

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ОПТИМИЗАЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ В  
АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ  
ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЫНКОВ НА ПРИМЕРЕ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

*Веселов Ф. В., Макаров А. А., Макарова А. С., Хоршев А. А.*

**Институт энергетических исследований РАН**

**VI Международная конференция «Управление развитием  
крупномасштабных систем» (MLSD'2012)**

Москва, 1 октября 2012 г.



## Оптимизационные модели как инструмент долгосрочного прогнозирования развития электроэнергетики и ТЭК

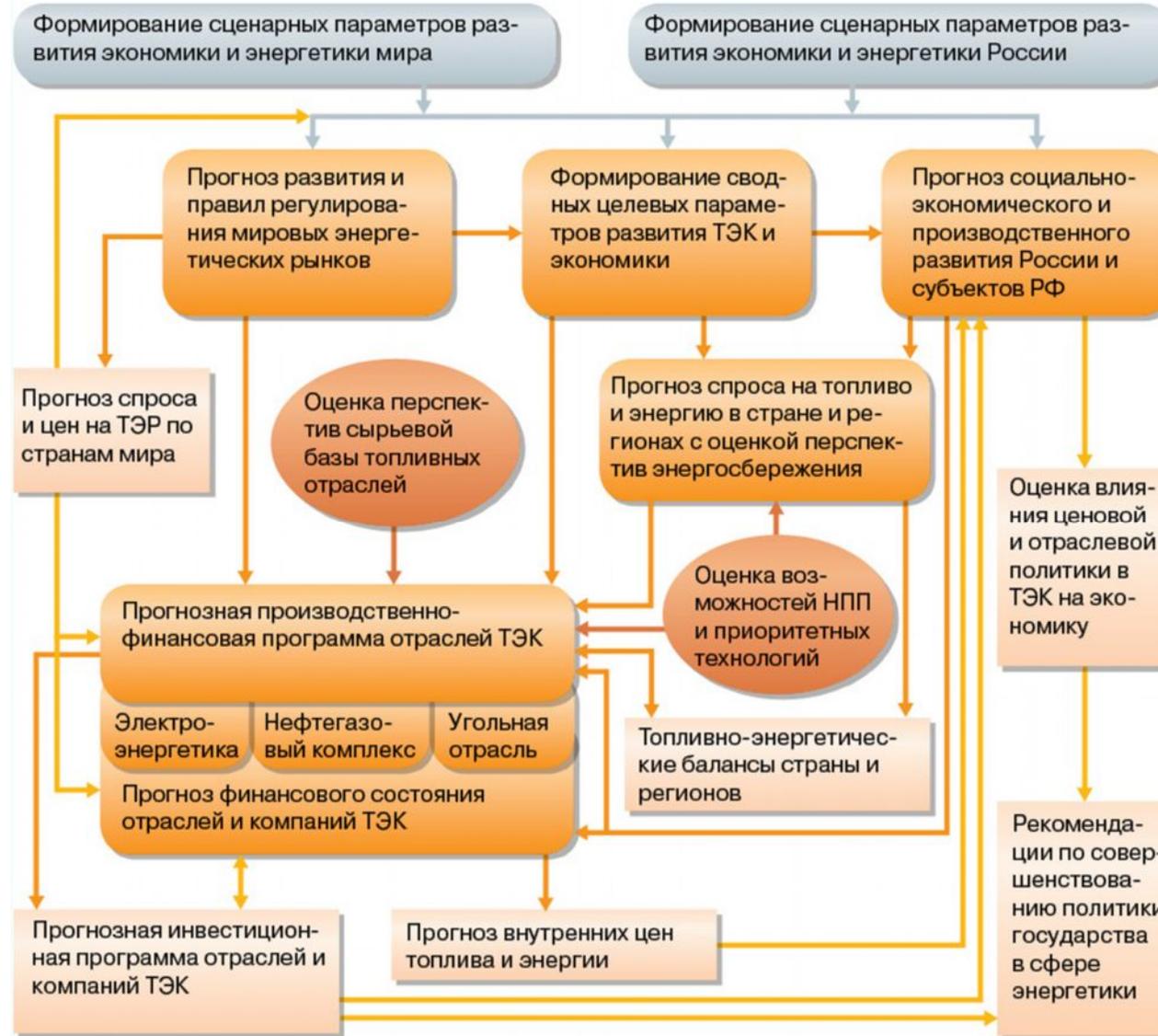
**МЭА - модель *TIMES*** - базовый инструмент Программы по системному анализу технологий в энергетике (ETSAP)

**МАГАТЭ - модель *MESSAGE*** - базовый инструмент прогнозирования и оценки перспектив развития атомной энергетики в странах-участницах

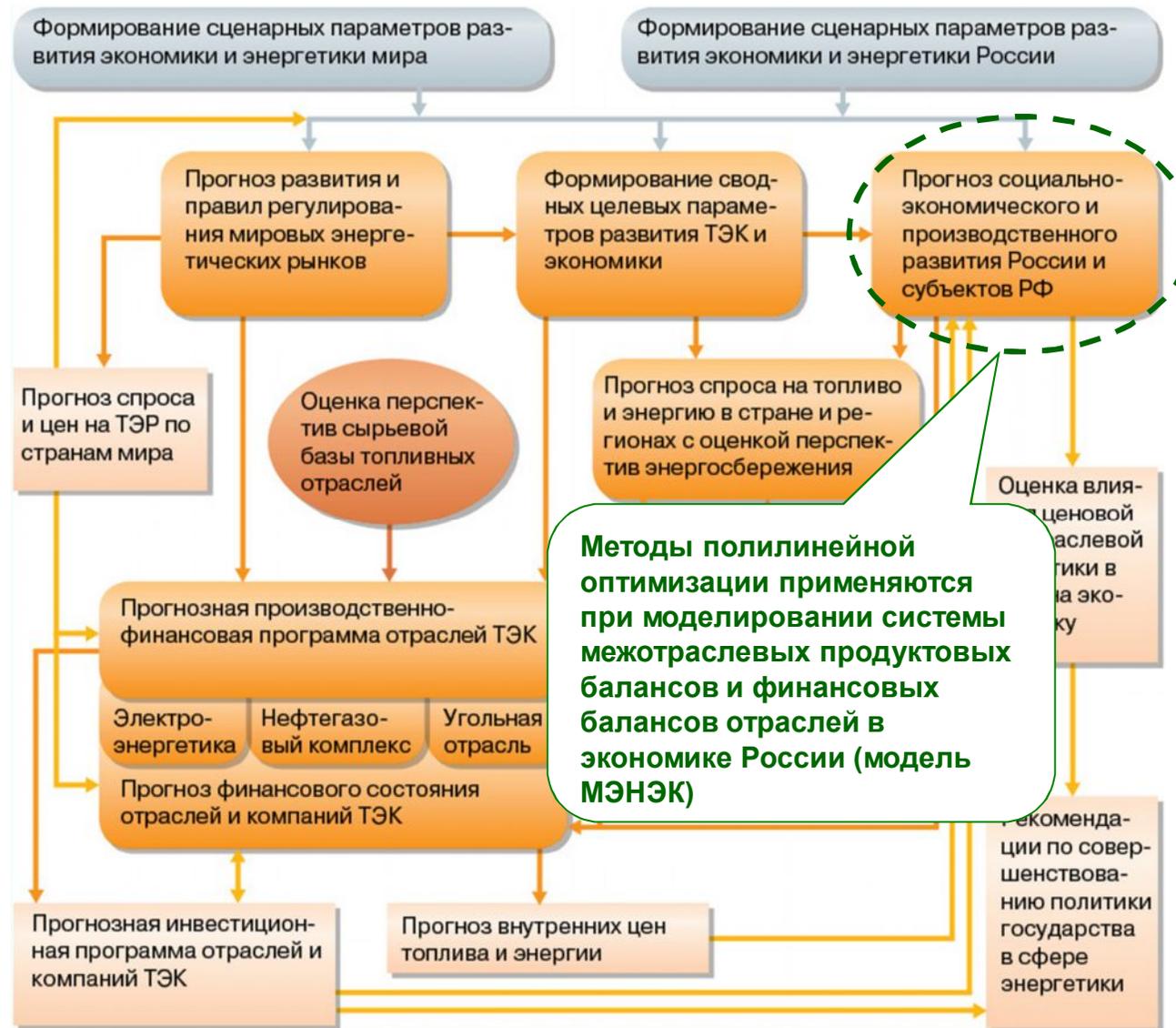
**Министерство энергетики США – модельный комплекс *NEMS*** – прогнозы развития национальной и мировой энергетики

**Россия. Модельно-информационный комплекс «*SCANNER*»** - инструмент системных исследований развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России, как важной части национальной экономики и мировых энергетических рынков на средне- и долгосрочную перспективу (до 2030-2050 гг.).

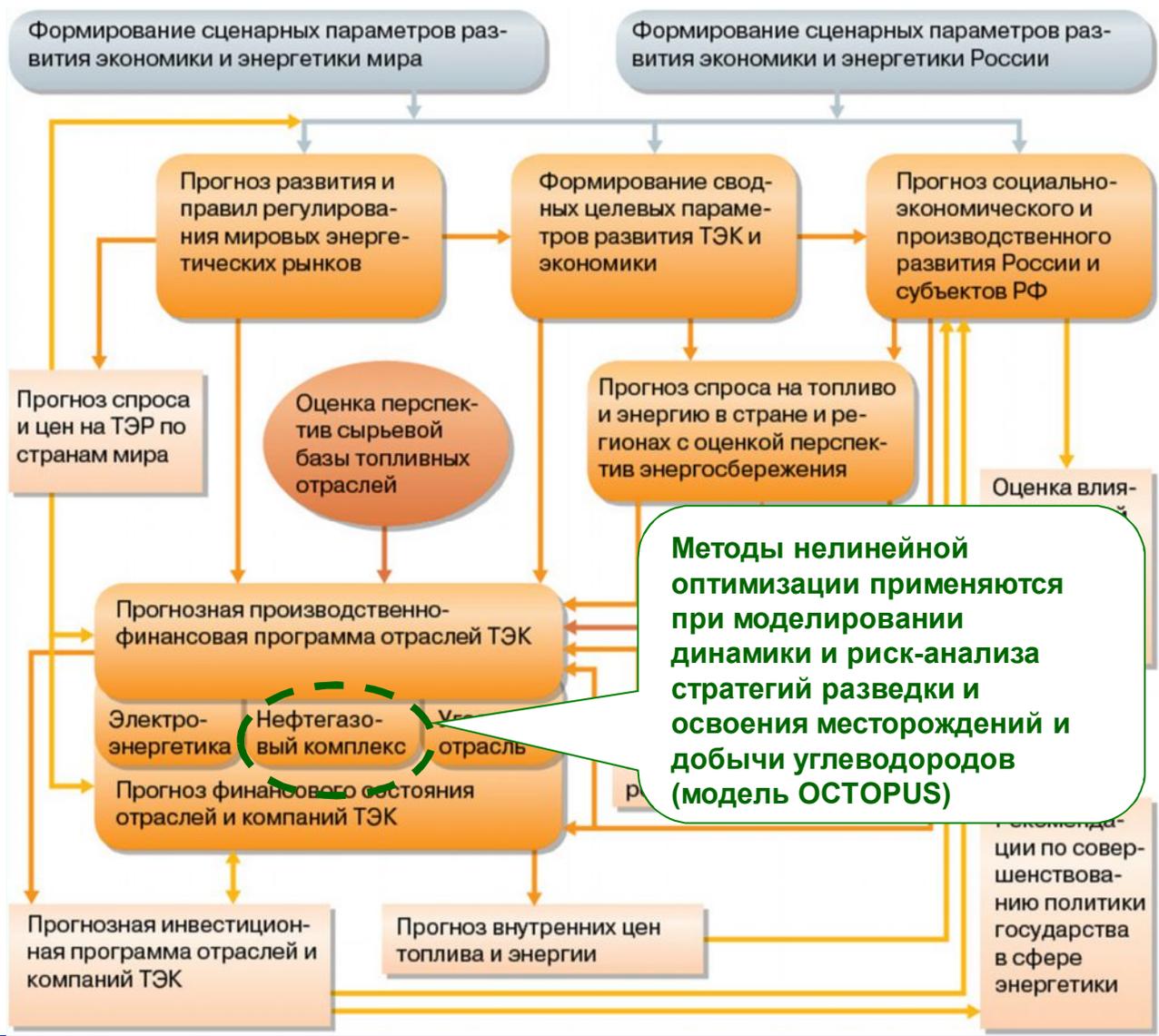
# SCANER – многофункциональная система моделей для исследования энергетики страны и мира



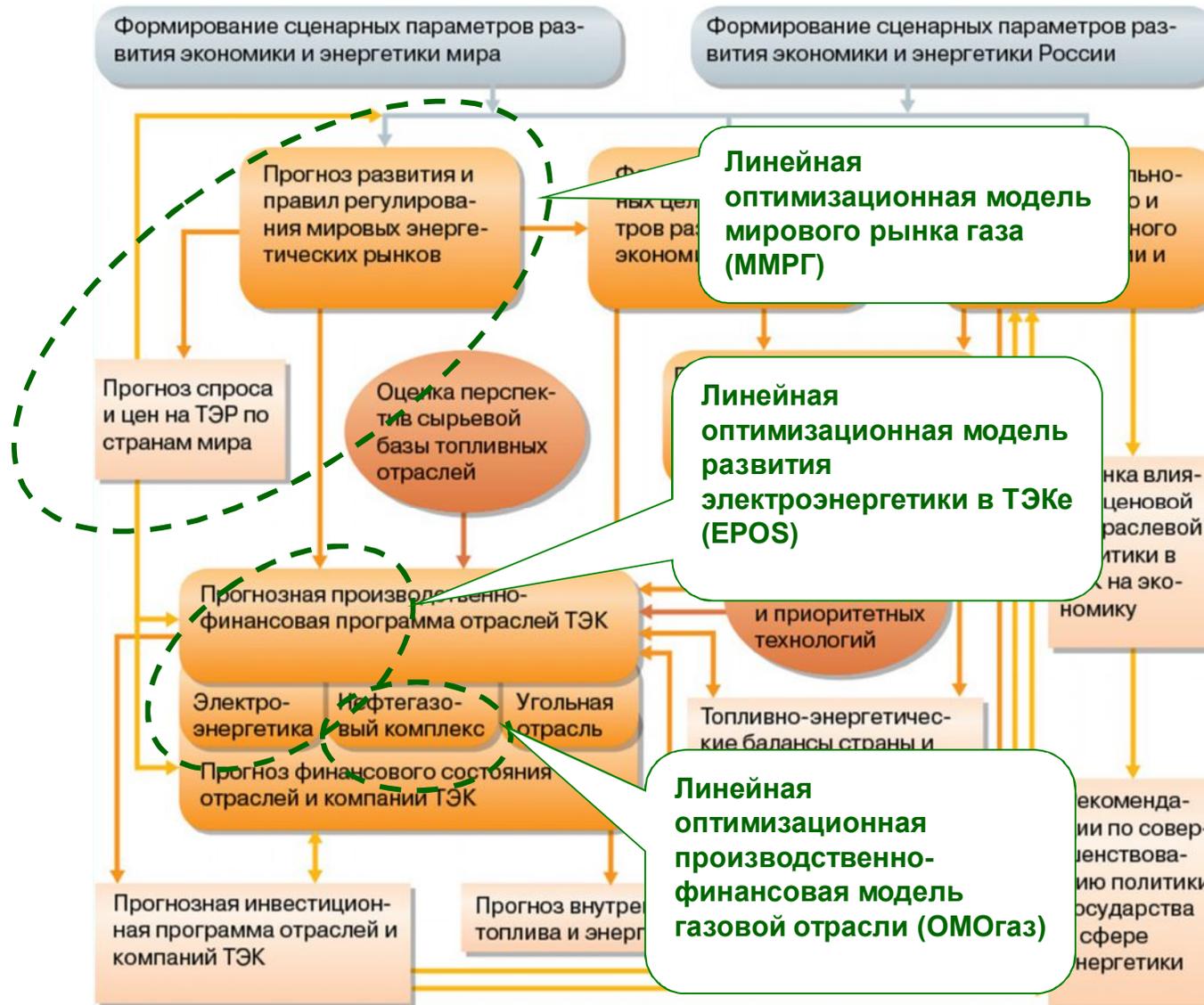
# SCANER – многофункциональная система моделей для исследования энергетики страны и мира



# SCANER – многофункциональная система моделей для исследования энергетики страны и мира

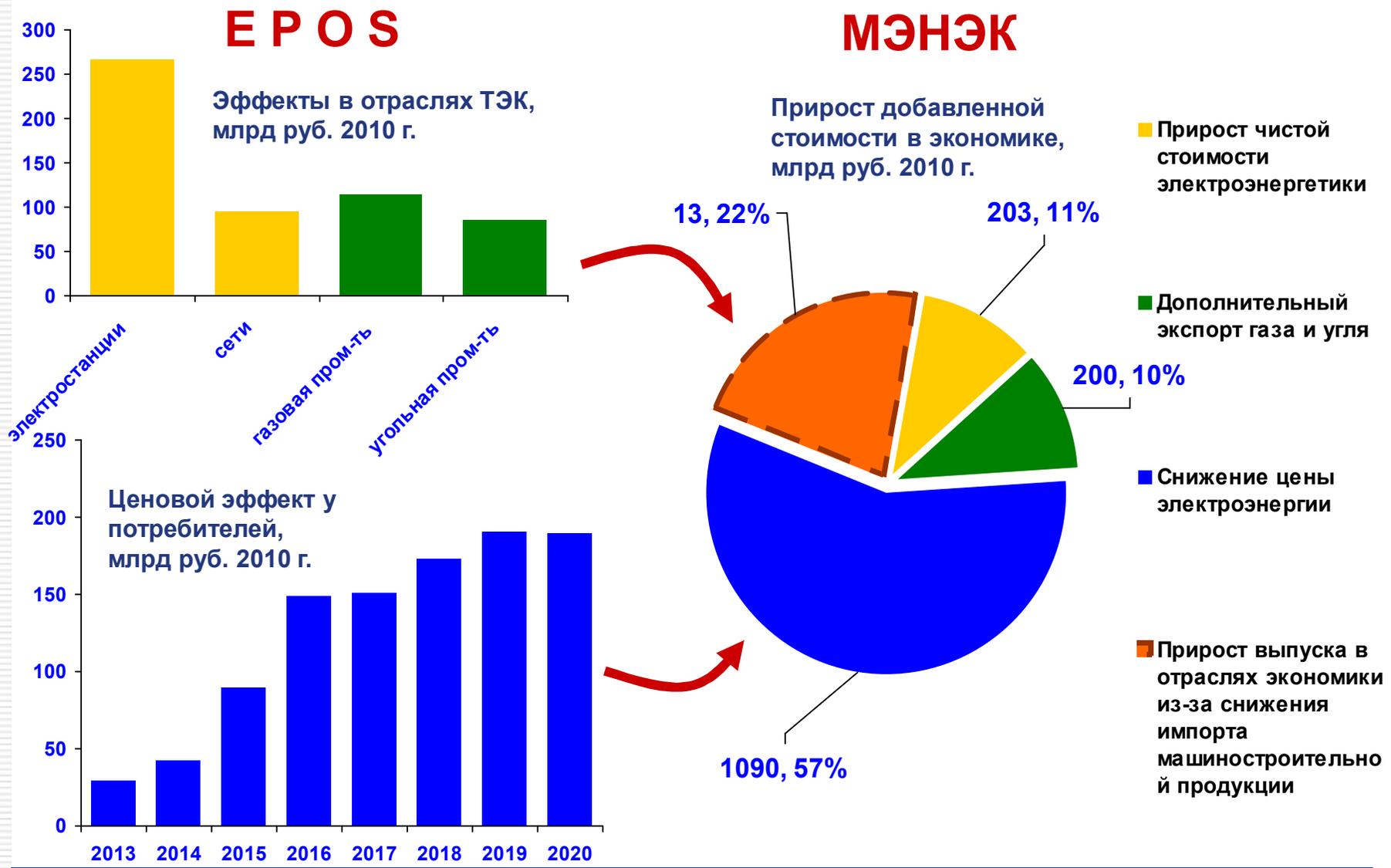


# SCANER – многофункциональная система моделей для исследования энергетики страны и мира

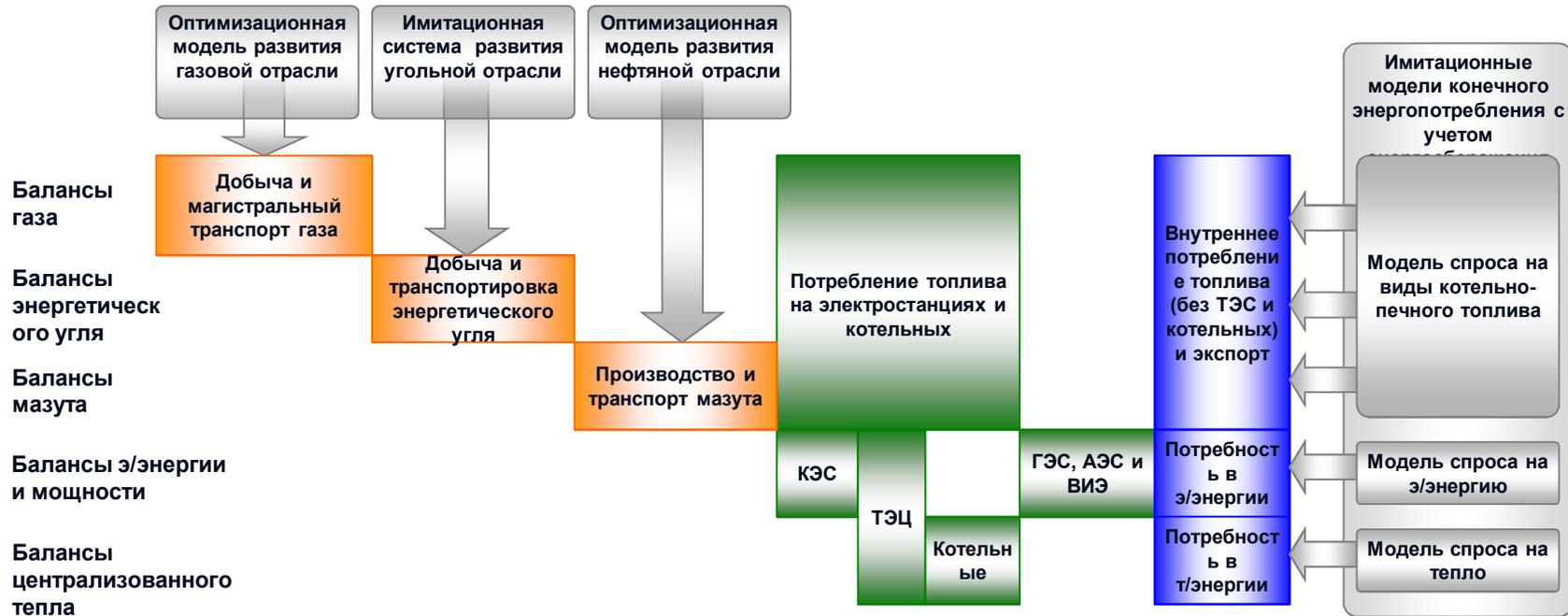


1. **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ России на период до 2020 года - распоряжение Правительства РФ от 28.09.2003 г. №1234-р.**
2. **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ РОССИИ на период до 2030 года. – распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 г. № 1715-р.**
3. Реформирование ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ в Российской Федерации. МБРР - Минтопэнерго РФ – 1999-2001 г.
4. **ГЕНЕРАЛЬНАЯ СХЕМА размещения объектов электроэнергетики на период до 2020 г. - распоряжение Правительства РФ от 22.02.2008 г. № 215-р.**
5. **ГЕНЕРАЛЬНАЯ СХЕМА размещения объектов электроэнергетики на период до 2020 г. с учетом перспективы до 2030 г. – протокол Правительства РФ от 3.06.2010 г.**
6. **Программа модернизации электроэнергетики России до 2020 года – рассмотрена на заседании Правительства РФ в 27.09.2012 г.**

# Моделирование эффектов реализации Программы модернизации электроэнергетики



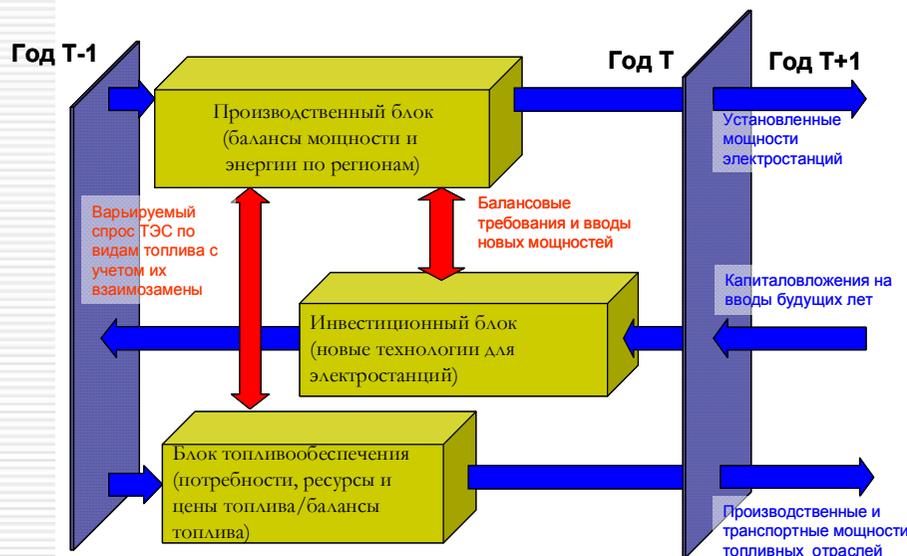
# Оптимизация развития электроэнергетики как части ТЭК страны (EPOS)



Оптимизация структуры генерирующих мощностей и производства электроэнергии рассматривается в увязке с условиями формирования ядра топливно-энергетического баланса страны и регионов выполняется в рамках **общей задачи линейного программирования** (задачи ЛП).

Это позволяет исследовать **долгосрочную динамику внутренних электроэнергетических и топливных рынков**, учитывающую технологические возможности и экономическую эффективность межтопливной конкуренции и конкуренции с внешними энергетическими рынками.

## Динамический характер и область оптимизации решений (EPOS)



Область оптимизации внутри электроэнергетики описывается множеством переменных с динамическими связями, характеризующим условия межтопливной конкуренции в оперативном и долгосрочном разрезе, а также конкуренции между разными типами генерирующих и сетевых мощностей

Система балансовых уравнений обеспечивает:

- представление отраслевых территориально-технологических связей по условиям балансов электроэнергии, мощности, централизованного тепла энергосистем и регионов
- представление межотраслевых связей с топливными отраслями через матрицу удельных расходов в балансах топлива с учетом спроса остальных потребителей и экспортных поставок
- расширенный (на 10-15 лет) временной горизонт для учета экономических эффектов «последствия» выбираемых инвестиционных решений в период планирования

## Условия для долгосрочной конкуренции в модели EPOS

Динамика  
действующих  
объектов/технологий

$$X_{it+1} = X_{it} - \Delta X_{it,t+1}$$

Динамика новых и  
реконструируемых  
объектов/технологий

$$Y_{it+1} = Y_{it} + \Delta Y_{it,t+1}$$

Дополнительное условие  
на прирост мощности  
решений по  
реконструкции  
объекта/технологии (i) в  
период [t,t+1]  
или  
в целом за период [0,t]

$$\sum_{k_i} \rho_{k_i} \cdot \Delta Y_{k_i t, t+1} \leq \Delta X_{it, t+1}$$

$$\sum_{\tau=1}^t \sum_{k_i} \rho_{k_i} \cdot Y_{k_i \tau} \leq \sum_{\tau=1}^t \Delta X_{i\tau-1, \tau} \leq (N_{i0} - N_{it})$$

# Условия для краткосрочной конкуренции в модели EPOS

Установленная мощность

Энергетические режимы

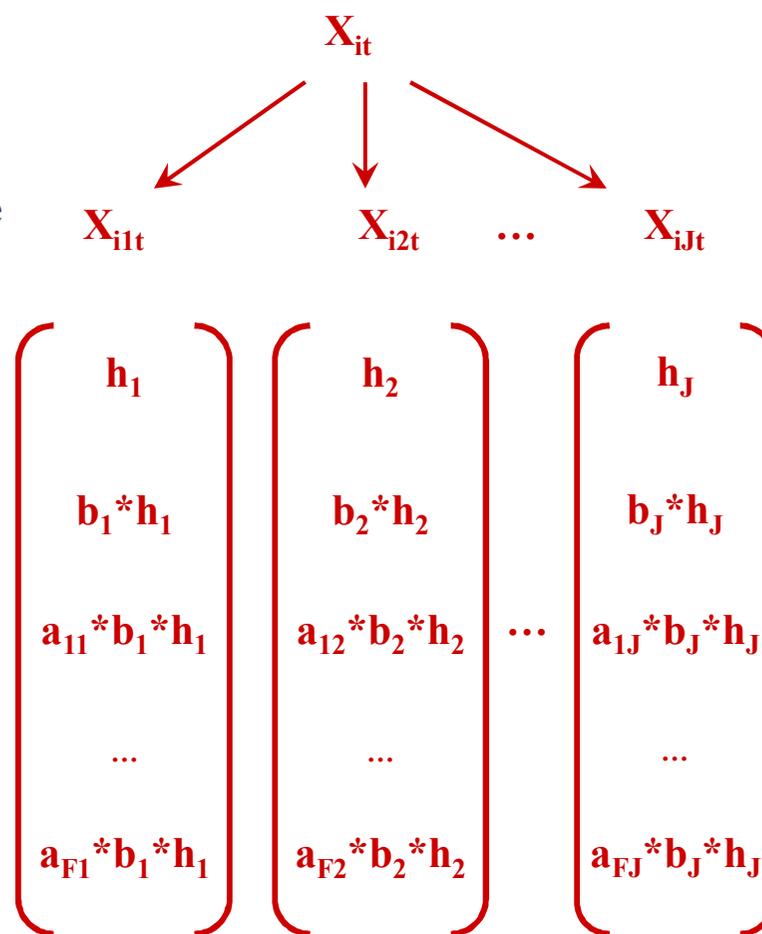
Производство электроэнергии

Суммарное потребление топлива

Потребление топлива вида 1

...

Потребление топлива вида F



Баланс установленной мощности



Баланс электроэнергии



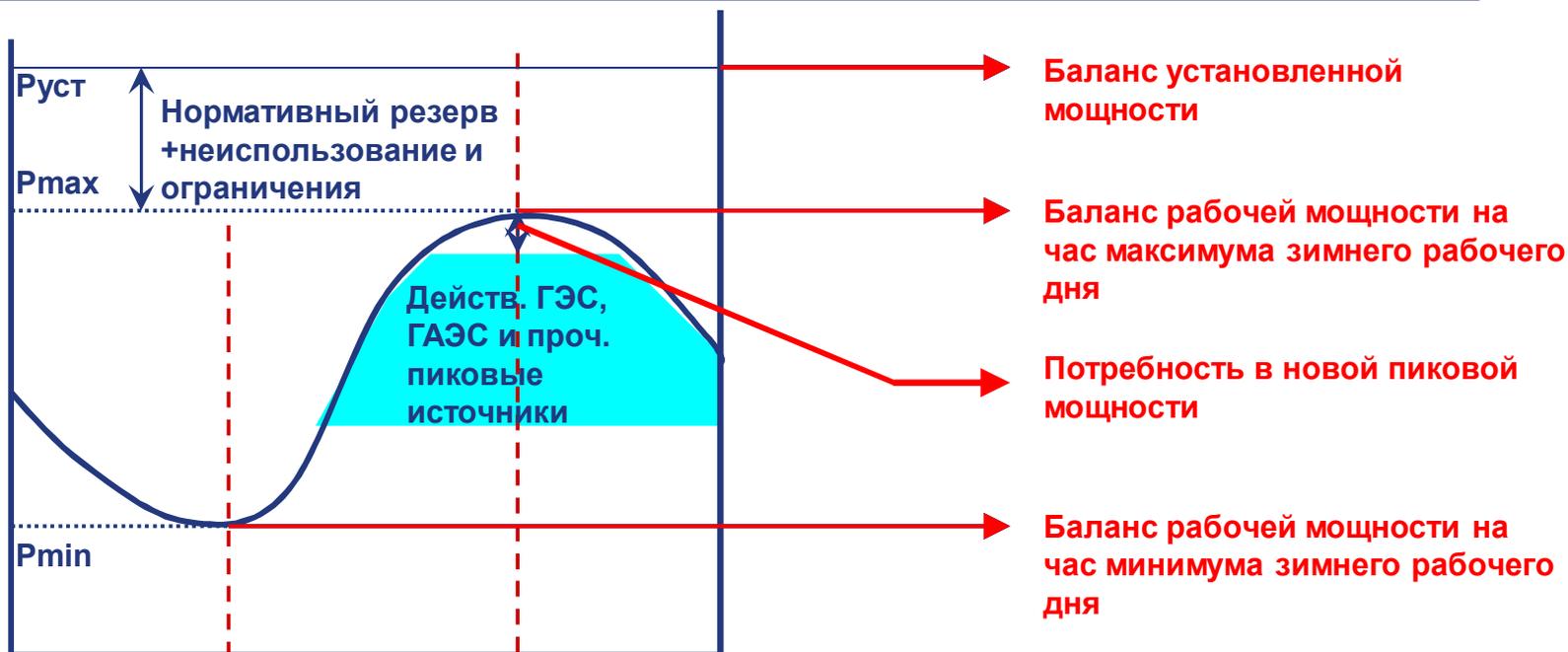
Баланс топлива вида 1



Баланс топлива вида F

$\sum_v \alpha_{nj} = 1$  для каждого энергетического режима

## Балансовые требования к величине и режимам использования генерирующих мощностей



	КЭС уг	ПГЭС	АЭС	ТЭЦ	ГАЭС	ГТЭС	ВЭС
Баланс электроэнергии узла/ОЭС *)	4,0-6,5	3,0-6,5	7,3-7,6	4,0-6,0	-0,25	0,5-1,5	0,2
Баланс установленной мощности	1.0	1.0	1.0	1.0	1,0	1,0	-
Баланс рабочей мощности для максимума зимнего рабочего дня	0.912	0.898	0.907	0.91	1,0	1,0	-
Баланс рабочей мощности для минимума зимнего рабочего дня	0.456	0.449	0.907	0.783	-1,2	0	-
Необходимая потребность в новой пиковой мощности	-	-	-	-	1,0	1,0	-

## Балансовые требования по теплоснабжению разных категорий потребителей

- балансы тепла по типам поселений (тепловых нагрузок)/различные типы ТЭЦ и котельных/различные затраты на распределение тепла
- дополнительное условие обеспечения отпуска тепла при обновлении действующих ТЭЦ ( $X_{it}$ )

$$\gamma_i \cdot X_{it} + \sum_{k_i} \gamma_{k_i} \cdot Y_{k_it} = Q_{it}$$

	Действ. ТЭЦ	Замена на ТЭЦ-1	Замена на ТЭЦ-2	Новая ТЭЦ-1			Новая ТЭЦ-2	
				Для 1 типа	Для 2 типа	Для 3 типа	Для 2 типа	Для 3 типа
	ПТ	ПГУ	ГТ	ПГУ	ПГУ	ПГУ	ГТ	ГТ
Баланс тепла по 1 типу поселений	0,2*8	0,2*5	0,2*9	5				
Баланс тепла по 2 типу поселений	0,5*8	0,5*5	0,5*9		5		9	
Баланс тепла по 3 типу поселений	0,3*8	0,3*5	0,3*9			5		9
Отпуск тепла в зоне действ. ТЭЦ	8	6	6					

## Анализ двойственного решения

### Прямое решение задачи ЛП в модели EPOS

*структура мощностей/производства электроэнергии и тепла, балансы спроса/предложения по всем ресурсам/продуктам*

### Двойственное решение задачи ЛП в модели EPOS

*система «теневых» (равновесных) цен на энергетическую продукцию (электроэнергия, мощность, тепло, газ, уголь)*

**Статическая задача ЛП** - краткосрочное (спотовое)  
маргинальное ценообразование

**Динамическая задача ЛП** - долгосрочное маргинальное  
ценообразование

Постоптимизационный анализ двойственного решения и «теневых» цен требует исследования состава базисных переменных, их векторов коэффициентов в матрице ограничений и целевой функции:

$$\varphi = c^b B^{-1}$$

## Моделирование ценовых условий на энергетических рынках

**EPOS позволяет исследовать различные модели ценообразования для топливных отраслей на основе долгосрочных предельных затрат**

Ценовая модель на рынке газа	Ценоформирующий элемент
«Затраты плюс»	Новые газовые месторождения/газопроводы
Равнодоходность с экспортом («Netback»)	Цены экспортных поставок по «замыкающему» маршруту
Межтопливная конкуренция	Замещение/экономия газа в электроэнергетике

**Для электростанций рассматривается их совместная работа на нескольких рынках с разными условиями ценообразования**

Продукт	Ценовая модель	Представление в модели EPOS
Электроэнергия	Конкуренция	ДА (баланс электроэнергии)
Мощность	Конкуренция	ДА (баланс мощности)
Тепло	Регулирование	ДА (баланс тепла)

**Долгосрочная эффективность электростанций и сетевых объектов может быть оценена через двойственные оценки переменных (reduced costs)**

$$(h_i \cdot \varphi_W + 1 \cdot \varphi_N + \gamma_i \cdot \varphi_Q) - (b_i \cdot \varphi_F - c_i) = 0 \quad \text{для базисных переменных}$$

## Особенности программной реализации системы моделирования

### Различные практические постановки задачи оптимизации требуют оперативных изменений исходной модели:

- перерасчет значений коэффициентов без изменения размерности матрицы (**модификация по границам**);
- добавление переменных и ограничений имеющихся классов с изменением размерности, но без изменения структуры матрицы (**модификация с масштабированием структуры**);
- добавление новых типов переменных и ограничений, меняющих и размерность, и структуру матрицы, а также изменение целевой функции (**модификация с изменением структуры**)

# Особенности программной реализации системы моделирования

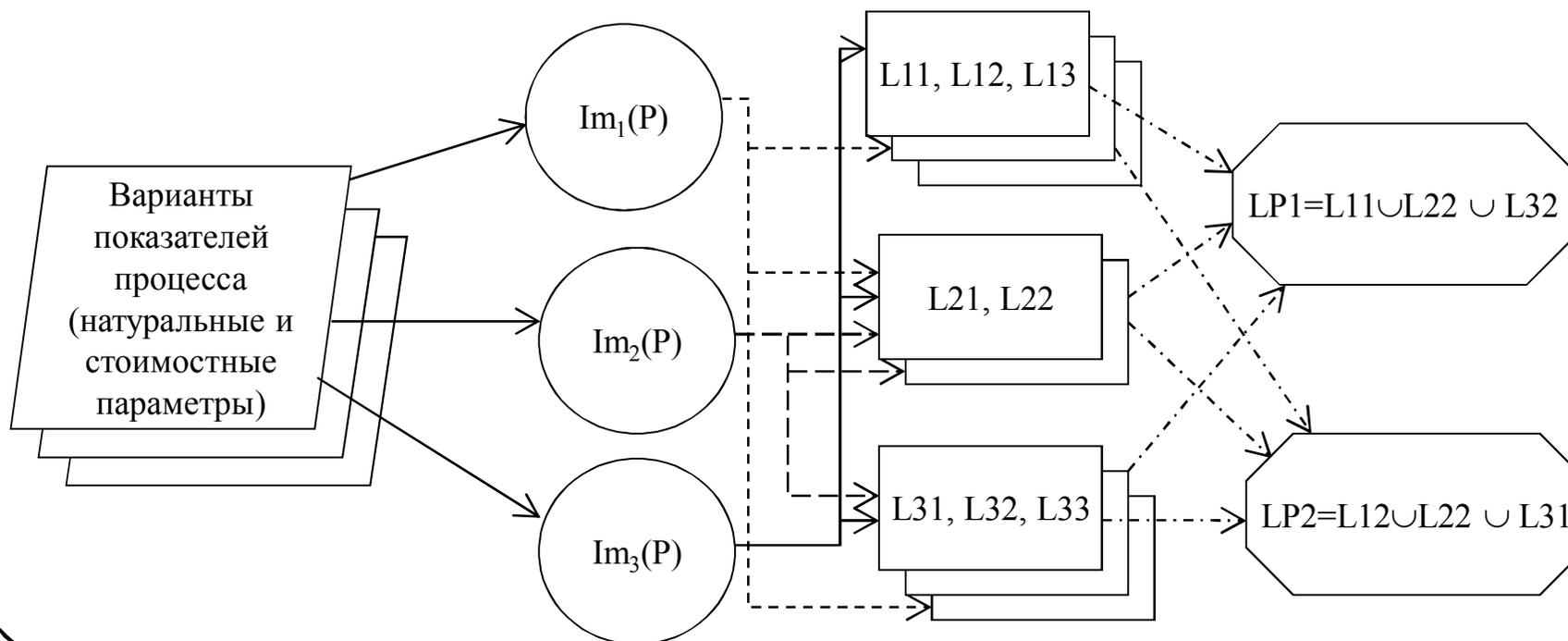
СУБД постреляционного типа

Вектора показателей моделируемых объектов (процессов БД {P})	Программные модули формирования (расчета) элементов матрицы - имитаторы	Фрагменты и варианты фрагментов матрицы	Варианты матрицы
--	---	---	------------------

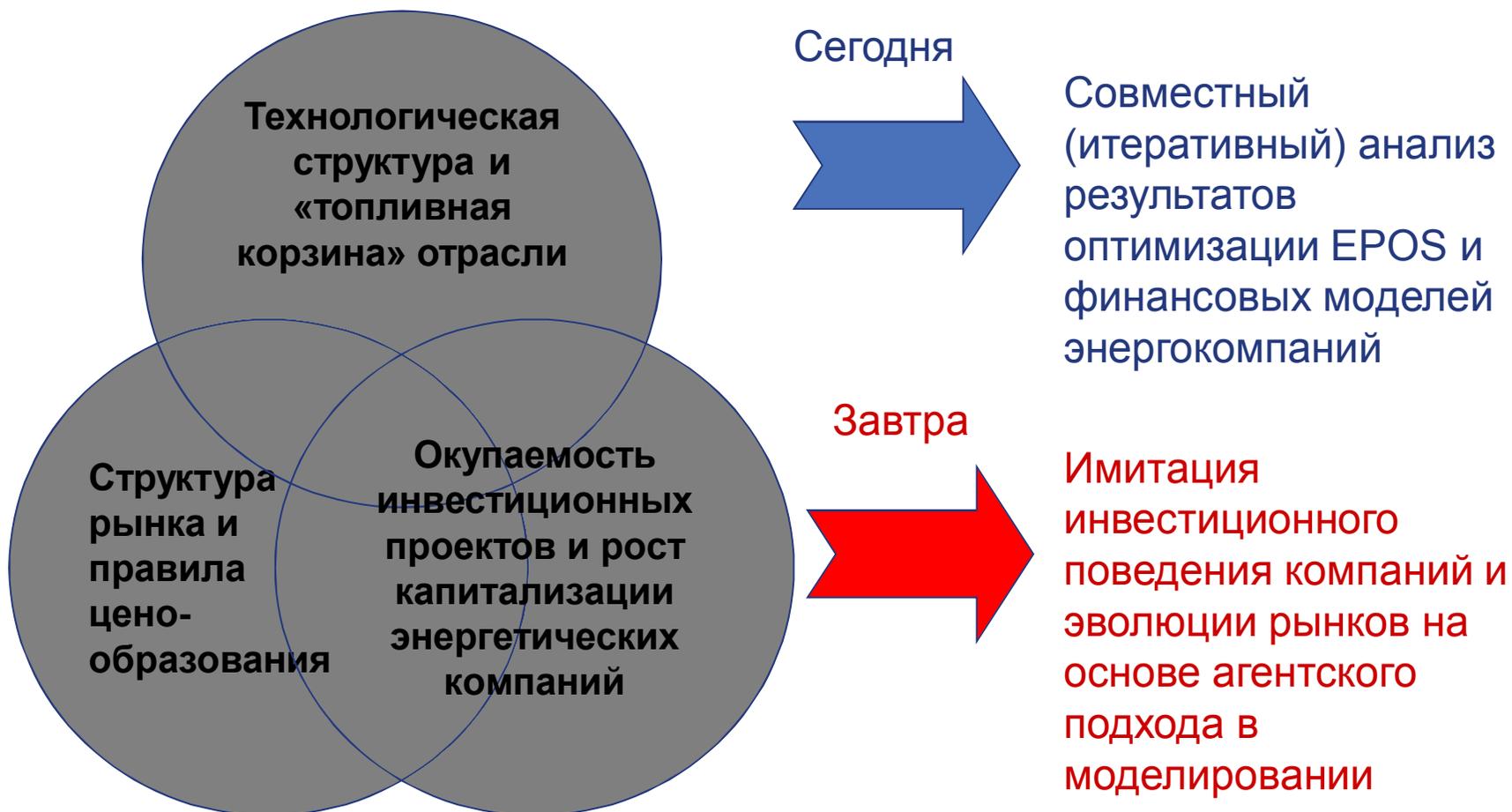
*Альтернативные алгоритмы обработка показателей процессов*

*Формирование локальной базы элементов фрагментированных задач ЛП*

*Автоматизированная сборка матриц задач ЛП и проверка полноты*



## Заключение. Финансовые аспекты оптимизации развития электроэнергетики



## Институт энергетических исследований РАН

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

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

Макаров Алексей, академик РАН, директор

[makarov\\_ire@zmail.ru](mailto:makarov_ire@zmail.ru)

Веселов Федор, к.э.н., зав. отделом

[info@eriras.ru](mailto:info@eriras.ru), [erifedor@mail.ru](mailto:erifedor@mail.ru)

Макарова Алла, к.э.н., зав. лабораторией

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

Хоршев Андрей, к.э.н., зав. лабораторией

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

# Thanks for attention