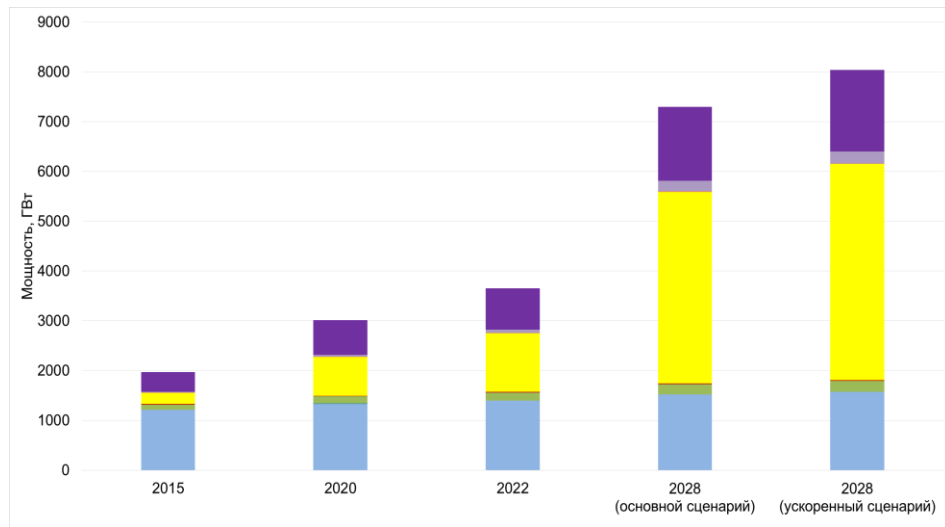


Оценка влияния интенсивного развития ветроэнергетики
на экономические условия работы электростанций и
окупаемость новых энергомощностей в Объединенной
энергосистеме Юга

Люшнин Л.С., Аликин Р.О.

ВИЭ в мире

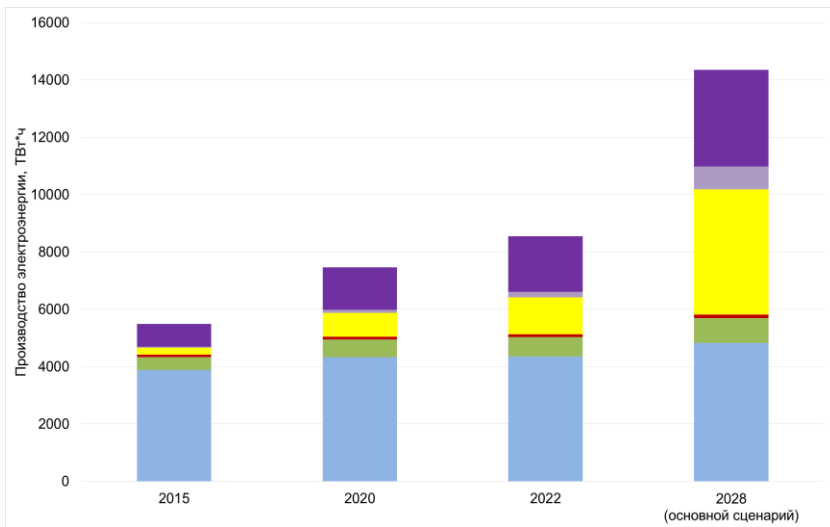
Динамика мощностей ВИЭ в мире по годам с 2013 по 2022 годы с прогнозом на 2028 год, ГВт



а

■ Гидроэнергетика
■ Энергия волн и приливов
■ Фотоэлектрические солнечные станции
■ CSP солнечные станции

Динамика выработки электроэнергии на ВИЭ в мире с 2015 по 2022 годы с прогнозом на 2028 год, ТВт*ч

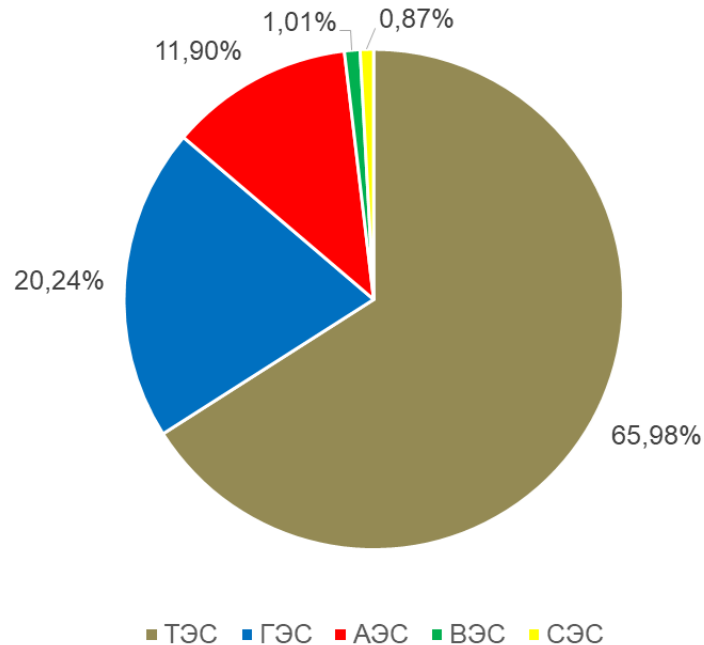


б

■ Биоэнергетика
■ Геотермальная энергетика
■ Морская ветроэнергетика
■ Наземная ветроэнергетика

С 2015 года по 2022 год мощность всех ВИЭ увеличилась в 1,85 раза, а **мощность ВЭС увеличилась в 2,17 раза**.
Выработка электроэнергии с 2015 по 2022 год на всех ВИЭ увеличилась в 1,55 раза, а **выработка на ВЭС увеличилась в 2,55 раза**.

ВИЭ в России



Структура мощности электростанций в ЕЭС России на 2023 год

Установленная мощность станций на базе ВИЭ (с учетом станций в ЕЭС России, в изолированных энергосистемах и собственную генерацию промышленности) на 2023 год составила - **6,12 ГВт** (2,5% от установленной мощности всех станций в России): **ВЭС – 2,53 ГВт**, СЭС – 2,19 ГВт, МГЭС – 1,24 ГВт (по данным АРВИЭ).

Мощность ВЭС - 1% от всей установленной мощности в ЕЭС РФ.

Развитие ВИЭ – один из инструментов достижения цели Климатической доктрины РФ – **углеродной нейтральности экономики России к 2060 году**.

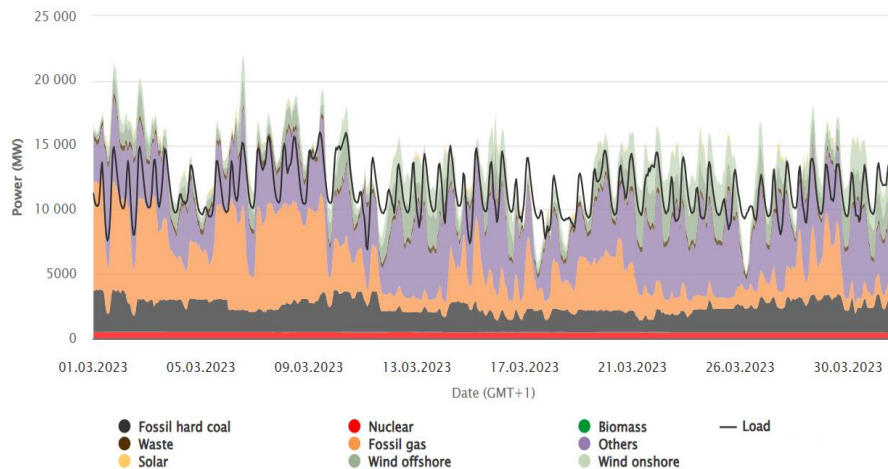
Эффекты возникающие при интеграции ВИЭ

Проблемы с «гибкостью» режимов работы энергосистемы - переработка или недовыработка электроэнергии от ВИЭ

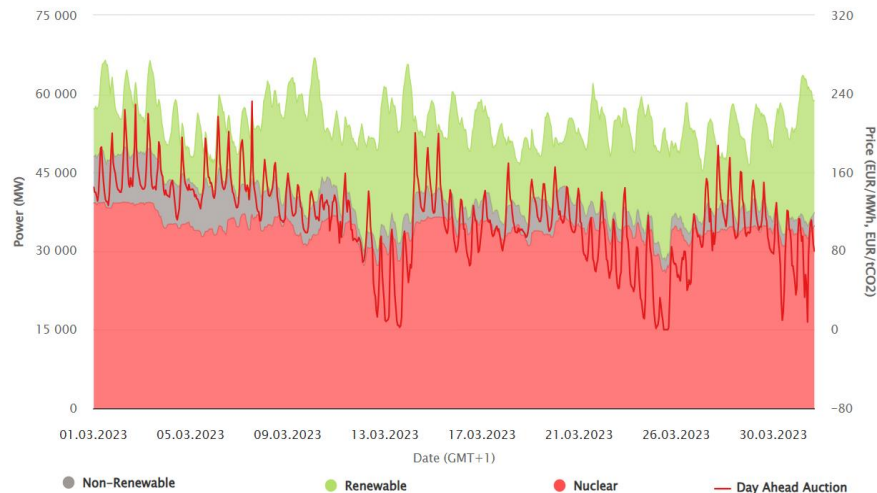


Public net electricity generation the Netherlands in March 2023

Original data ENTSO-E



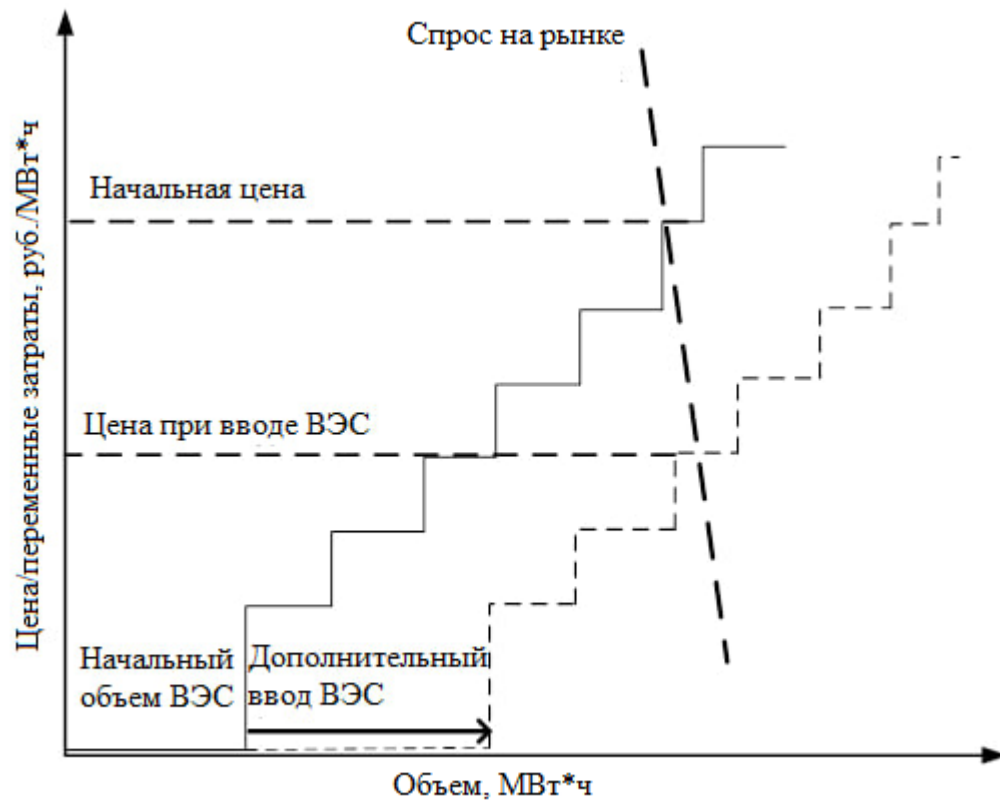
Electricity production and spot prices in France in March 2023



Снижение спотовой цены на электроэнергию

Источник: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE)

Эффект ценового каннибализма



Модель комплексной коммерческой диспетчеризации (МОККО)

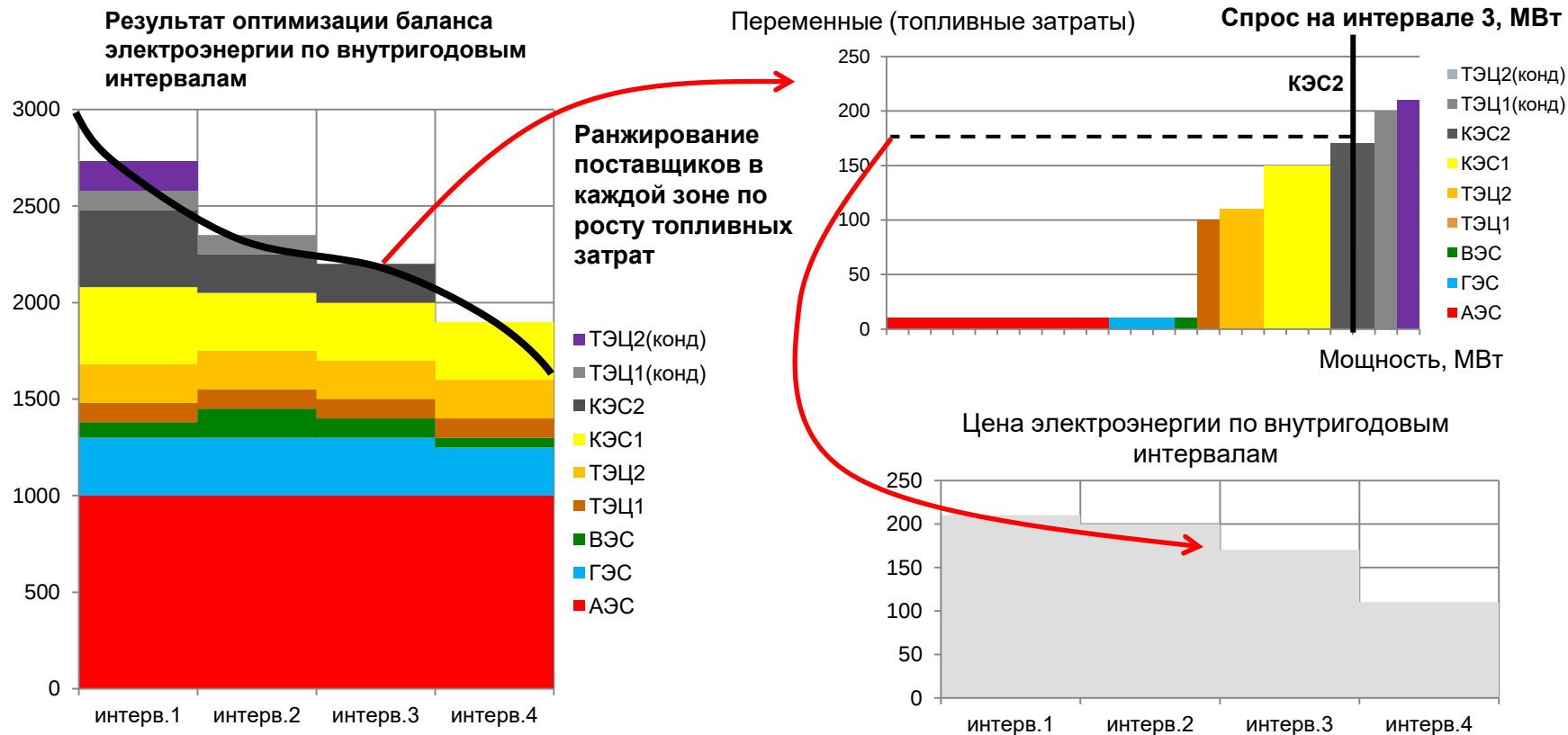
$$\begin{aligned}
 & \sum_{s=1}^S N_s^{\text{genStation}_{n,t}} + \sum_{h=1}^H N_h^{\text{HPS}_{n,t}} + \sum_{v=1}^V N_v^{\text{genVRE}_{n,t}} - \text{Curtail}^{\text{VRE}_{n,t}} \\
 & + N^{\text{loss of load}_{n,t}} - N^{\text{excess load}_{n,t}} + \sum_{d=1}^D \text{Discharge}_d^{n,t} \\
 & + \sum_{i=1}^I N_i^{\text{import transfer}_{n,t}} \\
 & = N^{\text{demand}_{n,t}} + \sum_{e=1}^E N_e^{\text{export transfer}_{n,t}} + \sum_{c=1}^C \text{Charge}_c^{n,t} \\
 & - \sum_{r=1}^R N_r^{\text{DR}_{n,t}},
 \end{aligned}$$

Уравнение почасового баланса мощности в каждом узле энергосистемы

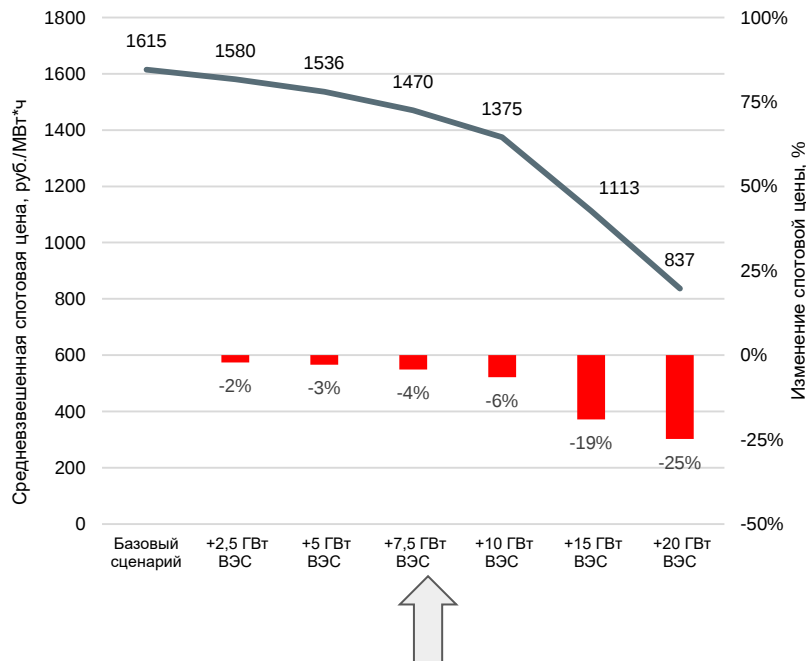
$$\begin{aligned}
 F = & \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \left(\sum_{s=1}^S \text{omCost}_s^{\text{station}_{n,t}} + \sum_{h=1}^H \text{omCost}_h^{\text{HPS}_{n,t}} \right. \\
 & + \sum_{v=1}^V \text{omCost}_v^{\text{VRE}_{n,t}} + \sum_{s=1}^S \text{startupCost}_s^{n,t} \\
 & + \sum_{s=1}^S \text{fuelCost}_s^{n,t} + \sum_{d=1}^D \text{drCost}_d^{n,t} + \text{Penalty}^{n,t} \\
 & \left. + \sum_{s=1}^S \text{pollutionCost}_s^{n,t} \right) \rightarrow \min
 \end{aligned}$$

Целевая функция модели

Расчет спотовой цены, как двойственное решение задачи коммерческой диспетчеризации мощностей

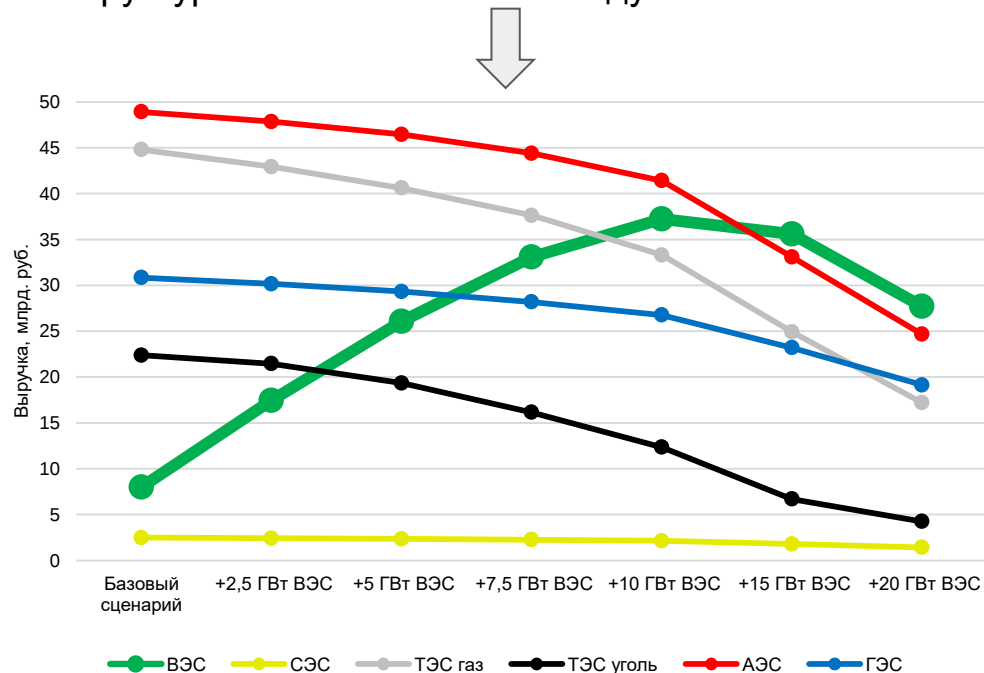


Ценовые и экономические последствия внедрения ВЭС



Результаты моделирования цен на спотовом рынке по сценариям с разным количеством добавленных мощностей ВЭС к существующей структуре в ОЭС Юга в 2022 году

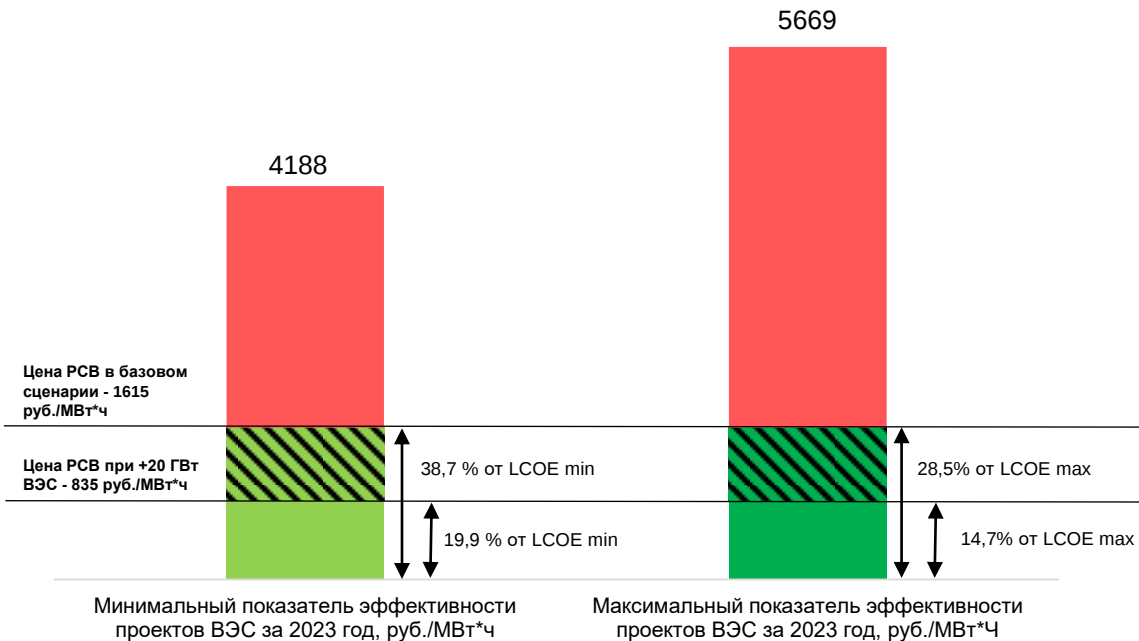
Результаты моделирования выручки по типам станций по сценариям с различным количеством добавленных мощностей ВЭС к существующей структуре в ОЭС Юга в 2022 году



Окупаемость проектов

LCOE: постоянная во времени цена электроэнергии, обеспечивающая безубыточность инвестиций в проект: $NPV(LCOE)=0$

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{KB_t + \text{Топл}_t + \text{Пост}_t + \text{Дем}_t + \text{Выбр}_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^T W_t \cdot \frac{1 - \alpha_{\text{соб.нужд}}}{(1+d)^t}}$$



В России отбор инвестиционных проектов по строительству генераторов на базе ВИЭ по механизму ДПМ ВИЭ 2.0 определяется по **критерию эффективности** (аналог LCOE).

Разницу между ценой на рынке электроэнергии и LCOE необходимо компенсировать, чтобы обеспечить окупаемость проекта

Спасибо за внимание!