



IRENA

International Renewable Energy Agency

**Ключевые соображения,
касающиеся переменных
возобновляемых источников энергии
при долгосрочном планировании**

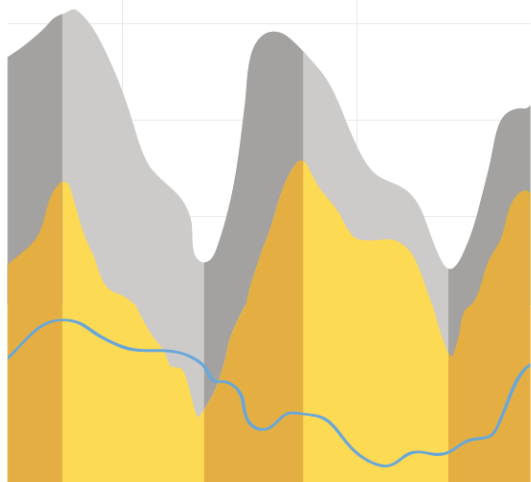
Астана, Казахстан

Проект «Рассмотрение переменных возобновляемых источников энергии при долгосрочном планировании (AVRIL)»



ПЛАНИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

ДОЛГОСРОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ
РАСШИРЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭНЕРГИИ (VRE) В РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЭКОНОМИКАХ



Долгосрочные модели расширения выработки

- » Главным образом ориентированы на экономическую оценку вариантов
- » Оптимизация в масштабе системы
- » Уменьшенное представление функциональных аспектов
- » Необязательно отвечают на вопросы «надёжности»

Правительство

«Развёртывание переменных возобновляемых источников энергии (VRE) выгодно».

«Наша страна должна поставить себе долгосрочные амбициозные цели в области VRE».

Официальные лица, отвечающие за планирование производства энергии

Операторы систем

«Краткосрочная изменчивость VRE ставит под угрозу надёжность систем».

«Существует верхний предел X% VRE».

На основании экспертных исходных данных

- » IEW 2014, 2015
- » Совещание экспертов AVRIL
- » Интервью



При консультациях с лицами, занимающимися планированием в области энергетики в Северной Африке и Латинской Америке

- » Первое совещание со странами-членами с глубоким погружением в проблему



Каким образом необходимо изменять планирование расширения выработки энергии в стремлении увеличить долю VRE?

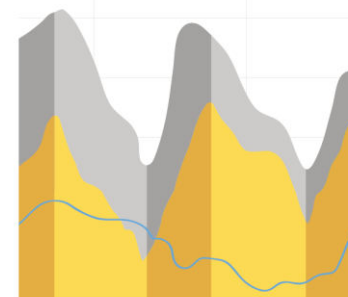
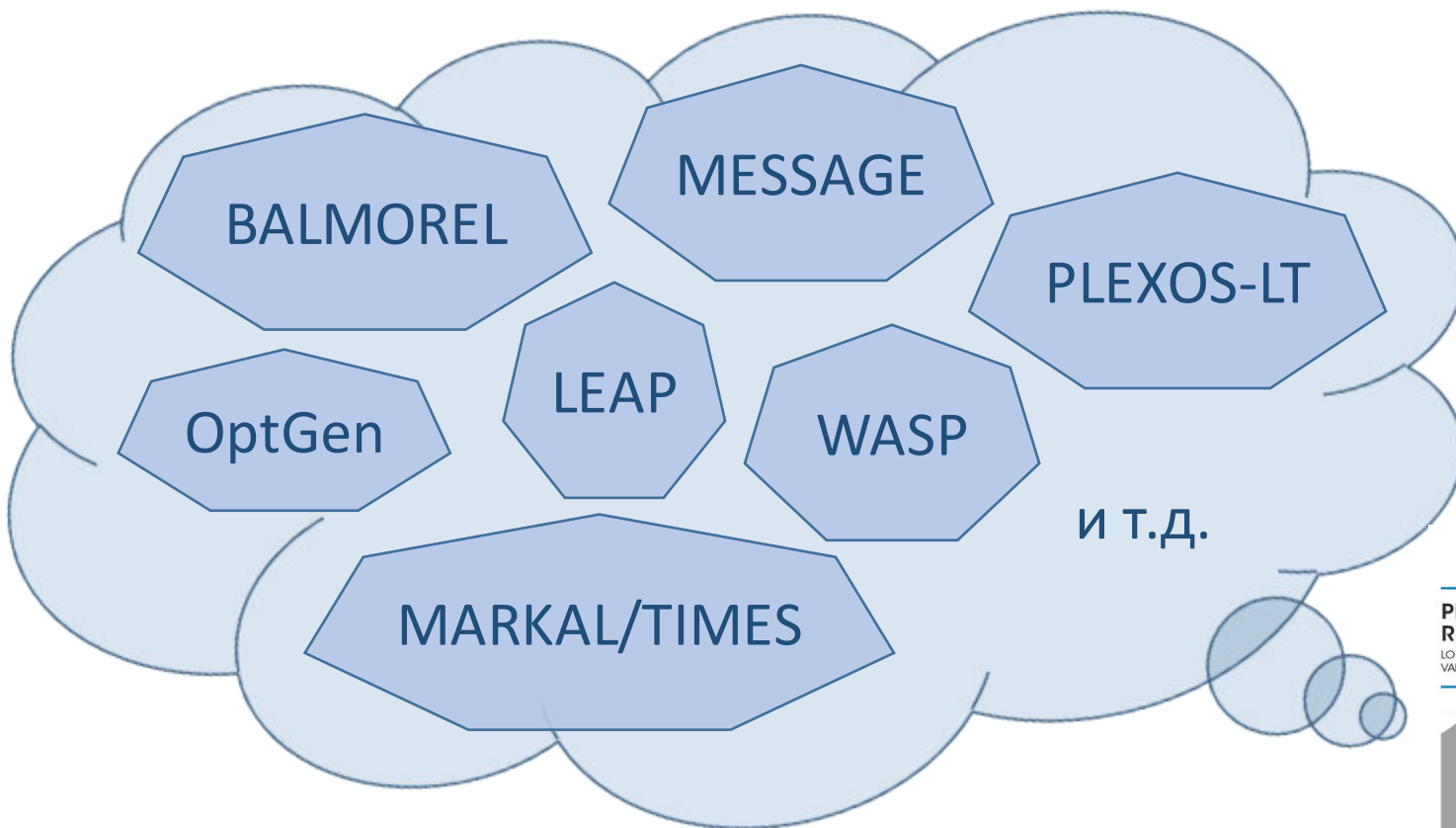
- » Планирование влияет на отличительные особенности VRE

Что необходимо изменить?

- » Институциональные аспекты (процесс планирования)
- » Методы технико-экономической оценки (моделирование)

Широко используемые инструменты моделирования

Примеры генераторов модели



- **Планирование выработки**
Венский автоматизированный пакет планирования энергосистем (WASP, МАГАТЭ), OPTGEN (PSR), Система анализа расширения производства электроэнергии (EGEAS) от Научно-исследовательского института энергетики (EPRI), Aurora (EPIS)
- **Планирование возобновляемых источников энергии / геопространственное планирование**
ArcGIS (ESRI), Patro Solar, SAM (NREL)
- **Планирование режимов**
EMS, SPPD (PSR)
- **Планирование системы электропередачи**
Power factory (Digsilent), PSS/E (Siemens)



» Планирование выработки

- » **MESSAGE, TIMES** (Аргентина, Парагвай, Перу); **OptGen** (Боливия, Колумбия, Эквадор, Перу); **PET** (Чили); **PLEXOS** (Мексика); **WASP** (Уругвай)

» Планирование возобновляемых источников энергии / геопространственное планирование

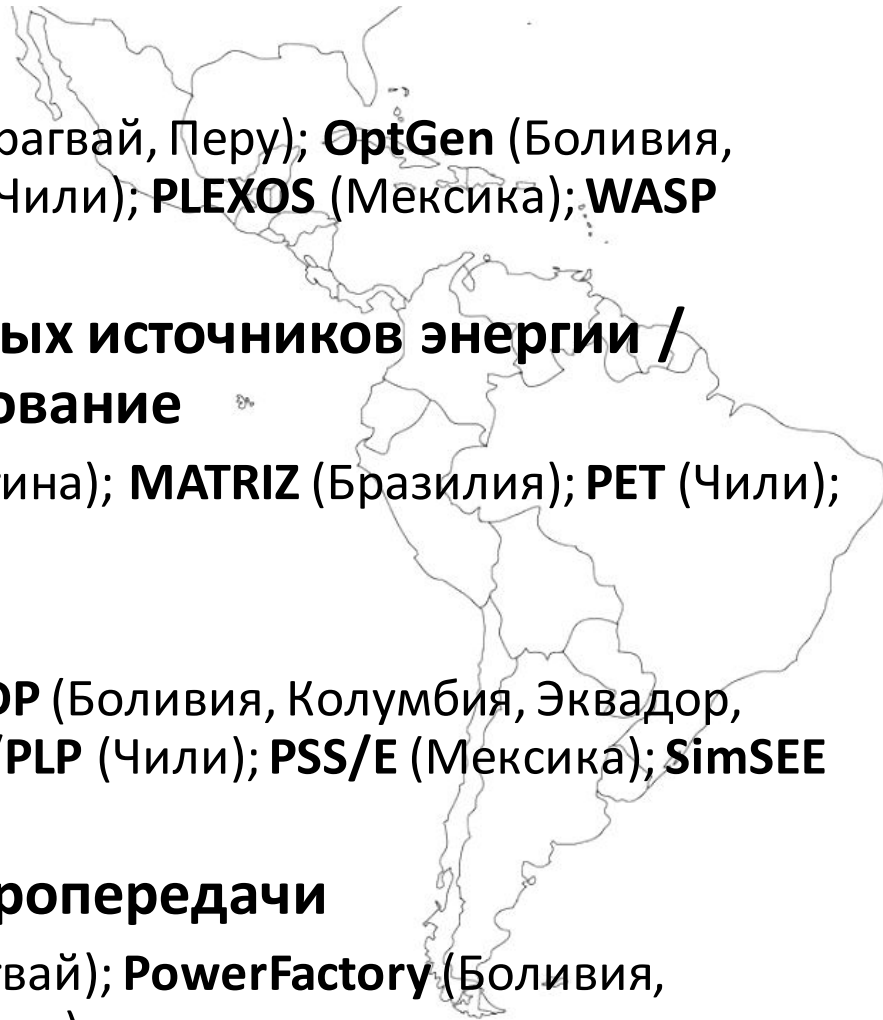
- » **PSS/E + MESSAGE, TIMES** (Аргентина); **MATRIZ** (Бразилия); **PET** (Чили); **PLEXOS** (Мексика)

» Планирование режимов

- » **OSCAR-MARGO** (Аргентина); **SDDP** (Боливия, Колумбия, Эквадор, Перу); **NEWAVE** (Бразилия); **PCP/PLP** (Чили); **PSS/E** (Мексика); **SimSEE** (Уругвай)

» Планирование системы электропередачи

- » **PSS/E** (Аргентина, Мексика, Уругвай); **PowerFactory** (Боливия, Колумбия, Эквадор); **NetPlan** (Перу)



Основные различия: возможности модели, интерфейсы, частота обновления, поддержка пользователей и стоимость

Выбор программного обеспечения является второстепенным вопросом; более важно то, как его использовать!

Трудность в объективной оценке привлекательности одного программного обеспечения в сравнении с другим

Обсудите с разработчиком программного обеспечения – и основные вопросы, касающиеся программного обеспечения для VRE, будут подытожены в виде четырёх контрольных точек

- » Быстрое снижение себестоимости
- » Гарант. мощность / отношение гарант. мощности к установленной
- » Гибкость
- » Потребности инвестиций в передачу энергии
- » Обсуждение стабильности





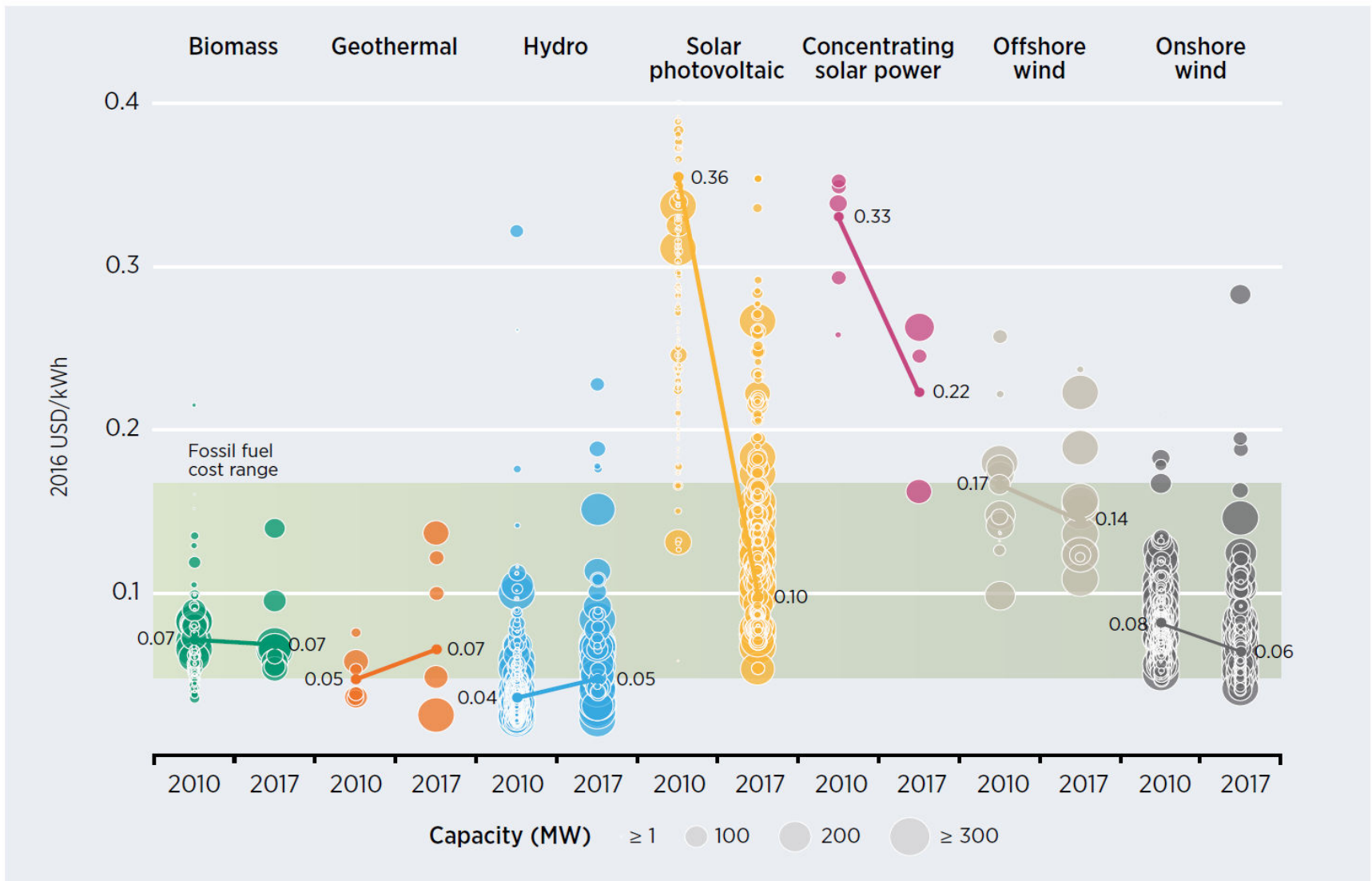
- » Быстрое снижение себестоимости
- » Гарант. мощность / отношение гарант. мощности к установленной
- » Гибкость
- » Потребности инвестиции в передачу энергии
- » Проработка стабильности

Планирование, которое учитывает возможность долгосрочного снижения себестоимости, может обеспечить долгосрочную эффективность себестоимости в энергосистеме и избежать зависимости от технологии.



- » Последние тенденции в стоимости и эффективности технологий возобновляемых источников энергетики
- » Глобальные результаты на 2017 год, результаты по странам / регионам на 2016 год
- » Подробный анализ стоимости оборудования и приведённой стоимости электроэнергии
- » Интеграция проектной приведённой стоимости электроэнергии и результатов аукционов в свете тенденций до 2020 года

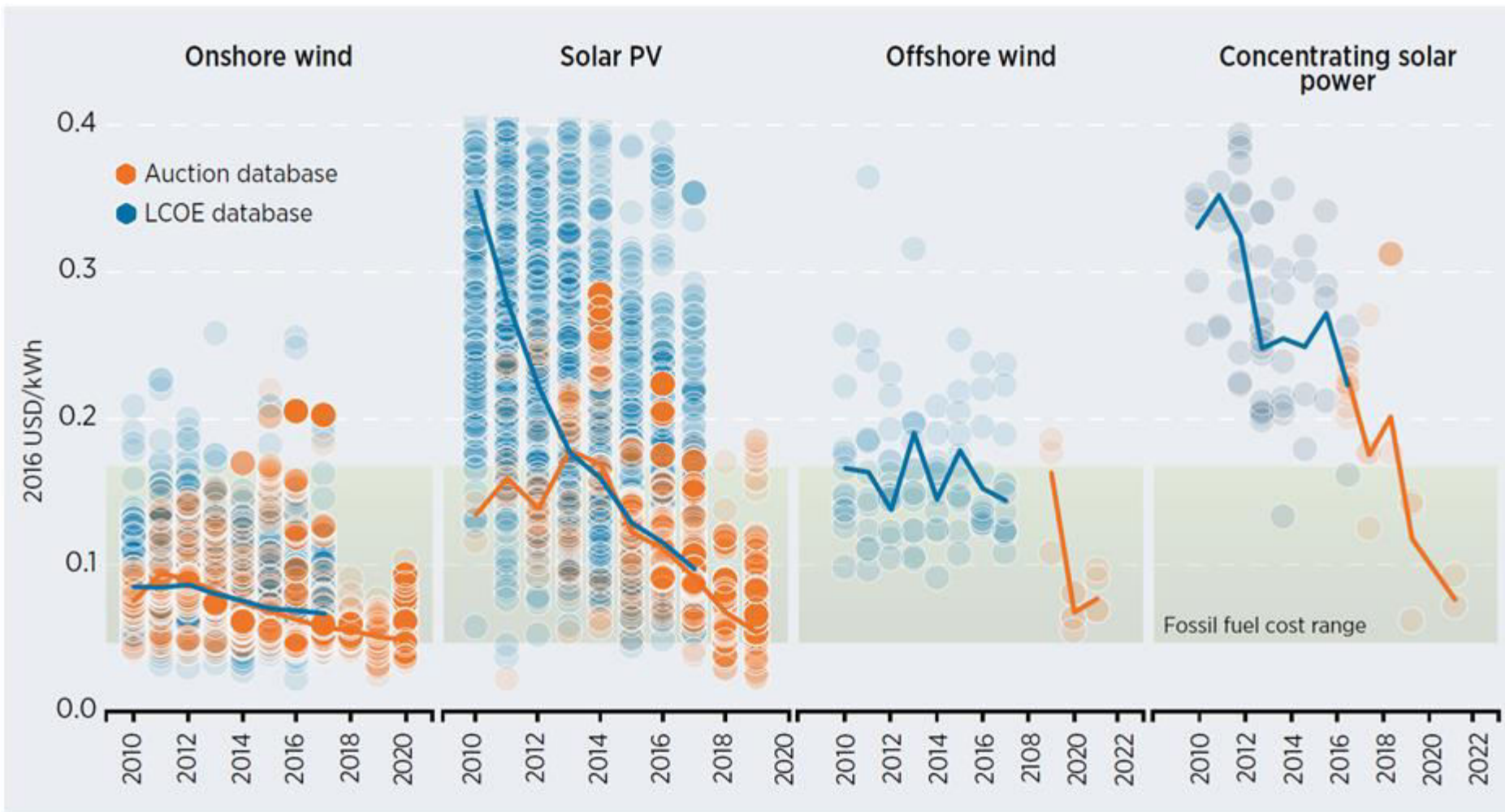
Изменение себестоимости возобновляемой энергии



Source: IRENA Renewable Cost Database.

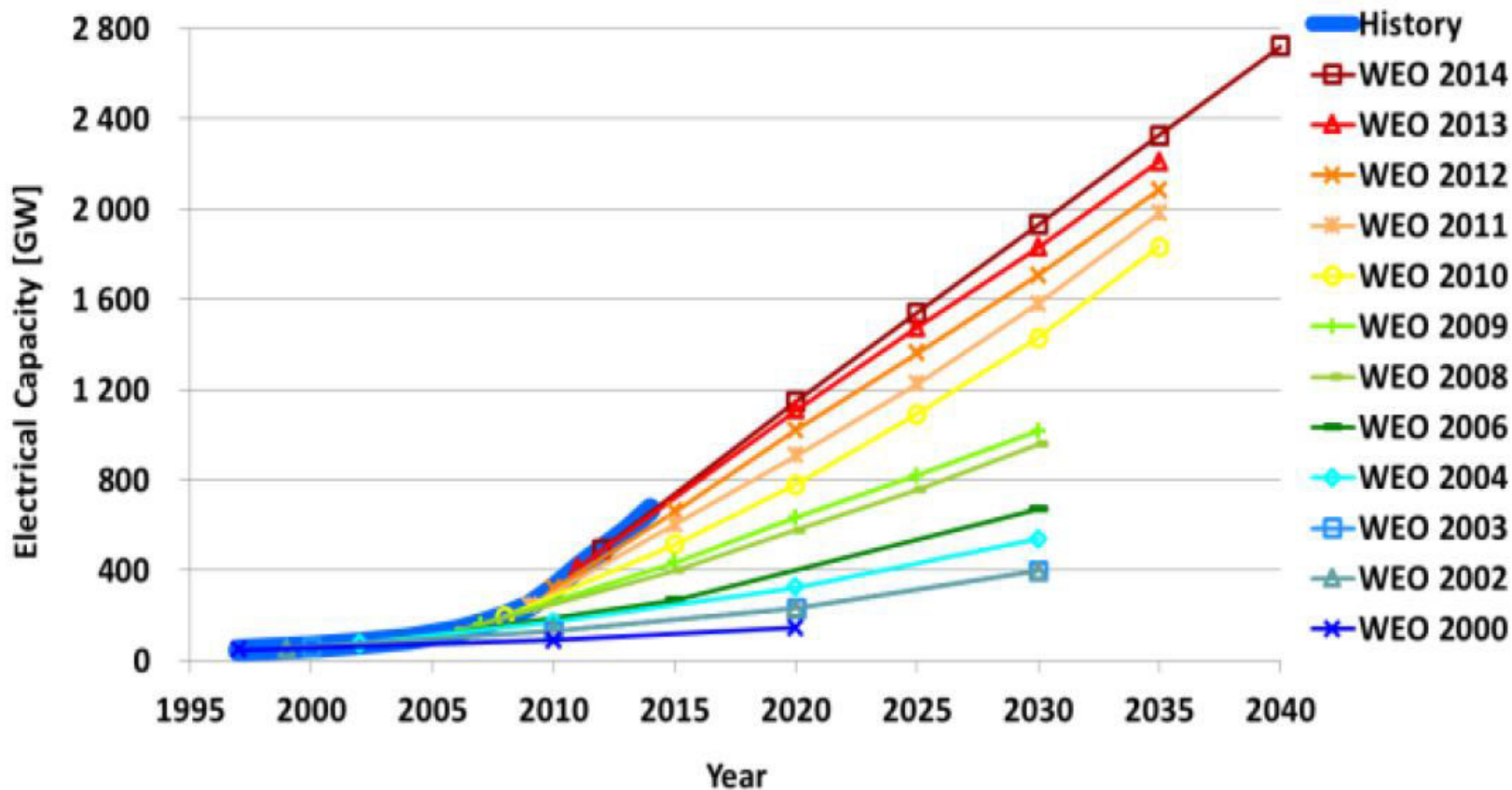
Источник: Анализ затрат на ВЭ IRENA

Сходимость результатов ДПЭ для солнечной и ветровой энергии



Как реальность опережает прогнозы экспертов

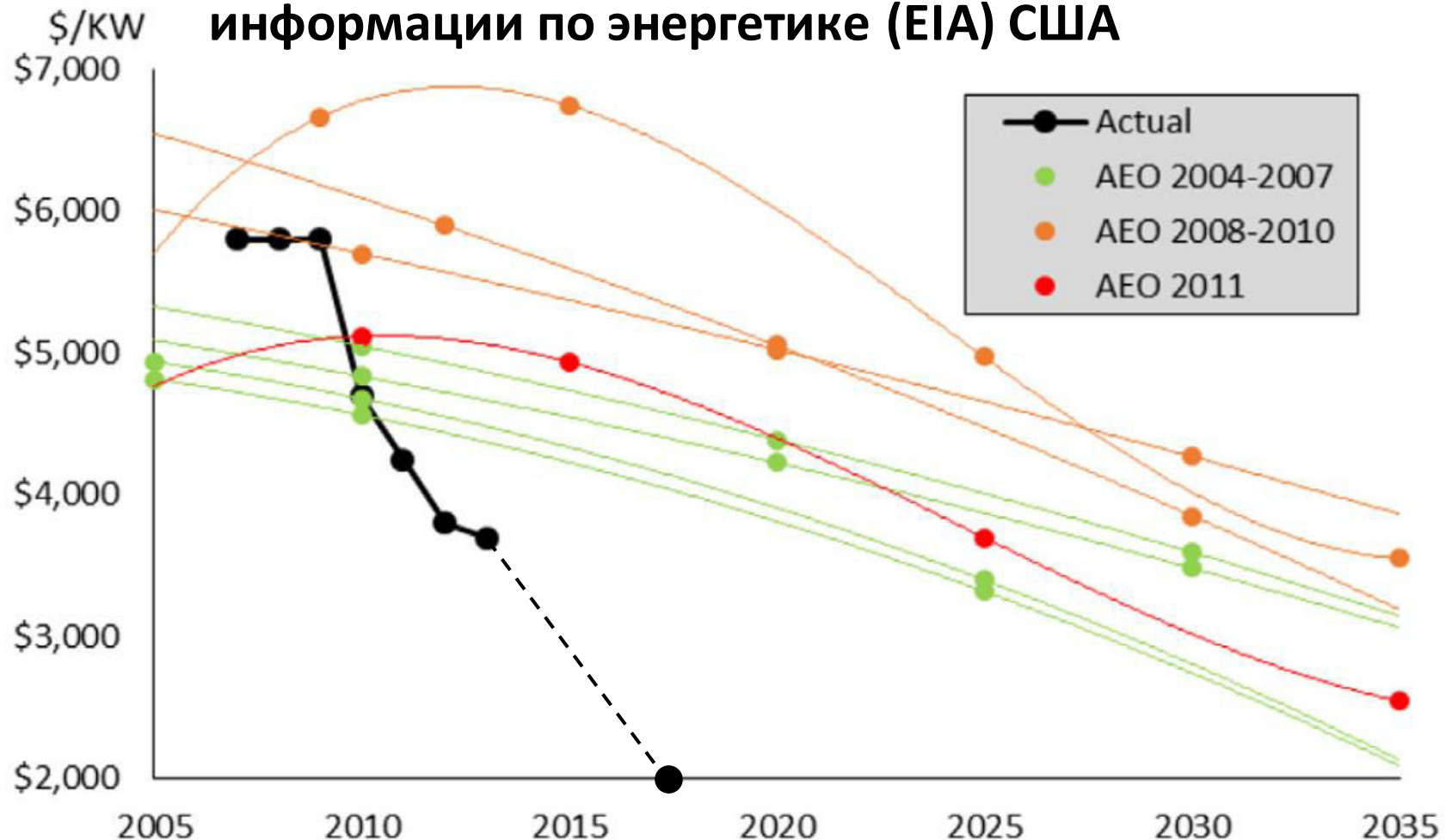
ПМЭ (WEO): Прогноз мировой энергетики от МЭА



Источник: Metayer et. al (2016), Прогнозы на будущее и качество прошлых прогнозов мировой энергетики для солнечных ФЭ и других технологий возобновляемой энергии; и Gilbert et. al (2016), Неправильный взгляд: предвзятость, возобновляемая электроэнергия и моделирование энергетики в США

Как реальность опережает прогнозы экспертов: пример солнечной ФЭ

ГПЭ (АЕО): Годовой прогноз энергетики от Агентства информации по энергетике (EIA) США



Воздействие долговременных инвестиций на свойства системы ПВЭ

	Генерация	Сети
Достаточность	Гарант. мощность	Пропускная способность ЛЭП
Безопасность эксплуатации	Гибкость	Возможности управления напряжением
	Стабильность (отклик частоты и отклик напряжения)	

Самые важные



Зависит от системы



Большой важности

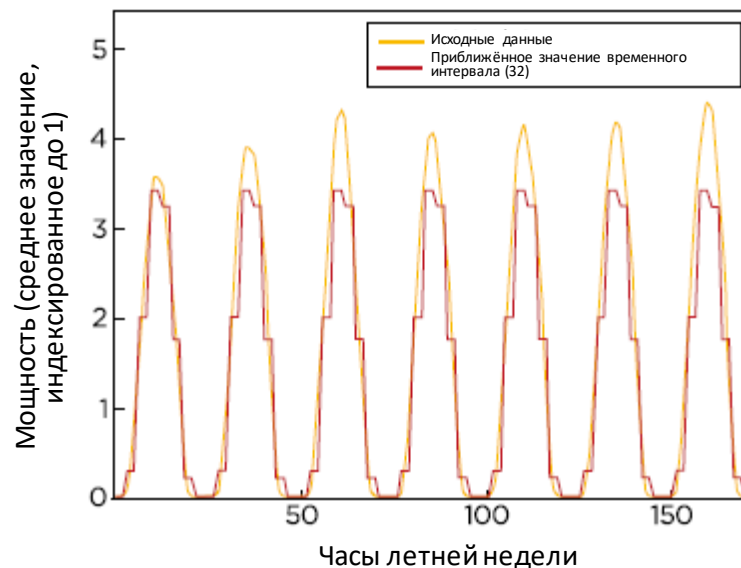
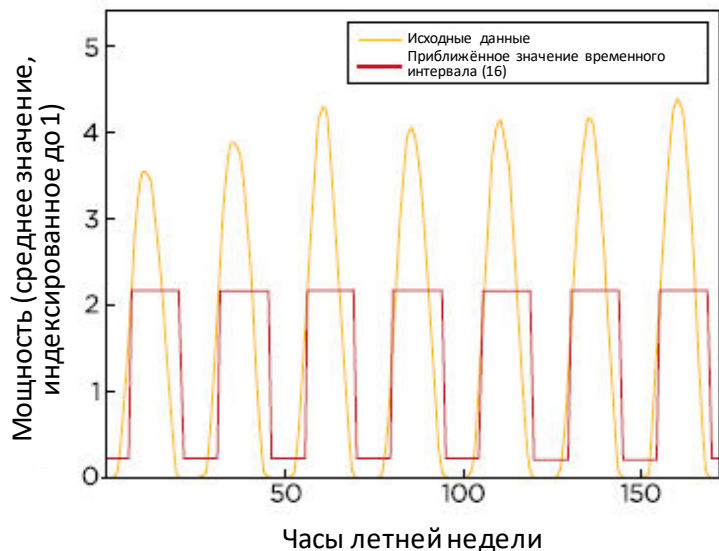


Кратковременная важность

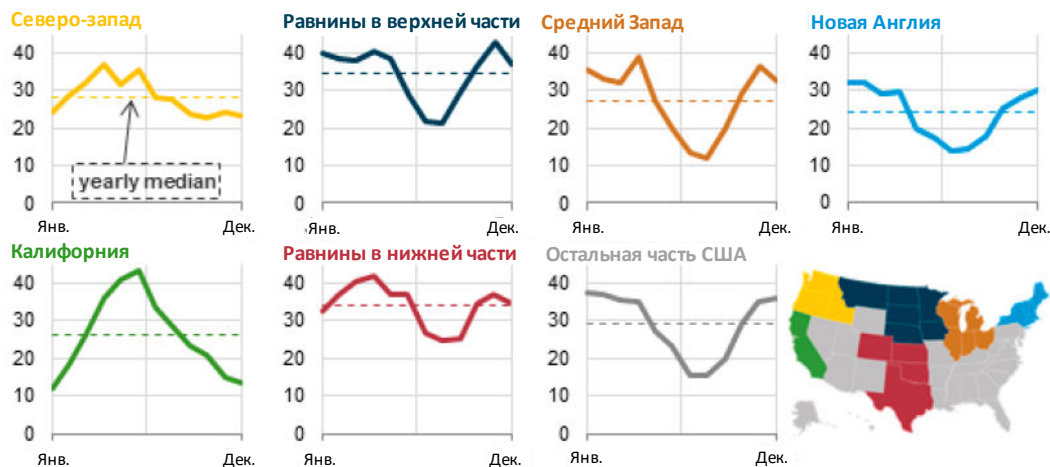
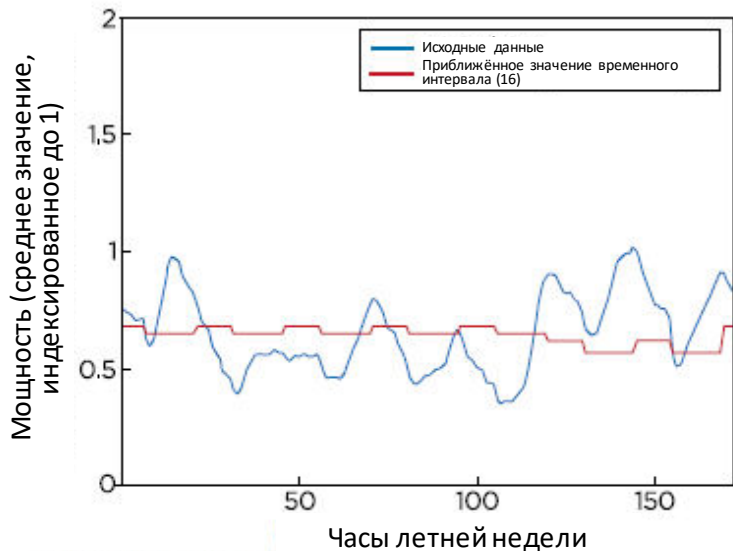


Контрольная точка 1: определение времени

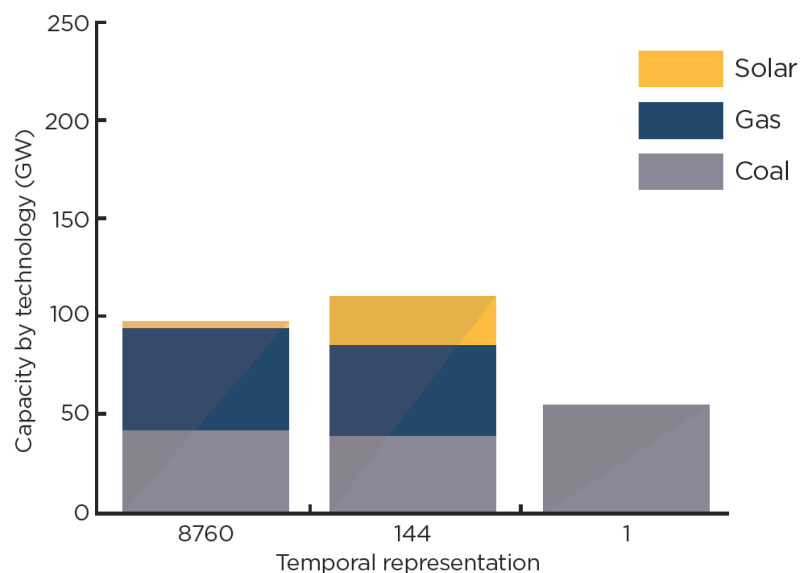
Фотоэлектрическая солнечная энергия в летнюю неделю



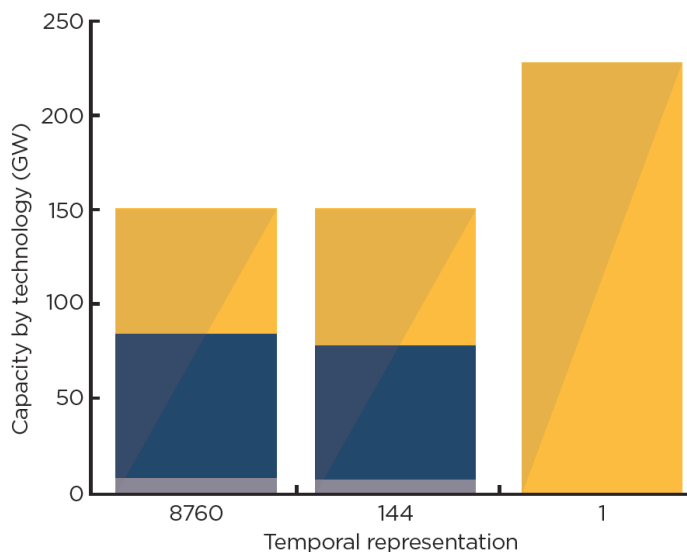
Энергия ветра в летнюю неделю



Результаты анализа в высокой степени зависят от временных решений моделей



**Стоимость
фотоэлектрической энергии
1 долл. США/кВт**



**Стоимость
фотоэлектрической энергии
0,5 долл. США/кВт**

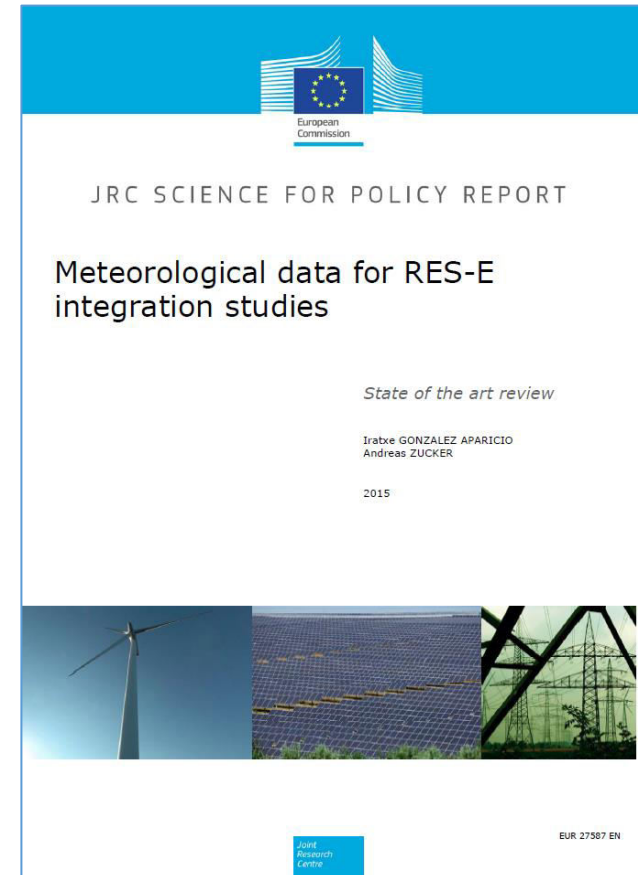
Контрольная точка 1: определение времени

Каким образом?

Представление выработки VRE
в модели должно основываться
на метеорологических данных

Источники данных:

- Данные наблюдений
- Глобальные данные повторного анализа

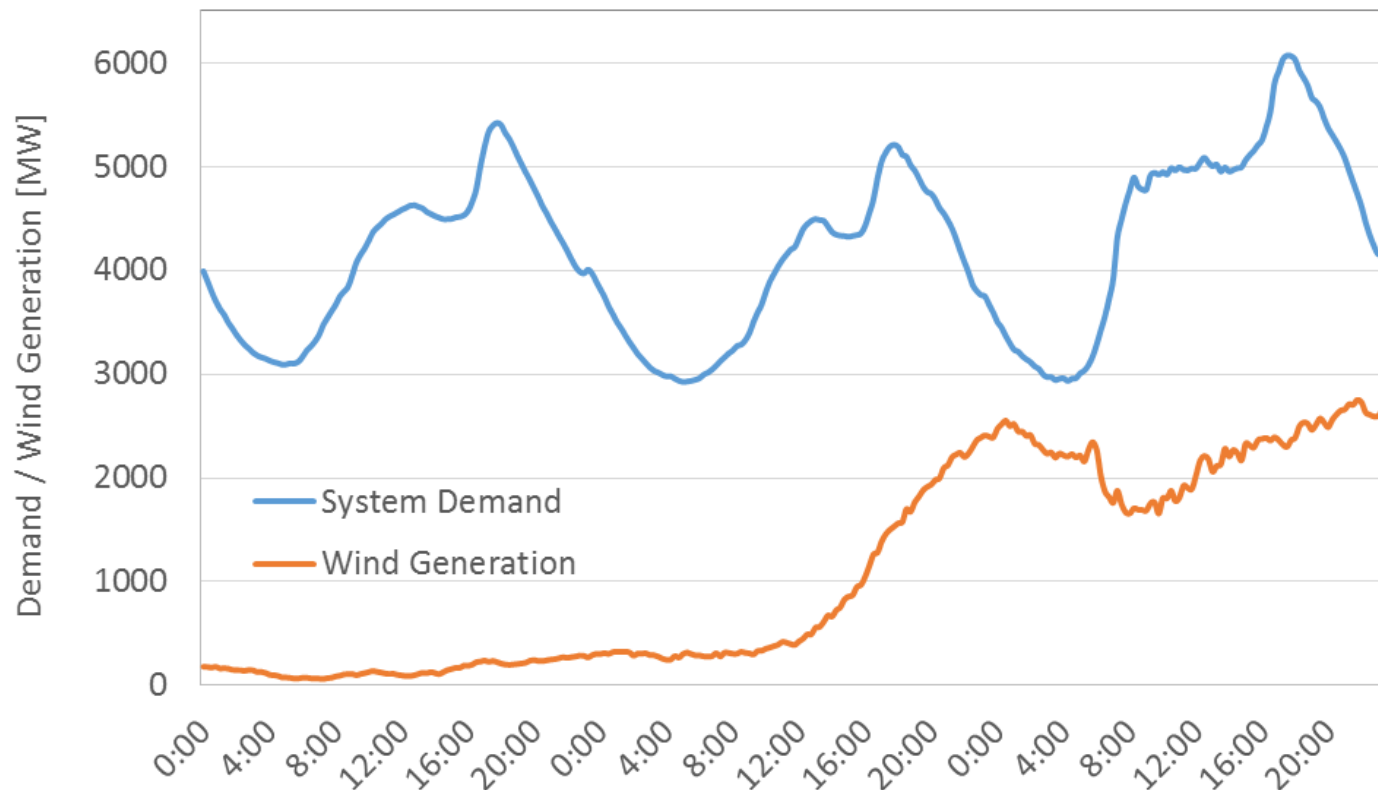


Отражает ли модель изменчивость солнца и ветра на основании метеорологических данных?





Изменчивость – отсутствие взаимосвязи со спросом



Достаточное количество солнца и ветра не гарантируется при необходимости
Обычные генераторы гарантированно вырабатывают энергию при необходимости



1 МВт генераторов VRE < 1 МВт обычных генераторов

Обеспечивает ли система достаточную выработку энергии для непрерывного удовлетворения потребностей?

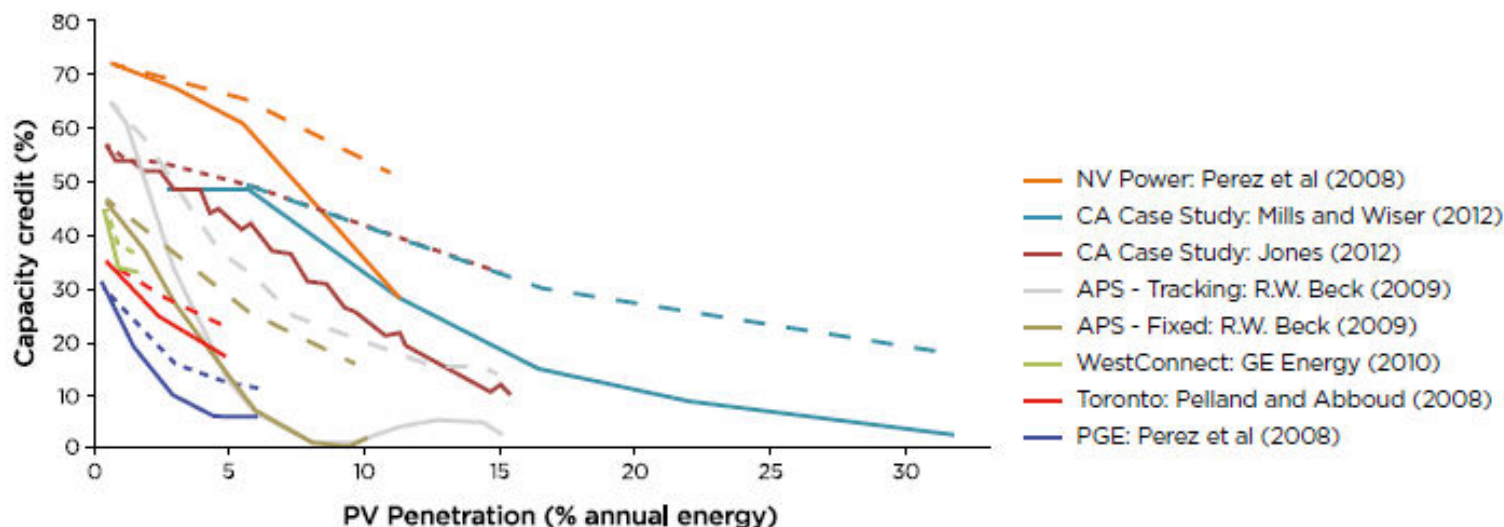
Индикаторы для измерения того, насколько хорошо выработка VRE соответствует спросу:

- **Гарантированная мощность:** *«Количество выработанной энергии, которое может быть гарантировано для удовлетворения потребностей в любое заданное время даже при неблагоприятных условиях» (EIA)*
- **Фактическая мощность:** Часть мощности VRE, которая может считаться гарантированной мощностью

«Количество дополнительной нагрузки, которое может служить целевым уровнем надёжности при добавлении рассматриваемого генератора» (Holtinen et al. 2009)

Планирование достаточной гарантированной мощности

- В системе должна быть достаточная мощность генераторов даже во время большого спроса мощности / низкой доступности солнечной мощности
- Необходимо оценить, сколько возобновляемой энергии содержится в **гарантированной мощности** и в **плановом резерве**
- Низкая относительная доля гарантированной мощности означает низкое использование остальной части системы



Представление достаточной гарантированной мощности

Как относительные доли гарантированной мощности оцениваются и используются в инструментах моделирования?

Подробная методика основана на надежности

- Использование вероятностных индикаторов надежности

Упрощенные методики

- Коэффициент использования мощности в пиковые часы
- Практическое правило

Системные операторы США (в 2012 г.)

Основано на надежности	9
Статистический анализ	6
Пиковые часы	10
Практическое правило	1

Системные операторы ЕС (в 2014 г.)

Основано на надежности	2
Практическое правило	8

Отражается ли **фактическая мощность VRE** в требованиях к уровню резерва мощности в модели с тем, чтобы долгосрочные планы выработки энергии обеспечивали достаточную выработку энергии в любое время?





Требования гибкости

- » Изменчивость - быстро изменяющаяся мощность ПВЭ → может потребоваться повышение скорости наброса мощности
- » Неопределенность – ошибки прогноза и оценки → может потребоваться увеличение оперативного резерва

Источники гибкости

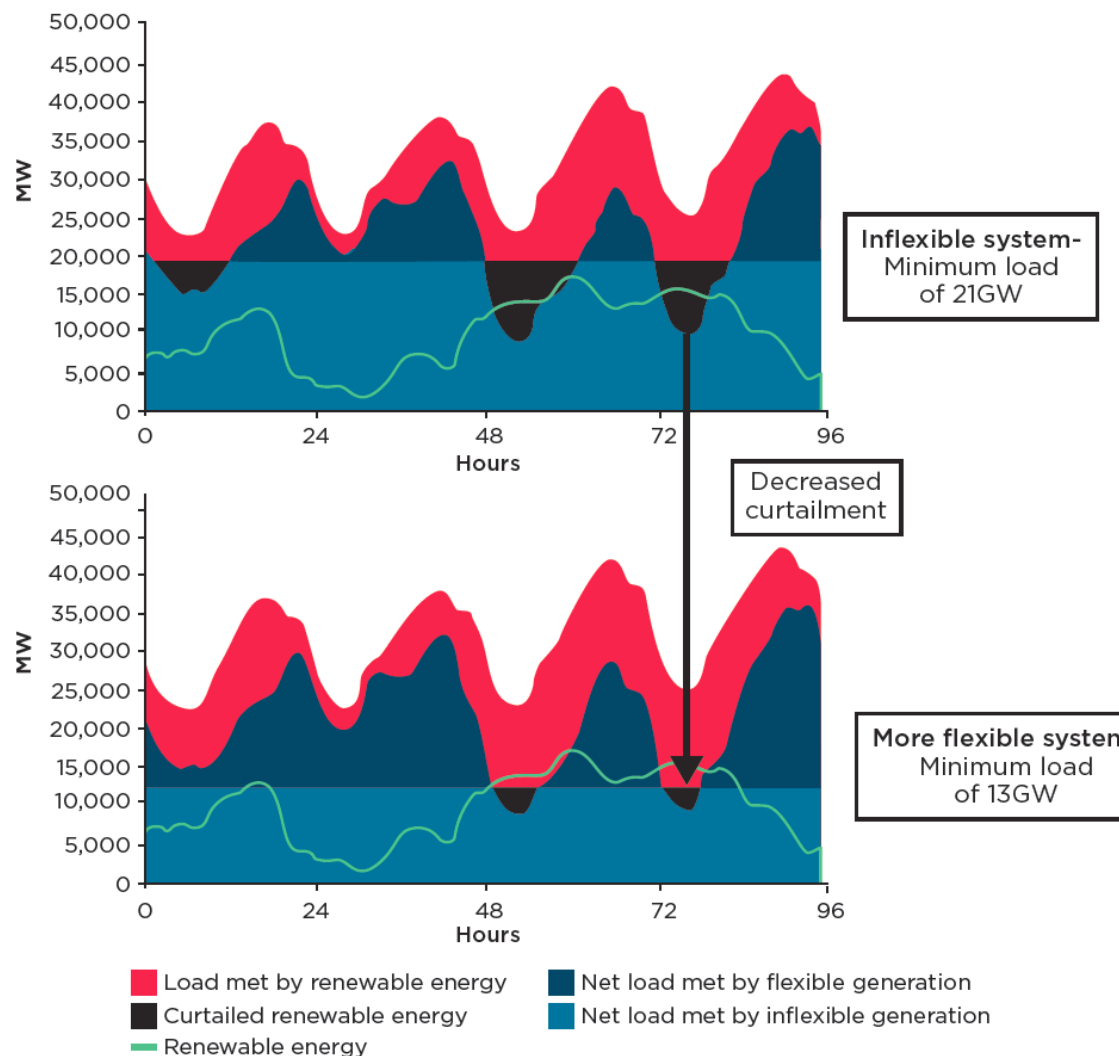
- » Скорость наброса мощности
- » Минимальные уровни нагрузки
- » Длительности пусков
- » Хранение
- » Межсистемные ЛЭП
- » Отклик на спрос

→ Отсутствие гибкости приводит к неэффективной эксплуатации энергосистем

Хороший долговременный план учитывает:

- **Параметры гибкости различных технологий**
- **Гибкость поставки, необходимую для удовлетворения гибкости потребления**

Может потребоваться отдельный анализ гибкости с помощью инструмента моделирования диспетчеризации



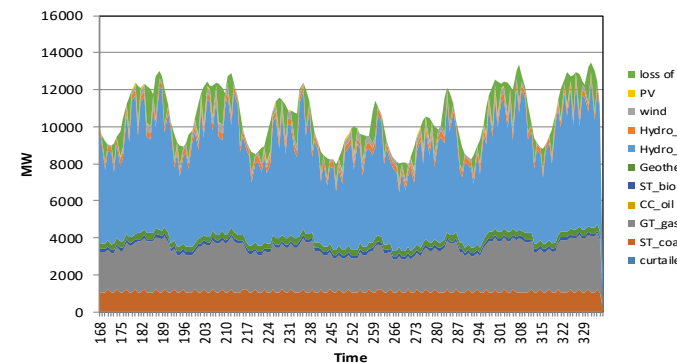
Гибкий инструмент IRENA

- Увеличение мощности + инструмент оптимизации диспетчеризации
- Необходимость оценки гибкости заданной структуры генерирующих мощностей

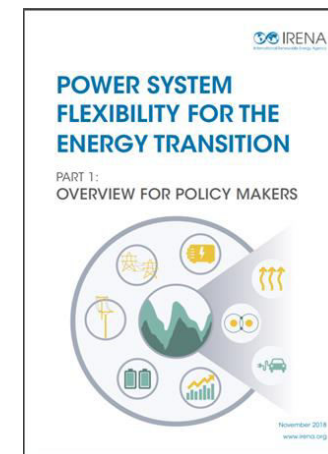
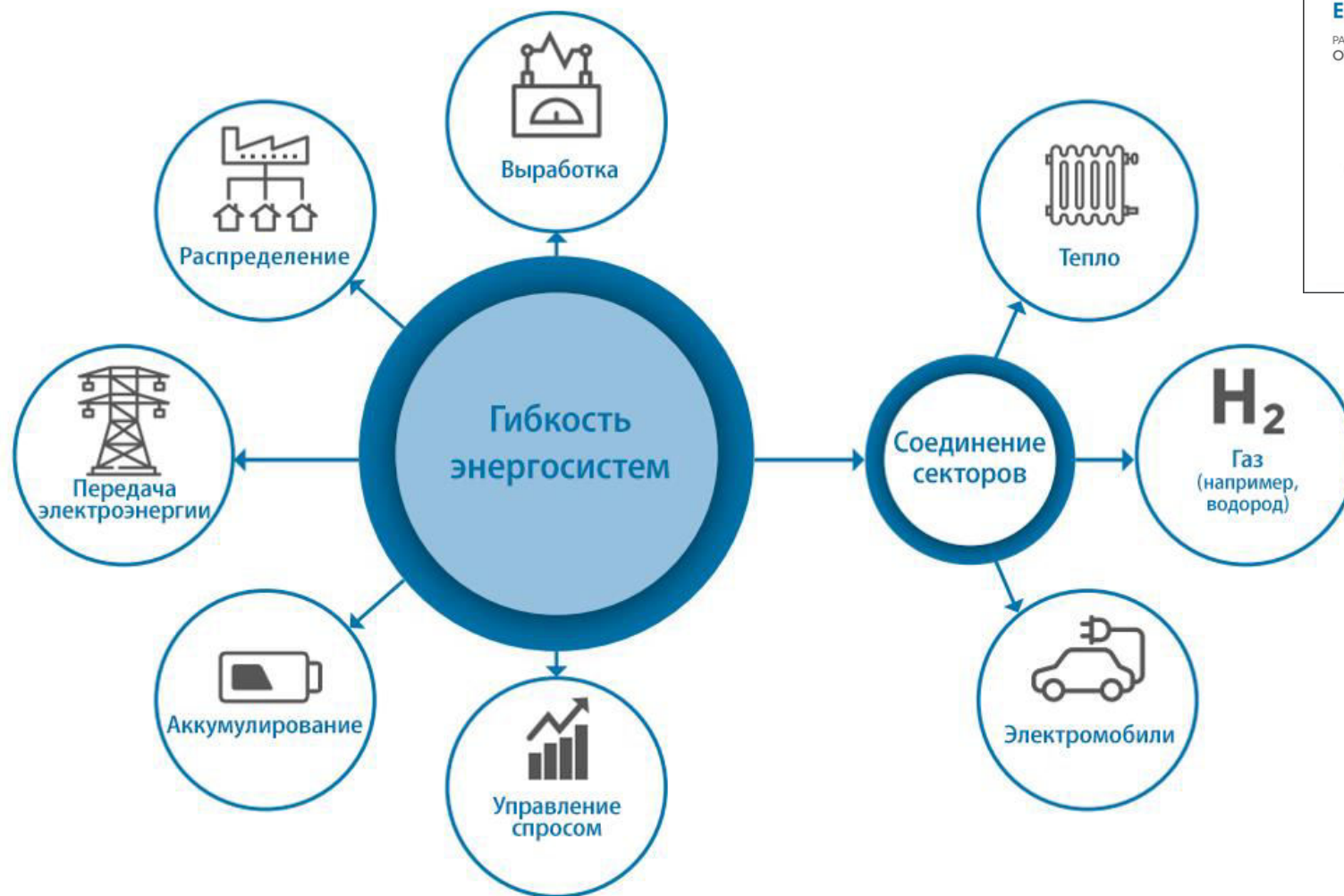


- Метрические показатели гибкости – потеря нагрузки, сокращение передаваемой энергии
- Варианты гибкости – инвестиции в системы электропередачи, аккумулятор, управление спросом, инвестиции в новые мощности

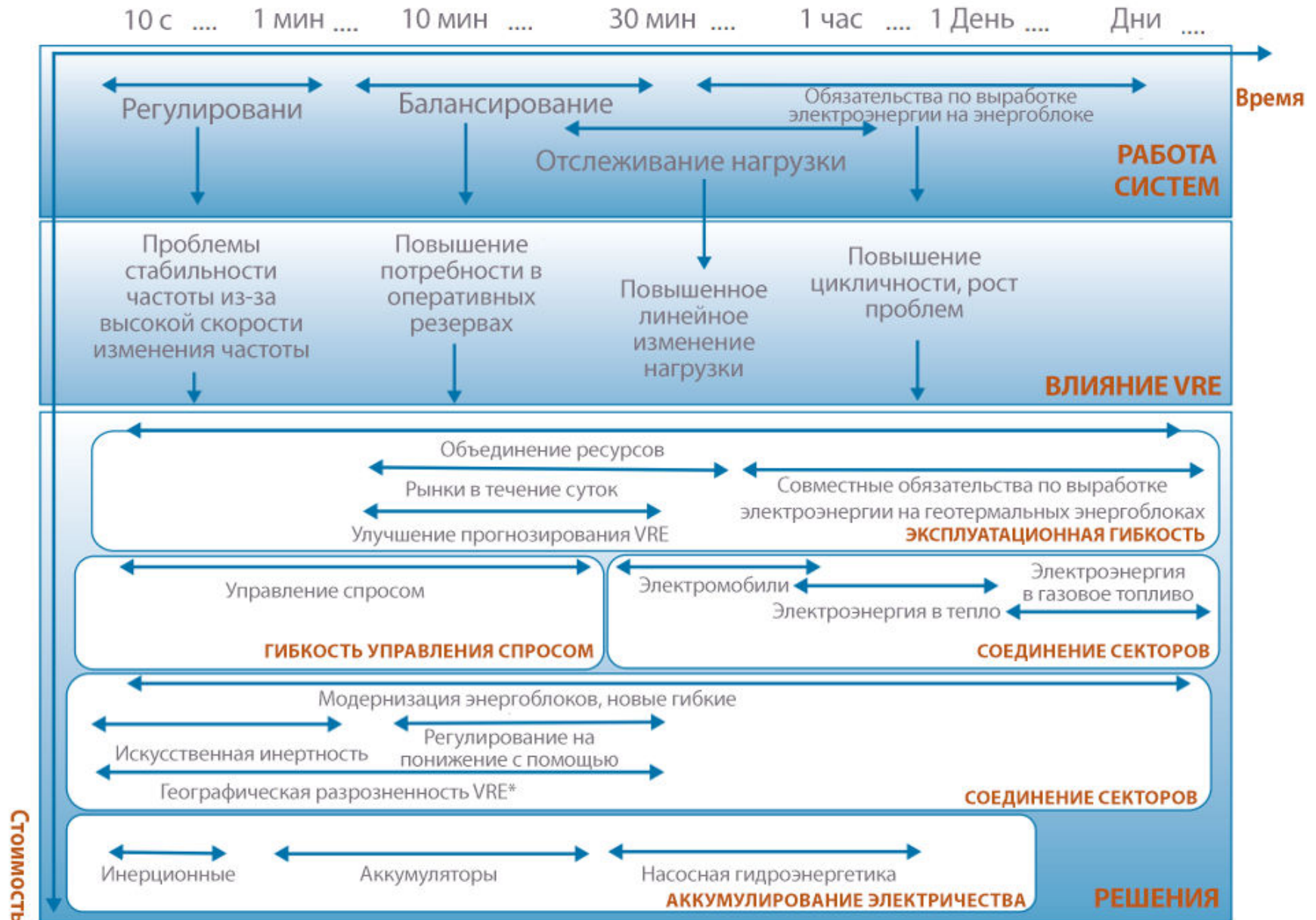
2030ref, hydro -15%



Инструменты реализации гибкости энергосистем в секторе энергетики



Влияние VRE при различных временных шкалах и соответствующие решения для гибкости



Технические варианты повышения гибкости систем

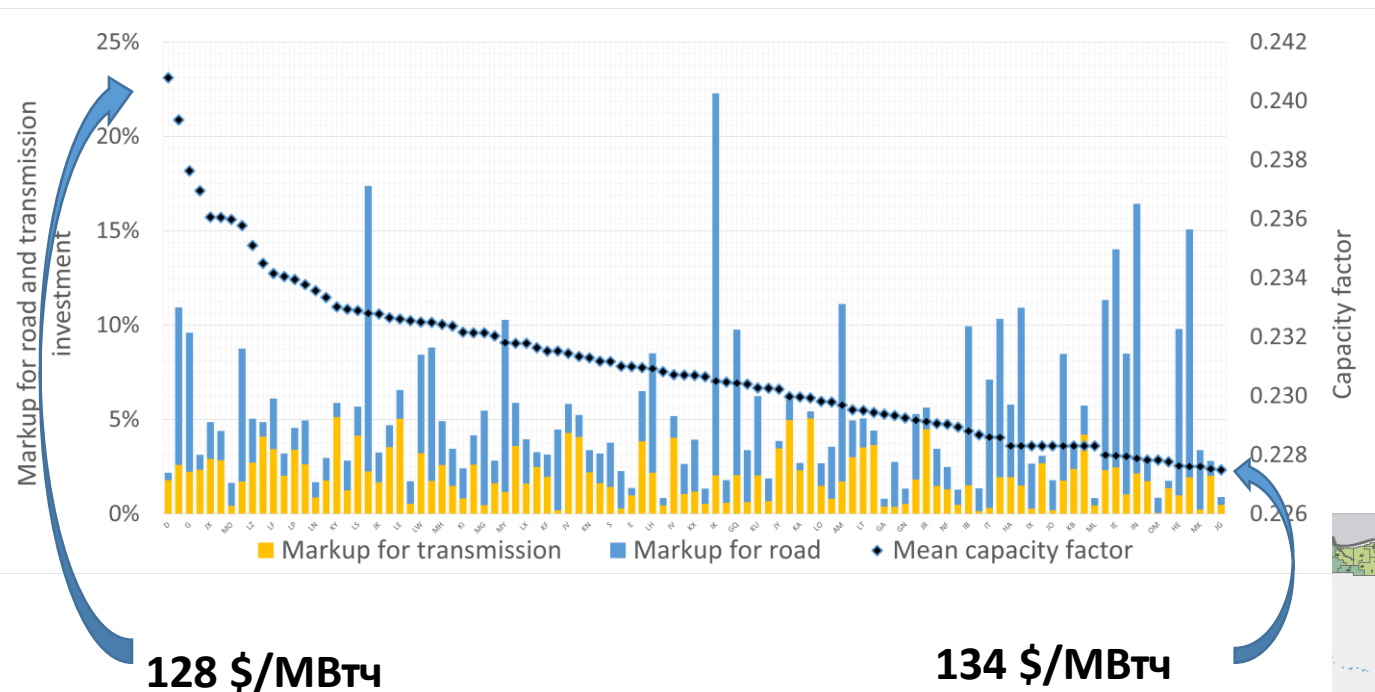


Надлежащим ли образом представлена в модели энергосистема? Знаем ли мы, какая потребуется степень гибкости, что будет достигнуто и с помощью чего?

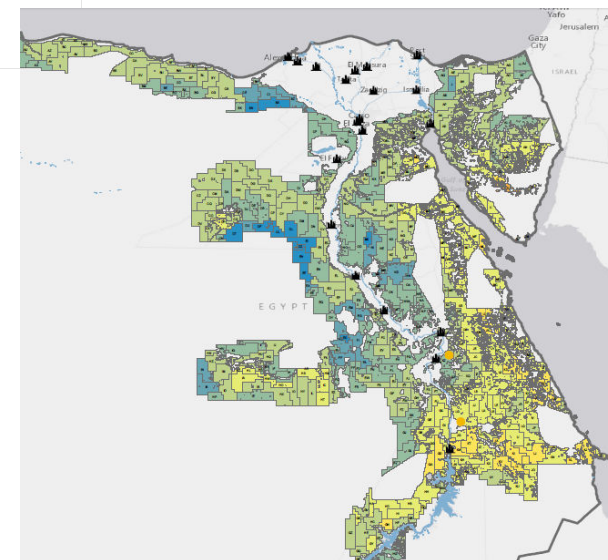




Специфичность площадок



Египет, зоны ФЭ



Источник: Национальная лаборатория им. Лоуренса в Беркли, MarRE

Основной смысл планирования:

- **Балансировка между качеством ресурса и инвестициями в ЛЭП**

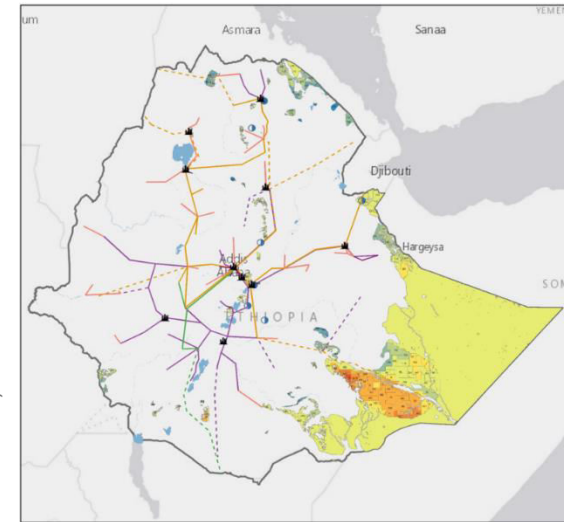
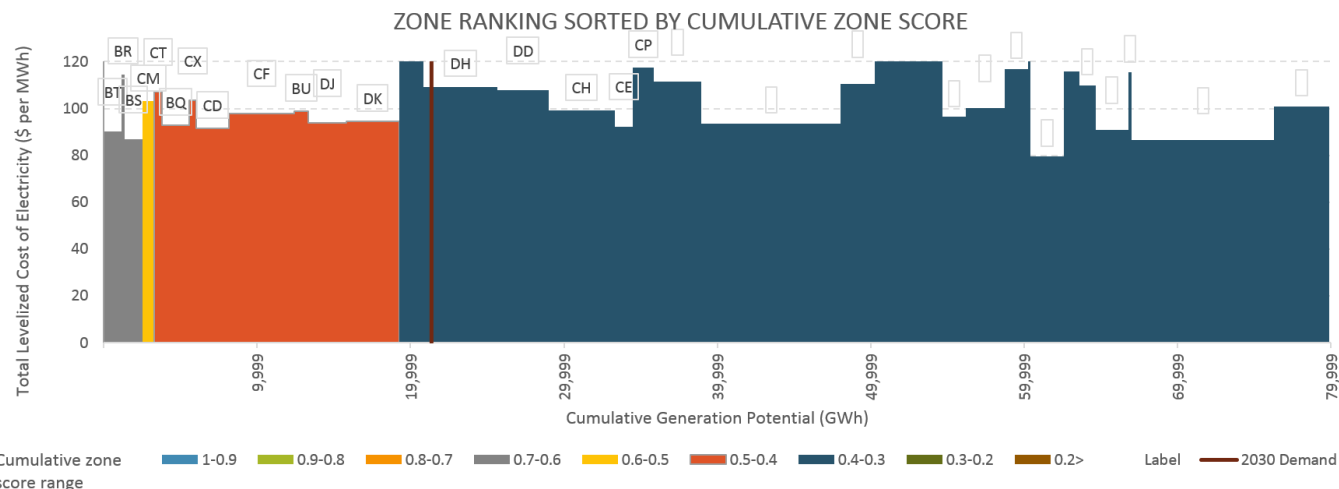
Хороший долговременный план учитывает:

- потребности инвестиций в передачу энергии
- Специфичность площадки генератора и площадок для передачи энергии

Однако их можно промоделировать, например:

Повышение себестоимости для инвестиций в генераторы

Представление генерации и передачи энергии для конкретных площадок



Проанализирована ли в модели взаимосвязка качества источника и необходимость инвестиций в системы электропередачи? Оценивается ли качество источника, используя данные с привязкой к географическим координатам?





- » Эксплуатация системы с высокой долей несинхронных генераторов (например, ФЭ и ветровые) является сложной задачей, так как в системе в настоящее время требуется, чтобы синхронные генераторы обеспечивали отклик по частоте и напряжению после события непредвиденной нагрузки (за секунду) для обеспечения **стабильности**
- » **Хороший долговременный план учитывает:**
- » **Возможность жесткого ограничения на пределы мгновенной доли ВЭ в различных режимах эксплуатации - они могут быть основаны на практических правилах или на полном исследовании динамической стабильности**

Ожидаем ли мы технического ограничения на мгновенное проникновение солнца и ветра? Если да, является ли оно строгим ограничением или это зависит от институциональных договорённостей? Моделируются ли данные ограничения в виде сценариев?





Низкая

Высокая



Актуальность воздействия включения ПВЭ в долгосрочное планирование

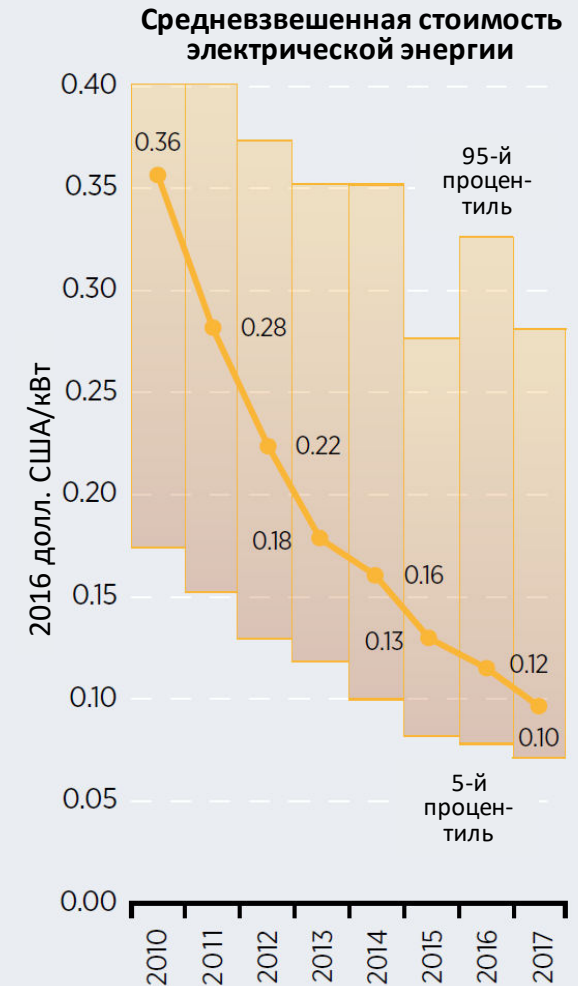
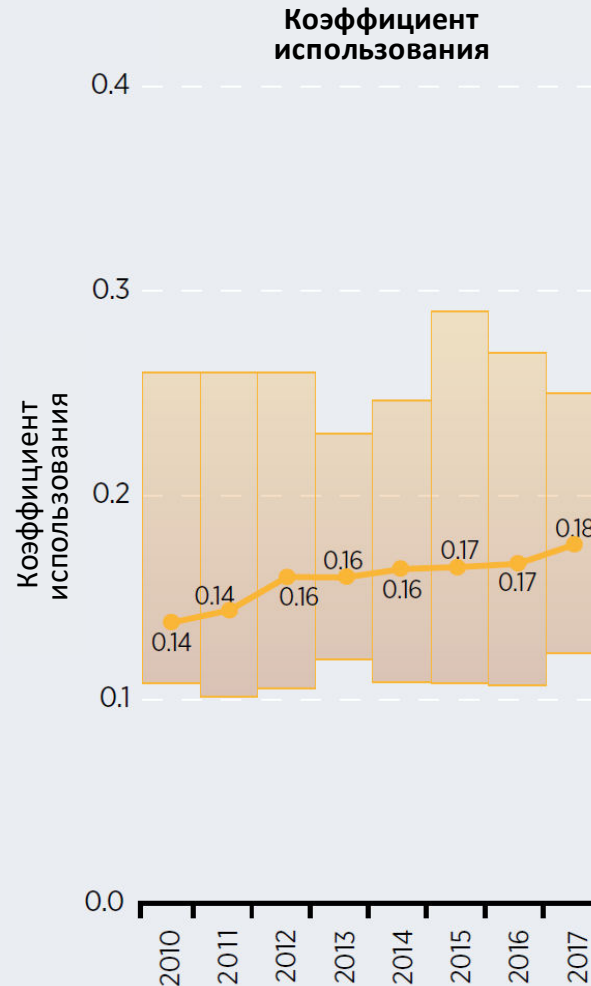
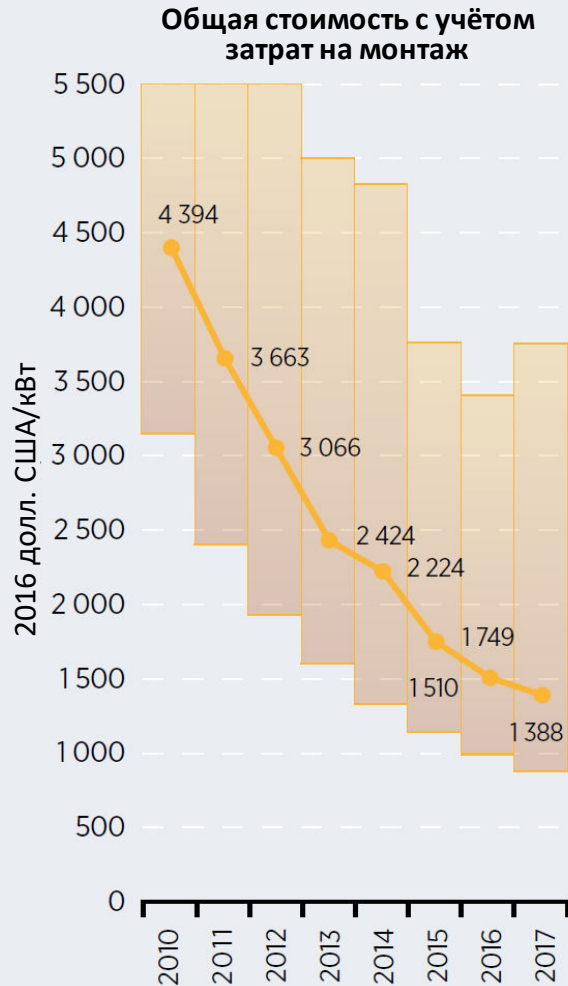


IRENA

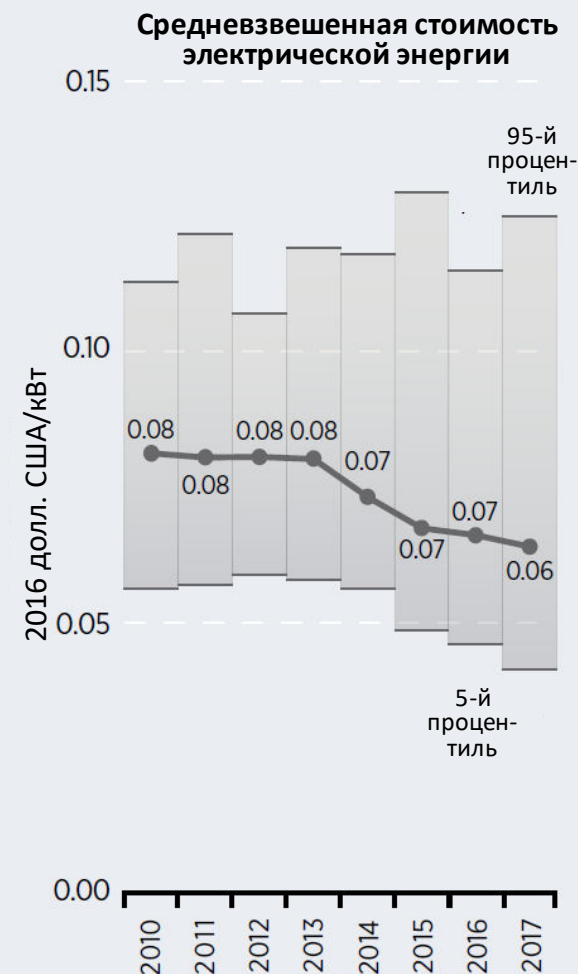
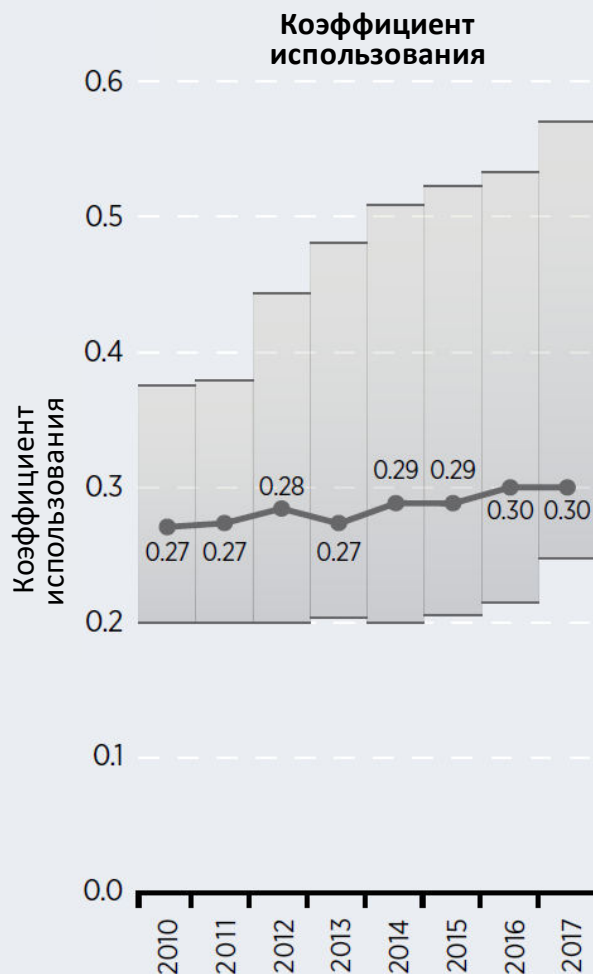
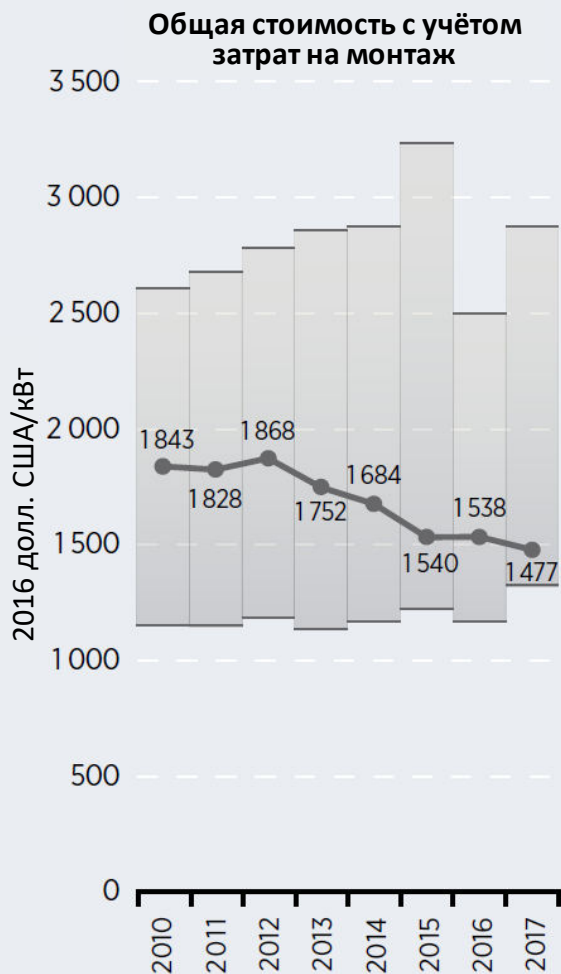
International Renewable Energy Agency

Благодарим вас,
Асами Микета (Asami Miketa),
Amiketa@irena.org

Тенденции изменения стоимости фотоэлектрической солнечной энергии



Тенденции изменения стоимости наземных ветряных установок



Источник: Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA), база данных о стоимости производства энергии из возобновляемых источников.