

**ХII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ» (MLSD'2019)
Россия, Москва, ИПУ РАН, 1-3 октября 2019 г.**

**ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА:
СИСТЕМНЫЕ ЭФФЕКТЫ**

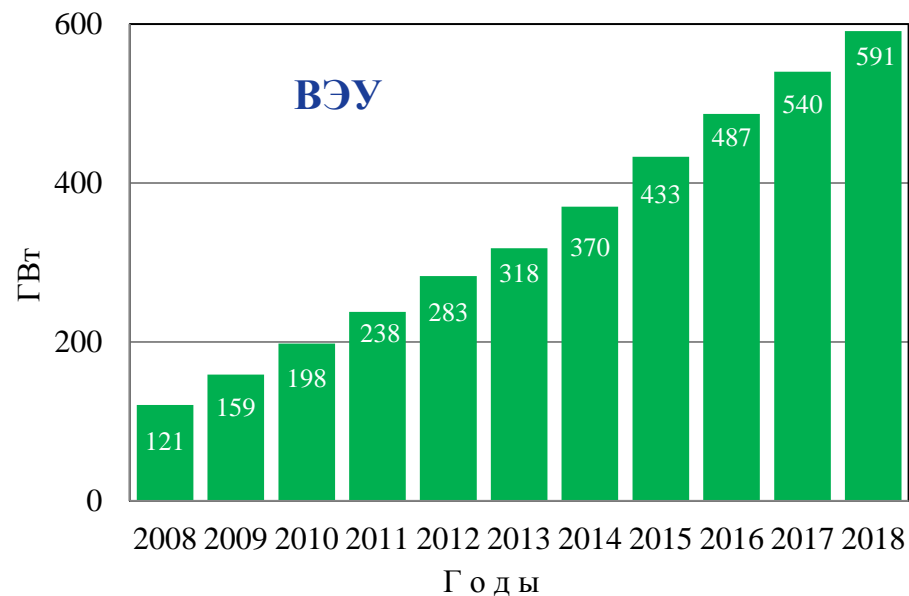
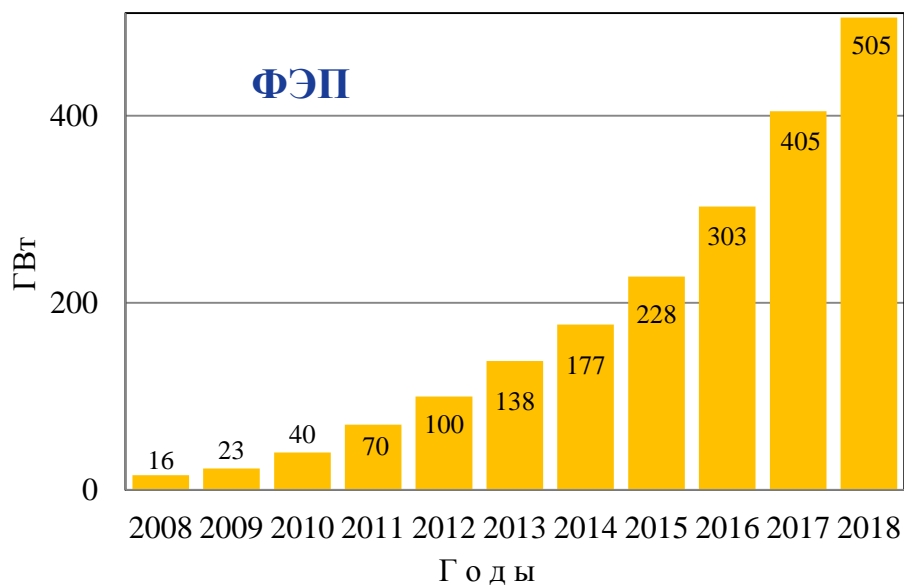
Филиппов С.П., Дильман М.Д.

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИНЭИ РАН)**

Москва, ул. Нагорная 31, к.2



УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ ФЭП И ВЭУ В МИРЕ



Источник данных: REN21, 2009-2018

За 10 лет в мире мощность СЭС на базе ФЭП увеличилась в 32 раза и превысила 500 ГВт. Выработка электроэнергии возросла в 48 раз и дошла, по оценкам МЭА, до 507,8 ТВт·ч/год.

Лидеры по установленной мощности:
Китай, Япония, Германия, США, Италия.

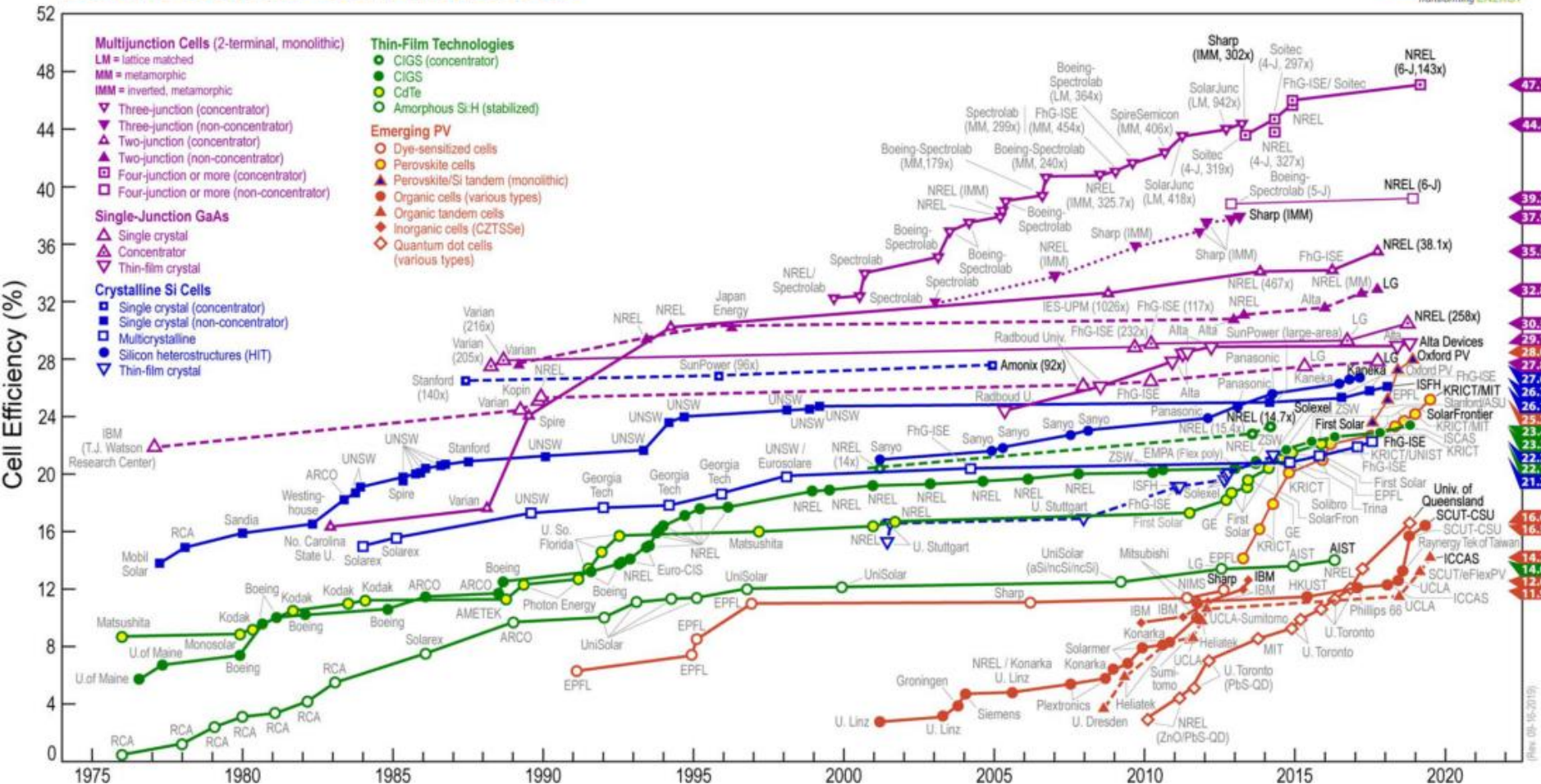
Установленная мощность ВЭУ, наземных и морских, увеличилась в 4,9 раза. Аналогично возросла выработка электроэнергии, превысив, по оценкам МЭА, 1215 ТВт·ч/год.

Лидеры: Китай, США, Германия, Индия и Испания.

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ФЭП



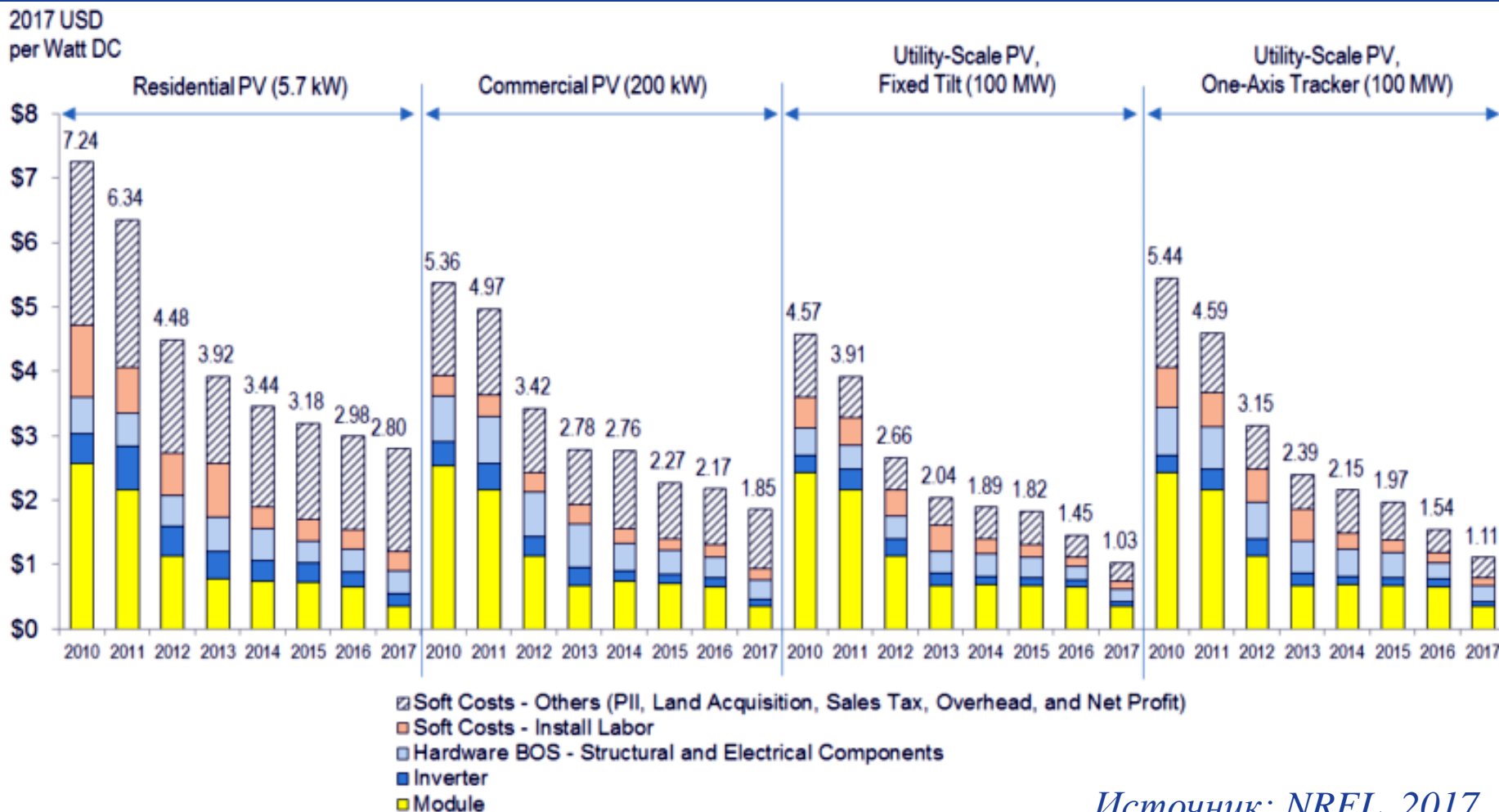
Best Research-Cell Efficiencies



Источник: National Renewable Energy Laboratory NREL, 2019

Затраченные средства в ВИЭ стимулировали технический прогресс, создание масштабных производств.

СТРУКТУРА СТОИМОСТИ СЭС НА ФЭП И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ В 2010-2017 ГГ., США



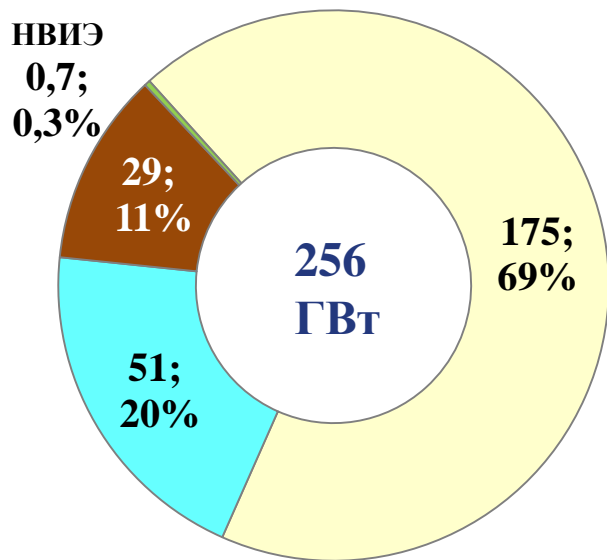
Источник: NREL, 2017

Сформированы устойчивые тренды на снижение стоимости установок и повышение их конкурентоспособности с традиционными технологиями. Данные тренды стали отражением известных эффектов «обучения технологий» и «тиража».

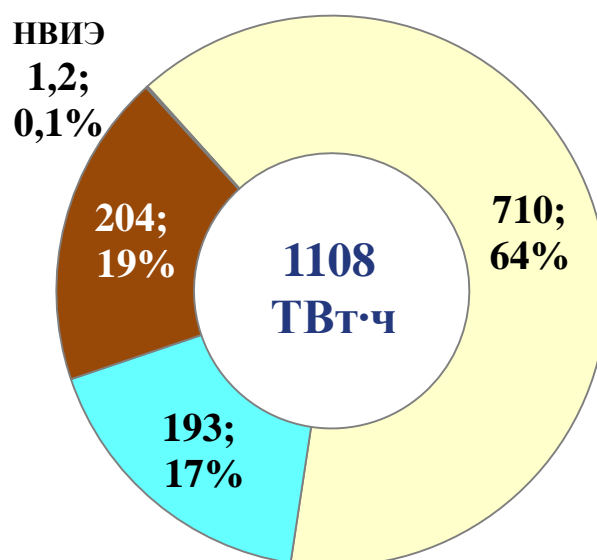
СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ



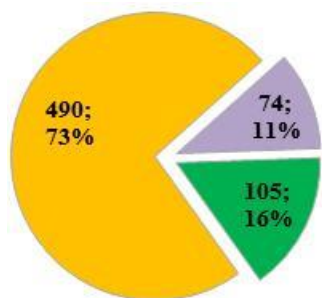
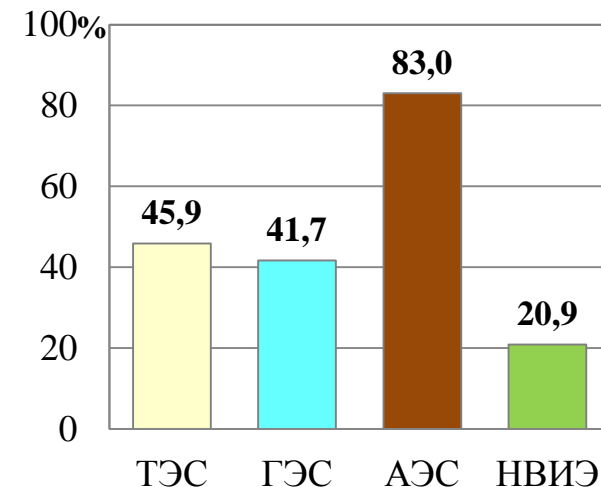
Установленная мощность электростанций



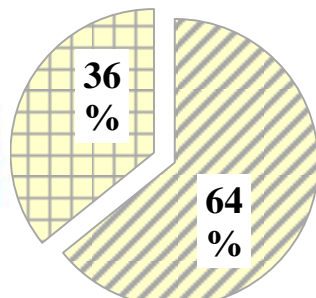
Производство электроэнергии



КИУМ



(МВт)



(ТВт·ч)

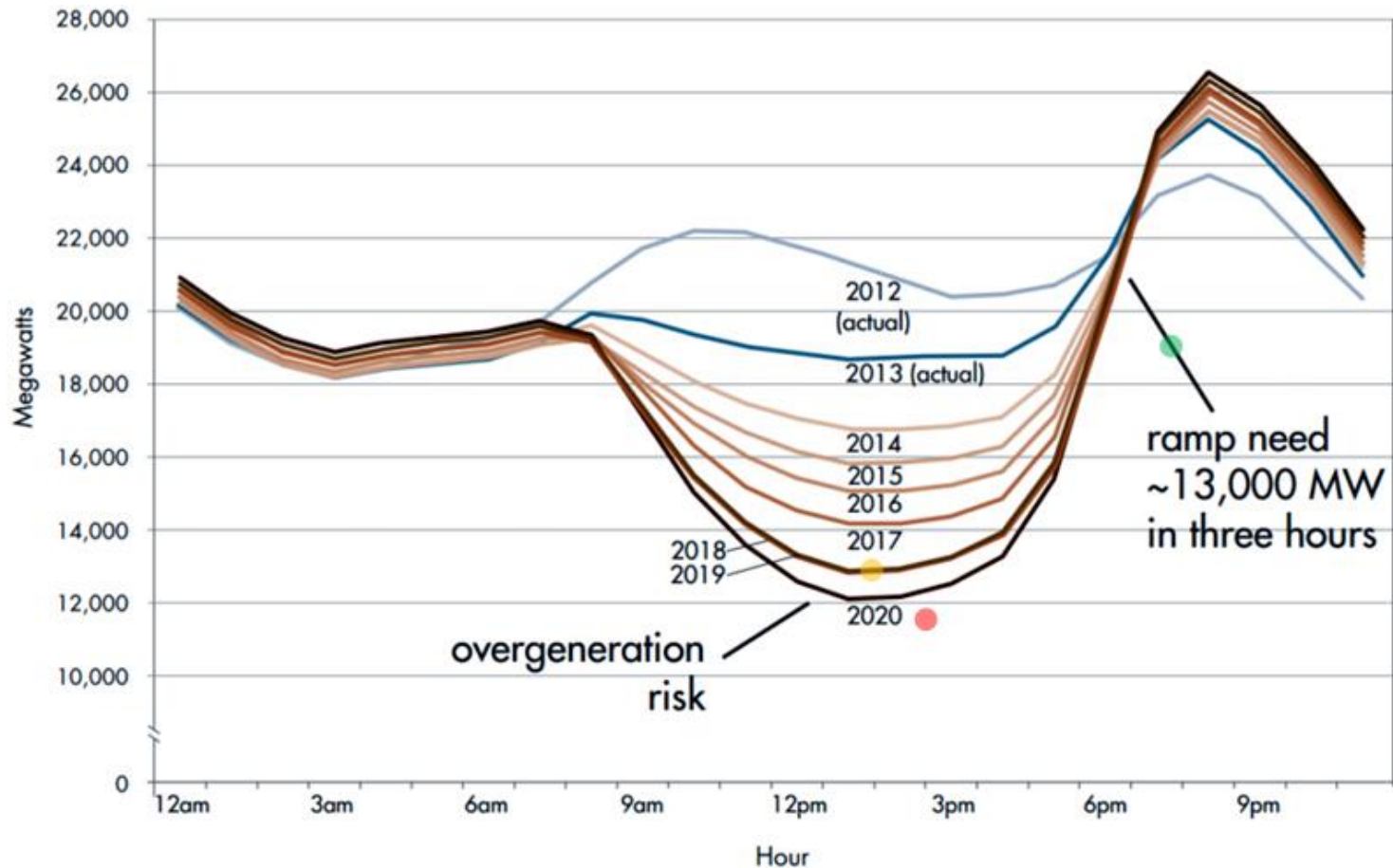


Источник данных: Росстат, 2018

- ❖ Большие запасы ископаемых топлив
(24% доказанных мировых запасов газа, 17% угля, 6% нефти).
- ❖ Качественные ресурсы ВИЭ и центры энергопотребления территориально разнесены.
- ❖ Большая роль АЭС, компетенции в этой области.
- ❖ Централизованная электрогенерация от блоков большой мощности.
Избыток мощности.
- ❖ Централизованное теплоснабжение от ТЭЦ
(в отопительный сезон электрогенерация на тепловом потреблении не подлежит отключению).
- ❖ Активный процесс модернизации ТЭС на базе ПГУ
*(~30 ГВт паровых турбин уже проработали >30 лет;
+15÷20 ГВт новых мощностей на газе к 2035 г.).*
- ❖ Создана индустрия ВИЭ *(совершенствуются технологии, процесс локализации, компетенции по сооружению и эксплуатации, развиваются технологии производства компонентной базы, имеющие экспортный потенциал).*

- ❖ **Дания:** лидер по мощности ВЭС на душу населения (5,3 ГВт).
2017 г.: 43,6% потребности в электроэнергии (4,7 ТВт·ч). К 2020 г.: до 50%.
Но: Дания интегрирована в "Nordic Grid" с Норвегией, Швецией и Германией и имеет возможность экспортировать избыточную электроэнергию.
Тем не менее, тариф ~30 евроцент/кВт·ч.
КИУМ традиционных электростанций 25-30%.
- ❖ **Чехия:** Кризисная ситуация 2014/2015 гг.
Сетевая инфраструктура не справляется с перетоками «зеленой» энергии из Германии и нуждается в усилении
- ❖ **США (Калифорния):** прогноз до 2020 г. CAISO о гипергенерации при массовом внедрении СЭС. Опасения подтвердились уже в 2016 г. Для традиционной электрогенерации увеличилась суточная неравномерность загрузки, сократилась базовая зона (с 18 ГВт в 2013 г. до 12 ГВт в 2016 г.), возросли потребности в быстром наборе мощности (до 13 ГВт за 3 ч).

ДИАГРАММА «КАЛИФОРНИЙСКАЯ УТКА»



- - зафиксировано 13,0 ГВт, 21.02.2016 г.;
- - зафиксировано 11,7 ГВт, 15.05.2016 г.;
- - зафиксирован рост нагрузки 10,9 ГВт за 3 ч, 01.02.2016 г.

Режим энергопотребления 31 марта, Калифорния

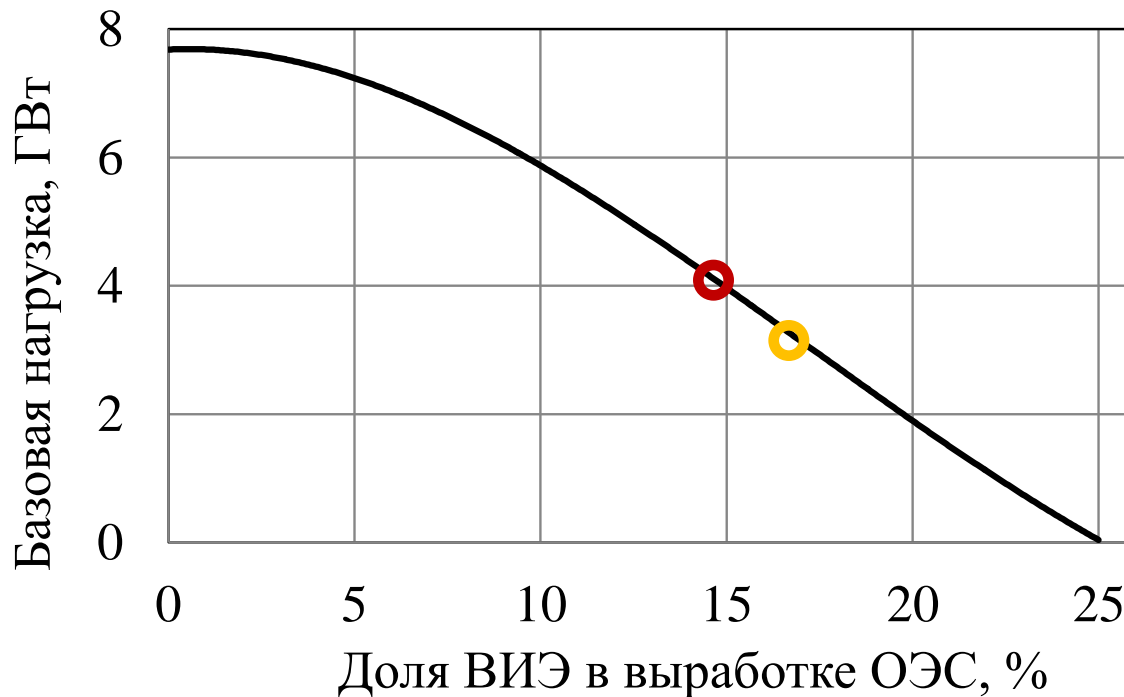
Источник: CAISO, 2013

СИСТЕМНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВИЭ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ



- ❖ Изменение суточных графиков и годовых графиков выдачи мощности электростанциями различных типов, сокращение базовой части вследствие большой суточной и сезонной неравномерности электрогенерации ВИЭ;
- ❖ «Разрывание» графиков работы электростанций вследствие наложения стохастической электрогенерации ВЭИ на стохастическое электропотребление;
- ❖ Снижение эффективности использования топлива в системе;
- ❖ Рост выбросов вредных веществ в окружающую среду на единицу вырабатываемой энергии;
- ❖ Снижение надежности, аварийные остановки, рост затрат на ремонт, снижение технического ресурса оборудования;
- ❖ Рост себестоимости производства электроэнергии;
- ❖ Нарушение безопасности систем теплоснабжения, повышение риска аварийности АЭС

ЗАВИСИМОСТЬ БАЗОВОЙ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ЮГА ОТ ДОЛИ ВИЭ



- Предел по ТЭЦ
- Предел по АЭС

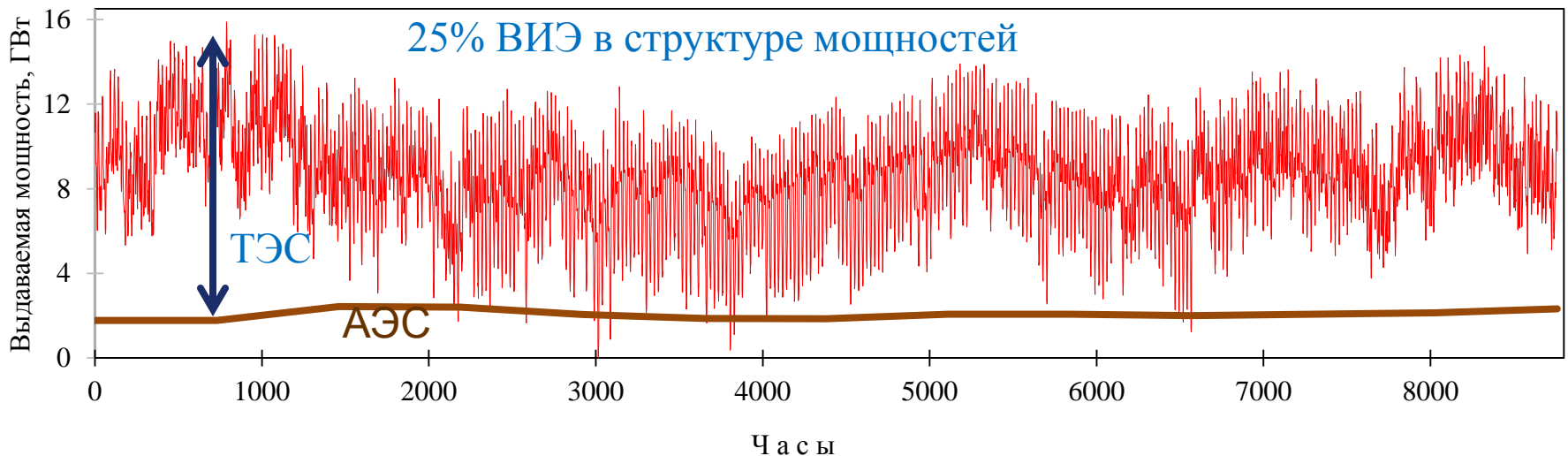
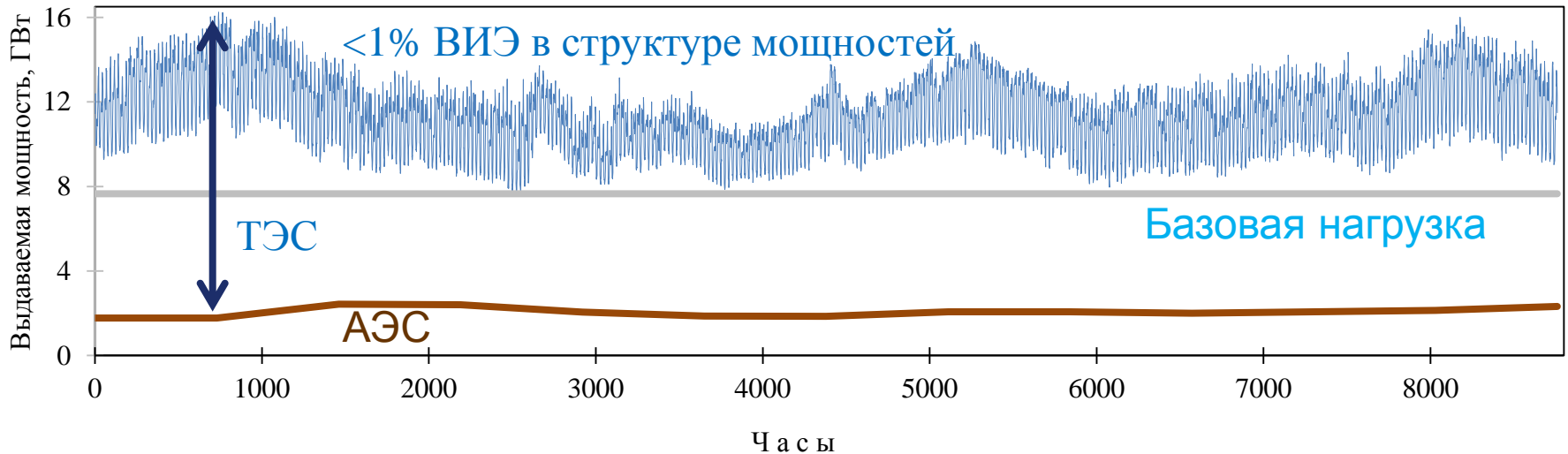
Источник:
ИНЭИ РАН, 2019

Пока вклад ВИЭ в мощность энергосистемы ограничен несколькими %%, снижение базовой нагрузки традиционных электростанций незначительный.

При увеличении доли ВИЭ база графика нагрузки будет стремительно сокращаться.

При 25%-ом вкладе СЭС и ВЭС в электрогенерацию базовая нагрузка снижается до 0.

ВЛИЯНИЕ МАССОВОГО ВНЕДРЕНИЯ ВИЭ НА ЗАГРУЗКУ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (ОЭС ЮГА)



- генерация ОЭС Юга, 2017 г. (данные СО ЕЭС)
- необходимая генерация без ВИЭ (солнце+ветер=25%)
- выработка АЭС в ОЭС Юга
- базовая нагрузка

Источник: ИНЭИ РАН

УСТАНОВЛЕННЫЕ МОЩНОСТИ АЭС В СОСТАВЕ ОЭС



ОЭС	Установленная мощность ОЭС, ГВт	Установленная мощность АЭС, ГВт	Доля АЭС, %
ОЭС Центра	53,1	12,4	23,4
ОЭС Северо-Запада	23,9	5,8	24,1
ОЭС Юга	21,5	3,0	14,0
ОЭС Средней Волги	27,2	4,0	14,7
ОЭС Урала	52,7	1,5	2,8
ОЭС Сибири	51,9	0,0	0,0
ОЭС Востока	9,5	0,0	0,0

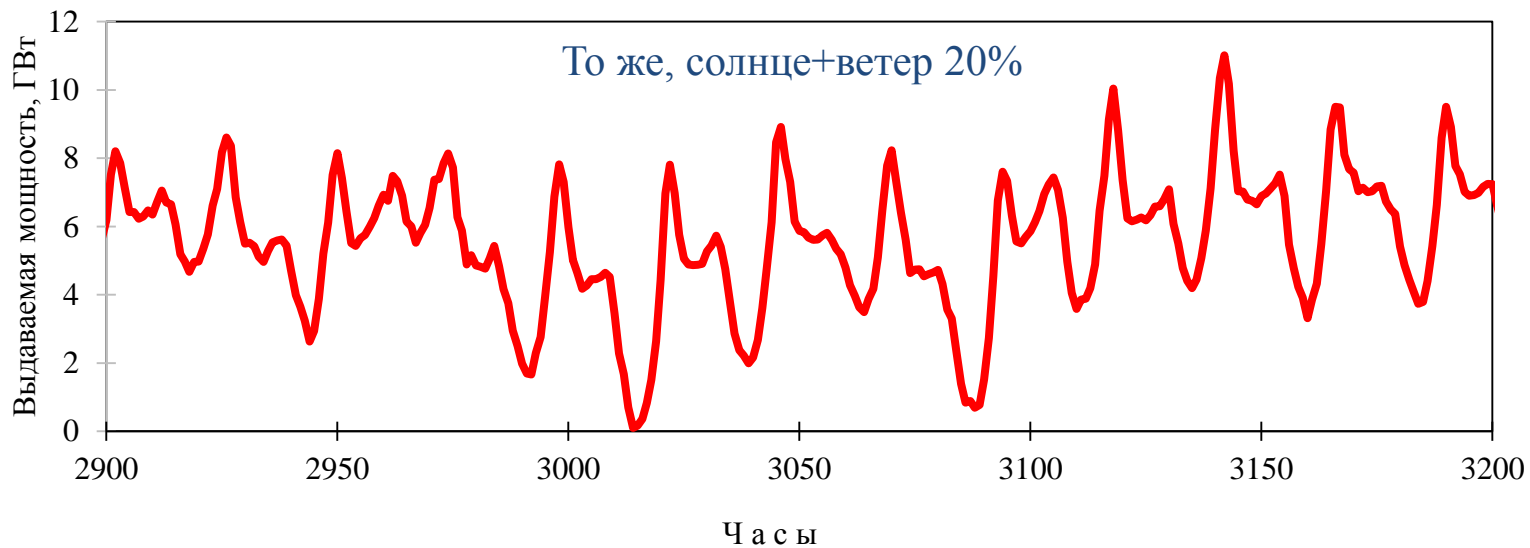
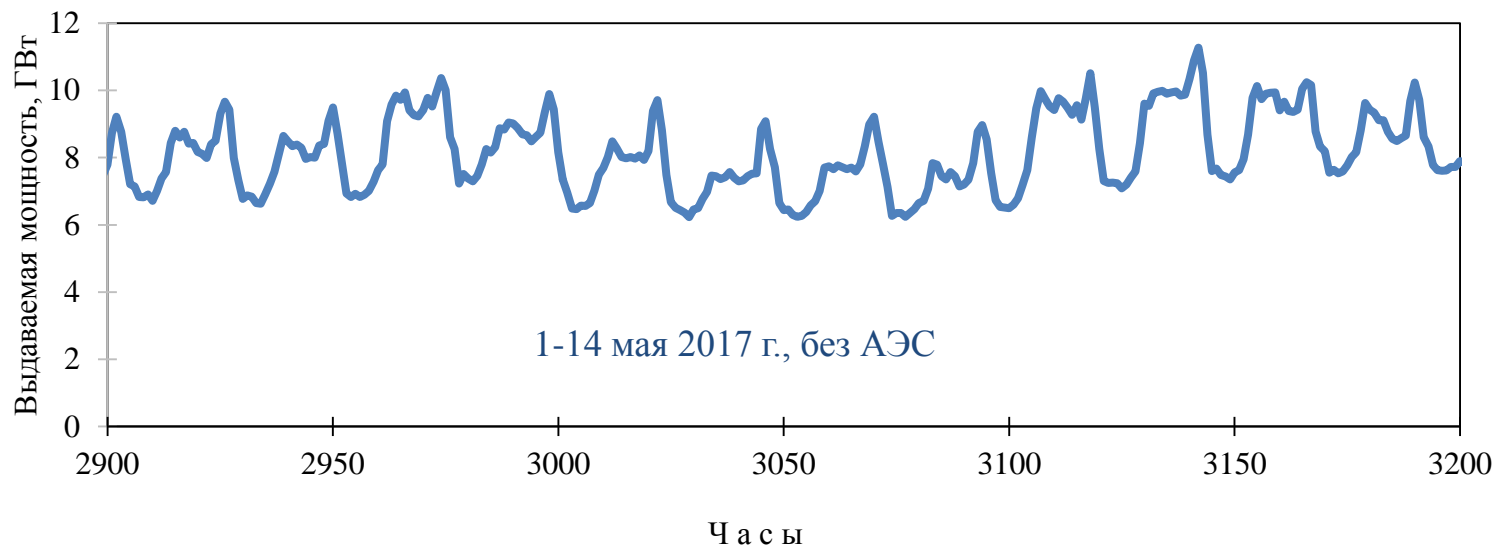
Источники данных: СО ЕЭС, Росстат, 2017

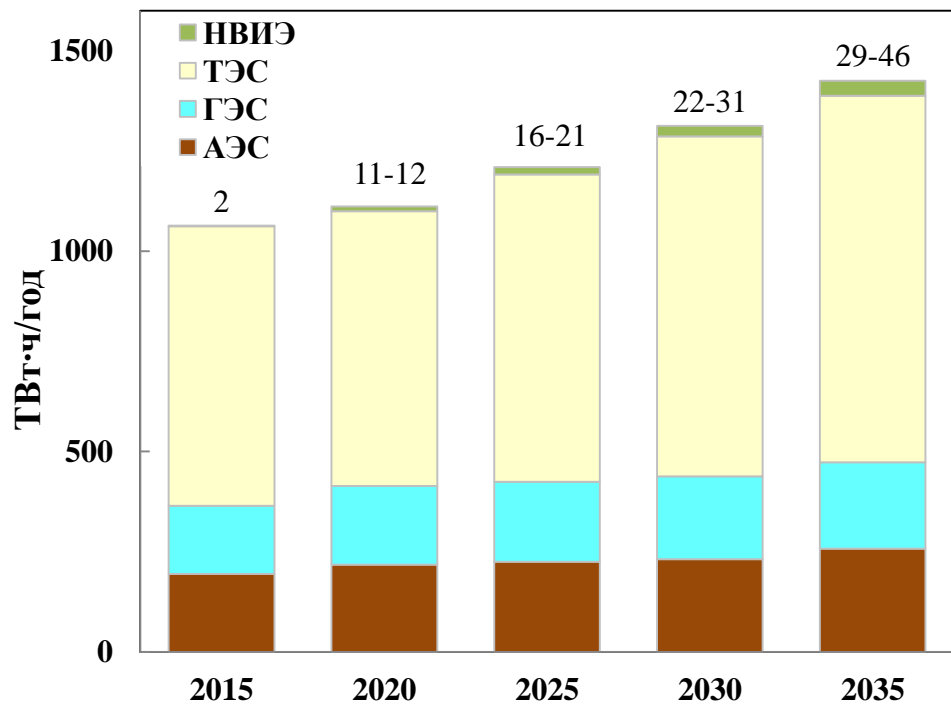
Проект Энергостратегии-2035:

- общая установленная электрическая мощность возрастет на 11-14%;
- установленная мощность АЭС возрастет на 22-31%.

Фактор влияния ВИЭ на базовую нагрузку будет усиливаться.

РЕЖИМЫ ТЭС БЕЗ ВИЭ И ПРИ МАССОВОМ ВНЕДРЕНИИ ВИЭ





Энергетическая стратегия до 2035 г.
(проект, 2017):

Рост генерации электроэнергии на **30-38%**,

НВИЭ – в **14-23** раза.

($\approx 6 \div 8$ ГВт к 2025 г., $11 \div 16$ ГВт к 2035 г.
ВЭУ+ФЭП+Гео+мГЭС)

Распоряжение Правительства РФ от
28.02.2017 N 354-р:

Целевые показатели накопленной
установленной мощности к 2024 г., ГВт:
ВЭУ **3,35**; ФЭП **1,76**; мГЭС **0,43**; Σ **5,54**.

ГК «Росатом», 2018: оценивает возможности внедрения ВЭС до 3,6 ГВт к 2024 г.

А.Б. Чубайс (АО «Роснано»), 2017: разработать новую программу модернизации энергетики на 2025-2035 гг. с вводом ≥ 10 ГВт ВИЭ.

Тогда суммарная мощность ВИЭ в стране в 2035 г. может превысить 15 ГВт.

МЕРЫ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ВИЭ НА ТРАДИЦИОННУЮ ГЕНЕРАЦИЮ



Системные:

- ✓ Расширение использования высокоманевренных («балансирующих») ГТУ- и ГПУ-ЭС
- ✓ Аккумулирование электроэнергии (на уровне ЭЭС, у потребителей)
- ✓ Повышение достоверности метеопрогнозов
- ✓ Оптимальное управление нагрузками электростанций с учетом метеорологических факторов
- ✓ Управление спросом на электроэнергию

Станционные:

- ✓ Регулирование мощности ВИЭ (для решения проблемы гипергенерации)
- ✓ Повышение маневренности оборудования ТЭС (ПГУ, угольных энергоблоков): *расширение регулировочного диапазона, увеличения скорости набора нагрузки, увеличение допустимого числа пусков, повышения КПД и снижение выбросов на частичных нагрузках*
- ✓ Совершенствования методов оптимизации структуры и функционирования ЭЭС. *Нужны современные программно-аппаратные средства - ключевые элементы так называемой «цифровой энергетики».*

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

