

# Технологические возможности и экономические последствия развития электроэнергетики и теплоснабжения России при различных вариантах углеродного регулирования

Веселов Федор, к.э.н.

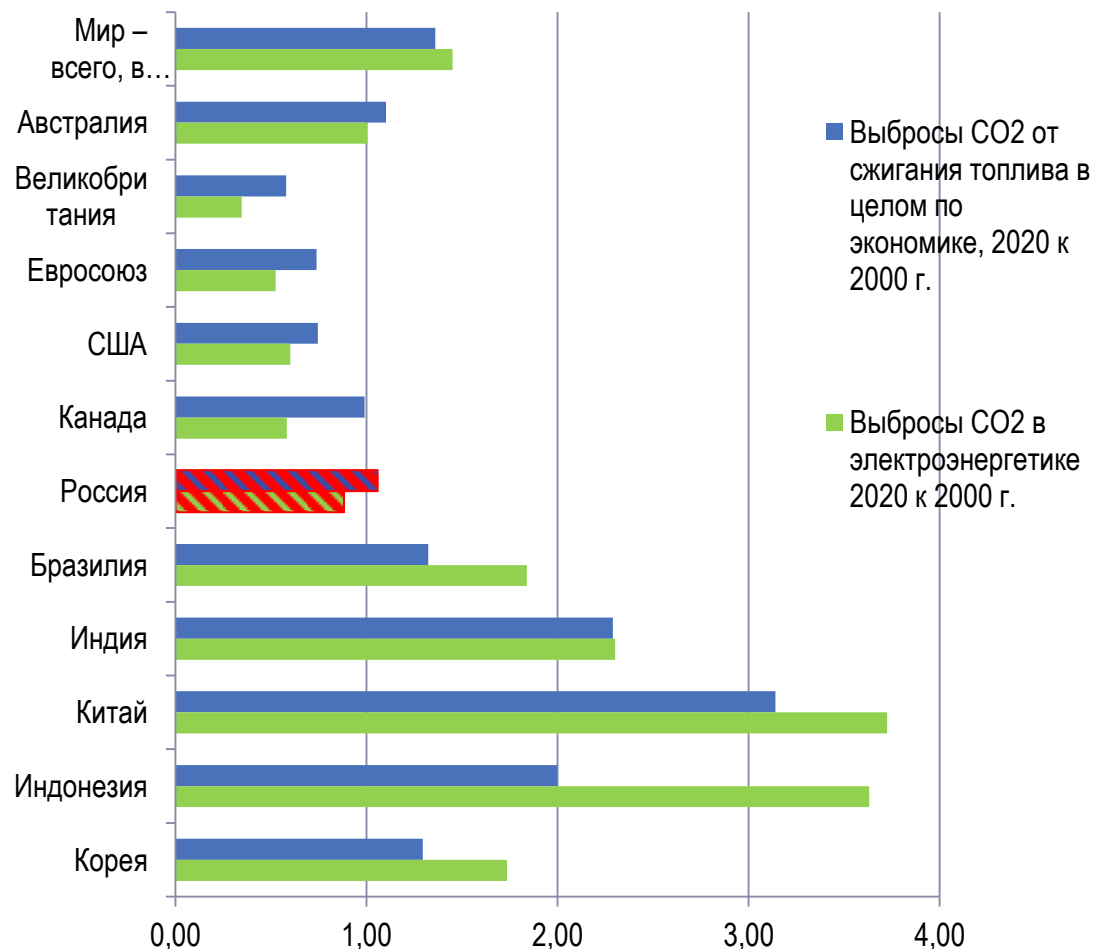
Хоршев Андрей, к.э.н.

Научно-практическая конференция «Национальная система мониторинга климатически активных веществ: проблемы и решения»

Москва, ноябрь 2023 г.



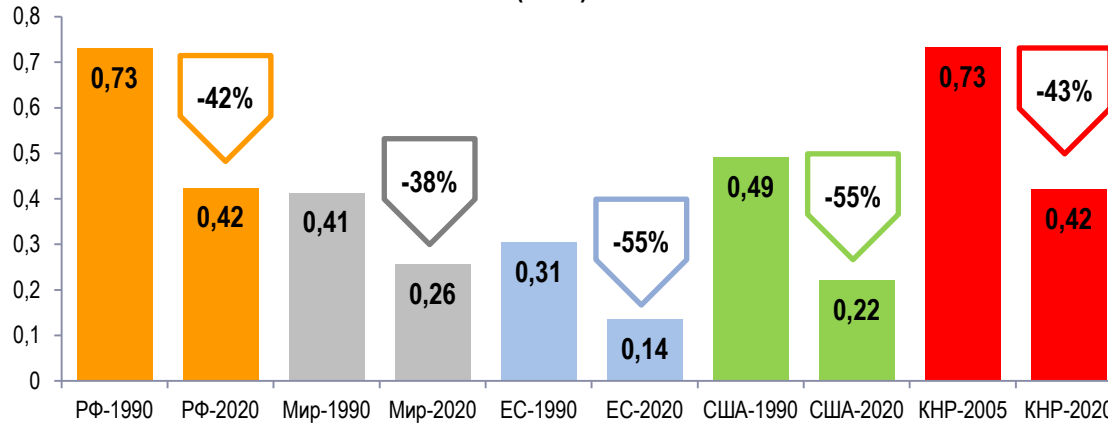
**Изменение выбросов CO<sub>2</sub> от сжигания топлива в экономике и электроэнергетике стран с 2000 по 2020 гг., раз**



- В мире прослеживается две тенденции изменения объемов выбросов CO<sub>2</sub> от энергетического использования топлива.
- Развитые страны
  - снижение общего объема выбросов CO<sub>2</sub>
  - опережающее снижение выбросов CO<sub>2</sub> от электростанций
- Развивающиеся страны
  - рост общего объема выбросов CO<sub>2</sub>
  - опережающий рост выбросов CO<sub>2</sub> от электростанций

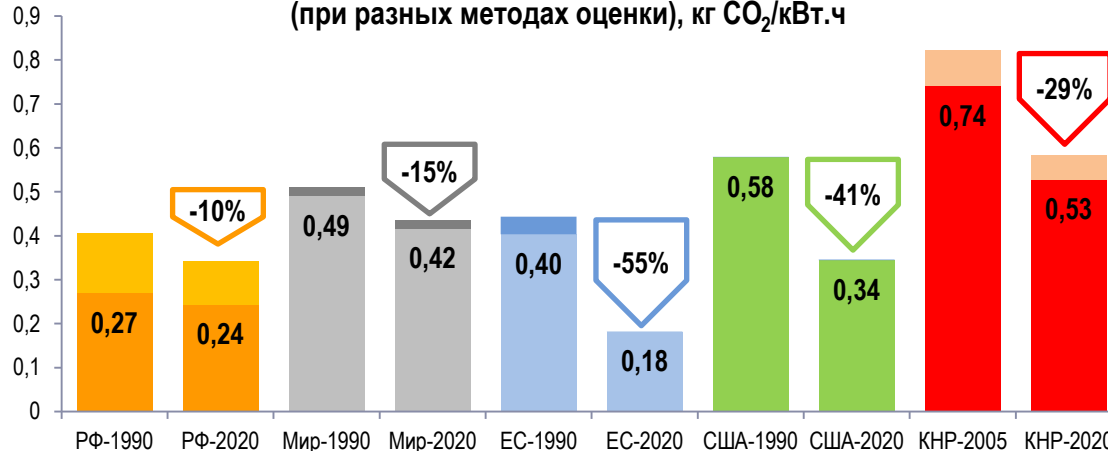
# Электроэнергетика России – «попутная» декарбонизация

Изменение углеродной интенсивности ВВП, кг CO<sub>2</sub>/долл. 2015 г. (ППС)



Источник: данные IEA,

Изменение углеродной интенсивности электроэнергии в России и мире (при разных методах оценки), кг CO<sub>2</sub>/кВт.ч



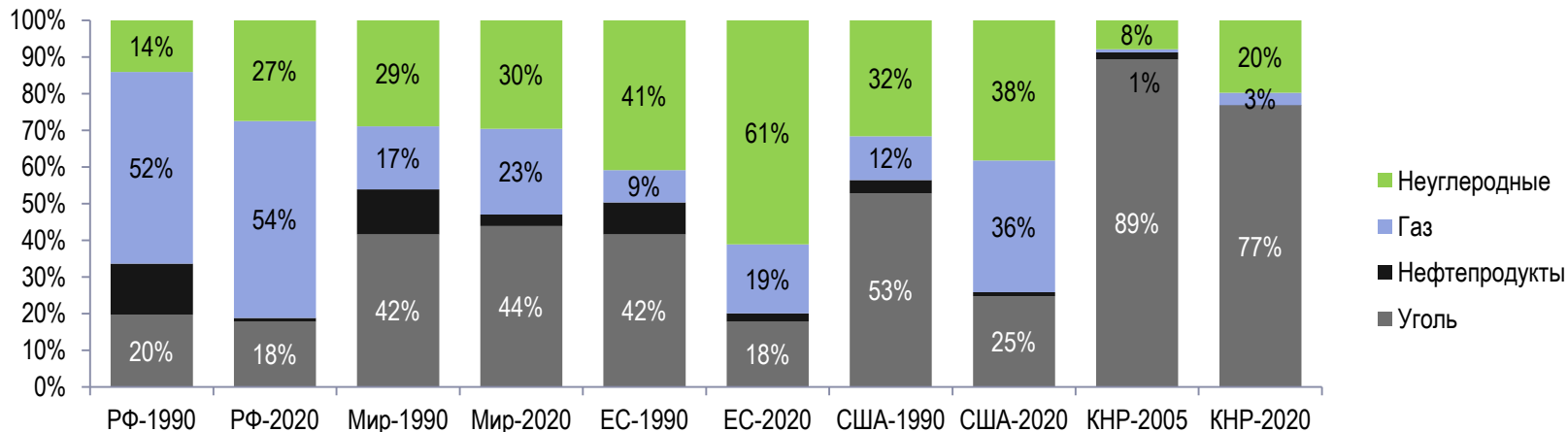
Источник: расчет ИНЭИ РАН по данным IEA

- За 20 лет снижение удельных выбросов CO<sub>2</sub> на единицу ВВП России сопоставимо с мировыми показателями

- Наиболее интенсивное снижение наблюдалось в первой декаде 21 века
- Начиная с 2013 года показатель остается достаточно стабильным

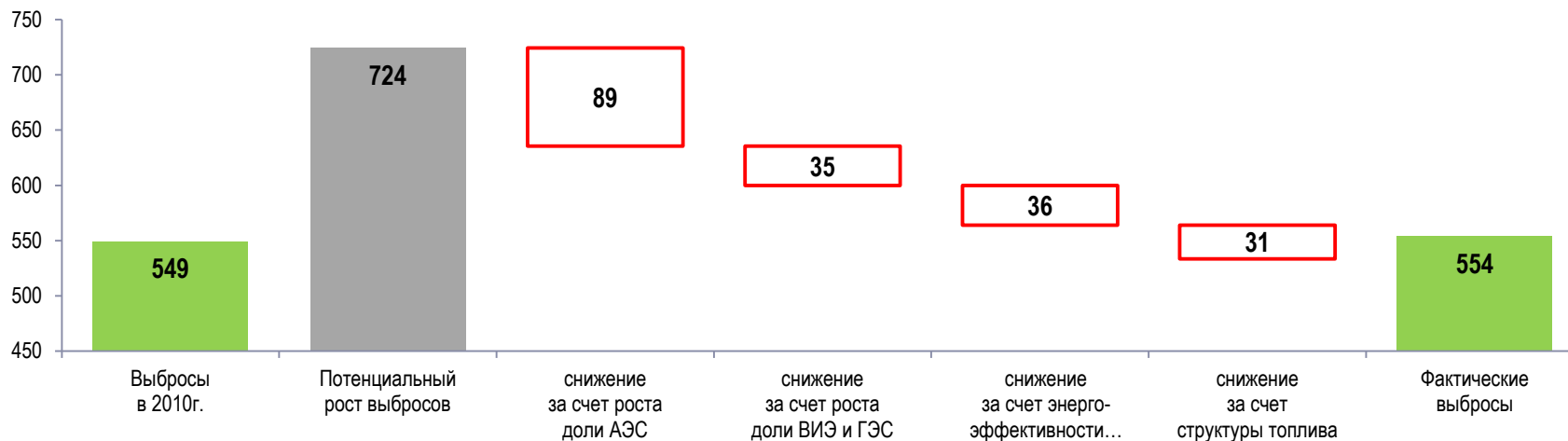
- Уже достигнутый низкий уровень углеродной интенсивности производства электроэнергии в РФ обеспечен уникальным сочетанием газа и нетопливных энергоресурсов, доминирующих в электроэнергетике, а также высокой долей теплофикации (ТЭЦ составляют около 50% всех тепловых электростанций)

## Структура потребления первичной энергии в электроэнергетике России и мира



Источник: данные IEA

## Вклад различных факторов в сдерживание выбросов CO<sub>2</sub> в ЭЭС России с 2010 по 2021 гг., млн т CO<sub>2</sub>



Источник: анализ ИНЭИ РАН

Источник: СО ЭЭС

# Электроэнергетика России: декарбонизация – не цель, но важный фактор развития

## Технологические направления развития электроэнергетики, способствующие снижению выбросов CO<sub>2</sub>:

- повышение эффективности использования газа на ТЭС (ГТУ и ПГУ технологии, теплофикация)
- дальнейшее увеличение доли неуглеродных источников электроэнергии (ГЭС, АЭС, ВИЭ)
- замещение угольных ТЭС и котельных газовыми, прежде всего - в восточной части страны, по мере расширения зоны газификации
- улавливание выбросов CO<sub>2</sub> на реконструируемых и новых газовых и угольных ТЭС, оснащенных системами CCS

## Механизмы реализации

- Квотирование выбросов (в т.ч. по секторам)
- Углеродные платежи

## Обоснование эффективных вариантов развития электроэнергетики (с учетом централизованного теплоснабжения):

- оптимизация технологической структуры мощностей и производства эл.энергии и центр.тепла
- уточнение оптимальных параметров с учетом внутригодовых и внутрисуточных режимов производства и потребления
- финансово-экономическая оценка (инвестиции и цены)

## Стратегическое целеполагание и параметры декарбонизации экономики:

- Климатическая доктрина
- Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов
- Долгосрочная цель по достижению углеродной нейтральности
- Национальные обязательства (NDC) в рамках реализации Киотского протокола

## Электроэнергетика России при введении квот на выбросы CO<sub>2</sub>

- Принятая в 2021 году Стратегия социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (СНУР-2050) предполагает к 2050 году:
  - снижение объема реальных выбросов ПГ на **13,6%** отн. уровня 2019 г.
  - снижение нетто-выбросов на 60% за счет увеличения объемов поглощения ПГ экосистемами в 2,2 раза
- Если заявленная динамика поглощения не будет достигнута, потребуется более существенное снижение реальных выбросов ПГ
  - при сохранении поглощения на уровне 2019 г. в 2050 г. они должны снизиться на **45%**

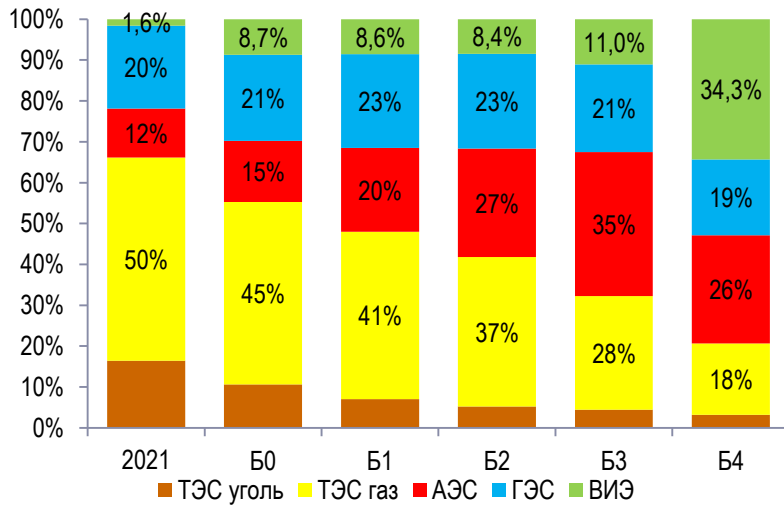
- В электроэнергетике в период до 2030 года выбросы ПГ будут расти с учетом совокупности факторов:
  - продолжающийся рост спроса
  - ограниченный объем вводов АЭС и ГЭС, а также ВИЭ-электростанций
  - вывод из эксплуатации ряда блоков АЭС
  - масштабная программа модернизации действующих ТЭС с сохранением прежней тепловой экономичности
  - отложенные планы по переходу на ПГУ в условиях ухода внешних поставщиков и сроков массового появления российских ГТУ

- Однако к 2040 году можно рассматривать широкий диапазон вариантов с целевым снижением выбросов (в % к уровню 2019 г.)

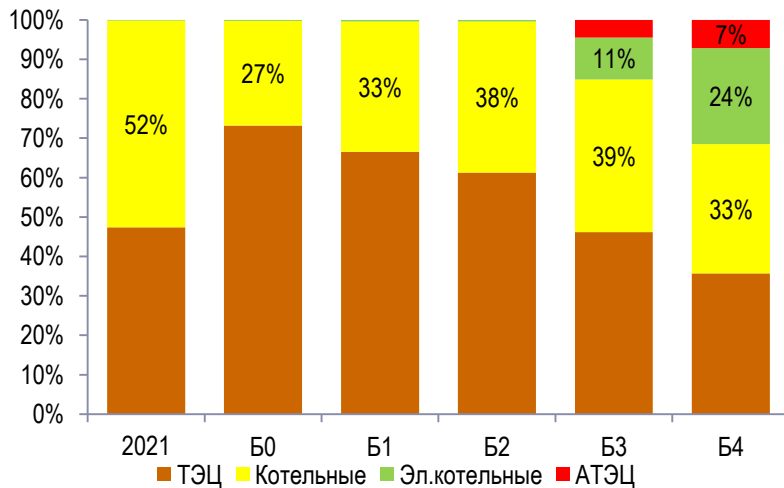
| Варианты                                 | 2035 г. | 2040 г. | 2045 г. | 2050 г. |
|--|---------|---------|---------|---------|
| Базовый (Б0) – без квотирования выбросов | 108     | 106     | 103     | 102     |
| Б1 (СНУР-2050)                           | -       | 100     | 94      | 86      |
| Б2 (-25% в 2050)                         | -       | 95      | 87      | 75      |
| Б3 (-40% в 2050)                         | 97      | 90      | 76      | 60      |
| Б4 (-50% в 2050)                         | 97      | 78      | 62      | 50      |

# Электроэнергетика России при введении квот на выбросы CO2

## Структура генерирующей мощности в ЕЭС России в 2050 г.



## Структура отпуска централиз.тепла в 2050 г.

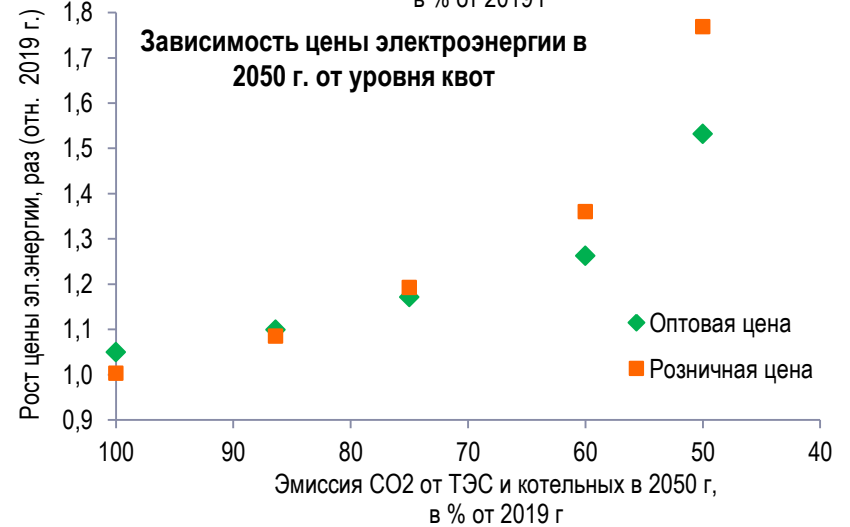
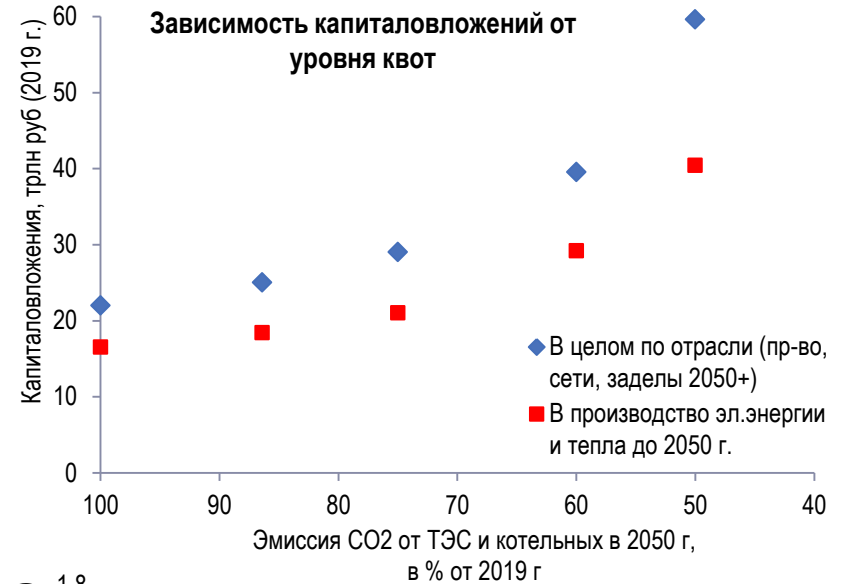
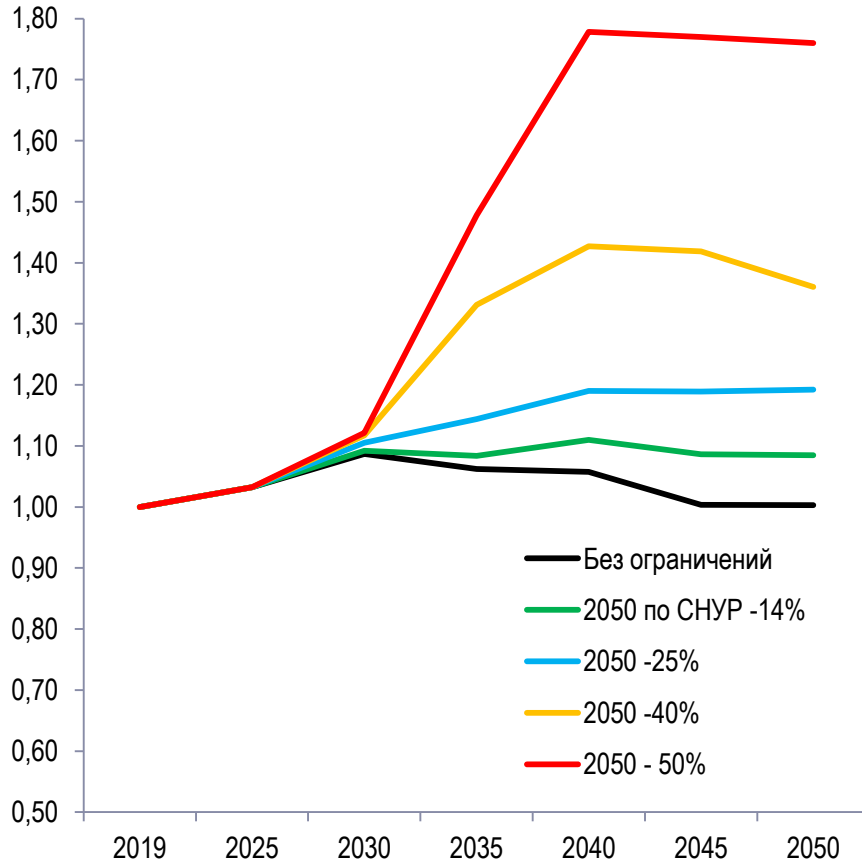


| Показатели 2050 года  | Б0   | Б1           | Б2           | Б3           | Б4           |
|---|------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Целевое снижение эмиссии CO2 от ТЭС и котельных, в % от отчетного (для Б0 – достигаемое значение) | +2   | <b>-13,6</b> | <b>-25</b>   | <b>-40</b>   | <b>-50</b>   |
| Доля безуглеродных источников в производстве эл.энергии (АЭС, ГЭС, ВИЭ), %                        | 42,9 | 53,9         | 64,4         | 77,3         | 84,1         |
| Доля безуглеродных источников в производстве тепла (эл.котел. И АТЭЦ), %                          | 0,3  | 0,3          | 0,4          | 0,4          | 31,5         |
| Изменение спроса на газ ТЭС и котельных, в % от отчетного   | -1,7 | <b>-8,3</b>  | <b>-18,3</b> | <b>-37,7</b> | <b>-53,6</b> |
| Изменение спроса на уголь ТЭС и котельных, в % от отчетного                                       | 4,6  | <b>-36,8</b> | <b>-57,8</b> | <b>-68,7</b> | <b>-70,3</b> |

|  | Б0 | Б1         | Б2         | Б3         | Б4          |
|--|----|------------|------------|------------|-------------|
| Доп. рост установленной мощности электростанций в 2050 г., в % от базового варианта                | -  | 1,4        | 2,9        | 11,6       | 55,1        |
| Прирост суммарных капиталовложений на развитие электро- и теплогенерации, в % от базового варианта | -  | <b>12</b>  | <b>27</b>  | <b>77</b>  | <b>145</b>  |
| Прирост суммарных дисконтированных затрат, в % от базового варианта                                | -  | <b>0,5</b> | <b>1,3</b> | <b>4,9</b> | <b>11,3</b> |

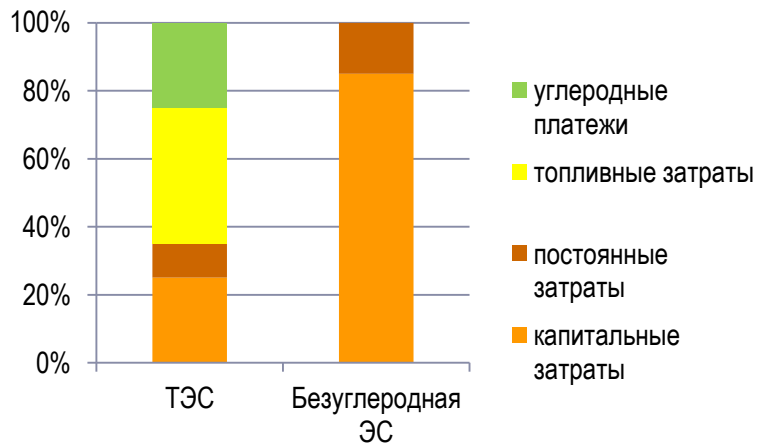
# Электроэнергетика России при введении квот на выбросы CO2

Изменение цены среднеотпускной электроэнергии при различных уровнях квот на выбросы CO2





# Электроэнергетика России при введении углеродных платежей



- Плата за выбросы CO<sub>2</sub> резко снижает конкурентоспособность источников электроэнергии и тепла на органическом топливе и повышает привлекательность проектов с низким или нулевым выбросом CO<sub>2</sub>, **но при общем увеличении стоимости электроэнергии**
- В 2023 году стоимость единицы выбросов составила 85-95 долл/т CO<sub>2</sub> в ЕС и Великобритании, 15-30 в США, около 45 в Японии, 5-15 в Китае

Допущения по ставкам углеродных платежей в WEO-2023, долл/т CO<sub>2</sub>

|   | Stated Policies Scen | Announced Pledges Scen | Net Zero 2050 Scen |
|---|----------------------|------------------------|--------------------|
| Развитые страны, реализующие цели по достижению углеродной нейтральности          | 130-150              | 200                    | 250                |
| Развивающиеся страны, рассматривающие цели по достижению углеродной нейтральности | 50                   | 160                    | 180-200            |

Источник: World Energy Outlook 2023, IEA

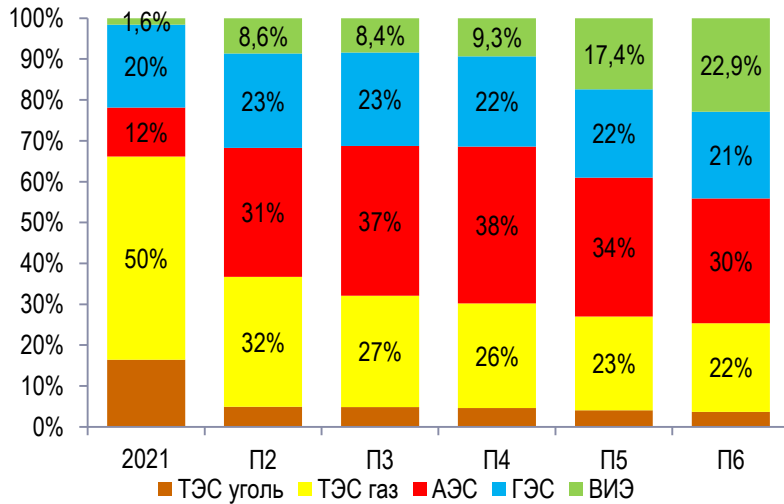
- К 2050 году можно рассматривать широкий диапазон вариантов с кратной разницей в ставке углеродных платежей в России, долл/т CO<sub>2</sub>

| Варианты                            | 2030 г. | 2035 г. | 2040 г. | 2045 г. | 2050 г. |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Базовый (Б0) – без платы за выбросы | -       | -       | -       | -       | -       |
| П1                                  | 25      | 25      | 25      | 25      | 25      |
| П2                                  | 25      | 31      | 38      | 44      | 50      |
| П3                                  | 25      | 44      | 62      | 81      | 100     |
| П4                                  | 38      | 66      | 94      | 122     | 150     |
| П5                                  | 50      | 88      | 125     | 162     | 200     |
| П6                                  | 75      | 119     | 162     | 206     | 250     |

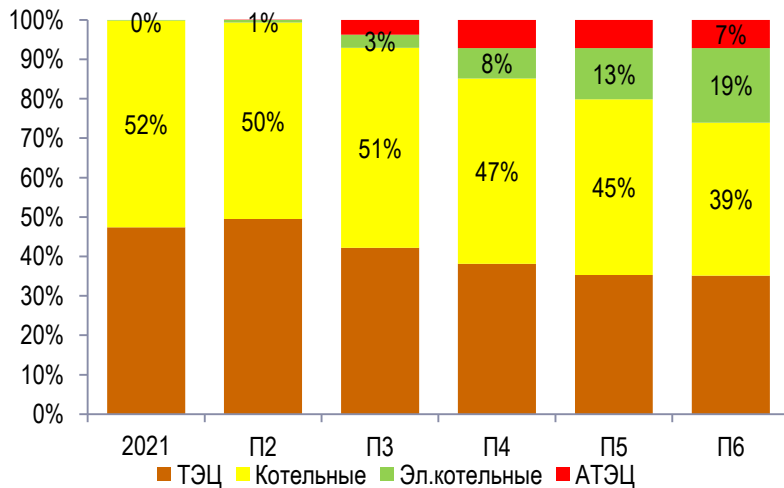
Источник: анализ ИНЭИ РАН

# Электроэнергетика России при введении углеродных платежей

## Структура генерирующей мощности в ЕЭС России в 2050 г.



## Структура отпуска централиз.тепла в 2050 г.



| Показатели 2050 года   | П2   | П3   | П4   | П5   | П6   |
|--|------|------|------|------|------|
| Ставка углеродного платежа, долл/т CO2                                     | 50   | 100  | 150  | 200  | 250  |
| Достижимое снижение эмиссии CO2 от ТЭС и котельных, в % от отчетного       | -30  | -38  | -43  | -46  | -49  |
| Доля безуглеродных источников в производстве эл.энергии (АЭС, ГЭС, ВИЭ), % | 71,2 | 77,8 | 80,4 | 82,1 | 82,3 |
| Доля безуглеродных источников в производстве тепла (эл.котел. и АТЭЦ), %   | 0,7  | 7,1  | 14,9 | 20,1 | 26,1 |
| Изменение спроса на газ ТЭС и котельных, в % от отчетного                  | -29  | -39  | -44  | -48  | -50  |
| Изменение спроса на уголь ТЭС и котельных, в % от отчетного                | -61  | -63  | -68  | -68  | -69  |

|  | П2  | П3  | П4  | П5   | П6   |
|--|-----|-----|-----|------|------|
| Доп. рост установленной мощности электростанций в 2050 г., в % от базового варианта                | 2,0 | 3,7 | 8,3 | 22,2 | 36,2 |
| Прирост суммарных капиталовложений на развитие электро- и теплогенерации, в % от базового варианта | 41  | 65  | 88  | 113  | 142  |
| Прирост суммарных дисконтированных затрат, в % от базового варианта                                | 2,5 | 5,0 | 7,5 | 10,2 | 14,0 |

## Электроэнергетика России: декарбонизация – не цель, но важный фактор развития

- Электроэнергетика России – крупнейший эмитент CO<sub>2</sub>, но и крупнейший внутренний потребитель газа и угля
  - Существующая технологическая структура обеспечивает низкий уровень углеродной интенсивности производства электроэнергии
  - Развитие отрасли «по тенденции», но с учетом эффективной конкуренции технологий, позволит к 2050 г. вернуться на отчетный уровень выбросов CO<sub>2</sub> при стабильной цене электроэнергии
- В российских условиях наиболее эффективными направлениями снижения выбросов CO<sub>2</sub> являются: массовое обновление оборудования газовых ТЭС, атомная и гидроэнергетика. Наиболее дорогими (но востребованными в сценариях сильной декарбонизации являются ВИЭ, CCS, атомная теплофикация и электротопление)
  - Выполнение среднестранового требования СНУР по снижению выбросов от ТЭС и котельных на 13,6% реализуется при умеренных структурных изменениях и приемлемой дополнительной инвестиционной и ценовой нагрузке
- Однако выполнение более жестких требований по снижению выбросов (технически возможному) будет сопровождаться быстрым, нелинейным ростом капиталовложений и стоимости электроэнергии для потребителей
- Углеродные платежи могут эффективно менять условия межтопливной конкуренции. Однако этот эффект весьма нелинеен. При плате 50 долл/т CO<sub>2</sub> выбросы в электроэнергетике и теплоснабжении могут снизиться на 30% к 2050 г. Однако переход к снижению до 40-50% потребует роста платы до 150-250 долл/т CO<sub>2</sub>
- Отдельной проработки требует вопрос эффективного перераспределения углеродных платежей от ТЭС и котельных для решения задач декарбонизации в рамках всей экономики страны.

Институт энергетических исследований РАН

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

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

Спасибо за внимание!