



Тема:

«Применимость систем энергоснабжения автономных потребителей на основе возобновляемых источников энергии и водородных накопителей».

Докладчик: Хакимов Ренат Рашидович, Аспирант ОИВТ РАН

Москва
2025

Цели и задачи



Цель исследования: Разработка и обоснование структуры, параметров и режимов работы систем энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии с водородным накоплением энергии для улучшения энергетических и экономических показателей таких систем.

Предмет исследования: Функциональные зависимости технико-экономических параметров систем от характеристик энергетического потенциала возобновляемых источников энергии, конфигурации систем и режимов их работы.

Количество
заявленных H2
проектов в мире

1697

+ 20% vs 2022
из них 226 прошли FID

Объем
инвестиций по
FID проектам

\$39 млрд

+ \$17 млрд. vs 2022г.

Количество водородных
транспортных средств
в мире

80 000 ед.

Количество водородных
заправочных
комплексов в мире

1100 ед.

В мире заключены
офф-тейк
соглашения на

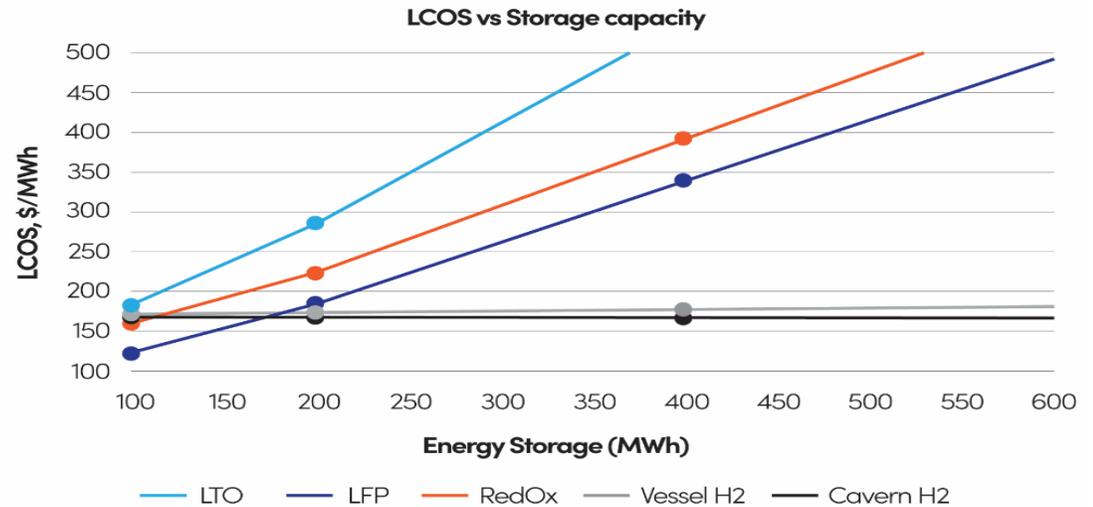
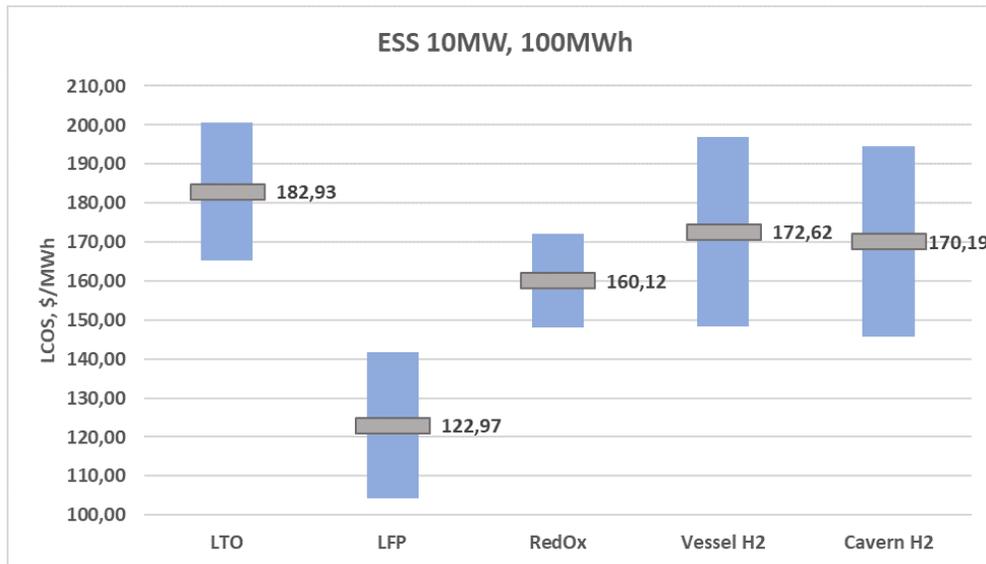
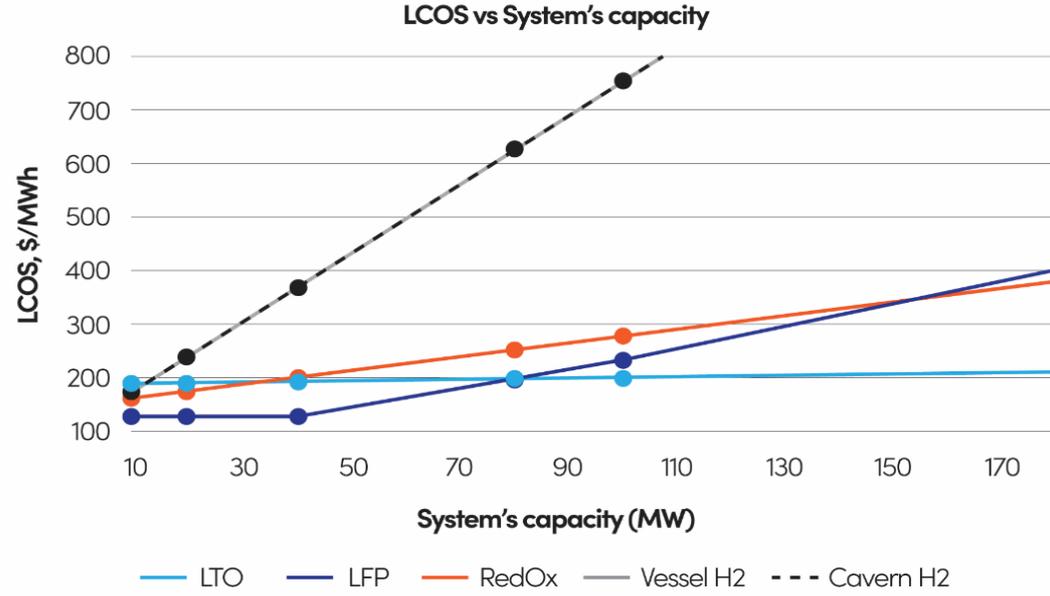
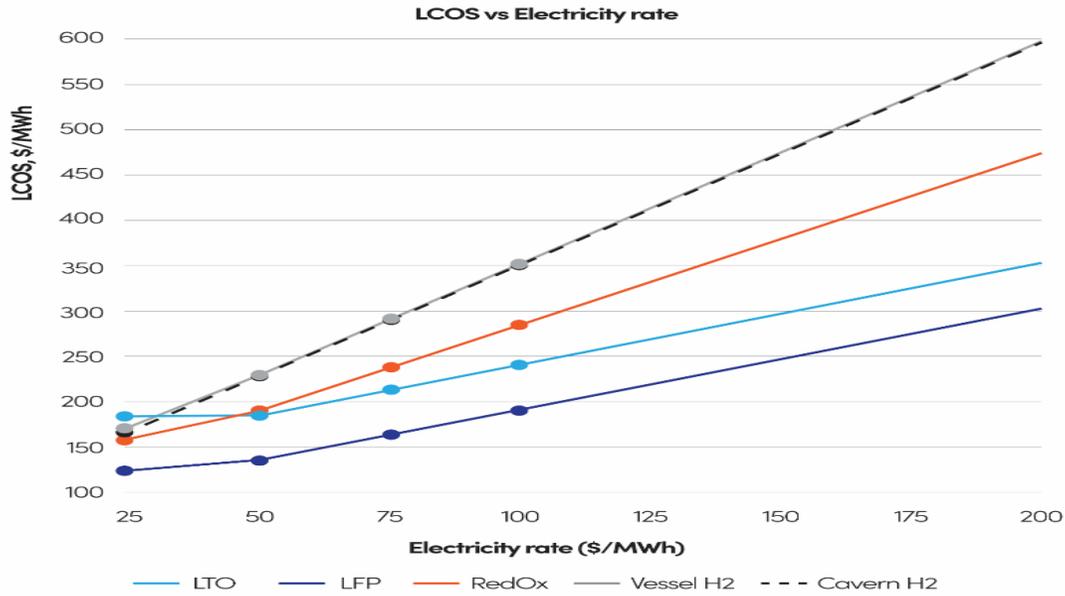
11 млн. тонн

Объем государственных
субсидий превышает
частные инвестиций в

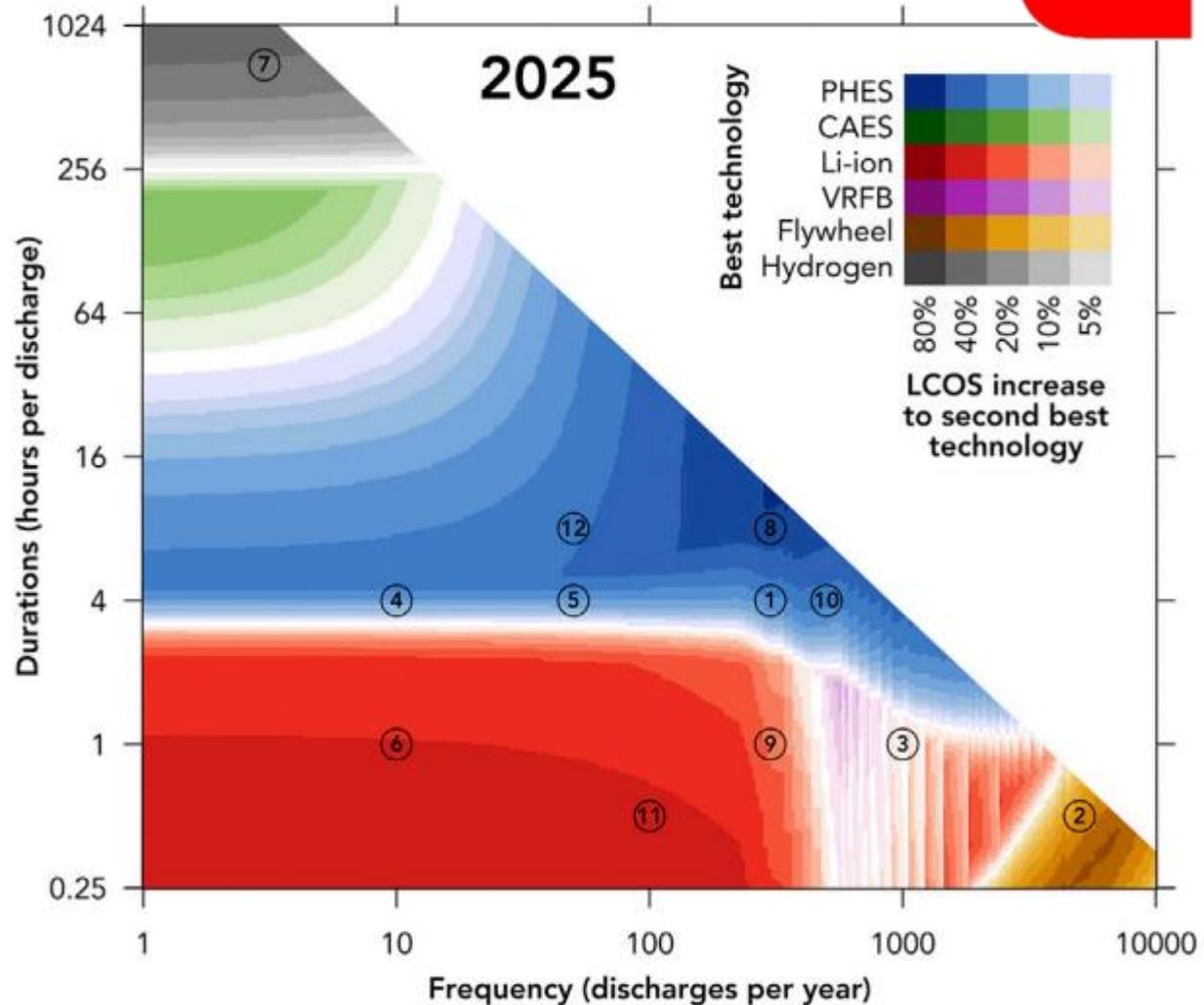
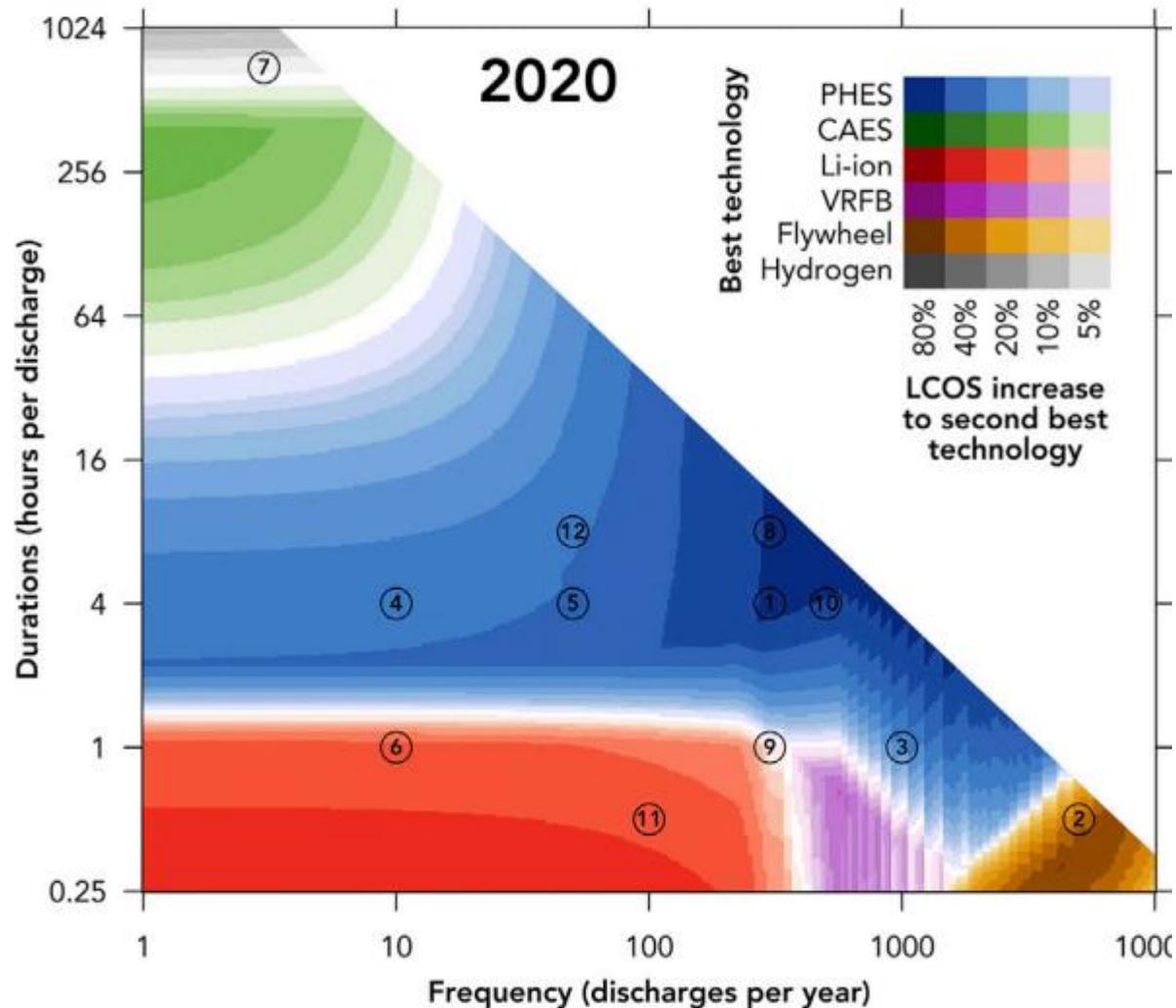
7 раз



Сравнение литий-ионных СНЭ и водородного хранения



Динамика изменения применимости различных систем накопления энергии



Применение энергосистем на основе ВИЭ с длительным хранением энергии

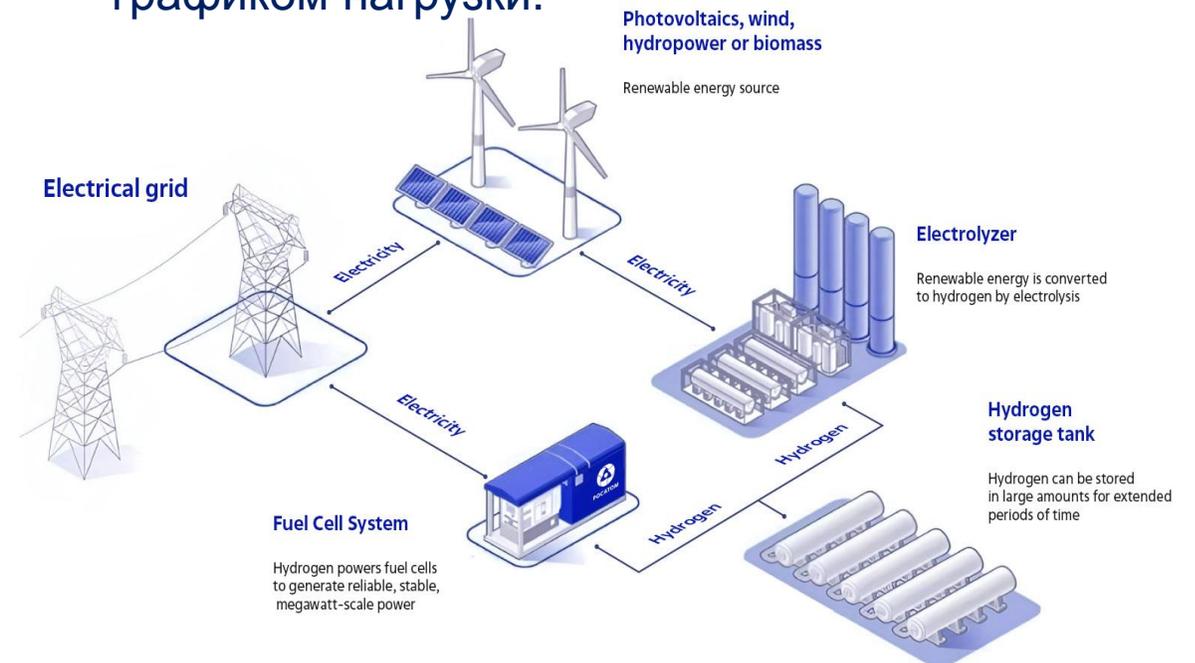
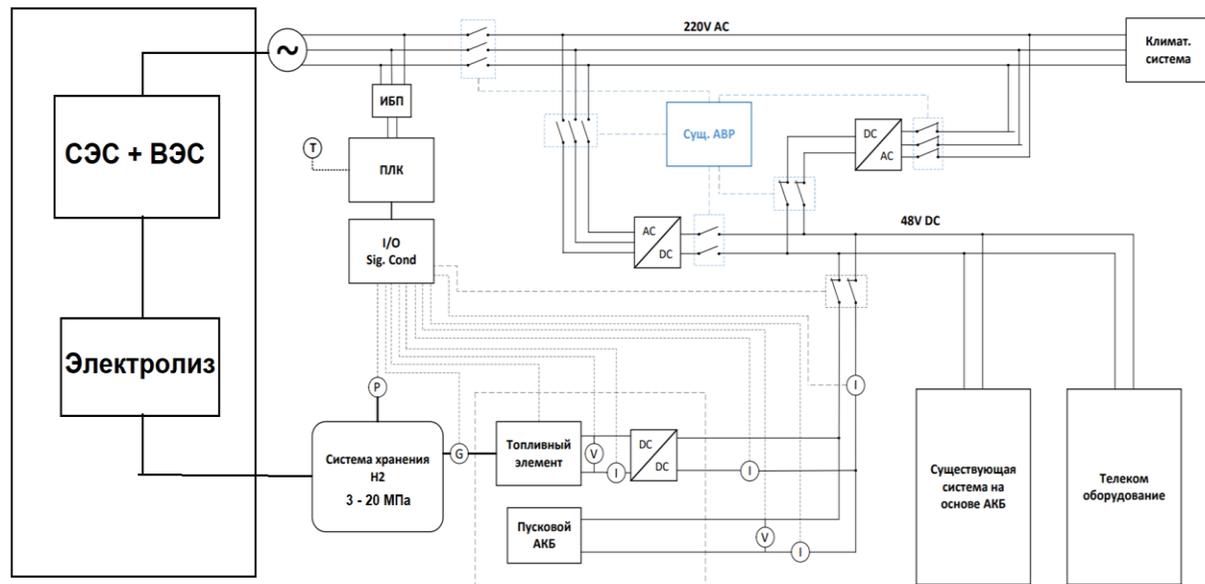


Основной / Резервный источник генерации

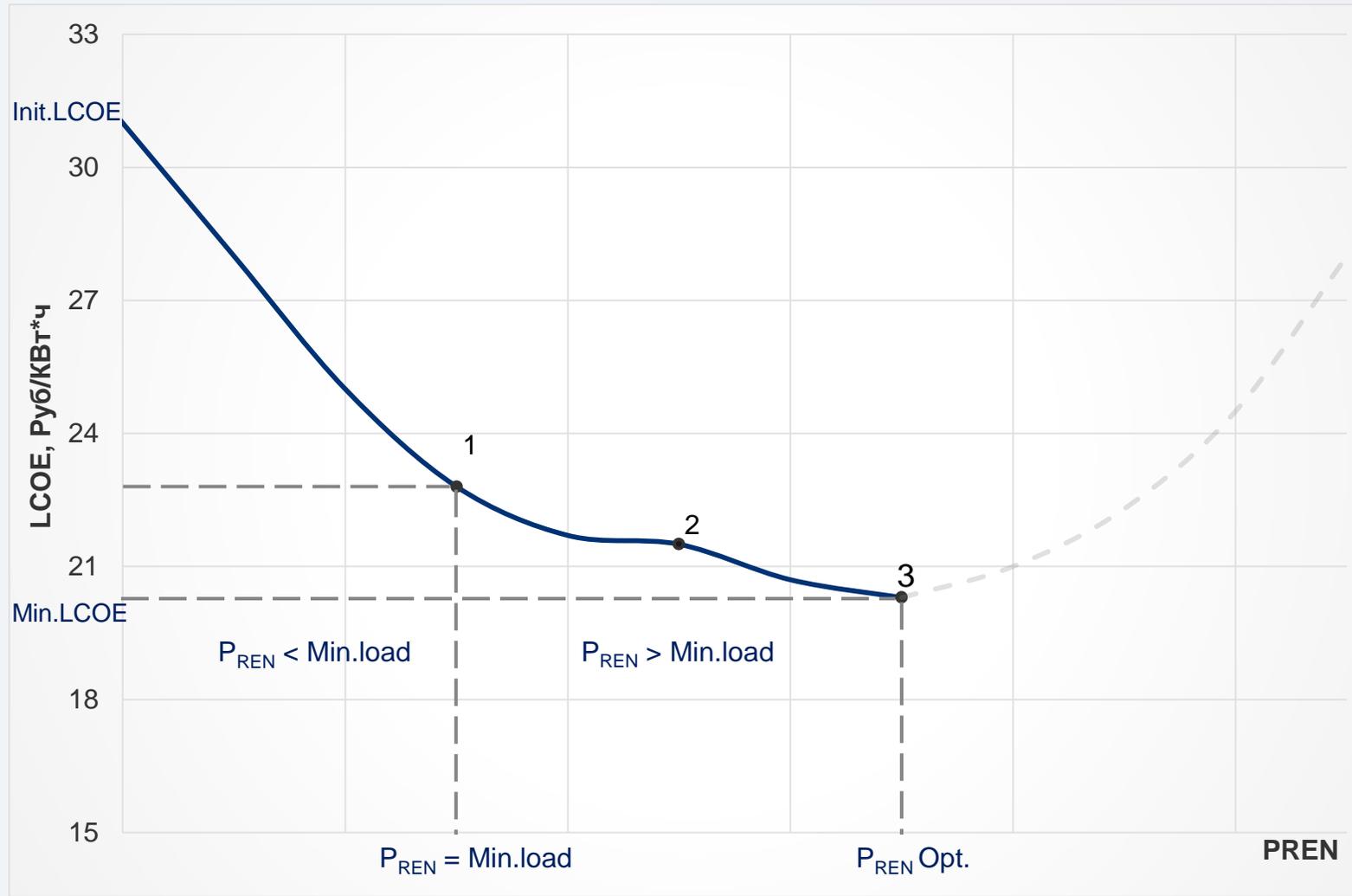
- Полное замещение генерации;
- Объем системы хранения определяется требуемой автономностью;
- Мощность ВИЭ определяется размером системы хранения.

Внедрение в существующую систему с традиционными источниками;

- Частичное замещение генерации;
- Объем системы хранения определяется мощностью ВИЭ;
- Мощность ВИЭ определяется суточным графиком нагрузки.



Водородный цикл – снижение LCOE



Снижение стоимости электроэнергии

При условии использования привозного топлива для генерации, использование ВИЭ позволяет значительно снизить себестоимость (LCOE) электроэнергии за счёт замещения выработки на традиционном источнике (ДЭС/ГПУ);

Точка 1

За счёт замещения генерации более дешевым источником (ВИЭ) удаётся добиться значительного снижения стоимости электроэнергии;

Точка 2

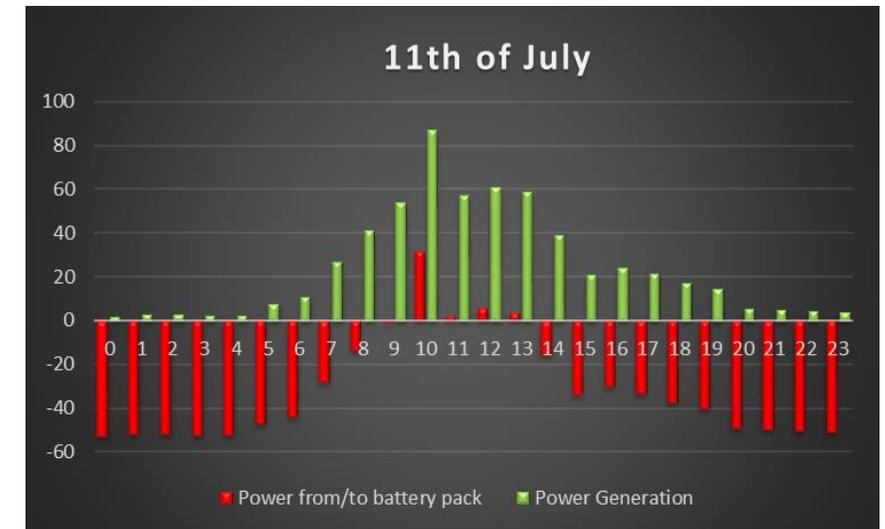
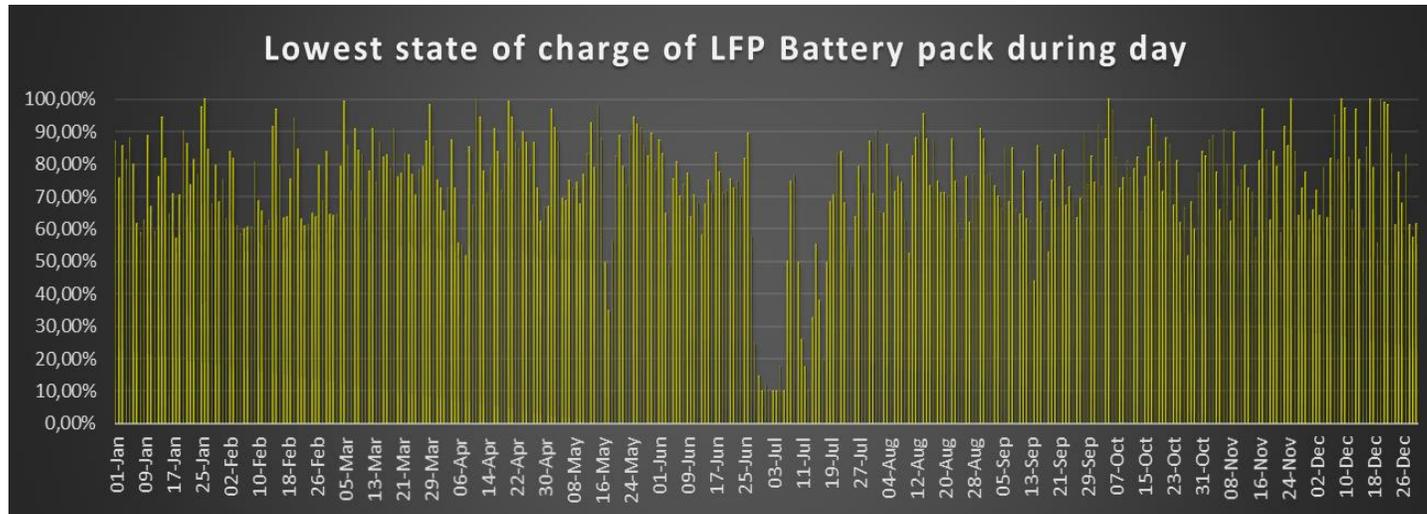
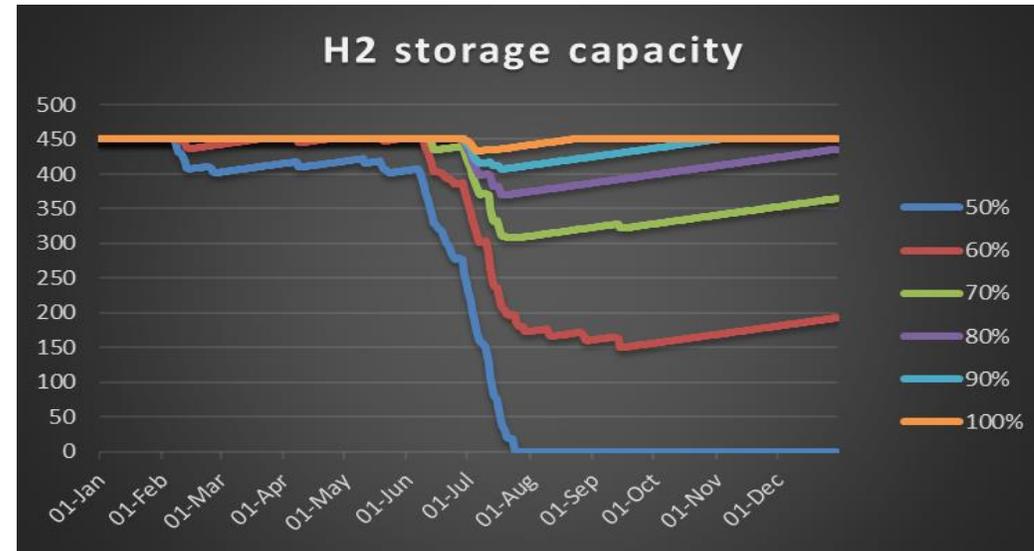
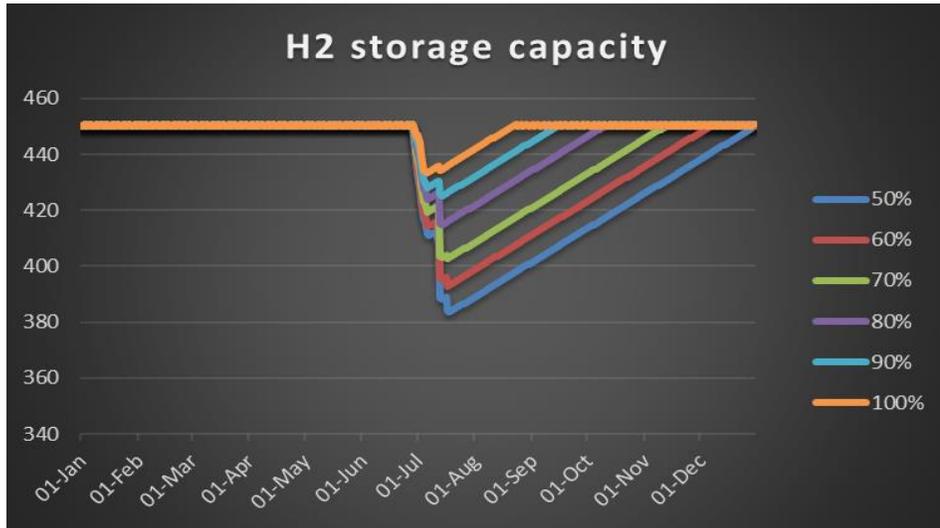
Использование систем накопления энергии позволяет увеличить полезную выработку источников ВИЭ, еще больше уменьшая потребление привозного топлива, тем самым уменьшая общую себестоимость генерации в системе;

Точка 3

Оптимизация системы накопления – АКБ + P2G2P позволяет добиться наименьшей стоимости генерации.



Моделирование систем хранения энергии



Эффект использования системы

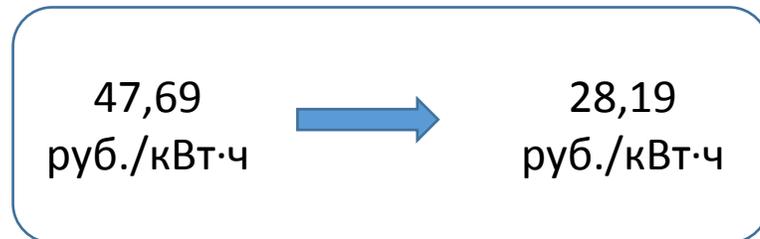
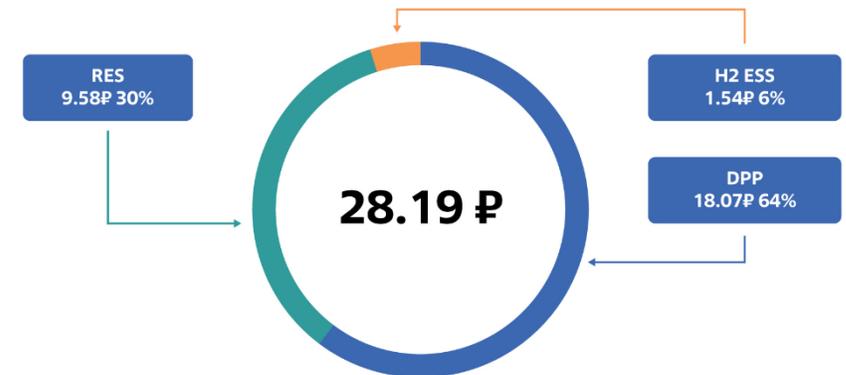


- Население: 2 646 человек на 2024 г.

Показатель / Год	2010	2020	2030
Суммарное потребление электроэнергии тыс. кВт·ч в год	11633,9	13300	14000
Максимальные электрические нагрузки, МВт	3,1	3,4	3,6

Конфигурация Н2 СНЭ

Номинальная мощность СЭС	кВт	6200
Номинальная мощность ВЭС	кВт	3000
Мощность Электролизера	кВт	1500
Мощность ТЭ	кВт	200
Емкость хранилища Н2	кг	19931,04
Емкость СНЭ (АКБ)	кВт*ч	2000



Стоимость модернизации: 1 139 млн. руб

Научные публикации

Научные публикации (авторы, название работы и издания) с пометкой в конце, если работа принята, но еще не опубликована.

Сначала записываются статьи, затем с отступом патенты (свидетельства на программу), затем с отступом доклады и тезисы на конференциях

E. Galitskaya, R. Khakimov, A. Moskvina, O. Zhdaneev, Towards a new perspective on the efficiency of water electrolysis with anion-conducting matrix, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 49, Part A, 2024, Pages 1577-1583, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.10.339>.

R. Khakimov, A. Moskvina, O. Zhdaneev, Hydrogen as a key technology for long-term & seasonal energy storage applications, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 68, Pages 374-381, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.066>.

O.V. Zhdaneev, V.A. Karasevich, A.V. Moskvina, R.R. Khakimov, Application of renewable and hydrogen energy in the Arctic by the example of modernizing the energy system of the Arctic settlement of Khatanga, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 95, 2024, Pages 267-277, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.11.183>.

Жданев О.В., Москвин А.В., Хакимов Р.Р. Водородные системы накопления энергии: сравнение приведенной стоимости хранения энергии LCOS различных систем. Водород как ключевая технология для длительного и сезонного хранения // Альтернативная энергетика и экология, (ISJAE), 03 (420) 2024, с. 12-16, <https://doi.org/10.15518/isjaee.2024.03.091-109>

Жданев О.В., Карасевич В.А., Москвин А.В., Хакимов Р.Р. Применение возобновляемой и водородной энергетики в Арктике на примере модернизации энергосистемы арктического поселения Хатанга. Альтернативная энергетика и экология (ISJAE). 2024;(9):111-130, <https://doi.org/10.15518/isjaee.2024.09.111-130>

O.V. Zhdaneev, A.V. Moskvina, S.E. Frid, R.R. Khakimov, I.A. Nalivkin, Autonomous hydrogen refueling station with renewable power generation and Li-ion battery pack storage, International Journal of Hydrogen Energy – работа принята.

A.Moskvina, Y.Solovyeva, R.Khakimov (2023, October 9-13). *Development of low-carbon hydrogen technologies in Rosatom State Corporation*. IAEA: 2nd International Conference on Climate Change and the  ia, Austria.



Abstract
Achieving carbon neutrality in the future involves the use of low-carbon hydrogen as an energy source. In the power industry and heat supply of isolated areas - as a carbon-neutral fuel for generation and a secondary source of energy. In the transport sector, the prospects for the use of hydrogen extend to almost all types of vehicles - from cars, trains and ships to special-purpose equipment, air transport, both in fuel cells and in internal combustion engines.
Rosatom State Corporation has developed a technology for producing hydrogen by water electrolysis using an anion-conducting matrix. The matrix is an inorganic fibrous material, and anionic conductivity is achieved as a result of the introduction of potassium cations during impregnation with a KOH solution. A wide range of productivity up to 115% and the possibility of its dynamic change make it possible to effectively combine these electrolyzers with renewable energy sources.

DEVELOPMENT OF LOW-CARBON HYDROGEN TECHNOLOGIES IN ROSATOM STATE CORPORATION
A. MOSKVINA
State Atomic Energy Corporation
Moscow, Russian Federation
Email: ASVMoskova@rosatom.ru
Y. SOLOVYEVA, R. KHAKIMOV
State Atomic Energy Corporation
Moscow, Russian Federation

Abstract
The article presents an overview and analysis of low-carbon hydrogen energy development perspectives as well as practical experience of Rosatom State Corporation in the development of low-carbon hydrogen energy technologies in the Russian Federation.
Developing hydrogen energy sector shall face several major challenges in the upcoming decade, mainly related to hydrogen cost competitiveness, long-haul logistics and standardization. The unique experience of Rosatom State Corporation in the development and implementation of integrated projects abroad - at the above Rosatom State Corporation are a development, EPC contracts and supplies of low-carbon hydrogen and hydrogen equipment in Russian and foreign markets. As in the up-coming years hydrogen is expected to significantly contribute to the overall sustainability of the energy sector, Rosatom has mainly focused its R&D activities on developing low-carbon hydrogen production technologies such as water electrolysis based on anion-conducting matrix (ACM) and pressure-change membrane (PCM) as well as steam methane reforming based on a Nuclear Power Engineering Plant with a High-Temperature Gas-Cooled reactor (HTGR) whose chemical and technological part shall be based on ATR technology. These low-carbon production technologies shall allow hydrogen to successfully integrate power systems transport sector and industrial processes that need to reduce their GHG emissions. Together with that hydrogen supply chains need to be established in close cooperation between low-carbon generating and importing countries that Rosatom has launched separate R&D projects to develop hydrogen storage, transportation and application technologies. Blue hydrogen energy projects that Rosatom is currently implementing are aimed at storage in the hydrogen technologies and solutions into and outside. Based on the special hydrogen special projects these projects will be driven of the energy transition for Russian economy and international hydrogen clean development.

KEYWORDS: hydrogen, hydrogen storage, LCOS, LCOS, cost of electricity, cost of storage, ESS, energy storage, complex storage solutions, remote generation



Спасибо за внимание!