

Экономическая оценка системных эффектов при изменении структуры мощностей

Аликин Р.О., Городилов М.А., Люшнин Л.С.

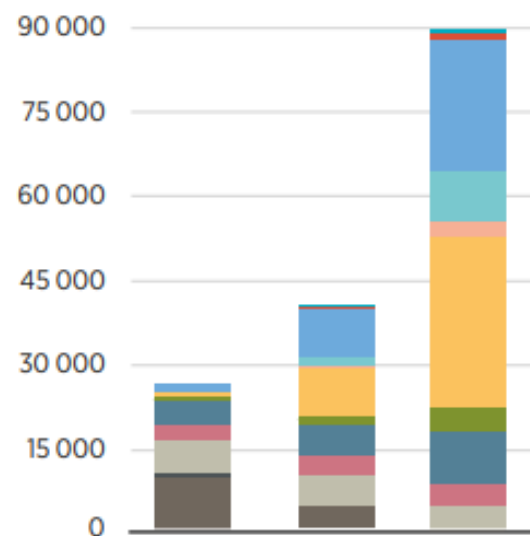
Институт энергетических исследований РАН

Ноябрь, 2025



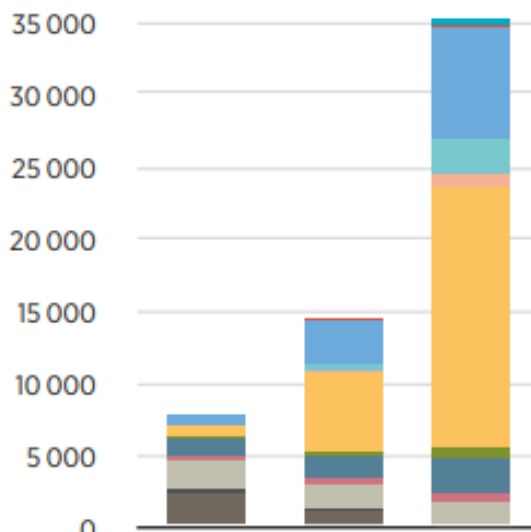
Структура мировой электроэнергетики по сценарию 1.5°C

Генерация (ТВт*ч)



Год	2020	2030 1.5-S	2050 1.5-S
Доля безуглеродных технологий	28%	68%	91%
Доля ВИЭ	9%	46%	70%

Мощность (ГВт)



Год	2020	2030 1.5-S	2050 1.5-S
Доля безуглеродных технологий	37%	77%	94%
Доля ВИЭ	19%	62%	81%

- Приливные/волновые
- Геотермальные
- ВЭС
- ВЭС (морские)
- СЭС (CSP)
- СЭС (PV)
- Биотопливо
- ГЭС (без ГАЭС)
- АЭС
- Газ
- Нефть
- Уголь

Доля безуглеродных технологий

Доля ВИЭ

Источник: International Renewable Energy Agency (IRENA) World Energy Transitions Outlook: 1.5°

Цель и задачи исследования

Цель:

- ❖ Разработать и апробировать подход к экономической оценке системных эффектов (СЭ)

Задачи:

- ❖ Сформировать классификацию СЭ и их экономических последствий.
- ❖ Определить модельный инструментарий и область применимости.
- ❖ Разработать методику экономической оценки СЭ
- ❖ Провести апробацию на сценариях развития ЕЭС России

Системные эффекты: определение и классификация

Системные эффекты - реакция энергосистемы на изменение условий функционирования и развития при интеграции новых технологий на стороне генерации и спроса.

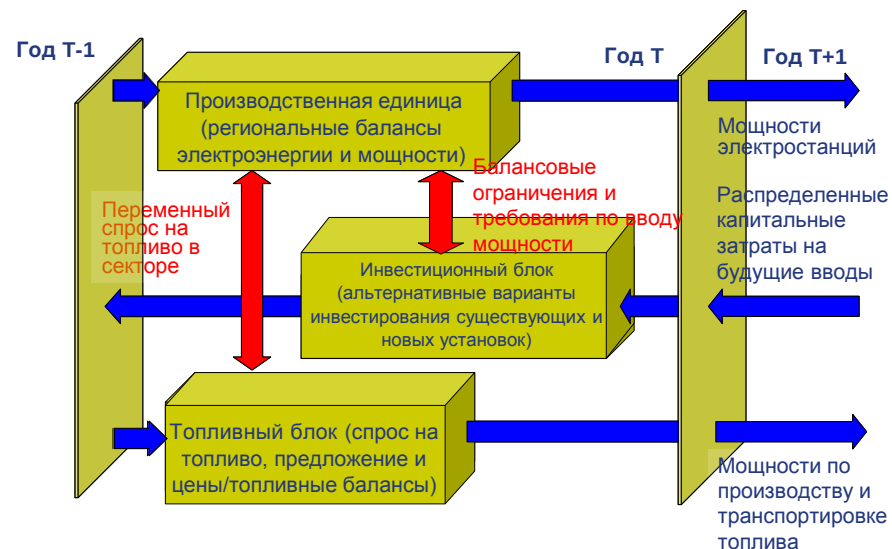
Системные эффекты можно классифицировать:

- По источнику: ВИЭ; СНЭЭ (системы накопления); электрификация транспорта/тепла; распределённая генерация и др.;
- По горизонту их проявления:
 - Операционные (краткосрочные): режимы работы (КИУМ), пуски-остановы, небалансы (избытки/дефициты), потери;
 - Инвестиционные (долгосрочные): вводы генерирующих, аккумулирующих и сетевых мощностей;
- По экономическим последствиям:
 - эксплуатационные затраты (ОРЕХ);
 - оптовые цены электроэнергии (РСВ);
 - выручка генераторов;
 - капитальные вложения / инвестиционная нагрузка (CAPEX)

Характеристика модели EPOS

EPOS — линейная динамическая оптимизационная модель развития генерирующих мощностей и межсистемных связей в ЕЭС России

- ❖ горизонт планирования до 2050 года с (расширен до 2070 года)
- ❖ более 400 крупных существующих и планируемых электростанций
- ❖ более 50 видов новых генерирующих технологий (включая резерв)
- ❖ оптовые балансы электроэнергии по 42 узлам с перетоками по ЛЭП
- ❖ балансы централизованного теплоснабжения и розничные балансы электроэнергией по 80 регионам
- ❖ только базовая проверка запаса гибкости
- ❖ различные меры по регулированию выбросов CO₂
- ❖ может быть расширен за счет охвата газового и угольного секторов

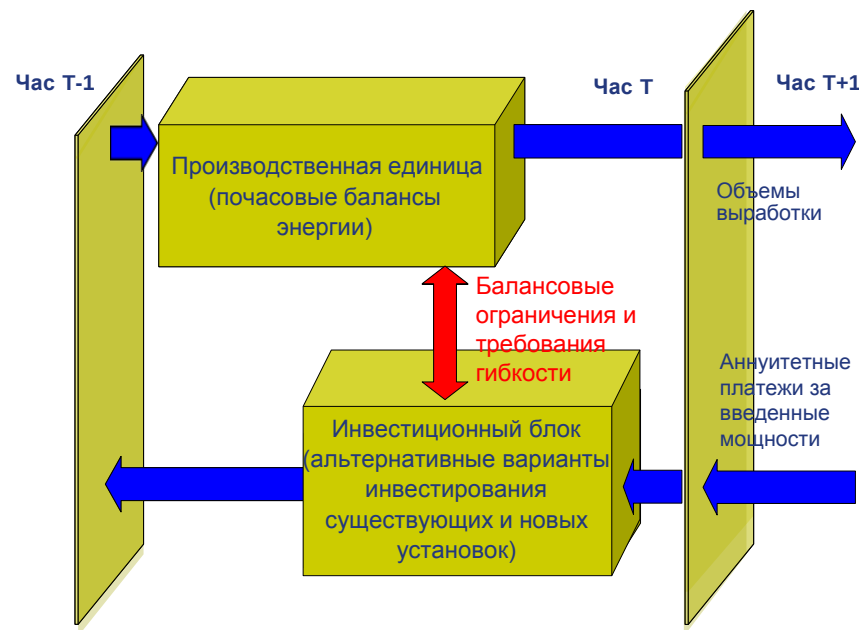


Источник: ИНЭИ РАН

Характеристика модели МОССО-IN

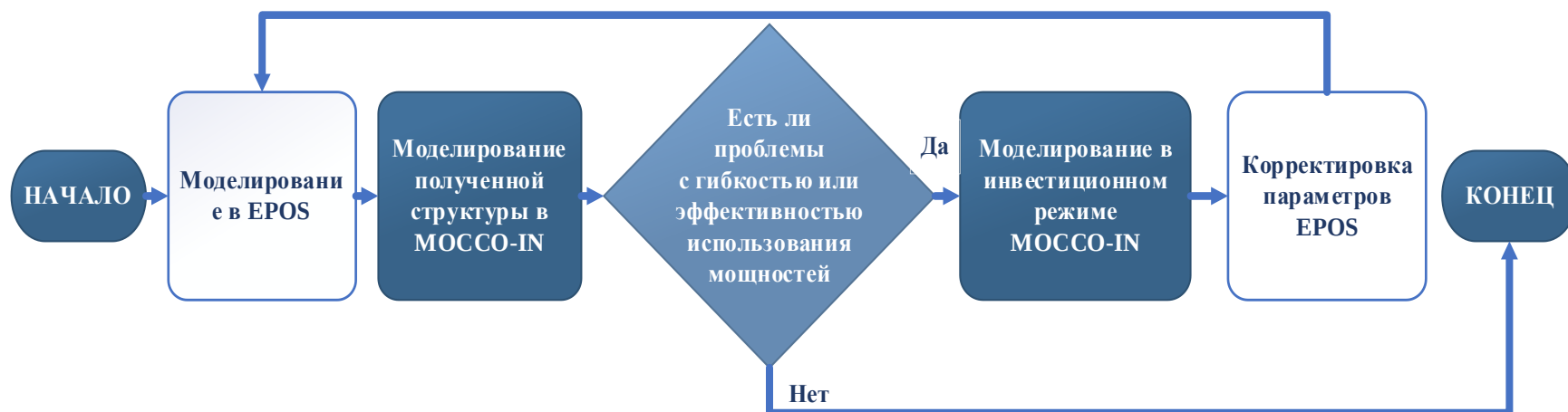
МОССО-IN — линейная динамическая оптимизационная модель, определяющая объем почасовой выработки всех моделируемых энергообъектов по критерию минимума переменных затрат в течение года

- Возможность совместного моделирования условий функционирования различных сегментов энергосистемы (генерации, потребления, межсистемных потоков энергии и др.),
- Достаточный высокий уровень технологической и временной детализации для объективного моделирования режимов работы различных технологий энергетики и их взаимодействия,
- Достаточный горизонт моделирования (минимум в год) для того, чтобы учесть внутригодовые (сезонные, недельные, суточные и проч.) неравномерности в графиках нагрузки потребителей и возможностях изменения загрузки мощности разных типов электростанций,
- Поиск экономически оптимального решения и анализа ценовых последствий.



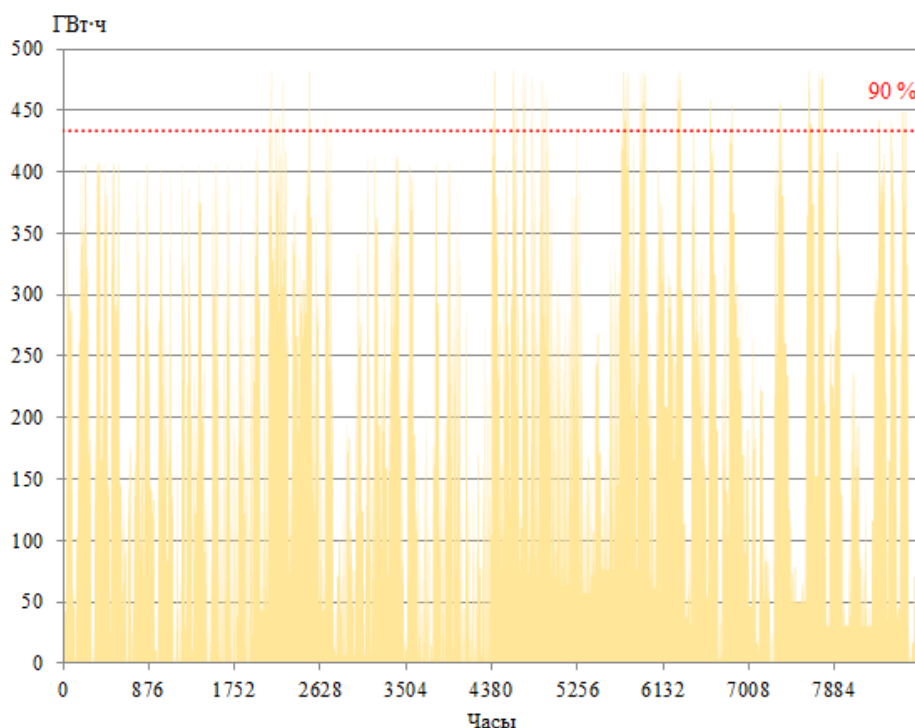
Источник: ИНЭИ РАН

Схема «мягкой» интеграции моделей EPOS и МОССО-IN



Апробация подхода к экономической оценке СЭ

В выбранном сценарии подразумеваются существенный рост электропотребления к 2060 году, усиленный электрификацией экономики (до 2400 млрд кВт·ч или на 113 % от уровня 2019 г.) и строгое углеродное регулирование (сокращение выбросов CO₂ на 14 % от уровня 2019 г.) с форсированным развитием электростанций на базе ВИЭ



Объем накопленной СНЭЭ электроэнергии в 2060 г.

Источник: ИНЭИ РАН

Тип электростанций	Установленная мощность, млн кВт до корректировки МОССО-IN	Установленная мощность, млн кВт после корректировки МОССО-IN
Всего, в т. ч.:	689,7	668,9
АЭС	76,8	76,8
ГЭС	69,9	69,9
СЭС	145,1	145,1
ВЭС	163,6	163,6
ТЭЦ	72,3	72,3
КЭС паротурбинные	11,6	11,6
КЭС парогазовые и газотурбинные	65,8	65,8
СНЭЭ (в т. ч. ГАЭС)	84,4	63,8
Капиталовложения в СНЭЭ, трлн. руб.	2,409	1,791

Выводы

- ❖ Связка моделей EPOS и МОССО-IN позволяет одновременно анализировать долгосрочное развитие и почасовое функционирование энергосистемы;
- ❖ Почасовая проверка сценария развития ЕЭС России выявила избыточность отобранных мер гибкости, а итерационная корректировка сценария позволила определить минимально необходимый объем СНЭЭ, снизив капитальные вложения при сохранении режимной реализуемости;
- ❖ Предложенный подход позволяет сопоставлять альтернативные меры компенсации СЭ и формировать более сбалансированные, экономически обоснованные сценарии развития ЕЭС России.

Институт энергетических исследований РАН

www.eriras.ru

info@eriras.ru

ruslanalikin@bk.ru

Спасибо за внимание!