

Подход к интеграции моделей развития и  
коммерческой диспетчеризации генерирующих  
мощностей для оценки гибкости энергосистемы на  
примере ЕЭС России

Аликин Р.О.  
Ерохина И.В.  
Хоршев А.А.

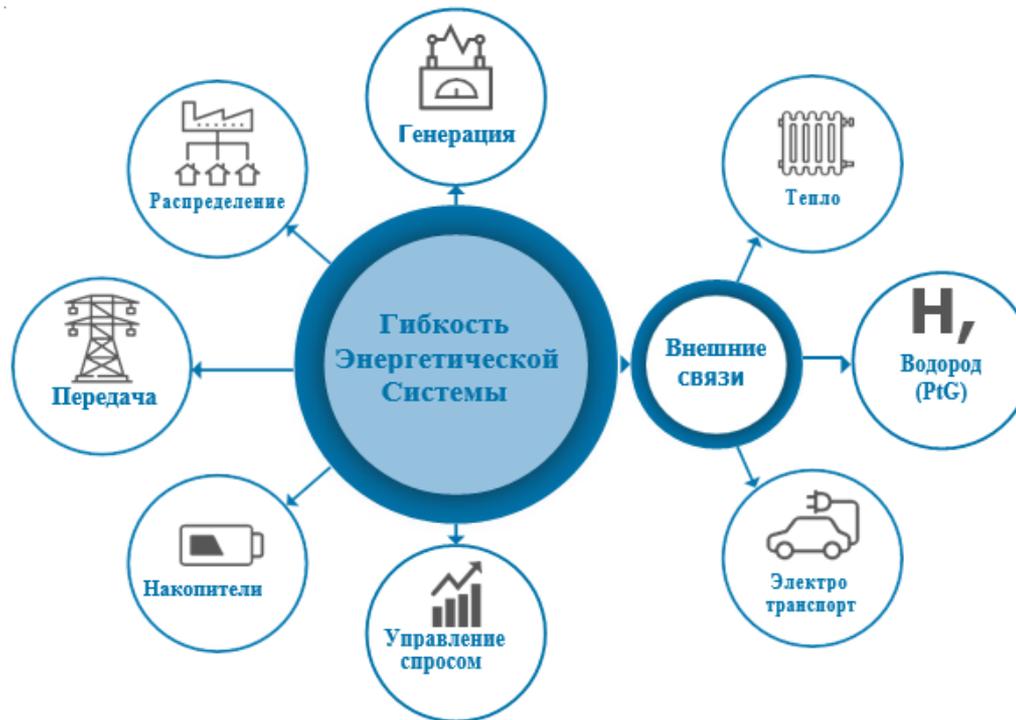
**Институт энергетических исследований РАН**

Сентябрь, 2024



# Факторы гибкости энергосистемы

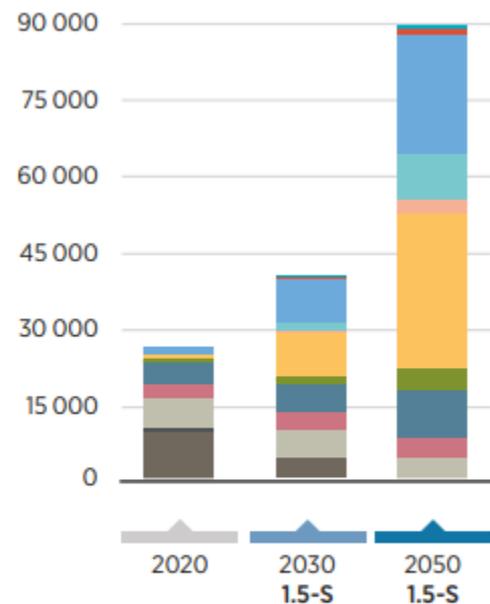
**Гибкость энергосистемы** – это ее способность быстро перестраиваться под неожиданные колебания спроса или предложения



Источник: International Renewable Energy Agency (IRENA)

# Структура мировой электроэнергетики по сценарию 1.5°C

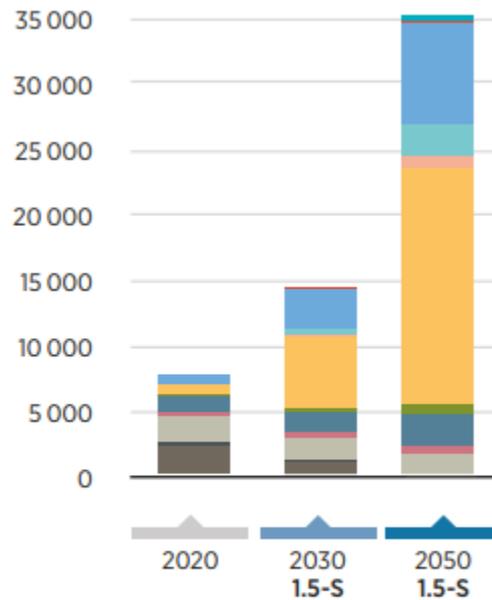
Генерация (ТВт\*ч)



**28%**    **68%**    **91%**

**9%**    **46%**    **70%**

Мощность (ГВт)



**37%**    **77%**    **94%**

**19%**    **62%**    **81%**

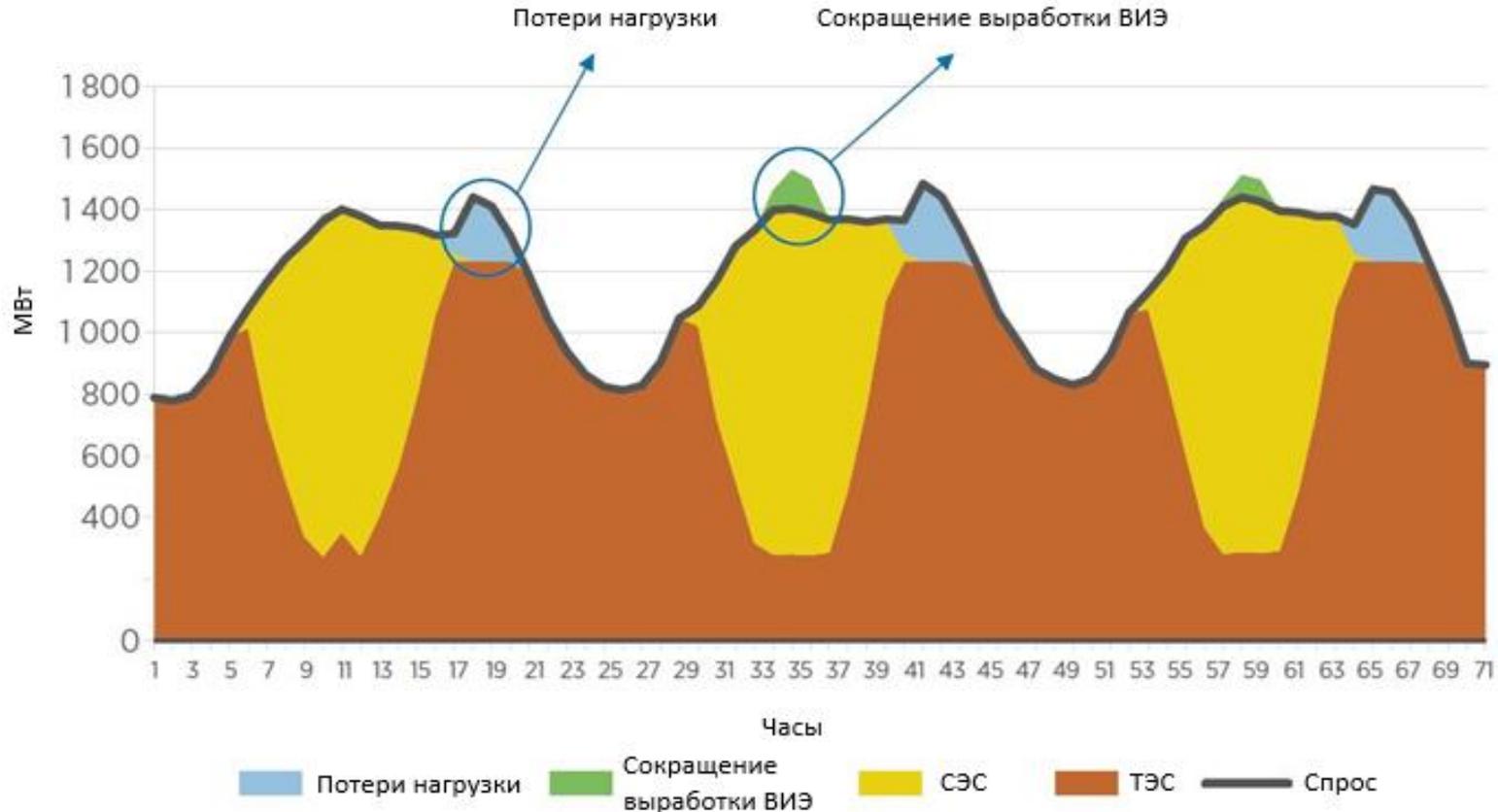
- Приливные/волновые
- Геотермальные
- ВЭС
- ВЭС (морские)
- СЭС (CSP)
- СЭС (PV)
- Биотопливо
- ГЭС (без ГАЭС)
- АЭС
- Газ
- Нефть
- Уголь

Доля безуглеродных технологий

Доля ВИЭ

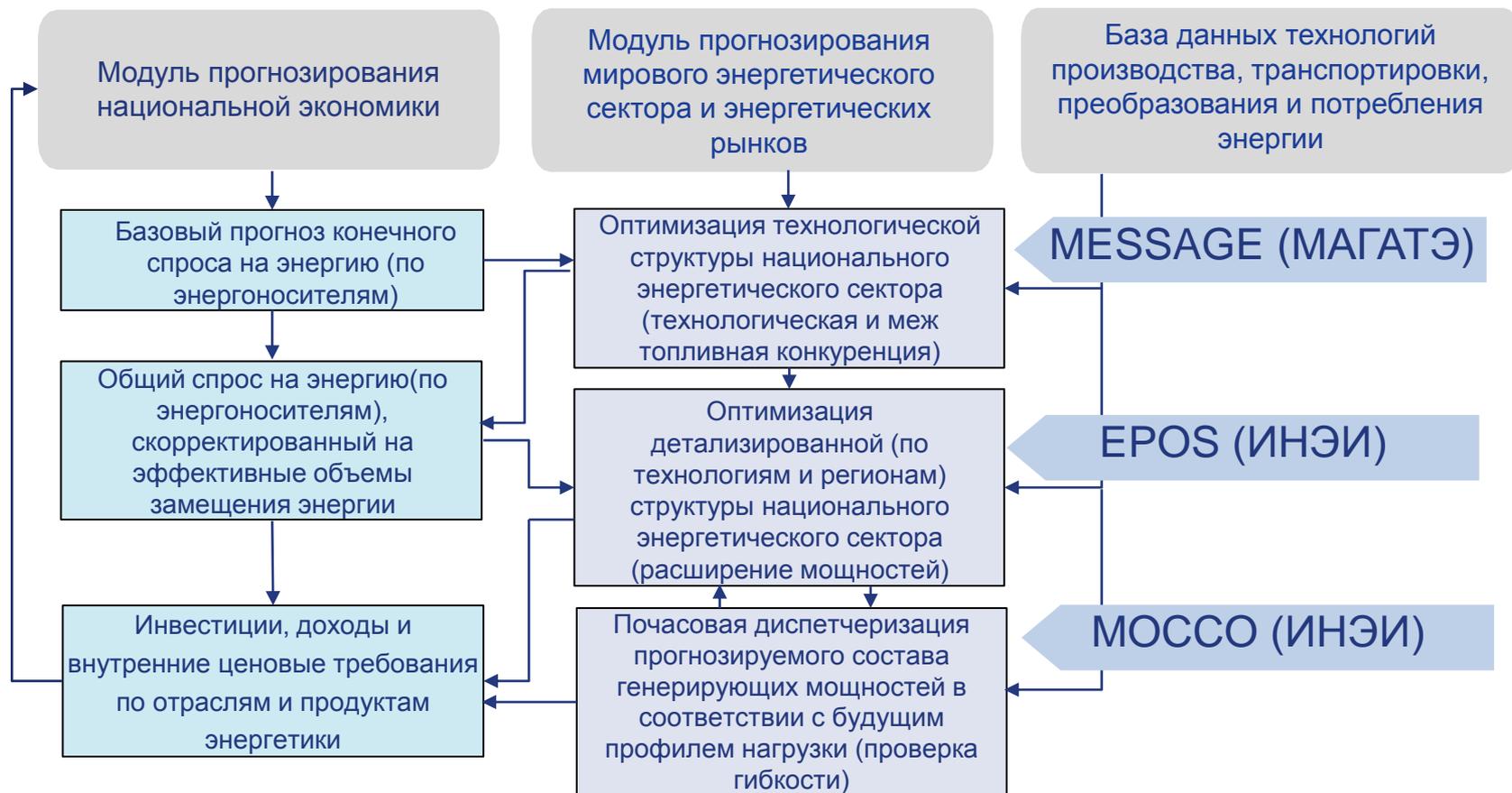
Источник: International Renewable Energy Agency (IRENA) World Energy Transitions Outlook: 1.5°, [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA\\_World\\_energy\\_transitions\\_outlook\\_2023.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_2023.pdf)

# Проблемы возникающие при интеграции ВИЭ и/или нетипичных потребителей с быстропеременной нагрузкой



Источник: International Renewable Energy Agency (IRENA)

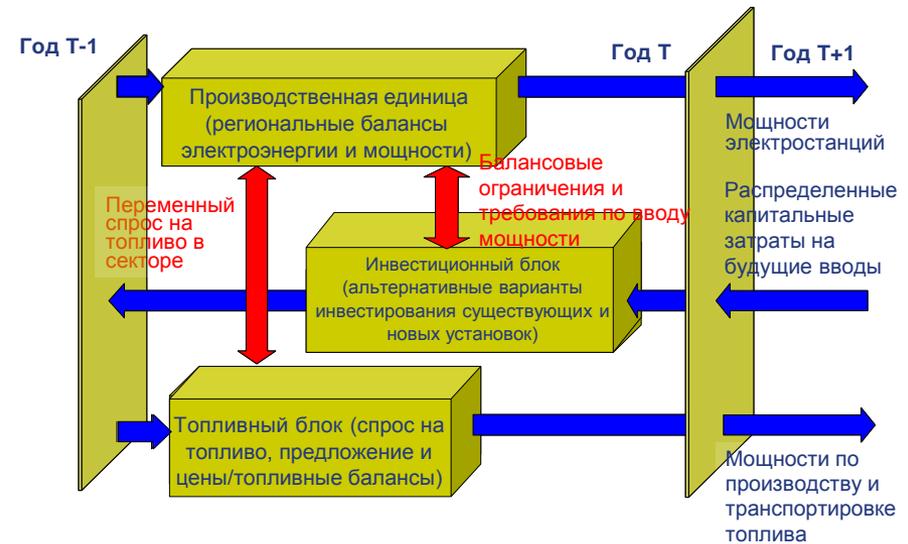
# Модуль прогнозирования сценариев развития национального энергетического сектора



# 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 CO<sub>2</sub>
- ❖ может быть расширен за счет охвата газового и угольного секторов

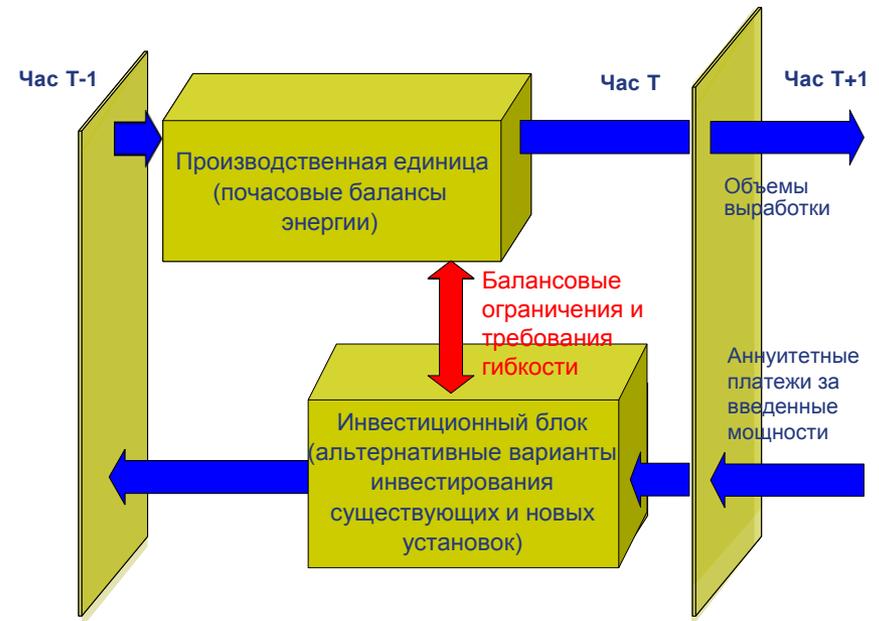


Источник: ИНЭИ РАН

# Характеристика модели МОССО

**МОССО** — 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 перетоков 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



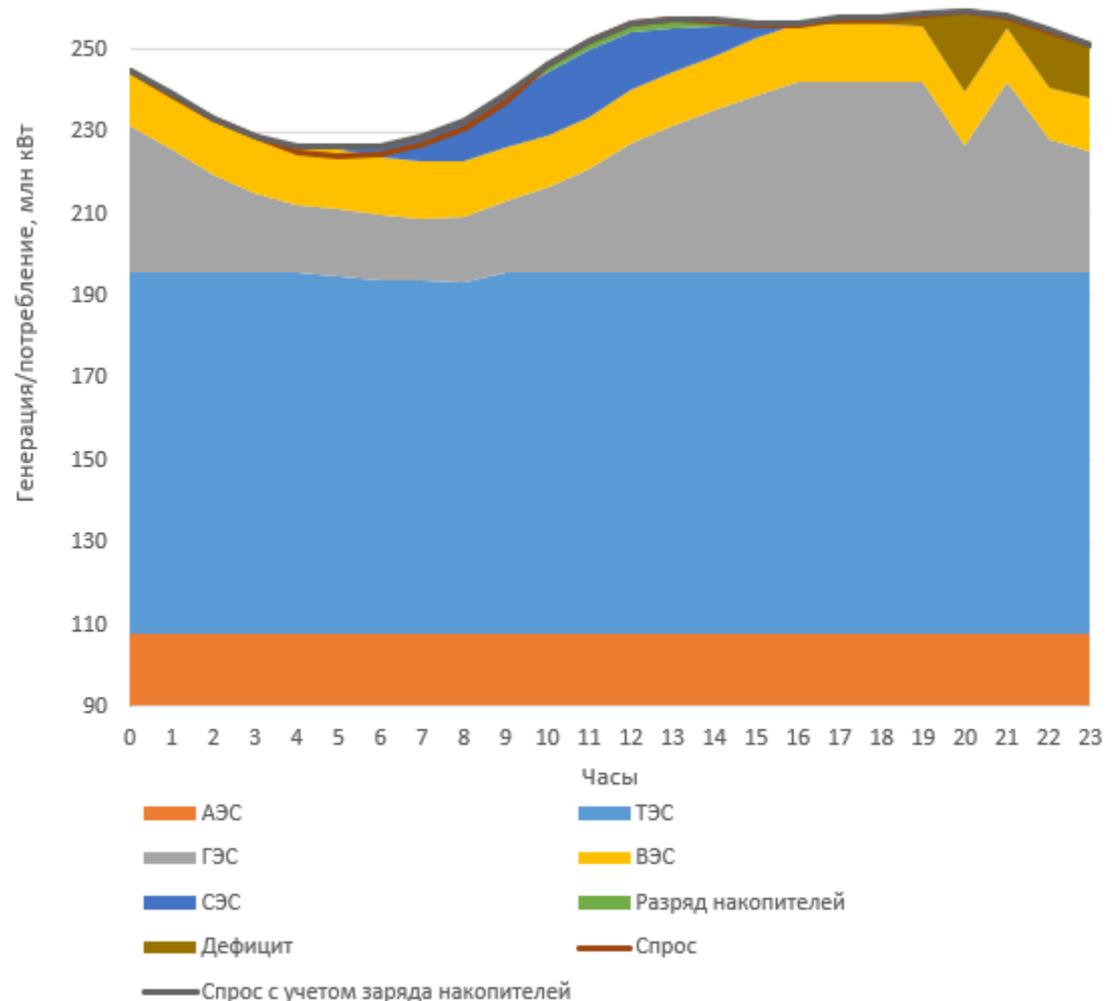
Источник: ИНЭИ РАН

# Суточный график нагрузки ЗРД ЕЭС России в 2050 г. (до уточнения структуры установленной мощности)

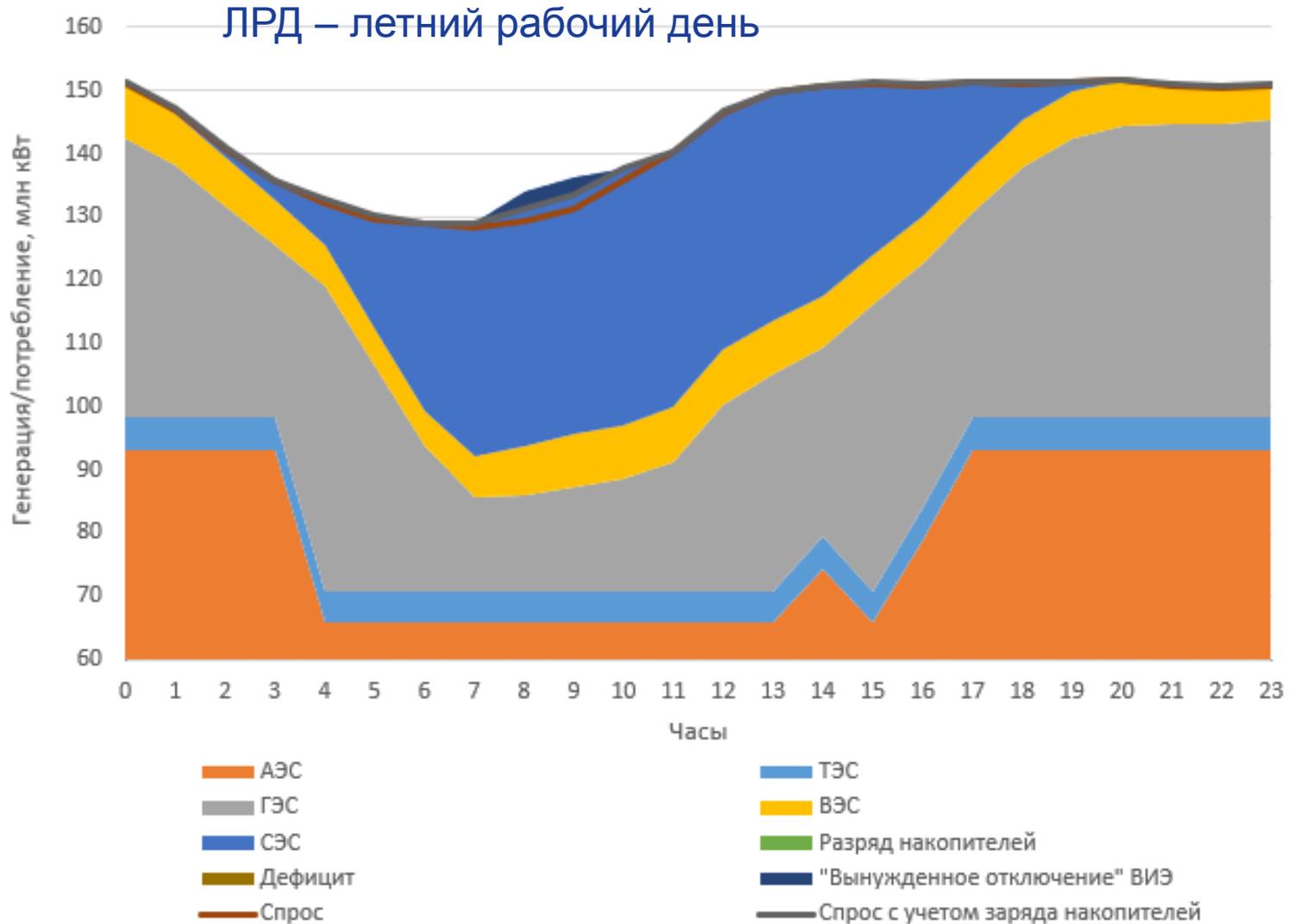
Структура установленной мощности, производства электроэнергии и централизованного тепла (получена в EPOS) обеспечивает снижение выбросов CO<sub>2</sub> в электроэнергетике и централизованном теплоснабжении на 50 % от уровня 2019 г. Это потребует не только крайне активного развития атомной, возобновляемой и гидроэнергетики, но и провести масштабную электрификацию теплоснабжения за счет сооружения большого количества электродотельных.

Источник: ИНЭИ РАН

## ЗРД – зимний рабочий день



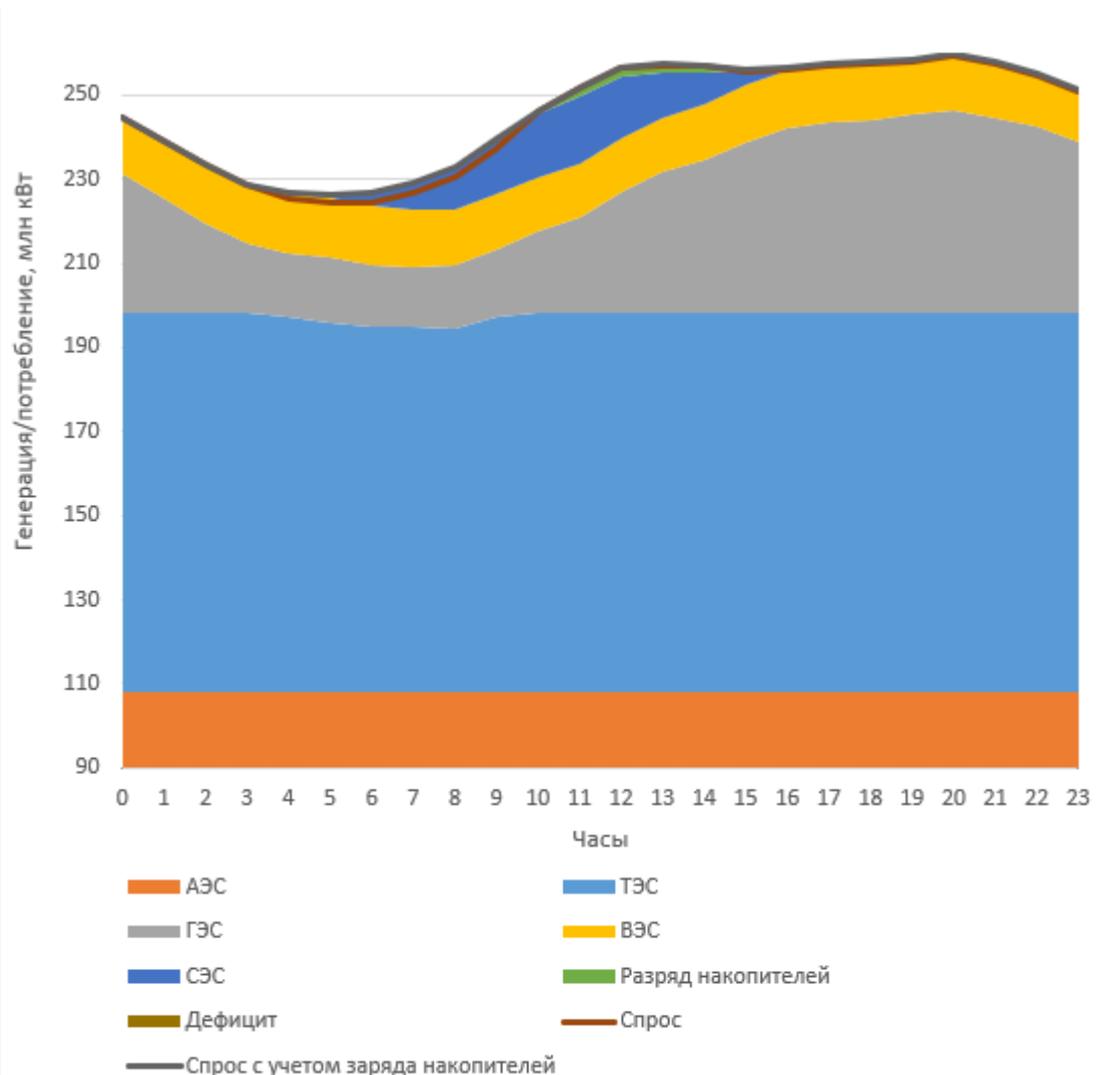
# Суточный график нагрузки ЛРД ЕЭС России в 2050 г. (до уточнения структуры установленной мощности)



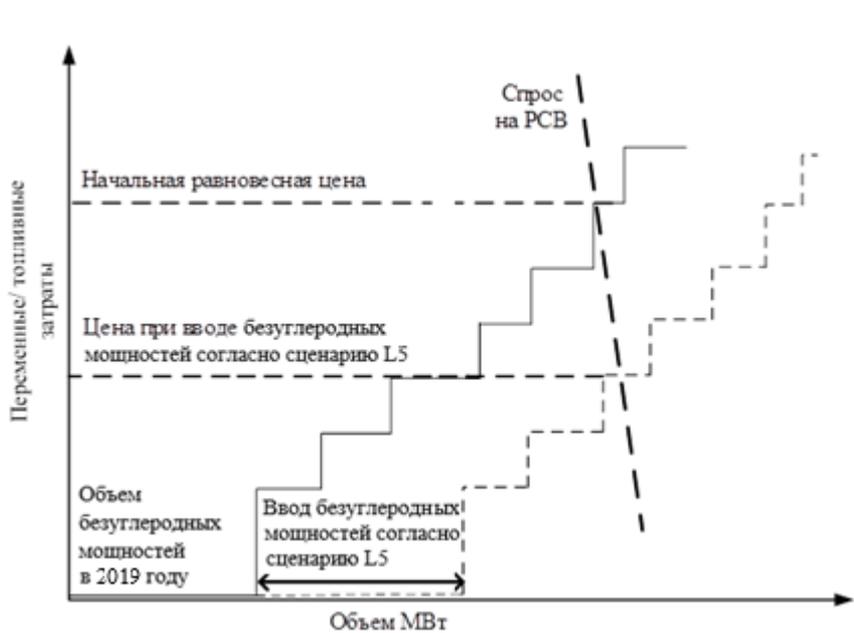
# Суточный график нагрузки ЗРД ЕЭС России в 2050 г. (после уточнения структуры установленной мощности)

	L5 EPOS	L5 EPOS+МОССО
ПТ-ТЭЦ	19496	19496
ПГ-ТЭЦ	7322	7322
ПГ-ТЭЦ-ССС	7599	7599
ГТ-ТЭЦ	7708	7708
ГТ-ТЭЦ-ССС	691	691
ГПА-ТЭЦ	2046	2046
ПТ-ТЭЦ-уголь	6694	6694
ПГ	13191	13191
ГТ	9408	12147
ПТ	12933	12933
ПТ-уголь	6053	6053
ВЭС	39019	39019
СЭС	77238	77238
АЭС	114154	114154
ГЭС	70241	70241
ГАЭС	3744	3744

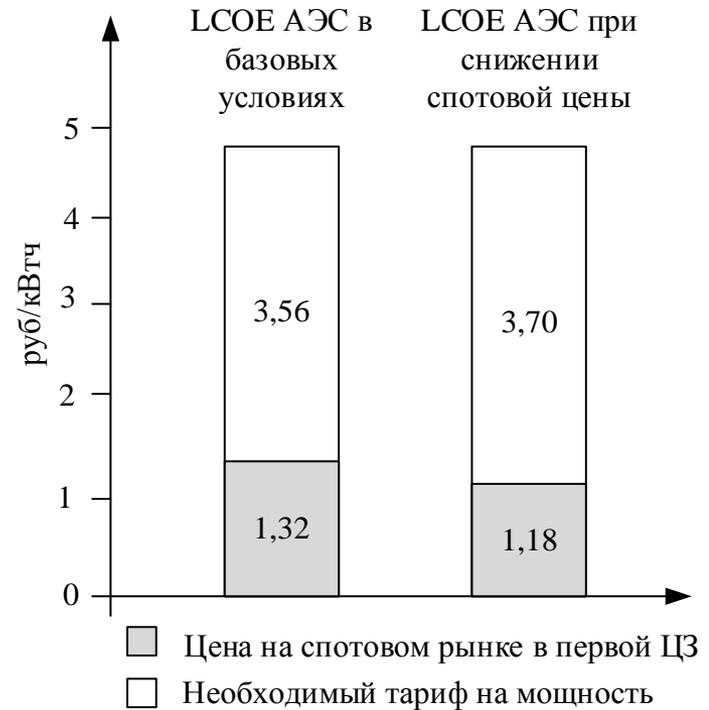
Источник: анализ ИНЭИ РАН



# Моделирование ценовых последствий



Источник: анализ ИНЭИ РАН



Рассматриваемый в статье сценарий L5 обеспечивает сокращение выбросов CO<sub>2</sub> до 50% относительно 2019 года, что сопряжено с куда более существенным снижением цен на РСВ.

## Институт энергетических исследований РАН

[www.eriras.ru](http://www.eriras.ru)

[info@eriras.ru](mailto:info@eriras.ru)

[ruslanalikin@bk.ru](mailto:ruslanalikin@bk.ru)

**Спасибо за внимание!**