



# СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ МЕТОДОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ (по материалам обзоров различных энергетических компаний и организаций, с учетом пандемии SARS COVID-19)

#### Ю. Г. Рыков

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН Институт энергетики и финансов

семинар «Экономика энергетики и окружающей среды» Московская школа экономики, 11 ноября 2021 г.

#### ПЛАН ПРЕЗЕНТАЦИИ

- Исторический аспект деятельности по построению глобальных сценариев развития мировой энергетики, 2010-2021 годы
- Рассмотренная совокупность сценариев конца 2019 года
  - ▶ МЭА, УЭИ США, ОПЕК, ФСЭГ Форум Стран Экспортеров Газа (Gas Exporting Countries Forum GECF), Института Экономики Энергетики Японии (Institute of Energy Economics Japan IEEJ), Массачусетского технологического института (Massachusetts Institute of Technology MIT), Института энергетических исследований РАН (ИНЭИ), DNV GL Group (DNV), компаний ЭксонМобил (Exxon), БиПи (ВР), Шелл (Shell), Эквинор (Equinor), Лукойл, Китайская национальная нефтегазовая корпорация (China National Petroleum Corporation CNPC)
- Изменения в данной совокупности сценариев в 2020 году
- О возможных изменениях в методологии моделирования
  - > Взгляд на объекты моделирования, как на сложные системы состоящие из «несоизмеримых» факторов

#### ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ПОСТРОЕНИЮ СЦЕНАРИЕВ 2010-2021

#### ВОЗНИКНОВЕНИЕ ИНТЕРЕСА К СИСТЕМАТИЧЕСКОМУ ПОСТРОЕНИЮ СЦЕНАРИЕВ

- Утверждение о значимости климатических изменений результате антропогенной деятельности «запустило» процесс систематического построения прогнозных сценариев эволюции мировой энергетики
- В 2010 году Международное энергетическое агентство (МЭА) переформатировало свое видение энергетического будущего мира (конференция в Копенгагене в 2009 г.)
  - 2010 г.: базовый сценарий "Reference", наброски альтернативного сценария "Alternative policy"
  - году: базовый -> консервативный "Current policies", альтернативный -> базовый "New policies" + экологический сценарий "450"
- последующие годы активное участие в формировании сценариев стали принимать нефтегазовые/энергетические компании, например, BP, Shell, Exxon, Equinor, Лукойл, CNPC

#### СТАНОВЛЕНИЕ «СЦЕНАРОТВОРЧЕСТВА» КАК ПОЛИТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

- В 2017 году сценарий "450" был заменен на сценарий SD (sustainable development), который сильнее отличался от других сценариев и был жестко экологически ориентирован
- В обзоре 2019 года МЭА заявило, что мир развивается инерционно, и надо предпринимать срочные меры на уровне мира в целом для сокращения выбросов парниковых газов
- В 2020 году распространился COVID-19, что было квалифицировано как пандемия; произошел отказ от инерционных сценариев, углеродная нейтральность к 2050 г.
- В обзоре 2021 года (подается как императив в преддверии конференции в Глазго):
  - ➤ Новые сценарии "Announced pledges", "Net Zero". Сценарий "SDS" стал дополнительным. "SPS" наследник "NPS" -> консервативный
  - Представление энергетического баланса было полностью переформатировано путем соотнесения различных источников первичной энергии с экологичностью их добычи и т.д.

#### СОВОКУПНОСТЬ СЦЕНАРИЕВ В КОНЦЕ 2019 года

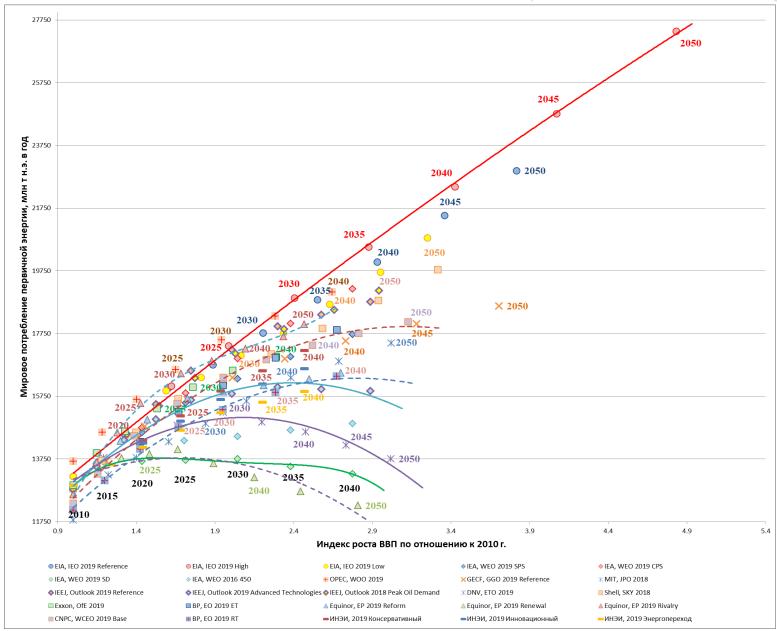
### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЦЕНАРНОГО ПОЛЯ В КОНЦЕ 2019 года

В целом, в сценариях, созданных до появления COVID-19, можно выделить три основных пути эволюции мировой энергетики (приводимые числовые оценки относятся к прогнозному периоду 2020 — 2040 гг., оценка энергобаланса приведена на 2040 г.):

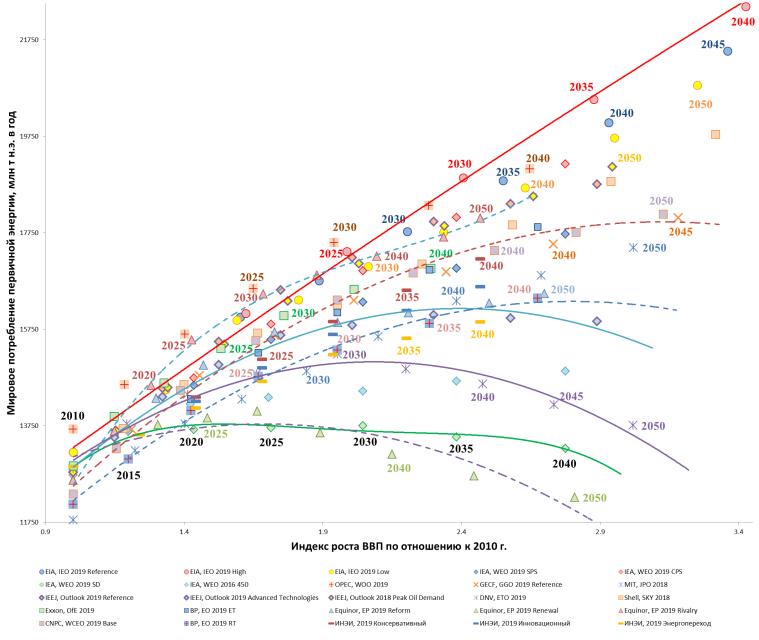
- Инерционный, характеризующийся ростом как ППЭ (на 20-40%), так и объема выбросов СО2 (на 5-20%); перспективный баланс ВИЭ~20%, Газ~25%, Нефть~28%, Уголь~22%
- Нормативный экологический, характеризующийся немедленной стабилизацией, а затем снижением (на 3-5%) ППЭ и резким (примерно в 2 раза) сокращением выбросов СО2; перспективный баланс ВИЭ~32%, Газ~25%, Нефть~23%, Уголь~7-12%
- Низкоуглеродный, характеризующийся ростом ППЭ (на 15-20%) и сокращением выбросов СО2 после 2025 г. (на ~ 30%);
  дерспективный баланс ВИЭ~30-35%, Газ~20-30%,

**Н**ефть~23%, Уголь~15%

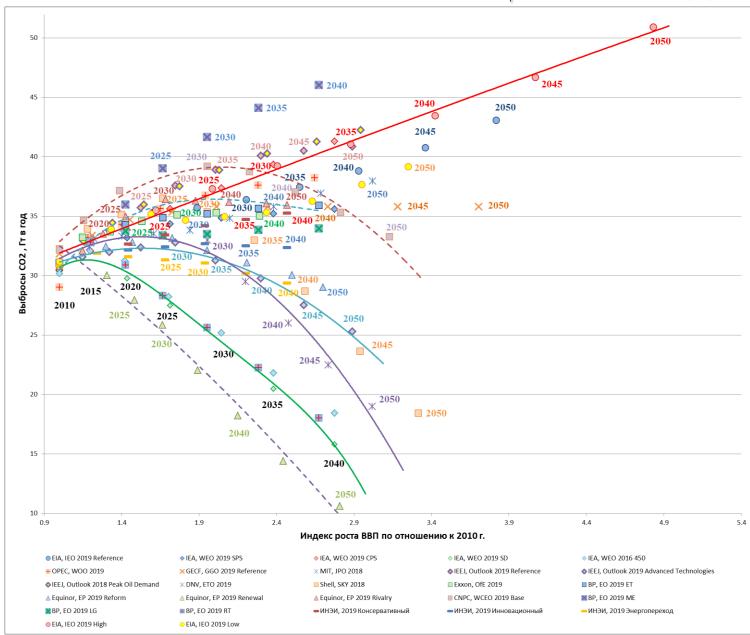
#### ПРОГНОЗЫ ППЭ К КОНЦУ 2019 года (1)



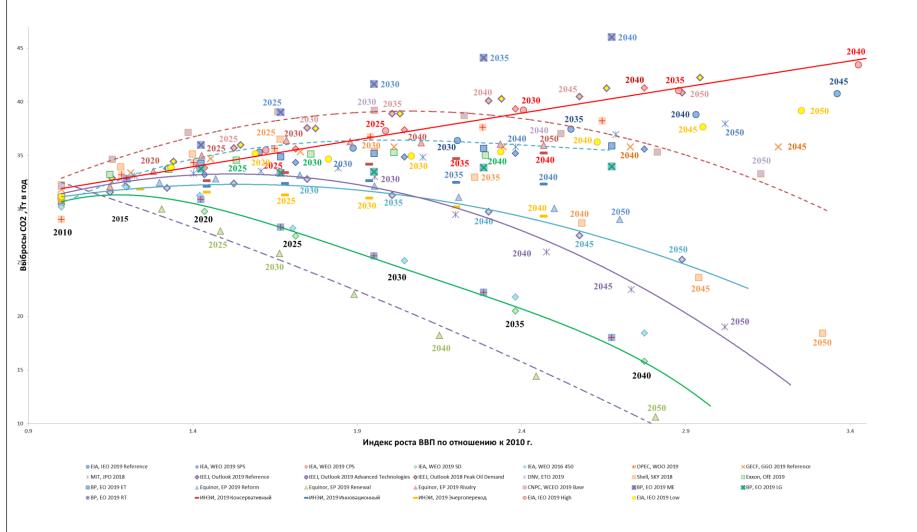
#### ПРОГНОЗЫ ППЭ К КОНЦУ 2019 года (2)



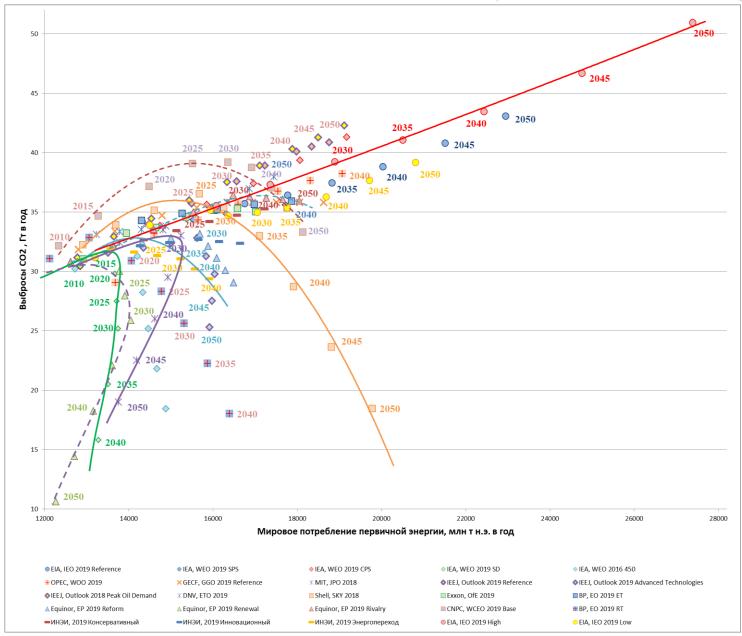
#### ПРОГНОЗЫ СО2 К КОНЦУ 2019 года (1)



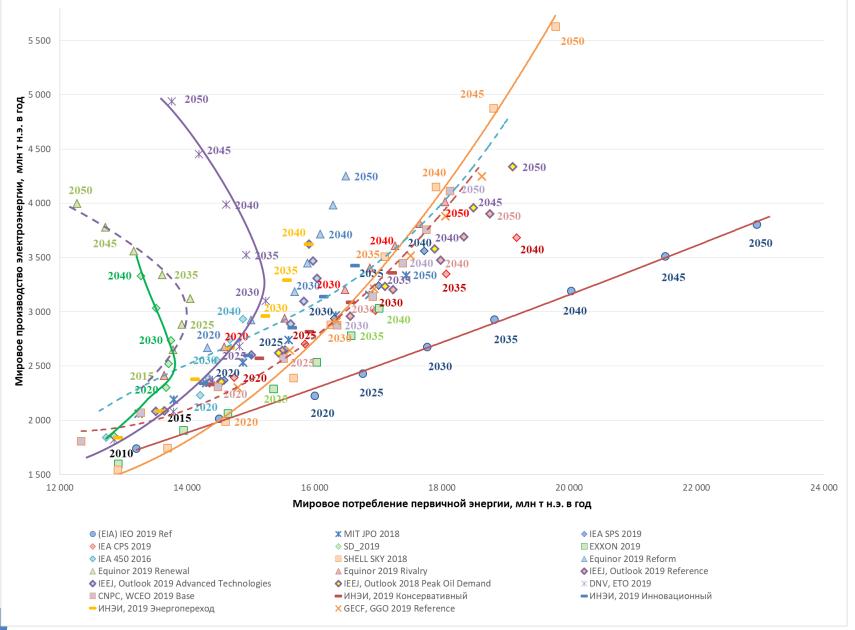
#### ПРОГНОЗЫ СО2 К КОНЦУ 2019 года (2)



#### ПРОГНОЗЫ СО2 К КОНЦУ 2019 года (3)



#### ПРОГНОЗЫ ЭЛ-ВА К КОНЦУ 2019 года

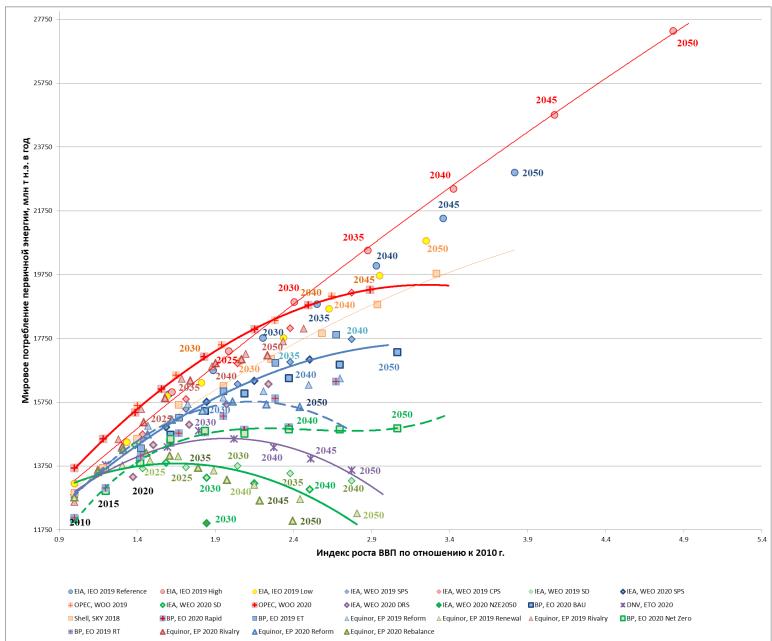


# ИЗМЕНЕНИЯ В СОВОКУПНОСТИ СЦЕНАРИЕВ ПОСЛЕ НАЧАЛА ПАНДЕМИИ – 2020 год

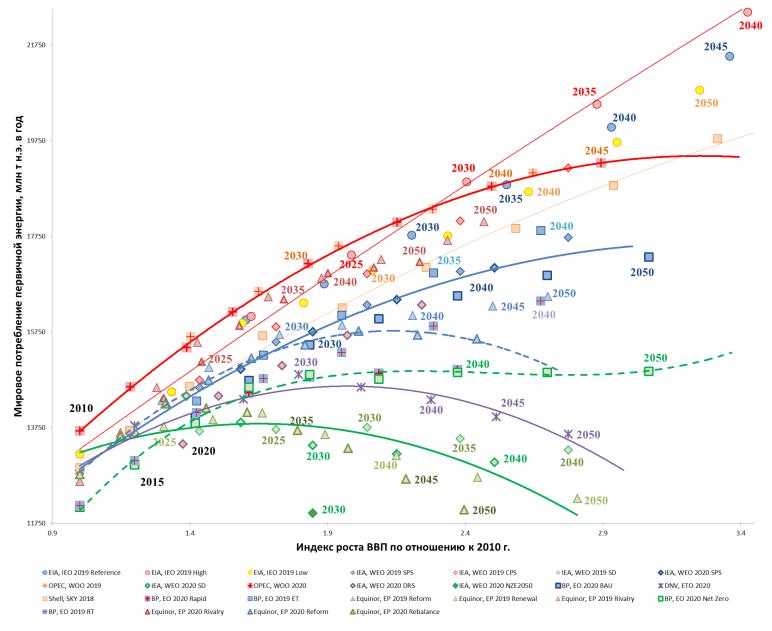
#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ СЦЕНАРНОГО ПОЛЯ В 2020 году

- Целевая установка на снижение выбросов СО2 затрагивает практически все сценарии, происходит постепенный отказ от сценариев инерционного развития (типа СРЅ МЭА), и появляются сценарии углеродной нейтральности к 2050 году
- Все сценарии характеризуются заметным снижением долгосрочных прогнозов темпов роста мировой экономики, а также и снижением прогнозов ППЭ; это является следствием запущенного COVID-19 общего торможения экономического развития, и рассматривается в качестве важного фактора достижения экологических целей
- Вторым фактором сокращения уровня выбросов является развитие ВИЭ, при этом роль газа на горизонте 2040 года растет по сравнению с прошлыми прогнозами, некоторые сценарии, например, сценарий DNV 2020 года, прогнозируют в 2040 году до 30% доли газа в энергобалансе
- Постепенно проявляется тенденция построения сценариев с учетом социально значимых факторов (сценарные наброски Шелл)

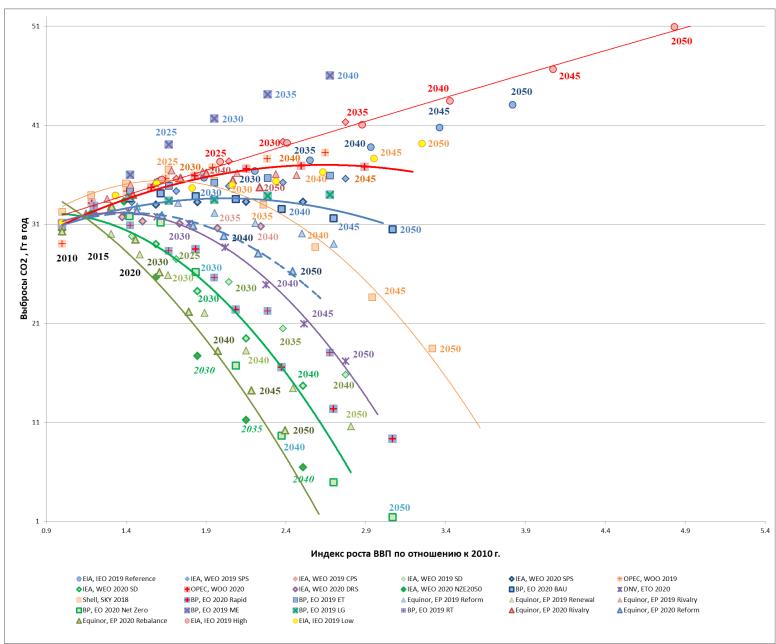
#### ИЗМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗОВ ППЭ В 2020 г. (1)



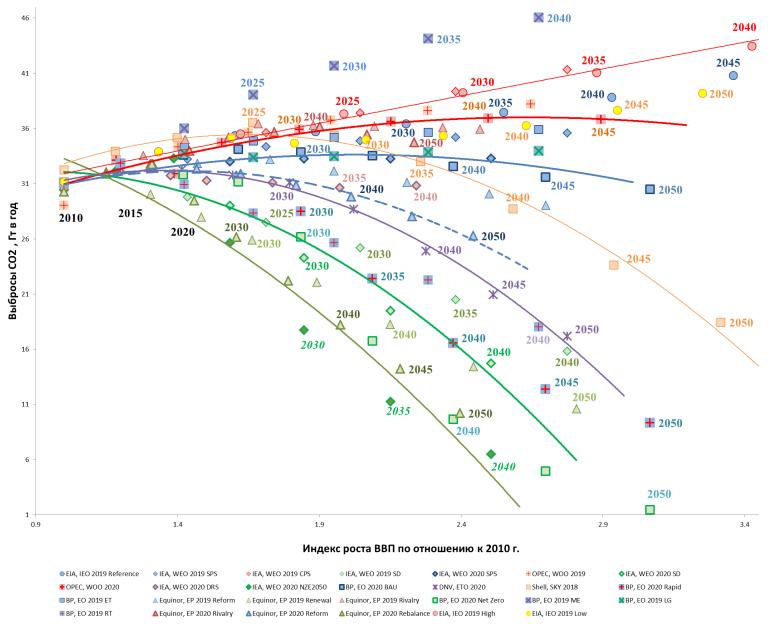
#### ИЗМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗОВ ППЭ В 2020 г. (2)



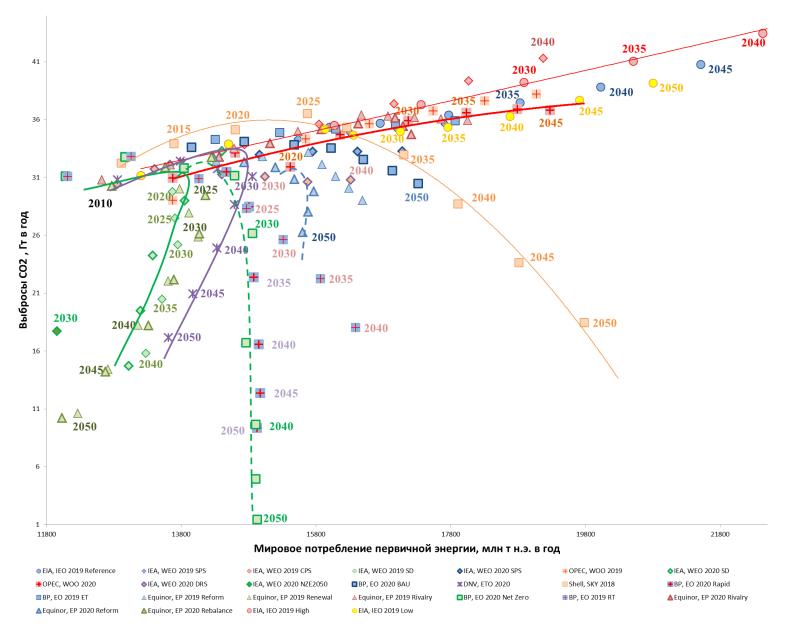
#### ИЗМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗОВ СО2 В 2020 г. (1)



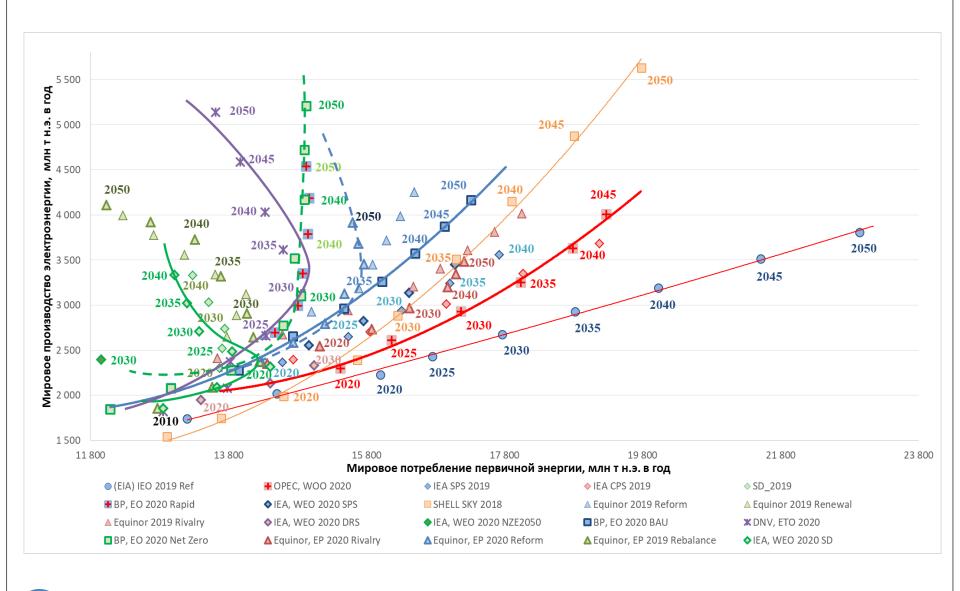
#### ИЗМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗОВ СО2 В 2020 г. (2)



#### ИЗМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗОВ СО2 В 2020 г. (3)



#### ИЗМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗОВ ЭЛ-ВА В 2020 г.



#### НЕКОТОРЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

- За последнее время появилось два глобальных фактора, оказывающих серьезное воздействие на мировую энергетику и имеющих внеэкономический характер: «климатическая повестка» и «пандемия коронавируса»
- Усиление влияния «климатической повестки» сопровождается требованием серьезной и быстрой ломки «естественного» тренда инерционного развития энергетического сектора
- Указанная ломка тренда характеризуется торможением экономического развития, сокращением потребления энергии, отказа от углеводородов и быстрого перенаправления инвестиций
- Следствием пандемии коронавируса также является экономическое торможение, сокращение активности, в т.ч. и снижение энергопотребления (например, международные авиаперевозки)
- Характер действий («нет» разработок по прямому удалению СО2; постоянное требование ломки, притом срочной) и пропаганды заставляет предположить наличие скрытых факторов, не связанных с климатом

## О возможных изменениях в методологии моделирования

Взгляд на объекты моделирования, как на сложные системы состоящие из «несоизмеримых» факторов

#### О МЕХАНИЗМЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

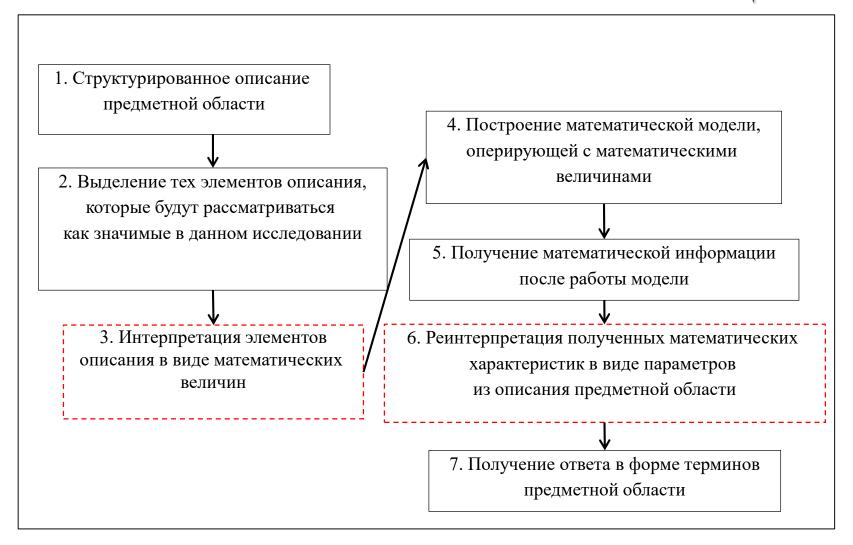
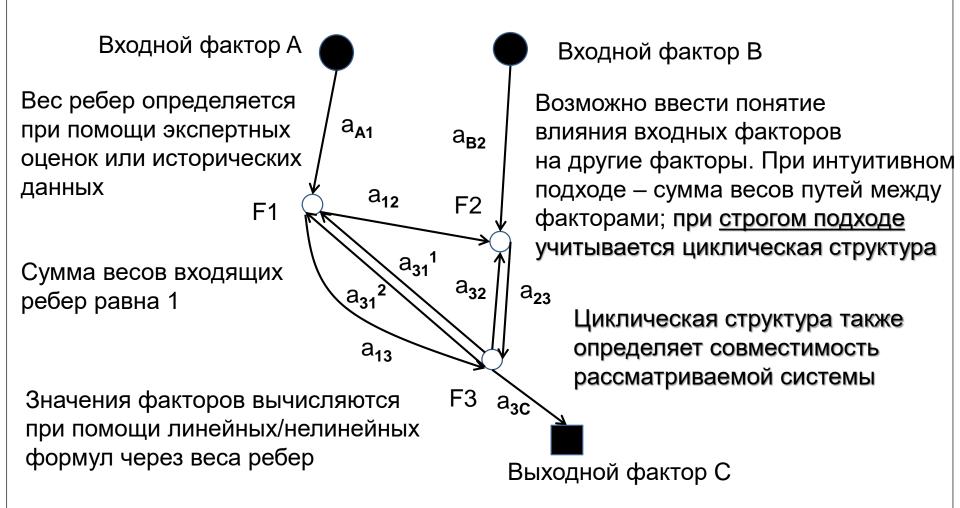


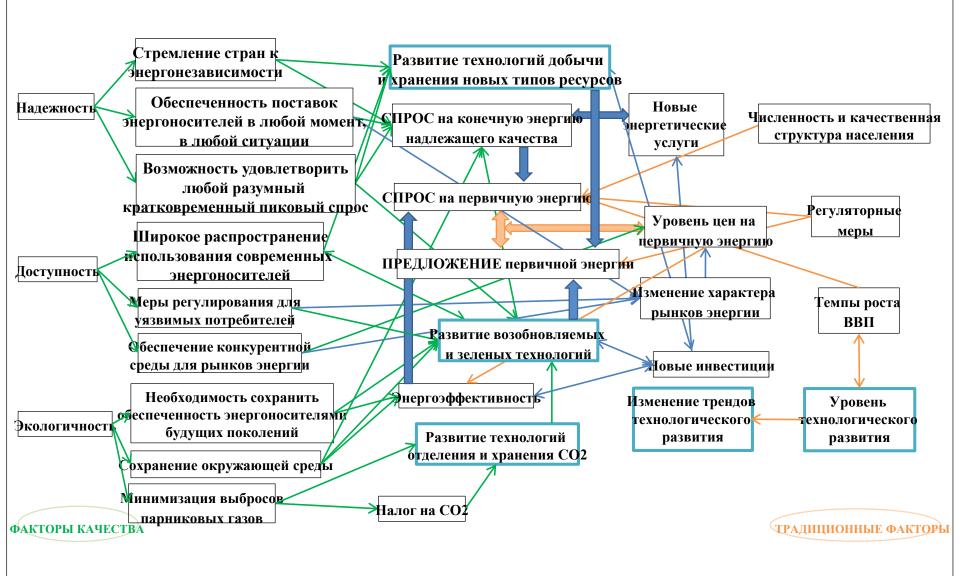
Схема использования метода математического моделирования при работе с конкретной предметной областью

#### ОБЩИЙ АБРИС КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

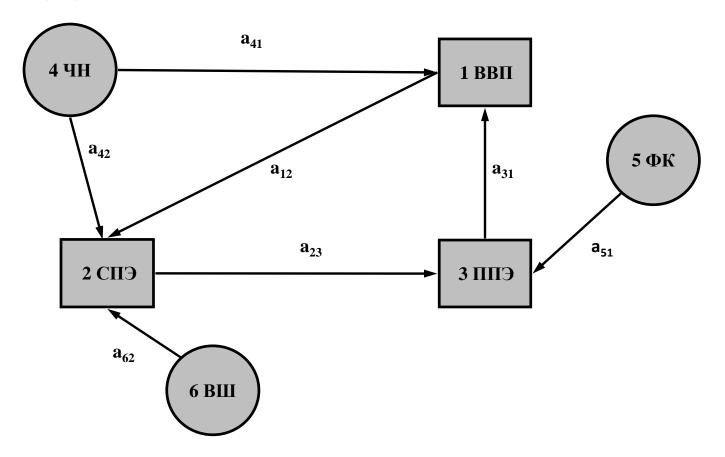


Указанный подход допускает постановку оптимизационных задач, а также использование понятий нечеткой математики

#### «МОДЕЛЬ» МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ (1)



#### «МОДЕЛЬ» МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ (2)



01 ВВП — валовый внутренний продукт (показатель роста экономики); 02 СПЭ — спрос на первичную энергию; 03 ППЭ — предложение первичной энергии; 04 ЧН — численность населения; 05 ФК — факторы качества (фактор требования использовать «чистую» или «диверсифицированную» энергию); ВШ — внешний шок (например, пандемия коронавируса)

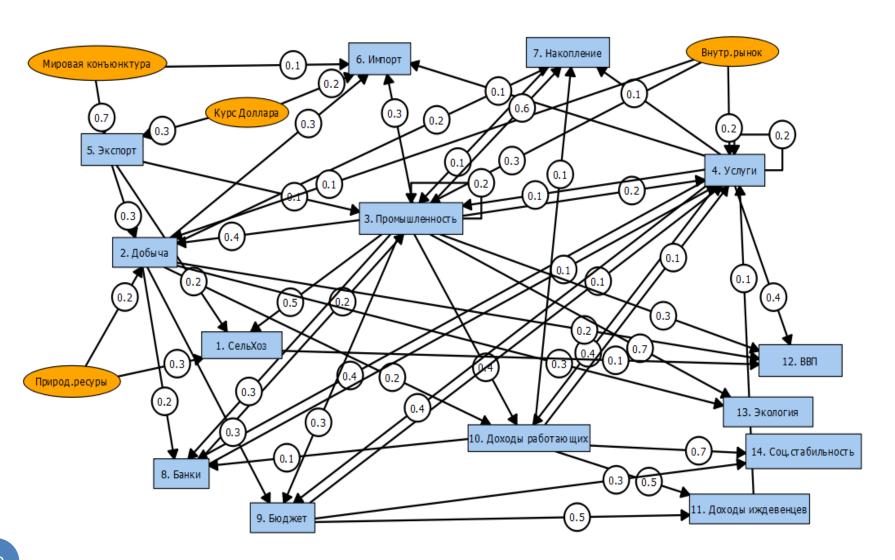
#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Энергетика конца XX	4 a <sub>41</sub> 1				
	04 ЧН	05 ФК	06 ВШ	чн ввп	
01 ВВП	0.977	0.077	0	$\gamma$	
02 СПЭ	1.000	0.054	0	$\begin{bmatrix} a_{42} \\ a_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{31} \\ \Phi \end{bmatrix}$	
03 ППЭ	0.900	0.154	0		
«Зеленеющая» энерге	$a_{23}$ $a_{52}$				
	04 ЧН	05 ФК	06 ВШ	СПЭ	
01 ВВП	0.885	0.385	0		
02 СПЭ	1.000	0.269	0	a <sub>62</sub> 6	
03 ППЭ	0.500	0.769	0	BIII	
«Зеленеющая» энерг. и внешний шок: $a_{31}$ =0,5; $a_{41}$ =0,5; $a_{12}$ =0,2; $a_{42}$ =0,3; $a_{62}$ =0,5; $a_{23}$ =0,5; $a_{53}$ =0,5					
	04 ЧН	05 ФК	06 ВШ		
01 ВВП	1.000	0.435	0.217		
02 СПЭ	0.696	0.087	0.870		
03 ППЭ	0.348	0.870	0.435		

Можно сравнивать значимость системообразующих факторов в зависимости от значимости входных факторов и на этой основе делать выводы для принятия решений

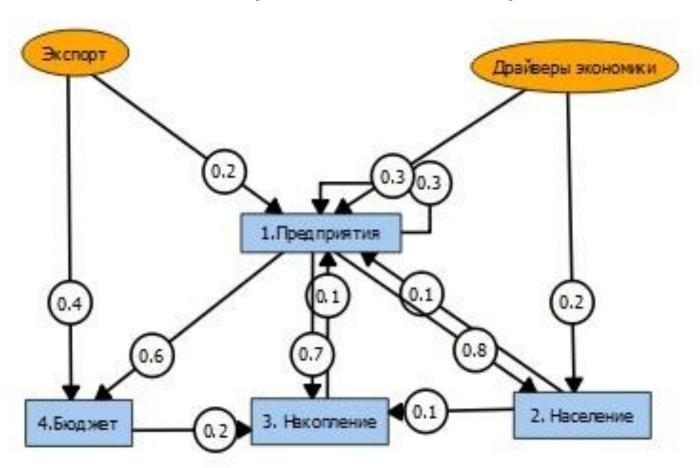
#### «МОДЕЛЬ» ЭКОНОМИКИ РФ (1)

#### Совместно с О.И. Дранко, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН



#### «МОДЕЛЬ» ЭКОНОМИКИ РФ (2)

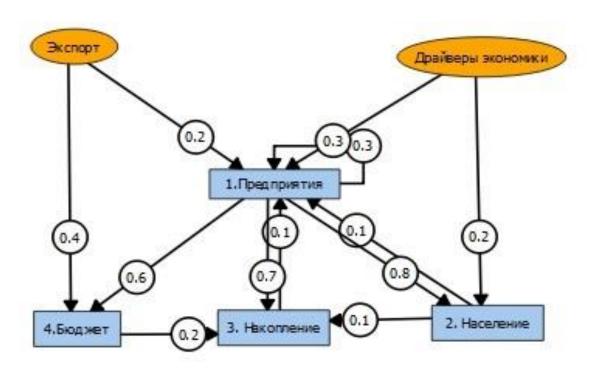
Совместно с О.И. Дранко, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН



Входы в каждый узел соответствуют основным существенным притокам ресурсов, в простейшей интерпретации – притока финансовых средств.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

	1. Предприятия	2. Население	3. Накопление	4. Бюджет
Экспорт	0.572	0.458	0.631	0.926
Драйверы экономики	0.886	1.000	0.826	0.531



#### СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ