] <https://www.bcg.com/ru-ru/publications/2020/how-an-eu-carbon-border-tax-could-jolt-world-trade.aspx>

- [5] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/europes-green-hydrogen-revolution-is-turning-blue>
- [6] https://www.bmbf.de/files/bmwi_Nationale%20Wasserstoffstrategie_Eng_s01.pdf
- [7] https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
- [8] <https://www.equinor.com/en/news/plan-for-world-leading-clean-hydrogen-plant-in-the-uk.html>
- [9] <https://www.auroraer.com/insight/hydrogen-for-a-net-zero-gb/>
- [10] https://eurogas.org/website/wp-content/uploads/2020/06/DNV-GL-Eurogas-Report-Reaching-European-Carbon-Neutrality-Full-Report.pdf?utm_source=telegram.me&utm_medium=social&utm_campaign=es-na-puti-k-uglerodnoy-neyrlnosti-ro
- [11] <https://renen.ru/e-on-i-thyssenkrupp-svyazyvayut-proizvodstvo-vodoroda-s-rynkom-elektroenergii/>
- [12] <http://www.airproducts.com/Company/news-center/2020/07/0707-air-products-agreement-for-green-ammonia-production-facility-for-export-to-hydrogen-market.aspx>

Сахалин — прорыв в будущее

О формировании территории ускоренного развития новой энергетики

Дата: 4 октября

Авторы: Игорь Чаусов, Дмитрий Холкин

«Это Сахалин, — сказал проводник. — Здесь возможно все»

Э. Веркин

До вылета в коронавирусную Москву после окончания форума «Нефть и газ Сахалина — 2020» оставался еще один день, и мы решили посмотреть своими глазами на те места, которые, судя по планам регионального правительства, могут стать плацдармом для развития новой энергетики. Материализация идей начинается с привязки их к местности, укладывания их в более общий контекст. Для этой цели мы и предприняли небольшое путешествие.



На форуме с большим интересом обсуждался вопрос создания водородного кластера на Сахалине. Источник: фотография автора

На пути к Сахалинскому водородному кластеру

Дорога от Южно-Сахалинска в сторону Корсакова идет между живописными поросшими осенним лесом сопками и вдруг выходит к морю. На рейде белеют сухогрузы, в далекой дымке едва различим темно-зеленый силуэт противоположного берега бухты Лососей, и вид становится совсем открыточным. Немного поплутав между сопек, дорога возвращается к морю и приводит в главный островной порт — Корсаков. Вдоль нее среди индустриальных пейзажей тянется железная дорога, совсем недавно перепрошитая с узкой колеи эпохи Карафуто — японской оккупации юга Сахалина. У причалов современные танкеры соседствуют с порядком поржавевшими траулерами советской постройки, а над городом стелется угольный дымок местных котельных, хотя всего лишь в пяти километрах в Пригородном находится первый в России терминал СПГ. Прошрое в этих местах сталкивается с настоящим, и панорама сегодняшних города и порта наводит на мысли о будущем Сахалина.



Завод по производству СПГ в Пригородном, созданный в рамках проекта «Сахалин-2».

Источник: фотография автора

Этот дальневосточный остров должен стать российским форпостом водородной энергетики. Именно в Корсакове силами Росатома и других участников может быть создан первый в России водородный кластер по производству и широкому

применению водорода [1]. Крупным технологическим, промышленным и инвестиционным партнером проекта может выступить один из ведущих мировых производителей технических газов — компания Air Products [2].

На острове необходимо осваивать производство как «голубого» водорода из природного газа, так и «зеленого» водорода на базе мощностей ВИЭ, при этом ориентироваться и на экспорт в Японию, Южную Корею и Юго-Восточную Азию, и на внутренний рынок. Этот рынок должны сформировать островные водородные инфраструктуры — пригородные поезда на топливных элементах, общественный транспорт и котельные на метан-водородной смеси, водородные заправочные станции для газомоторных автомобилей, а также горнорудная промышленность, где метан-водородная смесь должна использоваться на специальном транспорте. Идея создания и запуска пригородных поездов на водородных топливных элементах уже прорабатывается Росатомом, РЖД и Трансмашхолдингом [3].



Порт Корсаков может стать первой российской точкой на маршруте поставки водорода в Японию, Южную Корею и Юго-Восточную Азию. Источник: фотография автора

На Сахалине действительно есть отличные предпосылки и условия для прорыва к водородному будущему. В пределах 1500 морских миль от Корсакова находятся два перспективных центра потребления водорода в Азии — Япония и Южная Корея, — а

сам новый азиатский рынок водорода к 2040 году может достичь \$40 млрд в год. При этом основные конкуренты за этот рынок — Австралия и Катар — уступают Сахалину в близости логистики. На самом острове имеются огромные производственные возможности: извлекаемые запасы газа оцениваются в 2,1 трлн кубометров, ветропотенциал — в 227 млрд кВт·ч в год (этого хватит на 3,4 млн тонн водорода), и даже на базе уже имеющихся резервов в энергосистеме можно получать больше 40 тыс. тонн водорода в год.



Порт Корсаков — интересный объект для управления нагрузками и электрификации (или перевода на водород) специального портового транспорта. Источник: фотография автора

Водородный кластер отлично вписывается в более широкий контекст идей территориального планирования, которые есть у местных властей и которые включают индустриальный парк, университетский кампус и даже создание нового района города в формате smart city. Так что образ будущего Сахалина становится в Корсакове все более масштабным и комплексным...

Для того чтобы обеспечить эти планы необходимыми компетенциями, Сахалинский государственный университет намерен сформировать сетевой центр компетенций по водородной энергетике и стать центральным узлом этой сети, к которой должны подключиться другие российские университеты, научные, инженерные и

технологические организации. Акцент в СахГУ будет сделан на управлении требованиями к системам и инфраструктурам водородной энергетики и аспектах ее эксплуатации. Этот центр компетенций — первый шаг к учреждению на Сахалине Института перспективных энергетических систем.



Село Новиково названо так в честь знаменитого крейсера «Новик», принявшего в этой бухте в 1904 г. неравный бой с японскими крейсерами

Гибридные энергосистемы за краем электрической сети

Впрочем, водород — не единственное направление развития новой энергетики, для которого Сахалин предлагает референтные условия масштабной реализации. Другая тема, где регион вполне может стать площадкой для отработки передовых российских решений — это автономное энергоснабжение удаленных и изолированных, в первую очередь, островных территорий.

Наше путешествие продолжается, и дорога уходит из Корсакова вдоль моря все дальше на юг. Позади остается завод СПГ, резко контрастирующий своим сияющим на солнце стальным видом с деревянными лодками, сохнувшими сетями и старыми домишками Озерского. Асфальтированная дорога вдруг обрывается и переходит в грунтовку, в какой-то момент позади остается вся энергетическая инфраструктура, и мы оказываемся за краем электрической сети. Здесь, почти что на самом краю острова

находится изолированное поселение Новиково. Дорога снова петляет от побережья к сопкам и обратно и приводит нас к пляжу, на котором стоят два ветрогенератора Vestas мощностью по 225 кВт каждый. Они — часть местной 5-мегаваттной гибридной ветродизельной электростанции, питающей село в рамках отдельного энергоузла. Эта электростанция — один из немногих примеров изолированного микрогрида с гибридной генерацией, в котором ветрогенераторы нужны для снижения расхода дизельного топлива. Впрочем, здесь еще не внедрена современная система оптимального управления, и задача повышения КИУМ ветровых источников за счет различных источников гибкости не решается.



Ветрогенераторы Vestas V25 (225 кВт каждый) в Новиково. Источник: фотография автора

Кроме Новиковского энергоузла, в Сахалинской области на Курильских островах действуют еще пять изолированных энергоузлов общей мощностью более 50 МВт, в том числе еще одна ветродизельная станция в Головино, а также другие изолированные источники энергии на базе дизель-генераторов общей мощностью 8 МВт.

Нужно отметить, что Новиковский энергоузел является энергоизбыточным, в силу низкого потребления КИУМ едва достигает 5%, и излишняя энергия с ветрогенераторов может быть использована для производства водорода.

Производственные возможности на базе уже действующих ветрогенераторов составляют 15 тонн в год. Так что темы автономных гибридных энергосистем и водородной энергетики на Сахалине интересным образом смыкаются.



Ветродизельная электростанция в Новиково — один из немногих примеров гибридной генерации на российских изолированных территориях. Источник: фотография автора

Сплав воли и компетенции

Но все же самый ценный ресурс Сахалина — не ветер или газ. Это — политическая воля региональной власти сделать остров территорией будущего: создать здесь водородный кластер и центр компетенций по эксплуатации водородных инфраструктур, реализовывать передовые решения по энергоснабжению изолированных территорий и вписывать все эти инициативы в контекст территориального планирования и развития области. При наличии воли появятся и ресурсы, и возможности. Помочь в этом, особенно в части поиска и мобилизации передовых технологических компетенций, призвана Национальная технологическая инициатива.



Сахалинский пейзаж: полоса прибоя, пляж с черным песком и белыми ветряками и сопки вдали. Источник: фотография автора

Актуализированная дорожная карта НТИ «Энерджинет» будет нацелена на продвижение и поддержку подобного типа инициатив, в которых имеется технологическое содержание, широкая кооперация и экспортные амбиции. Инфраструктурный центр «Энерджинет» уже вошёл в рабочую группу по вопросам создания на Сахалине водородного центра компетенций и далее намерен осуществлять экспертно-аналитическое сопровождение формирования этой территории ускоренного развития новой энергетики.

Кто с нами на Сахалин?!

1. <https://www.interfax-russia.ru/far-east/news/vodorodnyy-klaster-sobirayutsya-sozdat-na-sahaline-dlya-razvitiya-zelenoy-energetiki-i-eksportu-vodoroda>
2. <http://www.innov-rosatom.ru/news/detail/1478/>
3. <https://www.airproducts.com/industries/hydrogen-energy>

Искусственный интеллект и водород

Facebook поддержал проект математического моделирования свойств катализаторов с целью развития технологий хранения энергии

Дата: 21 октября

Автор: Сергей Минаев

Подразделение Facebook, отвечающее за [развитие систем искусственного интеллекта](#), 14 октября 2020 года объявило о [начале сотрудничества](#) с научной группой профессора [Захари Улисси](#) из Университета Карнеги-Меллон. Цель сотрудничества — получение новых знаний о катализаторах, благодаря которым гипотетически могут быть улучшены характеристики технологий хранения энергии (прежде всего, речь идет о водородных технологиях). Сотрудничество может оказаться довольно перспективным, но и ученые, и заказчики исследования понимают, что роль научного везения в такого рода исследованиях очень велика — слишком много связок «катализатор-процесс» предстоит смоделировать (в легендарной истории перебора вариантов, связанных с открытием сальварсана, успех принесла только 606 попытка после 605 неудач). Основная ставка проекта — это ускорение квантово-механического моделирования в 1000 раз за счет использования методов искусственного интеллекта.

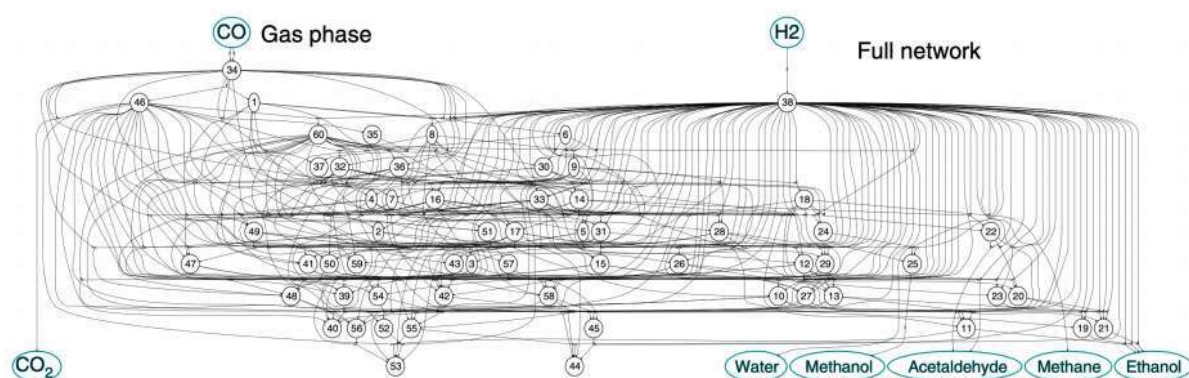
Хранение электроэнергии в «большой» энергетике в настоящее время в основном осуществляется на гидроаккумулирующих электростанциях. Прогресс в области распределенных накопителей — вроде автомобильных и других аккумуляторов — в последние годы очевиден и создает очень соблазнительные перспективы. Нобелевская премия по химии 2019 года за литий-ионный аккумулятор, который был изобретен в начале девяностых годов XX века, вполне показательна. Однако, по мнению Захари Улисси и его коллег (оно высказано в «белой книге» проекта [An Introduction to Electrocatalyst Design using Machine Learning for Renewable Energy Storage](#)), ставка на аккумуляторы такого типа в качестве основных накопителей энергии в масштабе национальной сети США разорительна.

В настоящее время суммарная установленная мощность всех литий-ионных аккумуляторов США оценивается в 0.77 ГВт. Если США когда-нибудь избавятся от всей генерации, кроме ВИЭ, то им может потребоваться накопительная мощность в размере 2 ТВт. Предположив, что перед накопителями может быть поставлена задача создания недельного запаса электроэнергии в масштабах страны (на случай пасмурной и безветренной погоды), Улисси и коллеги оценили стоимость системы, рассчитанной на накопление 250 ТВт·ч, в 128 триллионов долларов. Оценка основана на том, что дальнейшее снижение цен на аккумуляторы маловероятно (за последние десятилетия они уже исчерпали практически весь свой потенциал удешевления). Кроме этого, на Земле может попросту не хватить лития (этот аргумент Улисси приводит явно с легкой иронией).

Очертив масштаб предполагаемого бедствия, ученые из Карнеги-Меллон рассматривают в качестве основного пути хранения энергии водород, который по крайней мере есть где хранить (например, там же, где сейчас хранят природный газ). Но если хранение водорода технически возможно, то с его генерацией и последующим использованием есть значительные проблемы: цикл пока обладает лишь 35% эффективностью, а его стоимость слишком велика из-за того, что основным катализатором в процессе производства водорода сейчас является платина. Катализатор, снижая потенциальный барьер между двумя стабильными состояниями, увеличивает скорость химических реакций и тем самым позволяет производить водород.

Чтобы в будущем снизить стоимость производства водорода, группа Улисси собирается уже сейчас заняться математическим моделированием поведения катализаторов, использующих менее дорогие металлы (и Facebook соглашается, что этим следует заняться). Ученые из группы Улисси хорошо умеют именно это, а еще они понимают, что если в названии исследования 2020 года присутствуют слова «renewable» и «storage», то шансы получить финансирование от таких гигантов, как Facebook, существенно возрастают.

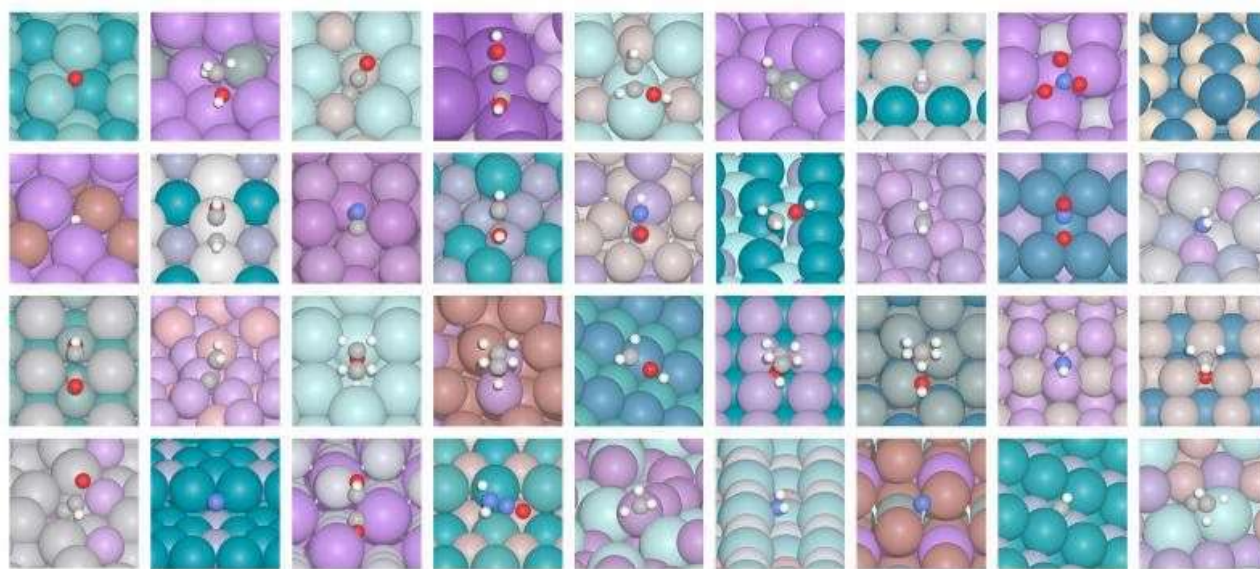
Чем же будет теперь заниматься группа Захари Улисси — примерно 20 молодых человек, а также собака самого профессора по кличке Лайка? Они будут математически моделировать взаимодействие разных вариантов кристаллических решеток катализатора (из одного, двух и более металлов) с молекулами, которые как раз и претерпевают изменения в процессе электрохимической реакции. Вариантов сочетаний металлов десятки тысяч, химических реакций тоже немало, так что расчетов потребуется много.



Варианты химических реакций, связанные с получением водорода

Метод, которым они будут моделировать, новым не назовешь — это [теория функционала плотности](#). Указан и программный пакет, в котором будет проходить моделирование — [VASP](#). Изюминкой решения группы является алгоритм «релаксации» — рассчитанное путем многочисленных итераций состояние минимума энергии, к

которому скатывается конкретная молекула на конкретной кристаллической решетке. Именно тут и должен скрываться секрет эффективности катализатора, и именно это требует часов и дней рутинных расчетов (Facebook предоставит для них свои вычислительные мощности и наработки в области искусственного интеллекта). Использование методов искусственного интеллекта (в частности, машинного обучения) позволит достаточно точно проводить приближенные вычисления. Ожидается, что новый подход сможет ускорить процесс исследования катализаторов (группа Улисси настаивает, что в тысячу раз).



Варианты локализации молекул на кристаллических решетках катализаторов

Подводные камни тоже есть. Лет тридцать назад физики-экспериментаторы подшучивали над физиками-теоретиками, что они создают прекрасные квантовые теории, которые отлично работают примерно до ядра гелия, но уже с бора начинаются проблемы. Теория функционала плотности начинает с успеха в предсказании явлений на простых ядрах в простых сочетаниях и заканчивает расходящимися результатами на тяжелых ядрах, находящихся в обширной кристаллической решетке, и в случае сложных соединений вроде ферментов. Слишком много факторов приходится учитывать, и далеко не все можно учесть точно. Поэтому работа Улисси и его команды по расчету на базе этой модели свойств веществ — это скорее не поиск иголки в стоге сена, а попытка отбраковки заведомо «безыгольного» сена; обнаруженное потенциально «иголкоемкое» сено придется исследовать уже другими, эмпирическими способами (другим людям и на другие деньги).

А раз так, то вполне логичным выглядит шаг сделать этот проект открытым — и он действительно называется [Open Catalyst Project](#). Это понятный шаг для Фейсбука (они инвестируют в высокую науку и в возобновляемую энергетику), для университета Карнеги-Меллон (они заранее объявили создаваемую базу данных по свойствам катализаторов самой большой в мире) и для самих ученых группы Улисси — они заслужат признательность мировой научной общественности хотя бы тем, что будут

делиться с ней результатами своих расчетов, даже если они ничего полезного не найдут. А уж если найдут...

Ускорение математического моделирования в тысячу раз не означает, что катализаторы станут дешевле в тысячу раз (или даже в два раза). Но какой-то шанс на удешевление процесса производства водорода этим математическим моделированием открывается, а в масштабах планеты даже доли процента имеют огромное значение. Поэтому на инициативу Open Catalyst Project следует обратить внимание всем, кто думает о перспективах водородной энергетики — и особенно тем, кто у нас в стране занимается катализаторами.

ПРАКТИКИ ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ

За краем сети: автономная электрификация на марше

О перспективных рынках и новых бизнес-моделях автономной электрификации

Дата: 19 марта

Автор: Игорь Чаусов

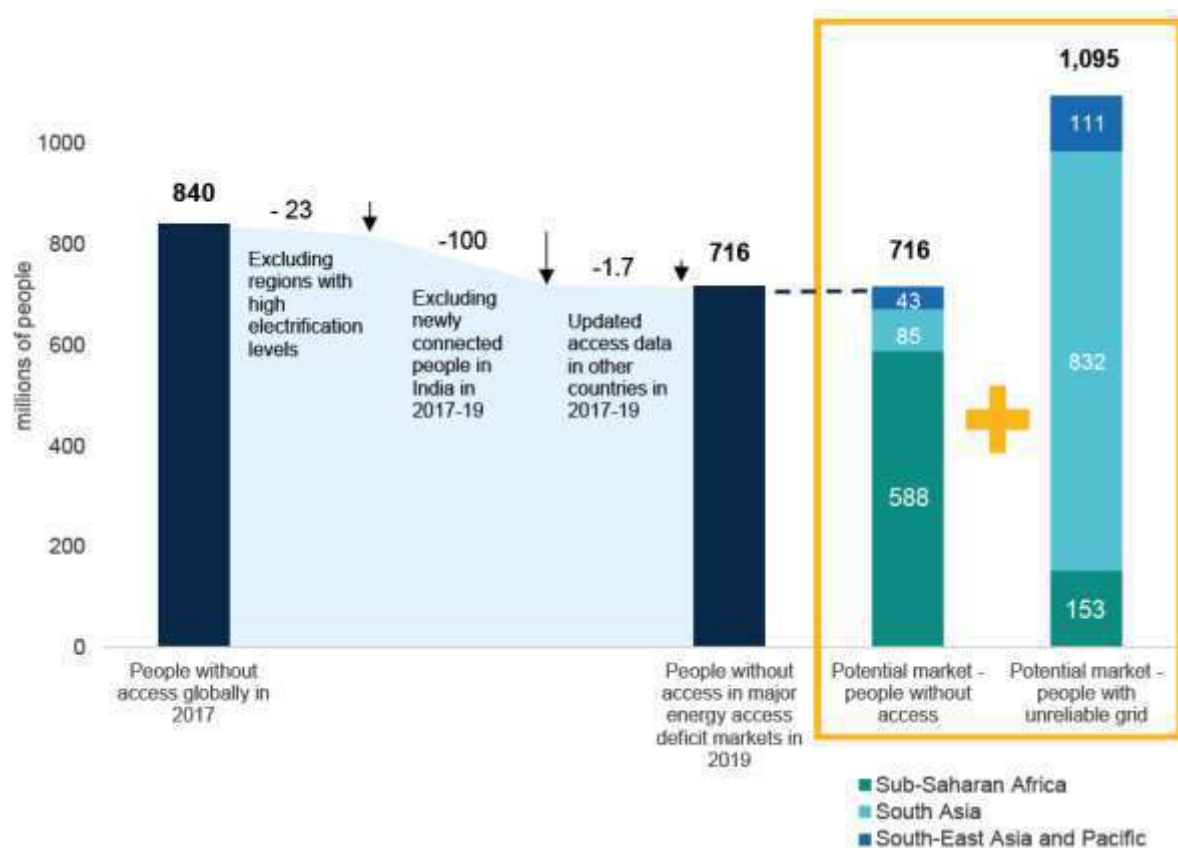
*Вот как жить хотел бы я,
Нужно мне немного:
Свод небес, да шум ручья,
Да еще дорога.*

Роберт Луис Стивенсон



На сегодняшний день более 716 млн человек живут без какого-либо постоянного доступа к электроэнергии, 82% из них — на до сих пор не электрифицированных территориях Африки к югу от Сахары. Кроме того, для более, чем миллиарда человек не обеспечен достаточно надежный и бесперебойных доступ к электричеству, и они могут пользоваться им только несколько часов в день. 76% таких жителей планеты находятся в Южной Азии. При этом за 2017–2019 года за счет развития автономного

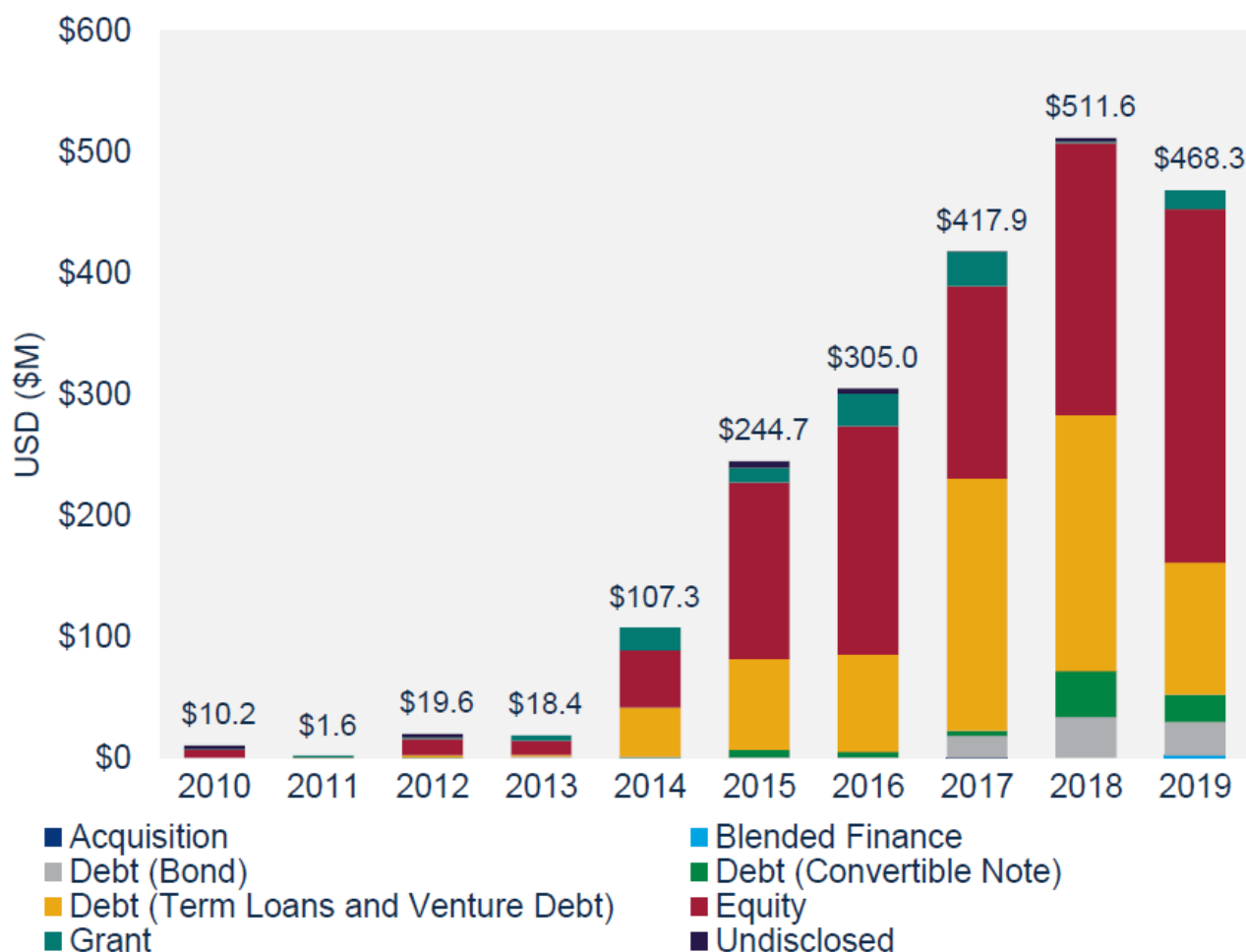
электроснабжения доступ к электричеству и связанным с ним благам цивилизации получили 124 млн человек. Об этом говорят данные программы Lightning Global, подразделения Всемирного банка, международной ассоциации автономной солнечной энергетики Gogla и трастового фонда ESMAP [\[1\]](#).



Число людей, имеющих доступ к электроэнергии в мире, млн человек. Источник: Gogla

Совокупно растущая потребность в электрификации слабо развитых в инфраструктурном плане территорий формирует крупный рынок автономного энергоснабжения. Один только сектор не присоединенной к сетям солнечной микрогенерации в 2019 году достиг годового объема в \$1,75 млрд, и на сегодняшний день такая генерация обеспечивает электроэнергией 420 млн потребителей. Еще 47 млн человек потребляют электроэнергию в рамках изолированных микрогридов и небольших энергосистем с исключительно распределительными сетями низкого напряжения. К 2030 году их число должно вырасти в 2 раза до 823 млн пользователей при инвестициях в сегмент солнечной микрогенерации в среднем по \$440 млн в год.

Доклад Wood Mackenzie подтверждает, что автономная электрификация, в частности, изолированные микрогриды, привлекают одних только корпоративных инвестиций на почти что \$500 млн в год [\[2\]](#).



Корпоративные инвестиции в автономное (не сетевое) электроснабжение. Источник: Wood Mackenzie

Мощным драйвером рынка первичной электрификации стало использование новых бизнес-моделей, практически не распространенных в странах, где есть свои национальные энергосистемы. Наиболее успешной и массовой из этих моделей является так называемая схема pay-as-you-go (PAYG), или предоплата по мере потребления. При этом, как правило, оплачивается в рамках этой модели не электроэнергия, а та функция, тот набор электрических приборов — в основном, телевизоров, вентиляторов и кондиционеров, — ради которых создается автономное электроснабжение.

Энергоснабжающие компании, реализующие модель PAYG, как правило, используют простые платежные платформы с автоматизацией своих активов. На базе этих платформ они ведут анализ пользовательских данных и стремятся предоставить в рамках бизнес-модели Utility 3.0 большое разнообразие сопутствующих и связанных с энергетикой сервисов:

- удаленное обслуживание энергетических активов и повышение энергоэффективности,
- страхование и потребительское кредитование,

- продажа различных товаров первой необходимости,
- обеспечение доступа к чистой воде, Интернету и другим инфраструктурным сервисам.



Еще одним важным трендом в сфере предоставления доступа к энергии на изолированных развивающихся территориях является так называемая «интегрированная электрификация» — комплексное планирование использования местных энергетических ресурсов для развития социальной жизни на территории. В рамках этого подхода ООН, Всемирный банк и созданная ими организация SEforALL выделяют пять уровней доступа домохозяйств к электроэнергии, которые, по существу, обозначают уровни платежеспособного спроса на электроэнергию на слабо электрифицированных территориях [\[3\]](#):

Уровень 1. Электроснабжение, достаточное для освещения. Обеспечение не менее 3 Вт мощности и 12 Вт·ч потребления. Электроэнергия доступна не менее 4 часов в день, из них — не менее 1 часа в темное время суток.

Уровень 2. Электроснабжение, достаточное для освещения, зарядки телефона и одного бытового прибора (телевизора или вентилятора). Обеспечение не менее 50 Вт мощности и 200 Вт·ч потребления. Электроэнергия доступна не менее 4 часов в день, из них — не менее 2 часов в темное время суток.

Уровень 3. Электроснабжение, достаточное для освещения, зарядки телефона, одного бытового прибора и одной нагрузки средней мощности. Обеспечение не менее 200 Вт мощности и 1 кВт·ч потребления. Электроэнергия доступна не менее 8 часов в день, из них — не менее 3 часов в темное время суток.

Уровень 4. Электроснабжение, достаточное для освещения, зарядки телефона, одного бытового прибора и одной нагрузки большой мощности. Обеспечение не менее 800 Вт мощности и 3,4 кВт·ч потребления. Электроэнергия доступна не менее 16 часов в день, из них — не менее 4 часов в темное время суток. Перебои в снабжении происходят не чаще, чем 14 раз в неделю.

Уровень 5. Электроснабжение, достаточное для освещения, зарядки телефона, одного бытового прибора и одной нагрузки очень большой мощности. Обеспечение не менее 2 кВт мощности и 8,2 кВт·ч потребления. Электроэнергия доступна не менее 23 часов в день, из них — не менее 4 часов в темное время суток. Перебои в снабжении происходят не чаще, чем 3 раза в неделю общей длительностью не более 2 часов.

Самый большой рынок в настоящее время формирует задача электрификации для достижения первого из указанных уровней. Общий объем инвестиций, необходимый для достижения этого уровня всеми еще не подключенными к электроснабжению жителями планеты, оценивается в \$6–11 млрд.

[1] <https://www.gogla.org/news/off-grid-solar-industry-grows-into-a-175-billion-annual-market-new-report-shows>

[2] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/woodmac-2019-saw-468.3m-in-energy-access-investment>

[3] <https://www.seforall.org/publications/integrated-electrification-pathways-for-universal-access-to-electricity>

Точечная электрификация для зеленых холмов Африки

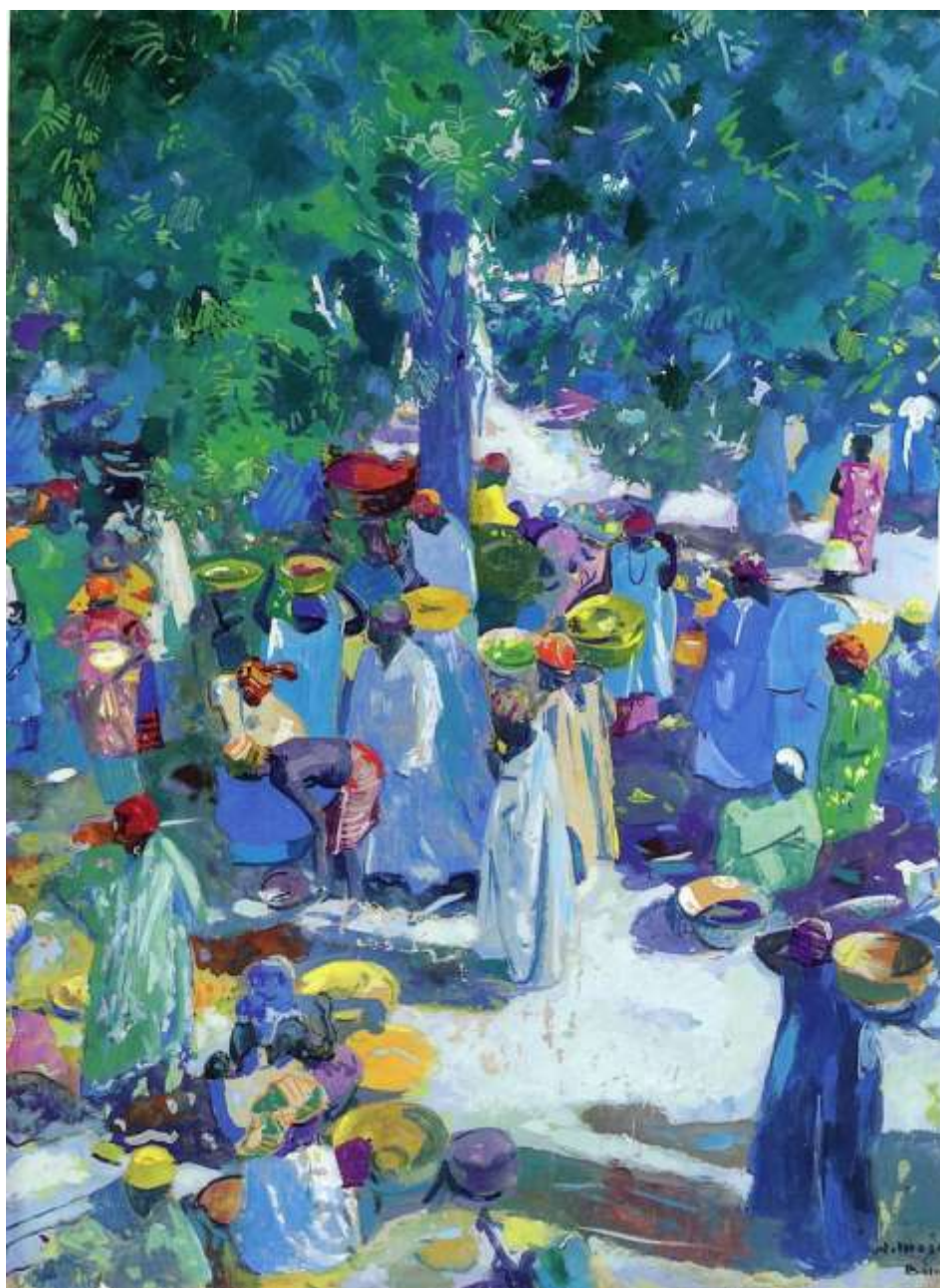
Мини-сети как способ электрификации развивающихся регионов

Дата: 8 июня

Автор: Игорь Чаусов

*Так ли пустынна Африка, так ли ясны над ней небеса,
как рассказывал на уроке учитель географии?*

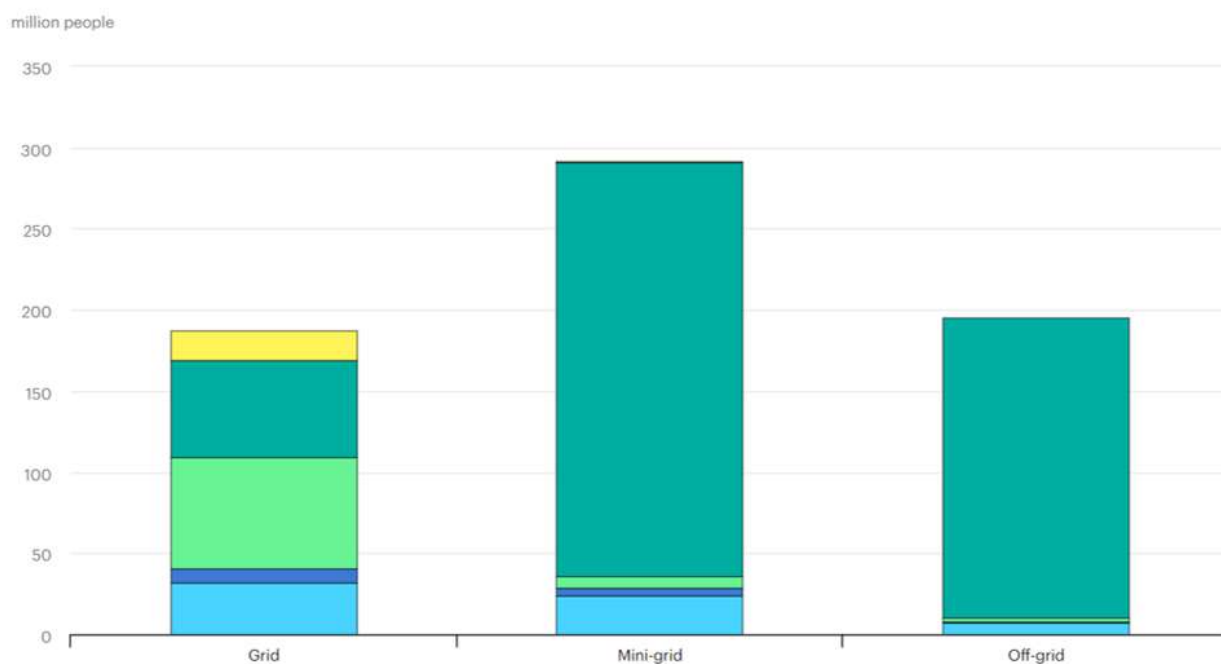
Антуан де Сент-Экзюпери, «Южный почтовый»



Жак Мажорель «Суданский рынок в Бамако»

В связи с темой электрификации неосвоенных территорий африканского континента [вспоминается](#) ночное возвращение из Шефшауэна в Фес — четыре часа пути по малонаселенной марокканской глубинке. Потрясающе красивый закат справа, в той стороне, где Атлантика, и запыленная дорога тянется среди бескрайних зеленых холмов. Мы ехали на такси, но тем не менее в него постоянно подсаживались колоритные пассажиры, «голосовавшие» у обочины: женщины в хиджабах, местные школьники, мощно пахнущие арахисом рабочие с закопченными лицами. Они платили водителю по 10 дирхам — как в автобусе — и выходили через небольшое время. Наконец, уже совсем поздно, когда машина остановилась на перекрестке, к ней неожиданно подошел древний старик в джеллабе, что-то коротко сказал водителю, и у ближайшего придорожного кафе, как будто в шпионском фильме, к нам из другого такси под покровом ночи пересадили трех молодых людей в дорожных костюмах. Африка имеет свое неповторимое стихийное течение жизни. И все же на протяжении всего пути окна даже в одиноких домиках среди мандариновых плантаций светились электрическим светом, хотя еще 30 лет назад половина жителей Марокко вообще не имела доступа к электроэнергии [\[1\]](#).

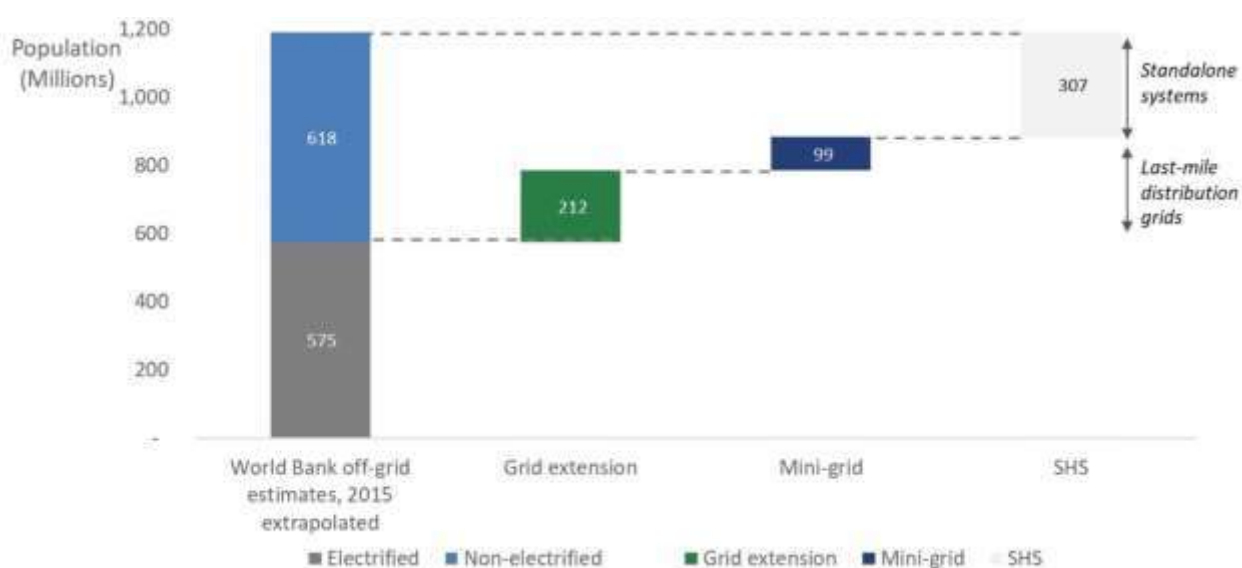
Увы, но лишь немногие страны Африки могут похвастаться такими успехами в деле электрификации. Как мы уже [писали](#), сегодня на планете 716 млн человек не имеют постоянного доступа к электричеству. Более 510 млн из них, согласно данным Международного энергетического агентства (IEA), проживают как раз в Африке в странах южнее Сахары [\[2\]](#). На втором месте по числу жителей, все еще не получивших доступ к электроэнергии, — Юго-Восточная Азия: там их более 58 млн [\[3\]](#).



Потенциал мини-сетей по обеспечению глобального доступа к электроэнергии к 2030 году.
Источник: IEA

В странах, где к рубежу 2020-х годов уровень доступа населения к электроэнергии все еще существенно ниже 90%, по географическим или политическим причинам вряд ли может быть успешно проведена традиционная электрификация, связанная с созданием централизованной энергетики и масштабной инфраструктуры электрических сетей. С другой стороны, такое распространенное решение, как домашние солнечные панели, может удовлетворить минимальные нужды бытовых потребителей, но точно не подходит ни для индустриализации, ни для развития технологичного сельского хозяйства.

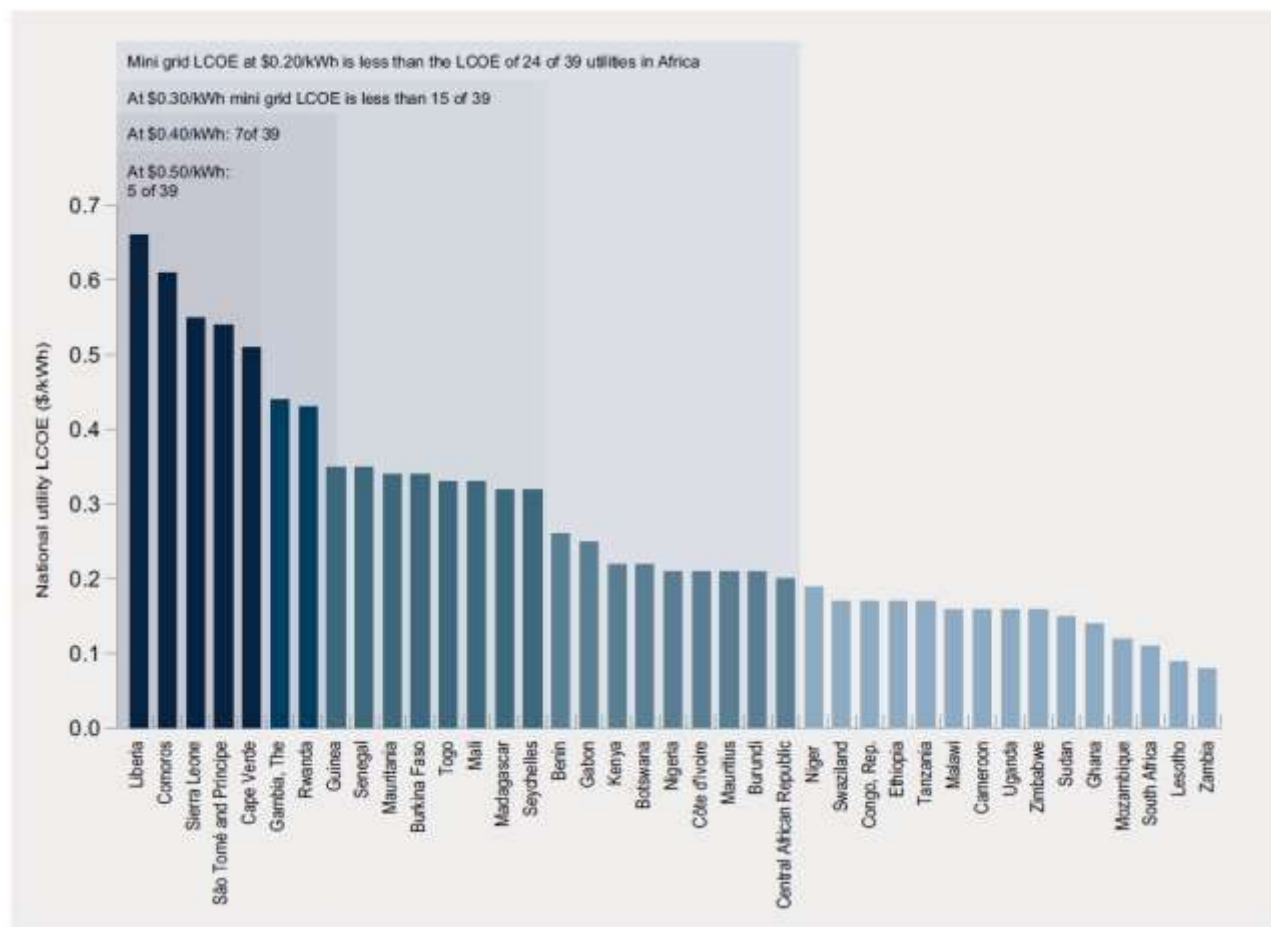
Эффективной альтернативой этим двум крайностям может выступить точечная электрификация территорий при помощи мини-сетей — систем небольшой мощности, работающих в полностью изолированном режиме. Мини-сети предоставляют большие возможности, чем отдельные источники энергии для каждого потребителя, и оказываются эффективнее присоединения к сетевой инфраструктуре. Новый доклад Wood Mackenzie специально отличает такие мини-сети (mini-grid) от микрогридов. Мини-сети по мощности (20–100 кВт) меньше, чем микрогриды (>100 кВт), и не имеют возможности работать в параллельном с электрическими сетями режиме [4]. При этом мини-сети рассчитаны часто на энергоснабжение одного коммерческого потребителя (или небольшой группы бытовых потребителей), тогда как микрогриды представляют собой полноценные энергосистемы с множеством разнородных потребителей.



Потенциал мини-сетей по электрификации населения стран Африки. Источник: Wood Mackenzie

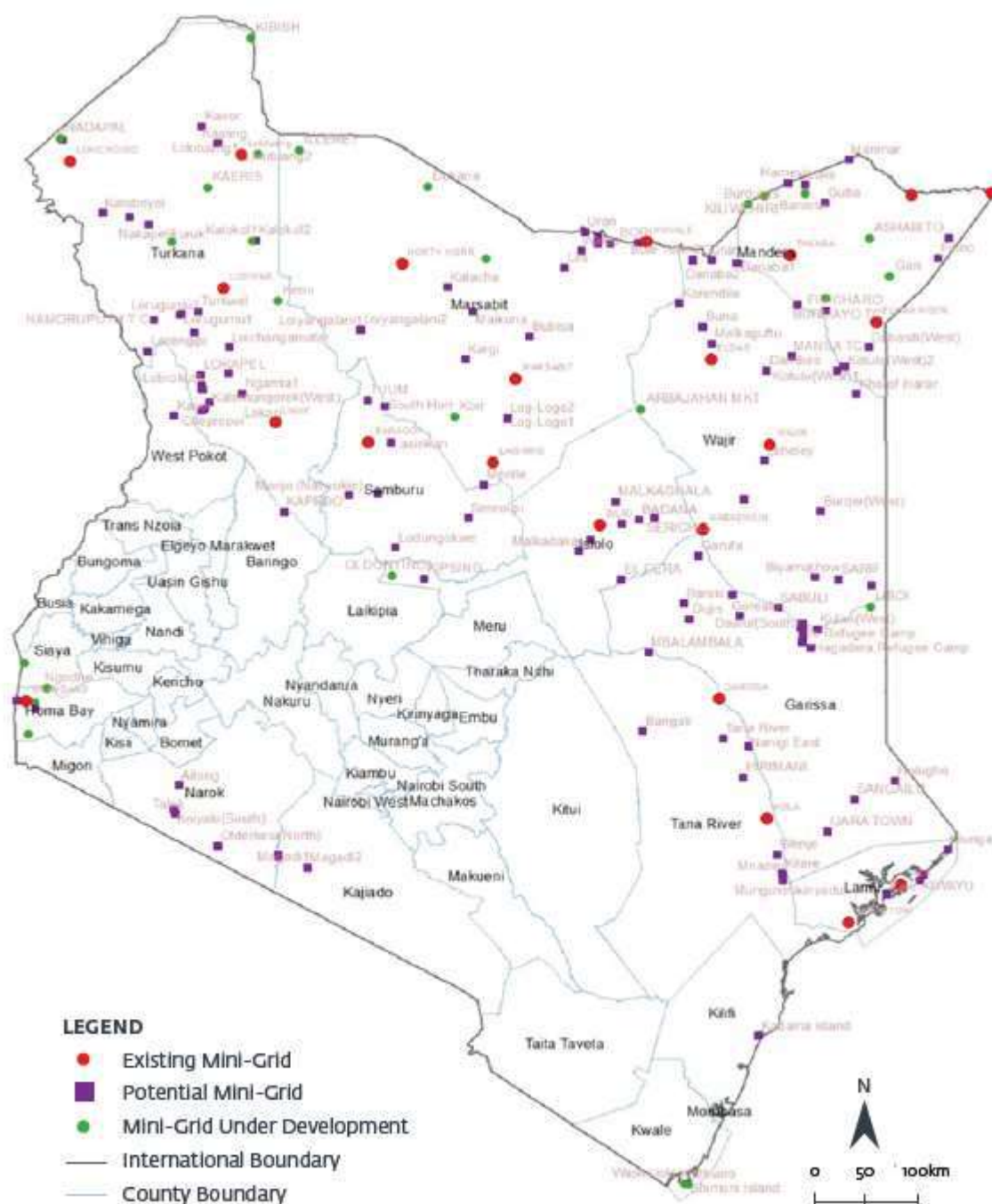
По прогнозу IEA, к 2030 году мини-сети будут обеспечивать электроэнергией 292 млн человек по всей планете [5]. Агентство CrossBoundary оценивает число жителей Африки, которые за счет мини-сетей получают доступ к электричеству, в 100 млн человек [6]. Согласно данным Программы содействия управлению энергетическим сектором Всемирного банка (ESMAP), в 2019 году количество потребителей 19 тысяч существующих мини-сетей, в создание которых было вложено \$28 млрд, достигло 47 млн человек. ESMAP оценивает ежегодный объем рынка мини-сетей от \$3,3 до \$4,7

млрд к 2030 году, а также прогнозирует, что приведенная стоимость электроэнергии (LCOE) в мини-сетях упадет до \$0,22 за кВт·ч — ниже средней цены сетевого электроснабжения в африканских странах, которая составляет \$0,27 за кВт·ч [7].



Сравнение LCOE мини-сетей с ценами на электроэнергию в странах Африки. Источник: ESMAP

Некоторые страны рассматривают создание мини-сетей в качестве одного из магистральных направлений своих государственных программ электрификации. Например, Кения при поддержке Всемирного банка намерена до 2030 года электрифицировать 100 тыс. домохозяйств за счет присоединения к действующим мини-сетям и еще 35 тыс. домохозяйств — за счет создания 121 новой мини-сети с общим объемом инвестиций более \$650 млн [8].



Карта планируемого размещения мини-сетей в Кении. Источник: Министерство энергетики Кении

Примером эффективности точечной электрификации за счет создания мини-сетей выступает филиппинский остров Кобрадор. На нем Азиатский банк развития (ADB) совместно с Корейским энергетическим агентством (KEA) и Электрическим кооперативом провинции Ромблон (ROMELCO) создали в 2017 году мини-сеть стоимостью \$416 тыс. в составе 30 кВт солнечной генерации, литий-ионного накопителя на 180 кВт·ч и дизельного генератора мощностью 15 кВт. До начала проекта на острове использовался только один дизельный генератор.



Мини-сеть на острове Кобрадор (Филиппины). Источник: ADB

Мини-сеть позволила расширить число электрифицированных домохозяйств с 161 до всех 260, которые находятся на острове, увеличить время доступа к электроэнергии с 8 до 24 часов и снизить цену на электроэнергию в два раза — с \$0,30 до \$0,15 за кВт·ч [\[9\]](#).



Мини-сеть в поселении Ших (Сомалиленд). Источник: DHYBRID

Конкурентным преимуществом компаний-интеграторов на рынке мини-сетей в последнее время становится модульная архитектура таких мини-сетей и наличие управляющей платформы, которые позволяют относительно легко масштабировать мини-сеть. Примером такого подхода является деятельность немецкой компании DHYBRID во множестве стран Африки, Азии и Карибского бассейна. Например, в поселении Ших в Сомалиленде модульная мини-сеть в составе 200 кВт солнечных панелей, дизельного генератора мощностью 535 кВт и накопителя мощностью 250 кВт и емкостью 250 кВт·ч позволяет снизить расход дизельного топлива на 100 тыс. литров в год [10].

[1] <https://www.macrorends.net/countries/MAR/morocco/electricity-access-statistics>

[2] <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/number-of-people-without-access-to-electricity-in-sub-saharan-africa-in-the-steps>

[3] https://www.ecosperity.sg/content/dam/ecosperity/en/reports/Southeast-Asias-Energy-Transition_June-2019.pdf

[4] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/minigrids-are-the-missing-piece-of-the-integrated-electrification-puzzle>

[5] <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/cumulative-population-gaining-access-to-electricity-in-the-energy-for-all-case-2017-2030>

[6] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/minigrids-are-the-cheapest-way-to-electrify-100-million-africans-today>

[7] <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/31926/Mini-Grids-for-Half-a-Billion-People-Market-Outlook-and-Handbook-for-Decision-Makers-Executive-Summary.pdf>

[8] <http://pubdocs.worldbank.org/en/413001554284496731/Kenya-National-Electrification-Strategy-KNES-Key-Highlights-2018.pdf>

[9] <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/532611/deploying-renewable-energy-systems-guidebook.pdf>

[10] <https://www.dhybrid.de/en/case/somaliland-sheikh>

Случится ли «момент гиперлупа»?

О возможности транспортно-энергетической революции в период кризиса

Дата: 17 июня

Автор: Игорь Чаусов

Будьте реалистами, требуйте невозможного!

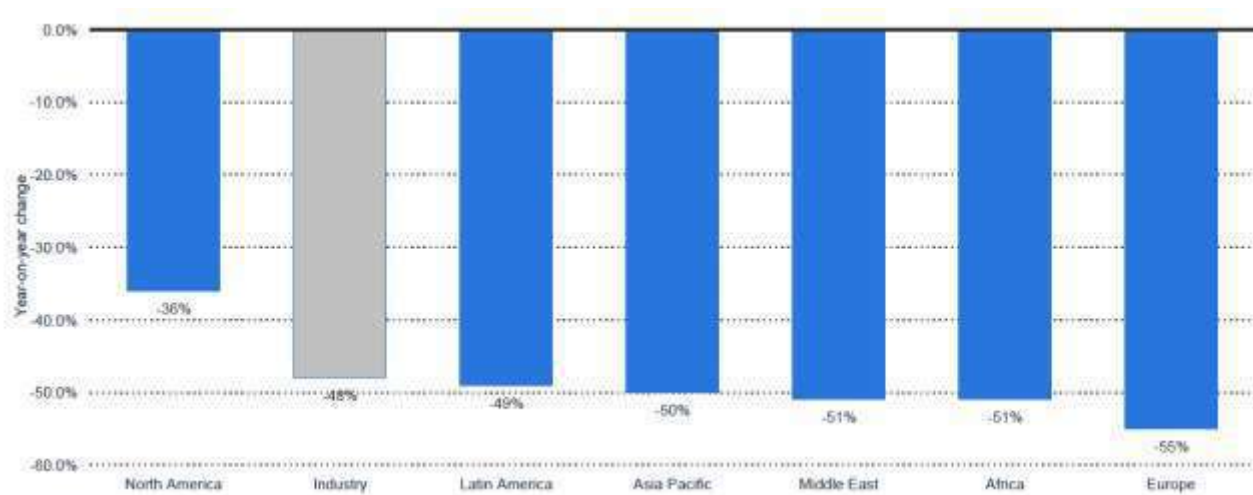
Жан Дювиньо и Мишель Лейрис, Париж, май 1968 г.

Революционная ситуация налицо. Вызванные неожиданной пандемией COVID-19 проблемы не просто затягиваются, они множатся и усложняются, находят все новые формы выражения и стремятся перерасти из временных вынужденных ограничений повседневной жизни в долгосрочный социально-экономический и политический кризис. Последние события в США показывают, что планомерного, согласованного и последовательного выхода из кризиса к «новой нормальности» в атмосфере полного общественного консенсуса, видимо, не случится.



Эскиз гиперлупа в Испании. Источник: Zeleros

Особенно сильно и практически моментально от этого кризиса пострадал транспортный сектор. По данным Statista, падение удельных доходов на пассажиро-километр в авиационной отрасли в 2020 году составило 48% в сравнении с прошлым годом, активность на пересадочных станциях железных дорог упала на 40–80%, частота полетов пассажирских самолетов в зависимости от региона упала на 60–100% [\[1\]](#).



Изменение удельных доходов авиакомпаний на пассажиро-километр в 2020 году в сравнении с 2019 годом. Источник: Statista

Перспективы быстрого восстановления транспортного сообщения и активности поездок и перелетов остаются туманными, в том числе потому, что «новая нормальность» социального дистанцирования — надолго, а современный транспорт, особенно поезда и самолеты, не соответствуют ее жестким и неумолимым требованиям.



Капсула гиперлупа. Источник: HyperloopTT

Выход из революционной ситуации, вполне возможно, потребует как раз технических революций — оригинальных и неожиданных технологических ставок. Например, ставки на технологию гиперлупов (hyperloop) — высокоскоростных вакуумных левитирующих поездов с воздушной подушкой или магнитным подвесом, приводимых в движение линейным двигателем.

К этой идее подталкивает даже Европарламент в своей Резолюции по транспорту и туризму от 11 июня 2020 года:

«Внимание должно быть сосредоточено на инновационных растущих возможностях, таких как соединение крупных городов Европы за счет гиперлупов как доступной, чистой и быстрой альтернативы ближнемагистральным воздушным перевозкам» [\[2\]](#).

На фоне разрастающегося кризиса со всем, что происходит в мире, а особенно сильно — с кадрами горящего буквально в то же самое время Миннеаполиса, — контрастировал долгожданный старт Dragon Crew, вселяющий некоторую надежду на силу инженерии. Эта надежда на возможность технического прорыва, остро

необходимого в кризис, заставляет задать вопрос, не увидим ли мы в ближайшие несколько лет «момент гиперлупа» — по аналогии со знаменитым «моментом спутника»?



Эскиз станции гиперлупа. Источник: Hardt

Пандемия COVID-19 — мощный драйвер интереса к этой экспериментальной технологии перемещения пассажиров как раз потому, что сегодня сформирован спрос на безопасное — соответствующее требованиям «новой нормальности» — и при этом быстрое, как на самолетах, перемещение между городами [\[3\]](#). Без адекватного решения такого рода, которое сочетает в себе скорость и комфорт поездки с ее безопасностью, полноценного восстановления междугороднего и международного сообщения может не случиться еще очень долгое время.



Интерьер прототипа капсулы гиперлупа. Источник: Hardt

Несмотря на то, что с момента реанимации идеи «летающих поездов» Илоном Маском в 2012 году технология гиперлупов продвинулась от концепта до успешных тестов вакуумных капсул на испытательных полигонах, она все еще остается далекой от масштабной практической реализации. Ее успешное претворение в жизнь стало бы сегодня настоящей революцией.

С точки зрения энергетики гиперлуп интересен тем, что конкурирующие между собой проекты вакуумных поездов — варианты реализации исходного замысла — объединяет то, что гиперлуп рассматривается в них в связке с собственными источниками «чистой энергии». Гиперлуп, согласно этим проектам, — транспорт с настолько высокой энергетической эффективностью, достигаемой за счет устранения механического трения, что это открывает возможность обеспечить все нагрузки — насосы для

поддержания вакуума, линейные двигатели для разгона и торможения, освещение и управляющая электроника — исключительно энергией от ВИЭ. В итоге энергоснабжение в проектах гиперлупов основано на собственных распределенных источниках энергии и является неотъемлемой частью этих проектов, а гиперлуп, таким образом, оказывается мульти-инфраструктурным решением, в котором транспорт и энергетика взаимно интегрированы.



Эскиз энергетической инфраструктуры трассы гипорлупа. Источник: Hardt

В настоящее время известно как минимум пять компаний, в той или иной степени успешно реализующих идею гиперлупа: в США это The Boring Company самого Илона Маска, Virgin Hyperloop One его заклятого конкурента и не менее эксцентричного миллиардера Ричарда Брэнсона, HyperloopTT президента и CEO Space X Гвенн Шотвелл, а в Европе — это испанская Zeleros и голландская Hardt.



Эскиз капсулы гиперлупа. Источник: Zeleros

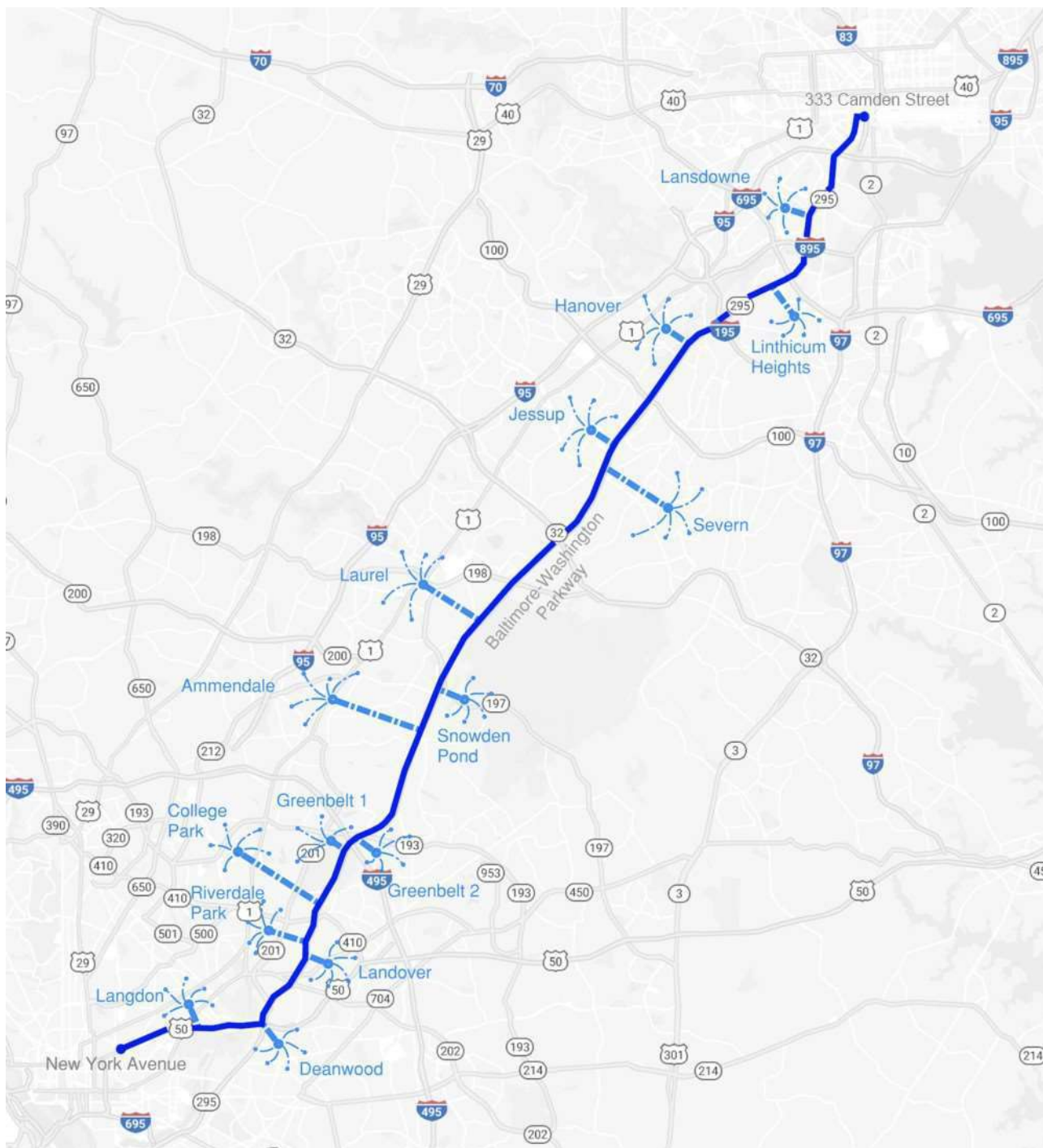
Zeleros в начале июня успешно завершил привлечение финансирования в размере €7 млн на 3-километровый испытательный участок вакуумной трассы [\[4\]](#). Hardt располагает испытательным полигоном с 2019 года и уже проводит тесты оригинальной конструкции трассы и пассажирской капсулы на магнитном подвесе [\[5\]](#).



Капсула гиперлупа на испытательном полигоне в штате Невада. Источник: Virgin Hyperloop One

Тестовая площадка протяженностью 500 метров рядом с Лас-Вегасом есть и у Virgin Hyperloop One, на ней была достигнута скорость капсулы 387 км/ч [\[6\]](#). Кроме того,

компания ведет переговоры о реализации проектов гиперлупов в США, Саудовской Аравии, ОАЭ и Индии [7]. HyperloopTT также создала испытательный полигон и ведет переговоры по проектам в США, ОАЭ, Чехии и Словакии [8]. The Boring Company в это время уже добивается разрешения на прокладку туннелей для гиперлупа и электромобилей от Вашингтона (округ Колумбия) до Балтимора [9] и проводит скоростные соревнования между командами — разработчиками капсул: рекорд скорости — 463 км/ч — установила студенческая команда из Мюнхена [10].



Карта проектируемой трассы гипорлупа между Вашингтоном и Балтимором. Источник: The Boring Company

При этом справедливости ради необходимо заметить, что число обсуждаемых проектов существенно превосходит число проектов, дошедших хотя бы до стадии ТЭО. В частности, проект гиперлупа между китайским Хуньчунем и портом Зарубино по технологии Virgin Hyperloop One обсуждался в 2016 г. на Восточном экономическом форуме [11]. Позиция профессиональных железнодорожников по поводу гиперлупов остается скептической: CEO крупного американского железнодорожного оператора Amtrak в 2017 г. называл идею Маска нереалистичной [12]. В России Институт проблем естественных монополий (ИПЕМ) в рамках своего исследования оценил новый вид транспорта как существенно более дорогой, чем скоростные железные дороги: цена билета на маршруте между Москвой и Санкт-Петербургом даже при бюджетном субсидировании составит 16,1 тыс. рублей при минимальной стоимости самого проекта 1,2 трлн рублей [13].

Тем не менее, хочется надеяться, что сторонников и противников гиперлупов рассудит практика, и созидательная революция в технологиях высокоскоростной, безопасной и энергетически эффективной транспортировки людей и грузов все-таки случится.

Автор благодарит Ю.В. Громыко (директора Института Шиффера) за ценные мысли об экономическом кризисе и актуальном моменте, в ответ на которые была подготовлена эта заметка.

[1] <https://www.statista.com/study/72603/coronavirus-impact-on-the-transportation-and-logistics-industry-worldwide/>

[2] https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/B-9-2020-0175_EN.html

[3] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/how-coronavirus-could-accelerate-european-hyperloop-project>

[4] <https://zeleros.com/2020/06/01/spains-zeleros-raises-7me-in-financing-to-lead-the-development-of-hyperloop-in-europe/>

[5] <https://hardt.global/technology-development/>

[6] <https://virginhyperloop.com/project/devloop>

[7] <https://virginhyperloop.com/progress>

[8] <https://www.hyperlooptt.com>

[9] <https://www.boringcompany.com/eastcoast/>

[10] <https://www.cnet.com/news/elon-musk-plans-trickier-hyperloop-test-tunnel-after-record-broken/>

[11] <https://tass.ru/ekonomika/3585379>

[12] <https://www.cnn.com/2017/09/05/elon-musks-hyperloop-is-not-realistic-right-now-amtraks-co-ceo.html>

[13] http://ipem.ru/files/files/research/20190705_ekspertnoe_mnenie_hyperloop.pdf

АЭК. Промышленные микрогриды и активные энергетические комплексы. Часть первая. Понятие микрогрида

Фрагмент доклада «Активные энергетические комплексы — первый шаг к промышленным микрогридам в России»

Дата: 14 августа

Авторы: Дмитрий Холкин, Игорь Чаусов, Борис Бокарев, Владимир Сидорович

В связи со вступлением в силу постановления Правительства от 21 марта 2020 г. №320, запускающего регуляторный эксперимент по активным энергетическим комплексам (АЭК), мы ведем серию публикаций по рынкам и бизнес-практикам организации промышленных микрогридов. Эти публикации подготовлены на основе материалов экспертно-аналитического доклада «АЭК — первый шаг к промышленным микрогридам в России», разработанного ИЦ EnergyNet с участием отраслевых экспертов. Доклад подготовлен при экспертном участии Заместителя Председателя Правления АО «Системный оператор ЕЭС» Федора Опадчего и Заместителя Председателя Правления Ассоциации «НП Совет рынка» Олега Баркина



Промышленные микрогриды и активные энергетические комплексы

Создание микрогридов во всем мире становится все более эффективным и востребованным решением по энергоснабжению потребителей и все более весомой альтернативой традиционному подходу к развитию энергосистем, основанному на строительстве крупной централизованной генерации и электрических сетей. В противовес этому подходу, строительство микрогридов предполагает размещение источников энергии и энергетической гибкости как можно ближе к конечному потребителю, а также использование ресурсов гибкости на стороне самих

потребителей для достижения оптимального по стоимости, автономности, экологичности или другим целевым параметрам энергоснабжения.

Микрогрид (microgrid) — локальная энергосистема или система электроснабжения, представляющая собой технологический комплекс в составе объектов генерации (источников энергии), источников энергетической гибкости и потребителей электроэнергии, которые собраны под единым управлением в целях обеспечения как можно более эффективного и удобного для потребителя энергоснабжения. Микрогрид может быть как присоединен к сетям централизованной энергосистемы и дополнять электроснабжение, обеспечиваемое этими сетями, так и быть изолированной энергосистемой.

Под источниками энергетической гибкости в микрогридах понимаются любые электроустановки, способные осуществлять полезное и управляемое техническое воздействие на баланс мощности или баланс электрической энергии в энергосистеме. К таким источникам относятся генерирующее оборудование, системы накопления электроэнергии, управляемая нагрузка, электротехнические средства регулирования потоков мощности. Понятие энергетической гибкости можно рассматривать как расширение понятий маневренности генерирующих объектов за счет расширения круга средств регулирования балансом мощности и электрической энергии.



Микрогрид на базе солнечной генерации для коммерческой недвижимости в Хо Ши Мине (Вьетнам). Источник: Talesun

Особенно привлекательным решением создание микрогридов является для энергоснабжения коммерческих и промышленных потребителей. **Коммерческие и промышленные (индустриальные) микрогриды** (C&I microgrid), дополняя электроснабжение из сети, позволяют обеспечить своим потребителям значимый для них эффект снижения расходов на электроэнергию и выполнить их требования к «безуглеродности» («net-zero») потребляемой энергии, к надежности электропитания и качеству электроэнергии, зачастую более жесткие, чем те, которым удовлетворяет централизованное энергоснабжение.

Такие микрогриды имеют существенное значение для российской электроэнергетики, поскольку они позволяют локально — для потребителей, входящих в эти микрогриды — решать проблему роста цен на электроэнергию, возникающую в силу роста стоимости и снижения эффективности использования мощностей централизованной энергетики.

Для развития этой бизнес-практики в России создается регуляторная база работы микрогридов. Первым шагом стало появление концепции активных энергетических комплексов (АЭК), разработанной АО «НТЦ ЕЭС Управление энергоснабжением» при участии экспертов сообщества «Энерджинет». Она включает регуляторные и экономические условия реализации проектов некоторых видов коммерческих и промышленных микрогридов и привлекательности их создания, а также необходимые изменения нормативно-правовой базы, и направлена на обеспечение взаимовыгодной для потребителей и энергосистемы практики создания таких микрогридов.

Активный энергетический комплекс (АЭК) — один из видов микрогрида, используемый преимущественно группами промышленных предприятий и коммерческих потребителей, в котором объединены различные субъекты (производители и потребители электрической энергии и мощности), вступающие в экономические отношения по поводу производства и потребления электроэнергии и мощности как внутри микрогрида, так и из внешней по отношению к АЭК сети.

В контексте регуляторного эксперимента, проводимого в 2020–2023 гг., **активный энергетический комплекс (АЭК)** определяется как микрогрид, связанный с ЕЭС, в состав которого входит не участвующая в оптовом рынке генерация общей мощностью до 25 МВт, потребителями в котором являются только промышленные предприятия, административно-деловые и торговые центры. Регулирование производства и потребления энергии в АЭК с учетом добровольно взятых обязательств по потребляемой мощности из сети (так называемой разрешенной мощности) обеспечивается за счет **управляемого интеллектуального соединения (УИС)** — программно-аппаратного комплекса, который поддерживает параметры перетока мощности от ЕЭС в сторону АЭК в пределах разрешенной мощности АЭК, а также балансирует производство и потребление энергии в АЭК и обеспечивает возможность ограничения режима потребления электроэнергии внутри АЭК.

Важнейшей особенностью АЭК является то, что он может объединять нескольких хозяйствующих субъектов — владельцев генерации и потребителей — и позволяет им консолидировать свое потребление электроэнергии и мощности, а также осуществлять энергообмен друг с другом в целях оптимизации своих затрат на электроснабжение.

До 2023 года создание АЭК будет осуществляться в режиме пилотного проекта (регуляторного эксперимента), целью которого является выстраивание необходимых нормативных условий для их создания в России и выработка целевой модели правовых и технологических механизмов регулирования их деятельности. АЭК, работа которых будет запущена в рамках пилотного проекта до 2023 года, продолжат функционировать в режиме пилотного проекта в течение 10 лет после начала работы.

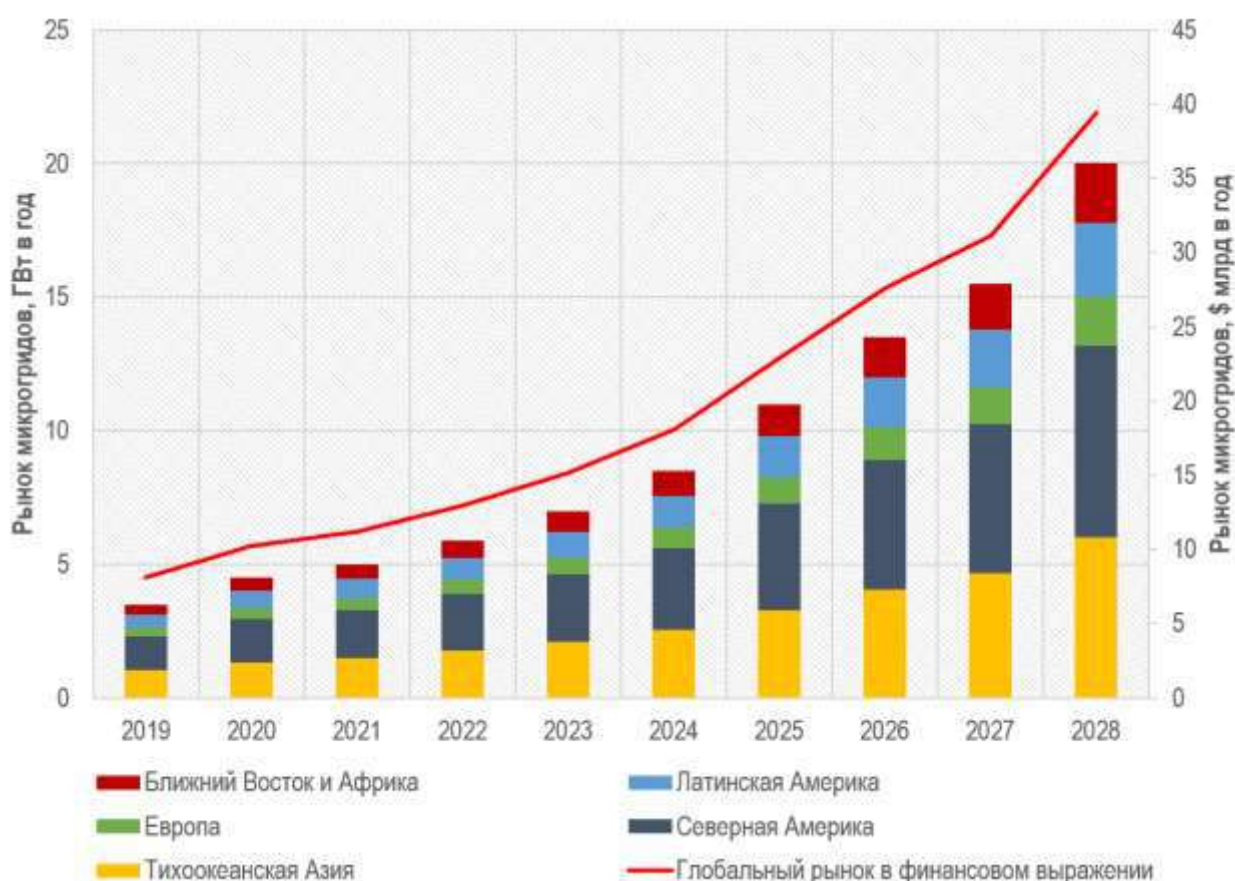
АЭК. Промышленные микрогриды и активные энергетические комплексы. Часть вторая. Мировой рынок коммерческих и промышленных микрогридов

Фрагмент доклада «Активные энергетические комплексы — первый шаг к промышленным микрогридам в России»

Дата: 18 августа

Авторы: Дмитрий Холкин, Игорь Чаусов, Борис Бокарев, Владимир Сидорович

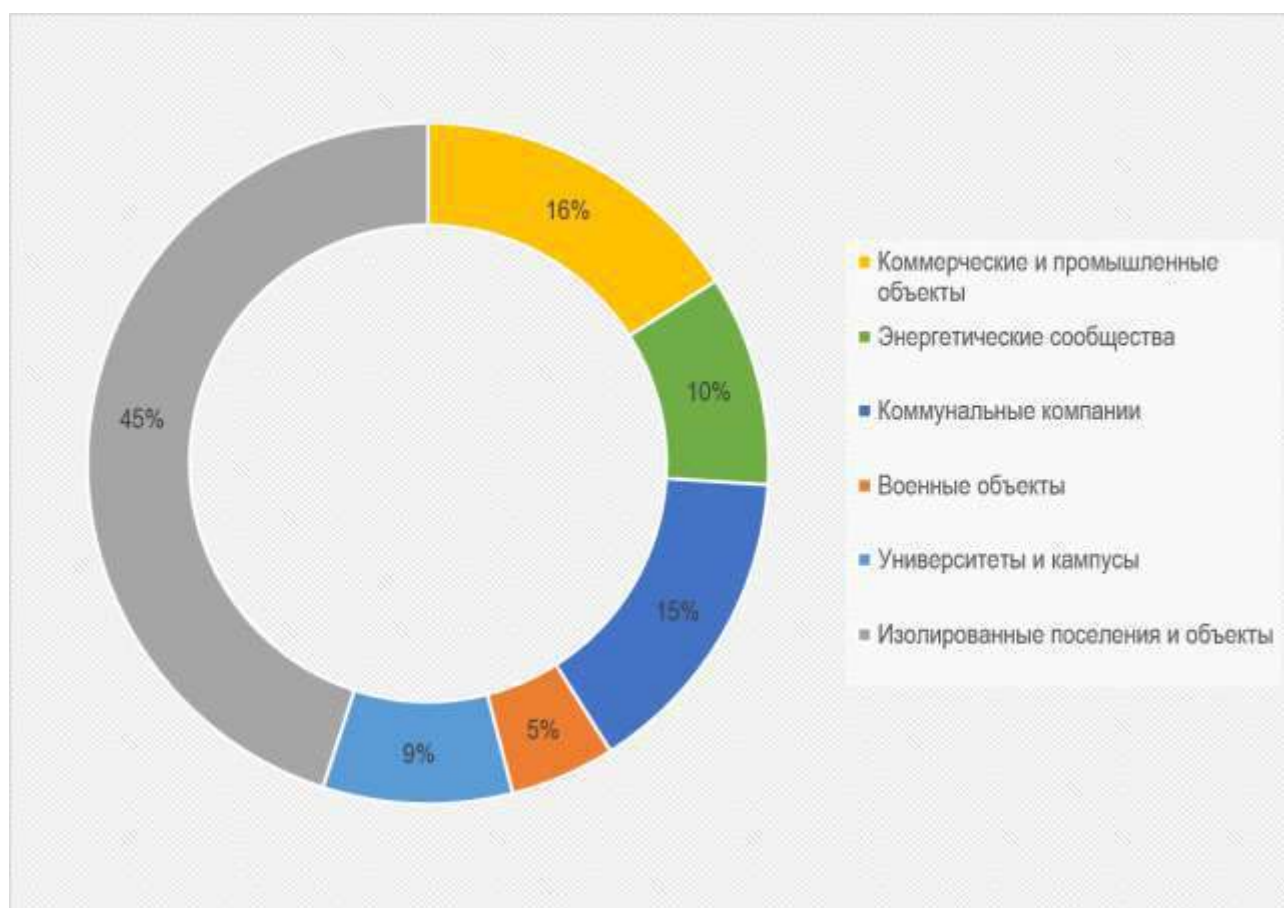
По состоянию на 2019 год аналитическая компания Guidehouse Insights (прежнее название — Navigant Research) оценивала годовой объем глобального рынка микрогридов в \$8,1 млрд с объемом ввода новых мощностей на уровне 3,5 ГВт в год, и прогнозировала, что к 2028 этот рынок вырастет до \$39,4 млрд в год с объемом ежегодного ввода новых мощностей на уровне 19,9 ГВт [1]. По оценке Guidehouse Insights, в настоящее время в мире реализуется или запланировано 6609 проектов микрогридов [2].



Мировой рынок микрогридов: левая ось — по макрорегионам в натуральном выражении (ГВт в год), правая ось — мир в целом в финансовом выражении (\$ млрд в год). Источник: Guidehouse Insights

Как видно из приведенного соотношения сегментов этого рынка по типам потребителей, доля микрогридов, подключенных к электрическим сетям и обслуживающих как коммерческих и промышленных потребителей, так и энергетические сообщества, военные объекты и университетские кампусы, совокупно составляет 55% [3].

Таким образом, рынок микрогридов для коммерческих и промышленных потребителей к 2028 году составит \$6,3 млрд в год, или 3,2 ГВт, а общий объем рынка присоединенных к сети микрогридов, построенных в интересах юридических лиц, — \$21,7 млрд в год, или 11 ГВт.



Структура мирового рынка микрогридов по типам конечных потребителей. Источник: Guidehouse Insights

В России именно сектор коммерческих и промышленных потребителей может стать локомотивом рынка микрогридов, поскольку, с одной стороны, проблема роста расходов на электроснабжение наиболее остро стоит именно перед такими потребителями, и у них есть прямая заинтересованность в использовании возможностей распределенной генерации, а, с другой стороны, именно эти потребители способны сформировать платежеспособный спрос и инвестировать свои ресурсы в создание микрогридов и развитие необходимых технологий.



Микрогрид стадиона Скагерак Арена (Шиен, Норвегия). Источники: ABB и Hitachi

Основными драйверами роста этого сегмента рынка микрогридов в мире являются следующие факторы:

Стремление потребителей к декарбонизации и потреблению электроэнергии от точно известных и экологичных источников;

Снижение стоимости электроэнергии, производимой собственными источниками энергии на стороне потребителей;

Рост стоимости электроэнергии и мощности в централизованных энергосистемах;

Рост разнообразия требований потребителей, приводящий к появлению запроса на как можно более кастомизированное электроснабжение, адресно отвечающее по своим техническим и экономическим параметрам требованиям конкретных потребителей;

Рост требований потребителей к надежности и качеству электроснабжения, обусловленный увеличением ущерба, который наносят бизнесу, использующему цифровые технологии, перебои в электроснабжении и снижение качества электроэнергии;

Высокая волатильность цен на энергоресурсы, в частности, природный газ, позволяющая получить экономический эффект за счет более гибкого сочетания различных источников энергии в дополнение к покупке энергии из сети.

В макрорегиональном разрезе самыми крупными рынками будут Северная Америка (в основном, США) и Азиатско-Тихоокеанский регион [2], в который входят такие

привлекательные для компаний Energynet страны, как Малайзия, Индонезия, Индия, Таиланд, Вьетнам, Сингапур, Филиппины. Это делает формирование российского рынка коммерческих и промышленных микрогридов важным с точки зрения поддержки российских технологических компаний и высокотехнологичного экспорта их решений.



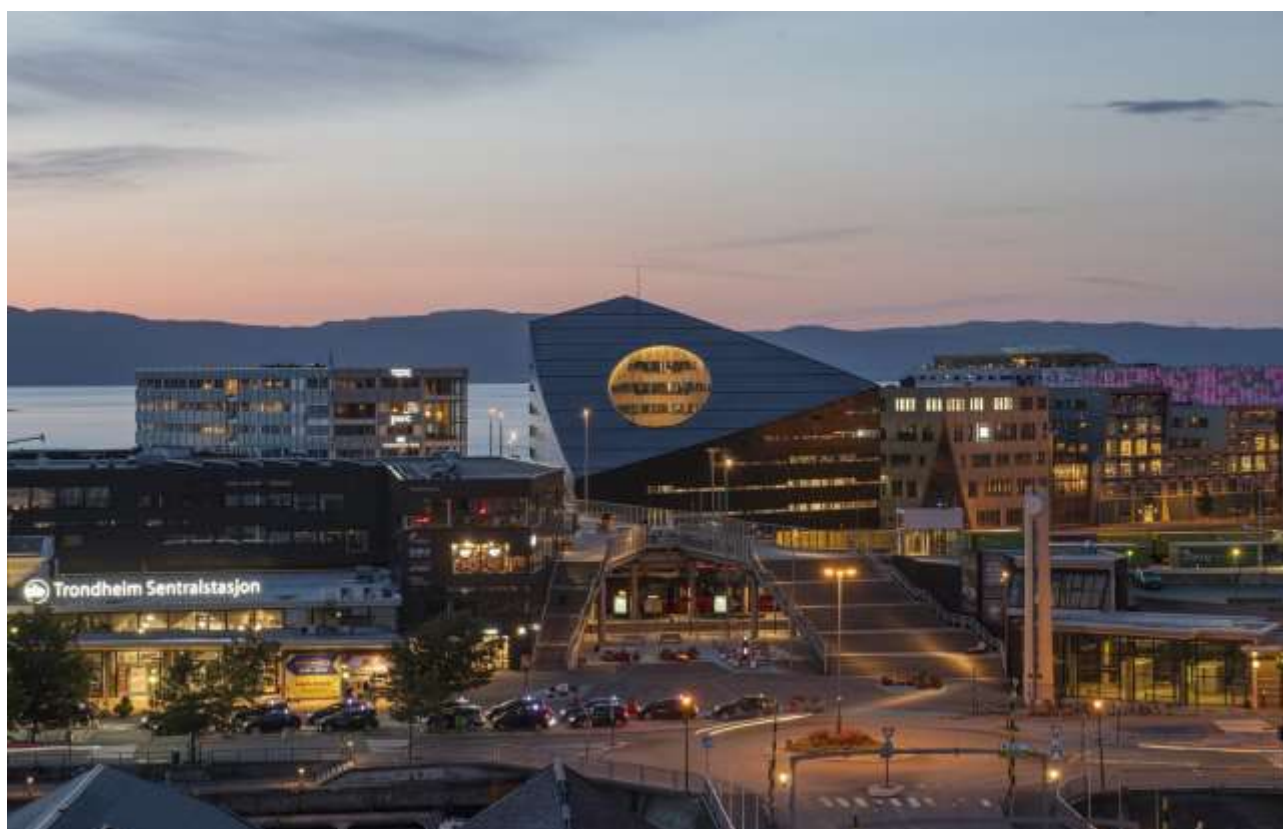
Микрогрид Штаба общественной безопасности округа Монтгомери в Гейтерсберге (Мэриленд, США). Источники: Schneider Electric и Duke Energy

Мировой опыт показывает, что микрогриды в определенных ситуациях могут обеспечить снижение расходов коммерческих и промышленных потребителей на электроснабжение в диапазоне от 5% до 25% и даже более по сравнению с потреблением энергии только из централизованной энергосистемы. Величина эффекта существенно зависит как от особенностей конкретных потребителей, так и от того, какие требования неэкономического характера — по надежности и экологичности — предъявляются этими потребителями. На это указывают как результаты численного моделирования работы микрогридов, так и анализ мировой практики их функционирования, несмотря на то что в мире еще не накоплен достаточный опыт в этой области. Эффект оказывается тем больше, чем более затратными являются мероприятия по реконструкции и строительству сетевой инфраструктуры, необходимые для ликвидации дефицита мощности, который потребители испытывают или будут испытывать в ближайшем будущем.

Экономический эффект, который микрогриды приносят входящим в них потребителям, формируется следующими факторами:

- снижение расходов на покупку электроэнергии и мощности на розничном рынке;

- снижение расходов на оплату услуги электрических сетей по транспорту электроэнергии;
- снижение расходов на оплату технологического присоединения или увеличения присоединенной мощности;
- повышение надежности электроснабжения и снижение потерь от обесточивания;
- повышение качества электроэнергии и снижение потерь от влияния просадок и скачков напряжения на чувствительное оборудование.



Микрогрид «энергетического здания» (коворкинга) Brattørkaia в Тронхейме (Норвегия).

Источник: Powerhouse

Технологическим залогом эффективности микрогридов выступают возможность комплексирования и оптимального сочетания различных источников энергии и гибкости, а также наличие единого контура управления, который позволяет как можно лучше использовать эти источники. В общем случае в состав микрогрида могут входить следующие типы электроустановок:

- диспетчируемая маневренная генерация; диспетчируемая генерация на базе ВИЭ;
- системы накопления электроэнергии (СНЭ);

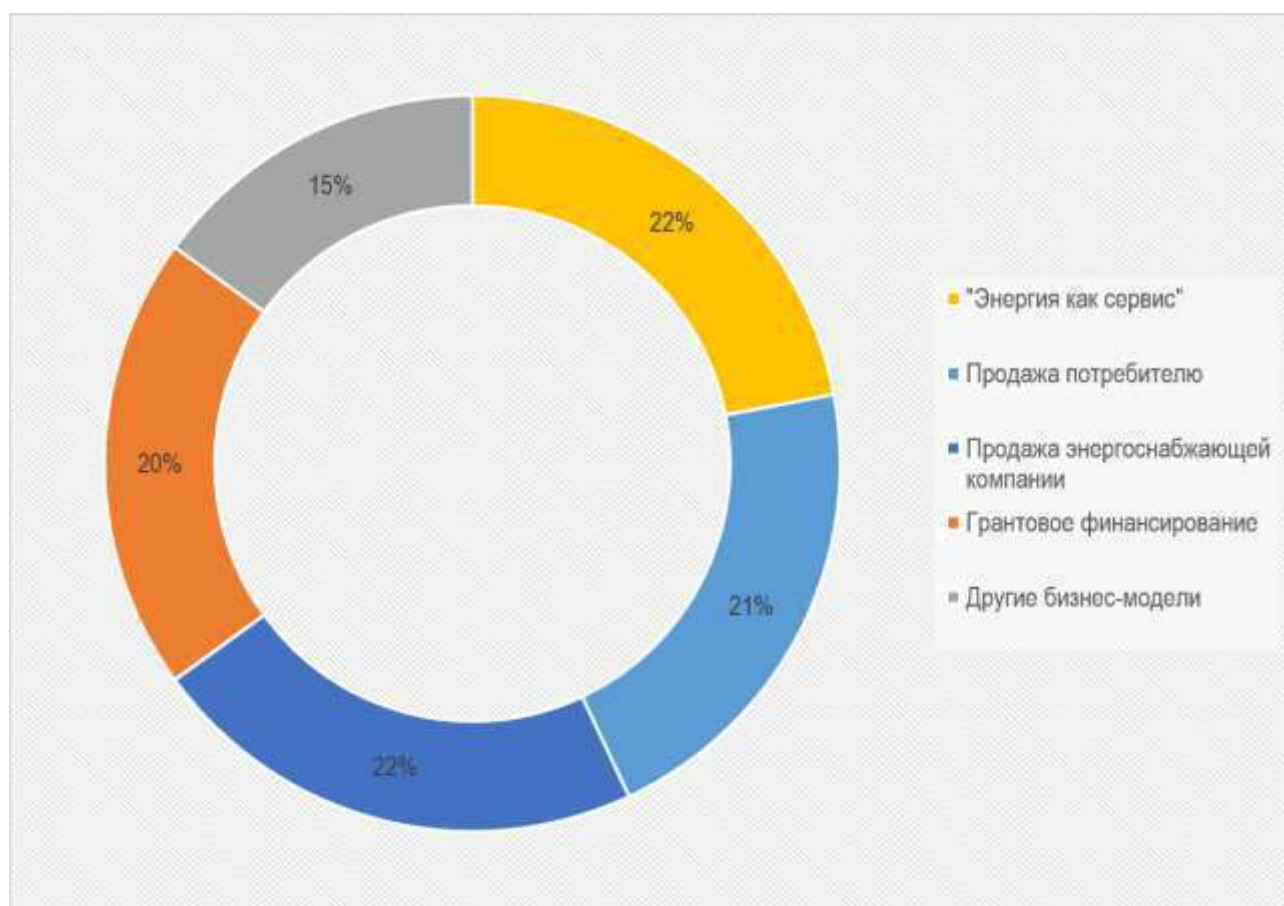
- управляемые нагрузки (энергопринимающие устройства) потребителей;
- элементы зарядной инфраструктуры электрического транспорта;
- элементы электрифицированных систем теплоснабжения, включая накопители тепловой энергии;
- оборудование локальных электрических сетей микрогрида.



Технологический центр микрогридов OATI в Миннеаполисе (Миннесота, США). Источник: POPE Architect

В росте экономической эффективности микрогридов ключевую роль сыграл технический прогресс в сфере малой генерации. Он привел к тому, что в последнее время стоимость электроэнергии, полученной за счет собственной генерации, оказывается во многих случаях ниже, чем цена электроэнергии, купленной на розничном рынке и полученной по электрическим сетям.

Стоимость капитального строительства микрогридов в целом, включающая стоимость как электроустановок, так и систем управления и всего инжиниринга, в настоящее время составляет \$1000–3000 за кВт установленной мощности в зависимости от географии проекта, состава оборудования, необходимой степени «углеродной нейтральности», интегратора и набора вендоров [4, 5].



Структура мирового рынка микрогридов по бизнес-моделям. Источник: Guidehouse Insights

Привлекательность микрогридов для потребителей и инвесторов увеличивается также за счет реализации на этом рынке новых бизнес-моделей, позволяющих упростить взаимодействие поставщиков и потребителей решений для микрогридов, снизить инвестиционные риски и диверсифицировать источники инвестиций и финансирования проектов. Одной из наиболее многообещающих моделей является сервисно-ориентированная модель предоставления энергии как сервиса (energy-as-a-service — EaaS). Ее суть состоит в том, что инжиниринговая компания, осуществляющая интеграцию микрогрида на объекте потребителя электроэнергии, выступает не поставщиком решения, а оператором создаваемого микрогрида и поставщиком электроэнергии, которую он производит. При этом возможны самые разные варианты распределения прав собственности на объекты и оборудование в составе микрогрида, в том числе модель микрогрида как виртуальной электростанции, при которой часть объектов принадлежат самим потребителям, но находятся на агрегированном управлении у оператора микрогрида.

1. Peter Asmus. Microgrids Ramp Up in Latin America but Asia Pacific Remains the Global Leader. — Microgrid Knowledge, 2019
2. Microgrid Deployment Tracker Identifies 2,179 New Projects. — Guidehouse Insights, 2020

3. Microgrid: a Global View. International Symposium on Microgrids. — Navigant Research, 2017
4. Microgrid Analysis and Case Studies Report. — California Energy Commission, 2018
5. Phase I Microgrid Cost Study: Data Collection and Analysis of Microgrid Costs in the United States. — National Renewable Energy Laboratory, 2018

АЭК. Промышленные микрогриды и активные энергетические комплексы. Часть третья.

Российский рынок промышленных микрогридов и их синергия с ЕЭС.

Фрагмент доклада «Активные энергетические комплексы — первый шаг к промышленным микрогридам в России»

Дата: 7 сентября

Авторы: Дмитрий Холкин, Игорь Чаусов, Борис Бокарев, Владимир Сидорович



Российский рынок коммерческих и промышленных микрогридов

Основными драйверами спроса на рынке коммерческих и промышленных микрогридов, в частности, активных энергетических комплексов в России выступают экономические причины:

рост цены на электроэнергию для промышленных и коммерческих потребителей (в том числе во многом из-за практики перекрестного субсидирования);

рост стоимости технологического присоединения к сетям и сложность выполнения технических условий на такое присоединение для промышленных и коммерческих потребителей.



Микрогрид торгового центра «Молл Африки» с 4,7 МВт солнечной генерации (Йоханнесбург, ЮАР). Источник: Creamer Media

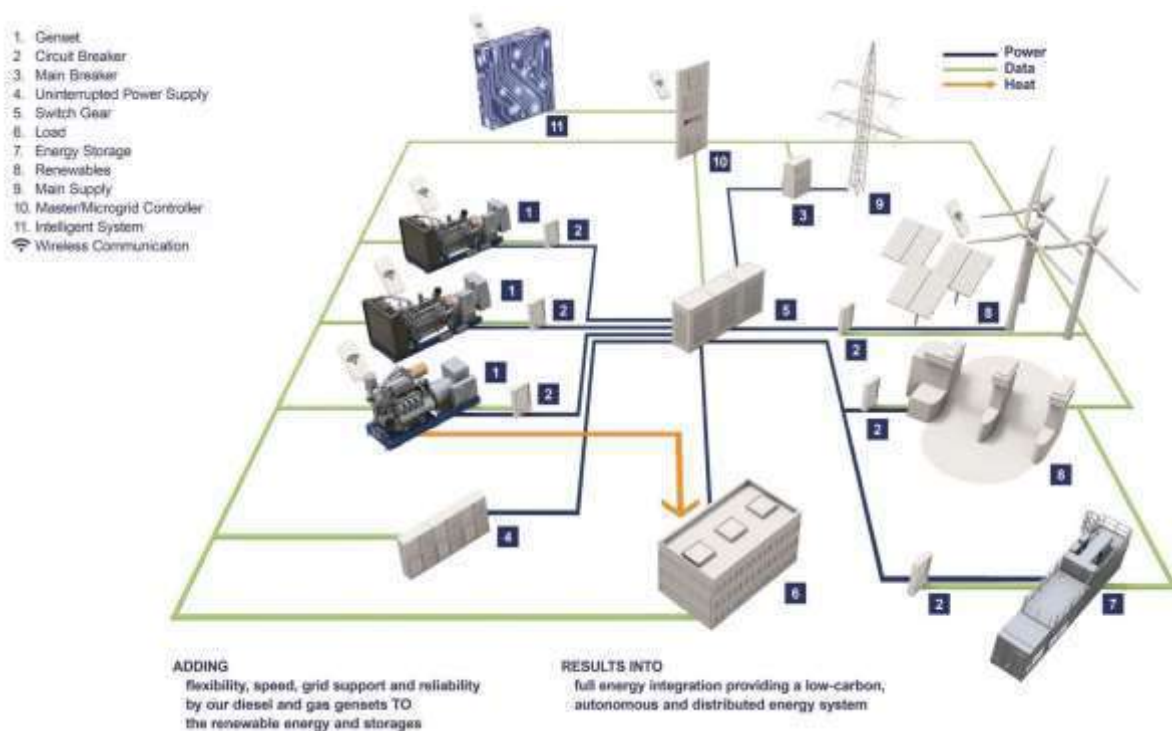
В условиях роста цен на электроэнергию из сети и сравнительно недорогих энергоресурсов, в первую очередь природного газа, потребители будут стремиться найти альтернативное решение, позволяющее обеспечить более дешевое электроснабжение и более простой, быстрый и дешевый доступ к необходимой мощности, чем присоединение к сетям. Активные энергетические комплексы могут стать одним из таких решений.

В России в силу особенностей ценового регулирования на рынке электроэнергии и мощности именно на промышленных и коммерческих потребителей приходится основное давление растущей цены на мощность, включающей все большую долю фиксированных надбавок, а также рост стоимости услуг по передаче.



Микрогрид промышленной площадки компании Eaton в Вадевилле (ЮАР). Источник: Eaton

Кроме того, дополнительным драйвером спроса станет развитие секторов экономики с повышенной чувствительностью к качеству электроэнергии и надежности электроснабжения: дата-центров и центров обработки данных (ЦОД), цифровых производств, использующих технологии 3D-печати, производств композиционных материалов, биофармацевтических и других высокоточных предприятий.



Принципиальная схема гибридного микрогрида. Источник: Rolls-Royce

Поскольку затраты на электроснабжение из сети оказываются в ряде случаев бóльшими, чем стоимость владения собственной генерацией в составе микрогрида, а в ряде случаев эти затраты сопоставимы, можно предположить, что часть потребителей, создающих перспективный спрос на мощность, предпочтут АЭК более знакомому и понятному решению — технологическому присоединению или увеличению присоединенной мощности. С другой стороны, часть потребителей уже сегодня испытывает дефицит присоединенной мощности или проблемы с надежностью электроснабжения в силу локальных ограничений сетевой инфраструктуры, а часть потребителей ищет возможность снизить расходы на электроснабжение, растущие в силу увеличения цены на мощность. Многие из этих потребителей сформируют спрос на рынке активных энергетических комплексов.

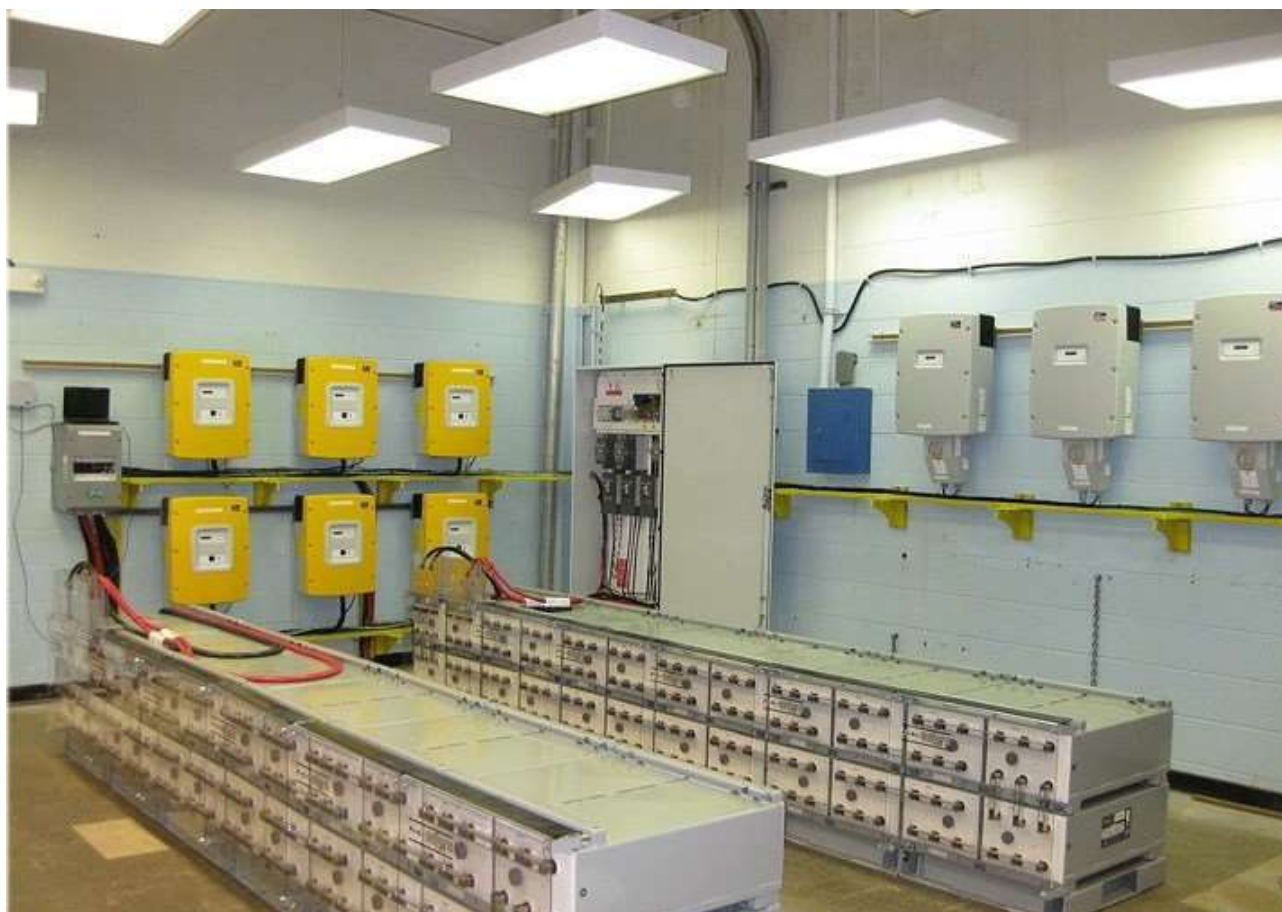


Микрогрид MiRIS главного офиса компании CMI Group в Серене (Бельгия). Источник: Business Wire

Потенциал российского рынка коммерческих и промышленных микрогридов в основном будет определяться перспективным спросом на мощность со стороны новых промышленных и коммерческих потребителей и соответствующим ростом электропотребления. Прирост электропотребления и спроса на мощность зависят от макроэкономических условий и общих темпов роста экономики, но новые проекты в

сфере промышленного производства продолжают появляться при любых общих экономических условиях.

Другим значимым фактором выступает невозможность одновременно надежного и сравнительно дешевого электроснабжения коммерческих и промышленных потребителей в рамках полностью изолированных микрогридов. Этот фактор делает востребованными микрогриды, присоединенные к электрическим сетям, а значит — делает чрезвычайно востребованными правовые и технические условия такого присоединения и взаимодействия между микрогридами и сетевым комплексом ЕЭС. С точки зрения субъектов, отвечающих за надежность функционирования ЕЭС — системного оператора и сетевых компаний, — такие условия не должны ухудшать условия функционирования других субъектов и ЕЭС в целом, в том числе негативно влиять на надежность и качество электроэнергии в ЕЭС.



Системы накопления энергии и инверторы армейского микрогрида на Маршалловых островах.
Источник: Solar Electricity Supply Inc.

Рынок коммерческих и промышленных микрогридов в России, можно сказать, находится пока что на предстартовых позициях: на нем реализуются индивидуальные проекты, зачастую использующие решения, далекие от оптимальных, ценообразование на этом рынке не отличается прозрачностью и зачастую оказывается ситуативным, как у потребителей, так и у поставщиков отсутствует референтный опыт.

Поскольку в США, ЕС и ряде стран Азии рынок коммерческих и промышленных микрогридов запустился и устойчиво развивается уже не первый год, технологические компании из этих стран, в том числе крупные транснациональные корпорации имеют связанное с опытом конкурентное преимущество на российском рынке. И освоение нового рынка отечественными технологическими компаниями потребует наличия у них оригинальных и эффективных решений как в части технологий, используемых в микрогридах, так и в части бизнес-моделей.

Активные энергетические комплексы и ЕЭС: возможность «win — win» стратегии

Особенности ценообразования на рынках электроэнергии, а также доступность надежных и малообслуживаемых источников электроэнергии малой мощности формируют риск лавинообразного нарастания числа потребителей, предпочитающих собственную генерацию в микрогридах потреблению из сети. При этом платежи таких потребителей субъектам «большой энергетики» снижаются, в то время как затраты на обеспечение работы централизованной энергосистемы остаются прежними. Каждый потребитель, выбирающий собственную генерацию взамен покупки электроэнергии на рынке и потребления из сети, увеличивает платежную нагрузку на всех остальных потребителей, продолжающих потреблять энергию из сети. В определенный момент такое развитие событий приводит к росту тарифов и цен, что еще больше мотивирует потребителей к переходу на собственную генерацию. На рынке возникает система отношений между потребителями и энергосистемой с положительной обратной связью, опасная своей потенциальной неустойчивостью.



Модульный контейнерный микрогрид в Бакленде (Аляска, США). Источник: VoxPower

Проблема ухода потребителей в распределенную энергетику усугубляется в том случае, если обязательства энергосистемы и электрических сетей перед этими потребителями сохраняются, но их потребление из сети становится существенно более стохастическим и неравномерным. Это заставляет сохранять в централизованной энергосистеме генерирующие мощности и поддерживать возможность передачи через сети на случай покрытия пикового или неожиданно возникающего потребления со стороны микрогридов, присоединенных к сети.

Концепция активных энергетических комплексов предлагает справедливое решение указанной проблемы, поскольку позволяет гарантировано ограничить потребление мощности из внешней сети объёмами, определенными субъектами АЭК, что снижает потребность в поддержании соответствующих сетевых и генерирующих резервов в энергосистеме.



Микрогрид гостиницы в Голете (Калифорния, США). Источник: *The Solar Revolution*

Если развитие распределенной энергетики идет по управляемому сценарию создания микрогридов типа АЭК, то оно может быть учтено при развитии сетей, рынка мощности и при долгосрочном планировании. Эффект снижения потребности в инвестициях возникает на стороне сетевых организаций, поскольку появление АЭК снижает запрос на технологическое присоединение.

Таким образом, развитие рынка коммерческих и промышленных микрогридов в России в рамках концепции АЭК может обеспечить дополнительный экономический эффект, включающий не только экономию на стороне потребителей в самих АЭК, но и

общесистемные эффекты на стороне ЕЭС в целом. Эти эффекты во многом обусловлены тем, что появление АЭК создает конкуренцию решениям централизованной энергосистемы, таким как строительство сетевой инфраструктуры, и за счет этой конкуренции позволяет обеспечить более эффективное и сбалансированное развитие энергосистемы.

Снижение расходов потребителей микрогридов на электроснабжение возникает за счет того, что стоимость электроэнергии, производимой в микрогриде, для потребителей оказывается ниже, чем стоимость электроэнергии, получаемой из сети. Снижение стоимости формируется в основном снижением платы за передачу.



Здание Siemens Campus с интегрированным микрогридом в Вене (Австрия). Источник: Siemens

Снижение потребности в инвестициях на стороне централизованной энергосистемы формируется из снижения потребности в инвестициях сетевых компаний в технологическое присоединение и увеличение присоединенной мощности абонентов, использующих микрогриды, а также снижения потребности в инвестициях в строительство новых и модернизацию существующих генерирующих мощностей при удовлетворении части перспективного спроса на мощность за счет микрогридов.

Помимо перечисленных экономических эффектов от внедрения АЭК микрогриды с более широким функционалом могут также выступать источниками энергетической гибкости для энергосистемы и оказывать различным субъектам электроэнергетики сервисы гибкости. К таким сервисам относится оказание следующих услуг:

- Управление спросом на электроэнергию;

- Регулирование частоты в энергосистеме;
- Обеспечение третичных резервов мощности;
- Регулирование уровня напряжения и компенсация реактивной мощности;
- Регулирование нагрузки на оборудование центров питания;
- Обеспечение аварийного резерва для потребителей, не входящих в АЭК.

Очень важно, чтобы указанные услуги предлагались на соответствующих рынках на конкурентных основаниях.

1. [Renewables Mini-grids Innovation Landscape Brief. — IRENA, 2019](#)
2. [The Global Market for Modular Microgrids Is Expected to Experience 28% Compound Annual Growth Rate from 2020–2029. — Guidehouse Insights, 2020](#)
3. [Peter Asmus. Plug-and-Play Modular Microgrids Gain Market Momentum. — Microgrid Knowledge, 2019](#)
4. [Архитектура Интернета энергии. Internet of Distributed Energy Architecture. — Инфраструктурный центр Энерджинет, 2018](#)

Энергопереход для железнодорожного транспорта — угроза или новые возможности?

Дата: 26 октября

Автор: Кирилл Ермолаев

Международные энергетические агентства в один голос прогнозируют падение спроса на ископаемое топливо, что приведет к сокращению грузовой базы и снижению коммерческой эффективности железнодорожных перевозок. Создает ли энергопереход одни лишь угрозы или в нем можно разглядеть новые возможности и «свет в конце туннеля»?



Транспортная отрасль остается одним из основных мировых потребителей энергетических ресурсов наряду с промышленностью и бытовым сектором. По прогнозам американского Агентства по энергетической статистике (EIA) глобальный транспортный сектор занимает второе место после промышленного, а по данным Международного энергетического агентства (IEA) его объем составляет почти одну треть конечного мирового спроса на электроэнергию, почти две трети спроса на нефть и почти одну четверть глобальных выбросов углекислого газа в результате сжигания топлива.



Иллюстрация Alejandro Burdisio

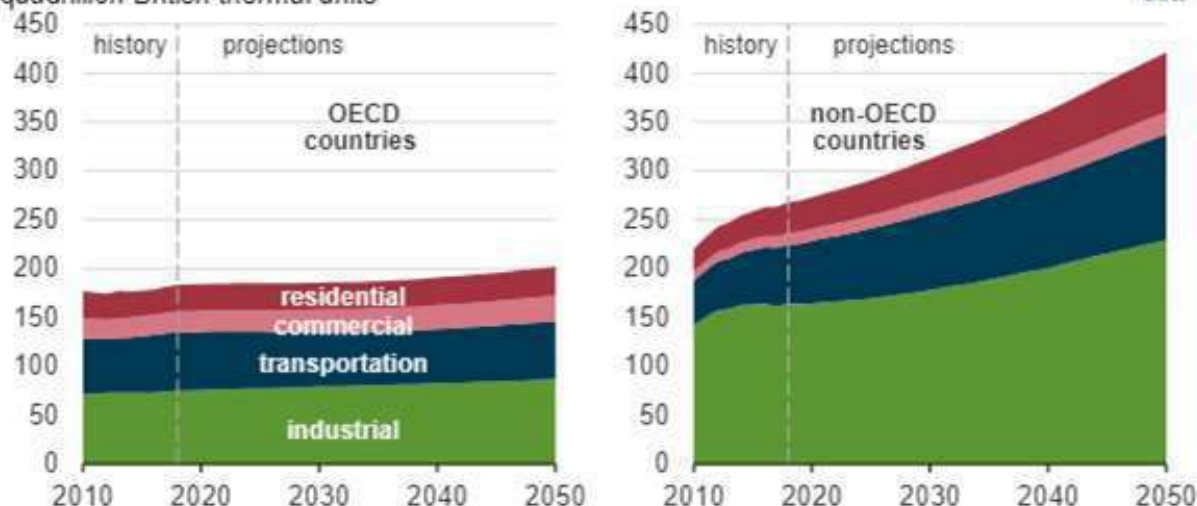
Процессы эволюционных изменений в транспортной отрасли усиливаются и ускоряются масштабными изменениями в энергетике как критической обеспечивающей инфраструктуры. Эти изменения принято называть энергетическим переходом (Energy Transition) и описывать как совокупность процессов декарбонизации, децентрализации и диджитализации (цифровизации). Именно эти процессы окажут определяющее влияние на долгосрочное развитие энергетики и взаимосвязанных с ней отраслей, включая и транспортную систему, особенно железнодорожный транспорт. При этом наиболее существенное влияние в долгосрочной перспективе прогнозируется по двум аспектам:

Изменение экономических взаимоотношений субъектов мирового рынка энергоресурсов, которые сформируют одновременно как серьезные угрозы, так и новые возможности изменения грузовой базы.

Технологическое устройство энергетического хозяйства транспортной системы, в частности, железнодорожного транспорта, начиная с изменения архитектуры энергетического комплекса и вплоть до «последней мили», включая распределительные сети, распределенную генерацию и конечных потребителей.

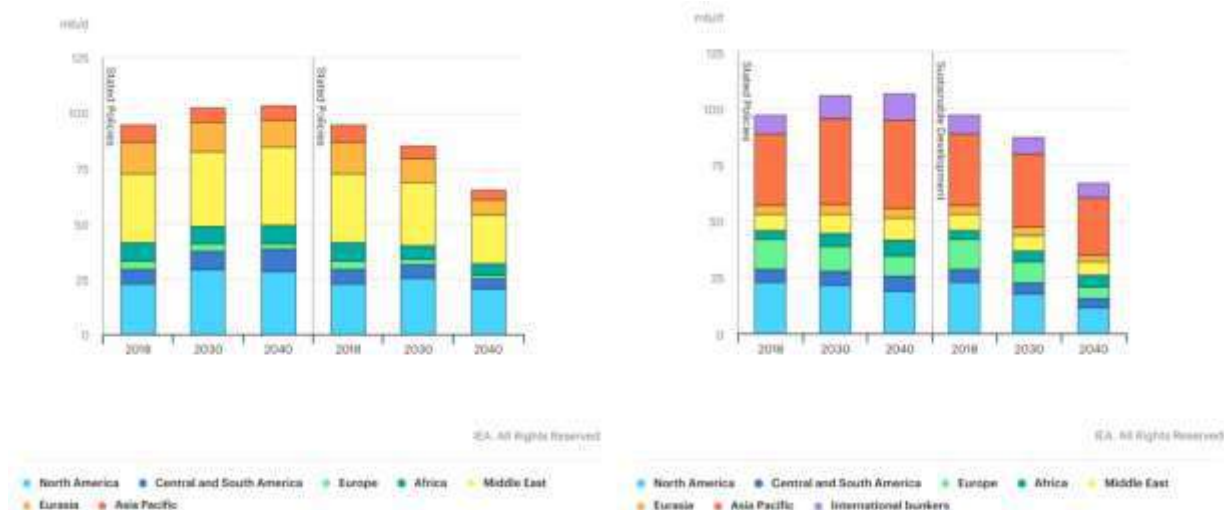
Global energy consumption by sector (2010-2050)

quadrillion British thermal units



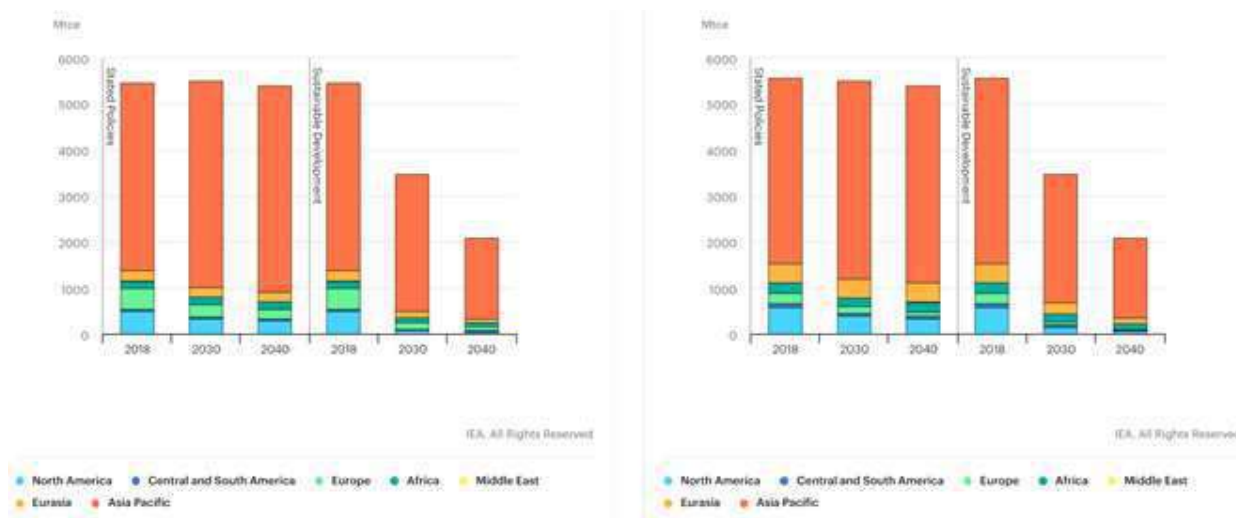
Прогноз глобального роста энергопотребления в мире по секторам. Источник: U.S. Energy Information Administration [1]

В этой статье мы обсудим первый аспект, который связан со снижением мирового спроса на ископаемое топливо. Изменение грузовой базы транспортной системы в контексте энергетического перехода будет происходить по двум основным товарным категориям. Во-первых, это грузоперевозки нефти и нефтепродуктов. С одной стороны, железнодорожная и морская доставка нефти и продуктов нефтепереработки конкурирует с трубопроводной инфраструктурой. С другой стороны, мировой спрос на нефть и нефтепродукты будет падать в результате их глобального перепроизводства, ужесточения экологических вызовов и требований, построения углеродно-нейтральной экономики и стремления стран-импортеров повысить энергетическую безопасность, оттока инвестиций в другие области. Уже в краткосрочной перспективе в ряде стран ЕС и Азии будут запущены автотранспортные реформы, программы повышения энергоэффективности, меры по улучшению экологической обстановки и другие мероприятия, которые в среднесрочной перспективе обеспечат стабильное превышение предложения нефти и нефтепродуктов над спросом на глобальном рынке энергоресурсов, снизят маржинальность этих товарных категорий и объемы их грузоперевозок.



Прогноз производства (слева) и спроса (справа) на нефть по регионам мира по двум сценариям, млн баррелей в день. Источник: IEA [2]

Вторая товарная категория — уголь. Промышленное производство и генерация электроэнергии во всем мире с использованием угля переходит на другие виды топлива, в частности, на природный газ. По прогнозам различных информационных агентств пик использования угля в энергетике будет пройден в 2025–30 гг., и начнется глобальное падение спроса, исключение будут составлять только страны Азии. В этих условиях рост или сохранение спроса будет преимущественно в тех странах, где своего угля достаточно и будет развиваться его добыча, как, например, в Индии и Китае. Однако рост потребления угля в Китае, Индии и Юго-Восточной Азии не сможет компенсировать быстрое снижение потребления в Европе и США. Инвестиции в новые генерирующие мощности на основе использования угля также будут снижаться. Таким образом, по прогнозам Bloomberg, к 2050 году выработка угля снизится на 51%, обеспечивая всего лишь 12% мировой генерации электроэнергии, по сравнению с 37% сегодня [3].



Прогноз спроса (слева) и производства (справа) угля по регионам мира по двум сценариям, млн тонн угольного эквивалента. Источник: IEA [2]

Следует отметить, что распространение пандемии коронавирусной инфекции во многом ускорило описанные процессы. Потребление нефти и угля упало не только в краткосрочной перспективе, но и снизится в долгосрочной за счет медленного восстановления мировой экономики. Угольная генерация в некоторых странах мира, где возникает дополнительное углеродное регулирование и активно развиваются ВИЭ, становится сравнительно дорогой по цене электроэнергии, поэтому в этих странах она остановлена или работает с минимальной нагрузкой. Согласно анализу Глобального энергетического мониторинга (GEM) за первые шесть месяцев 2020 года мир «потерял» 2,9 ГВт угольных мощностей[4]. Это дает временной лаг проектам альтернативной энергетики заявить о себе и заместить угольную генерацию, что, в свою очередь, создает предпосылки для ускоренного сокращения грузовой базы транспортной системы. Например, Великобритания более двух месяцев лета 2020 года не использовала уголь для выработки электроэнергии [5], а одна из крупнейших электростанций Drax Power Station потратила это время на реконструкцию четырех из шести своих блоков для сжигания биомассы и к марту 2021 года вообще прекратит производство электроэнергии на угле [6].



Источник: <https://vgudok.com/>

В России на уровне перечисления глобальных вызовов этот факт уже учитывается в стратегических документах, например, в Программе развития угольной промышленности России на период до 2035 года [7], но на уровне мероприятий сложившуюся за предыдущие годы инерцию еще предстоит преодолеть. Так, например, в профильных министерствах обсуждается расширение БАМ и Транссиба для увеличения угольного экспорта, и даже предлагается сделать это за счет увеличения тарифов на передачу электроэнергии для промышленных потребителей [8].

Таким образом, энергетический переход сокращает грузовую базу транспортной системы и, в первую очередь, железнодорожного транспорта. Конечно, перевозки угля и нефти не исчезнут полностью, но будут кардинально снижаться и влиять на коммерческую эффективность транспортных компаний. Это следует учитывать при разработке их стратегических планов развития, в том числе и в российских компаниях, например, в ОАО «РЖД» указанные товарные категории составляют до трети всех объемов грузовых перевозок [9].

Первым возможным направлением решения указанных проблем может являться замещение низкомаржинальных энергетических грузов. В том числе, возможно изменение грузовой базы за счет новых видов энергоносителей — биотоплива, синтетических видов топлива, и, конечно, водорода. Последний в соответствии с подготовленным Минэнерго РФ планом развития водородной энергетики в Российской Федерации [10] может начать производиться в нашей стране и экспортироваться по всему миру с 2024 года. Вторым возможным направлением решения является увеличение доли высокомаржинальных грузов, в том числе в результате обострения конкуренции между альтернативными транспортными коридорами морского, авиа- и железнодорожного транспорта по скорости доставки и обслуживанию товаров для электронной коммерции. Третьим возможным направлением является изменение формата оказания транспортных услуг, в том числе переход от оказания услуг по перевозкам к предоставлению грузовладельцам комплексных интегрированных услуг по принципу «от двери до двери» и формирование для этого глобальных логистических цепочек. Это позволит железнодорожному транспорту наращивать грузовую базу с высокой добавленной стоимостью логистических услуг и конкурировать с морским транспортом за контейнерные перевозки.



Источник: gaplogistics.com.ua

В складывающихся условиях компаниям транспортной отрасли нужно обратить особое внимание на технологии, которые позволят перепрофилировать грузоперевозки на

новые виды энергоносителей и снять ограничения пропускной способности транспортной инфраструктуры в части энергоснабжения. Более подробно о трендах развития технологий мировой энергетики и возможности использования новых энергетических технологий для обеспечения долгосрочного технологического развития транспортной отрасли мы расскажем в следующей статье.

[1] U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook 2019 URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>

[2] IEA World Energy Outlook 2019 URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>

[3] BNEF (Bloomberg New Energy Finance). New Energy Outlook 2019

[4] <https://www.power-technology.com/features/coal-end-lignite-thermal-generation-china-energy-transition-covid-19-uk-spain-germany-poland/>

[5] <https://www.power-technology.com/features/no-coal-uk-power-great-britain-transition/>

[6] <https://www.power-technology.com/features/drax-cutting-coal-ahead-of-schedule/>

[7] <https://www.kommersant.ru/doc/4519372>

[8] <http://static.government.ru/media/files/OoKX6PriWgDz4CNNAxwIYZEE6zm6I52S.pdf>

[9] <https://cargo-report.info/stat/year/>

[10] <https://www.rbc.ru/business/22/07/2020/5f1565589a794712b40faedf>

Энергетическое будущее железнодорожного транспорта – сумма технологий?

Дата: 30 декабря

Автор: Кирилл Ермолаев

В предыдущей статье мы обсуждали последствия энергетического перехода, связанные с развитием возобновляемой энергетики и декарбонизацией экономики целого ряда развитых стран, которые приведут к сокращению железнодорожных грузоперевозок ископаемого топлива. В этой статье мы хотим обратить внимание на возможные изменения технологического устройства энергетического хозяйства транспортной системы, в частности, железнодорожного транспорта, начиная с изменения архитектуры энергетического комплекса и вплоть до «последней мили», включая распределительные сети, распределенную генерацию и конечных потребителей.

Новые энергетические технологии для железнодорожного транспорта

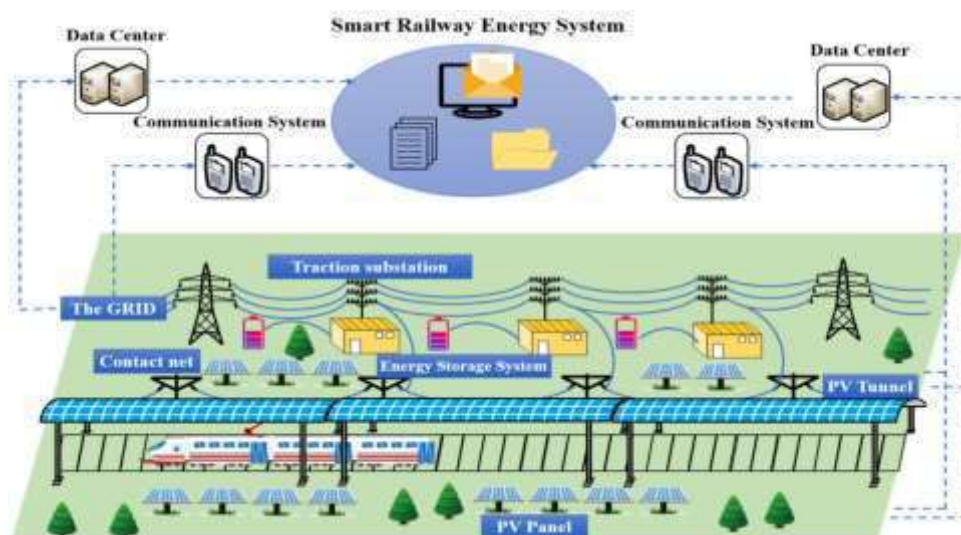
Энергетический переход задает направления изменения архитектуры энергетического комплекса, включая масштабное использование возобновляемой энергетики, развитие распределенной энергетики и просьюмеров, повсеместное применение в электроэнергетике цифровых управляемых устройств, обеспечивающих возможность реализации интеллектуального управления энергосистемами, основанного на межмашинном (M2M, IoT) взаимодействии. Эти изменения окажут определяющее влияние не только на долгосрочное развитие электроэнергетики, но и на взаимосвязанные с ней отрасли, включая железнодорожный транспорт.

Основными комплексными решениями и практиками, связанными с переходом на новую архитектуру энергетики и освоением новых технологий, на горизонте до 2050 года являются: промышленные и коммерческие микрогриды (Commercial & Industrial Microgrid), «умные» цифровые сети (Smart Grid), управление спросом (Demand Response), водородная энергетика (Hydrogen Energy), системы накопления энергии (Energy Storage), генерация на основе ВИЭ (Renewable Energy). Можно предположить следующие направления использования этих практик на железнодорожном транспорте.



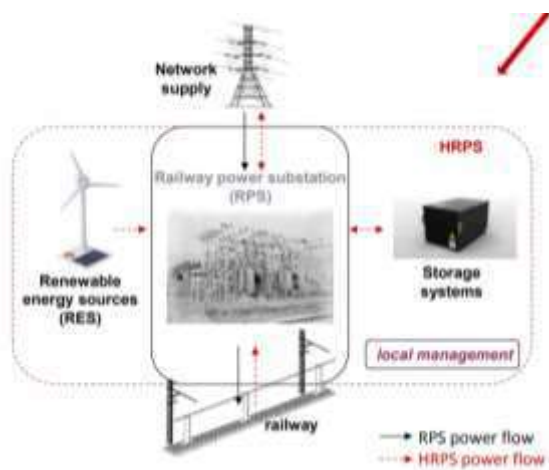
Иллюстрация Mega Rail Station [1]

Использование микрогридов для обеспечения собственного потребления железнодорожных (станционных) объектов позволит гибко реагировать на изменяющуюся конъюнктуру энергетического рынка и использовать открывающиеся на этом рынке возможности повышения экономической эффективности энергоснабжения. При этом под микрогридом понимается локальная энергосистема или система электроснабжения, представляющая собой технологический комплекс в составе объектов генерации (источников энергии), источников энергетической гибкости и потребителей электроэнергии, которые собраны под единым управлением в целях обеспечения как можно более эффективного и удобного для потребителя энергоснабжения. В первую очередь, технологии промышленных микрогридов целесообразно использовать в крупных центрах потребления электроэнергии и мощности, характеризующихся неравномерной нагрузкой, для снижения расходов на их электроснабжение. По некоторым оценкам, такие технологии могут обеспечить снижение расходов коммерческих и промышленных потребителей на электроснабжение в диапазоне от 5% до 25% и даже более по сравнению с потреблением энергии только из централизованной энергосистемы



Общая архитектура энергоснабжения железных дорог Китая от фотоэлектрических панелей [2]

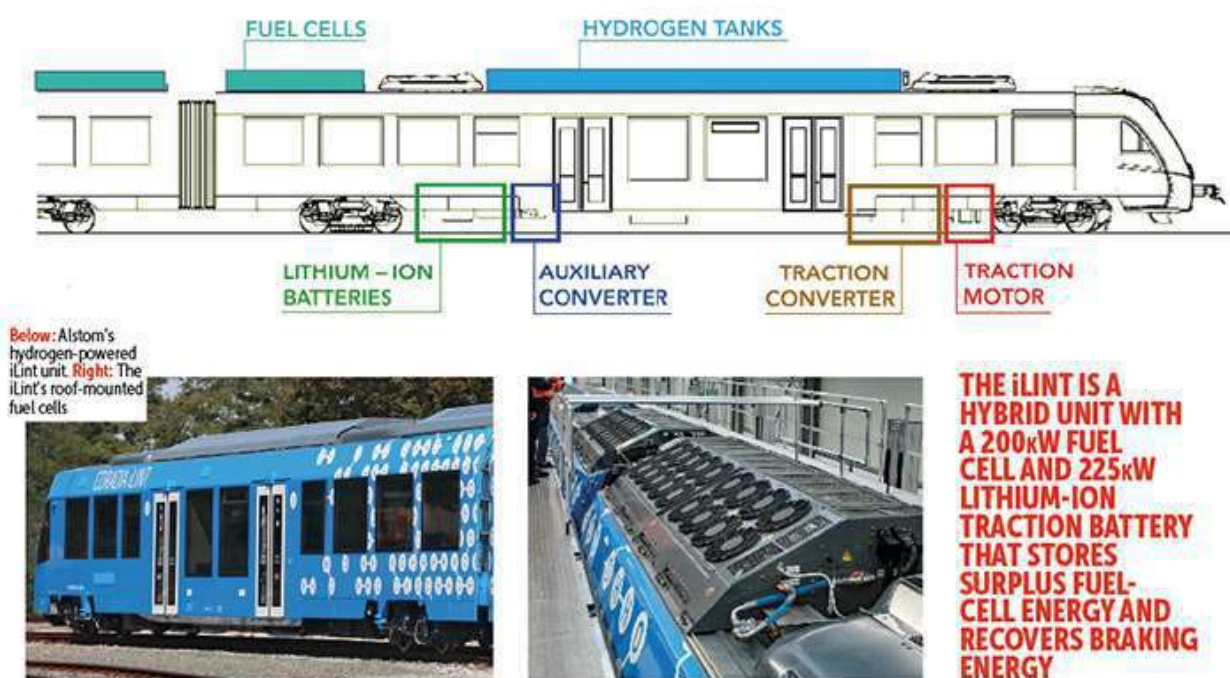
Технологии цифровых сетей включают комплекс решений, обеспечивающих эффективную и надёжную работу распределительной сети, открытой и адаптивной к новым объектам и участникам рынка. Среди технологий умных цифровых сетей можно назвать цифровые устройства релейной защиты и автоматики, цифровые измерители тока и напряжения, устройства синхронизированных измерений, интеллектуальные комплектные распределительные устройства, автоматические системы управления напряжением и реактивной мощностью и др., поддерживающие цифровой обмен данными в рамках распределенной интеллектуальной системы управления. Использование технологий умных цифровых сетей, интегрирующих распределенные источники энергии и гибкости, позволит железнодорожным компаниям создать систему распределенного управления собственными сетями, электрификацией тяги и энергоснабжением объектов пути. Использование этих технологий позволит снять ограничения на число пар проходящих поездов на ряде участков железнодорожного сообщения, снизить потери в контактной сети и расходы на электроэнергию, а также снизить инвестиции в новые тяговые подстанции.



Гибридная тяговая подстанция французских железных дорог [3]

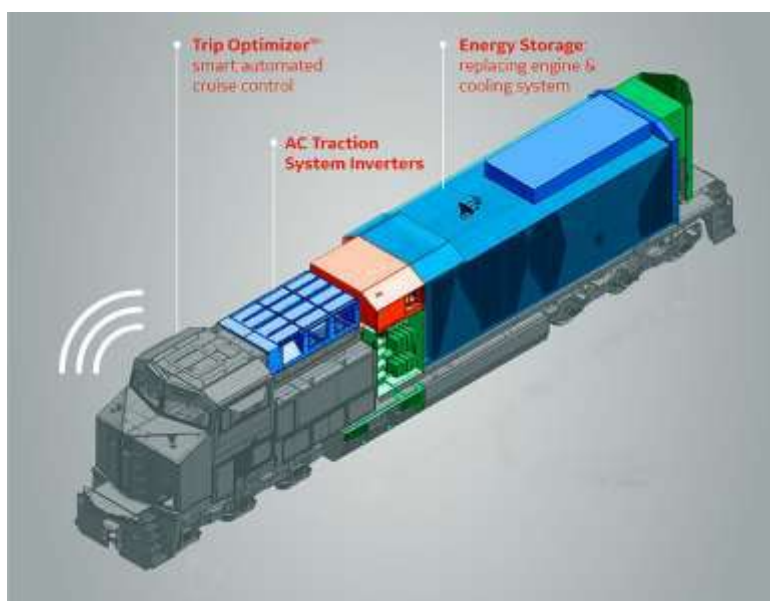
Управление спросом это механизм изменения потребления электроэнергии конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на ценовые сигналы или прямые команды. Такими сигналами могут быть изменение цен на электроэнергию во времени или стимулирующие выплаты, предусмотренные для того, чтобы снизить потребление в периоды высоких цен на электроэнергию на оптовом рынке, обеспечить динамическое регулирование генерации на базе ВИЭ или в моменты, когда системная надежность под угрозой. Использование технологий управления спросом на транспортных узлах, в первую очередь, для маневровой работы с возможностью ограничивать или переносить по времени потребление электроэнергии и мощности, позволит снизить затраты на электроэнергию и мощность, а также снизить затраты на рост надежности электроснабжения.

Аккумуляция электрической энергии в водородном цикле с целью последующих поставок водорода как энергоносителя на экспортные рынки – одно из наиболее многообещающих направлений развития мирового рынка энергоресурсов. Международным энергетическим агентством (МЭА) прогнозируется, что технологии водородной энергетики, использующие водород в качестве топлива, получат массовое распространение на частном и общественном транспорте, а также в распределенном энергоснабжении частных домохозяйств и коммерческой недвижимости [4]. Использование технологий водородной энергетики позволит обеспечить развитие грузовых и пассажирских перевозок на водородном топливе (гибриды с дизелем, поезда на водородных топливных элементах) для участков железных дорог без электрификации в целях обеспечения декарбонизации железнодорожного транспорта и снижения шума.



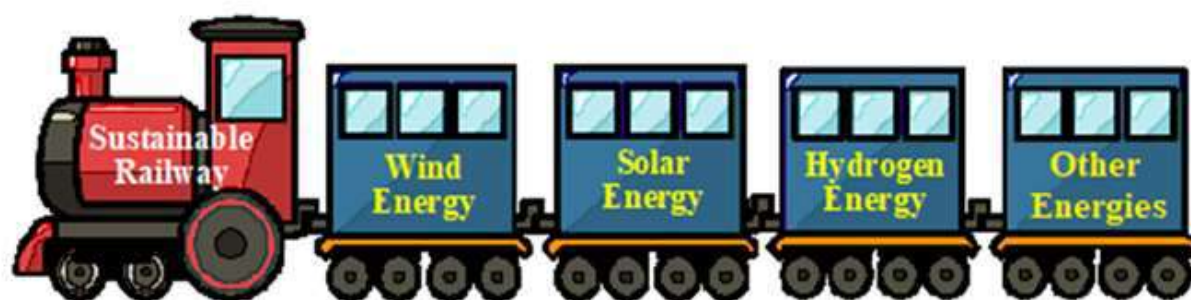
Поезд Alstom на водородном двигателе, который будет запущен в Германии в 2021 г. [5]

Стремительное развитие рынка систем накопления энергии обусловлено распространением переменных (ветер, солнце) возобновляемых источников энергии, эволюцией и падением стоимости технологий и оборудования, в частности литий-ионных батарей. Использование накопителей энергии не только на тяговых подстанциях, но и на маневровых локомотивах позволит выравнять нагрузку на дизельные двигатели и увеличивать их межремонтный ресурс в несколько раз, при применении на электровозах – снять ограничения для числа пар проходящих поездов на некоторых участках пути. Распространение практики использования накопителей энергии позволит железнодорожным компаниям повысить эффективность управления собственной гибкостью, качеством и надежностью электроснабжения.



Проект локомотива с аккумуляторными батареями, разработанный General Electric для железных дорог США [6]

Генерация на основе ветровой и солнечной энергии уже сейчас является самым дешевым способом генерации в более чем двух третях мира. По прогнозам Bloomberg к 2030 году стоимость электроэнергии от ВИЭ будет существенно ниже традиционных технологий практически по всем странам мира, а платежеспособный спрос на экологичную, надежную и доступную энергетику будет в разы превышать спрос на традиционные энергоисточники [7]. Использование генерации на основе ВИЭ, в первую очередь солнечной и ветровой, позволит компании снизить затраты на электроэнергию и получить дополнительный источник энергетической гибкости.



Образ железнодорожного транспорта эпохи устойчивого развития [8]

Перечисленные выше комплексные решения и практики будут актуальны и для российских железных дорог. Если взять за точку отсчета действующую энергетическую стратегию РЖД, разработанную в 2011 году, то она ориентирована на использование технологических решений, которые позволяют повысить энергетическую эффективность во всех сферах деятельности, включая тягу поездов, инфраструктуру, ремонт и производство; мониторинг потребления топливно-энергетических ресурсов и оптимизацию энергозатрат; создание мощностей собственной генерации и использование накопителей; внедрение технологий рекуперации энергии и др. [9]. Имеющееся представление может и должно быть существенно дополнено перечисленными выше комплексными решениями и практиками, которые помимо технологического контекста ориентированы еще и на достижение экономических эффектов.

Однако можно взглянуть на предложенный выше перечень новых технологических и бизнес-практик с другой точки зрения – с позиции их влияния на стратегические цели транспортной компании.

Образ будущей энергетической трансформации железнодорожного транспорта

Образ энергетической трансформации транспортной системы складывается не только из множества возникающих энергетических технологий, но и в результате системно-инженерного ответа на перспективные инфраструктурные требования, задаваемые стратегическим видением развития транспортной системы.



Иллюстрация Alejandro Burdisio

Например, стратегическое видение бизнеса может быть использовано для задания новых контекстов и требований к его энергетической структуре. Так, стратегия цифровой трансформации РЖД, утвержденная в конце 2019 года задает восемь цифровых платформ, каждая из которых становится базовым элементом ИТ-инфраструктуры для ключевых сфер деятельности РЖД: мультимодальных пассажирских перевозок, мультимодальных грузовых перевозок, транспортно-логистических узлов, оператора линейной инфраструктуры, логистического оператора электронной коммерции, управления перевозочным процессом, тягового подвижного состава, а также платформы непроизводственных процессов [10]. Поэтому при управлении всем жизненным циклом всей железнодорожной инфраструктуры важным становится обеспечить управляемость и гибкость энергетической инфраструктуры, а также обеспечить переход от учетных систем энергомониторинга к интеллектуальному управлению, которое позволит повысить скорость реализации основных бизнес-процессов и снизить их зависимость от человеческого фактора. Это становится новым вызовом для энергетической стратегии РЖД и направлением для технологического поиска.



Образ железных дорог будущего в России [11]

Другое стратегическое видение транспортной системы может быть связано с ролью железнодорожного сообщения в качестве критической общественной инфраструктуры страны, в результате чего железнодорожный транспорт является стратегически значимым для государства инструментом обеспечения мобильности населения и стимулирует экономическое развитие городских агломераций и целых регионов страны. Это задает требования к реализации социально-экономической роли в долгосрочной перспективе, которые могут быть рассмотрены в контексте создания мульти-инфраструктурных сред, которые будут интегрировать в средовой системе мультимодальный транспорт (железные дороги, автомобильный транспорт, водный и воздушный), энергетику, телекоммуникации, транспортировку воды, утилизацию отходов. Мульти-инфраструктурные среды, управляемые киберсоциальными технологиями получили в Японии название «умных городов» (smart city), а в Корее - «вездесущих городов» (ubiquitous city). Подобные системы будут стабилизировать повседневную городскую жизнь и вводить в действие вспомогательные услуги, повышающие своим наличием ценность основной услуги. Технологии мульти-инфраструктурных сред основаны на самоорганизующихся интеллектуальных системах управления, способных обучаться на основе опыта во взаимодействии с человеком.



Развитие железнодорожных перевозок в Японии по версии Hitachi [12]

Еще один вариант стратегического видения может быть заимствован из европейского представления о железнодорожном транспорте как одном из драйверов декарбонизации транспортной системы, конкурирующем с электрическим транспортом. Так, в недавнем интервью президент французской национальной железнодорожной компании SNCF Жан-Пьера Фаранду говорит следующее [13]: «Мое видение заключается в том, что к 2030 году поезда с водородной тягой заменят всю дизельную тягу на неэлектрифицированных участках сети (по состоянию на 2017-й год во Франции было неэлектрифицировано около 43% сети. – Прим. ред.). Я хочу, чтобы SNCF была пионером и возглавляла движение по внедрению водородной тяги. Мы введем первые прототипы в эксплуатацию в 2023 году. Сейчас мы совместно с Alstom разрабатываем гибридные поезда, которые поступят в четыре региона страны в 2021 году. Они используют дизельную тягу на маршруте, а в городской черте переходят на электрическую тягу.» В результате декарбонизации транспорт с использованием водородных топливных элементов будет конкурировать с батарейным (аккумуляторным) электрическим транспортом. В зависимости от типа транспортных средств эта конкуренция будет складываться в пользу одного или другого решения. Так, например, водородный транспорт, или транспорт с водородными топливными элементами, включая железнодорожный, за счет водородного топлива, служащего накопителем энергии для энергосистемы, своим распространением не создают проблем для энергетики по сравнению с распространением заряжаемого электротранспорта, который не просто повышает спрос на мощность, но и приводит к значительному разуплотнению профиля потребления, а значит – к снижению эффективности использования и росту стоимости мощности. Кроме того, электротранспорт целесообразно использовать для поездок на небольшие расстояния, а нишу для дальних перемещений в долгосрочной перспективе займет водородный

транспорт. Поэтому в долгосрочной перспективе для железнодорожного транспорта становится целесообразным переход на использование водорода для обеспечения тяги поездов в локомотивной и мотор-вагонной схемах, а также развитие инфраструктуры водородной энергетики для собственных нужд.



Переход французских поездов на водородное топливо [14]

Конечно, во многом эти стратегические видения не новы и коррелируют с развиваемыми во всем мире энергетическими технологиями. Однако важным представляется взаимосвязь образа энергетической трансформации железнодорожного транспорта с его стратегическим позиционированием, которая поможет каждой железнодорожной компании расставить приоритеты среди всех возможных направлений изменения технологического устройства энергетического хозяйства. Более того, оценка потенциала и порядок внедрения новых энергетических технологий становится не просто перебором или ожиданием «чужих ошибок», но программированием действий по развитию необходимых компетенций системного инжиниринга комплексных решений, по реализации комплексных пилотных проектов, демонстрирующих необходимые эффекты, и по снятию регуляторных барьеров для их масштабного применения.

[1] <https://www.deviantart.com/bartzis/art/Mega-Rail-Station-Orbital-03-639880029>

[2] Ji, L., Yu, Z., Ma, J., Jia, L., & Ning, F. (2020). The Potential of Photovoltaics to Power the Railway System in China. *Energies*, 13(15), 3844.

[3] <https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2017/06/4-The-Conifer-and-Massena-Project-Guillaume-Gazaignes-and-Beno%C3%A9t-Robyns.pdf>

- [4] The clean hydrogen future has already begun. URL: <https://www.iea.org/commentaries/the-clean-hydrogen-future-has-already-begun>
- [5] <https://www.imeche.org/news/news-article/could-hydrogen-trains-be-the-future-of-rail>
- [6] https://www.greencarreports.com/news/1127629_battery-powered-electric-trains-will-soon-bring-cleaner-air-especially-in-europe
- [7] BNEF (Bloomberg New Energy Finance). New Energy Outlook 2019
- [8] <https://news.railanalysis.com/modern-energy-solutions-for-sustainable-railways-an-overview/>
- [9] http://www.rzd-expo.ru/doc/Energ_Strateg_new.pdf
- [10] https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%B8%D1%8F_%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%A0%D0%96%D0%94
- [11] <https://www.ferra.ru/news/techlife/rzhd-otkroet-internet-prodazhu-biletov-na-samolety-i-avtobusy-02-12-2019.htm>
- [12] http://www.hitachi.com/rev/archive/2018/r2018_04/02a01/
- [13] Жан-Пьер Фаранду: «Я хочу, чтобы SNCF была пионером и возглавляла движение по внедрению водородной тяги» URL: <https://graph.org/ZHan-Per-Farandu-YA-hochu-chtoby-SNCF-byla-pionerom-i-vozglavlyala-dvizhenie-po-vnedreniyu-vodorodnoj-tyagi-06-23>
- [14] <https://vgudok.com/bnaseti/vodorod-vmesto-toka-francuzskie-poezda-perehodyat-na-vodorodnoe-toplivo>

Обеспечение устойчивой работы и повышение эффективности генераторных установок в энергосистеме с резкопеременной нагрузкой при помощи системы накопления электрической энергии

Нестеренко Г.Б.

ООО «Системы накопления энергии»

Email: g.nesterenko@estorsys.ru

Представлен анализ целесообразности применения системы накопления электрической энергии (СНЭЭ), сглаживающей резкие изменения мощности нагрузки, для обеспечения устойчивой работы газопоршневых установок (ГПУ) в автономной энергосистеме. Разработана математическая модель СНЭЭ для расчёта переходных процессов в энергосистемах, составлена модель проектируемой энергосистемы с резкопеременной нагрузкой, выбраны параметры СНЭЭ, определено необходимое количество ГПУ, рассчитан эффект от установки СНЭЭ.

The paper gives a feasibility analysis of electrical energy storage system (EESS) application that ensures steady change of gas engine generators power in off-grid power system of oil and gas field with abruptly variable load. The research includes the following procedures: development of EESS model for transients calculation in power systems and model of the prospective off-grid power system, choosing EESS parameters and number of generators, calculation of EESS implementation effect.

Ключевые слова: система накопления электрической энергии, автономная энергосистема, резкопеременная нагрузка, газопоршневая установка, нефтегазовое месторождение, математическая модель.

Key words: electrical energy storage system, off-grid power system, abruptly variable load, gas engine generator, oil and gas field, mathematical model.

ВВЕДЕНИЕ

В автономных энергосистемах мощность крупных электроприёмников часто оказывается сопоставима с суммарной установленной мощностью генерации. Запуск и остановка таких электроприёмников, а также их работа с резкопеременным графиком потребления мощности приводят к значительным колебаниям частоты и напряжения, повышенному расходу топлива и моторесурса генераторных установок, а также к отключениям генераторов, чувствительных к резким сбросам и набросам мощности. Данная проблема характерна для газопоршневых установок (ГПУ).

Одним из способов предотвращения отключений ГПУ при резких сбросах и набросах нагрузки является корректировка настроек их автоматических регуляторов скорости и возбуждения (АРС и АРВ), а также уставок технологических защит. Однако, как правило, доступ к указанным настройкам имеют лишь производители ГПУ, а не их поставщики или обслуживающий персонал. Кроме того, корректировка настроек в некоторых случаях может лишь облегчить проблему, но не решить её.

В связи с этим традиционный подход к обеспечению стабильной работы ГПУ состоит в том, что на этапе проектирования энергообъекта выбирается большее количество ГПУ, чем того требует непосредственно максимальная величина мощности нагрузки. Таким образом обеспечивается меньшее удельное значение резкого изменения мощности, приходящегося на одну ГПУ. Однако в этом случае средняя загрузка ГПУ оказывается низкой, они работают в неоптимальном режиме, повышается удельный расход топлива и моторесурса. Кроме того, значительно возрастают капитальные затраты в связи с необходимостью установки нескольких дополнительных ГПУ.

Альтернативным вариантом является построение электростанции на базе дизель-генераторных установок (ДГУ), которые характеризуются низкой чувствительностью к резким изменениям мощности нагрузки. Однако данное решение ведёт к значительным расходам, поскольку стоимость топлива (с учётом стоимости доставки) может быть очень высока, особенно в случае расположения энергосистемы в удалённом районе.

Перспективным способом обеспечения стабильной работы ГПУ на резкопеременную нагрузку является применение систем накопления электрической энергии (СНЭЭ). Благодаря развитию и снижению стоимости силовой электроники и накопителей электрической энергии быстродействующие СНЭЭ уже сегодня позволяют комплексно и более эффективно, чем это делается традиционными методами, решать ряд сложных задач [1, 2]. В автономных энергосистемах СНЭЭ могут применяться для ограничения скорости сбросов и набросов мощности на генераторные установки. В таком режиме работы СНЭЭ способны принимать резкие изменения нагрузки «на себя» и обеспечивать плавное изменение мощности генераторов.

Актуальным вопросом при этом оказывается выбор необходимых параметров и алгоритма управления СНЭЭ, а также количества ГПУ, требуемого к установке в энергосистеме. Для осуществления этого выбора целесообразно выполнять моделирование функционирования энергосистемы с различным количеством ГПУ без СНЭЭ и со СНЭЭ. Наибольшую важность представляет расчёт электромеханических переходных процессов при резких сбросах и набросах нагрузки. Для создания модели энергосистемы и выполнения подобного расчета необходимо наличие в программно-вычислительном комплексе соответствующей модели СНЭЭ.

В электроэнергетических программно-вычислительных комплексах отсутствуют стандартные модели СНЭЭ для расчёта переходных процессов в энергосистемах. Осуществляется разработка высокодетализированных моделей, но они требовательны к ресурсам компьютера и не предназначены для расчёта электромеханических переходных процессов. В связи с этим разработка математической модели СНЭЭ является одной из задач, важных для обеспечения возможности выполнения анализа применимости СНЭЭ в составе энергообъектов.

Цель работы: выполнить анализ целесообразности применения СНЭЭ, сглаживающей резкие изменения мощности нагрузки, для обеспечения устойчивой работы газопоршневых установок в автономной энергосистеме.

Задачи работы: разработать математическую модель СНЭЭ для расчёта переходных процессов в энергосистемах; оценить достоверность модели посредством сравнения расчётов в программно-вычислительном комплексах с результатами натурных испытаний СНЭЭ; составить модель автономной энергосистемы с резкопеременной нагрузкой; выбрать параметры СНЭЭ и определить необходимое количество ГПУ; определить эффект от установки СНЭЭ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Разработка модели СНЭЭ

1.1. Требования к модели

Основное назначение расчётов с использованием модели – выбор параметров СНЭЭ, апробация алгоритмов управления СНЭЭ, оценка эффективности работы СНЭЭ в разных условиях. Модель должна позволять рассчитывать переходные процессы с учётом управляемого обмена активной и реактивной мощностью СНЭЭ и энергосистемы при основных ограничениях, накладываемых характеристиками элементов СНЭЭ.

СНЭЭ представляет собой сложное устройство, основными элементами которого являются двунаправленный силовой транзисторный преобразователь (при необходимости – несколько преобразователей, работающих параллельно) и накопители электрической энергии (НЭЭ) – литий-ионные аккумуляторы, суперконденсаторы или др.

Подробное моделирование процессов в транзисторном преобразователе и аккумуляторах для расчёта электромеханических переходных процессов не требуется. Для расчёта электромагнитных переходных процессов необходимо предусмотреть возможность детального моделирования работы преобразователя.

1.2. Описание разработанной модели

Математическая модель СНЭЭ разработана в программно-вычислительном комплексе DigSILENT PowerFactory, обеспечивающем возможность расчёта установившихся режимов, электромеханических и электромагнитных переходных процессов.

Для сокращения времени расчета электромеханических переходных процессов в основе модели СНЭЭ по умолчанию используется управляемый источник мощности («GenStat»). Также в структурную схему модели (Рис. 1) входят: блок задания основных параметров СНЭЭ («ESS param Slot»); блоки моделирования динамических процессов в СНЭЭ («SOC calc Slot», «SOC lim Slot», «Sn lim Slot», «Delay Slot»); блок системы управления мощностью СНЭЭ («PQ inp Slot»).

В блоке параметров задаются параметры СНЭЭ: номинальная энергоемкость, номинальная мощность, начальный уровень заряда, ограничения по максимальному и минимальному уровню заряда и др. Блоки, моделирующие функционирование подсистем СНЭЭ во времени, представляют собой наборы элементов и функций, позволяющих источнику мощности выдавать/потреблять энергию с учётом особенностей СНЭЭ. В блок системы управления мощностью закладываются алгоритмы, реализующие заданные режимы функционирования СНЭЭ.

При расчёте электромагнитных переходных процессов управляемый источник мощности заменяется на IGBT-преобразователь, управляемый посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с использованием теории мгновенной мощности Хирофуми Акаги [3]. Синхронизация осуществляется при помощи блока фазовой автоподстройки частоты.

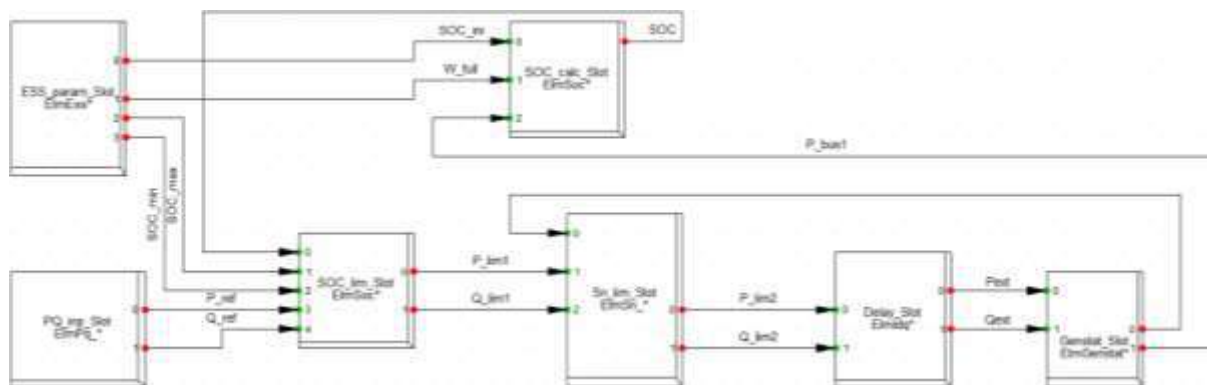


Рис. 1 Структурная схема модели СНЭЭ в PowerFactory

2. Оценка достоверности модели СНЭЭ

Оценка достоверности модели СНЭЭ проводилась путём сравнения результатов расчёта (Рис. 2, 4) с результатами натурного эксперимента (рис. 3, 5), проведённого в автономной энергосистеме, включающей СНЭЭ мощностью 100 кВА и энергоемкостью 153 кВт·ч с литий-железо-фосфатными аккумуляторами LT-LYP300AH, дизель-генераторную установку (ДГУ) ЭДД-100 мощностью 100 кВт (125 кВА) и резкопеременную нагрузку. Модуль коммутирования нагрузки позволил с заданной периодичностью

подключать и отключать блоки нагрузки. Базовая нагрузка – 21,6 кВт, дополнительная нагрузка – 67,4 кВт.

Опыт со СНЭЭ, работающей по алгоритму ограничения максимальной и минимальной мощности нагрузки на ДГУ (Рис. 2, 3), проводился при повторно-кратковременном характере изменения активной нагрузки: длительность цикла 10 с, скважность 0,5. Уставки алгоритма СНЭЭ: минимальная мощность 45 кВА, максимальная – 65 кВА. При попадании мощности нагрузки за пределы указанных значений СНЭЭ ликвидирует небаланс, выдавая или потребляя мощность.

Опыт со СНЭЭ, работающей по алгоритму ограничения скорости изменения мощности нагрузки на генератор (Рис. 4, 5), проводился по той же схеме, что и предыдущий, но СНЭЭ обеспечивала плавное изменение мощности ДГУ при резких изменениях мощности нагрузки.

Результаты сравнения расчётов с натурными испытаниями позволяют утверждать, что разработанная модель СНЭЭ имеет высокое качественное и количественное сходство с реальной СНЭЭ.

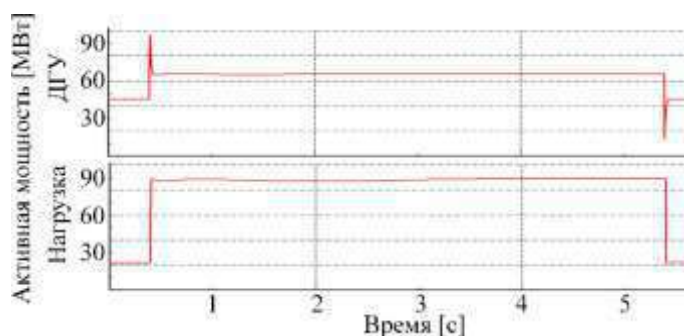


Рис. 2 Расчёт: переходный процесс при работе СНЭЭ в режиме ограничения макс. и мин. мощности

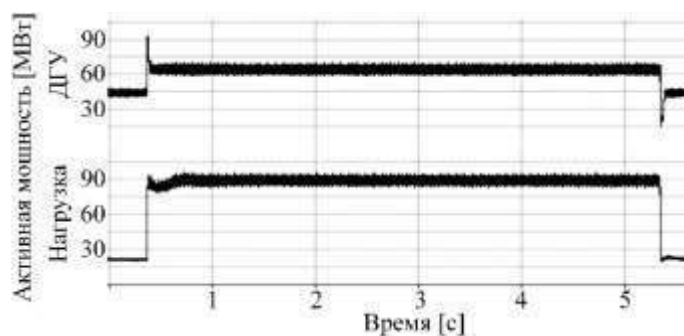


Рис. 3 Эксперимент: переходный процесс при работе СНЭЭ в режиме ограничения макс. и мин. мощности

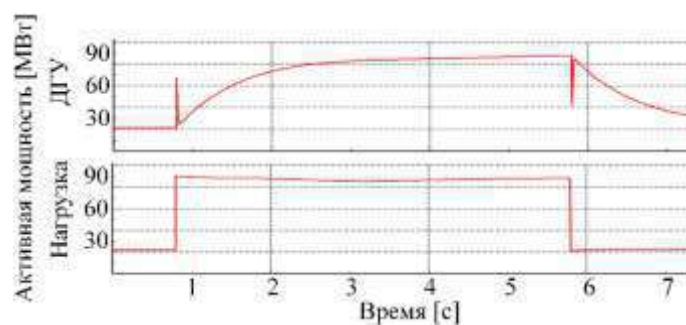


Рис. 4 Расчёт: переходный процесс при работе СНЭЭ в режиме ограничения скорости изменения мощности

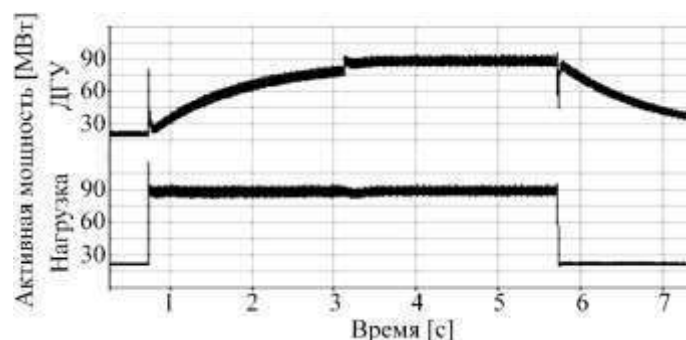


Рис. 5 Эксперимент: переходный процесс при работе СНЭЭ в режиме ограничения скорости изменения мощности

3. Применение модели для анализа целесообразности установки СНЭЭ

3.1. Описание рассматриваемой энергосистемы

Ниже рассматривается применение СНЭЭ в составе перспективной автономной энергосистемы нефтяного месторождения.

В качестве генераторных установок на объекте планируется использовать ГПУ Cummins C15400N5C мощностью 1925 кВА (1540 кВт). Основная нагрузка будет представлена 2 буровыми установками БУ 5000/320. График мощности, потребляемой такой буровой установкой, носит резкопеременный характер.

3.2. Моделирование энергосистемы

Модель энергосистемы создана в программно-вычислительном комплексе DIgSILENT PowerFactory. Суммарный график нагрузки от двух буровых установок БУ 5000/320 (Рис. 6) содержит несколько сбросов и набросов мощности. Наиболее тяжёлое возмущение: два последовательных сброса нагрузки величиной порядка 1 МВт каждый.

Использована модель ГПУ с АРС, описанная в [4]. Параметры АРС подобраны таким образом, чтобы при наборе мощности график изменения скорости вращения был максимально близок к графику, полученному при заводских испытаниях ГПУ Cummins

C15400N5C. В качестве APB использован типовой регулятор, имеющийся в библиотеке PowerFactory: 1968 IEEE Type 1 Excitation System.

В расчёте используется разработанная модель СНЭЭ. Тип накопителей электрической энергии – литий-железо-фосфатные аккумуляторы. Разработанный алгоритм управления СНЭЭ позволяет обеспечить плавное изменение мощности генераторов по апериодическому закону.

Ниже показаны результаты применения моделирования для определения необходимого количества ГПУ в энергосистеме без СНЭЭ и со СНЭЭ.

Традиционный подход предполагает установку на электростанции 6 ГПУ (и дополнительно 1 резервного агрегата). В этом случае ГПУ успешно обеспечивают электроснабжение по резкопеременному графику нагрузки, но максимальная загрузка ГПУ составляет лишь 38% (Рис. 6).

Были рассмотрены варианты конфигурации электростанции с разным количеством ГПУ (с сохранением 1 ГПУ в резерве).

В варианте установки 5 ГПУ без СНЭЭ генераторы не справляются с двумя последовательно идущими резкими сбросами мощности и отключаются после второго сброса (Рис. 7).

Моделирование показало, что оптимальным вариантом является установка 3 ГПУ и 1 СНЭЭ. При таком составе энергосистема функционирует стабильно. СНЭЭ обеспечивает плавное изменение мощности ГПУ. Загрузка ГПУ приближается к оптимальной: максимальная загрузка составляет 76% (Рис. 8). Необходимые параметры СНЭЭ: номинальное напряжение 10 кВ, номинальная мощность 1200 кВА, номинальная энергоёмкость 400 кВт-ч.

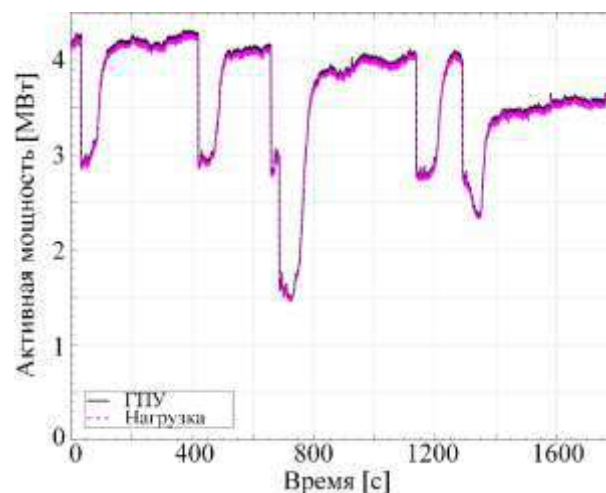


Рис. 6 Работа электростанции из 6 ГПУ на нагрузку без СНЭЭ

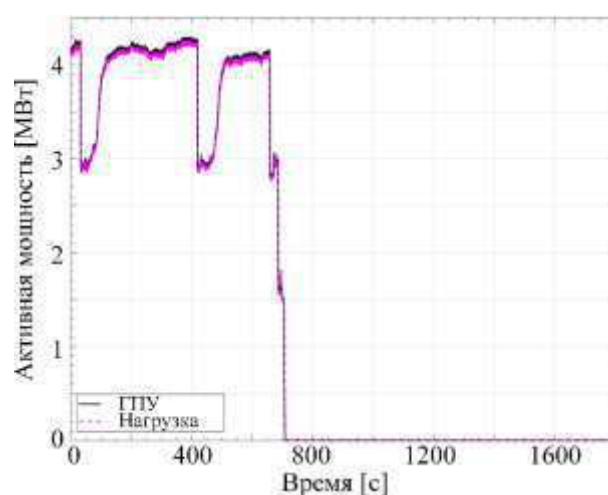


Рис. 7 Работа электростанции из 5 ГПУ на нагрузку без СНЭЭ (отключение)

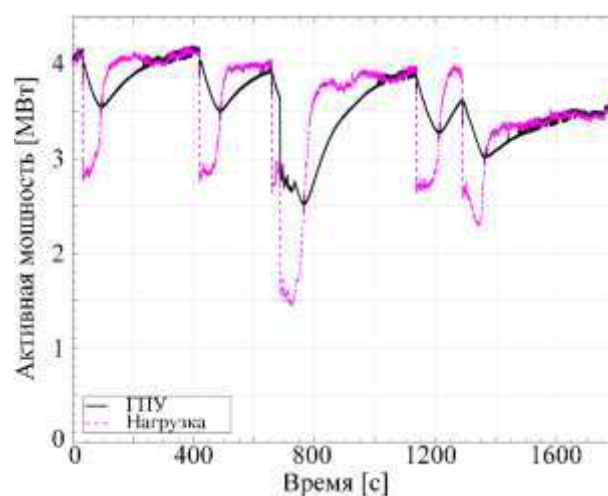


Рис. 8 Работа электростанции из 3 ГПУ на нагрузку при наличии СНЭЭ

3.3. Анализ целесообразности установки СНЭЭ

Моделирование показало, что в случае отсутствия СНЭЭ для предотвращения отключений ГПУ необходимо установить большее количество ГПУ, чем того требует непосредственно величина максимальной мощности нагрузки. 5 ГПУ достаточно, чтобы выдать необходимую мощность, но в такой конфигурации энергосистема не сохраняет устойчивость при резком сбросе нагрузки. В случае отсутствия СНЭЭ для обеспечения устойчивой работы энергосистемы необходимы 6 ГПУ.

Использование СНЭЭ с функцией ограничения скорости сбросов и набросов мощности позволяет обеспечить плавное изменение мощности ГПУ и стабильную работу энергосистемы с резкопеременной нагрузкой. При этом снижается необходимое количество работающих ГПУ с 6 до 3 штук.

Проект внедрения СНЭЭ с номинальным напряжением 10 кВ, номинальной мощностью 1200 кВт, номинальной энергоёмкостью 400 кВт·ч в проектируемой энергосистеме нефтяного месторождения окупается на стадии капитальных вложений благодаря

исключению затрат на установку 3 дополнительных генераторных установок. Кроме того, исключаются затраты на их техническое обслуживание и ремонты (Таблица 1). Таким образом, установка СНЭЭ является целесообразной.

Таблица 1. Сравнение затрат на СНЭЭ с затратами на 3 дополнительных ГПУ

	Капитальные вложения	Ежегодное обслуживание	Ремонты
СНЭЭ	45 017 тыс. руб.	70 тыс. руб.	388 тыс. руб. каждые 4 года
3хдоп. ГПУ	105 485 тыс. руб.	4 795 тыс. руб.	3 836 тыс. руб. через каждые 16 000 моточасов; 28 769 тыс. руб. через каждые 40 000 моточасов

4. СНЭЭ для энергообъекта

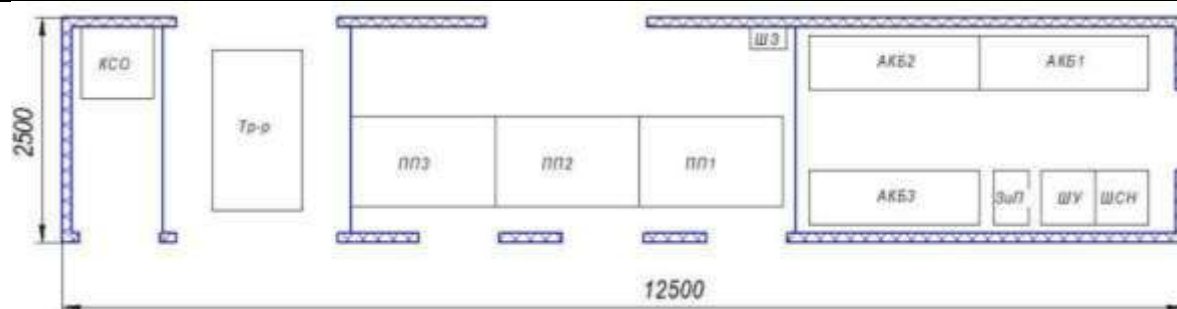
4.1. Параметры СНЭЭ

СНЭЭ, выбранная для установки на энергообъекте по итогам моделирования, была разработана и произведена в г. Новосибирске, Россия. Наименование: СНЭ-СН-10-1200-400-БМ-УХЛ1. Основные параметры СНЭЭ представлены в Таблице 2. Схема компоновки оборудования СНЭЭ в сорокафутовом блочно-модульном здании показана на Рис. 9. Внешний вид СНЭЭ представлен на Рис. 10.

Таблица 2. Основные параметры СНЭ-СН-10-1200-400-БМ-УХЛ1

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Номинальное напряжение	кВ	10
Номинальная мощность	кВА	1200
Номинальная энергоёмкость	кВт·ч	400
Тип накопителей электрической энергии		литий-железо-фосфатные аккумуляторы
Конструктивно исполнение		блочно-модульное здание

Климатическое исполнение		УХЛ1
Габаритные размеры, Д×Ш×В	мм	12 192 × 2 438 × 2 896



КСО – камера сборная одностороннего обслуживания, Тр-р – трансформатор, ПП1–ПП3 – шкафы подсистемы преобразования, ШЗ – шкаф зажимов (с суммирующими трансформаторами тока); АКБ1–АКБ3 – аккумуляторные батареи (стеллажи подсистемы накопления), ЗиП – запасные части, инструменты и принадлежности, ШУ – шкаф подсистемы управления, ШСН – шкаф собственных нужд

Рис. 9 Схема компоновки оборудования СНЭ-СН-10-1200-400-БМ-УХЛ1



Рис. 10 Внешний вид СНЭ-СН-10-1200-400-БМ-УХЛ1

4.2. Испытания СНЭЭ

Испытания работы СНЭЭ 1200 кВА 400 кВт·ч в автономной энергосистеме с ГПУ и резкопеременной нагрузкой были выполнены в Новосибирской области. Испытания подтвердили эффективность СНЭЭ в обеспечении стабильной и безаварийной работы генераторных установок при резких сбросах и набросах нагрузки. На Рис. 11 приведён пример графика изменения мощности нагрузки и ГПУ при работе СНЭЭ. Схема испытательной энергосистемы представлена на Рис. 12.

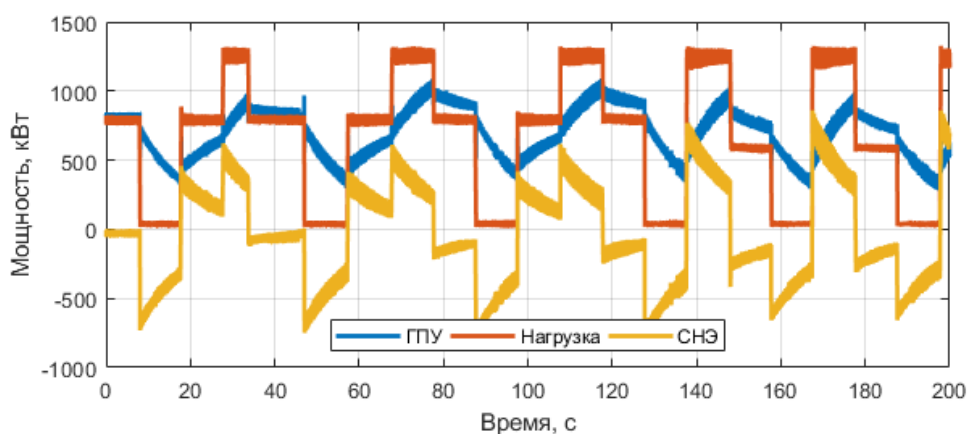
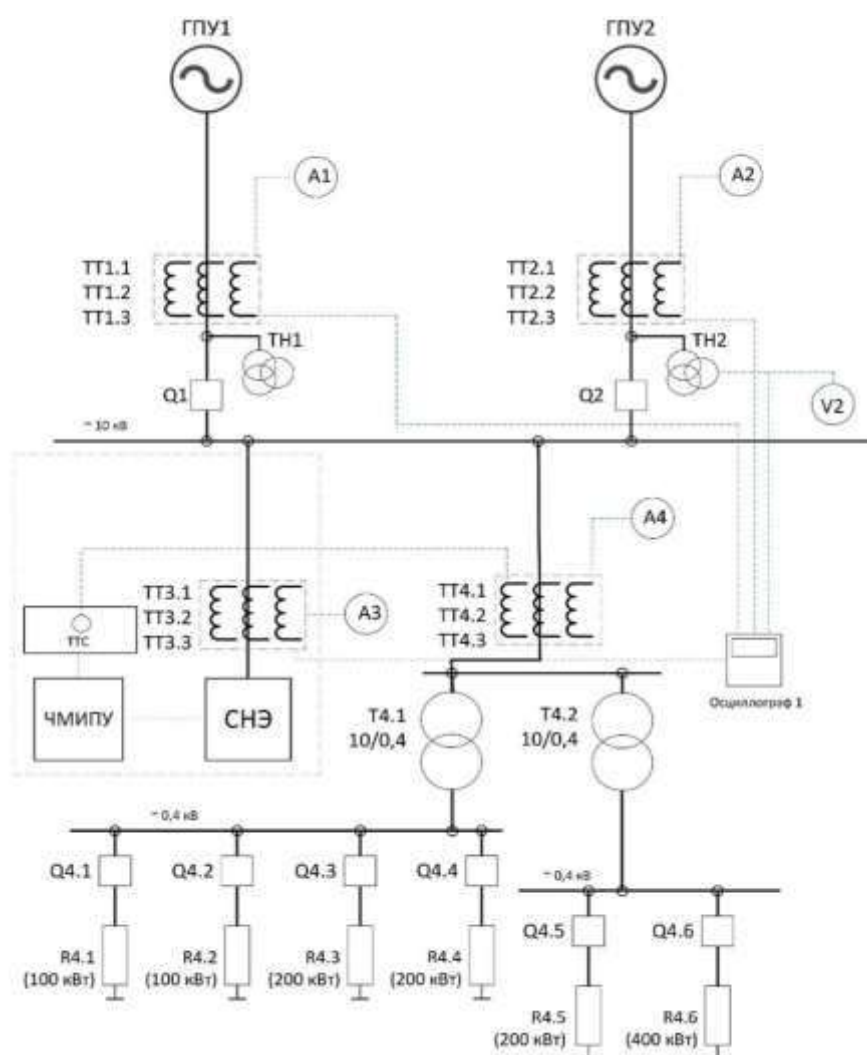


Рис. 11 Сглаживание набросов и сбросов нагрузки при помощи СНЭЭ



СНЭ – СНЭ-СН-10-1200-400-БМ-УХЛ1, ГПУ 1, 2 – газопоршневые установки, Т 4.1, 4.2 – силовые трансформаторы, R 4.1-4.6 – нагрузочные сопротивления, Q 1, 2, 4.1-4.6 – выключатели, ТН 1, 2 – трансформаторы напряжения, ТТ 1.1-4.3 – трансформаторы тока, ЧМИПУ – человеко-машинный интерфейс подсистемы управления, ТТС – трансформатор тока суммирующий

Рис. 12 Принципиальная схема испытательной энергосистемы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование работы СНЭЭ в составе энергосистемы нефтяного месторождения с использованием разработанной математической модели СНЭЭ для расчёта переходных процессов, а также натурные испытания совместной работы СНЭЭ и ГПУ подтвердили целесообразность применения СНЭЭ для обеспечения плавного изменения мощности генераторных установок, работающих на резкопеременную нагрузку. СНЭЭ обеспечивает устойчивую работу генераторных установок и повышает их эффективность: снижает удельный расход топлива и моторесурса. Экономический эффект обусловлен исключением затрат на установку дополнительных генераторных установок, а также затрат на их техническое обслуживание и ремонты.

Список литературы

1. B. Robyns, B. François, G. Delille, C. Saudemont «Energy storage in electric power grids» (UK: ISTE and John Wiley & Sons, 2015).
2. J. Li, R. Xiong, Q. Yang, et al. «Design/test of a hybrid energy storage system for primary frequency control using a dynamic droop method in an isolated microgrid power system» (Applied Energy, 2017, vol. 201, pp. 257–269).
3. H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes «Instantaneous power theory and applications to power conditioning» (IEE Press, John Wiley and Sons Inc., 2007).
4. Г.Я. Вагин, Е.Б. Солнцев, А.М. Мамонов, А.А. Петров «Математическая модель электроагрегата мини-ТЭЦ на базе явнополюсного синхронного генератора» (Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов, 2015, т. 326, № 8, с. 92–101).

Виртуальные электростанции: опыт разработки, роль в новой модели электроэнергетики России

Сергиенко П. В.

ООО «ГК ИНФОПРО»

Email: post@info-pro.ru

Электроэнергетика России находится на пути к новой модели функционирования. Очевиден переход от традиционной организации энергосистем с крупными энергетическими компаниями к новым технологиям и практикам. Ключевые тренды «энергетического перехода»: децентрализация, увеличение доли малой распределенной генерации, формирование микрогридов и интеллектуализация энергосистем. Исследование посвящено вопросу создания и внедрения «виртуальных» электростанций – решение для управления распределенными генераторами.

Ключевые слова: энергетика, виртуальная электростанция, распределенная генерация, микрогриды, управление энергоэффективностью, микросети.

Key words: Distributed Energy Resources, Smart Grid, Energiewende, Energy Transition

Тезисы доклада:

1. Развитие распределенной генерации должно сочетаться с развитием и внедрением новых высокотехнологичных систем – «виртуальных» электростанций (ВЭС), цифровых сообществ децентрализованных генераторов, подающих энергию в сеть.
2. ВЭС – необходимое звено для взаимодействия между централизованными и распределенными генерирующими мощностями.
3. ВЭС позволяют получить дополнительные мощности без инвестиций в их строительство и сбалансировать энергосети.
4. Концепции ВЭС соответствует разработка ООО «ГК ИНФОПРО» - Облачная платформа объединения и согласованного управления распределенными энергетическими ресурсами и мощностями (Платформа).
5. Облачная платформа объединения и согласованного управления распределенными энергетическими ресурсами и мощностями позволит значительно повысить эффективность процесса управления функционированием распределенных энергетических активами, сократить затраты на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР)

Вектор развития электроэнергетики России в сторону распределенной генерации определяет новые реалии рынка. Создается все больше автономных относительно локальных энергосистем, обладающих собственными объектами генерации электроэнергии и тепла, накопления электроэнергии, электрическими и тепловыми сетями. На распределенную энергетику в России уже приходится 5-10% всего объема. В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2030 года» доля распределенной генерации в нашей стране может достичь 20% от общего объема производства электроэнергии. По оценке Международного энергетического агентства, распределенная энергетика обеспечит до 75% новых подключений в ходе глобальной электрификации до 2030 г.

Распределенная энергетика - совокупность технологий, которые позволяют генерировать электроэнергию рядом с местом ее потребления.

Децентрализация характеризуется увеличением доли малой генерации, формированием так называемых «микрогридов» и интеллектуализацией энергосистем. Формируется принципиально новый рынок на базе интеллектуальных энергоустройств – «интернета энергии». Среди прочего все большую актуальность приобретают микросети или «виртуальные» электростанции (ВЭС), интегрированные как в сеть, так и в рынок электроэнергии и мощности.

В мире уже есть примеры реализации ВЭС. В промышленно развитых странах их число растет. Больше всего ВЭС в странах с развитой возобновляемой энергетикой: США, Германии, Австралии, Дании, Японии. Во многих европейских странах на распределенную генерацию приходится уже 20-30% всей выработки. Услуги виртуальных электростанций предоставляют как «традиционные» энергетические предприятия (Statkraft, RWE, E. ON, ABB, AGL Energy, AutoGrid Systems, Comverge и т. п.), ищущие новые бизнес-модели, так и независимые компании и даже стартапы из IT-сектора. В России на настоящий момент насчитывается всего лишь около 50 тыс. объектов малой распределенной генерации — против 12 млн в США.

За рубежом переход к инновационному преобразованию электроэнергетики происходит на основе концепции Smart Grid. Это полностью интегрированная, саморегулирующаяся и самовосстанавливающаяся электроэнергетическая система с сетевой топологией, включающая все генерирующие источники, магистральные и распределительные сети и все виды потребителей электрической энергии, управляемая единой сетью информационно-управляющих устройств и систем в режиме реального времени.

Рост распределенной генерации и возобновляемой энергетики, дерегуляция энергорынков и высокая инвестиционная нагрузка стали вызовом и для российских энергетиков. При том что децентрализованная генерация обладает высоким инновационным потенциалом, возможностями по снижению издержек и снижению

потерь при передаче и распределении электроэнергии, Единая энергетическая система (ЕЭС) теряет самых крупных и сильных потребителей. Содержание всей энергосистемы ложится на оставшихся игроков. Развитие информационных технологий помогло найти ответ на этот вызов и решение проблемы: создание цифровых сообществ децентрализованных генераторов, подающих энергию в сеть.

Управление распределенными генераторами возможно за счет образования «виртуальных» электростанций.

Первое и главное достоинство ВЭС — она способна стабилизировать сеть, сгладив пики недиспетчеризуемой генерации и пики потребления, перенаправив («перепродав») избыток электроэнергии туда, где в ней нуждаются, или сохранив некоторое ее количество. ВЭС играет роль стабилизатора энергосистемы. Большая гибкость позволяет системе лучше реагировать на колебания, но ее сложность требует сложной оптимизации и диспетчирования режимов, контроля и защиты.

В России для управляемого развития распределенной генерации, сохранения устойчивости энергосистемы с сохранением ценовых преимуществ малой генерации, скорости ввода новых энерго мощностей и масштабируемости применяемых решений уже стартовали пилотные проекты по Активным энергетическим комплексам (АЭК). АЭК - это новый субъект отношений на рынке электроэнергии, электрически связанная в рамках общих границ балансовой принадлежности энергетическая система, которая включает в себя энергопринимающее, генерирующее, аккумулирующее (при наличии), электросетевое энергетическое оборудование и систему управления этой энергосистемой как единым комплексом с целью обеспечения потребностей в энергии.

Как ВЭС, так и АЭК должны быть полностью интегрированы в едином информационном пространстве, которое должно позволить объединять и согласованно управлять распределенными энергетическими ресурсами и мощностями.

Решение вопроса управления распределенными энергообъектами в сложившейся ситуации потребует появления информационно-аналитических систем, способных максимально эффективно отвечать вызовам нового рынка:

- оперативное и беспрепятственное подключение быстрорастущего числа пользователей и энергообъектов в режиме, близком к концепции Plug and Play («подключи и работай»), применяемой в современных компьютерных системах;
- финансовая доступность для малых энергетических предприятий;
- поиск оптимальных режимов генерации, накопления и потребления на различных горизонтах;
- высокая скорость проведения расчетов;

- возможность использования цифровых двойников, основанных как на физических, так и на статистических моделях;
- высокая гибкость для обеспечения возможности подключения моделей любого типа энергообъектов;
- диспетчирование режимов, расчет отклонений.

Одним из основных экономических драйверов развития распределенной энергетики является минимизация затрат на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР). Создание информационной системы, в которой в режиме реального времени будут циркулировать сведения о доступной генерации, её типах, показателях эффективности, а также сведений о текущем и прогнозируемом спросе на э/э и тепло, о возможностях разгрузки гибкой мощности потребителей обеспечит гибкость использования генерации или доступной мощности потребителя, автоматически определяя наиболее эффективный в данный момент источник с учетом массы факторов, от ситуации на рынке и показателей оборудования до прогноза погоды.

ООО «ГК ИНФОПРО» представляет данную систему – Облачная платформа объединения и согласованного управления распределенными энергетическими ресурсами и мощностями (Платформа). Система соответствует концепции ВЭС, позволяет оптимизировать затраты на ТЭР, а также охватить следующие процессы:

- паспортизации энергообъектов;
- создания и подключения физических моделей энергообъектов, основанных на теоретическом математическом описании;
- подключения статистических моделей, основанных на анализе исторических данных и нацеленные на достижение наилучшего результата в текущих условиях и при текущем состоянии оборудования;
- планирования оптимальных режимов генерации, распределения, накопления и потребления электроэнергии и тепла на различных временных горизонтах:
 - стратегическое планирования и сценарный анализ что-если с учетом изменения топологии локальной энергосистемы в случае подключения, отключения, изменения энергообъектов и связей между ними;
 - долгосрочное планирование на год вперед, в том числе для определения производственных и ремонтных программ;
 - среднесрочное планирование на ближайший месяц;
 - краткосрочное планирование на следующий день;

- оперативное планирование в рамках текущих суток в соответствии с фактическим режимом работы энергообъектов и изменяющихся внешних условий (влияющих факторов);
- сбора данных о фактических режимах генерации и потребления ТЭР;
- диспетчеризации и контроля отклонений фактических режимов от оптимальных.



Концепция функциональной структуры Облачной платформы объединения и согласованного управления распределенными энергетическими ресурсами и мощностями.

Активное вовлечение в процесс генерации электроэнергии самих потребителей требует от рынка новых автоматизированных решений. Платформа отвечает на этот вызов. Система позволит обеспечить поддержку принятия решений о выборе и контроле режимов работы распределенных энергообъектов для операторов локальных энергосистем (владельцев АЭЖ или ВЭС) при относительно небольших затратах на ее разворачивание и использование. Производителям оборудования платформа даст возможность улучшить качество продукции за счет предоставления оперативных данных о показателях эффективности работы их оборудования в режимах реальной эксплуатации, также производители смогут продвигать своё оборудование, размещая его цифровые модели в Платформе для того, чтобы пользователи могли его опробовать в режиме стратегического планирования перевооружения своей локальной энергосистемы или проектирования новой.

Решение данной задачи возможно благодаря:

- облачной архитектуре платформы;

- предустановленной базе НСИ;
- предустановленным и конфигурируемым моделям типовых энергообъектов;
- гибкой системы подключения новых моделей, в том числе силами пользователей или других ИТ-компаний;
- возможности анализа информации с большого количества устройств;
- возможности интеграции с другими системами.

Выбор облачной архитектуры платформы обусловлен рядом преимуществ, которые предлагают потребителю облачные сервисы. Основным преимуществом для разработчика, а в последствии и для пользователя, является гибкость облачного сервиса в плане расширения объемов хранилищ данных и вычислительных мощностей. Это означает, что платформа способна оперативно наращивать мощности при подключении увеличивающегося числа пользователей или увеличении необходимых им объемов хранилищ данных. Разворачивание платформы на удаленных серверах снимает с пользователей необходимость в проектировании и установке собственных серверных и вычислительных мощностей. За предоставление хранилища отвечает провайдер облачного сервиса, он же с определенной степенью гарантирует безопасность данных.

Предустановленная база НСИ предназначена для обеспечения пользователя единой системой описания и наименования активов с заранее предустановленными параметрами. Для каждой типовой единицы оборудования база данных определяет набор атрибутов для классификации оборудования (классы, подклассы, атрибуты, коды, марки).

На стадии разработки платформы в базу данных закладываются классификаторы и справочники по основным типам электроэнергетического оборудования. В дальнейшем процессе эксплуатации платформы осуществляется непрерывное расширение базы НСИ за счет данных поступающей от пользователей информации и данных, вносимых силами команды разработчика платформы. Предустановленная база НСИ позволит пользователю сократить издержки на внедрение системы, сократить трудоемкость ее заполнения и уменьшить количество ошибок при наполнении базы данных.

Предустановленные и конфигурируемые модели типовых энергообъектов. Эффективность процессов генерации, накопления, распределения и использования гибкой мощности потребителей зависит от выбора режима эксплуатируемых энергообъектов. Все энергообъекты имеют свои характеристики и показатели эффективности в различных режимах, а также они имеют диапазоны регулирования нагрузки. Для возможности моделирования распределенных энергосистем в

Платформу будут заложены несколько типовых моделей (цифровых двойников), которыми смогут управлять пользователи «из коробки»:

- газотурбинные установки ГТУ;
- газопоршневые установки – ГПУ;
- парогазовые установки – ПГУ;
- дизель-генераторы – ДГ;
- солнечные электростанции – СЭС;
- ветряные электростанции – ВЭС;
- сетевая инфраструктура;

Количество энергообъектов розничной генерации стремительно растёт, как растёт и количество их типов и различных конфигураций. Для того, чтобы Платформа успевала за такими темпами и не зависела от производителя платформы, будет реализован ряд возможностей для расширения и развития Платформы сообществом:

Создание и подключение физических моделей энергообъектов, основанных на теоретическом математическом описании с использованием внутреннего расчетного ядра Платформы через открытый и понятный пользовательский интерфейс;

Подключение статистических моделей (цифровых двойников), основанных на анализе исторических данных (полученные с использованием технологий обработки больших данных, искусственного интеллекта – машинное обучение, нейросетевые технологии) и нацеленные на достижение наилучшего результата в текущих условиях и при текущем состоянии оборудования (модели могут быть разработаны и подключены, как пользователями, так и привлеченными ИТ-компаниями).

Возможность анализа информации с большого количества устройств. За счет постоянно расширяющейся базы НСИ платформа будет обладать значительным массивом структурированных данных. Появляется возможность предоставлять аналитику по показателям эффективности работы различных энергообъектов, проводить бенчмаркинг типового оборудования между различными распределенными энергосистемами на основе выборок по всей базе данных оборудования платформы.

Возможность интеграции с другими системами. Платформа разрабатывается с открытым API, что предоставляет возможность интеграции с внешними информационными системами для выгрузки результирующих данных и отчетов в удобные для пользователя форматы. Помимо экспорта данных Платформа будет иметь ряд коннекторов для подключения (импорта данных) к различным типам внешних

информационных систем и приборам учета для получения фактических данных по режиму работы энергообъектов и внешних факторов.

Какую из стадий жизненного цикла распределённых энергосистем охватывает Платформа? Система охватывает группу процессов управления энергетическими активами на стадии эксплуатации. В функциональные рамки Платформы входят следующие подпроцессы:

- Формирование базы НСИ и актуализация энергетических характеристик;
- Планирование потребления энергоресурсов;
- Планирование режима работы энергообъектов;
- Контроль режима и отклонений;
- Расчет и анализ фактических затрат на ТЭР и показателей эффективности.

Платформа позволит значительно повысить эффективность процесса управления энергетическими активами, обеспечить планирование оптимальных режимов генерации, распределения, накопления и потребления электроэнергии и тепла на различных временных горизонтах, обеспечить возможность диспетчеризации и контроля отклонений фактических режимов генерации и потребления от оптимальных, и соответственно минимизировать затраты на топливно-энергетические ресурсы.

Цифровое сообщество децентрализованных генераторов, подающих энергию в сеть, объединяет мощности солнечных панелей, ветроферм, когенерации, малых гидроустановок и других децентрализованных производителей электроэнергии. Источник генерации роли не играет: ВЭС может объединить практически любые технологии выработки и накопления энергии, будь то ТЭЦ, ветряки, солнечные, гидро-, дизельные и угольные электростанции, биогаз или биомасса. Такое цифровое сообщество и, следовательно, архитектура ВЭС может принимать разнообразные формы. Участники ВЭС могут быть интегрированы горизонтально (снабженные солнечными панелями жилые дома или офисные здания) или вертикально (контроль генерации, передачи и распределения). Сообщество может быть частью более широкой системы или работать независимо. Также ВЭС можно подключить к общей энергосистеме. Цель формирования такого сообщества — совместный маркетинг электроэнергии и предоставление услуг электросетевым компаниям (к примеру, краткосрочных резервов для регулирования частоты).

«Физического тела» у ВЭС нет, если не считать системы датчиков, устанавливаемых у производителей и потребителей энергии, и сложного комплекса программного обеспечения. Поэтому цифры рынка ВЭС сильно разнятся у различных маркетологов.

Inkwood Research оценивает глобальный рынок ВЭ в 2017 году всего в \$ 214,5 млн, Allied Market Research дает цифры в три с лишним раза больше, а P&S Market Research считает, что рынок ВЭ к 2023 году «дорастет» до \$5510 млн. Исследовательская компания Navigant Research придерживается аналогичных прогнозов - к 2023 году мощность виртуальных электростанций вырастет до 28 ГВт (с 4,8 ГВт в 2014 году), а выручка – до 5,3 млрд долларов (против 1,1 млрд долларов в 2014 году). Затраты на внедрение комбинированных ВЭС в мире к 2025 году достигнут 2,1 млрд. долл. США, львиная доля затрат (1,8 млрд. долл. США) будет уходить на программное обеспечение работы ВЭС. Все компании сходятся на том, что до 2026 года этот рынок будет расти на 25-26% в год.

Модель функционирования ВЭС напрямую зависит от сложившегося энергорынка и его развития, а также от того, кто выступает инициатором внедрения виртуальной электростанции в систему и какие задачи он пытается решить. Оператором ВЭС может выступать:

- Сетевая компания,
- Системный оператор,
- Сбытовая компания или группа сбытовых компаний,
- Агрегатор спроса;
- Потребитель или группа потребителей.

При этом данный результат по созданию платформы объединения и согласованного управления распределенными энергетическими ресурсами и мощностями может быть применен любым Оператором ВЭС. Платформа не привязана к типу Оператора и может быть подстроена под ту модель, которая будет выбрана в России, а также Платформа может быть применена и в других странах, с иными моделями ВЭС.

Приведу несколько примеров подобных проектов, реализованных командой ИНФОПРО. Например, разработка информационно-аналитической системы (ИАС) для оптимизации режимов работы генерирующего оборудования в изолированной энергосистеме о. Сахалин. Проект воплощался в два этапа. Первый этап - разработка моделей оптимизации состава и режимов работы паросилового и парогазового оборудования на Южно-Сахалинской ТЭЦ-1. Второй этап - включение в единую оптимизационную модель Сахалинской ГРЭС-2, оптимизация режимов генерации по всей энергосистеме.

Еще один проект – это оптимизация режимов работы оборудования комплекса по перегрузке сжиженных углеводородных газов для повышения энергоэффективности процессов ООО «Портэнерго». Оптимизационные модели прошли натурные испытания,

режимы, рекомендуемые искусственным интеллектом, были опробованы на практике специалистами ООО «Портэнерго». Эффект от оптимизации состава оборудования доходил до 36% (в тех ситуациях, где изменение состава было возможно – «пограничные зоны»). Без изменения состава оборудования также были найдены дополнительные резервы экономической эффективности от изменения режима, они принесли дополнительный эффект в диапазоне 6-8%.

Проекты по разработке моделей оптимизации состава и режимов работы оборудования были также реализованы для таких компаний, как АО «ТАТЭНЕРГО», АО «ТГК-16», Ижевской ТЭЦ-1, Тюменской ТЭЦ-1 и других. За более чем 30-летний опыт работы нашей компаний было реализовано более 120 проектов.

Накопленная отраслевая экспертиза, опыт разработки и применения информационных технологий позволяют ООО «ГК ИНФОПРО» создавать решения, учитывающие специфику новой энергетики.

Облачная платформа объединения и согласованного управления распределенными энергетическими ресурсами и мощностями позволит значительно повысить эффективность процесса управления функционированием распределенных энергетических активов, за счет обеспечения возможности планирования оптимальных режимов генерации, распределения, накопления и использования гибкой мощности потребителей электроэнергии и тепла на различных временных горизонтах, а также за счет обеспечения возможности диспетчеризации и контроля отклонений фактических режимов генерации и потребления от оптимальных.

Список литературы

1. Распределенная генерация: будущее энергетики или тупик: аналит. обзор, фев. 2018 / Деловой журнал «Инвест-Форсайт» <https://www.if24.ru/budushhee-energetiki/>
2. Распределенная энергетика в России: потенциал развития: аналит. обзор, 2018 / Энергетический центр Московской школы управления СКОЛКОВО.
3. Волкова И. О., Кобец Б. Б. Роль распределенной генерации в реализации концепции Smart Grid: научная статья, 2011 / Всероссийский экономический журнал ЭКО №4. 87-93 с.

Интеллектуальное управление распределенными энергоресурсами на базе цифровой платформы

Ковалёв С.П.

Институт проблем управления РАН

Небера А.А.

АО «РТСофт»

Email: kovalyov@energy2020.ru

Предложен и обоснован подход к организации координированного управления распределенными энергоресурсами на базе цифровой платформы, создаваемой в рамках проекта Национальной технологической инициативы Энерджинет. Представлены результаты проектирования платформы: сценарии использования, архитектурные решения, алгоритмы интеллектуального управления, имитационные модели.

An approach to organization of coordinated distributed energy resources control based on a digital platform is proposed and motivated. The platform is being developed within the framework of the EnergyNet National technology initiative project. The results of the platform design are presented: operational scenarios, architectural decisions, smart control algorithms, simulation models.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, распределенные энергоресурсы, цифровая платформа, цифровой двойник, микросервисная архитектура.

Key words: smart control, distributed energy resources, digital platform, digital twin, microservice architecture.

Стремительное распространение распределенных энергоресурсов (РЭР) сопровождается всевозможными «болезнями роста», в том числе:

- неумение владельцев и операторов объектов настраивать оборудование и управлять им;
- угрозы устойчивости глобальной энергетической системы;
- нестыковки в представлении данных на разных сторонах информационного обмена и документооборота;
- недостаточно проработанная регуляторная база;
- уязвимость перед кибератаками и мошенничеством.

Такие проблемы можно решить путем координированного управления РЭР, однако невозможно централизовать РЭР по аналогии с инфраструктурой большой энергетики, такой как магистральные электрические сети или атомная энергетика. Напротив,

децентрализация входит в число ключевых факторов развития РЭР, поэтому координация управления должна стимулироваться на добровольных началах. Адекватный подход для этого предлагает цифровая экономика: рекомендуется организовать управление РЭР на базе единого платформенного решения. Платформенный подход позволяет, в условиях обмена большого количества разнородных субъектов энергетическими, информационными и финансовыми ресурсами, минимизировать затраты на поиск и выбор наиболее подходящих контрагентов, коммуникации с ними, оценку исполнимости и верификацию исполнения взаимных обязательств, оперативное управление оборудованием, обеспечение конфиденциальности и т.д. [1] Поэтому субъекты распределенной энергетики (владельцы и операторы РЭР) будут добровольно подключаться к такой платформе, в целях как снижения издержек (в том числе транзакционных), так и получения новых возможностей (в том числе участия в программах различных агрегаторов).

Такая платформа создается, начиная с 2019 года, в рамках проекта Национальной технологической инициативы (НТИ) Энерджинет «Разработка российской программной платформы управления распределенной энергетикой - «Платформа». Платформа предназначена для разработки, внедрения и исполнения прикладных систем управления РЭР и сопутствующих сервисов. Отличительной особенностью платформы является предоставление массовым рядовым субъектам распределенной энергетики доступного интегрированного пакета передовых высоких энергетических, информационных и экономических технологий (интернет вещей, машинное обучение, оптимальное управление, цифровые двойники, онтологическое моделирование, блокчейн и др.) [2].

На базе платформы предусматривается, в частности, решение следующих актуальных задач развития РЭР:

- интеграция и слаженная эксплуатация программных продуктов и оборудования различных разработчиков и производителей в инфраструктуре РЭР;
- сокращение времени вывода на рынок и затрат на разработку новых продуктов в сфере РЭР;
- реализация потенциала машинного обучения и искусственного интеллекта в эффективном управлении РЭР;
- реализация транзакционной модели энергетического рынка типа Интернета энергии [3] на базе технологии блокчейн и смарт-контрактов;
- автоматизация контроля и управления режимами распределительных сетей с РЭР;

- соблюдение требований по обеспечению информационной безопасности в децентрализованной распределенной среде с участием многих субъектов;
- логическая централизация функций настройки РЭР, контроля технического состояния, сбора и анализа больших массивов данных измерений, ведения информационной модели и цифровых двойников РЭР и распределительных сетей.

На начальной стадии проекта по разработке платформы был проведен полный цикл инженерии требований к ней в соответствии со стандартом ISO/IEC/IEEE 29148:2018 «Systems and software engineering—Life cycle processes—Requirements engineering». Выявлены заинтересованные стороны платформы, включая различные категории пользователей (субъектов распределенной энергетики), разработчиков, сопровождающих сторон [4]. Описаны следующие базовые сценарии использования платформы заинтересованными сторонами:

- сценарии энергетических транзакций и бизнес-кейсов:
 - управление спросом;
 - управление виртуальной электростанцией;
 - управление распределенной системой накопителей;
 - коммерческая диспетчеризация потребителей;
 - диспетчеризация парка станций заряда электротранспорта;
 - управление активными энергетическими комплексами;
 - управление микрогридами и микрорынками;
 - диспетчеризация участков и районов распределительной сети;
- сценарии моделирования:
 - ведение онтологической модели;
 - ведение информационных моделей и цифровых двойников РЭР;
 - ведение информационных моделей и цифровых двойников распределительных сетей и районов с РЭР;
- сценарии жизненного цикла платформы, приложений, пользователей:
 - жизненный цикл Платформы;

- жизненный цикл приложения;
- регистрация и поддержка пользователя;
- сценарии инвестиционного планирования РЭР, проектирования, эксплуатации, обучения персонала, информационно-аналитической поддержки и т. д.

Подготовлено техническое задание на платформу, в соответствии с которым приняты ключевые проектные решения и разработан комплект архитектурных представлений платформы, выполненный по стандарту ISO/IEC/IEEE 42010:2011 «Systems and software engineering—Architecture description». Согласно проектным решениям, платформа реализуется как программный конструктор, состоящий из микросервисов – небольших, слабо связанных и легко изменяемых компонентов (модулей) с открытым прикладным программным интерфейсом (API), взаимодействующие в единой информационной среде с использованием экономичных коммуникационных протоколов в стиле REST [5]. Тем самым, можно быстро собирать приложения из обращений к API компонентов платформы в порядке, обусловленном решаемой прикладной задачей. Приложение также может содержать фрагменты собственной функциональной логики в случае, если микросервисы для нее не реализованы в платформе либо признаются неудовлетворительными по тем или иным соображениям (учет специфики пользователей приложения, взаимодействие с редко встречающимися устройствами, производительность и т.д.).

Компоненты Платформы сгруппированы по назначению в следующие семь подсистем:

- подсистема интернета вещей (ПИВ), предназначенная для реализации постоянного двустороннего взаимодействия, в том числе в реальном времени, между прикладными системами на базе платформы и внешними цифровыми датчиками, контроллерами, автоматизированными информационными, информационно-измерительными и управляющими системами, установленными на энергетических объектах;
- подсистема формирования и актуализации онтологических моделей, информационных моделей и цифровых двойников (ПЦД), предназначенная для полного, актуального и непротиворечивого структурного описания объектов управления и рыночных условий;
- подсистема интеллектуального управления (ПИУ), предназначенная для решения предиктивно-аналитических задач обеспечения экономической эффективности электроснабжения субъектов распределенной энергетики при условии соблюдения необходимого уровня надежности;

- подсистема проведения энергетических транзакций (ПЭТ), предназначенная для обеспечения реализации финансовых функций платформы при энергетических транзакциях: проведения транзакций с использованием распределенного реестра и смарт-контрактов в близком к реальному времени режиме;
- подсистема управления электронными документами (ПЭД), предназначенная для создания и хранения электронных документов, а также для их пересылки между внешним окружением, пользователями и подсистемами платформы;
- подсистема мониторинга состояния и диагностики компонентов платформы и приложений (ПМД), предназначена для контроля работоспособности программных компонентов платформы и приложений, ведения журналов функционирования платформы, управления перезапуском компонентов платформы, оперативного предоставления информации о сбоях в её работе обслуживающему персоналу (при наличии);
- подсистема информационной безопасности (ПИБ), предназначенная для защиты от несанкционированного доступа к информации, выявления и обработки событий и инцидентов информационной безопасности: формирования программных модулей, обеспечивающих реализацию организационных и технических мер защиты информации платформы, направленных на обработку рисков, связанных с возможной утратой конфиденциальности, целостности и доступности.

В ходе функционирования прикладных систем управления РЭР на базе платформы, между компонентами различных подсистем поддерживаются типовые потоки данных (рис. 1). Архитектура платформы позволяет приложениям формировать и иные конфигурации потоков данных по необходимости. Потоки пронумерованы в следующем порядке:

1. данные телеизмерений и телесигнализации;
2. уставки и команды управления оборудованием;
3. данные по профилям, режимам оборудования, ценам;
4. нормативно-справочная информация;
5. мастер-данные;
6. электронные документы;
7. данные энергетических транзакций и смарт-контрактов;
8. журналы мониторинга состояния платформы и приложений;

9. данные для идентификации, авторизации и аутентификации;
10. онтологическая модель.

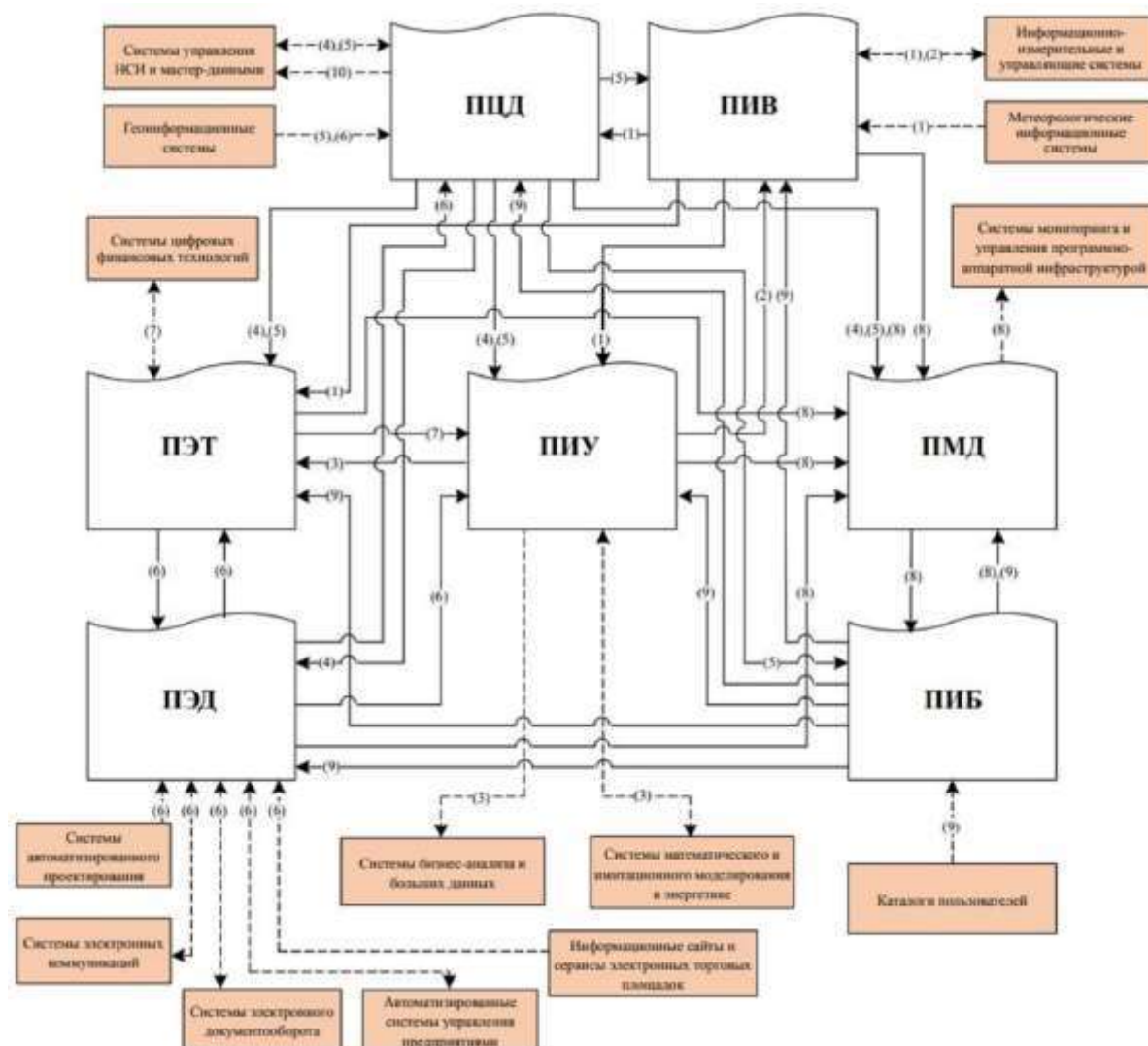


Рис. 1 Функциональная схема платформы

Для обеспечения функционирования всех модулей платформы и организации типовых механизмов взаимодействия между ними и с приложениями, в состав платформы также включены базовые программные компоненты (БПК), выполняющие следующие функции:

- единое управление конфигурациями программных модулей платформы;
- управление работой модулей платформы;
- обновление программных модулей платформы;
- организация хранилищ для данных различного типа;

- организация общей среды обмена данными между программными модулями платформы;
- предоставление инструментов для отображения информации;
- обеспечение единого времени;
- обеспечение базовых механизмов обработки и преобразования информации;
- предоставление единой точки обращения к API платформы.

Компоненты платформы рассчитаны на развертывание согласно своему функциональному назначению на следующих видах технического обеспечения приложений (рис. 2):

- облачные вычислительные ресурсы для размещения сервисов и баз данных;
- серверные платформы для размещения серверного программного обеспечения и баз данных уровня логического центра управления;
- автоматизированные рабочие места пользователей (субъектов распределенной энергетики);
- оборудование шлюзов интернета вещей;
- коммуникационное оборудование.

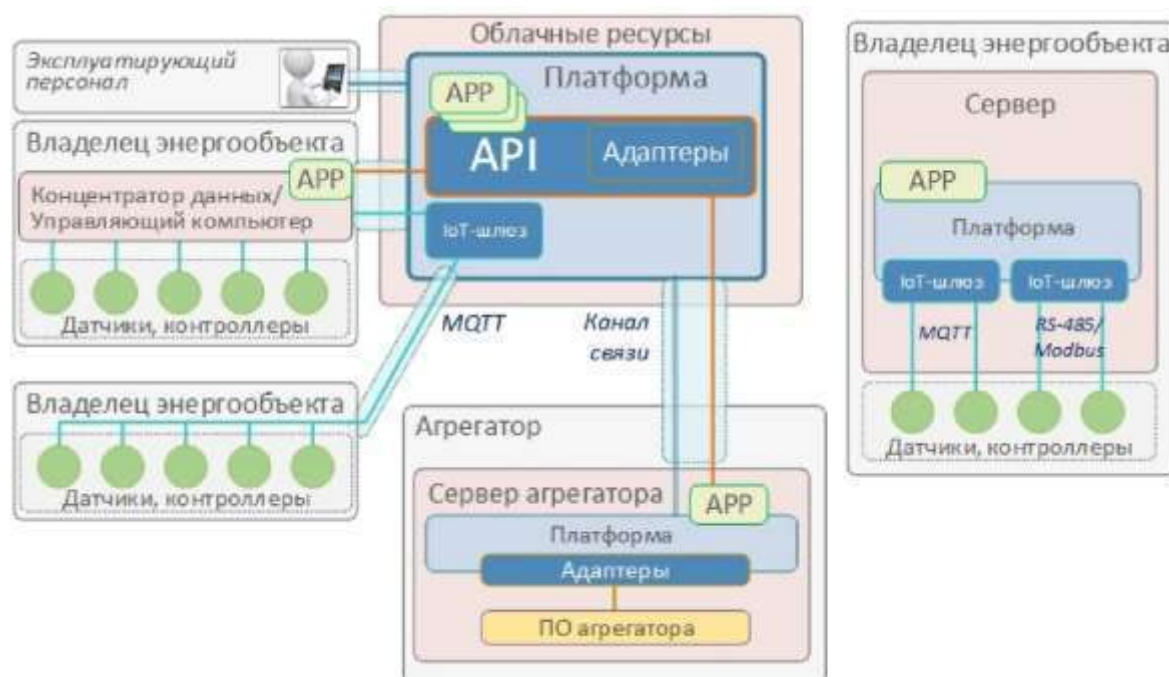


Рис. 2 Примеры размещения платформы на технических средствах

Одной из ключевых особенностей платформы является широкое применение цифровых двойников. Цифровые двойники объектов предназначены для моделирования всевозможных воздействий на объекты (в том числе не осуществлявшихся физически), прогнозирования результатов таких воздействий, выработки и реализации мер по предотвращению их негативных последствий [6]. Цифровой двойник РЭР реализуется в платформе как комплекс математических моделей, настроенных на обработку в темпе мягкого реального времени разнообразной информации: массивов данных телеизмерений и телесигнализации по объектам управления от ПИВ, мастер-данных из ПЦД, электронной документации и цифровых интерактивных схем (планов, карт) из ПЭД. Чтобы обеспечить сквозную совместимость моделей по входным/выходным данным и исключить разночтения в именовании и интерпретации понятий, которыми оперирует цифровой двойник, информационное обеспечение разрабатывается на основе общей для всей платформы онтологии РЭР. Эта онтология формируется из релевантных нормативно-технических документов, таких как стандарты IEC 61968, 61970, 62325 (Common Information Model, CIM), ГОСТ Р 58651.2-2019 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Базисный профиль информационной модели» (российский профиль CIM), предварительный национальный стандарт «Информационные технологии. Умная энергетика. Термины и определения», онтология умных энергопринимающих устройств Smart Appliances REference (SAREF), стандарт на смарт-контракты ERC20 и др.

На основе цифрового двойника реализуются модули интеллектуального управления РЭР, составляющим алгоритмическое ядро ПИУ. Наряду с традиционными электротехническими расчетными, статистическими и оптимизационными алгоритмами, в него входят модули на базе искусственных нейронных сетей глубокого обучения для прогнозирования нагрузки, генерации и цен на электроэнергию. Другие подсистемы также содержат необходимое алгоритмическое обеспечение, полный состав которого выглядит следующим образом:

- заполнение пробелов в данных измерений путем интерполяции (ПИВ);
- математико-статистическое прогнозирование профилей и цен (ПИУ);
- расчет параметров состояния объекта управления (ПИУ);
- вычисление неизвестных, неизмеряемых и недостоверных значений исходных данных для расчета электрических режимов (ПИУ);
- расчет и моделирование электрических режимов (ПИУ);
- оптимальное планирование режима работы РЭР (ПИУ);

- оптимальное распределение обязательств в согласованном управлении группами РЭР (ПИУ);
- верификация объемов фактического исполнения смарт-контрактов (ПИУ);
- верификация параметров оказания системных услуг (ПИУ);
- вычисление хэш-кодов энергетических транзакций (ПЭТ);
- вычисление метрик информационной безопасности (ПИБ);
- формирование инцидентов и векторов атак (ПИБ).

Для отработки предполагаемого использования алгоритмов и средств платформы в базовых сценариях, реализованы имитационные модели в среде AnyLogic. Имитационное моделирование направлено, в частности, на решение следующих задач:

- наглядная виртуальная отработка функций управления РЭР с применением продуктов/услуг платформы;
- предварительная оценка технико-экономического эффекта от использования платформы;
- уточнение состава и интенсивности информационных потоков, поддерживаемых платформой.

Например, для сценария управления спросом (ценозависимое снижение потребления) имитационная модель позволяет виртуально выполнить цикл снижения потребления в часы объявленного события управления спросом, в котором разные потребители с управляемой нагрузкой (энергопринимающими устройствами – ЭПУ) участвуют в разном объеме при скоординированном управлении со стороны агрегатора (рис. 3).

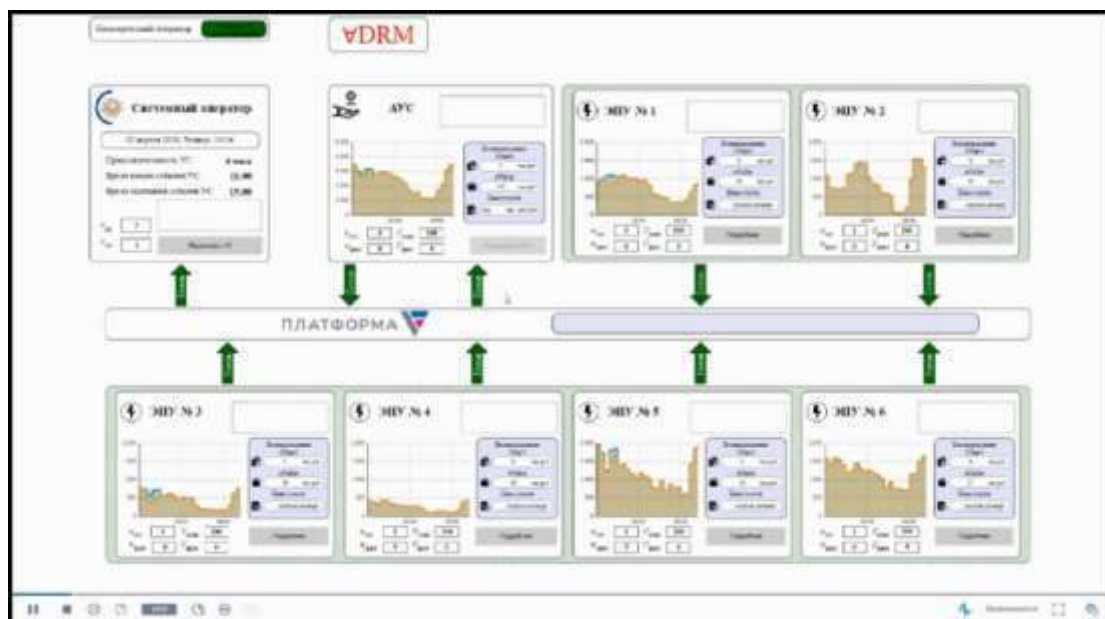


Рис. 3 Имитационная модель сценария управления спросом

В настоящее время завершена стадия проектирования платформы. Главным исполнителем работ этой стадии является АО «РТСофт», а соисполнителями выступили Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН и ООО «Современные системы реформирования». Развернут технический портал платформы (<https://a-platform.ru/>). Определены первоочередные пилотные проекты, предусматривающие разработку ряда востребованных в настоящее время приложений на базе платформы в области управления РЭР. Формируется экосистема платформы, состоящая из разработчиков приложений, изготовителей оборудования, организаций науки и образования, инфраструктурных организаций энергетики и других заинтересованных сторон. В ближайшие годы планируется создать и внедрить программные компоненты платформы, облачные прикладные сервисы и широкий набор систем управления РЭР на ее базе.

Список литературы

1. Ковалёв С. П., Небера А.А., Губко М. В. Цифровая платформа для реализации автоматизированных систем управления распределенными энергоресурсами // Проблемы управления. 2020. № 6. С. 57–70.
2. Небера А.А., Вериги А.Р., Непша Ф.С. Цифровая платформа как основа для разработки систем интеллектуального управления децентрализованной распределенной энергетикой // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2020. № 8. С. 34–40.
3. Архитектура Интернета энергии. М.: Инфраструктурный центр EnergyNet, 2018. 56 с. <https://idea-go.tech/IDEA-whitepaper-ru.pdf>.

4. Ковалёв С. П. Заинтересованные стороны цифровой децентрализованной малоуглеродной энергетики // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. № 2. С. 49–55.
5. Ньюмен С. Создание микросервисов. СПб: Питер, 2016.
6. Андриюшкевич С.К., Ковалёв С. П., Нефедов Е. И. Разработка цифрового двойника энергетической системы на основе онтологической модели // Автоматизация в промышленности. 2020. № 1. С. 51–56.

Распределенное управление энергетической гибкостью в изолированных энергосистемах

Озерных И. Л., Игнатов Н. А., Корев Д.А., Твердохлебов А. М.

ФГАОУВО «Московский физико-технический институт»

Email: portozol@mail.ru

Рассмотрены подходы к решению задачи распределенного управления энергетической гибкостью в изолированных энергосистемах с целью повышения их топливной и энергетической эффективности при использовании возобновляемых источников энергии.

Approaches to solving the problem of distributed energy flexibility management in isolated power systems in order to increase their fuel and energy efficiency when using renewable energy sources are considered.

Ключевые слова:

возобновляемые источники энергии, изолированные энергосистемы, топливно-энергетическая эффективность, баланс гибкости, системы накопления энергии

Key words:

renewable energy sources, off-grid microgrids, fuel and energy efficiency, flexibility balance, energy storage systems

Вопросы топливной и энергетической эффективности в изолированных энергосистемах являются особенно актуальными не только при проектировании и строительстве новых объектов, но и при реконструкции и модернизации существующих, в связи с тем, что такие энергосистемы как правило труднодоступны и географически удалены. Даже незначительное повышение их топливной и энергетической эффективности может в конечном итоге привести к существенному интегральному экономическому эффекту.

Типовым решением в изолированных энергосистемах является использование традиционного источника энергии (например, дизельной электростанции, ДЭС) в сочетании с возобновляемым (альтернативным) источником энергии (солнечными или ветряными энергоустановками, ВЭУ). Примерами подобных энергосистем являются: удаленные поселки, закрытые научные и исследовательские городки, золотодобывающие фабрики, нефтяные и газовые месторождения и т. п.

Очевидно, что топливная и энергетическая эффективность изолированной энергосистемы определяется соотношением энергии, вырабатываемой традиционным

и возобновляемым источниками энергии в целях энергоснабжения потребителя в энергосистеме.

Основной проблемой, возникающей в таких системах, является несовпадение (невязка) профиля мощности, генерируемой возобновляемым источником энергии (ВИЭ), и профиля мощности потребителя, обуславливающее необходимость выработки недостающей энергии с помощью традиционного источника.

Примеры профилей мощностей возобновляемого источника энергии (ВЭУ) и суточного профиля нагрузки потребителя приведены на рисунках 1 и 2.

Использование традиционного источника – дизельного генератора - требует доставки дизельного топлива, что в связи с уже обозначенными выше особенностями труднодоступности или географической удаленности объекта обуславливает существенные экономические затраты [1]. Ограниченность срока хранения дизельного топлива и необходимость его утилизации по истечении срока хранения ограничивает возможности по созданию его запасов на временном интервале более года, что еще сильнее усугубляет данную проблему.

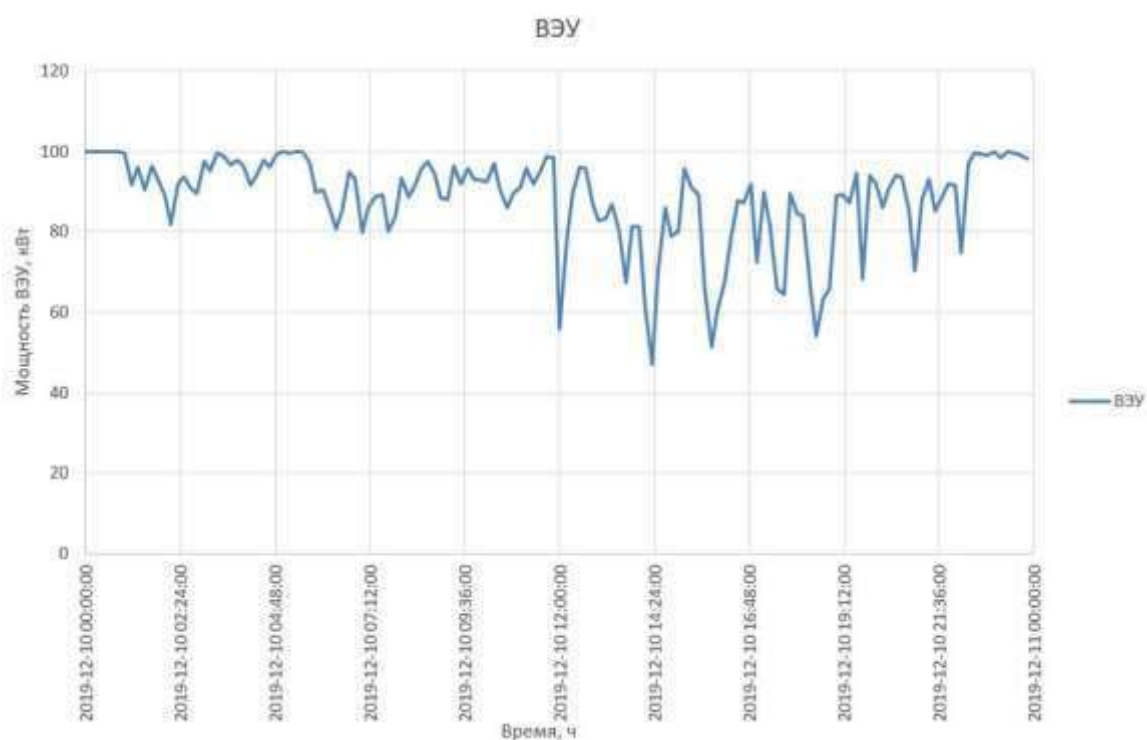


Рис.1 – Суточный профиль мощности ветряной энергоустановки

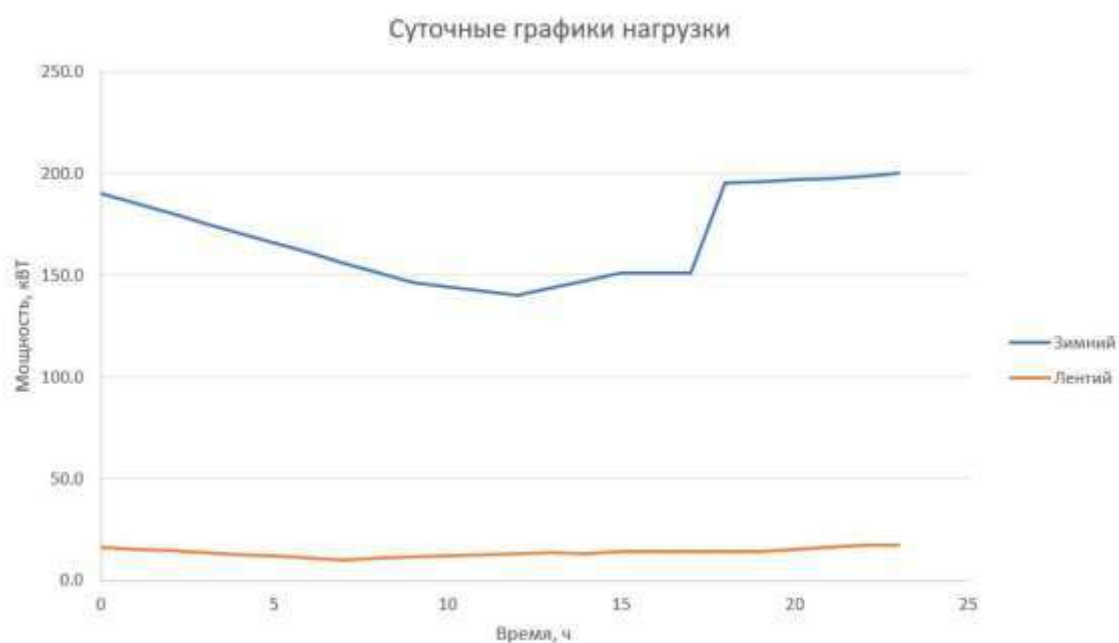


Рис.2 – Суточный профиль мощности потребителя

В связи с этим вопросы энергетической гибкости в изолированных системах с ВИЭ, в частности, вопросы управления этой гибкостью, определяют экономическую эффективность как самой энергосистемы, так и объекта (потребителя), которую она обеспечивает в целом [2].

Для обеспечения эффективных режимов работы изолированных энергосистем с возобновляемыми источниками энергии и дизельными электростанциями требуется планирование и реализация двух балансов: топливно-энергетического баланса (определение состава оборудования и режимов его работы) и баланса энергии гибкости (отклонений фактического топливно-энергетического баланса от расчетного).

Несовпадение (невязка) профиля потребления и графика выработки мощности ВЭУ обуславливает необходимость обеспечения баланса гибкости через технологическую адаптивность приемной системы. Баланс энергии гибкости необходимо рассматривать в частотной области, т. е. необходим анализ спектра, что позволит более качественно оценить набор необходимых источников гибкости в энергосистеме.

Пример схемы топливно-энергетического баланса изолированной энергосистемы с солнечным и ветряным источниками энергии и ДЭС приведен на рисунке 3.

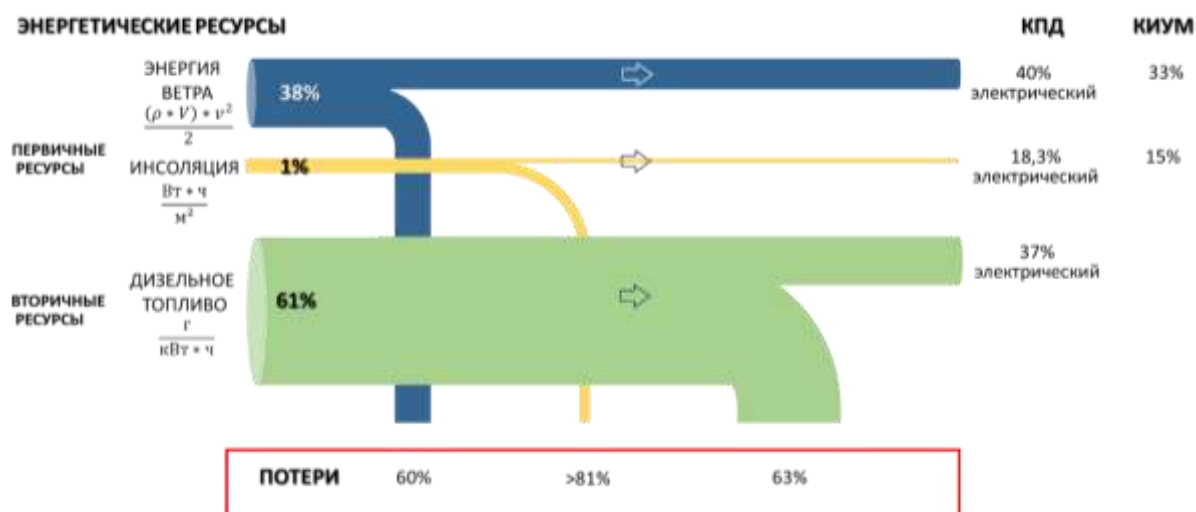


Рис.3 – Пример топливно-энергетического баланса изолированной энергосистемы

Для повышения топливной и энергетической эффективности изолированной энергосистемы предлагается применить распределенное управление энергетической гибкостью с тремя уровнями регулирования.

Первый уровень регулирования предполагает использование опорно-балансирующей батареи (системы накопления энергии, СНЭ) относительно небольшой емкости, для балансировки невязки мощности ВЭУ и мощности потребителя на интервалах в пределах до 1 календарных суток.

Второй уровень регулирования предполагает использование многорежимной ДЭС (мультиМЭС) и аккумулирующих приемников электрической энергии, например, в виде теплоаккумуляторов (баков-накопителей) для балансировки невязки мощности ВЭУ и мощности потребителя на интервалах в пределах до 1-2 календарных суток.

Третий уровень регулирования предполагает использование традиционной ДЭС для балансировки конечной невязки после первичного и вторичного регулирования для обеспечения мощности потребителя.

Пример баланса энергии гибкости изолированной энергосистемы с солнечным и ветряным источником энергии и ДЭС с первичным, вторичным и третичным регулированием приведен на рисунке 4.

$S^2(\omega)$ – спектральная плотность мощности в системе без ВИЭ

$S^2(\omega)MPPT$ – спектральная плотность мощности в точках максимального отбора мощности



Рис.4 – Пример баланса энергетической гибкости изолированной энергосистемы

Оценить энергию ВИЭ, доступную для использования при первичном регулировании, можно, выполнив анализ статистических характеристик случайного процесса – силы ветра в м/с во временной и частотной областях. На рисунке 5 приведен пример оценки спектральной плотности силы ветра, а на рисунке 6 – оценки его автокорреляционной функции (интервал дискретизации наблюдений – 10 минут).

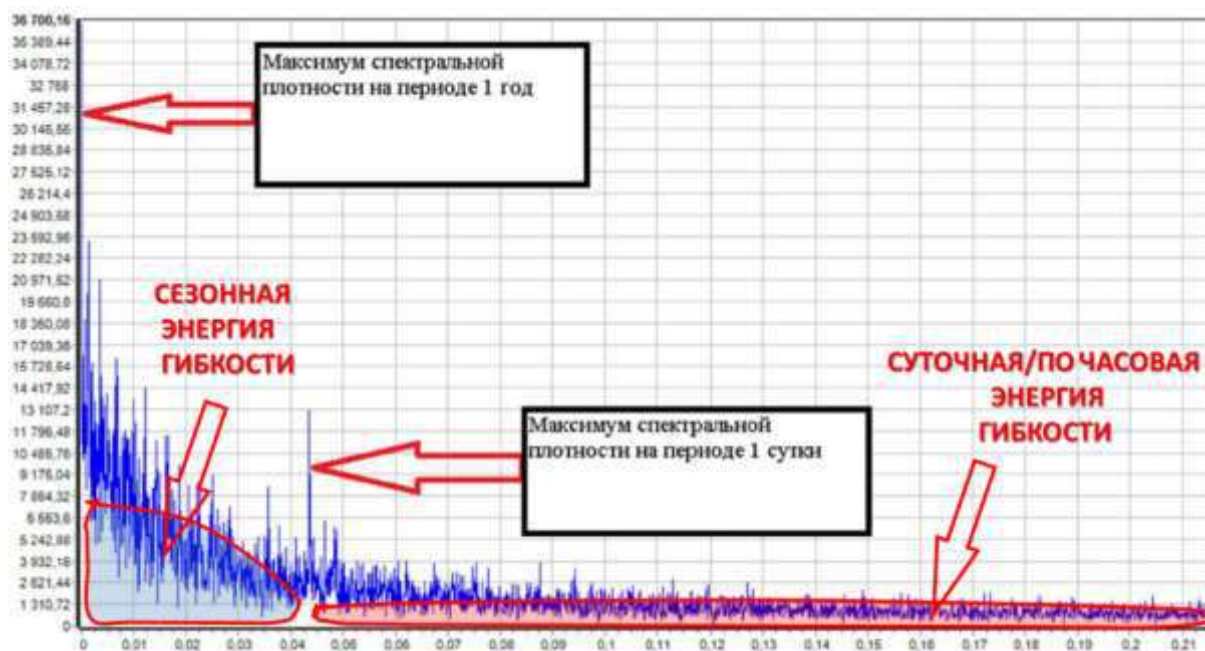


Рис.5 – Оценка спектральной плотности силы ветра

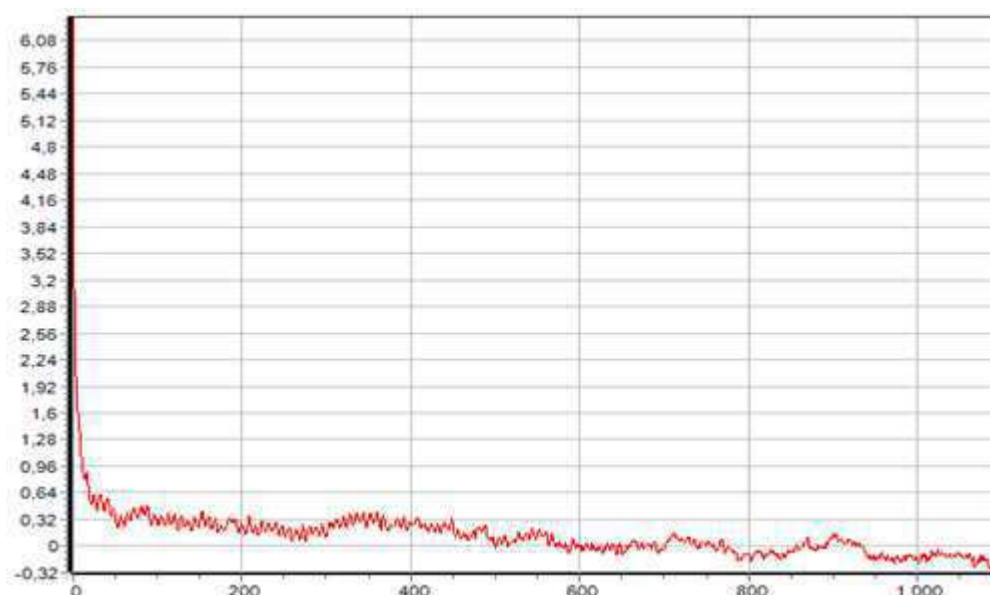


Рис.6 – Оценка автокорреляционной функции силы ветра

Соотношение суточной/почасовой энергии гибкости (высокочастотной составляющей случайного процесса силы ветра) и сезонной (низкочастотной составляющей) позволяет оценить характеристики опорно-балансирующей батареи и осуществить ее разработку или выбор из числа доступных технических решений.

Графики на рисунках 5 и 6 позволяют сделать следующие промежуточные выводы:

- существенная доля энергии процесса изменения скорости ветра приходится на его высокочастотные составляющие;
- сила ветра на интервалах короче 1 суток представляет собой случайный процесс, приближенный по своим статистическим свойствам к реальному (неидеальному) белому шуму: спектральная плотность после пика на частоте, соответствующей периоду 1 суток, убывает медленно, по сути, близка к константе, автокорреляционная функция за несколько лагов убывает из максимума на нулевом лаге до небольших относительных значений.

Исходя из физических свойств высокочастотных составляющих силы ветра, необходимо дополнить требования к опорно-балансирующей батарее требованием допустимости большого количества быстрых циклов неполного заряда-разряда на протяжении всего планируемого времени ее работы без существенного уменьшения срока службы накопителя или потери его функциональных свойств.

Пример изменения мощности (циклов заряда-разряда) опорно-балансирующей системы накопления энергии (СНЭ), полученный в результате эксперимента, приведен на рисунке 7.

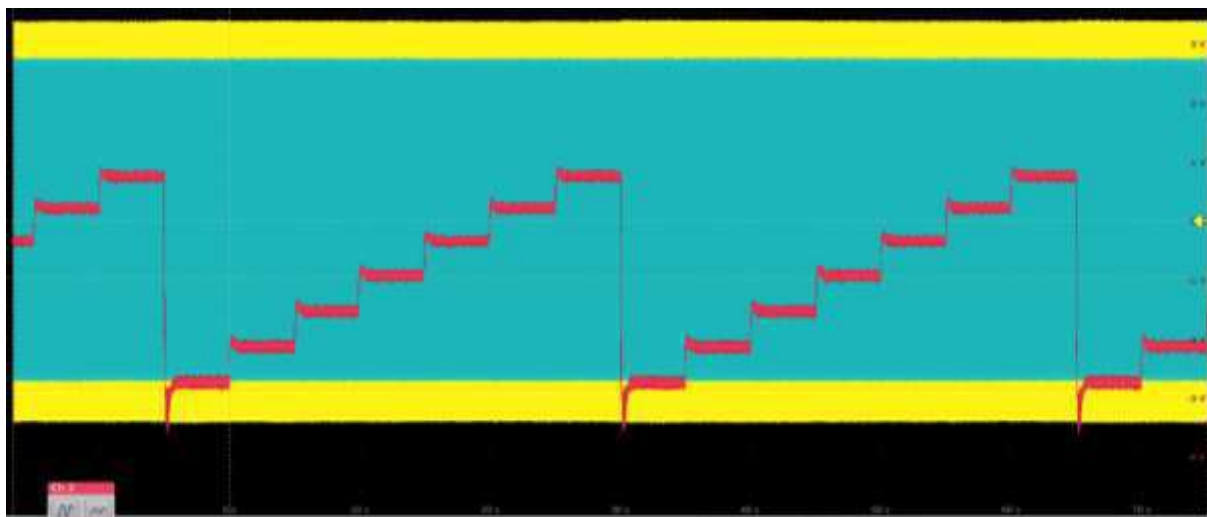


Рис.7 – Динамика мощности опорно-балансирующей СНЭ.

Необходимая энергоемкость опорно-балансирующей батареи определяется методами математического моделирования с использованием двух математических моделей [3].

Первая модель с использованием алгоритма MPPT (Maximum Power Point Tracker) на основе реализации случайного процесса – силы ветра - моделирует реализацию максимальной мощности ветрогенератора.

Вторая модель, исходя из соотношения доступной мощности ветрогенератора и заданного профиля мощности потребителя, рассчитывает реализацию случайного процесса – невязки, на основе которой исследуется функционирование изолированной энергосистемы в целом. Исходя из предложенной системы распределенного управления энергетической гибкостью с тремя уровнями регулирования, возможны три сценария работы изолированной энергосистемы (приведены на рисунке 8).



Рис. 8 – Сценарии работы изолированной энергосистемы

В конечном итоге определение энергоемкости опорно-балансирующей батареи осуществляется посредством решения оптимизационной задачи по критерию максимума использования доступной мощности ветрогенератора.

Аналогичным образом решается задача определения характеристик технических решений (мультиМЭС, управляемой нагрузки), используемых при вторичном регулировании.

Разработанную на базе выбранных технических решений систему распределенного управления энергетической гибкостью целесообразно использовать как при проектировании новых объектов с изолированными энергосистемами, так и при модернизации или реконструкции существующих для повышения их топливно-энергетической эффективности.

По итогам исследования вопроса обеспечения баланса энергии гибкости в изолированных энергосистемах с ВИЭ можно сделать следующие выводы:

1. Качество совместимости спектров МРРТ ВИЭ и спектра отбора мощности (гибкости) приемной системы определяет эффективность энергетического баланса системы;
2. Спектр первичного возобновляемого ресурса имеет широкополосный характер со слабо выраженной закономерностью, даже на длинных интервалах времени;
3. В распределенном управлении гибкостью в изолированных энергосистемах с ВИЭ актуально предусматривать целевое регулирование для высокочастотного диапазона (первичное регулирование), для средних и низких частот (вторичное и третичное регулирование) соответственно;
4. Первичное регулирование реализуется опорно-балансирующей СНЭ, вторичное и третичное регулирование гибкости выполняется многорежимной ДЭС и управляемой нагрузкой;
5. Принятие экономически обоснованных решений по привлечению агентов вторичного и третичного регулирования целесообразно реализовать через аукционный механизм;
6. Учет и использование регуляторов гибкости позволяет, по экспертным оценкам, повысить эффективность использования ВЭУ в изолированных энергосистемах с 10-15% до 30-35%.

Список литературы

1. Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России: аналитический доклад, март. 2020 / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. М.: АЦ, 2020. 78 с.
2. Низкоуглеродные решения для изолированных регионов России с высокими затратами на энергию, март. 2017 / Центр по эффективному использованию энергии. М.: ЦЭНЭФ, 2017. 106 с..
3. Озерных И. Л. Гибридные системы автономного электроснабжения с опорно-балансирующим накопителем / Высшая Школа Экономики; М.: 2018. 10 с.

Цифровой сервис по прогнозированию мощности электропотребления фидера с помощью методов глубокого обучения нейросети

Петрова С. Ю.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Email: master@sevsu.energynet.ru

Описывается способ прогнозирования мощности электропотребления фидера с помощью нейросети LSTM. В этом подходе, для того чтобы предсказать будущие значения ряда, мы использовали предыдущие значения ряда. Этот процесс описывается как авторегрессия. Предполагается, что данные с датчиков реклоузера, представленные в форме временного ряда, описывающего эволюцию энергопотребления фидера, не могут быть аппроксимированы простым аналитическим выражением. Они не имеют периодичности и могут рассматриваться как стохастический процесс, который можно описать только в терминах распределения вероятностей. Функция, описывающая сигнал, вероятно, будет чрезвычайно сложной и нелинейной. Переменные среды могут быть неизвестны и не поддаваться измерению. По этой причине более эффективно определить инвариантные свойства сигнала, и на этой основе проводить прогнозирование.

The article describes a method for predicting the power consumption of a feeder using an LSTM neural network. In this approach, to predict future range values, we used previous range values. This process is described as autoregressive. It is assumed that the data from the recloser sensors presented in the form of a time series describing the evolution of the feeder energy consumption cannot be approximated by a simple analytical expression. They have no periodicity and can be viewed as a stochastic process that can only be described in terms of a probability distribution. The function describing the signal is likely to be extremely complex and non-linear. Environment variables can be unknown and not measurable. For this reason, it is more efficient to determine the invariant properties of the signal, and on this basis to make predictions.

Ключевые слова: рекуррентная нейронная сеть, обработка сигналов, инвариантные свойства сигнала, прогнозирование временных рядов.

Key words: recurrent neural network, signal processing, invariant signal properties, time series forecasting.

В современной России потребители электроэнергии с максимальной мощностью не менее 670 кВт обязаны выбирать одну из четырёх ценовых категории для расчетов с поставщиком. Расчет стоимости электроэнергии и мощности для потребителя делается на основе информации о потребленной электрической энергии за каждый час в течение 90 суток. В этих условиях для предприятий важно поддерживать уровень

потребления, соответствующий наименьшим затратам и выдавать предупреждения о нагрузках, которые будут пересекать, установленные пороговые значения. Один из способов достичь этого - использовать цифровой сервис непрерывного прогнозирования пиковой нагрузки. Разработка цифрового сервиса в целом относится к оценке энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, а именно, к работоспособности участка сети и, более конкретно, к диагностике и прогнозированию производительности работы участка сети, выявлению ошибочных состояний и аномального поведения системы. Концептуальная схема цифрового сервиса описана в [1] и показана на рисунке 1.



Рис.1. Концептуальная схема цифрового сервиса поиска аномалий

На первом этапе прогнозирования мощности электропотребления фидера необходимо на основе доступных наблюдений создать модель, характеризующую нормальные фазы работы фидера.

К решению данной задачи можно применить несколько продвинутых методов, а именно нейронные сети и экспертные системы.

У каждого из них есть свои сильные и слабые стороны:

1. Нейронные сети являются эффективным средством слияния данных с различных датчиков и разделения их на классы. Однако нейронные сети сложно адаптировать к случаям, когда есть неизвестные классы прецедентов. Кроме того, обычно сложно определить источник неисправности, указанный нейронной сетью.
2. Экспертные системы являются эффективными и адаптируемыми средствами применения логических правил и решений, но они хороши ровно настолько, насколько хороши правила, которые им доступны. Такие системы также плохо работают перед лицом неизвестных классов неисправностей и дороги в обучении.

Чтобы решить проблему отсутствия классов в непрерывном сигнале, мы использовали метод полуконтролируемой классификацией непрерывного сигнала данных, за счет обнаружения точки изменения, предложенный [2]. В основе этого метода точки изменения в сигнале могут использоваться для идентификации новых классов. В [2] показано, что, используя точки изменения и маркированные данные, мы можем сформировать экземпляры пар последовательностей (типа похож/непохож), чтобы обучить нейронную сеть полуконтролируемой классификации и прогнозу.

Данные, использованные в нашем исследовании, представляют собой показания, датчиков реклоузеров, зарегистрированные с частотой 1 раз/час.

Всего регистрируется четыре типа данных:

1. Дискретные переменные состояния, изменяющиеся во времени – настройки режима, положения переключателей, биты состояния и т. д.
2. Сигнал – данные, изменяющиеся с фиксированной скоростью. Эти данные, в контексте Цифрового сервиса, включают в себя любые данные, относящиеся к физическому состоянию сетевого оборудования.
3. Командная информация – обычно представлена в дискретном виде.
4. Фиксированные параметры – изменяются только при получении команды на изменение, но содержат важную информацию о состоянии.

В качестве исходных данных использовался журнал нагрузки реклоузера, экспортированный из программы TELARM (Tavrida Electric Automated Relay Manager). Журнал содержит значения тока, напряжения, активной и реактивной мощности для каждой из фаз, коэффициент мощности и возможные перетоки, а также дату и время снятия показаний, рисунок 2. Эти данные представляют собой форму временного ряда и описывают эволюцию энергопотребления фидера.

Дата и время	Ia	Ib	Ic	In	Uab	Ubc	Uca	Pa	Pb	Pc	P3ф	Qa	Qb	Qc	Q3ф	Cos3ф	Переток
30.07.2018 0:00	37	38	39	0	15,6	15,6	15,6	278	289	284	851	197	195	205	597	0,82	+
30.07.2018 1:00	34	35	35	0	15,7	15,6	15,7	247	248	246	741	204	205	205	614	0,77	+
30.07.2018 2:00	35	35	35	0	15,7	15,7	15,7	242	240	245	727	213	207	208	628	0,76	+
30.07.2018 3:00	33	34	34	0	15,7	15,7	15,7	228	230	230	688	207	205	208	620	0,74	+
30.07.2018 4:00	32	33	33	0	15,8	15,7	15,8	223	220	221	664	202	201	199	602	0,74	+
30.07.2018 5:00	32	32	32	0	15,8	15,7	15,8	219	217	216	652	201	202	200	603	0,73	+
30.07.2018 6:00	32	33	33	0	15,8	15,7	15,8	229	229	228	686	193	192	194	579	0,76	+
30.07.2018 7:00	41	42	42	0	15,6	15,6	15,6	289	289	291	869	243	239	241	723	0,77	+
30.07.2018 8:00	45	45	45	0	15,5	15,5	15,5	328	321	322	971	250	252	246	748	0,79	+
30.07.2018 9:00	46	45	47	0	15,4	15,4	15,4	331	325	337	993	254	241	241	736	0,8	+
30.07.2018 10:00	45	45	46	0	15,3	15,3	15,4	331	325	339	995	240	226	227	693	0,82	+

Рис. 2. Журнал нагрузки реклоузера, экспортированный в электронную таблицу из программы TELARM

Предполагается, что сигнал, полученный с датчиков, представляет собой форму временного ряда, описывающего динамику электропотребления. Такой временной ряд

не может быть аппроксимирован простым аналитическим выражением, так как обычно не имеет периодичности. Проще говоря, будущие значения временного ряда не полностью коррелируют с прошлыми, и, следовательно, они воспринимаются как случайные. Такой временной ряд можно рассматривать как стохастический процесс, который можно описать только в терминах распределения вероятностей.

В нашем подходе, для того чтобы предсказать будущие значения ряда, мы используем предыдущие значения ряда и описываем этот процесс как авторегрессию.

Важно учесть, что любой непрерывно оцениваемый сигнал, при условии, что он детерминирован, может быть выражен как непосредственно изменяющаяся во времени функция самого сигнала, других сигналов, окружающей среды и шума. Такая функция для каждого сигнала, вероятно, будет чрезвычайно сложной и нелинейной. Переменные среды могут быть неизвестны и не поддаваться измерению. Наконец, конкретное взаимодействие между сигналами также может быть неизвестно. По этой причине более эффективно определять инвариантные свойства сигнала, и на этой основе проводить полууправляемую классификацию и прогнозирование.

Для прогнозирования мощности электропотребления фидера мы использовали рекуррентную нейронную сеть LSTM (long short-term memory). Сеть обучена регрессии, и обучение идет на основе значений, сдвинутых на один временной шаг. То есть, на каждом временном шаге входной последовательности данных сеть LSTM учится предсказывать значение следующего временного шага.

Рекуррентные нейронные сети представляют собой широкий класс систем, обладающих динамическим состоянием, то есть у нейронной сети есть состояние, эволюция которого зависит как от входящих в систему данных, так и от текущего состояния. По сравнению со скрытыми Марковскими моделями, которые также содержат динамическое состояние, рекуррентные сети имеют распределенное состояние. Динамическое состояние имеет решающее значение, поскольку оно дает возможность проводить контекстно-зависимые вычисления. Сигнал, поступающий в текущий момент, может изменить поведение сети гораздо позже.

Рекуррентная нейронная сеть LSTM была разработана для решения проблемы «исчезающего и взрывающегося градиента», описанную [3], которую мы могли бы переименовать в проблему «исчезающей и взрывной чувствительности».

Обучаемые веса слоя LSTM – это входные веса W (InputWeights), рекуррентные веса R (RecurrentWeights) и смещение b (Bias). Матрицы W , R и b представляют собой конкатенацию входных весов, рекуррентных весов и смещения каждого компонента соответственно. Эти матрицы объединяются следующим образом:

$$W = \begin{bmatrix} W_i \\ W_f \\ W_g \\ W_o \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} R_i \\ R_f \\ R_g \\ R_o \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} b_i \\ b_f \\ b_g \\ b_o \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где i, f, g и o обозначают входной вентиль, вентиль забывания, нейрон-кандидат и выходной вентиль, соответственно.

Состояние ячейки на временном шаге t определяется выражением (2):

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot g_t, \quad (2)$$

где $\odot$ обозначает произведение Адамара (поэлементное умножение векторов).

Скрытое состояние на временном шаге t определяется выражением (3):

$$h_t = o_t \odot \sigma_c(c_t), \quad (3)$$

где σ_c обозначает функцию активации состояния, по умолчанию; для вычисления функции активации состояния используется функция гиперболического тангенса.

Следующие формулы описывают компоненты нейронной сети на временном шаге t .

$$i_t = \sigma_g(W_i x_t + R_i h_{t-1} + b_i) \quad (4)$$

$$f_t = \sigma_g(W_f x_t + R_f h_{t-1} + b_f) \quad (5)$$

$$g_t = \sigma_g(W_g x_t + R_g h_{t-1} + b_g) \quad (6)$$

$$o_t = \sigma_g(W_o x_t + R_o h_{t-1} + b_o) \quad (7)$$

В этих расчетах σ_g обозначает функцию активации затвора, которая по умолчанию использует сигмовидную функцию, заданную как (8)

$$\sigma(x) = (1 + e^{-x})^{-1} \quad (8)$$

Мы исследуем сигнал как в прямом, так и в обратном направлении. И исследуем зависимости между характеристиками. И обе эти зависимости как в прямом, так и в обратном направлении могут дать хороший результат. Элемент, который позволил обойти проблему затухания и взрыва градиентов – это интегратор, который тянется через всю сеть, и у которого нет нелинейности (так как используются только операции сложения и умножения). Интегратор в простейшем виде выглядит как уравнение (9).

$$x(t+1) = x(t) + i(t) \quad (9)$$

Неявная единичная матрица $I_x(t)$ означает, что градиент не исчезает или не взрывается динамически. Если мы присоединим к этому интегратору механизм, который позволит сети выбирать, когда интегратор будет прослушивать входные

данные, а именно программируемый клапан в зависимости от контекста, то мы получим уравнение вида (10) и сможем выборочно хранить информацию в течение неопределенного времени.

$$x(t + 1) = x(t) + g(context)i(t). \quad (10)$$

Для лучшего прогнозирования данные были приведены к стационарному виду. Для этого были удалены тренды из данных. В результате остался инвариант сигнала, или шум, который мы подали на обучение нейросети LSTM.

Параметры нейросети LSTM: количество входящих признаков = 16; количество выходов = 1; количество нейронов = 270. Сеть состояла из четырех слоев: вход, LSTM, полносвязный слой и регрессия.

```
numFeatures = 16;
```

```
numResponses = 1;
```

```
numHiddenUnits = 270;
```

```
layers = [ ...
```

```
    sequenceInputLayer(numFeatures)
```

```
    lstmLayer(numHiddenUnits)
```

```
    fullyConnectedLayer(numResponses)
```

```
    regressionLayer];
```

Обучение нейросети проводилось в течение 180 эпох. Чтобы предотвратить взрыв градиентов, порог градиента был установлен на 1. Мы задали начальную скорость обучения 0,005 и затем через 100 эпох снизили скорость обучения, умножив ее на коэффициент 0,2.

Было проведено обновление состояния сети, и вместо прогнозируемых значений использовались фактические значения нагрузки, получаемых с шагом 1 час, то есть в качестве входных данных для прогноза использовался предыдущий прогноз.

Тестовые данные также были приведены к стационарному виду, используя те же параметры, что и для обучающих данных.

График обучения нейросети, показан на рисунке 3.

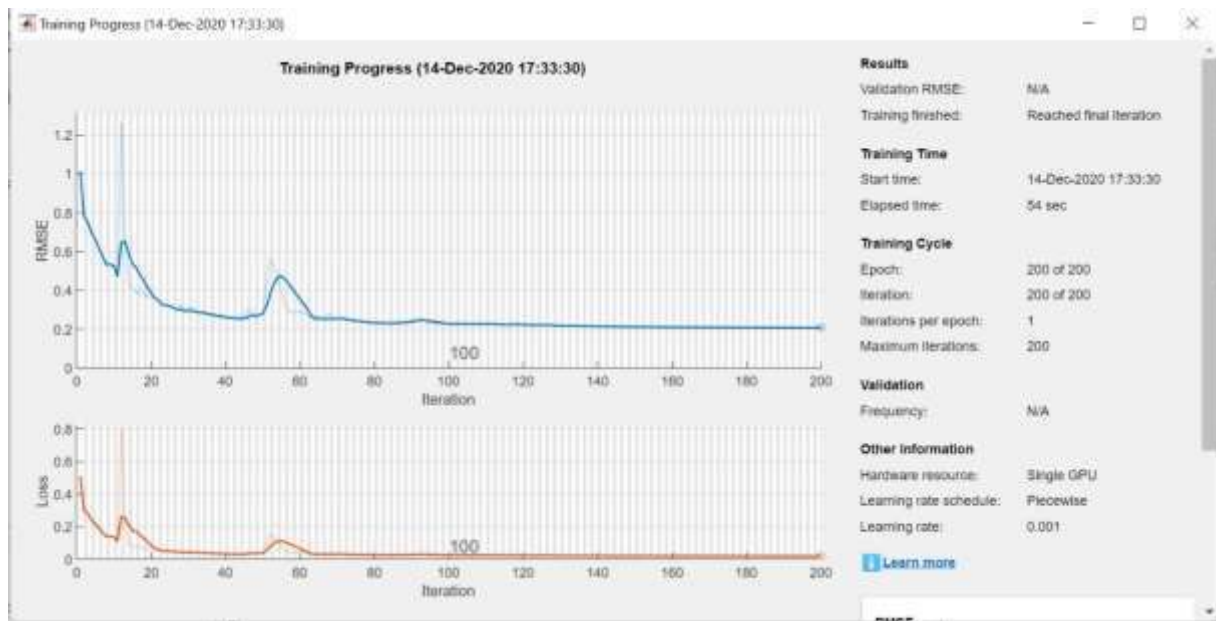


Рис. 3 График обучения нейросети

На рисунке 4 показан результат работы рекуррентной нейронной сети LSTM – спрогнозированный временной ряд электропотребления на сегменте сети.

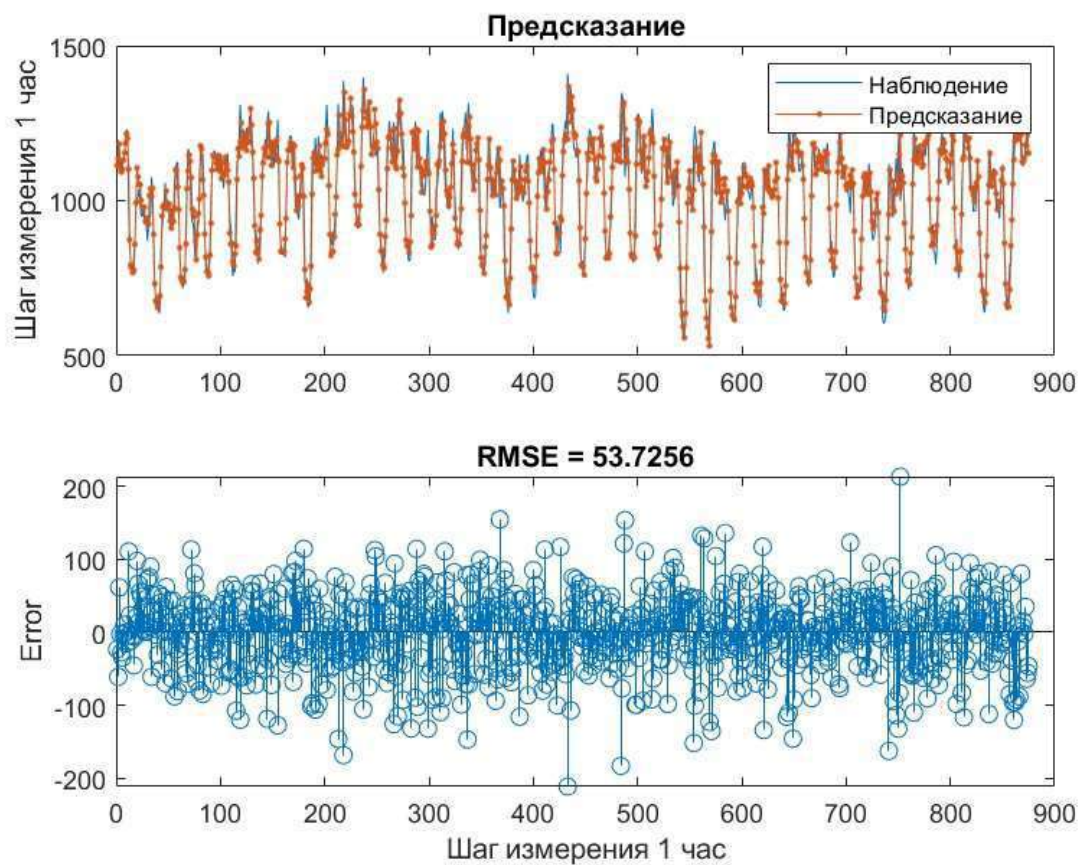


Рис.4. Спрогнозированный временной ряд электропотребления на сегменте сети

Таким образом, результаты работы нейронной сети для прогнозирования электропотребления на сегменте сети в реальном времени сопоставимы с прогнозом off-line, например, с тем, который был получен с помощью метода Бокса-Дженкинса [4].

Список литературы

1. James et al. Real-Time Spatio-Temporal Coherence Estimation for Autonomous Mode Identification and Invariance Tracking. Patent No.: US 6,625,569 B2, 2003
2. Nauman Ahad, Mark A. Davenport Semi-supervised sequence classification through change point detection // arXiv:2009.11829v1 [cs.LG] September 25, 2020
3. Hochreiter, S., Bengio, Y., Frasconi, P., and Schmidhuber, J. Gradient flow in recurrent nets: the difficulty of learning long-term dependencies. Chapter book S. C. Kremer and J. F. Kolen, eds., A Field Guide to Dynamical Recurrent Neural Networks. IEEE press, 2001
4. Petrova S. Y. Forecasting of daily power consumption dynamics// Journal of Physics: Conference Series 2020 Издательство: IOP PUBLISHING LTD, TEMPLE CIRCUS, TEMPLE WAY, BRISTOL, ENGLAND, BS1 6BE, 2020

Цифровые двойники цифровых подстанций

Наумов В. А., к.т.н.; Матисон В. А, к.т.н.; Разумов Р.В., Прокопьев В. В., Сергеев А. В., инженеры
ООО НПП «ЭКРА»

E-mail: matison_va@ekra.ru

Аннотация: Рассматривается построение цифровых двойников (ЦД) цифровых подстанций (ЦПС). Показаны дуализм цифровых устройств и систем, являющихся основой ЦПС, и сложности построения полноценных двойников таких устройств и систем. Предоставлен подход, позволяющий реализовать и использовать ЦД ЦПС на всех этапах жизненного цикла ЦПС. Для этого предлагается использовать специальные программные средства моделирования микроэлектронных устройств и приложения, построенные в соответствии с серией стандартов МЭК61850.

Abstract: The paper deals with the digital twins (DT) of digital substations (DSS). Dual nature of digital devices and systems, which are the basis of DSS, and complexities of construction of full-fledged twins of such devices and systems are shown. An approach is provided that enables the implementation and use of DSS DT at all stages of the DSS life cycle. To do this, it is proposed to use special software tools for modeling microelectronic devices and applications built in accordance with a series of МЭК61850 standards.

Ключевые слова: цифровые двойники, цифровая подстанция, моделирование цифровых устройств.

Key words: digital twins, digital substation, digital devices simulation.

Концепция использования в цифровой среде математических описаний физических объектов и процессов - «цифровых двойников» (ЦД), или по международной терминологии digital twins была предложена в 2003 году Михаэлем Грейвесом (Michael Grieves) [1]. Наиболее современные ЦД основаны на нестационарных нелинейных дифференциальных уравнениях в частных производных [2] по переменным состояниям рассматриваемых объектов и процессов.

ЦД уже на этапе создания продуктов способствует снижению затрат за счет замены большого числа объемов натурных испытаний вычислительными экспериментами, и при этом обеспечивать достижение целевых характеристик указанных продуктов с учетом существующих и возникающих ограничений [3].

Построение ЦД можно выполнить с помощью универсальных программных комплексов, например, предлагаемого компаниями ANSYS [4] и Altair[5], имеющих необходимый набор модулей, а также компоненты моделирования встроенного ПО цифровых систем. Такие программные комплексы позволяют решить важную

современную задачу [6] построения полномасштабного ЦД практически любого электроэнергетического объекта.

В то же время в ряде случаев, например, при разработке и производстве отдельных видов как первичного, так и вторичного оборудования, не требуется построение ЦД электроэнергетического объекта в целом, либо существуют ограничения по целям или бюджету решаемой задачи. Поэтому наряду с применением универсальных программных комплексов развиваются объектно-ориентированные методики построения ЦД [7, 8, 9].

В современной электроэнергетике описание объектов и систем выполняется в форматах CIM в соответствии со стандартами МЭК 61968/61970 или основанных на рекомендациях серии стандартов МЭК 61850. Эти форматы позволяют строить ЦД цифровых устройств для электроэнергетики, достаточные для решения большинства задач, возникающих в процессе разработки и эксплуатации оборудования цифровых вторичных систем энергообъектов. При этом такие ЦД отлично отражают дуализм реальных устройств и систем:

- физически они представляют собой материальные объекты, подчиняющиеся и осуществляющие операции согласно физическим законам, набор таких операций конечен и определяется доступным набором интерфейсов, обеспечивающих взаимодействие цифровых устройств между собой внутри цифровых систем и взаимодействие указанных устройств и систем с другими материальными объектами,
- кибернетически они представляют собой виртуальные объекты, реализующие правила осуществления операций, согласно описаниям, имеющим вид структурированных в виде алгоритмов формальных директив во встроенном программном обеспечении (ПО).

При этом физическая реализация цифровых устройств и систем определяет не их функционал, а условия, в которых могут быть реализованы те или иные операции и характеристики реализации этих операций. Функционал цифровых устройств и систем определяется, главным образом, их встроенным ПО. Более того, конфигурация устройств и систем, т. е. взаимосвязи между их отдельными компонентами, а значит и их физическая реализация, могут быть изменены этим ПО, которое в результате может поменять даже функциональное назначение этих устройств и систем.

Поэтому ЦД, отражающие физическую реализацию цифровых устройств и систем, позволяют оценить готовность этих объектов к осуществлению заложенного в них набора операций, но не их применимость в том или ином техническом решении. Так, в зависимости от алгоритма и его программной реализации одно и то же устройство может оказаться как соответствующим, так и частично или полностью не соответствующим предъявляемым требованиям в зависимости от условий, в которых

это устройство находится. Например, в зависимости от используемого математического аппарата, ограничений быстродействия микропроцессорных устройств по условиям их тепловых режимов в заданных условиях работы, может как хватать, так и не хватать для решения конкретных задач в режиме реального времени. Существенно осложняет построение ЦД аппаратной части для названных устройств и систем то, что они зачастую состоят из большого количества компонентов различных производителей, что затрудняет их интеграцию в ЦД объединяющих их устройств и систем.

Эту проблему обычно решают путем принудительного ограничения пространства переменных состояния ЦД в пределах официально гарантируемых производителем технических характеристик, например - [10]. Такое ограничение обеспечивается при конструировании (проектировании).

Очевидно, что в этом случае многое зависит от субъективных факторов – квалификации инженерного персонала, выбирающего и реализующего такие меры. Поэтому для минимизации влияния таких факторов используются специализированные пакеты программ, фактически формирующие ЦД аппаратной части на основании открытой информации производителей компонентов в режиме «черного ящика». Пакеты программ, например, HyperLynx компании Mentor Graphics [11], позволяют на базе ограниченной информации, предоставляемой производителями электронных компонентов, в том числе их расчетных моделей, проводить виртуальные испытания аппаратной части электронных устройств на функционирование в различных условиях, т.е. фактически является одной из составных частей комплексного ЦД цифрового устройства или системы.

Такие ЦД очень эффективны на этапах разработки, при этом внешние электромагнитные и другие воздействия на аппаратную часть цифровых устройств и систем в пространстве их переменных функционирования принимаются заданными в диапазоне возможной физической реализации. В дальнейшем совершенствование таких ЦД может быть осуществлено как уточнение их настраиваемых параметров, а при необходимости и изменением структуры в части используемых моделей компонентов [11], на основе информации, накапливаемой в ходе натурных испытаний и эксплуатации. Например, для целей мониторинга функционального состояния оборудования вполне достижимой является возможность адаптации параметров ЦД по эмпирически выявленным в ходе натурных элементов и эксплуатации оборудования флуктуаций этих параметров в зависимости от условий эксплуатации оборудования.

ЦД аппаратной части вторичных цифровых систем и оборудования электроэнергетических объектов могут успешно комбинироваться с ЦД первичного оборудования различных производителей, построенных на любых программных средствах. Системы передачи информации между оборудованием объектов также включаются в состав ЦД на базе специализированного ПО, например, для оптоволоконных систем может быть использован пакет OptiSystem [12].

Однако ЦД аппаратной части цифрового оборудования и систем электроэнергетических объектов не обеспечивают полноценное отражение функционирования указанных объектов, поскольку, как отмечалось выше, функционирование этих объектов определяется в первую очередь встроенным ПО цифровых устройств и систем, входящих в их состав.

Совместить аппаратную и программную составляющие цифрового электроэнергетического объекта, как отмечено выше, позволяют специализированные форматы описания этих объектов. Так стандартом МЭК 61850-6 [5] для описания основных систем подстанции определен язык описания конфигурации подстанции SCL (System Configuration Language), Всё электронное описание подстанции и смежных систем содержится в файлах, отличающихся их функциональным назначением и, как следствие, расширением имени файла:

- файлы описания спецификации системы *.SSD (System Specification Description), содержащие описание однолинейной схемы подстанции, исходную спецификацию первичного оборудования, требования к выполняемым функциям системы в виде логических узлов, и их распределение по первичному оборудованию,
- файлы *.SCD описания конфигурации подстанции, (Substation Configuration Description) содержащие полное описание первичного оборудования подстанции, полного функционала вторичного оборудования с указанием экземпляров устройств, реализующих этот функционал, конфигураций коммуникационных соединений,
- файлы описания межсистемного обмена *.SED (System Exchange Description), описывающие коммуникационные связи между отдельными системами, описанных в виде SCD-файлов,
- файлы описания возможностей интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ)*.ICD (IED Capability Description), содержащие описание всех логических устройств, логических узлов, элементов и атрибутов данных, входящих в состав описываемого физического устройства, а также описание возможностей осуществления коммуникаций,
- файлы описания предварительно сконфигурированных ИЭУ *.IID (Instantiated IED Description), содержащие предварительно сконфигурированную информационную модель ИЭУ, а также предустановленные коммуникации,
- файлы описания сконфигурированных ИЭУ *.CID (Configured IED Description), содержащие параметры в части функционала и коммуникаций для загрузки в ИЭУ с помощью конфигуратора ИЭУ.

Эти файлы сопровождают проект цифровой подстанции на протяжении всего жизненного цикла и являются основой для компоненты ЦД, отражающей работу цифрового электроэнергетического объекта под управлением его программного обеспечения.

На этапе проектирования для описания в формализованном виде на языке SCL в соответствии со стандартом МЭК 61850-4 используются специальные программные средства, реализующие:

- инструмент спецификации системы для описания всех компонентов, входящие в контур автоматизации на подстанции (первичное оборудование, однолинейная схема подстанции, абстрактный поименованный набор требуемых функций без указания конкретного выполняющих их ИЭУ),
- инструмент конфигурирования системы для выбора компонентов с необходимыми для системы автоматизации функциями на основе описаний возможностей ИЭУ, приведенных в *.ICD-файлах, предоставляемых производителями ИЭУ,
- инструмент конфигурирования ИЭУ для создания заданного набора функций и параметров каждого ИЭУ в автоматизированной системе,
- инструмент документирования системы для генерации документации установленного формата.

Полученная конфигурация системы в виде *.SCD-файла является полным описанием системы автоматизации подстанции в соответствии со стандартами серии МЭК 61850. Это описание в формализованном синтаксисе языка SCL позволяет на всех последующих этапах в полуавтоматическом режиме использовать информацию о конфигурации системы иными программными инструментами, поддерживающими язык SCL.

Одним из инструментов описания конфигурации подстанции и работы с файлами, написанными на языке SCL, является конфигуратор цифровой подстанции (ЦПС) «SCL-Express» (далее SCL-Express). Конфигуратор ЦПС «SCL-Express» совмещает функционал инструмента спецификации системы и инструмент конфигурирования системы автоматизации подстанции [13], с поддержкой первой и второй редакции стандартов МЭК 61850. С помощью этого конфигуратора также осуществляется сопровождение описания конфигурации подстанции в процессе эксплуатации, чем обеспечивается его постоянная актуализация, необходимая для использования в ЦД.

Инструмент конфигурирования подстанции позволяет показать распределение защит на защищаемых участках схемы и описать распределение защит по устройствам, выполняемое на основании норм технологического проектирования, в которые

вносятся дополнения и уточнения исходя из опыта эксплуатации. Таким образом задача проектирования сводится к следованию положениям нормативной документации, при этом оценить правильность выбранных решений возможно только в процессе наладки и эксплуатации.

Так в соответствии с СТО 34.01-4.1-007-2018 ПАО «Россети» [14] оценка правильности работы терминала релейной защиты должен выполняться на основании анализа осциллограмм и уставок устройств РЗА двумя способами:

- экспресс-анализом развития аварий;
- при помощи модели энергосистем и устройств РЗА.

Экспресс-анализ является предварительной операцией и выполняется на основе списка дискретных сигналов пуска, срабатываний, устройств защит одного присоединения для создания отчета об аварийном отключении. В отчете указывается оценка работы РЗА в виде события: «правильно», «ложно», «излишне», «отказ».

Окончательная оценка правильности работы устройств РЗА производится при помощи математической модели энергосистем и устройств РЗА путем сравнения сигналов на осциллограммах работы реального устройства и его модели. Однако особенности работы аппаратной части устройства в условиях проверяемого режима, а тем более систем обмена информацией при такой проверке не учитываются. Задача тестирования взаимодействия систем автоматизации возлагается на специализированные испытательные системы. Примером такой системы является, например, StationScout компании Omicron [15]. В этих системах при помощи созданного инструментом конфигурирования файла конфигурации подстанции можно в режиме симуляции устройства в SCD-файле на всех этапах жизненного цикла цифрового энергобъекта подстанции проводить виртуальные испытания систем автоматизации подстанции на:

- обмен данными GOOSE-сообщениями;
- обмен данными SV-сообщениями;
- соответствие наборов данных между издателем-подписчиком и клиентом-сервером;
- перевод устройства в тестовый режим и оценку правильности работы устройства в тестовом режиме.

Однако особенности работы аппаратной части устройства в условиях проверяемого режима, а тем более систем обмена информацией при такой проверке с помощью любой из известных систем не учитываются. Для повышения эффективности процессов проектирования и сопровождения эксплуатации вторичного оборудования

энергообъектов с использованием всех возможностей их цифровых двойников необходимо специальное программное обеспечение, реализующее следующие функции, в том числе и в виде итерационного процесса:

- формирование актуальной модели вторичного оборудования энергообъекта на основе данных CIM-модели, информации ТС о состоянии коммутационных аппаратов на объекте, файлов конфигурации ИЭУ в формате МЭК 61850, конфигурации оборудования и структуры информационно-коммуникационной технологической сети объекта;
- определение для заданных условий параметров работы ИЭУ и оборудования информационно-коммуникационной технологической сети объекта по информации производителей оборудования или от цифровых двойников;
- экспорт параметров работы ИЭУ и оборудования информационно-коммуникационной технологической сети объекта в актуальную модель объекта и прилегающей сети;
- выполнение виртуальных экспериментов по анализу работы вторичного оборудования энергообъекта в заданных условиях.

Выводы:

1. Для снижения сложности, сокращения объемов работ и затрат предлагается в цифровых двойниках цифровых систем вторичного оборудования энергообъектов учитывать дуализм этих систем и отражать с использованием информации производителей оборудования не только функционал, обусловленный программным обеспечением входящего в их состав оборудования, но и влияние на исполнение программных инструкций конструкции аппаратной части этого оборудования, а также влияние на это исполнение условий работы оборудования.
2. При построении цифровых двойников цифровых систем вторичного оборудования энергообъектов предлагается предусматривать возможность учета в двойниках изменения конфигурации этого оборудования и его функционала с использованием информации о конфигурации в формате, определяемом группой стандартов МЭК 61850, и конфигурации самих энергообъектов и прилегающей сети в формате CIM-модели, определяемом стандартом ГОСТ Р 58651[16] и другими стандартами этой серии.

Список литературы

1. Grieves, M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication; A White Paper; Michael Grieves, LLC: Melbourne, FL, USA, 2014

2. Боровков А. И., Рябов Ю. А. Определение, разработка и применение цифровых двойников <http://digitalsubstation.com/blog/2020/04/30/opredelenie-razrabotka-i-primenenie-tsifrovyyh-dvoynikov-podhod-tsentra-kompetentsij-nti-spbpu-novye-proizvodstvennye-tehnologii/> Дата доступа 19.05.2020
3. Боровков А. И., Рябов Ю. А., К. В. Кукушкин К.В., Марусева В. М., Кулемин В. Ю. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК. Оборонная техника, №1, 2018, с. 6-33
4. Сайт компании ANSYS <https://www.ansys.com/> Дата доступа 09.06.2020
5. Сайт компании ALTAIR <https://www.altair.com/> Дата доступа 09.06.2020
6. Грабчак Е.П., Медведева Е. А. «Цифровые двойники» и «цифровые тени» в электроэнергетике. <http://digitalsubstation.com/blog/2020/01/25/tsifrovyie-dvojniki-i-tsifrovyie-teni-v-elektroenergetike/> Дата доступа 19.05.2020
7. Андриюшкевич С., Ковалев С., Нефедов Е. Подходы к разработке и применению цифровых двойников энергетических систем <http://digitalsubstation.com/blog/2020/03/06/podhody-k-razrabotke-i-primeneniyu-tsifrovyyh-dvoynikov-energeticheskikh-sistem/> Дата доступа 19.05.2020
8. Karthikrajan Senthilnathan, Iyswarya Annapoorani Cyber Twin Approach for Smart Grids <https://smartgrid.ieee.org/newsletters/november-2019/cyber-twin-approach-for-smart-grids> Дата доступа 19.05.2020
9. Цифровизация энергетической отрасли: Концепция Сименс Энергетика и промышленность России, декабрь 2019, №23-24 (379-380), с. 36-37
10. ADSP-2191M DSP Microcomputer Data Sheet, Revision A) <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADSP-2191M.pdf> Дата доступа 20.08.2020
11. <https://www.mentor.com/pcb/hyperlynx/> Дата доступа 02.06.2020
12. <https://optiwave.com/optisystem-overview/> Дата доступа 05.06.2020
13. Конфигуратор ЦПС «SCL-Express» <https://soft.ekra.ru/EnterpriseSoftware> Дата доступа 10.08.2020
14. СТО 34.01-4.1-007-2018. Технические требования к автоматизированному мониторингу устройств РЗА, в том числе работающих по стандарту МЭК61850. Стандарт организации. ПАО «Россети». Дата введения 23.03.2018
15. StationScout Испытания систем автоматизации подстанций <https://www.omicronenergy.com/ru/products/stationscout/> Дата доступа 20.08.2020

16. ГОСТ Р 58651.1—2019 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Основные положения

Сетевая магистерская программа «интеллектуальные сети электроснабжения» (Энерджинет)

Петрова С.Ю.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Email: master@sevsu.energynet.ru

В статье рассказывается об особенностях реализации сетевой магистерской программы «Интеллектуальные сети электроснабжения» и подготовке кадров, владеющих пониманием новой концепции цифровой распределенной электроэнергетики.

The article describes the features of the network master's program «Intelligent power supply networks» implementation and staff training who have an understanding of the new concept of digital distributed electric power industry.

Ключевые слова: подготовка кадров, цифровая распределенная электроэнергетика, сетевая образовательная программа.

Key words: staff training, digital distributed power engineering, network educational program.

Реализация концепции «Цифровой РЭС» предполагает замену существующих практик проектирования и эксплуатации инфраструктуры сетевых компаний на принципиально новые технические решения, в большей степени основанные на обработке больших данных и искусственном интеллекте, процессно-ролевых моделях управления сетевыми компаниями, новых нормативах, регулированию рыночных моделей деятельности, включая тарифное регулирование. И подготовка кадров, владеющих пониманием новой концепции цифровой распределенной электроэнергетики, является приоритетной задачей.

В 2017 году стартовала новая магистерская образовательная программа «Интеллектуальные сети электроснабжения», особенностью которой было то, что инициатива шла от индустриального партнера (одного из технологических лидеров электроэнергетики ООО «Плаг энд плей инжиниринг»).

Основная идея магистерской программы – обеспечить студентов возможностью синтезировать проектное обучение и научно-исследовательскую работу в конкретный практический результат (ВКР, патент, трудоустройство). Для реализации этой идеи необходимо участие студентов в проектной деятельности индустриального партнера и расширение вариантов образовательных траекторий.

Первое условие реализовано следующим образом: индустриальный партнер имеет список актуальных направлений и проектов, в рамках которых студент магистратуры может проводить свое научное исследование. Так в настоящее время студенты совместно с сотрудниками центра численного моделирования (СПбГТУ, Санкт-Петербург) работают над следующими темами НИР:

- Изучение причин аварий воздушных ЛЭП, сопровождающихся обрывом проводов.
- Исследование деградации бумажной пропитанной изоляции силовых кабелей, выявление ранних индикаторов деградации.
- Теоретические основы и методы реализации казуальной модели рекомендательных алгоритмов для интеллектуальных сетей электроснабжения.

Также есть возможность выполнять отдельные задачи по проектам реального производства, накапливая практический опыт, а именно участвовать в проекте «Цифровой РЭС», реализуемый ООО «Плаг энд плей инжиниринг», и проекте «Новые парадигмы проектирования РЭС», ООО «Разумные электрические сети».

Специализация и набор компетенций студентов исходит из задач НИР. Чтобы расширить возможности подготовки, студенту предоставляется право самостоятельно добирать необходимый ему модуль (дисциплину), компенсируя недостающую компетенцию. Модули могут реализовываться на основе виртуальной академической мобильности (межвузовские каталоги курсов в онлайн формате) либо как курсы ДПО. Основанием для зачета результатов и включения в индивидуальный план в этом случае может выступать удостоверение или сертификат, который студент получает по окончании курса. Это позволяет диверсифицировать образовательную программу и реализовывать ее на стыке различных областей профессиональной деятельности.

Этапы создания сетевой магистерской программы:

1. Выявить кадровые потребности и необходимые компетенции выпускника (что инженер обязан знать, уметь и чем должен владеть). Для этого - провести встречи с руководителями РЭС, руководителями КБ и научных лабораторий/подразделений.
1. Результат: сформирована матрица компетенций; выявлены значимые кластеры направлений подготовки магистров, позволяющие в дальнейшем сделать диверсификацию профиля магистратуры.
2. Составить список дисциплин, формирующих необходимые компетенции по каждому профилю основного направления подготовки, например:
 - ученые/креативщики;

- конструктора и проектировщики сетей;
- разработчики интеллектуальных решений;
- организаторы работ.

Результат: список дисциплин секционирован на базовые (для всех профилей подготовки), формирующие общекультурные и общепрофессиональные компетенции, и специализированные, формирующие профессиональные компетенции (диверсификация магистратуры). Создан учебный план и основная образовательная программа магистерской подготовки согласно ФГОС 3++ [1]. Дисциплины учебного плана:

- Инженерная онтология
- Иностранный язык для специальных целей
- Методология исследовательской деятельности рынков НТИ
- Научный семинар
- Прикладная физика к задачам электроэнергетики
- Прикладная математика к задачам электроэнергетики
- Системы электроснабжения
- Виды повреждений в распределительных сетях и защита от них
- Системы поддержки принятия решений в сетевом комплексе
- Системы учёта электрической энергии
- Распределённая генерация и микросети
- Методы и модели многомерного анализа данных
- Экономика и бизнес в электроэнергетике
- Программное обеспечение математического моделирования и инженерного проектирования
- Технологии машинного обучения
- Технологическое предпринимательство
- Нормы и правила работы в электроустановках

- Коммутационные аппараты высокого напряжения
3. Внедрить систему поливариантных образовательных программ, позволяющую подбирать профиль подготовки индивидуально для каждого студента.

Результат: рекомендательная система, использующая аналитику больших слабоструктурированных данных и алгоритмы машинного обучения.

4. Подбор педагогов. Наиболее важный и ответственный этап, так как образовательная программа основана на идее подготовки специалистов будущего, умеющих быстро адаптироваться к вновь появляющимся технологиям. В этих условиях педагог обязан быть в курсе новых технологий и использовать принцип «учу, учась».

Результат: привлечение к реализации образовательной программы экспертов из ведущих вузов страны. Так, например, для реализации дисциплин, относящихся к блоку машинного анализа и искусственного интеллекта, был заключен сетевой договор с НИУ ИТМО. Дисциплина «Экономика и бизнес в электроэнергетике» преподается профессором НИУ ВШЭ, а базовые профессиональные дисциплины по электроэнергетике читаются преподавателями НИУ МЭИ. Дисциплина «Инженерная онтология» реализуется ООО «Т-система». Профильные дисциплины читают ведущие инженеры предприятия.

5. Разработка или адаптация дисциплин под новые образовательные технологии.

Результат: в образовательном процессе используются такие формы, как смешанное обучение (Blended learning); видео-презентация лекций (10 мин. ролик). Для организации самостоятельной работы студентов, проведения текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации обучающихся используется E-learning Moodle.

6. Организация практик должна обеспечить три условия: 1) давать практическое представление о преимуществах перспективных решений для повышения надежности воздушных сетей 10 кВ; 2) давать практическое представление о перспективных программных продуктах для проектирования и управления распределительной сетью; 3) вырабатывать навыки реализации процесса ликвидации аварии (включая устранение и ремонт наиболее распространенных видов повреждения в воздушных сетях, включая работу оперативных и диспетчерских служб).

Результат: проведение производственной проектной практики в ООО «Плаг энд плей инжиниринг», позволяющей получить практические навыки проектирования распределенных сетей. Проведение производственной эксплуатационной практики в

реальной цифровой РЭС и на учебном «Цифровом полигоне», позволяющей получить практические навыки работы с оборудованием и управлением цифровой сетью Рис. 1.

«Цифровой полигон» создан благодаря поддержке индустриального партнера ООО «Плаг энд плей инжиниринг» и представляет собой физическую модель участка воздушной сети и позволяющий собирать типовые топологии воздушных кластерных сетей (Таблица 1). Реализована необходимая функциональность для имитации эксплуатационных режимов, а также для воспроизведения процесса ликвидации типовых аварий в характерных точках распределительной сети:

- a. Металлическое установившееся двухфазное КЗ;
- b. Металлическое установившееся трехфазное КЗ;
- c. Дуговое двухфазное КЗ;
- d. Низкоомное ОЗЗ;
- e. Высокоомное ОЗЗ;
- f. Дуговое трехфазное замыкание;
- g. Двойное замыкание на землю.



Рис. 1 Цифровой полигон

Таблица 1. Типовые топологии воздушных кластерных сетей

Тип кластера	I	Y	A	H
Условное изображение				
Схема модели	Варианты сборки типовых кластеров			

Пространство магистратуры соответствует тенденциям современного мира – это пространство-трансформер, которое реагирует на событийность. В этом небольшом пространстве площадью 250 м2 мы создаем разные ячейки, в зависимости от того, что происходит на площадке. Это трёхмерное пространство – геометрическая модель материального мира, в котором мы находимся. На рисунке 2 показана схема трансформируемого учебного пространства.

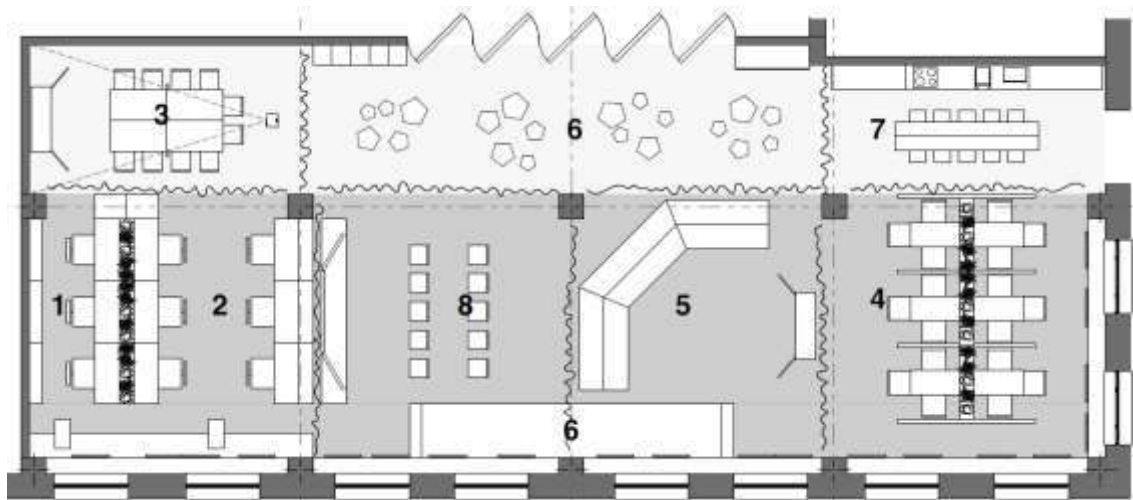


Рис.2. Схема трансформируемого учебного пространства

1 – зона заведующего кафедрой 2-3 человека; 2 – зона преподавателей на 5-6 человек; 3 – зона для переговоров на 8 человек; 4 – зона практических занятий по 2-3 человека (6 групп) 18 посадочных мест; 5 – зона лекций/семинаров 20 посадочных мест; 6 – зона отдыха 4-5 человека; 7 – кухня общей посадочной вместимостью 10 чел; 8 – зона групповой/индивидуальной образовательной деятельности вместимостью до 20 мест.

Здесь реализованы разные уровни света, звука и запаха, которые в каждом из отдельно существующих пространств помогают максимально комфортно чувствовать себя, настраиваться на определенный момент, который в данном пространстве подразумевается (рис.3).



Рис.3. Ученое пространство магистратуры

Таким образом, магистерская программа «Интеллектуальные сети электроснабжения» связывает формальную модель образования и запросы индустриального партнера. Такое взаимодействие активизирует фундаментальные разработки, перерастает в совместные исследования и внедрение их результатов в реальное производство. Участие в этом процессе студентов формирует у них качества, необходимые для инновационной деятельности, а также профессиональной деятельности на стыке различных направлений науки и техники. Идеи, заложенные в магистерскую программу, требуют развития и масштабирования. Нужно отметить, что при реализации сетевой образовательной программы возникают трудности различного характера. Например, согласно [2], образовательная организация высшего образования, имеющая в учебном плане дисциплину, для изучения которой не имеет соответствующих ресурсов (кадровых, материально-технических и т. д.), передает часть нагрузки, предусмотренную на изучение данной дисциплины, в другую образовательную организацию высшего образования, располагающую необходимыми ресурсами. В данном случае между образовательными организациями высшего образования должен быть заключен договор о сетевой форме реализации образовательной программы, и совместно должна быть разработана и утверждена

образовательная программа. Сложность аккредитации [3] и незаинтересованность вузов отдавать часть своего финансирования в другой вуз останавливает развитие данной формы реализации образовательной программы.

Список литературы

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28 февраля 2018г. № 147 (Зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 22.03.2018 N 50476).
2. ч. 1 ст. 15 Федерального закона от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2013 г. № 1039 (в редакции постановления Правительства от 26 декабря 2014 г. № 1537) о государственной аккредитации образовательной деятельности.

Применение методов ИИ для оптимального синтеза проектных решений на примере АСУ ТП электрических подстанций

Волошин А. А., Волошин Е. А., Грачева Н. П.

Центр НТИ МЭИ

Email: grach.np@gmail.com

Развитие информационных технологий ведет к их повсеместному внедрению во все сферы современной жизни. Методы искусственного интеллекта внедряются повсюду для автоматизации многих процессов нашей жизни. В настоящее время разработка проекта цифровой подстанции является достаточно сложным и трудоемким процессом. Применение информационных технологий позволяет автоматизировать процесс проектирования, уменьшив время, затрачиваемое на проект. В данной статье рассмотрено применение методов искусственного интеллекта для решения задачи проектирования РЗА подстанции.

The development of information technologies leads to it widespread implementation in all parts of modern life. Artificial intelligence techniques are being implemented in some processes in our life. Currently, the development of a digital substation project is a rather complex and laborious process. The application of information technology allows us to automate the PACS designing, reducing the time spent on the project. This article describes the application of artificial intelligence to solve the problem of designing a PACS substation.

Ключевые слова: методы искусственного интеллекта, цифровая подстанция, онтология, база знаний.

Key words: artificial intelligence, digital substation, ontology, knowledge base.

Развитие информационных технологий ведет к их повсеместному внедрению во все сферы современной жизни. Методы искусственного интеллекта позволяют прогнозировать различные процессы, совершать покупки онлайн с индивидуально подобранными рекомендациями, ИИ может анализировать данные IoT с производственного участка, получаемые от подключенного оборудования, и прогнозировать загрузку и спрос с помощью рекуррентных сетей, голосовые помощники становятся полезными помощниками во многих сферах нашей жизни: персональные медицинские помощники могут напоминать пользователям, что нужно принять лекарство, выполнить физические упражнения или перейти на более здоровый режим питания. Таким образом, сегодня методы искусственного интеллекта внедряются повсюду для автоматизации многих процессов нашей жизни.

Применение методов искусственного интеллекта позволяют не только облегчить выполнение множества процессов, но также снизить влияние человеческого фактора,

что позволяет избежать ошибок, что особенно актуально в тех сферах, где небольшие ошибки могут приводить к серьезным последствиям.

Современная энергетика также не избежала влияния цифровизации. Сегодня во всем мире идет процесс внедрения технологии цифровых подстанций на базе стандарта МЭК 61850. Однако строительство ЦПС требует не только замены технологической базы, но и изменения подходов к проектированию и эксплуатации, а также повышения уровня компетенций персонала, работающего над этой задачей.

В настоящее время разработка проекта цифровой подстанции является достаточно сложным и трудоемким процессом: необходимо не только осуществить все классические шаги, включающие определение состава функций и терминалов РЗА, состава сигналов для каждой функции и т. д., но также выбрать архитектуру цифровой подстанции, разработать локальную вычислительную сеть, определить состав устройств сопряжения с объектом и создать перечень файлов, описанных в стандарте МЭК 61850.

Таким образом, разработка проекта ЦПС с учетом отсутствия методических указаний по проектированию делает этот процесс трудоемким, требующим много времени и опыта от проектанта. Применение информационных технологий позволяет автоматизировать процесс проектирования, уменьшив время, затрачиваемое на проект.

Проектирование комплекса РЗА ЦПС проводится на основании действующей нормативно-технической документации и включает в себя следующие этапы:

- Выбор функций релейной защиты в соответствии с действующей нормативно-технической документацией (НТД);
- Определение ТТ, ТН и выключателей, сигналы которых необходимы для работы функции;
- Выбор терминалов РЗА;
- Определение состава устройств сопряжения с объектом и подключенного к ним оборудования;
- Создание ЛВС;
- Технико-экономическая оценка.

Конечно, перечисленные выше шаги – далеко не полный перечень этапов, выполняемых на стадии проектирования, однако даже они требуют от проектанта как обширных знаний, так и немалого опыта, в связи с чем была поставлена цель по автоматизации этих шагов.

Прежде всего, для работы программного комплекса необходимо задать исходные данные. В рассматриваемой задаче это исходная схема подстанции. Для решения этой задачи был разработан интерфейс задания схемы подстанции со всеми необходимыми для проектирования комплекса РЗА данными.

Этот интерфейс позволяет задать однолинейную схему подстанции, не требуя при том специфических знаний стандарта МЭК 61850. После того как схема задана, генерируется файл SSD (Substation Specification Description), который содержит информацию о схеме в соответствии со стандартом, а также является файлом, требуемым для проекта комплекса РЗА. Кроме того, файл может быть импортирован в разработанный комплекс.

Следующим этапом в работе является определение состава функций комплекса РЗА на основании нормативной документации, а также знаний и опыта проектанта, на базе которых происходит обработка информации о схеме подстанций. Современные программные средства позволяют описывать эти знания в формальном виде и применять их при разработке для достижения желаемого результата. В качестве технологии, позволяющей одновременно содержать требования, описываемые в НТД, и опыт проектанта, а также позволяющей отражать процесс анализа и обработки информации для автоматизации процесса проектирования, содержащейся в схеме, были выбраны базы знаний.

База знаний (англ. knowledge base) – формализация предметной области и ее представление в форме семантической сети, допускающее осуществление логических выводов и осмысленную обработку информации. В соответствии с [1] она является информационной моделью области знаний, имеющей вид ориентированного графа, вершины которого соответствуют объектам предметной области, а дуги (рёбра) задают отношения между ними. Структура такого графа соответствует триплету, который является формой представления данных в онтологиях. Онтологии являются каркасом базы знаний (БЗ) и создают базис для описания основных понятий предметной области, необходимый для полноценного функционирования системы [2]. Согласно [3] онтологии в области информационных технологий представляют собой формализацию некоторой области знаний с помощью концептуальной схемы.

Таким образом, база знаний позволяет не только хранить и систематизировать накопленный опыт и знания, но и применять его для автоматизации технологических процессов. Однако создание базы знаний требует не только понимания синтаксических особенностей ее структуры, но также создания такой структуры, которая обеспечит применимость хранимой в ней информации.

Для решения поставленной задачи была разработана онтологическая модель подстанции, содержащая информацию о структуре подстанции, типах оборудования и его взаимосвязях, а также перечень правил, описываемых в НТД. Технология баз

знаний предоставляет возможность использования НТД различных вендоров, что, в свою очередь, позволяет применять данный метод в различных областях электроэнергетики.

Разработанная модель заполняется информацией о схеме подстанции, полученной ранее от пользователя. Таким образом, на данном этапе получена база знаний энергообъекта, однако этих данных недостаточно для обработки схемы подстанции и синтеза перечня функций комплекса РЗА. Для решения поставленной задачи необходимо обработать введенную схему подстанции и достроить недостающие связи, определить элементы оборудования, которые не регламентируются стандартом, защиту которых, однако, также необходимо обеспечивать в соответствии с НТД (например, ошиновка трансформатора), для чего используется механизм логического вывода (МЛВ), или так называемый ризонер. Такая обработка позволяет, например, определить электрические связи между элементами оборудования (Рис. 1).

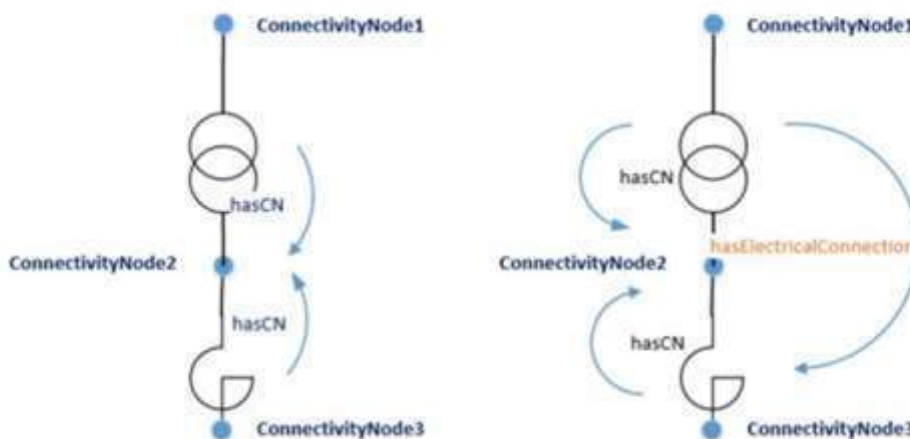


Рис. 1 Пример работы МЛВ для определения неявных свойств

Для реализации данной задачи в технологии баз знаний предусмотрено использование дескрипционной логики; выражения, описывающие эти правила выглядят следующим образом (1):

$$\forall x, y \in E(x \text{ hasElectricalConnection } y \leftrightarrow x \text{ hasCN } c \in C \wedge y \text{ hasCN } c \in C \wedge x \neq y) \quad (1)$$

После выявления недостающих связей при помощи ризонера производится анализ схемы для определения состава функций комплекса РЗА подстанций. Синтез функций осуществляется на основании НТД, описанной в терминах базы знаний. Так как определение состава функций РЗА является задачей комплексного анализа схемы, а не отдельных её элементов, например, необходимо учитывать уровни напряжения или количество выключателей, которыми элемент подключается к остальной части схемы, то для распределения функций защит по оборудованию требуется составление более

сложных условий в совокупности с глубокими запросами к онтологии. Для решения этой проблемы был выбран итерационный подход к построению правил, с поочередным запуском их в онтологии, что позволяет учесть и проверить все возможные варианты. Условия, необходимые для распределения комплектов защит по оборудованию, формировались на основе нормативной документации [4], [5], путем структурирования и классификации заложенных в ней знаний.

На основе составленной классификации были сформирован список рекомендаций по установке защит для каждого типа оборудования ЦПС с учетом его особенностей. Проведенный анализ позволил определить так называемые опорные точки выбора функций защит в соответствии с нормативно-технической документацией и описать этот процесс в базе знаний с использованием МЛВ.

Таким образом, процесс формирования базы знаний требований по защите первичного оборудования ЦПС был разбит на подэтапы, в ходе которых были определены оптимальные инструменты и решения для работы с онтологиями.

Разработанная база знаний требований по релейной защите позволяет в автоматизированном режиме определить первичную схему подстанции и синтезировать перечень функций комплекса РЗА рассматриваемого энергообъекта.

Однако для разработки проекта необходимо не только определить состав функций комплекса РЗА, но также определить измерительные трансформаторы, к которым подключены соответствующие функции релейной защиты, а также выключатели, на которые они воздействуют, и взаимосвязь функций друг с другом. Для решения данной задачи необходимо произвести большее количество итераций. Это обусловлено тем, что данная задача требует охвата опыта проектантов, информации о связях на подстанции и творческого подхода человека.

Для реализации данных задач были применены следующие методики работы с базой знаний:

- формирование необходимых связей путем рекурсивных запросов к онтологии;
- получение новых знаний посредством логических выводов, построенных на совокупности правил.

После того как все требуемые данные получены, необходимо сформировать перечень устройств сопряжения с объектом (УСО) на основе требований к устройству, формируемых пользователем или определенных по умолчанию. Данный подход предусматривает использование механизмов баз знаний и логического вывода для определения требуемого набора функций РЗА для обеспечения надежной и полноценной защиты первичного оборудования подстанций в соответствии с нормами технологического проектирования. Для задачи распределения определенного набора

функций по микропроцессорным устройствам данный стек технологий также подходит ввиду следующих факторов:

- Отсутствие необходимости перерабатывать данные, полученные на предыдущем этапе работы программного комплекса, – функции сразу готовы к распределению по терминалам;
- Высокая наглядность распределения, обусловленная семантической моделью построения баз знаний;
- Наглядная и легко изменяемая форма введения начальных условий распределения в алгоритм.

Следующая задача процесса проектирования – распределение функций по терминалам релейной защиты. Применение технологии баз знаний – одна из наиболее перспективных для решения поставленной задачи. Для решения данного вопроса была разработана отдельная база знаний – база знаний комплекса РЗА подстанции. Под входными данными задачи в этом случае подразумевается предопределенный набор функций РЗА, реализуемых на подстанции в соответствии с нормами технологического проектирования и руководящими указаниями отраслевых предприятий, с привязкой к первичному оборудованию подстанции, к вторичным измерительным трансформаторам, которые данная защита использует, а также к силовым выключателям, на которые действует данная защита.

Ввиду наличия ситуаций, когда одна и та же защита одновременно является основной для одной единицы оборудования подстанции и резервной – для другой единицы, введена дифференциация типов защит:

- Основная;
- Резервная;
- Технологическая.

Ядром данного программного модуля является построенная базовая модель онтологии базы знаний, включающая в себя классы и свойства, которые содержат данные об элементах подстанции, функциях РЗА и терминалах, и обеспечивающие взаимосвязь между ними, а также базовый набор правил распределения функций по терминалам в соответствии с требованиями НТД. Данная модель является унифицированной и содержит основную логику работы алгоритма; на ее основе в дальнейшем формируется уникальная модель для каждого проекта подстанции.

Далее в соответствии с внесенными пользователем данными об универсальном терминале (в случае их отсутствия данные формируются по умолчанию) происходит

автоматическое распределение функций РЗА по терминалам в соответствии с требованиями, определяемыми НТД.

Цифровая подстанция подразумевает использование локальной вычислительной сети (ЛВС) для передачи данных внутри подстанции. При этом разработанная ЛВС должна соответствовать требованиям, предъявляемым к экономичности и надежности, то есть гарантировать своевременную доставку пакетов и необходимый уровень резервирования.

Поэтому следующим этапом разработки ПТК стало определение её структуры, что подразумевает:

- Выбор коммутаторов ЛВС;
- Определение схемы подключения оборудования (то есть терминалов РЗА и МУ) к коммутаторам;
- Определение виртуальных связей (прокладка VLAN) внутри сети.

При анализе алгоритмов оптимизации было принято решение об использовании генетического алгоритма (ГА), применение которого для оптимизации топологии сети было рассмотрено в [6]. Генетический алгоритм – эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе [7]. В данной работе применение ГА обуславливается гибкостью задания условий и требований, предъявляемых к сети, которую данный алгоритм реализует с помощью использования штрафных функций.

Для решения второй подзадачи было принято использовать алгоритм A* (А-стар, A-star). Данный алгоритм относится к классу алгоритмов поиска пути на графе и будет подробнее рассмотрен ниже. В ходе работы было выявлено, что оценка данного этапа требует наибольшего количества времени и мощности вычислительных ресурсов, в связи с этим было принято решение о необходимости оценки загрузки каналов и трассировки информационных потоков только в случае, если сеть валидна к оценке с точки зрения аппаратных показателей.

В настоящее время методические указания по расчету показателей надежности (ПН) РЗА цифровой подстанции отсутствуют.

Однако традиционно существуют два метода для расчета показателей надежности РЗА:

- Цепи (матрицы) Маркова;
- блок-схемы надежности.

Но данные методы имеют следующие недостатки, затрудняющие выполнение расчетов с использованием существующих методик:

1. Высокая трудоемкость аналитического расчета показателей надежности и, как следствие, высокая вероятность ошибки в силу проявления «человеческого фактора».
2. Применение различных архитектур для реализации РЗА цифровых подстанций требует разработки новых диаграмм надежности для каждой архитектуры.
3. Изменение ДН в ходе эксплуатации ПС в связи с изменением активной топологии локальной вычислительной сети (ЛВС) для «шины процесса». Подобное изменение может быть вызвано, например, работой протокола RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), когда вследствие отказа какого-либо элемента сети происходит перестроение существующей активной топологии ЛВС. Данная технология при построении ДН требует предусматривать все возможные варианты изменения структуры, что усложняет проведение расчета.
4. Недостаточность методики диаграмм надежности для расчета показателей надежности комплексов РЗА с гибкой функциональной архитектурой.

Кроме того, перечень традиционно используемых показателей надежности не отражает надежность комплекса РЗА в целом, так как они предназначены для оценки показателей надежности отдельных функций. Для функционально интегрированных систем РЗА необходимы дополнительные критерии.

Для решения указанных проблем была разработана новая методика для автоматизированного расчета показателей надежности РЗА на основе применения мультиагентной системы для моделирования функционального состояния комплекса РЗА ЦПС.

Программная реализация данной методики выполнена на языке программирования Java с применением мультиагентной системы (МАС) на основе программных библиотек JADEX с применением интеллектуальных агентов по модели belief-desire-intension software model (BDI). Выбор МАС для расчета был обусловлен тем, что данная методология позволяет моделировать поведение каждого объекта-агента оборудования в соответствии с их типом.

В соответствии с [8], мультиагентная система – это система, состоящая из двух и более агентов или интеллектуальных агентов. Важно отметить, что такая система не имеет общей цели (целевой функции), а агенты имеют только свои локальные цели (целевые функции). Реализация общей требуемой функциональности МАС выполняется путём включения в неё интеллектуальных агентов с целями, соответствующими отдельным составляющим общей функциональности.

Мультиагентная система состоит из агентов-оборудования и агентов-функций. Каждый агент использует сервисы для взаимодействия с другими агентами. Взаимосвязь агентов определяется в соответствии с проектной документацией и структурой комплекса РЗА. Так, например, при моделировании сценария отказа УСО агент функции РЗА получает информацию о недоступности необходимых измерений от агентов оборудования, связывающих его с агентом УСО. Таким образом, формируется перечень отказавших функций при отказе отдельных устройств комплекса РЗА ЦПС для различных сценариев. Под сценарием в данной методике понимается независимый отказ одной или нескольких (k) единиц оборудования, в зависимости от типа сценария.

После того как все сценарии смоделированы, производится оценка интегральных критериев, разработанных для оценки показателей надежности цифровых подстанций, на основе которых можно сделать вывод о надежности комплекса РЗА цифровой подстанции, и произвести изменения комплекса, при необходимости повысив его надежность.

Таким образом, была разработана методика автоматического синтеза проектных решений комплекса РЗА с применением методов искусственного интеллекта на основании импортированных данных о схеме РЗА.

Применение онтологического моделирования позволяет реализовать творческую и аналитическую часть процесса проектирования, что в свою очередь дает возможность автоматизировать процесс проектирования таким образом, что изменение НТД не требует переписывания большей части кода программы, а требует изменить только правила, описывающие НТД.

Стоит также отметить, что применение такого подхода позволяет автоматизировать процесс проектирования не только электроэнергетических комплексов. Применение технологии баз знаний позволяет решать аналогичные задачи в других областях, что позволит существенно оптимизировать процесс проектирования различных систем.

Список литературы

1. N. D. Roussopoulos, A semantic network model of data bases, 1977.
2. Ю. А. Загорулько и Г. Б. Загорулько, Онтологии и их практическое применение в системах, основанных на знаниях., Новосибирск: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 2011.
3. В. А. Лапшин, Онтологии в компьютерных системах., Москва: «Научный мир», 2010.
4. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ.

5. ГОСТ Р МЭК 61850, 2009.
6. И. Б. Плесовских, «Оптимизация одноранговой вычислительной сети при помощи генетического алгоритма,» Вестник Омского университета, № 2, pp. 185-188, 2012.
7. M. E. Bratman, «Intentions, Plans and Technical Reason» Philosophical Review, т. 100, № 2, 1987.
8. [8] S. D. McArthur, V. M. Catterson, N. D. Hatziargyriou и T. Funabashi, «Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications - Part 1: Concepts, Approaches and Technical Challenges» IEEE Transactions On Power Systems, т. 22, № 4, 2007

Открытая онтология кибербезопасности электроэнергетики

Правиков Д. И.¹

¹ РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина

Email: dip@gubkin.pro

Аннотация: Для описания безопасного функционирования защищаемых системы в электроэнергетике предложено использовать онтологические модели. На примере применения онтологического подхода к сравнительному анализу проектов двух документов, опубликованных ФСТЭК России, продемонстрированы выявляемые противоречия и, как следствие, продуктивность примененного подхода. Описано текущее состояние и направления по формированию открытой онтологии кибербезопасности электроэнергетики.

Abstract: To describe the safe functioning of protected systems in the electric power industry, it is proposed to use ontological models. Using the example of the ontological approach to the comparative analysis of the drafts of two documents published by the FSTEC of Russia, the revealed contradictions and, as a result, the productivity of the applied approach are demonstrated. The current state and directions for the formation of an open ontology of cybersecurity in the electric power industry are described.

Ключевые слова: кибербезопасность, онтологическая модель, открытая разработка.

Key words: cybersecurity, ontological model, open development.

Актуальность обеспечения кибербезопасности в электроэнергетике обусловлена тем, что, как показано в [1]:

- подсистемы релейной защиты и противоаварийной автоматики имеют наиболее критичные последствия при воздействии на них кибератак;
- воздействие на некоторые информационные ресурсы вторичных подсистем объектов электроэнергетики может приводить к конкретным физическим последствиям.

Тенденции последних лет в области обеспечения безопасности АСУ ТП характеризуются слиянием информационной, функциональной и других видов безопасности, например, физической. Как следствие, создаются «системы анализа технического состояния промышленного объекта, задача которых на раннем этапе (до получения информации оператором) выявлять отклонения в работе как промышленного объекта, так и самой АСУ ТП» [2]. Использование данного подхода для обеспечения кибербезопасности в электроэнергетике описывается, в частности, в [3]:

«Рассмотренный подход расширяет представление о традиционной системе обнаружения вторжений в электроэнергетических системах, в частности в распределительных сетях, путем мониторинга физического поведения сети. Это достигается за счет использования высокоскоростных распределительных блоков измерения фаз (PMU) наряду с анализом пакетов SCADA с целью мониторинга поведения дискретных управляющих устройств».

Специфика процесса объединения различных видов безопасности приводит к тому, что само понятие безопасности начинает выходить за пределы традиционной для информационной безопасности триады «конфиденциальность – целостность – доступность».

Указанное обстоятельство, в свою очередь, требует выработки новых подходов к выявлению, реагированию на компьютерные инциденты и ликвидации их последствий. Так, например, в экспертной среде присутствует мнение, что часть компьютерных инцидентов на промышленных предприятиях не расследуется по причине отсутствия явного проявления в виде срабатывания средств защиты информации. В [4] отмечено следующее: «как показал опыт расследования киберинцидентов на промышленных предприятиях, в первый момент времени очень трудно отличить изменение поведения управляемого оборудования, произошедшего в результате кибератаки, от сбоя, вызванного износом, отказом оборудования или неквалифицированным действием персонала».

Как результат, появляется понятие аномального поведения системы, описывающего возможные последствия компьютерной атаки, которое должно быть представлено на языке, «понятном» как администратору системы, так и средствам защиты. Говоря другими словами, должно быть сформировано описание опасного состояния системы с учетом особенностей ее эксплуатации.

Если посмотреть на данную ситуацию с точки зрения исторических аналогий, то в какой-то степени она похожа на переход от «Оранжевой книги» к «Общим критериям» (стандарт ISO/IEC 15408). На определенном историческом этапе, связанном с развитием защищенных информационных систем, зафиксированные шесть классов безопасности стали сдерживать появление новых защищенных систем с оптимальным по отношению к угрозам уровнем безопасности. Как следствие, был осуществлен переход к «профилю защиты», формируемому с учетом особенностей защищаемой системы.

В настоящее время формальное описание объектов электроэнергетики осуществляется в виде онтологий, чему посвящен целый ряд работ как в России [5], так и за рубежом [6]. При этом в [5] приводится следующее определение: «Онтология — это формализованное описание определённой области знаний при помощи концептуальных схем, состоящих из взаимосвязанных по заданным правилам понятий, записанных в виде семантической сети. Информационная модель семантической сети

имеет вид ориентированного графа. Вершины графа соответствуют объектам, а рёбра определяют отношения между ними.»

Вместе с тем, существуют онтологии, описывающие само понятие кибербезопасность, в частности [7].

Исходя из самой сущности онтологического подхода, возникает возможность в рамках одной модели сформировать описание как самой защищаемой системы, ее аномального поведения, так понятий и подходов к обеспечению ее кибербезопасности. Получившийся результат в определенной степени будет являться аналогом «профиля защиты» для определенного класса систем, когда понятие защищенности или, с другой стороны, аномального поведения, применено и адаптировано к конкретным условиям.

Одной из первых работ, в которых была предпринята попытка на базе онтологического подхода описать кибербезопасность электроэнергетических систем, является [8]. Хотя указанная работа и содержала верхнеуровневую онтологическую модель кибербезопасности, в определенной степени она носила больше постановочный характер: «для более глубокого исследования кибербезопасности систем и объектов энергетики необходима дальнейшая детализация рассмотренных понятий в их привязке к особенностям конкретных информационных систем и систем управления энергетическими объектами».

Тем не менее данная работа была замечена в научном сообществе, в частности, с учетом ее положений была подготовлена [9]. При методически верном подходе данная работа не лишена недостатков с точки зрения специалистов по информационной безопасности. Следует отметить, что «в результате исследования были выделены 23 угрозы (Threat) информационной безопасности Smart Grid, в том числе 6 угроз на уровне менеджмента, 7 - на уровне приложений и баз данных, 7 - на уровне сети и 3 - на уровне мобильных устройств.» При этом не описано соотнесение выделенного перечня угроз с нормативными документами, в частности приказами ФСТЭК России.

Развитие онтологического описания проблем описания комплекса понятий, связанных с вопросами обеспечения кибербезопасности в энергетике было продолжено силами различных коллективов специалистов и ученых, среди которых следует выделить работы Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук. Как можно понять из работ сотрудников данного учреждения, ими уже разработан целый комплекс онтологий, описанных, в частности, в [10]. Схема комплекса онтологий представлена на рисунке.

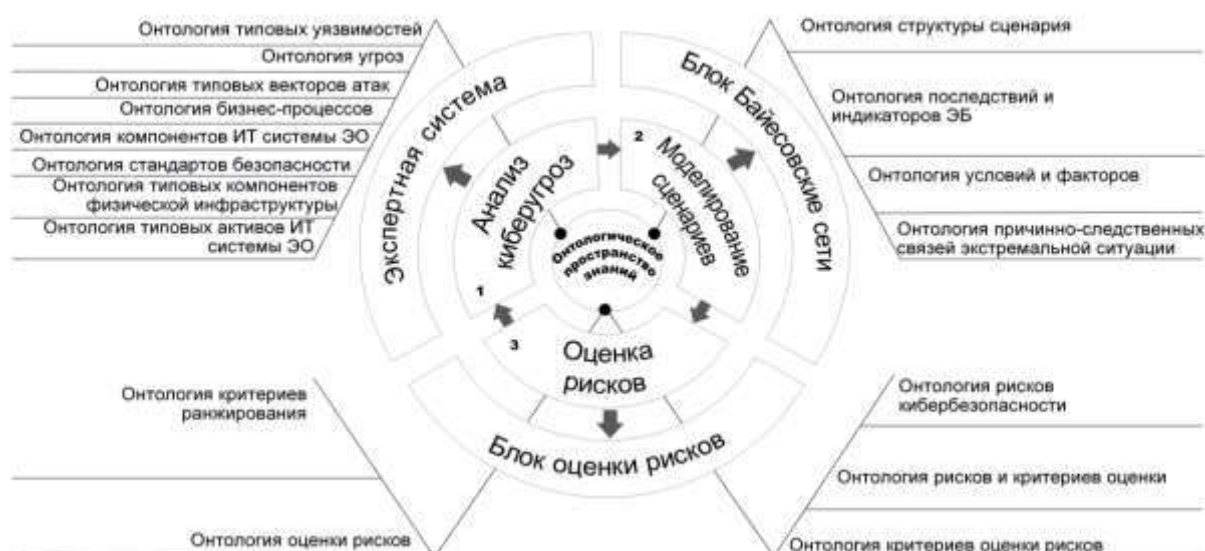


Схема комплекса онтологий, разработанных в ИСЭ им. Л.А.Мелентьева

В качестве положительных моментов указанной работы следует выделить ориентированность на нормативную базу российских регуляторов (в частности, на Банк данных угроз безопасности информации ФСТЭК России).

Развитие онтологического подхода к описанию кибербезопасности в различных отраслях, в том числе в электроэнергетике, по мнению авторов, связано с возможностями практического применения разработанных моделей. В частности, в Московском энергетическом институте разработаны модели угроз и нарушителей в соответствии с проектом методических рекомендаций, опубликованных на официальном сайте ФСТЭК. Предлагаемые в проекте табличные формы описания угроз, нарушителей, их целей, с одной стороны, достаточно наглядны, но вместе с тем, весьма объемны, что может стать препятствием к их практическому применению. Возможно, что онтологический подход позволит снизить размерность моделей, повысить их наглядность и, как следствие, операционабельность.

Формирование общих онтологий, с точки зрения экспертов центра компетенций «Кибербезопасность» НТИ Энерджинет, должно привести, в том числе, к устранению возможных противоречий в формируемой нормативной базе. Так, на официальном сайте ФСТЭК России опубликованы проекты двух документов - Методика моделирования угроз безопасности информации (далее – Методика) и ГОСТ Р (проект, первая редакция) «Защита информации. Обнаружение, предупреждение и ликвидация последствий компьютерных атак и реагирование на компьютерные инциденты. Термины и определения» (далее – ГОСТ). Отсутствие общей онтологии приводит к тому, что, например, для общих понятий, таких как угроза, текстуальное описание разнится (см. таблицу), при этом объяснения наличия такой разницы отсутствуют.

Если сравнивать два определения «угрозы» с общих позиций, то они весьма схожи. Но если предполагать, что в дальнейшем они будут использоваться для построения

онтологической модели, то в Методике угроза связана с неправомерными действиями и неправомерными воздействиями, а в ГОСТ – с условиями и факторами. Как следствие, в Методике не должно рассматриваться понятие «уязвимости» (т. к. это не действие и не воздействие), при этом для определения из ГОСТ уязвимость вполне правомочно отнести к факторам.

Методика моделирования угроз безопасности информации	ГОСТ Р (проект, первая редакция) Защита информации. Термины и определения.
В качестве угроз безопасности информации, подлежащих определению при моделировании угроз безопасности информации, рассматриваются неправомерные действия и (или) воздействия на информационные ресурсы или компоненты систем или сетей, в результате которых возможно нарушение безопасности информации и (или) нарушение или прекращение функционирования систем и сетей, повлекшее наступление негативных последствий	Угроза (безопасности информации): Совокупность условий и факторов, создающих потенциальную или реально существующую опасность возникновения инцидента ИБ (компьютерного инцидента), который может привести к негативным последствиям (вред/ущерб) для организации.
Компонент системы (сети): программное, программно-аппаратное или техническое средство, входящее в состав системы или сети.	Узел информационной (автоматизированной) системы: Программно-техническое средство, предназначенное для выполнения определенных функций в составе информационной (автоматизированной) системы.

Обратным примером понятий из рассматриваемых проектов документов является понятие «компонента» из Методики и «узла информационной (автоматизированной) системы» из ГОСТ. Есть обоснованное предположение, что разными терминами обозначили одну и ту же сущность. При независимом существовании документов это не критично, но если иметь в виду формирование общей онтологии, то описанная разница не объяснима и приведет лишь к ненужному усложнению.

Еще одним направлением применения онтологических моделей будет обеспечение систем поддержки принятия решений при анализе инцидентов в энергетических предприятиях. Практика выявления вредоносного программного обеспечения

показывает необходимость разработки моделей поисковой работы, которые должны быть понятны широкому кругу специалистов.

Как следствие, должна быть сформирована непротиворечивая система понятий, описывающих не только само понятие кибербезопасности, но и связанных с ним и детализирующих его понятий, при этом формируемая система должна быть продуктивна.

Создание данной системы должно носить открытый характер, позволяющий всем участникам, ведущим работы в данном направлении, синхронизироваться. «Открытость» модели подразумевает возможность любого человека получать всю информацию, пользоваться ей и предлагать свои корректировки, по аналогии со знаниями в Википедии.

Среди наработок в данном направлении стоит выделить центр компетенций «Кибербезопасность» НТИ Энерджент, который формирует и предлагает открытую таксономию по информационной безопасности, имея в виду следующий план действий:

1. Формирование словаря терминов в области кибербезопасности на основании зарубежных онтологий.
2. Поиск и соотнесение с ними соответствующих терминов в российской нормативной базе.
3. Формирование единого российского словаря терминов в области кибербезопасности.
4. Формирование связей между терминами (концептами) в области кибербезопасности.
5. Гармонизация связей с зарубежными онтологиями.

На основании ряда зарубежных онтологий кибербезопасности выделен перечень из 185 терминов, осуществлен их перевод на русский язык, проведен поиск по российской нормативной базе с целью выделения терминов, определение которых совпадает с определениями в зарубежных онтологиях. В настоящий момент идет верификация перечня понятий. В работе принимают участие сотрудники и студенты РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Лаборатории Касперского и Уральского центра систем безопасности.

Необходимо отметить, что в данном проекте сложившаяся инициативная группа руководствуется следующими принципами:

1. Разработка открытой онтологии кибербезопасности является открытым проектом.
2. Коллектив участников не ограничен.
3. При разработке реализуется научный и экспертный подход, использование существующих наработок.
4. Осуществляется взаимодействие с регуляторами и экспертным сообществом.
5. Результаты используются в регуляторной, научно-технической и образовательной деятельности.

Деятельность по разработке продолжается, приглашаем присоединяться к разработке открытой онтологии кибербезопасности в электроэнергетике.

Список литературы

1. В. Карпенко, В. Карантаев, С. Парьев, А. Кузнецов, Д. Сютов, Е. Дружинин и И. Карпов, Анализ нарушений работоспособности объектов электроэнергетики в результате деструктивных воздействий компьютерных атак, Москва: Ростелеком Солар, 2019.
2. Чернов Д. В., Сычугов А.А. Современные подходы к обеспечению информационной безопасности АСУ ТП // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – Вып. 10. – стр. 58- 64.
3. Roberts, C., Scaglione, A., Jamei, M., Gentz, R., Peisert, S., Stewart, EM, et al. (2020). Learning Behavior of Distribution System Discrete Control Devices for Cyber-Physical Security. IEEE Transactions on Smart Grid, 11(1), 749-761. Report #: 1. <http://dx.doi.org/10.1109/TSG.2019.2936016> Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/8hf0c89n>.
4. Сухих Я. А., Правиков Д.И., Кузичкин А.А. Разработка защищенных архитектур автоматизированных систем управления технологическими процессами // Безопасность информационных технологий. – 2020. – т. 27. № 2, стр. 97-117.
5. Волошин А. А., Волошин Е.А., Бусыгин Т.Г. Разработка системы автоматического синтеза тестовых сценариев и проверки правильности выполнения ПНР комплексов РЗА ЦПС // Вести в электроэнергетике. – 2017. - № 4 (90). – стр. 44 – 50.
6. Kott, J., Kott, M. Generic Ontology of Energy Consumption Households. Energies 2019, 12 (19), 3712; <https://doi.org/10.3390/en12193712>. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/19/3712/html>

7. Zareen Syed, Ankur Padia, Tim Finin, Lisa Mathews and Anupam Joshi, UCO: Unified Cybersecurity Ontology, AAAI Workshop on Artificial Intelligence for Cyber Security, February 2016. <http://ebiq.org/p/722>
8. Ворожцова Т. Н. Онтология как основа для разработки интеллектуальной системы обеспечения кибербезопасности // Онтология проектирования. – 2014. - № 4(14), стр. 69 – 77.
9. И. Н. Пашенко И. Н., Васильев В. И., М.Б. Гузаиров М.Б. Защита информации в сетях Smart Grid на основе интеллектуальных технологий: проектирование базы правил // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2015. - № 5 (166). – стр. 28 – 37.
10. Массель А.Г., Гаськова Д.А. Онтологический инжиниринг для разработки интеллектуальной системы анализа угроз и оценки рисков кибербезопасности энергетических объектов // Онтология проектирования. – 2019. – т. 9, № 2 (32). – стр. 225 – 238.

Вопросы применения систем основанных на знаниях для оценки угроз кибербезопасности вторичных систем ЦПС

Карантаев В.Г.1

Центр НТИ МЭИ

Карпенко В. И.

НИУ МЭИ

Email: vladimir.karantaev@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Состояние вопроса: В настоящее время в России сохраняется ситуация методической неопределенности по вопросам моделирования угроз безопасности информации для объектов критической информационной инфраструктуры. Ситуация усугубляется в связи с реализацией концепций цифровизации и расширением внедрения цифровых и информационно-коммуникационных технологий на технологических объектах. В результате растут риски нарушения их устойчивого функционирования под влиянием деструктивных воздействий кибератак.

Материалы и методы: При проведении данного исследования были использованы методы качественного анализа и синтеза.

Результаты: В результате данного исследования предложен способ моделирования угроз кибербезопасности для подсистемы РЗА ЦПС, который учитывает отраслевую специфику электроэнергетики, и разработан демонстрационный прототип экспертной системы, реализующий этот способ.

Выводы: Сформирована гипотеза о недостаточности обеспечения классических свойств подсистемы РЗА для ее устойчивого функционирования; продемонстрирована возможность использовать подходы инженерии знаний для моделирования угроз кибербезопасности подсистемы РЗА ЦПС.

Ключевые слова: кибербезопасность, РЗА, критическая инфраструктура, модель угроз и нарушителя.

Key words: cybersecurity, PACS, critical infrastructure, threat and intruder model.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Отрасль электроэнергетики на сегодняшний день стоит на пороге масштабной модернизации и технологических изменений. Вопросы «цифровой трансформации» включены в повестку всех крупнейших отраслевых конференций, форумов и круглых столов, прошедших в последние несколько лет [1], [2].

На отраслевых мероприятиях обсуждаются разнообразные аспекты развития электроэнергетики, в основном дискуссии касаются выбора технологических основ для будущего роста данной экономической сферы. Но по факту выбор уже сделан в пользу дальнейшего развития отрасли посредством цифровизации, которая подразумевает массовое внедрение информационно-коммуникационных и иных готовых коммерческих технологий COTS (Commercial Off-The-Shelf – любые аппаратные или программные компьютерные технологии с открытого коммерческого рынка, основанные на международных стандартах, готовые или адаптированные к использованию в специальных условиях) во вторичные подсистемы объектов электроэнергетического комплекса, включая подсистему РЗА и ПА.

Основные концепции цифровизации энергетики России были выдвинуты ПАО Россети [3] и Национальной технологической инициативой (НТИ) Энерджинет [4]. Разница выдвинутых подходов заключается в том, что ПАО Россети нацелены на преобразование электросетей высокого напряжения за счет внедрения цифровых подстанций, систем ликвидации аварий ЛЭП, интеллектуальных систем учета электропотребления и др., а НТИ Энерджинет предлагает развитие за счет организации микроэнергосистем, наделения потребителя активными моделями поведения на распределительном уровне.

Декларируемые в российских концепциях преобразования сформированы в общем мировом тренде применения цифровых технологий, с использованием отечественного опыта проведенных экспериментов и под влиянием результатов работы международных организаций, по большей части – МЭК. В частности, влияние оказывает технический комитет 57 МЭК (ТК 57), который является ответственным за разработку стандартов по организации управления энергосистемами и связанному с ним обмену информацией в реальном времени в области производства, передачи и распределения электроэнергии, а также планирования и обмена информацией для нужд оптового рынка электроэнергии. Этим комитетом разрабатываются стандарты серий IEC 61850, 60870-5, 61968, 61970, 62351 и т. д., которые используются во всем мире. В бизнес-плане ТК 57 МЭК [5] зафиксировано, что дальнейшее развитие электроэнергетических систем возможно с использованием распределенных систем энергоснабжения, реализацией подходов demand response, развитием концепции IIoT, созданием систем управления нагрузкой и генерацией. В России некоторые из стандартов МЭК гармонизированы, а также продолжаются обсуждения вопросов применения лучших мировых практик и развития с их использованием отраслевых стандартов.

Реализация описанных выше концепций в России и мире уже начата, примерами этого являются: виртуальная электростанция в Сингапуре [6]; управление спросом и распределенные системы электроснабжения в США, Австралии, Великобритании ([7], [8]); торговля электроэнергией с учетом индивидуальных особенностей потребителей [9]; перевод подстанций на телеуправление из удаленных центров [10]; внедрение

цифровых подстанций различных классов напряжения ([10], [11], [12]); внедрение цифровых распределительных электрических сетей [13].

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В РОССИИ ЗА РУБЕЖОМ

При анализе бизнес-плана ТК 57 МЭК [5] можно выявить, что за рубежом важной темой дальнейшего развития также является обеспечение информационной и кибербезопасности систем релейной защиты, автоматизированного и автоматического управления, систем учета энергопотребления и мониторинга объектов электроэнергетической отрасли. ТК 57 МЭК ведется работа по данной теме продолжительный отрезок времени, такое заключение можно получить при анализе первой версии серии стандартов IEC 62351 «Power systems management and associated information exchange – Data and communications security», первая часть которой была опубликована в 2007 году [14], последняя ее часть [15] – в 2012 году, после этого публиковались новые стандарты и дополнения к ним на протяжении 2016 – 2020 гг. ([16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]). Данный факт говорит о том, что накопилась достаточная экспертиза в теме обеспечения информационной безопасности объектов электроэнергетики и сама тема находится в высокой степени зрелости.

Помимо сообщества МЭК работы в данной области ведет международная организация CIGRE и входящий в нее российский национальный комитет (РНК СИГРЭ). Результаты исследований комитетов и рабочих групп B5/D2, D2.40, D2.46 по теме информационной безопасности объектов электроэнергетики фиксируются в материалах журнала *Electra* ([23], [24], [25]), технических брошюрах ([26], [27], [28], [29]) и сессионных документах ([30], [31], [32]). Результаты анализа приведенных источников, которые в основном опубликованы в период 2015 – 2020 гг., указывают на то, что тема обеспечения безопасности информации, обрабатываемой вторичными подсистемами объектов электроэнергетики, за рубежом актуальна и динамично развивается.

Несмотря на то, что в России, вслед за международными организациями, были запущены работы в экспертных сообществах (РНК СИГРЭ ПРГ№2), исследовательских институтах и коммерческих организациях, приняты определенные законы ([33], [34]) и нормативно-правовые акты ([35], [36]), касающиеся информационной и кибербезопасности промышленных объектов, концепции развития отрасли электроэнергетики [3], [4] не включили в себя рассмотрение этих аспектов должным образом.

Опасность игнорирования возникающих проблем в области кибербезопасности заключается в том, что с повышением уровня автоматизации и цифровизации объектов электроэнергетики растут риски нарушения устойчивого функционирования технологических объектов при влиянии на них кибератак. Подтверждение тезиса можно получить на основе анализа публикаций [37], [38], [39] и многих других.

Технический отчет [37] подготовлен организацией Sandia National Laboratories, штат Нью-Мексико, США, 2009г. В документе коротко освещены возможности атак на системы релейной защиты линий электропередач и генераторов, а также на системы АСУ ТП, которые были смоделированы в лаборатории. Отчет [38] подготовлен в 2015 году Центром изучения рисков Кембриджского университета, (г. Кембридж, Великобритания). В данной работе описаны масштабные последствия кибератаки на электроэнергетическую систему США и потери в экономике от останова работы предприятий. Доклад [39] содержит подробный анализ систем РЗА и распределение уровня опасности для каждой составляющей функции РЗА и АСУ ТП и последствий влияния кибератак на функции этих систем.

Как упомянуто выше, в России был запущен ряд работ и исследований по теме кибербезопасности объектов электроэнергетики. Заметными результатами исследований являются:

- Публикации и доклады экспертов проблемной рабочей группы №2 комитетов В5/D2 РНК СИГРЭ [40], [41];
- Инициативная НИР Лаборатории кибербезопасности АСУ ТП компании Ростелеком Солар [42], [43];
- Публикации авторского коллектива Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН г. Иркутск, Россия [44], [45];
- Публикации Лаборатории Касперского [46], [47].

Основными результатами деятельности ПРГ№2 можно считать разработанную классификацию вторичных подсистем электроэнергетических объектов по степени критичности влияния на них кибератак, а также сформированный высокоуровневый подход гибридного моделирования угроз кибербезопасности.

Основные выводы:

- подсистемы релейной защиты и противоаварийной автоматики имеют наиболее критичные последствия при влиянии на них кибератак;
- влияние на некоторые информационные ресурсы вторичных подсистем объектов электроэнергетики может приводить к конкретным физическим последствиям.

Результатам работы ПРГ№2 была посвящена секция в рамках конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем» 2017 года, на которой поднимались различные темы от моделирования угроз, до использования средств криптографической защиты для подсистемы РЗА [41], а также результаты зафиксированы в публикации в журнале Релейщик [40].

В связи с актуальностью рассматриваемой темы Лабораторией кибербезопасности АСУ ТП Ростелеком Солар в 2019 году была проведена инициативная НИР «Анализ нарушений работоспособности объектов электроэнергетики в результате деструктивных воздействий компьютерных атак» [43].

Наиболее значимый практический результат работы – это вывод о том, что:

- нарушение устойчивости функционирования объектов электроэнергетики с высоким уровнем цифровизации вторичных подсистем из-за воздействия на них кибератак - возможно.

Сформулированная в НИР [43] проблематика во многом справедлива не только для цифровых подстанций, но и для высокоавтоматизированных подстанций «переходных архитектур», включающих в себя как элементы ЦПС, так и элементы классической инфраструктуры подстанции. Основные положения исследования были опубликованы в журнале Connect [48], доложены на конференциях МФЭС 2019 [42] и Skolkovo Cyber Day 2019 [49].

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРА НТИ МЭИ

Результаты деятельности ПРГ №2 РНК СИГРЭ и НИР Ростелеком Солар стали основой дальнейших исследований. Для нового исследования в центре НТИ МЭИ были сформулированы следующие цели:

- разработка способа моделирования угроз безопасности информации, обрабатываемой вторичными подсистемами электроэнергетического объекта, в условиях методической неопределенности;
- разработка инструмента практической реализации предложенного способа.
- Для достижения поставленных целей были сформулированы и решены следующие задачи:
- анализ существующих методик моделирования угроз безопасности информации;
- разработка способа моделирования угроз кибербезопасности в условиях методической неопределенности на основе гибридного подхода;
- разработка демонстрационного прототипа экспертной системы;
- разработка частной модели угроз для проверки способа и верификации результатов работы экспертной системы.

На первом этапе исследований была поставлена цель по разработке способа моделирования угроз для объекта электроэнергетики, цифровой подстанции, который бы учитывал следующие аспекты:

- определение физических последствий успешной кибератаки (аварии);
- определение кибер-физических последствий, приводящих к авариям;
- определение результатов реализации киберугроз в компонентах подсистемы РЗА ЦПС;
- определение слабостей и уязвимостей компонентов подсистемы РЗА ЦПС;
- определение тактик и техник, используемых злоумышленником при проведении кибератаки.

Далее был проведен анализ современных методик моделирования угроз безопасности информации на предмет соответствия выдвинутым требованиям. В область рассмотрения вошли российские и зарубежные методики, такие как:

- MITRE Matrix Enterprise ATT&CK и ICS ATT&CK;
- Cyber Kill Chain и ICS Cyber Kill Chain;
- STRIDE;
- Attack tree;
- Attack Library (MITRE CVE, CWE, CAPEC, OWASP);
- Hybrid Approach (Гибридный подход);
- Проект методики МУИН ФСТЭК 2015гг и 2020 гг.

Общим для всех рассмотренных методик стало то, что ни одну из них нельзя использовать без дополнительных материалов для удовлетворения требований. Однако гибридный подход оказался наиболее гибким, так как объединяет достоинства нескольких методик. Поэтому в настоящей работе было принято решение, что избран гибридный подход и определен набор методик, наиболее подходящих для решения задачи синтеза способа моделирования угроз. Ими стали:

- проект методики МУИН ФСТЭК 2020гг – так как имеет наиболее общий подход и набор этапов;
- библиотеки MITRE CVE и CWE – источники знаний об уязвимостях и слабостях программного обеспечения;

- MITRE Matrix ICS ATT&CK – источник знаний о тактиках и техниках, используемых нарушителями кибербезопасности.

Предлагаемый в настоящей работе способ может быть визуализирован структурой с пояснениями на Рисунок 1. Необходимо отметить, что в данном докладе представлены промежуточные результаты исследования и проработка вопроса моделирования кибератак остается за рамками публикации.

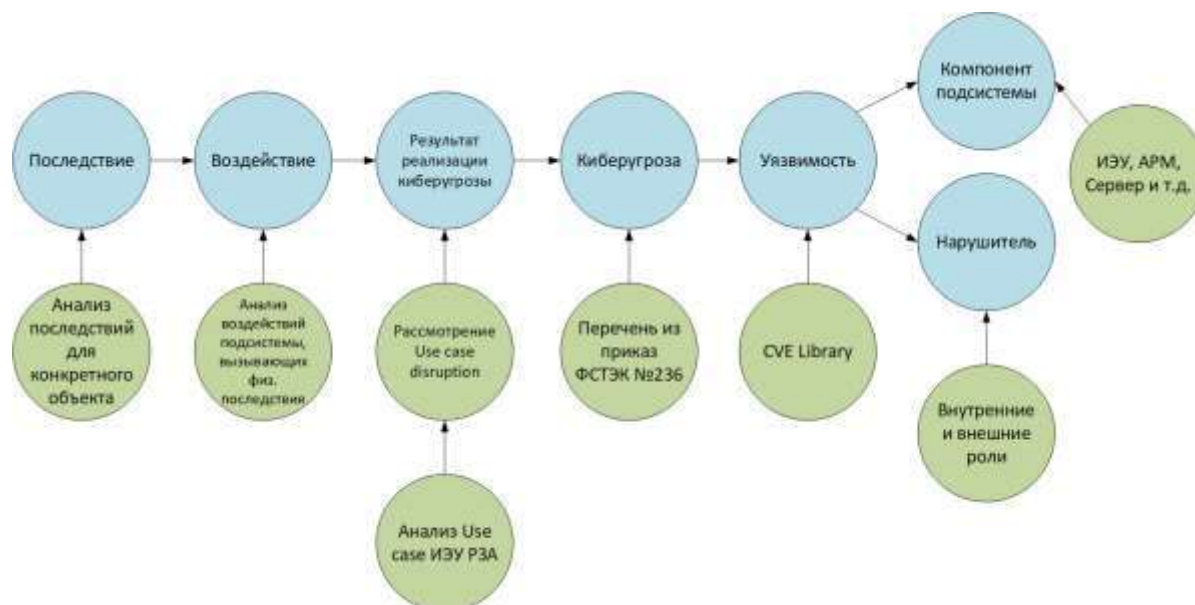


Рис. 1: Визуализация способа моделирования угроз кибербезопасности.

Для проверки данного способа было решено разработать частную модель угроз для воображаемой цифровой подстанции 3-й архитектуры [50] с двумя ИЭУ РЗА популярного в России иностранного вендора (РЗА ЛЭП 500 кВ и РЗА автотрансформатора 500/220/10кВ) и АРМ инженера РЗА. Были проанализированы информационные потоки и существующие уязвимости рассматриваемых компонентов подсистемы РЗА, а также проведена валидация угроз, которые порождают выявленные уязвимости. Таким образом, была разработана частная модель угроз и при выполнении этой работы были выявлены следующие проблемы и дополнительные возможности:

- комбинаторика вариантов существующих угроз даже в детерминированных ограниченных условиях очень большая и требует больших трудозатрат при разработке вручную;
- сложная комбинаторика указывает на то, что масштабирование полученных результатов очень сложно;
- человек, который вручную разрабатывает модель угроз для объекта электроэнергетики данным способом, должен обладать значительными

компетенциями в областях информационной безопасности, электроэнергетики, релейной защиты и автоматики;

- данный способ моделирования угроз при исключении рассмотрения атак, может быть использован для анализа текущей ситуации на энергетическом объекте, если есть возможность получать мгновенно данные о событиях безопасности в инфраструктуре технологического объекта.

На основе полученного опыта разработки гибридной МУИН была выдвинута гипотеза о возможности использования систем искусственного интеллекта, в частности, систем, основанных на знаниях (экспертных систем (ЭС)) для целей моделирования угроз и обеспечения возможности масштабирования полученных результатов.

Экспертные системы позволяют накапливать и консолидировать знания об определенной предметной области и на их основе строить логические цепочки и получать ответы при формировании запросов. ЭС бывают различных архитектур, из них выделяют две большие группы, разделенные по возможности учета временного фактора:

- статические (условия задачи не меняются в ходе ее решения);
- динамические (условия задачи могут меняться в ходе ее решения).

Динамические ЭС могут быть использованы для решения задач повышения ситуационной осведомленности по части событий информационной безопасности для диспетчеров объектов электроэнергетики при реализации предлагаемого в настоящей работе способа. Для этого необходимо, чтобы на объекте были установлены сенсоры безопасности и системы корреляции событий, и ЭС имела функционал обработки этих событий в реальном времени, чтобы на их основе можно было сделать вывод, например, о том, какой объект инфраструктуры скомпрометирован и к каким последствиям это может привести.

Статические экспертные системы могут быть использованы для моделирования угроз кибербезопасности на стадиях проектирования объектов электроэнергетики и актуализации модели угроз. В рамках исследования в настоящей работе был разработан демонстрационный прототип статической экспертной системы, реализующий способ моделирования угроз, предложенный ранее, с базой знаний на основе семантической сети (онтологией). Общая архитектура такой системы и источники знаний для нее приведены на Рисунок 2.

угроз для воображаемой ЦПС в автоматизированном режиме. Фрагмент модели угроз приведен на Рисунок 4.

	Последствие	Воздействие	Результат реализации киберугрозы	Киберугроза	Уязвимость	Нарушитель
1	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Подмена прошивки	Подмена данных	CVE-2019-10930	Инженер РЗА
2	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Подмена прошивки	Подмена данных	CVE-2019-10930	Внешний Хакер
3	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Подмена прошивки	НСД	CVE-2019-10930	Инженер РЗА
4	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Подмена прошивки	НСД	CVE-2019-10930	Внешний Хакер
5	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Подмена конфигурации	Подмена данных	CVE-2019-10930	Инженер РЗА
6	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Подмена конфигурации	Подмена данных	CVE-2019-10930	Внешний Хакер
7	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Подмена конфигурации	НСД	CVE-2019-10930	Инженер РЗА
8	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Подмена конфигурации	НСД	CVE-2019-10930	Внешний Хакер
9	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Внедрение вредоносного ПО	Подмена данных	CVE-2019-10930	Инженер РЗА
10	Отключение W1C	Излишнее срабатывание	Внедрение вредоносного ПО	Подмена данных	CVE-2019-10930	Внешний Хакер

Рис. 1: Фрагмент частной модели угроз.

Данная модель угроз содержит описание нескольких возможных угроз кибербезопасности в соответствии с предложенным методом. Результаты разработки МУИН с помощью ЭС и вручную полностью совпали. Таким образом, гипотеза о возможности использования ЭС для разработки МУИН подтверждена. Необходимо отметить, что по итогам моделирования было установлено, что одни и те же физические последствия могут быть вызваны реализацией разных киберугроз, и при этом не в каждом случае происходит нарушение основных свойств подсистемы РЗА. Это позволяет выдвинуть гипотезу, что для устойчивого функционирования подсистемы РЗА энергетического объекта недостаточно обеспечивать только основные ее свойства, а необходимо дополнительно обеспечивать и свойство кибербезопасности.

Предварительные результаты исследования Центра НТИ МЭИ «Вопросы применения систем, основанных на знаниях, для целей моделирования угроз кибербезопасности промышленных систем», были доложены на онлайн-конференции Online Meetup [51] сообщества RUSCADASEC.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными результатами исследования являются:

- Сформированная гипотеза о недостаточности обеспечения классических свойств подсистемы РЗА для ее устойчивого функционирования;
- Предложен способ моделирования угроз кибербезопасности на основе проекта методики МУИН ФСТЭК России 2020 с учетом отраслевой специфики электроэнергетики;

- Продemonстрирована возможность использовать подходы инженерии знаний для моделирования угроз кибербезопасности подсистемы РЗА ЦПС;
- Разработан демонстрационный прототип экспертной системы, учитывающий возможную комбинаторику в детерминированных условиях;

Результаты данного исследования имеют возможность масштабирования при дальнейшем развитии за счет разработки референсных моделей угроз для каждого типа компонента подсистемы РЗА. Далее планируются работы по развитию демонстрационного прототипа экспертной системы до более зрелой стадии и его апробация на реальных инфраструктурах.

Список литературы

- [1] Деловая программа, Международный форум электрические сети, Москва, 2019.
- [2] Программа, РЕЛАВЭКСПО, Чебоксары, 2019.
- [3] «Концепция. Цифровая трансформация 2030.» ПАО «Россети», Москва, 2018.
- [4] Д. В. Холкин и В.Н. Княгинин, «Цифровой переход в электроэнергетике России», Энерджинет, Москва, 2017.
- [5] Strategic Business Plan, IEC TC 57, 29.11.2019.
- [6] В. Сидорович, «В Сингапуре создается первая виртуальная электростанция,» 14 10 2019. [В Интернете]. Available: <https://medium.com/internet-of-energy/vpp-416fa87671f5>. [Дата обращения: 2 03 2020].
- [7] И. Чаусов, «Децентрализация системной надежности,» 23 01 2020. [В Интернете]. Available: <https://medium.com/internet-of-energy/https-medium-com-p-89bf0a444f2a-89bf0a444f2a>. [Дата обращения: 02 03 2020].
- [8] В. Сидорович, «Региональные сети покупают услуги гибкости у потребителей энергии,» 27 11 2019. [В Интернете]. Available: <https://medium.com/internet-of-energy/northern-powergrid-1d82c816c6aa>. [Дата обращения: 02 03 2020].
- [9] И. Чаусов, «Гипер-персонализация — новое слово в торговле электричеством,» 05 02 2020. [В Интернете]. Available: <https://medium.com/internet-of-energy/ed04c55a46ae>. [Дата обращения: 02 03 2020].
- [10] Интегрированный годовой отчет ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы», 2018.
- [11] «Особенности проектирования системы РЗА при новом строительстве и реконструкции ЦПС,» НПП «ЭКРА», 2019.

- [12] Д. Б. Гвоздев и М. А. Грибков, «Опыт реализации цифровых подстанций в компании «Россети Московский регион»,» Электроэнергия. Передача и распределение, т. (55), № 4, pp. 42-46, 2019.
- [13] «Концепция проекта «Цифровой РЭС»,» НТИ «EnergyNet».
- [14] IEC 62351 Power systems management and associated information exchange – Data and communications security - Part 1: Communication network and system security - Introduction to security issues, TC 57 IEC, 2007.
- [15] IEC 62351 Power systems management and associated information exchange – Data and communications security – Part 10: Security architecture guidelines, TC 57 IEC, 2012.
- [16] IEC 62351 Power systems management and associated information exchange - Data and communications security - Part 11: Security for XML documents, TC 57 IEC, 2016.
- [17] IEC 62351 TR Power systems management and associated information exchange - Data and communications security - Part 12: Resilience and security recommendations for power systems with distributed energy resources (DER) cyber-physical systems, TC 57 IEC, 2016.
- [18] IEC 62351 TR Power systems management and associated information exchange - Data and communications security - Part 13: Guidelines on security topics to be covered in standards and specifications, TC 57 IEC, 2016.
- [19] IEC 62351 TR Power systems management and associated information exchange - Data and communications security - Part 90-1: Guidelines for handling role-based access control in power systems, TC 57 IEC, 2018.
- [20] IEC 62351 TR Power systems management and associated information exchange - Data and communications security - Part 90-2: Deep packet inspection of encrypted communications, TC 57 IEC, 2018.
- [21] IEC 62351 TR Power systems management and associated information exchange - Data and communications security - Part 100-1: Conformance test cases for IEC TS 62351-5 and IEC TS 60870-5-7, TC 57 IEC, 2018.
- [22] IEC 62351 TR Power systems management and associated information exchange - Data and communications security - Part 100-3: Conformance test cases for the IEC 62351-3, the secure communication extension for profiles including TCP/IP, TC 57 IEC, 2020.
- [23] Status of Cybersecurity, CIGRE Electra, 2014.
- [24] Application and Management of Cybersecurity Measures for Protection and Control, CIGRE Electra, 2015.

- [25] Remote service security requirement objectives, CIGRE Electra, 2019.
- [26] Technical Brochure APPLICATION AND MANAGEMENT OF CYBERSECURITY MEASURES FOR PROTECTION AND CONTROL SYSTEMS, CIGRE, 2014.
- [27] Technical Brochure Remote service security requirement objectives, CIGRE, 2019.
- [28] Technical Brochure - Cybersecurity: Future threats and impact on electric power utility organizations and operations, CIGRE, 2020.
- [29] Cybersecurity requirements for PACS and the resilience of PAC architectures, CIGRE, 2020.
- [30] Cybersecurity standards for the electric power industry – a 'survival kit ', CIGRE SESSION PAPERS & PROCEEDINGS, 2008.
- [31] Application and management of cybersecurity measures for protection and control, CIGRE SESSION PAPERS & PROCEEDINGS, 2016.
- [32] Network and Data Cybersecurity Strategy of the Electrical Power System, CIGRE SESSION PAPERS & PROCEEDINGS, 2018.
- [33] ФЗ-256 «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса», Правительство РФ.
- [34] ФЗ-187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», Правительство РФ.
- [35] Об утверждении требований к обеспечению защиты информации а автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную оп, ФСТЭК России Приказ № 31, 2014.
- [36] Приказ № 239 «Об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (в ред. приказа ФСТЭК России от 26 марта 2019 Г. N 60), ФСТЭК России, 2017.
- [37] Jason E. Stamp, Randall A. Laviolette, Laurence R. Phillips и Bryan T. Richardson, «Impacts Analysis for Cyber Attack on Electric Power Systems», Sandia National Laboratories, 2009.
- [38] «Emerging Risk Report. Business Blackout. The insurance implications of a cyber attack on the US power grid», Lloyd's and the University of Cambridge Centre for Risk Studies, 2015.

- [39] А.К. Моторин и В. А. Харламов, «Варианты возможных векторов воздействия на оборудование РЗА в реальных условиях эксплуатации,» доклад конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем 2017», 25-28 апреля 2017.
- [40] Е. Л. Генгринович, А. Ю. Гуревич, В. Г. Карантаев и М. В. Никандров, «Обзор деятельности ПРГ2 РНК СИГРЭ «Кибербезопасность РЗА и систем управления современных объектов электроэнергетики» Релейщик, т. 34, № 02, pp. 27-29, 2019.
- [41] «Сборник докладов РЗА 2017,» в с. 894 - 963, С.-Петербург, 2017.
- [42] В. Г. Карантаев, «Вопросы реализации киберзащищенной цифровой подстанции на основе российских технологии» в Международный форум электрические сети, Москва, 2019.
- [43] Отчет о НИР: В. Карпенко, В. Карантаев, С. Парьев, А. Кузнецов, Д. Сютов, Е. Дружинин и И. Карпов, Анализ нарушений работоспособности объектов электроэнергетики в результате деструктивных воздействий компьютерных атак, Москва, Ростелеком Солар, 2019.
- [44] Н. И. Воропай, И. Н. Колосок и Е. С. Коркина, «Проблемы повышения киберустойчивости цифровой подстанции,» Релейная защита и автоматизация, т. 34, № 1, pp. 78-83, 2019.
- [45] Н. И. Воропай, И. Н. Колосок, Е. С. Коркина и А. Б. Осака, «Энергетика глазами молодежи,» в Киберугрозы и кибербезопасность в электроэнергетических системах , Иркутск, 2019.
- [46] Ю. Дашенко, Моделирование угроз в условиях методической неопределенности, Москва: Kaspersky Lab ICS CERT, 2018.
- [47] «ATT&CK for ICS: Industroyer,» Лаборатория Касперского, [В Интернете]. Available: <https://www.kaspersky.com/enterprise-security/mitre/industroyer>. [Дата обращения: 02 07 2020].
- [48] В. Г. Карантаев и В. И. Карпенко, «Анализ нарушений работоспособности объектов электроэнергетики вследствие кибератак,» Connect, № 1-2, pp. 11-12, 2019.
- [49] В. Г. Карантаев, «Кибербезопасность АСУ ТП: Актуальные угрозы. Пути решения,» в Skolkovo Cyber Day, Москва, 2019.
- [50] В. С. Кириленков и С.Ю. Вергазов, «Технические решения по РЗА, предлагаемые ПАО «Россети» в рамках создания «Цифровых подстанций»,» 2018.
- [51] В. Г. Карантаев и В. И. Карпенко, «RUSCADASEC Online Meetup: Встреча №3, Часть 2, Карантаев, Карпенко, Вопросы применения систем, основанных на знаниях, для

целей моделирования угроз кибербезопасности промышленных систем» 14 05 2020. [В Интернете]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Ts8LTKtzD6k>. [Дата обращения: 02 07 2020].

