

Методические указания по проектированию энергосистем (обоснование перспективной структуры генерирующих мощностей и размещения новых генерирующих мощностей)

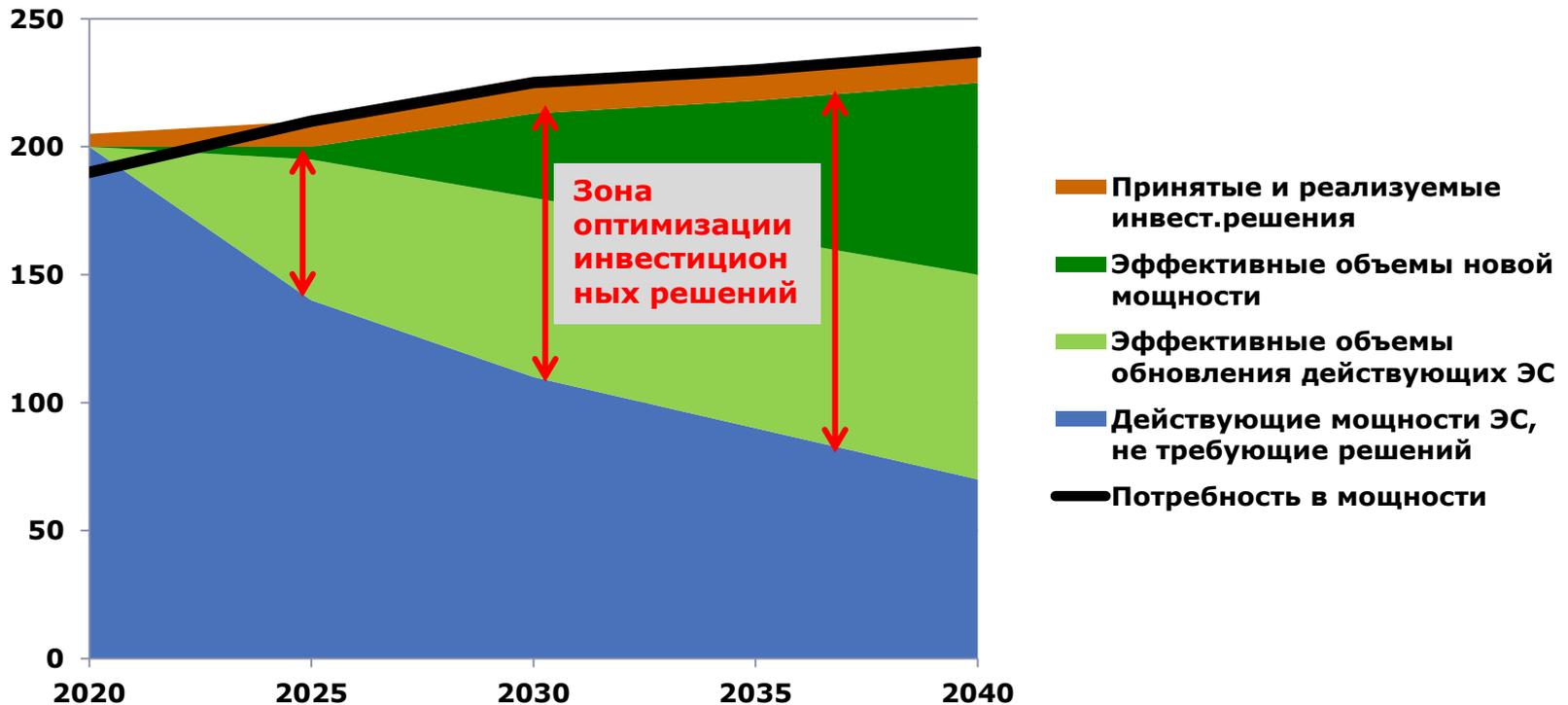
Федор Веселов, Павел Полудницын

Совещание в Минэнерго России по обсуждению Методуказаний по проектированию энергосистем

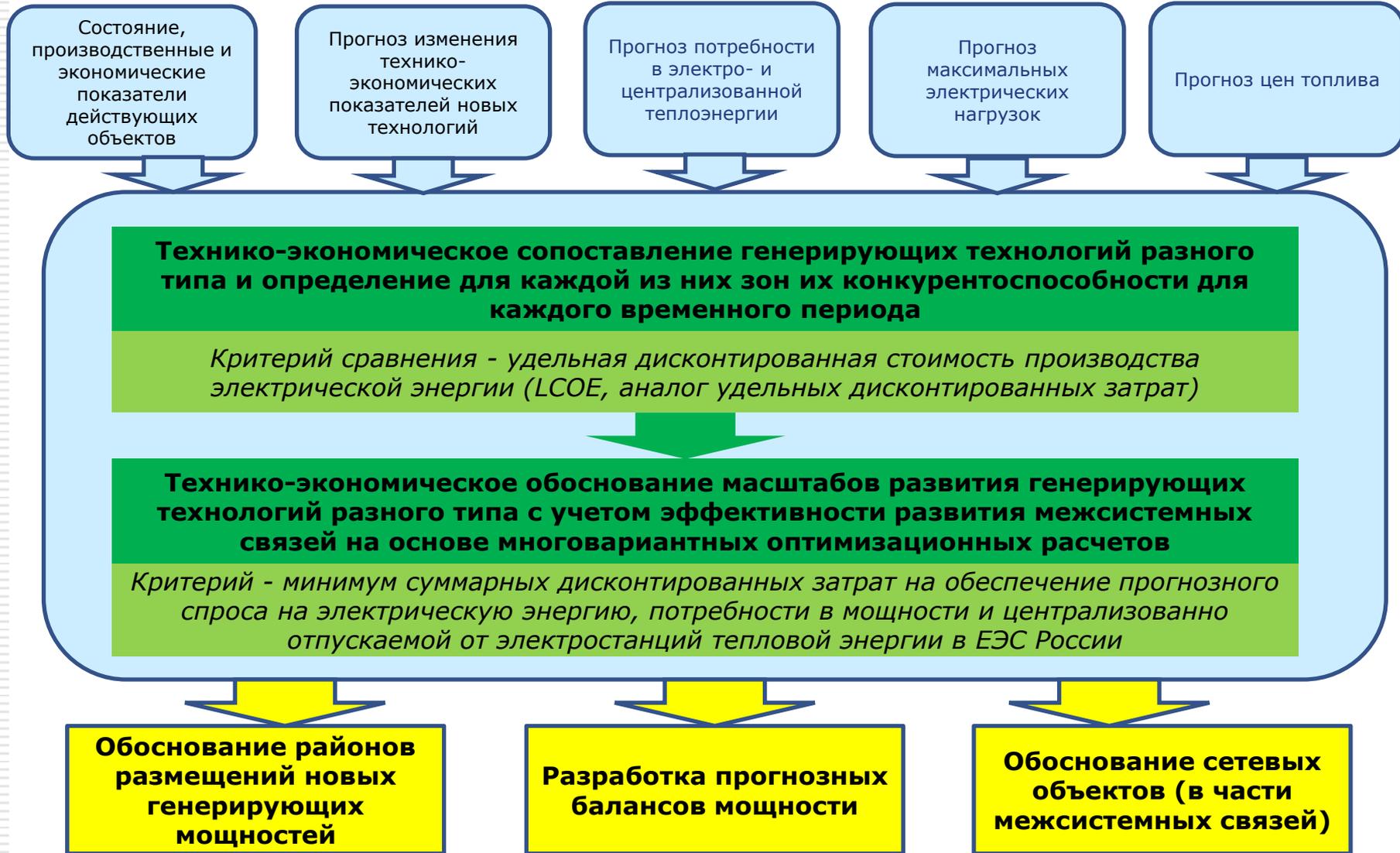
Москва, июль 2019

Назначение и область применения

- Цель обоснования рациональной перспективной структуры генерирующих мощностей в ЕЭС России является комплексная оценка масштабов нового строительства, расширения, реконструкции и модернизации (технического перевооружения), вывода из эксплуатации генерирующих мощностей разных типов, а также развития межсистемных электрических связей
- Выполняется при разработке генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики и мониторинге ее реализации



Обоснование перспективной структуры генерирующих мощностей



Уровень научной проработки и апробации методики

- Соответствует российской и мировой практике прогнозирования и обоснования приоритетов развития энергосистем (анализ по удельной стоимости, LCOE, оптимизационные методы least-cost planning)
- Имеет широкий спектр модельных комплексов (российских и зарубежных), позволяющих выполнять многовариантные оптимизационные расчеты
- Применение в отрасли 20+ лет:
 - Разработка сценариев развития электроэнергетики в циклах Энергетической стратегии, стратегиях (схемах) развития топливных отраслей и компаний (оптимизация структуры электроэнергетики совместно с развитием топливных отраслей)
 - Разработка прогнозов структуры генерирующих мощностей в циклах Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики
 - Разработка научно-методических основ и апробация в рамках НИР Минэнерго РФ (2013 год)

Технико-экономическое сопоставление генерирующих технологий разного типа по показателю удельной дисконтированной стоимости производства электрической энергии

$$LCOE_{i,r,g} = \frac{\sum_{t=5:g}^{T_i^{cmp} + T_i^{эксн} + T_i^{дем}} \left(KB_{i,r,t} + I_{i,r,t}^{монл} + I_{i,r,t}^{носм} + Z_{i,r,t}^{дем} \right) \cdot (1+d)^{-t}}{\sum_{t=5:g}^{T_i^{эксн}} W_{i,r,t}^{омн} \cdot (1+d)^{-t}}$$

Особенности оценки эффективности инвестиционных решений при расчете LCOE:

- учитываются только прямые материальные затраты (капиталовложения, топливо, эксплуатационные затраты, затраты на демонтаж)
- не учитываются амортизационные отчисления, налоговые платежи и расходы, связанные с обслуживанием привлеченного и собственного капитала

Основные типы задач для технико-экономических сравнений:

- строительство новых КЭС на газе, угле или АЭС с учетом стоимости выдачи их мощности
- варианты реконструкции и замены оборудования на действующих ТЭС
- развитие ТЭЦ разной крупности и с разным составом оборудования в сопоставлении с раздельной схемой (КЭС + котельная)
- строительство ГЭС с учетом условий использования их установленной мощности в графике нагрузки, вариантов выдачи мощности и конкуренции с ТЭС
- сопоставление пиковых источников на базе ГАЭС и ГТУ а также комплексов пиковых и базисных генерирующих мощностей АЭС+ГАЭС и КЭС+ГТУ



Технико-экономическое сопоставление генерирующих технологий разного типа по показателю удельной дисконтированной стоимости производства электрической энергии

Экономический смысл LCOE – постоянная во времени цена электроэнергии, обеспечивающая безубыточность инвестиций при оценке общественной эффективности проекта: $NPV(LCOE)=0$

$$NPV = \sum_{t=1}^T \underbrace{Ц_{э\text{э}} \cdot W_t \cdot \frac{1 - \alpha_{\text{соб.нужд}}}{(1+d)^t}}_{\text{Выручка}} - \sum_{t=1}^T \underbrace{\frac{КВ_t + \text{Топл}_t + \text{Пост}_t + \text{Дем}_t + \text{Выбр}_t}{(1+d)^t}}_{\text{Затраты}}$$

$$\sum_{t=1}^T Ц_{э\text{э}} \cdot W_t \cdot \frac{1 - \alpha_{\text{соб.нужд}}}{(1+d)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{КВ_t + \text{Топл}_t + \text{Пост}_t + \text{Дем}_t + \text{Выбр}_t}{(1+d)^t}$$

$$Ц_{э\text{э}} = LCOE = \text{const}$$

$$LCOE \cdot \sum_{t=1}^T W_t \cdot \frac{1 - \alpha_{\text{соб.нужд}}}{(1+d)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{КВ_t + \text{Топл}_t + \text{Пост}_t + \text{Дем}_t + \text{Выбр}_t}{(1+d)^t}$$

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{КВ_t + \text{Топл}_t + \text{Пост}_t + \text{Дем}_t + \text{Выбр}_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^T W_t \cdot \frac{1 - \alpha_{\text{соб.нужд}}}{(1+d)^t}}$$

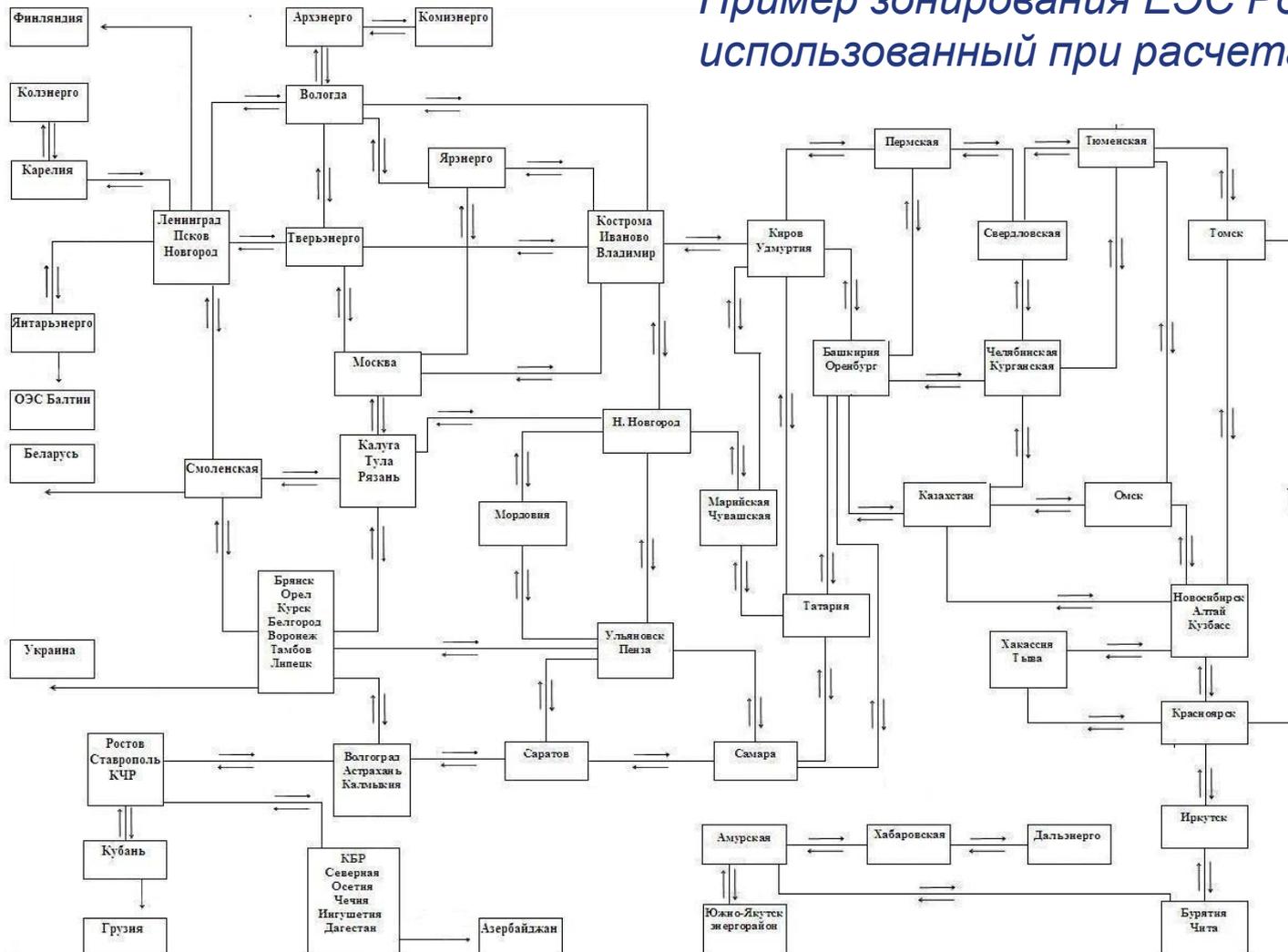
Технико-экономическое обоснование масштабов развития генерирующих технологий разного типа с учетом эффективности развития межсистемных связей на основе многовариантных оптимизационных расчетов

Расчетная многозонная модель ЕЭС России обеспечивает агрегированное представление электрических станций (структура генерирующих мощностей) и объектов электрической сети:

- Агрегированное представление электрической сети представляет собой совокупность:
 - **энергозон**, выделяемых в ЕЭС России в границах одной или совокупности нескольких смежных территориальных энергосистем, внутри которых принимается допущение об отсутствии ограничений на передачу мощности и неизменном уровне цен топлива
 - **межсистемных связей** между энергозонами, пропускная способность которых определяется с учетом фактической пропускной способности контролируемых сечений электрической сети и решений усилению электрической сети в зоне влияния межсистемной связи (сечения), утвержденных на предшествующем этапе перспективного планирования
- Агрегированное представление электростанций в виде совокупности агрегированных групп с однородными признаками (далее – генерирующие технологии):
 - состояние оборудования;
 - используемый первичный энергоресурс;
 - тип генерирующего оборудования;
 - признак крупности объекта (объекты малой генерации до 25 МВт и прочие объекты генерации)

Технико-экономическое обоснование масштабов развития генерирующих технологий разного типа с учетом эффективности развития межсистемных связей на основе многовариантных оптимизационных расчетов

Пример зонирования ЕЭС России, использованный при расчетах Генсхемы



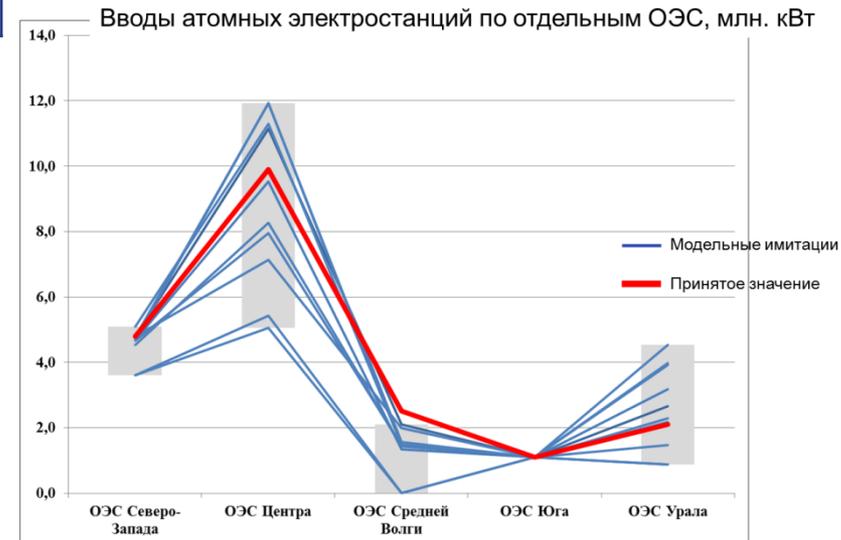
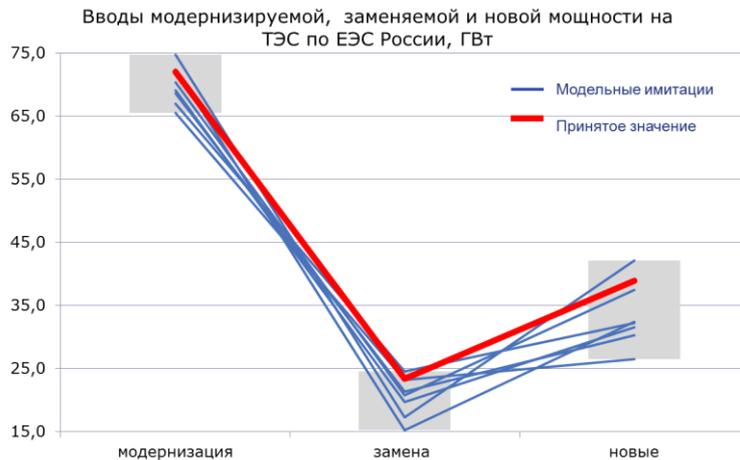
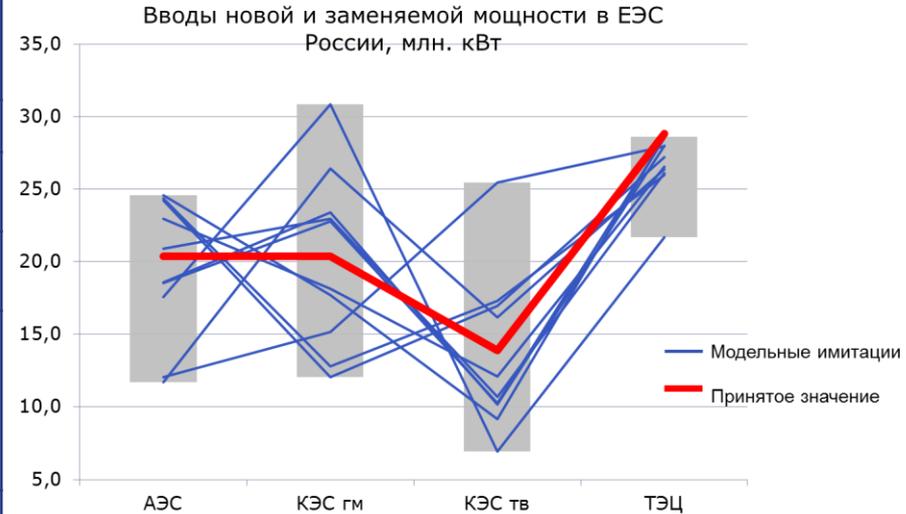
Технико-экономическое обоснование масштабов развития генерирующих технологий разного типа с учетом эффективности развития межсистемных связей на основе многовариантных оптимизационных расчетов

Методические указания определяют систему необходимых функциональных требований к организации и результатам расчетов, которые могут быть выполнены с использованием разных математических моделей.

- Оптимизационная задача обоснования эффективных масштабов развития генерирующих технологий и межсистемных электрических связей разного типа с учетом:
- **Граничных условий для переменных:**
 - установленной мощности и годового производства электрической энергии генерирующими технологиями разного типа
 - Пропускной способности существующих межсистемных электрических связей
- Системы балансовых и иных **уравнений** (ограничений задачи):
 - Баланса активной мощности на час годового максимума
 - Годового баланса электрической энергии
 - Годового баланс централизованно производимой тепловой энергии (с учетом конкуренции с котельными)
 - Ограничениям по ресурсами топлива, объемам эмиссии
- **Целевой функции** (критерия оптимизации), отражающей минимум суммарных дисконтированных затрат на обеспечение прогнозного спроса на электрическую энергию, потребности в мощности и централизованно отпускаемой от электрических станций тепловой энергии в ЕЭС России за весь расчетный период + 20 лет.

Многовариантная оптимизация структуры генерирующих мощностей

Варьируемые факторы	Обновление действующих ТЭС	Развитие теплофикации	Развитие общесистемных электростанций (КЭС и АЭС)
Цены топлива	Цена газа $\Delta \pm 10\%$		
Стоимость строительства	Сарех замены на ПГУ $\Delta \pm 10-15\%$	Сарех новых ТЭЦ $\Delta \pm 10-15\%$	Сарех новых КЭС и АЭС $\Delta \pm 10-15\%$
Спрос	Электроэнергия $\Delta \pm 5-7\%$	Тепло $\Delta \pm 2-3\%$	Электроэнергия $\Delta \pm 5-7\%$
Другие факторы	меры стимулирования обновления (доля нового оборудования во вводах от 20% до 100%)	внедрение распределенной генерации - (замещение до 10% котельных на мини-ТЭЦ)	количество районов потенциального размещения новых АЭС и КЭС
Кол-во модельных вариантов	10	8	11



Формирование рациональной структур генерирующих мощностей по результатам многовариантных расчетов



Обоснование размещения новых генерирующих мощностей

- Выполняется на основе рациональной перспективной структуры генерирующих мощностей ЕЭС России – определяются приоритетные для размещения типы генерирующих технологий
- Задача размещения ТЭЦ решается в рамках схем теплоснабжения
- При выборе районов размещения учитываются:
 - возможность размещения (наличие территории), в т.ч. на существующих площадках;
 - наличие источника технического водоснабжения;
 - возможность доставки топлива (в т.ч. наличие подъездных путей);
 - соблюдение норм и требований по охране окружающей среды и радиационной безопасности;
 - наличие солнечного (для СЭС) или ветряного (ВЭС) потенциала;
 - водно-энергетические показатели створов рек (для ГЭС).
- Возможные районы размещения новых генерирующих мощностей определяются на основании:
 - кадастры площадок размещения АЭС и ТЭС;
 - предложения органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, субъектов электроэнергетики, потребителей электроэнергии по размещению генерирующих мощностей;
 - схемы использования гидроэнергетических ресурсов рек и кадастра перспективных створов водохранилищ;
 - г) карты (атласы) размещения возобновляемых ресурсов с выделением районов

Обоснование размещения новых генерирующих мощностей

- Альтернативные варианты размещения генерирующих мощностей:
 - на разных площадках, в т.ч. расширение действующих станций
 - с оборудованием разной единичной мощности
 - другой тип генерирующей мощности (при его наличии в перспективной структуре мощностей)
 - сопутствующие решения по развитию электрической сети для выдачи мощности в привязке к существующим или вновь сооружаемым подстанциям
- Выбор альтернативного варианта с учетом:
 - соответствия площадки техническим требованиям для возможного размещения электростанции
 - особенностей технико-экономических показателей электростанций при разных вариантах размещения (прежде всего – разница в капитальных затратах при применении разных технических решений или затратах на инфраструктуру (топливо, вода))
 - капиталовложений в электросетевые объекты для выдачи мощности

$$LCOE_{n,r,g^*} = \frac{\sum_{t=\tau_g^*+1}^{T_{n,r}^{cmp} + T_{n,r}^{эксн} + T_n^{дем}} (KB_{n,r,t} + KB_{n,r,t}^{свм} + I_{n,r,t}^{монл} + I_{n,r,t}^{носм} + Z_{n,r,t}^{дем}) \cdot (1+d)^{-t}}{\sum_{t=\tau_g^*+1}^{T_{n,r}^{эксн}} W_{n,r,t}^{омн} \cdot (1+d)^{-t}}$$

При одинаковых технико-экономических показателях электростанций по вариантам размещения задача сводится к минимизации затрат на схему выдачи мощности

Институт энергетических исследований РАН (ИНЭИ РАН)

www.eriras.ru

Федор Веселов, к.э.н., зам. директора

info@eriras.ru, erifedor@mail.ru

АО «Институт ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

www.aoesp.ru

Павел Полудницын, ЕЦК АО "Институт "ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ"

poludnitsyn_p@aoesp.ru

Спасибо за внимание!