

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И
XI МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА «ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»
МОСКВА, НАУЧНЫЙ ПАРК МГУ, 3-4 ДЕКАБРЯ 2018 Г.**

**ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА
В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ**

ДИЛЬМАН М.Д.

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

Москва, ул. Нагорная 31, к.2



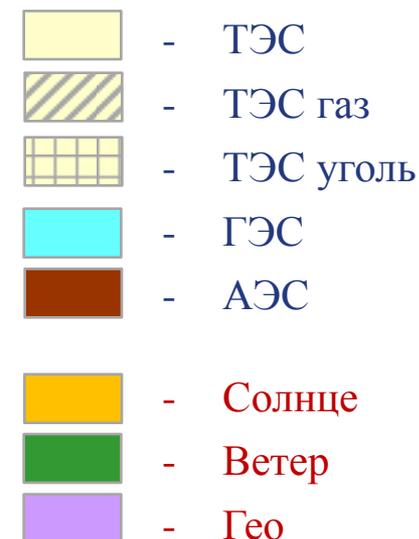
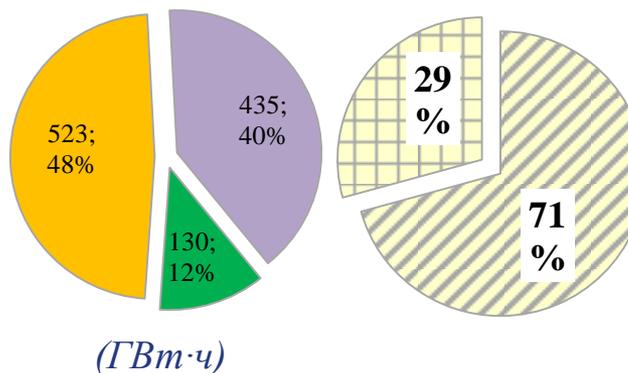
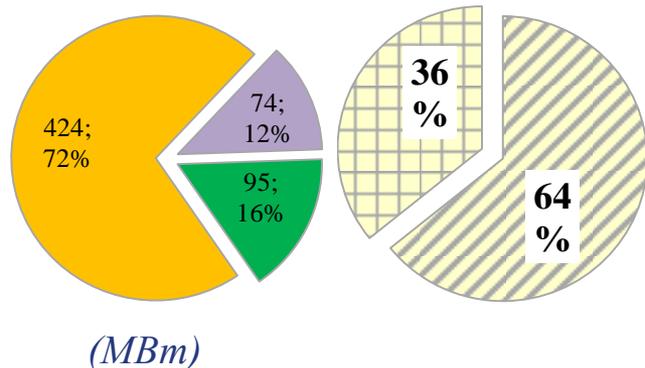
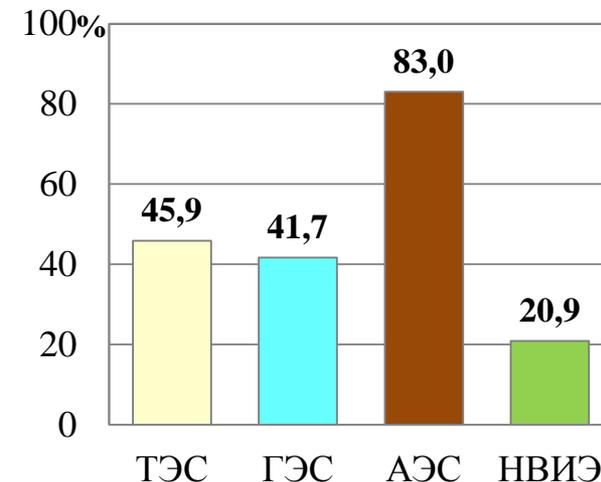
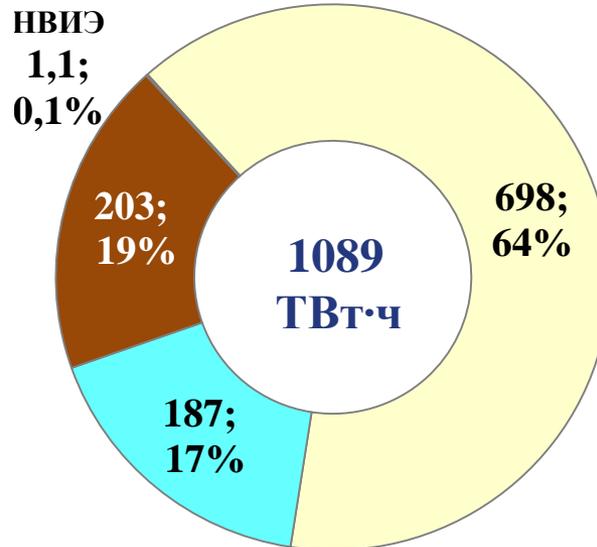
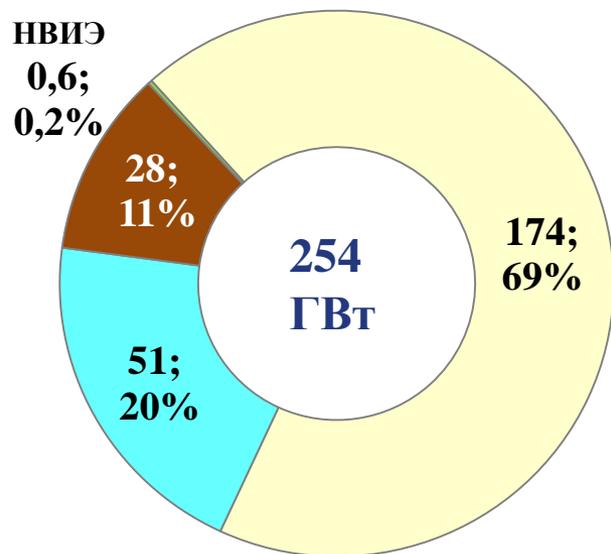
СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ, 2017 Г.



Установленная мощность электростанций

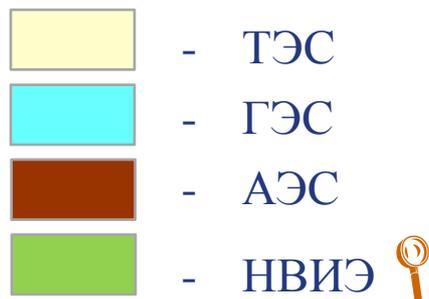
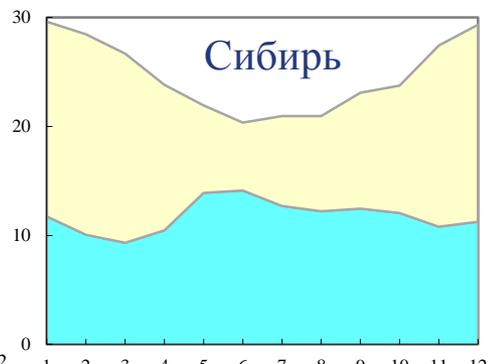
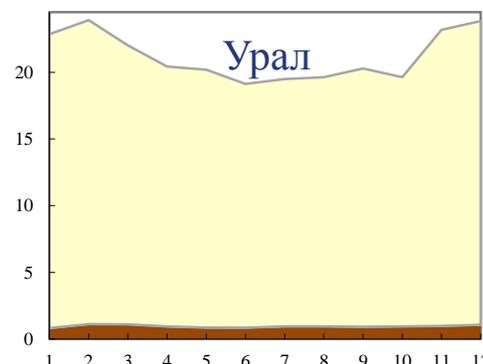
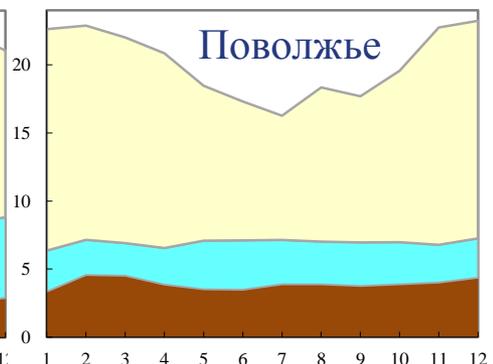
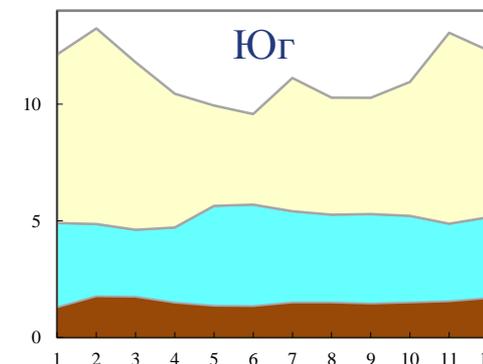
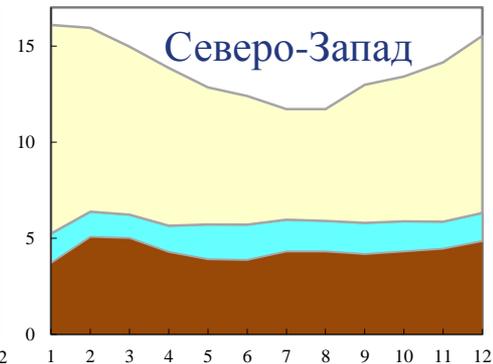
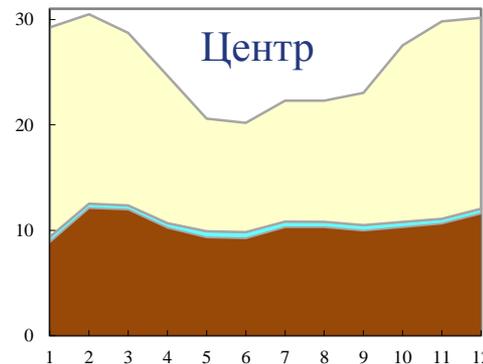
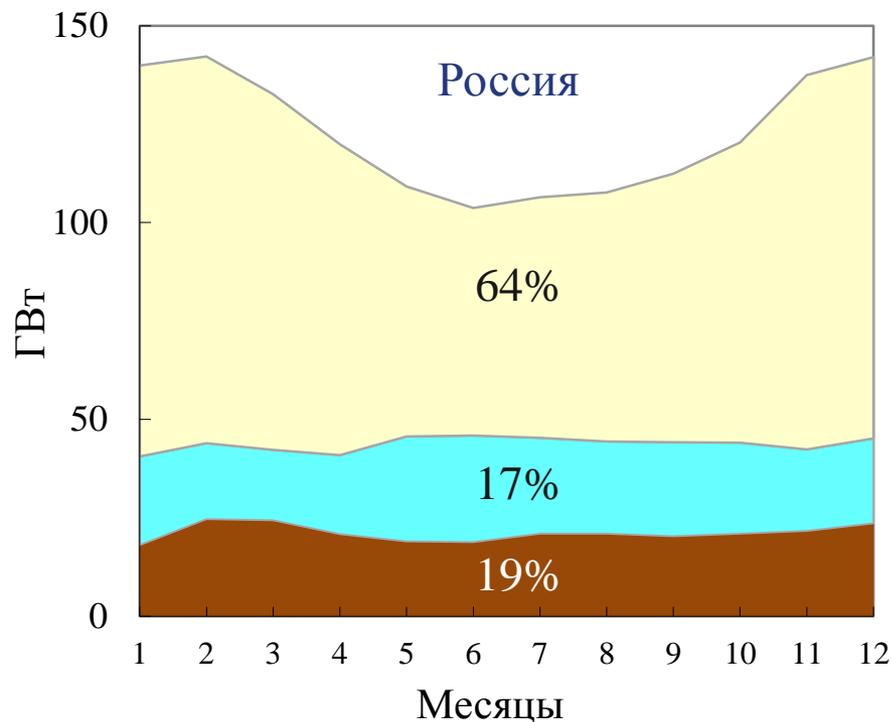
Производство электроэнергии

КИУМ

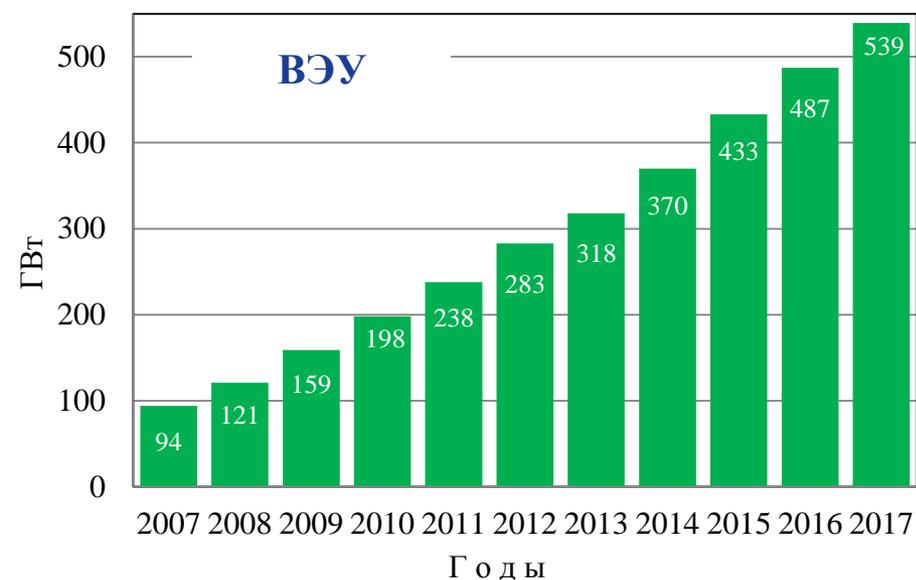
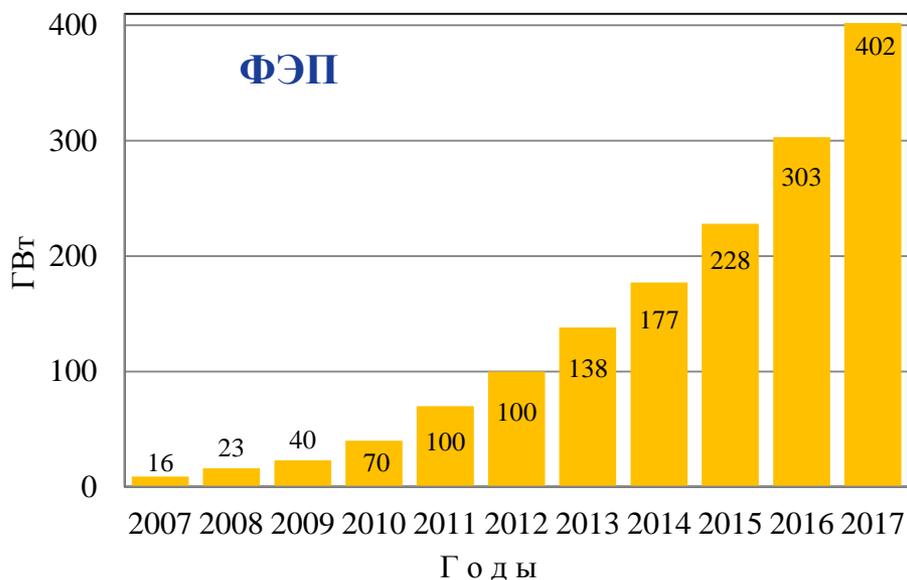


Источник данных: Росстат

ГОДОВЫЕ ГРАФИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ



УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ ФЭП И ВЭУ В МИРЕ



Источник данных: REN21

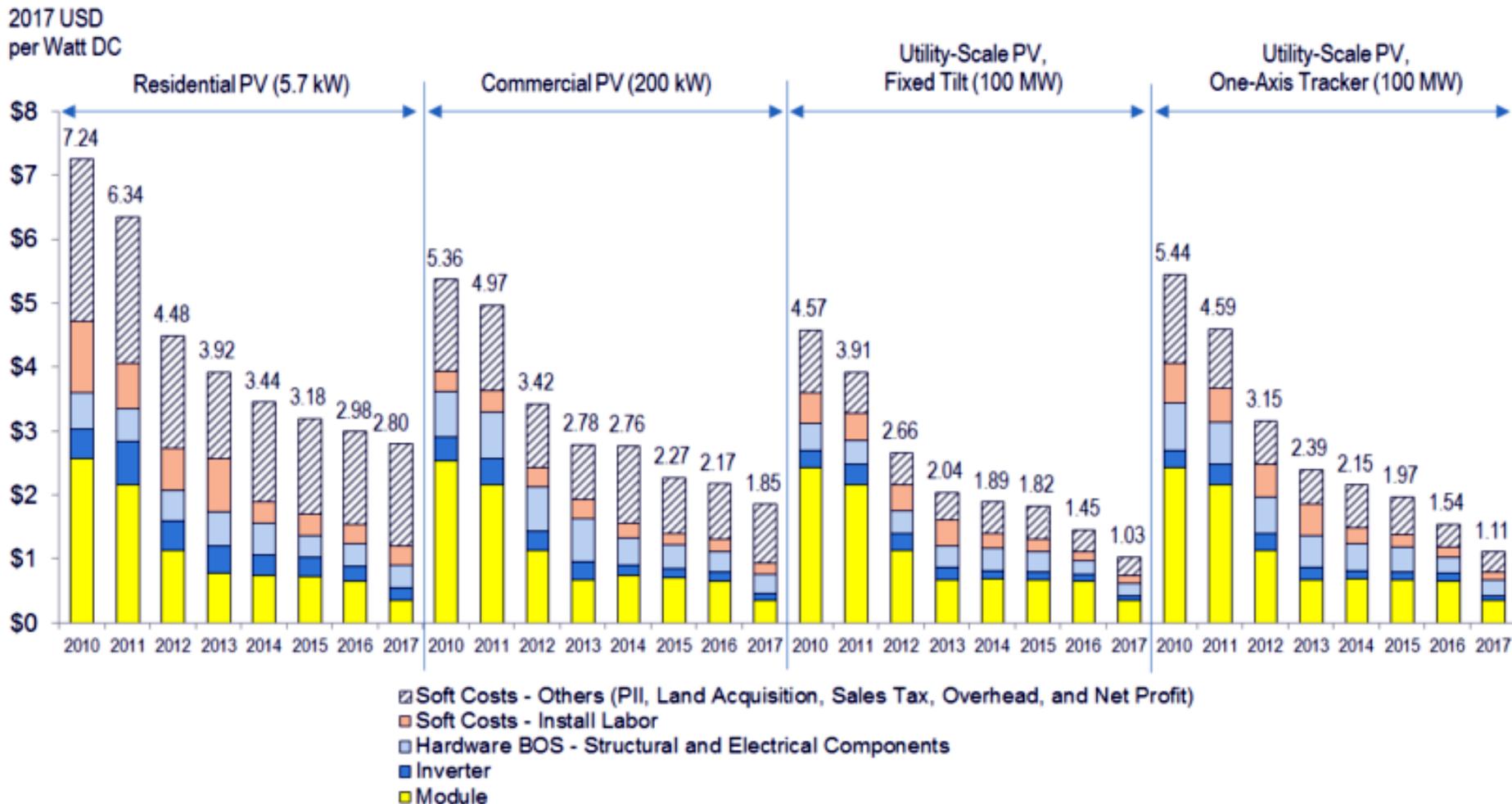
За 10 лет в мире мощность СЭС на базе ФЭП увеличилась в 44 раза и превысила 402 ГВт. Выработка электроэнергии возросла в 40 раз и дошла, по оценкам МЭА, почти до 500 ТВт·ч/год.

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

Установленная мощность ВЭУ, наземных и морских, увеличилась в 5,7 раза. Аналогично возросла выработка электроэнергии, превысив, по оценкам МЭА, 1050 ТВт·ч/год.

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

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

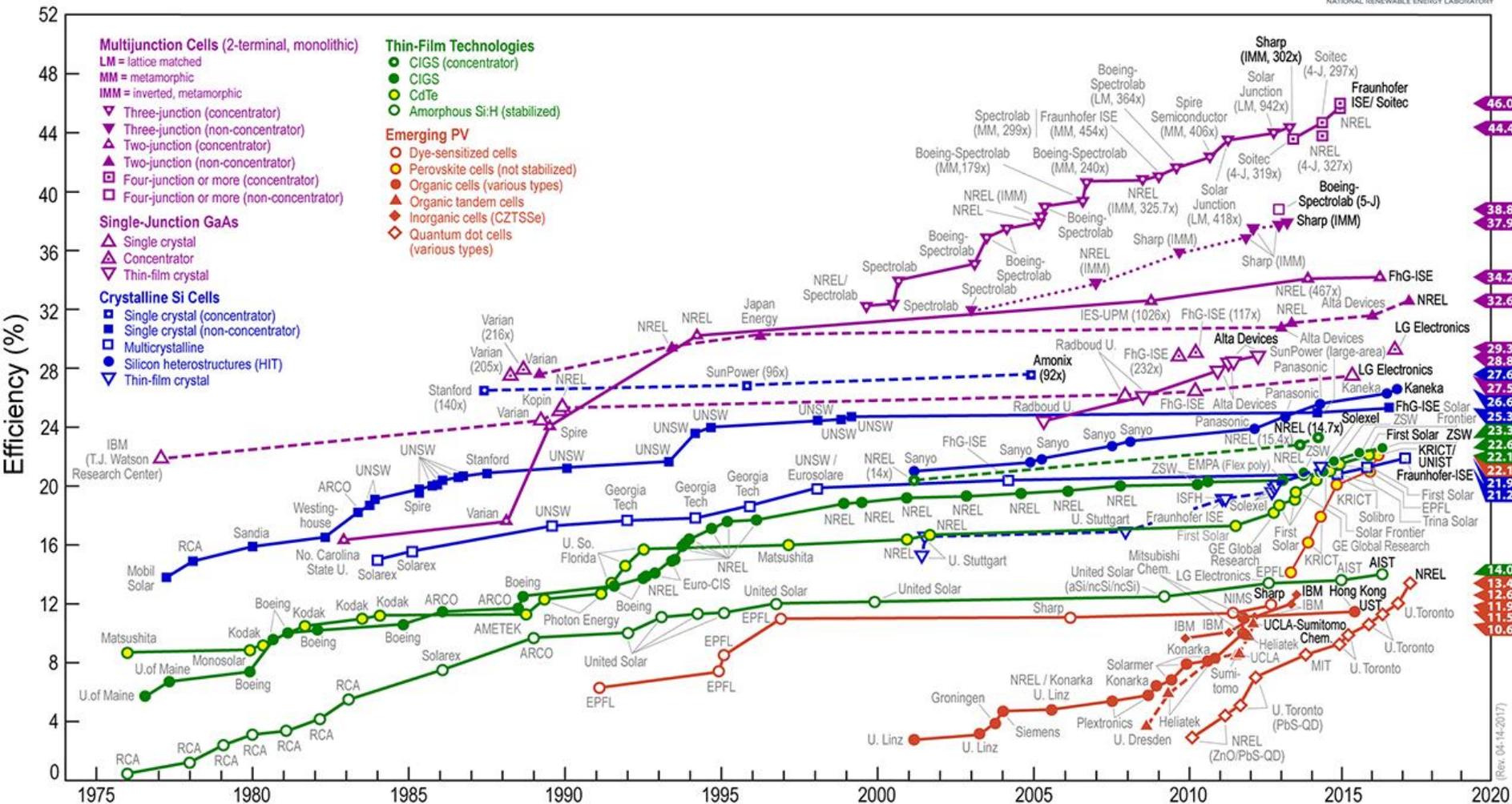


Источник: NREL, 2017

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ФЭП

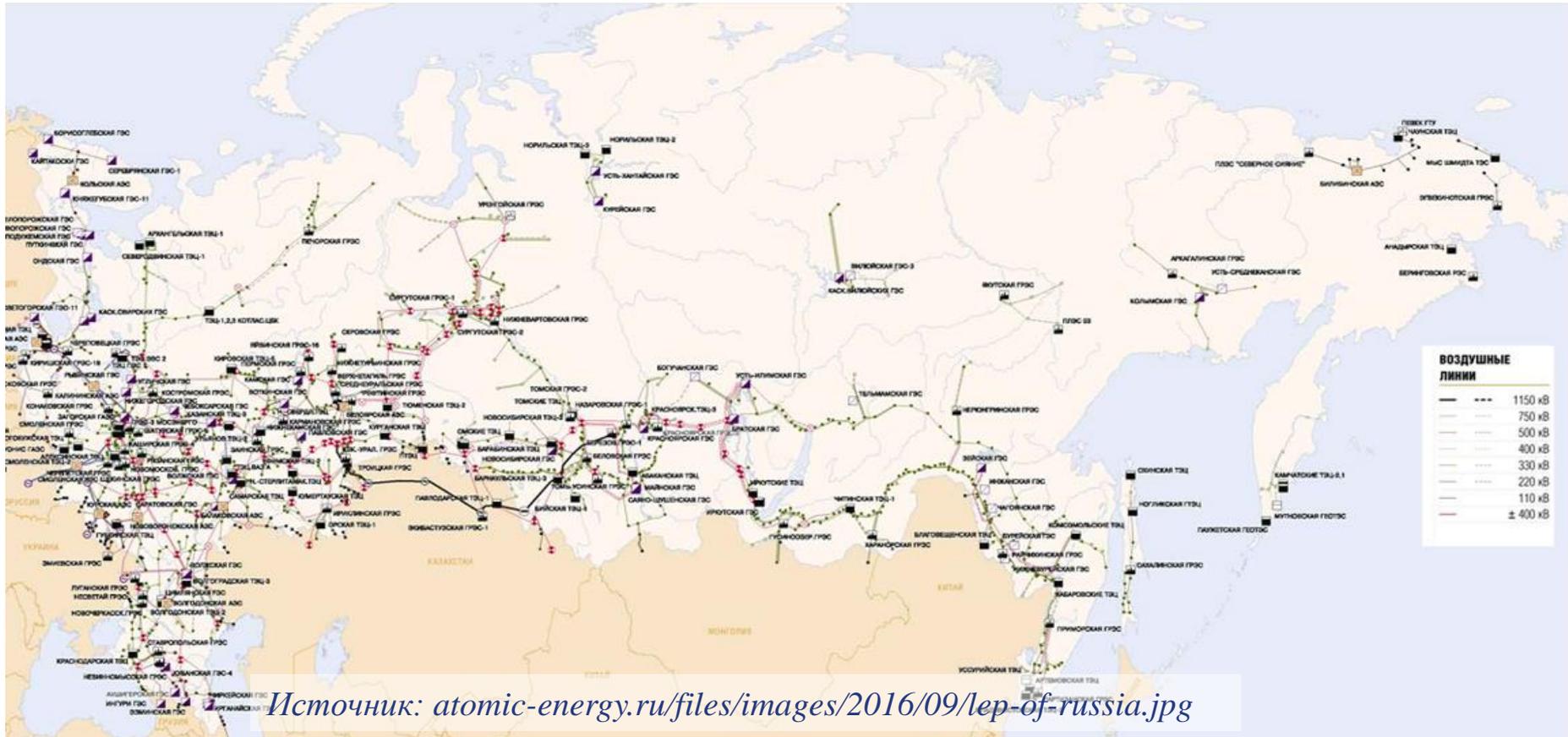


Best Research-Cell Efficiencies

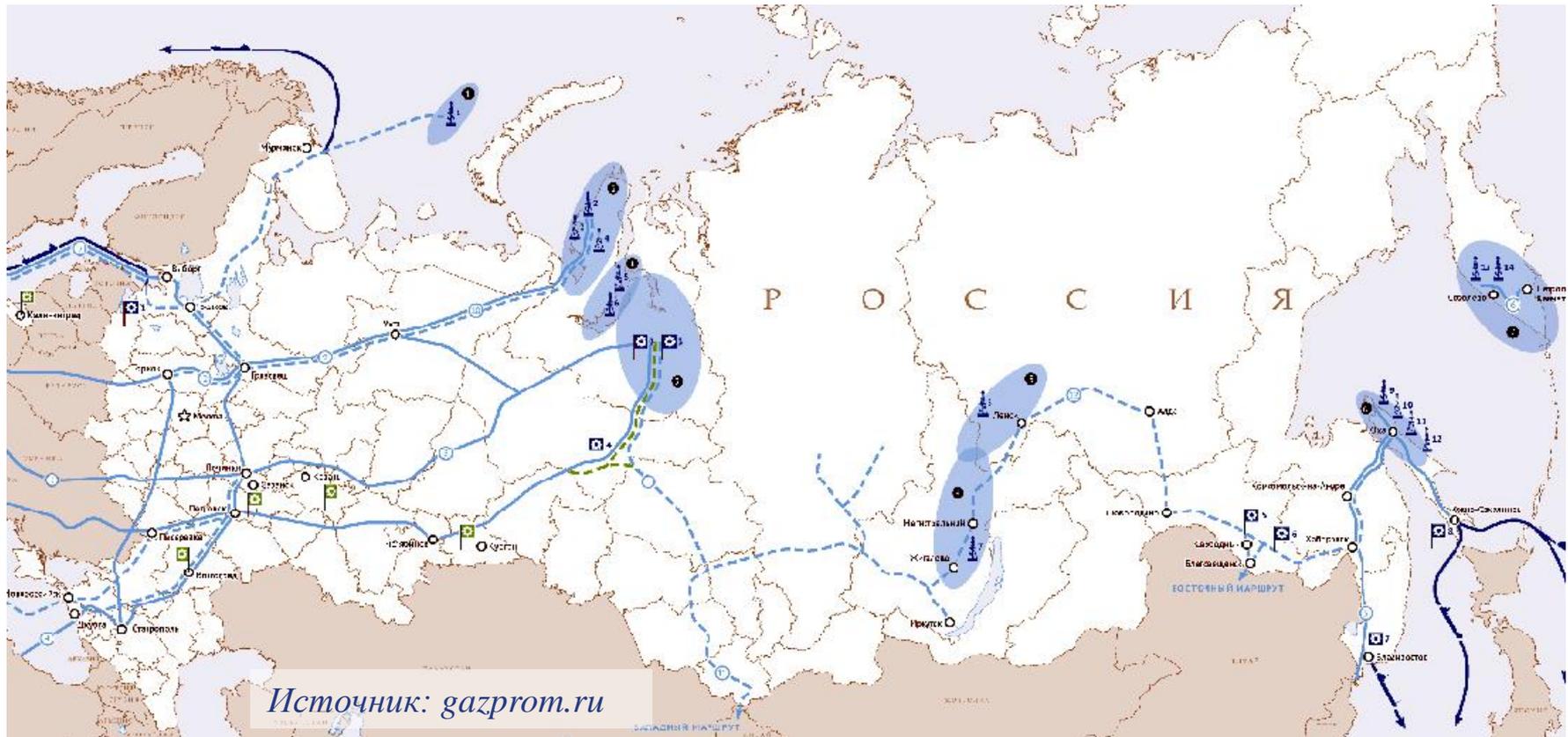


Источник: NREL, 2017

- ❖ **Степень централизации электроснабжения в России:**
Установленная мощность электростанций:
централизованная зона 254 ГВт (94,6%); децентрализованная зона - **14 ГВт (5,4%)**.
Производство электроэнергии:
централизованная зона 1089 ТВт·ч (98,3%); децентрализованная - **18 ТВт·ч (1,7%)**.
- ❖ **Повышение конкурентоспособности отечественной экономики**
(снижение цен на электроэнергию, в т.ч. сетевой составляющей – от 50% у некоторых групп потребителей до 70% у сельских потребителей).
- ❖ **На 2/3 территории отсутствует ЭЭС.**
- ❖ **Инфраструктурные ограничения в зоне централизованного электроснабжения**
ПАО «Россети»: в 2017 г. подано 475 тыс. заявок на присоединение в объеме 37 ГВт, заключено 363 тыс. договоров на 15 ГВт.
- ❖ **1/3 населения живет в децентрализованной зоне - улучшение условий жизни людей в сельской местности (в т.ч. путем использования ВИЭ и других местных ресурсов)**
- ❖ **Хозяйственное освоение северных территорий (с низкой плотностью нагрузки, отсутствием транспортной и энергетической инфраструктуры, суровыми климатическими условиями).**



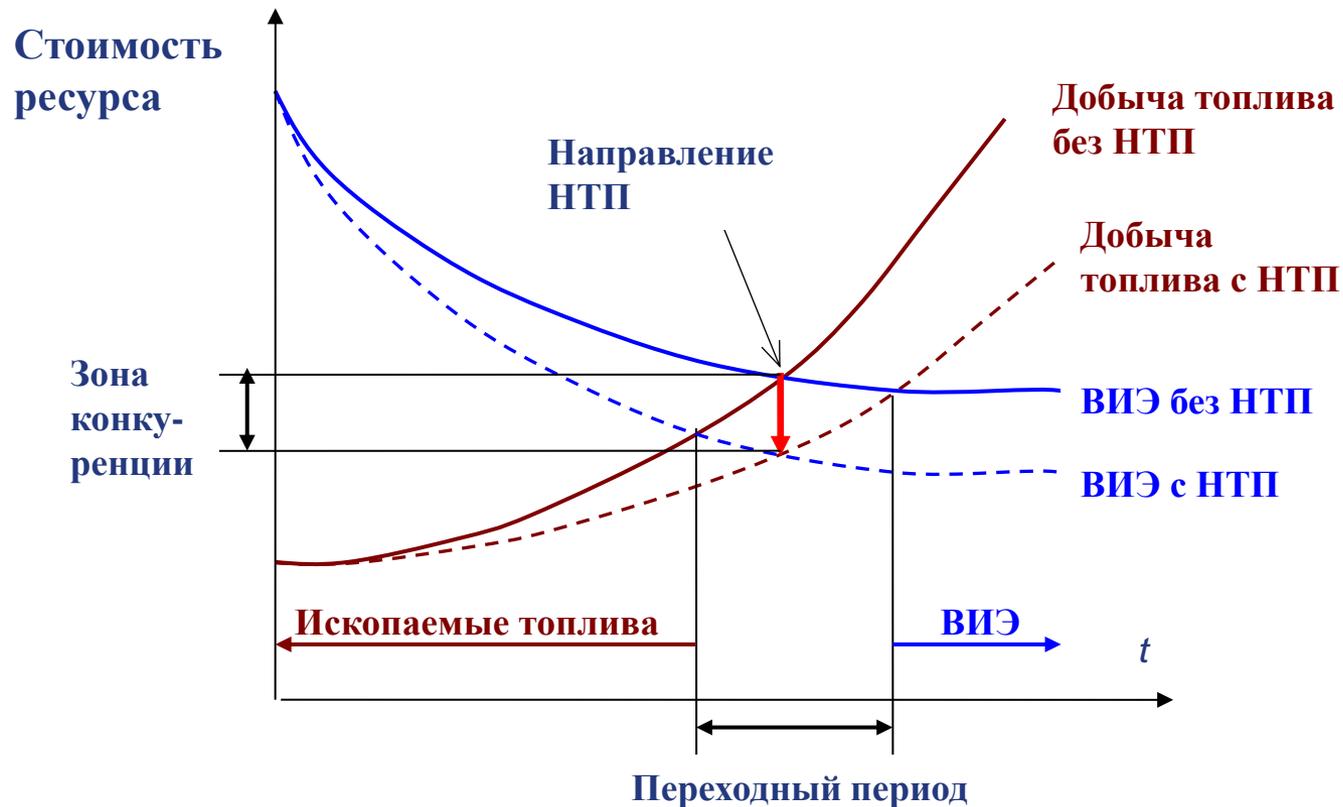
- При наличии природного газа -
комбинированная выработка электроэнергии и тепла на базе:
- ✓ газопоршневых установок;
 - ✓ газотурбинных установок, микротурбин;
 - ✓ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.



При отсутствии централизованной электроэнергии и природного газа - комплексные решения исходя из местных ресурсов:

- ✓ ВЭС / СЭС / мини-ГЭС + ДВС / накопители электроэнергии
- ✓ ВЭС / СЭС / мини-ГЭС + электролизер + газгольдер H_2 + топливные элементы
- ✓ миниТЭЦ на биомассе

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОНКУРЕНЦИЯ ИСКОПАЕМЫХ ТОПЛИВ И ВИЭ



Исход борьбы ископаемых топлив и ВИЭ очевиден. Вопрос только во времени.

Масштабы и темпы использования ВИЭ по территории планеты будут неравномерными (определяются «качеством» ВИЭ и стоимостью органических топлив).

Фактор CO_2 : ВИЭ или ядерная энергетика?

Вероятной представляется перспектива: Природный газ + ВИЭ.

МИРОВЫЕ РЕСУРСЫ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ИХ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ



Мировые ресурсы природного газа, ТДж

Территориальное распределение
ресурсов газа, %

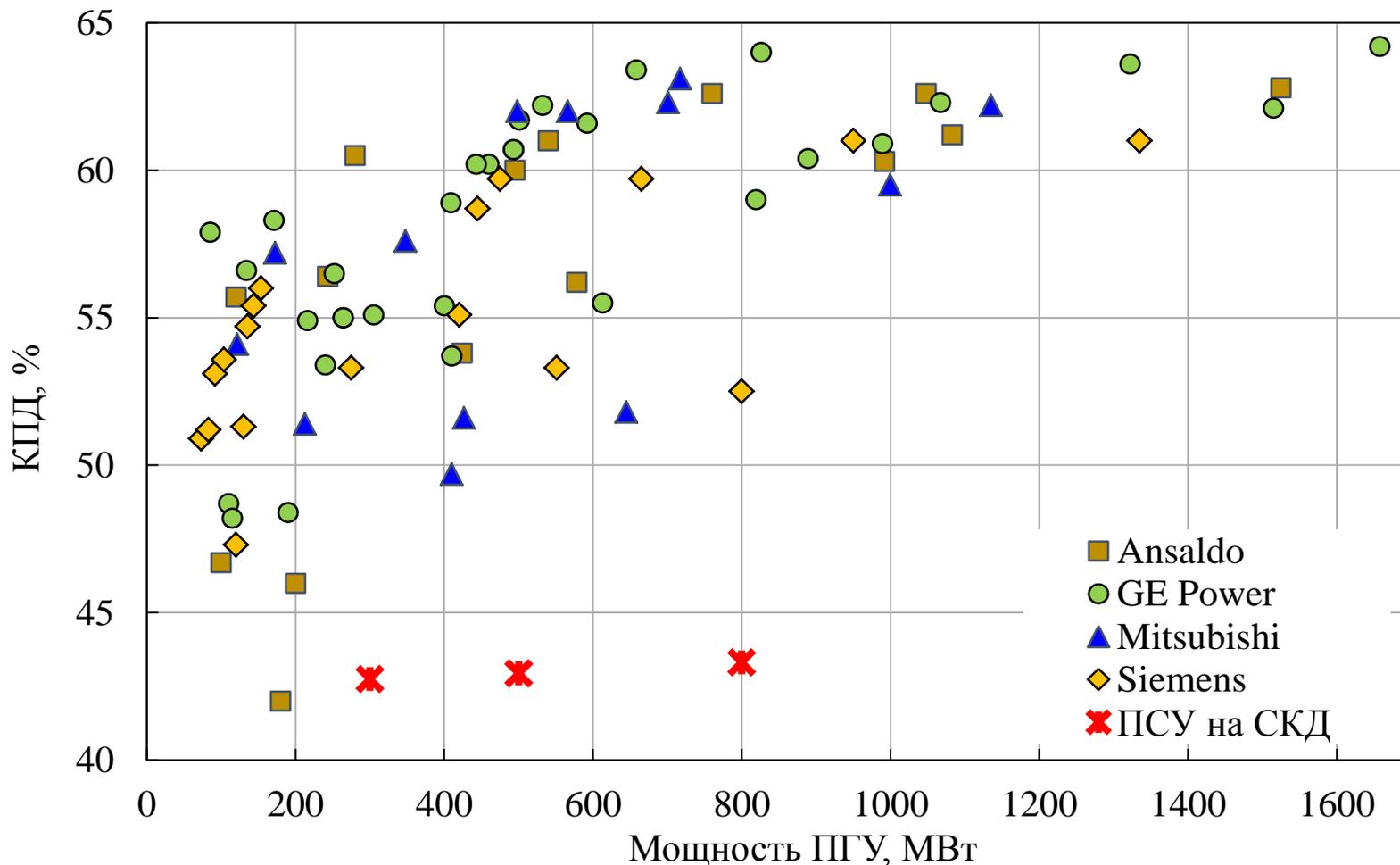
| $\frac{\$(1990)}{\text{тыс.м}^3}$ | млрд. ТДж | % | Обеспе- ченность, лет |
|-----------------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|
| 80 | 5,4 | 0,6 | 60 |
| 120-180 | 11,2 | 1,3 | 124 |
| 230-270 | 8,0 | 1,0 | 89 |
| 320 | 10,8 | 1,3 | 120 |
| 380 | 16,2 | 1,9 | 180 |
| 760 | 787,9 | 93,9 | 8754 |
| Всего: | 839,5 | 100,0 | 9328 |

| Регион | $\frac{\$(1990)}{\text{тыс.м}^3}$ | | | | |
|----------------|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 80 | 180 | 270 | 320 | 380 |
| Сев.Америка | 9,2 | 11,3 | 22,8 | 27,1 | 27,2 |
| Европа | 6,2 | 5,3 | 4,5 | 4,3 | 4,1 |
| Австралия | 1,6 | 0,5 | 7,6 | 11,6 | 11,6 |
| б. СССР | 30,4 | 41,4 | 24,3 | 17,4 | 17,6 |
| Лат. Америка | 5,9 | 8,2 | 8,9 | 11,6 | 11,4 |
| Бл. Восток | 37,4 | 18,8 | 13,4 | 11,2 | 11,4 |
| Африка | 3,0 | 5,2 | 3,3 | 3,5 | 3,6 |
| Азия | 6,3 | 9,4 | 15,4 | 13,2 | 13,0 |

Доля ресурсов газа дешевых категорий – 2%.

Основные ресурсы дешевого газа – на Ближнем Востоке и бывшем СССР

- ❖ 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).*

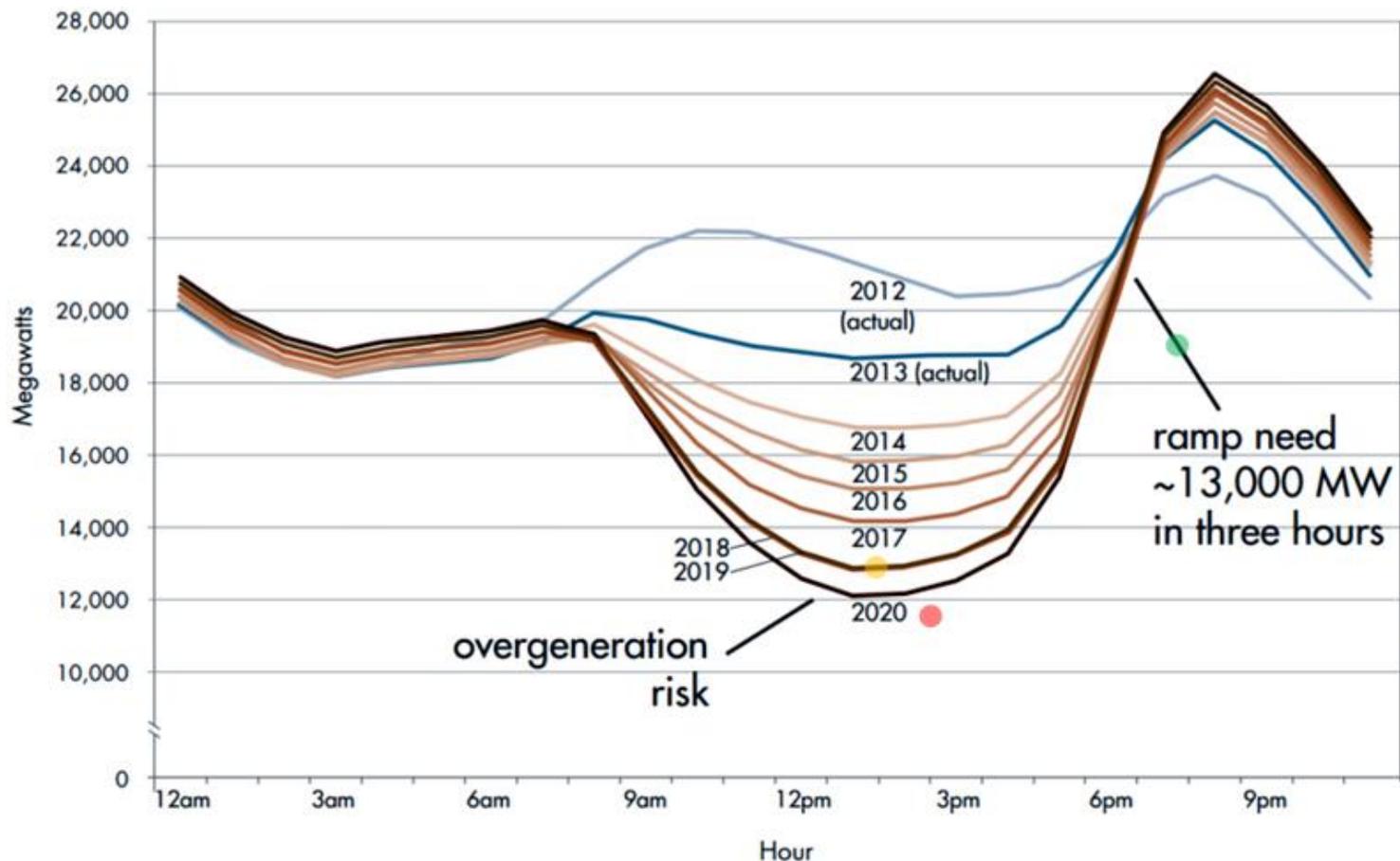


За 40 лет:

Рост КПД газовой генерации на 20 п.п.

Рост единичной мощности ГТУ в 5 раз, ПГУ-блоки 1600 МВт – реальность.

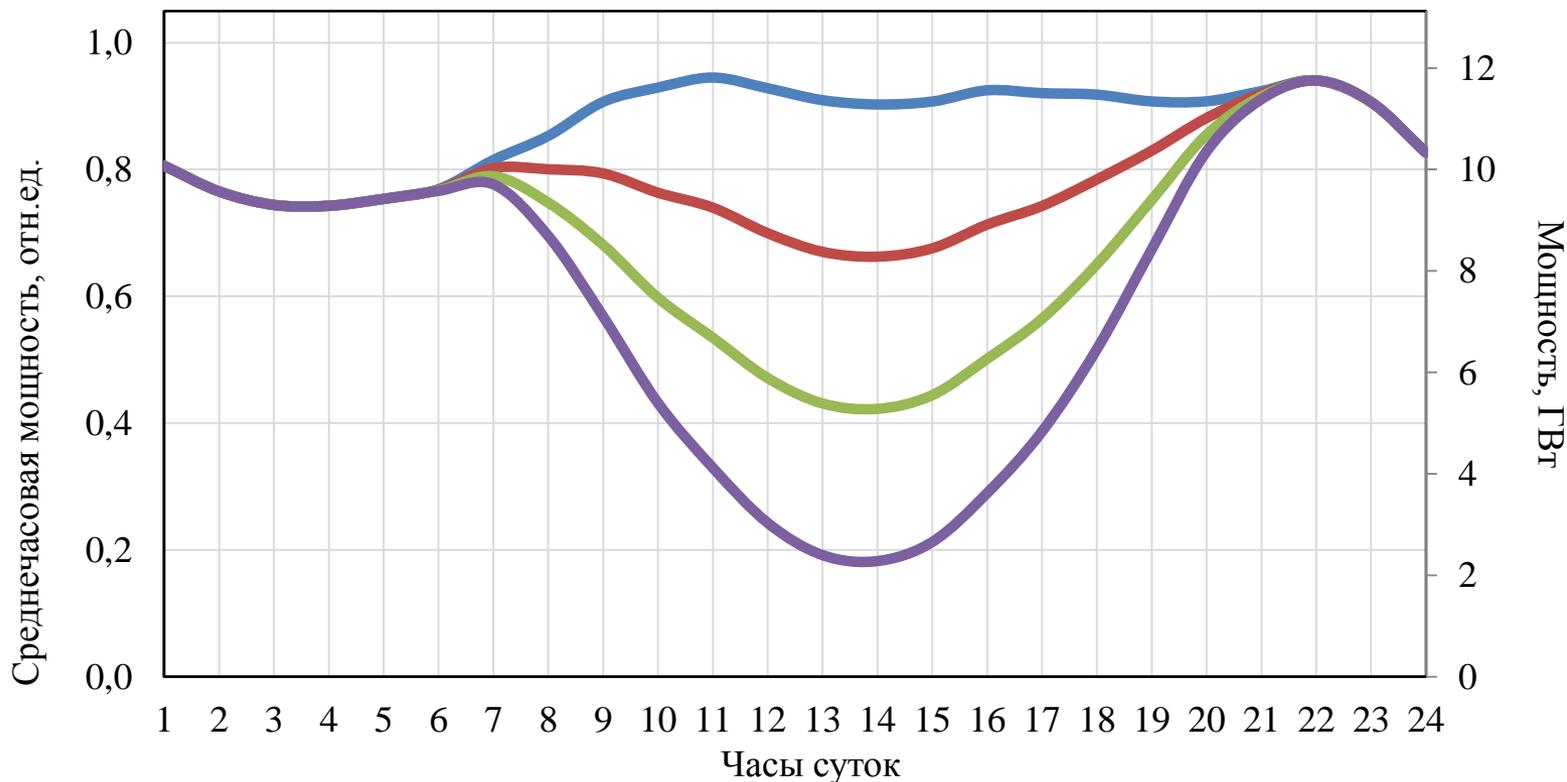
«КАЛИФОРНИЙСКАЯ УТКА»



- - 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

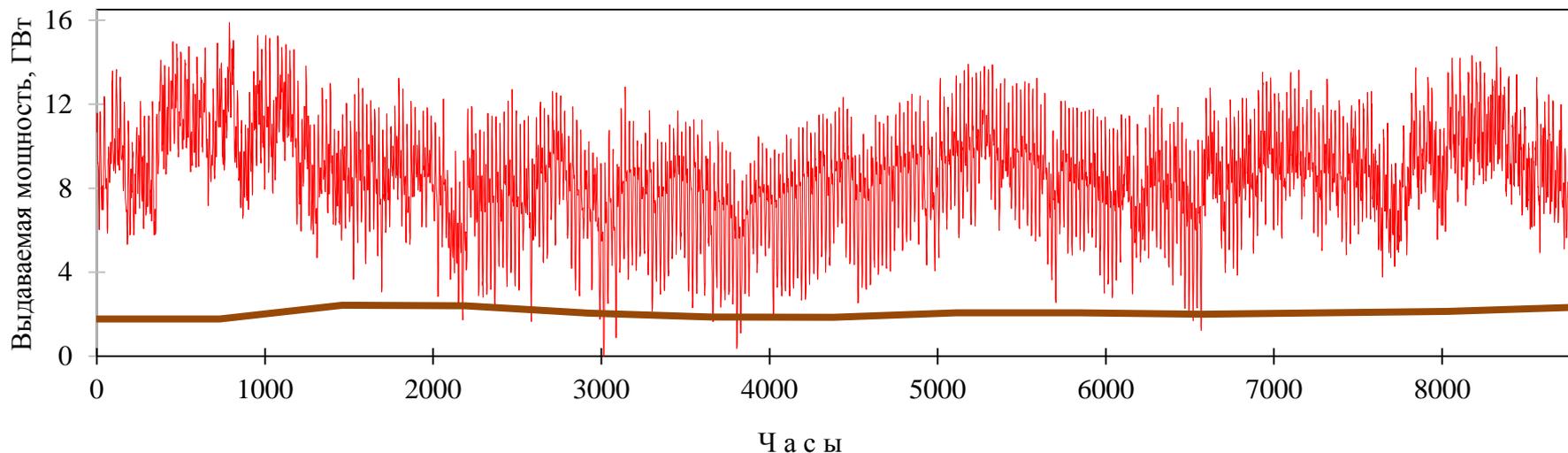
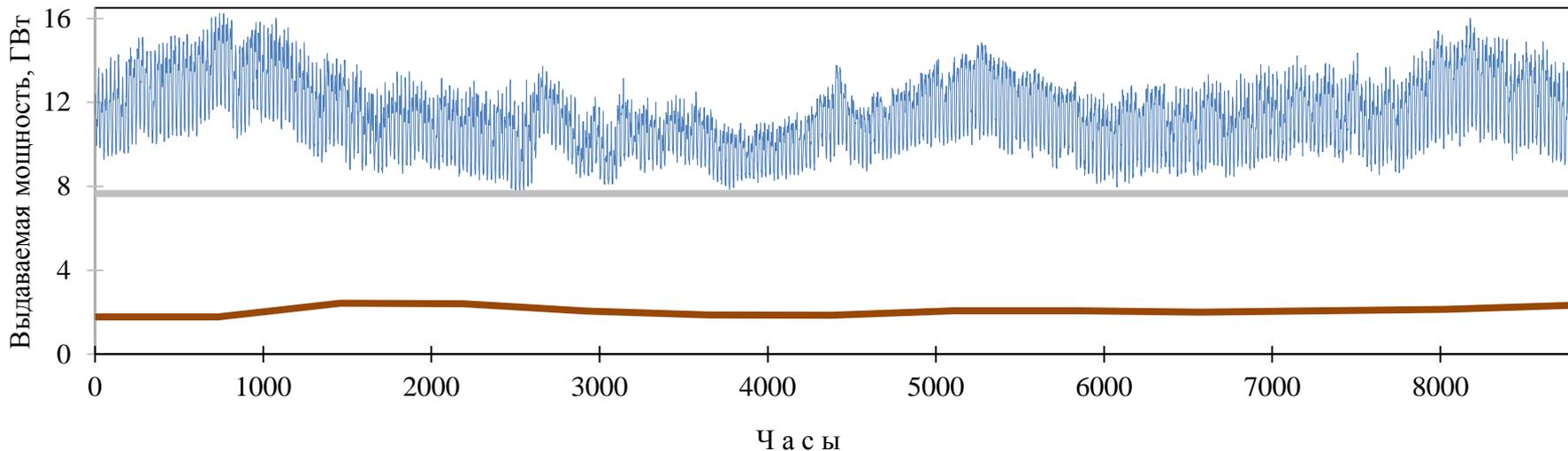


Доля СЭС в годовой выработке ОЭС, %:

— - <1 (2017 г.)
 — - 5
 — - 10
 — - 15

Режим энергопотребления 15 июля

ВЫРАБОТКА ОЭС ЮГА, 2017 Г.



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

УСТАНОВЛЕННЫЕ МОЩНОСТИ АЭС В СОСТАВЕ ОЭС, 2017 Г.



| 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 |

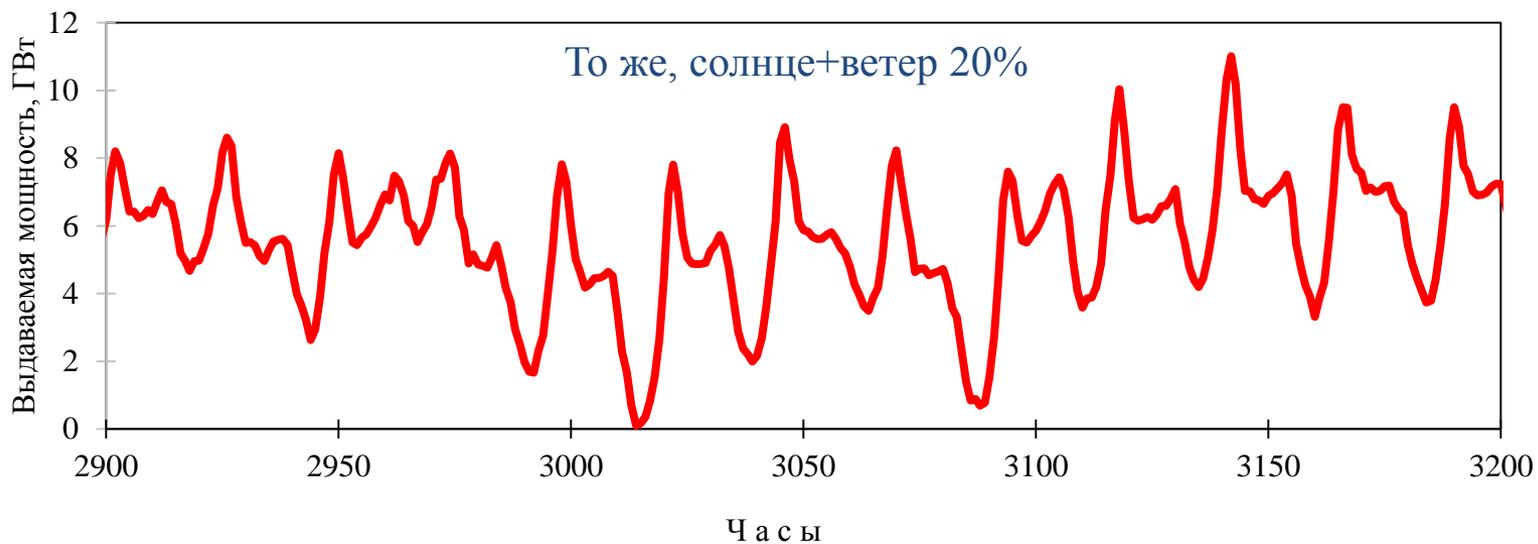
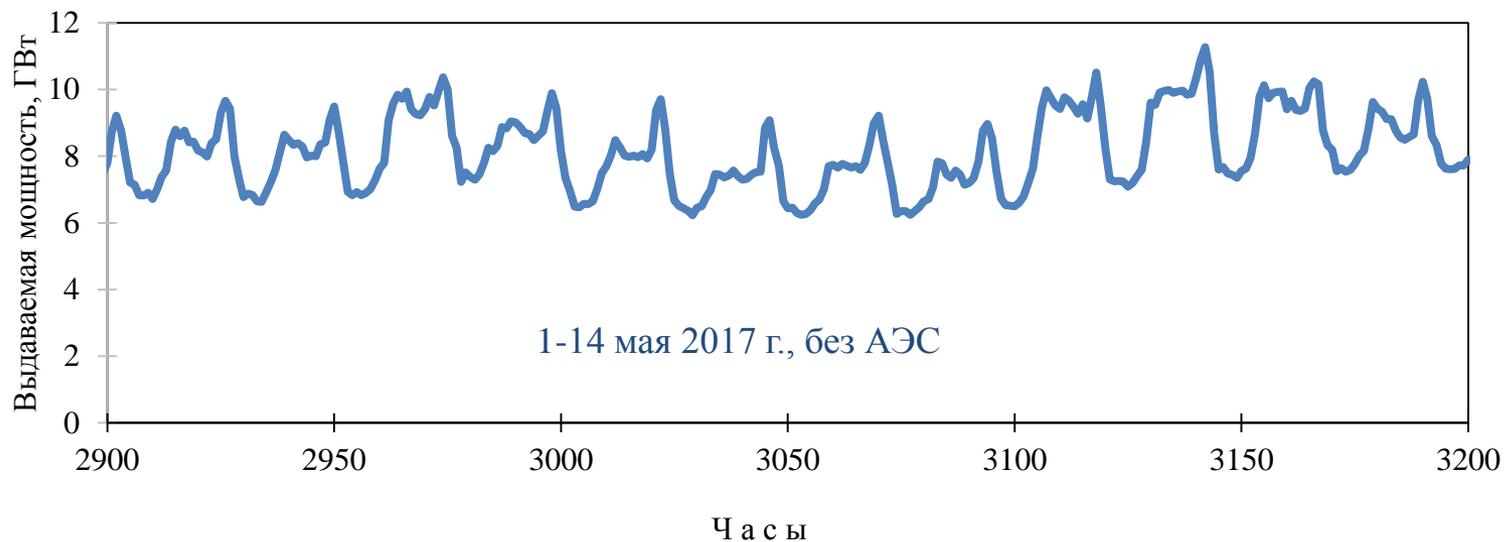
Источники данных: СО ЕЭС, Росстат

Проект Энергостратегии-2035:

- общая установленная электрическая мощность возрастет на 13-16%;
- установленная мощность АЭС возрастет на 28-38%.

Фактор влияния ВИЭ на базовую нагрузку будет усиливаться.

РЕЖИМЫ ТЭС БЕЗ ВИЭ И ПРИ МАССОВОМ ВНЕДРЕНИИ ВИЭ



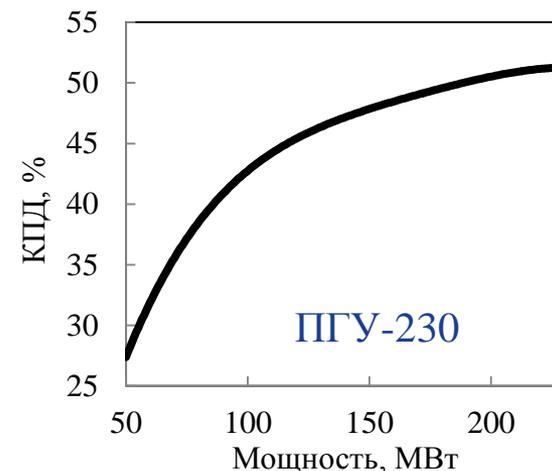
ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗБЫТОЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВИЭ ДЛЯ ПГУ



- ❖ Снижение КИУМ
- ❖ Работа в неоптимальных режимах с пониженным КПД (см. рисунок)
- ❖ Дополнительный расход топлива на многочисленные пуски
- ❖ Снижение надежности за счёт работы в переходных режимах, повышение затрат на ремонт
- ❖ Снижение эквивалентного ресурса и вследствие этого снижение времени до капремонта и полной замены блока

**Итог: Рост себестоимости
вырабатываемой энергии**

**Аналогичные последствия для
угольных ТЭС.**



Расчеты ОАО ВТИ для
ПГУ-450:
при ускоренном на 46 мин
наборе мощности из
остывшего состояния
(70°C) по сравнению с
график-заданием
эквивалентная наработка
разных элементов и узлов
увеличивается на 13-68 ч
на 1 пуск.

ВИЭ И ТРАДИЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИКА: НАЧИНАЮТСЯ ПРОБЛЕМЫ



При благоприятных для ВИЭ условиях образуется избыточная выработка, негативно влияющая на режимы энергосистем.

- ✓ Пока проблема решается передачей избыточной электроэнергии в соседние страны (Дания, Германия и др.) (*экстенсивный путь, имеет пределы*).
- ✓ В ряде случаев избыточная генерация ВИЭ снижается либо отключается (*снижение экономической эффективности*).
- ✓ Китай: избыток энергии ВЭУ, «запертый» из-за неготовности сетевой инфраструктуры, было решено использовать на электроотопление (*снижение экономической эффективности*).
- ✓ Чехия: сетевая инфраструктура не справляется с перетоками «зеленой» энергии из Германии и нуждается в усилении (*дополнительные затраты*).
- ✓ США: балансирующие электростанции на базе ГПУ (*дополнительные затраты*).
- ✓ Негативное влияние на работу современных мощных ПГУ (*низкий КИУМ ТЭС*).

Результат: Высокие среднегодовые тарифы на электроэнергию.

МЕРЫ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ВИЭ НА ТРАДИЦИОННУЮ ГЕНЕРАЦИЮ



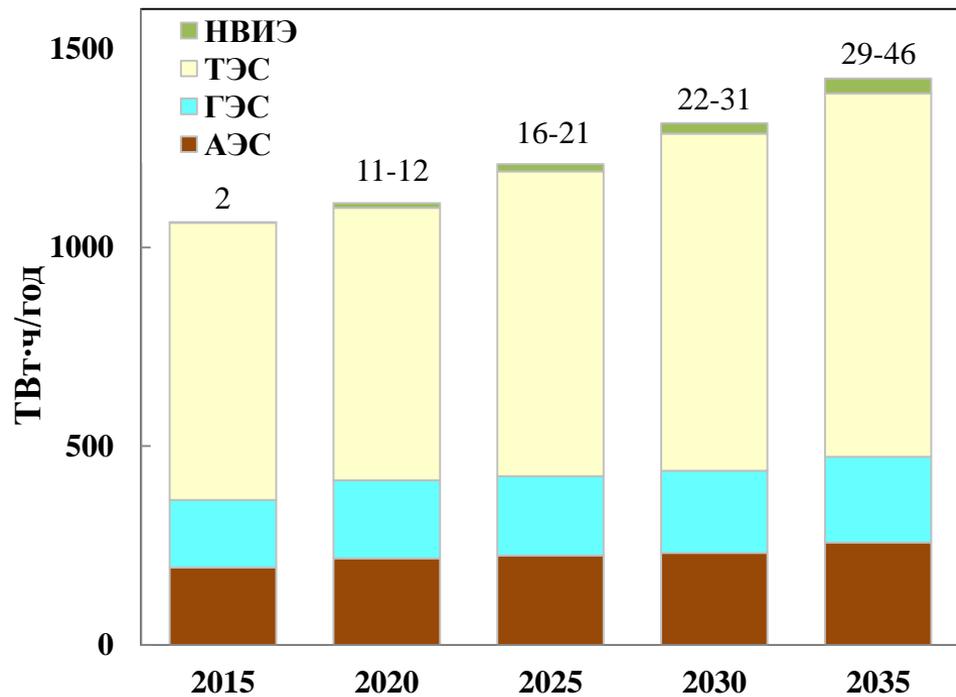
- ❖ Технологии аккумулирования электроэнергии на уровне энергосистемы и потребителей (*интеграция в ЭЭС мощных электрохимических накопителей - очень дорого + плохие массо-емкостные показатели, КПД, саморазряд, ресурс на число циклов*).
- ❖ Маневренные «балансирующие» электростанции – газотурбинные, газопоршневые (*работают ГТУ простого цикла будут с низким КИУМ, с низким КПД, в неэкономичных топливозатратных режимах*).
- ❖ Повышение маневренных характеристик ПГУ и современных угольных блоков, адаптация их к резко переменным графикам нагрузки; оптимизация графиков-заданий электростанций.

! Экономия первичного топлива за счет ВИЭ снижается из-за его перерасхода на ТЭС.

До некоторых пор "эффект масштаба" работает на снижение удельной стоимости ВИЭ. При всё более массовом их внедрении и возрастающем вкладе в генерацию проявляются негативные системные эффекты, преодоление которых существенно повышает затраты.

"Эффект масштаба" начинает повышать фактическую стоимость ВИЭ.

ОРИЕНТИРЫ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ НА 2035 Г.



Энергетическая стратегия до 2035 г. (проект):
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**.

Направления технологического развития:

- ✓ Ветрогенераторы большой мощности наземные и морские.
- ✓ Каскадные ФЭП с использованием полного спектра солнечного излучения
- ✓ Электрохимические аккумуляторы и суперконденсаторы;
- ✓ Аккумуляция энергии ВИЭ в водородном цикле.
- ✓ Массовое внедрение электромобилей и новая энергетика на их основе - ?
- ✓ Дальние магистральные ЛЭП постоянного тока для передачи энергии ВИЭ - ?
(Китай: ЛЭП на DC ± 800 и ± 1100 кВ, возможность передачи до 9-15 ГВт на 9-15 км).

- ❖ Необходим системный подход к развитию энергетики страны, учитывающий интересы всех «игроков» отрасли и главное - оплачивающих всё потребителей.
- ❖ Для устойчивого развития энергетики необходимо адаптивное развитие всех перспективных технологий генерации.
- ❖ В мире и в России создана мощная индустрия ВИЭ, и она будет развиваться.
- ❖ Долгосрочные перспективы развития ВИЭ в России будут связаны с развитием технологий и политикой по декарбонизации.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

При поддержке Минобрнауки России,
идентификатор проекта RFMEFI60117X0014

