



Разработка технологии
водородного накопителя для
применения в составе АГЭК в
селе Новиково Сахалинской
области



Данная работа осуществляется в рамках создания Восточного водородного кластера согласно Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации (РП №2162-р от 05.08.21г.) и федерального проекта «Чистая энергетика».

Цель – реализация пилотных проектов в реальном секторе экономики Сахалинской области в 2024 гг. для их тиражирования на Дальнем Востоке, Арктике и других регионах России.

Федеральная поддержка:



Министерство
энергетики



Министерство
науки и
высшего
образования



Министерство
промышленности
и торговли



Министерство
по развитию
Дальнего
Востока и
Арктики



Министерство
по
чрезвычайным
ситуациям

Партнеры и заказчики инфраструктуры полигонов и пилотных проектов:



Инфраструктурный
центр Энерджинет
НТИ



Госкорпорация
«Росатом»



ПАО
«РусГидро»



ОАО
«РЖД»



Группа
«ГАЗ»



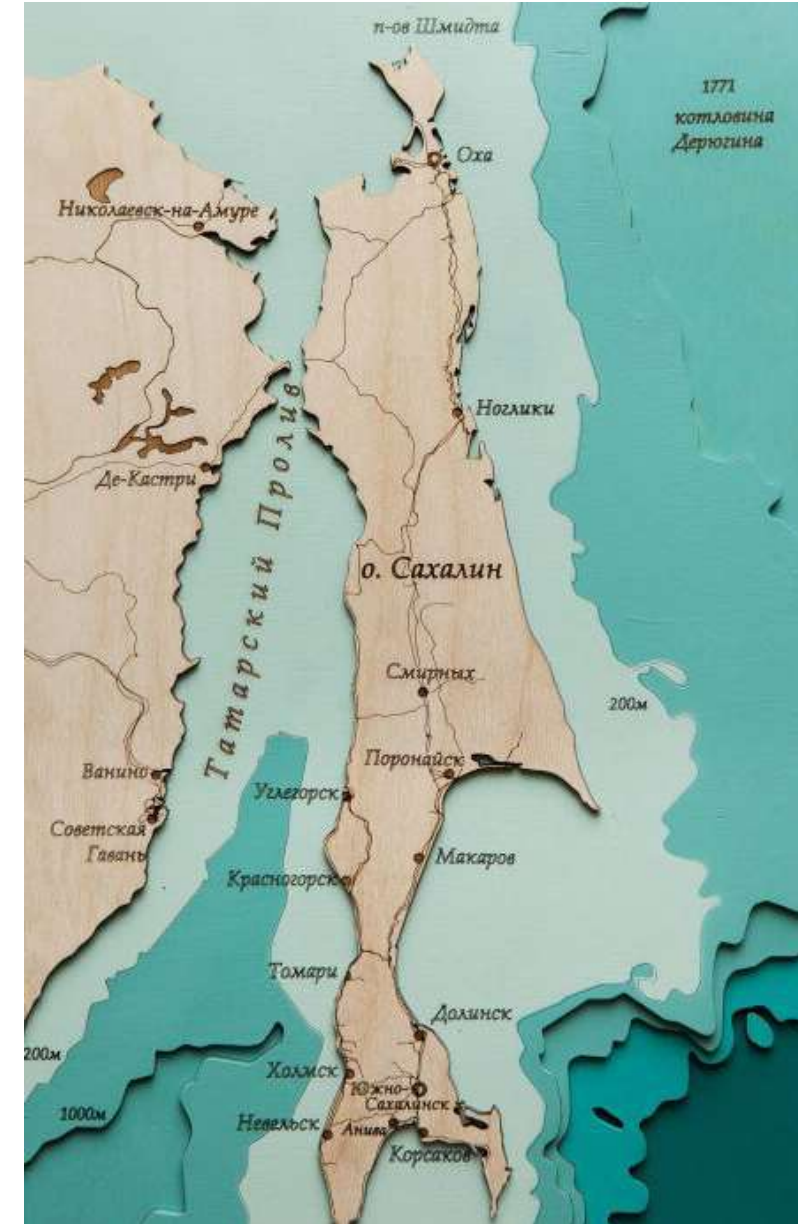
АФК
«Система»



Сахалинская область определена одним из пяти водородных кластеров для развития водородных технологий в области распределенных автономных энергетических систем и водородного транспорта, включая железнодорожный, автомобильный грузовой и морской.

Подписанное в рамках Восточного экономического форума в апреле 2021 года соглашение о создании Восточного водородного кластера провозгласило старт развития водородных технологий в Сахалинской области.

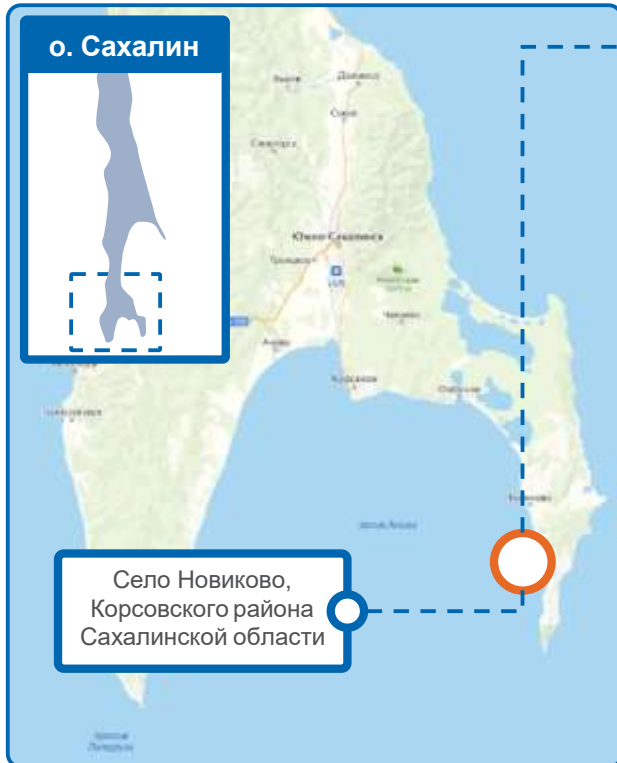
Работу в этом направлении ведут и специалисты Группы РусГидро. В сентябре 2024 г. на площадке Восточного экономического форума состоялась церемония пуска в работу автоматизированного гибридного энергокомплекса в селе Новиково Сахалинской области. Проект реализован при совместном участии РусГидро, Правительства Сахалинской области и Московского физико-технического института (МФТИ). Особенностью нового АГЭК является то, что на его территории создан водородный полигон, где после завершения испытаний будут апробированы технологии генерации, накопления и использования водорода как альтернативного источника энергоснабжения изолированного поселка.



Сравнение типов водорода

ТИП ВОДОРОДА	ТЕХНОЛОГИИ	ИСТОЧНИК	СТОИМОСТЬ (\$ KG/H ₂)	ВЫБРОСЫ CO ₂
Коричневый водород	Газификация	Бурый уголь	1.2-2.1	Высокий
Черный водород	Газификация	Уголь	1.2-2.1	Высокий
Серый водород	Переформатирование	Природный газ	1-2.1	Средний
Голубой водород	Переформатирование Улавливание углекислого газа	Природный газ	1.5-2.9	Низкий
Зеленый водород	Электролиз	Вода	3.6-5.8	Минимум





ВДК НОВИКОВО

- 1980-е гг. – ввод в работу ДГУ (ДГ-72)
- 2009 г. - ввод в работу ДГУ (CAT C-18)
- 2017 г. - ввод в работу ВЭУ

Состав ВДК (4,7 МВт):

- ВЭУ (Vestas V25) – 2 x 225 кВт
(1 в ремонте с 2021 г.)
- ДГУ (ДГ-72) – 4 x 800 кВт (в резерве и консервации)
- ДГУ (CAT C-18) – 2 x 500 кВт

Проблемы энергоснабжения с. Новиково

250 чел.

население с. Новиково в 2023 г.
(постоянная убыль – население
на 2013 г. составляло 500 чел.)

< 5 %

КИУМ ВЭУ, при расчетных 30%
(по причине высокой мощности
существующих ДГУ (2 x 500 кВт))

< 30 %

нагрузка существующих ДГУ
(приводит к перерасходу топлива)

345 т.у.т.

Объем излишне израсходованного
условного топлива за 3 года (16,7
млн. руб.)



с. Новиково

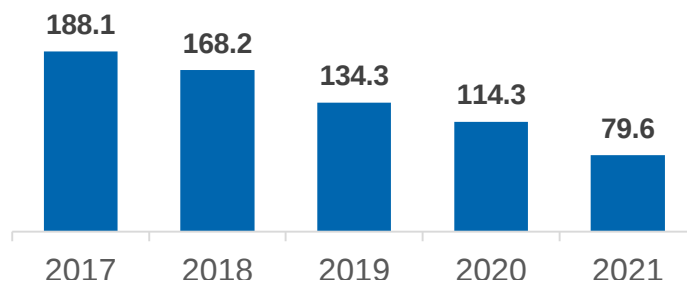


ДГУ в машзале

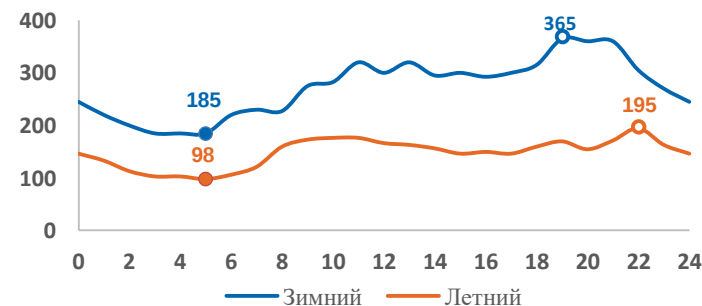


ВЭУ и ЗРУ

Выработка ВЭУ, тыс. кВт*ч



Суточные графики нагрузки, кВт





ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

- Повышение КИУМ ВЭУ до 20-30%
- Повышение эффективности работы и экономия моторесурса ДГУ
- Снижение расхода дизельного топлива



РЕАЛИЗАЦИЯ «ЗЕЛЕНОГО» РЕЖИМА

- Возможность обеспечить в летний период требуемую выработку электрической энергии только за счет ВЭУ и СНЭ



СОЗДАНИЕ ПОЛИГОНА ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

- Развитие компетенций в части водородных технологий
- Тиражирование результатов на другие объекты на изолированных и труднодоступных территориях



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНЫХ ВИДОВ ВИЭ-ГЕНЕРАЦИИ

- Обоснованная результатами опытной эксплуатации оценка эффективности применения иных видов ВИЭ (например СЭС) для замещения дизельной генерации

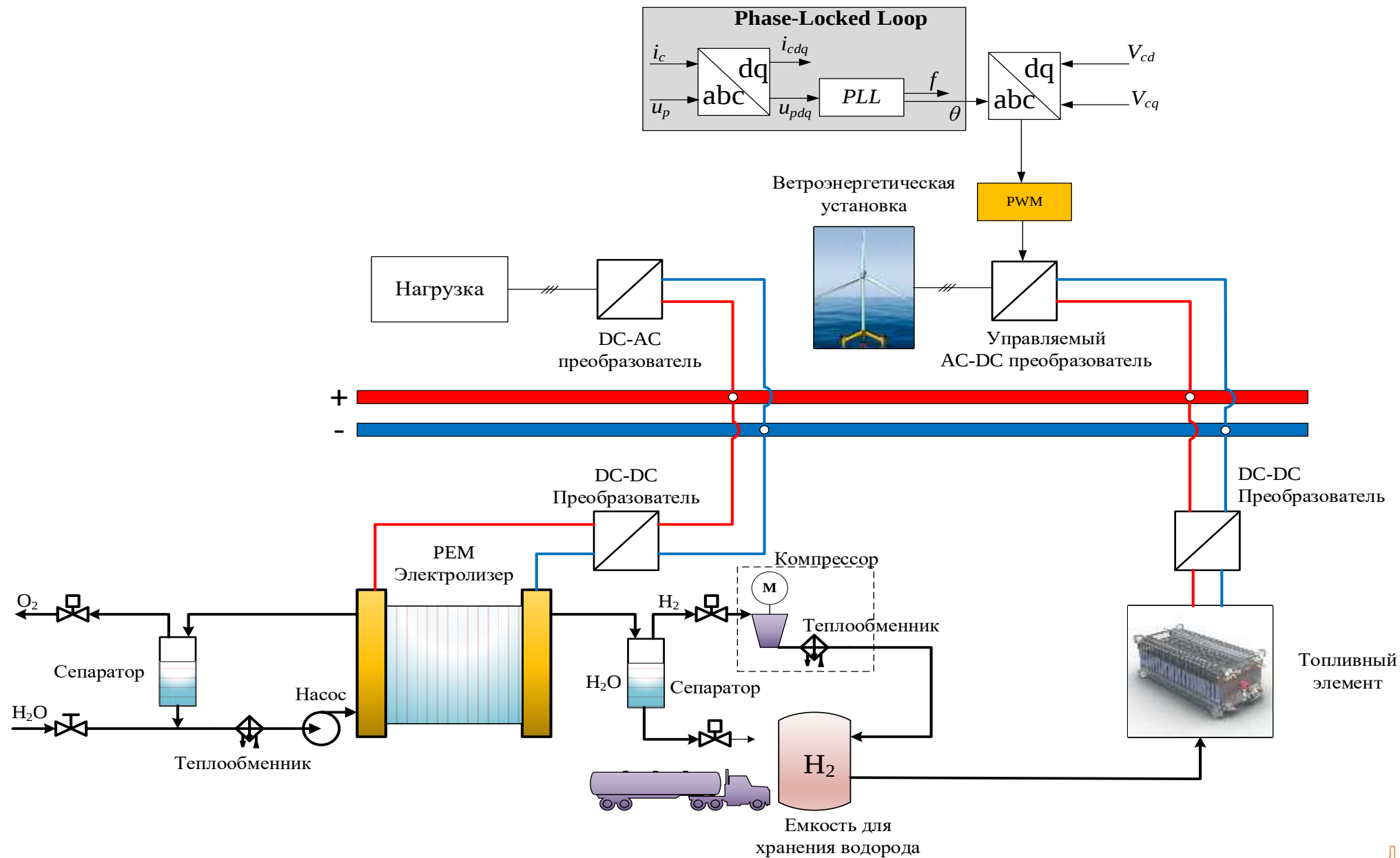


Оборудование водородного полигона на площадке АГЭК в с. Новиково



Торжественный запуск АГЭК в с. Новиково на ВЭФ-2024





СПЕЦИФИКАЦИЯ	ПАРАМЕТРЫ
Температура ячейки	50–80 °C
Давление	0–50 Bar
Плотность тока	0.6–2.0 A·sm ⁻²
Напряжение элемента	1.8–2.2 В
КПД по напряжению ячейки	57–83%
Рабочее напряжение	4–250 В
Потребление водорода	0.22–413 н.м ³ ч ⁻¹

СПЕЦИФИКАЦИЯ	ПАРАМЕТРЫ
Рабочий ток	9–75 А
Эффективность	75%
Потребляемая мощность элемента	4.2–5.6 кВт·н.м ⁻³
Потребляемая мощность модуля	4.53–7.3 кВт·н.м ⁻³
Диапазон нагрузки	0–100%
Площадь камеры	0–100%



Актуальность исследования

В настоящий момент существуют два способа получения водорода, а именно классический щелочной электролиз и наиболее высокотехнологичный и экологичный электролиз на основе протонообменной мембраны. Особенностью щелочного электролиза является его длительный срок службы, который может составлять больше 25 лет, однако, применение данного электролиза сопряжено с негативным влиянием на экологию в части вредного влияния отработанной воды.

Использование протонообменной мембраны позволяет реализовать принцип водородного накопителя. В ней происходят процессы электролиза с выделением водорода и последующим его хранением, а также обратный процесс выработки за счет химических реакций в мембране топливного элемента с высвобождением электрической энергии. Этот замкнутый процесс дает возможность создать энергоемкий накопитель, позволяющий вступать в процессы поддержания режимных параметров в изолированной сети. В часы пиковой нагрузки накопленный водород будет использоваться для генерации электроэнергии и тем самым снизит расход дизельного топлива.



Особенности
протонообменной мембраны



Высокая стоимость



Низкий срок службы



Электрический КПД электролизера определяется как произведение текущего КПД на КПД η_i и Коэффициент действия по напряжению η_v . Определен КПД по току при температуре 313,15К:

$$\eta_i = 96,5 \cdot e^{(0,09/I_{elec} - 75,5/I_{elec}^2)}$$

Согласно закону Фарадея, количество водорода, производимого в секунду, вычисляется:

$$M_{elec} = \frac{I_{elec} \cdot N_{elec}}{2 \cdot F} \cdot \eta_i$$

$$V_{elec} = E_{rev} + \frac{r_1 + r_2 T_{elec}}{A_{elec}} I_{elec} + (s_1 + s_2 T_{elec} + s_3 T_{elec}^2) \cdot \log \left(\frac{t_1 + t_2 / T_{elec} + t_3 / T_{elec}^2}{A_{elec}} I_{elec} + 1 \right)$$

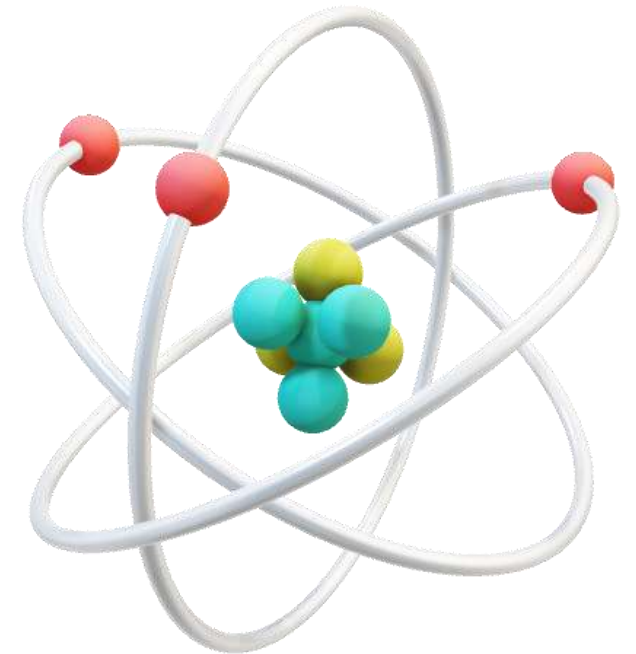


Динамика давления водорода:

$$\frac{dP_{H_2}}{dt} = \frac{RT}{V_A} (n_{H_2} - n_{H_2}^{con} - n_{H_2}^{out})$$

Анализ динамики переходного процесса:

$$\begin{cases} \frac{dP_{O_2}}{dt} = \frac{RT}{V_C} (n_{O_2} - n_{O_2}^{con} - n_{O_2}^{out}) \\ \frac{dP_{H_2O_C}}{dt} = \frac{RT}{V_C} (n_{H_2O_C} - n_{H_2O_C}^{con} - n_{H_2O_C}^{out}) \end{cases}$$

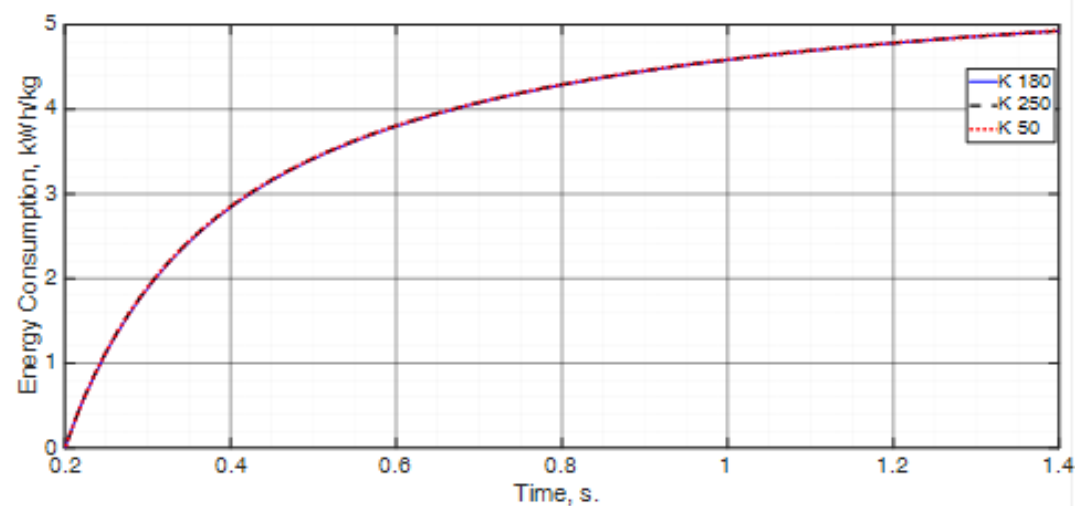
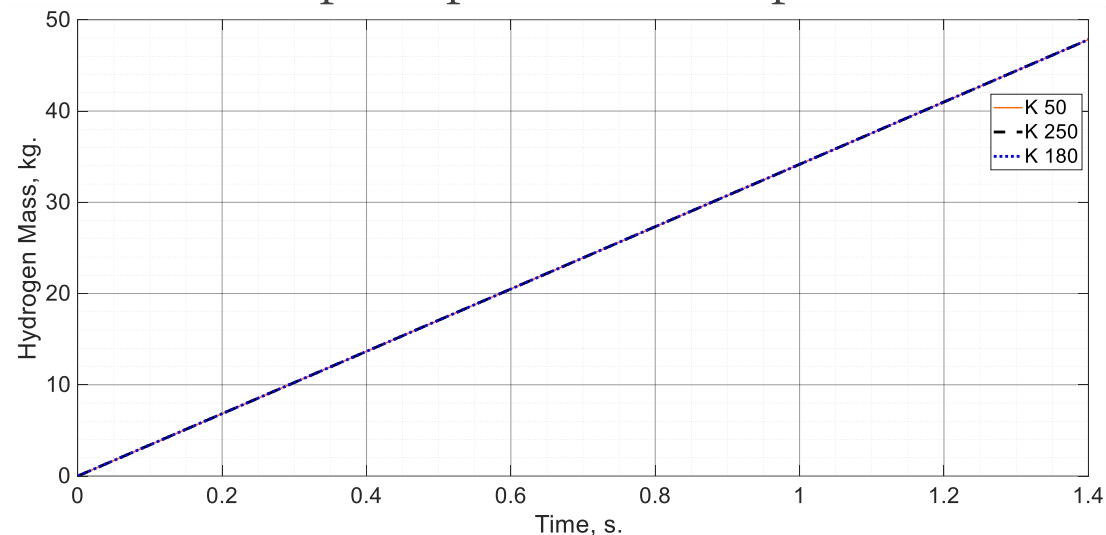


Динамика управления описывается массивами A, B, C и D, которые являются частью согласованного контура фазовой автоподстройки частоты на основе алгоритма управления вектором выражения:

$$A = RT \begin{bmatrix} -(F_A - 2\theta A_c i) \frac{P_{H_2O_A}}{V_A P_A^2} & 0 & 0 \\ 0 & -(F_C - \theta A_c i) \frac{P_{N_2} + P_{H_2O_C}}{V_C P_C^2} & -(F_C - \theta A_c i) \frac{P_{O_2}}{V_C P_C^2} \\ 0 & -(F_C - 2\theta A_c i) \frac{P_{H_2O_C}}{V_C P_C^2} & -(F_C - 2\theta A_c i) \frac{P_{N_2} + P_{O_2}}{V_C P_C^2} \end{bmatrix}.$$

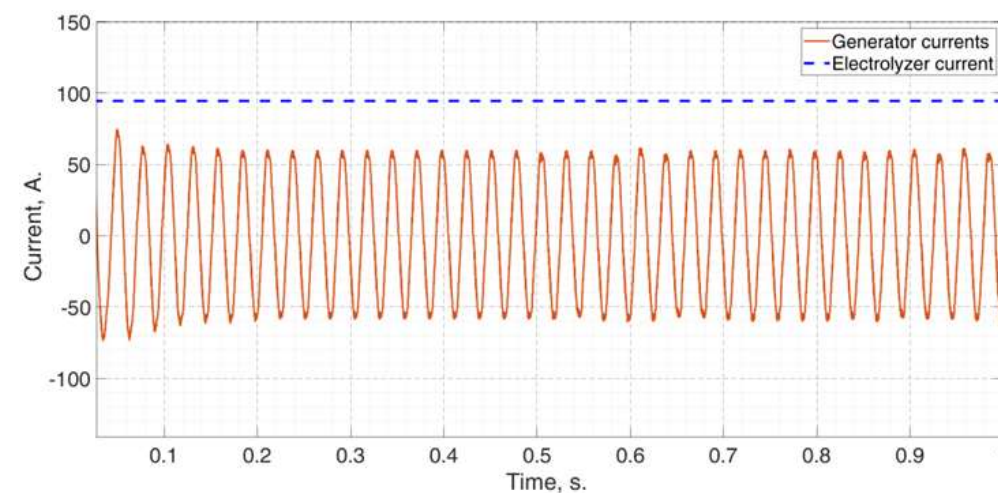
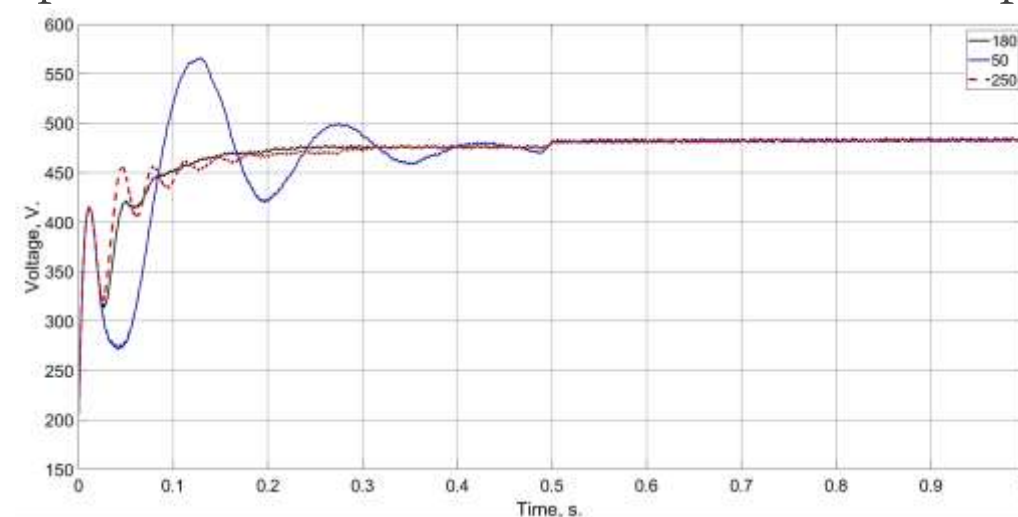


Характеристики водорода



Энергопотребление

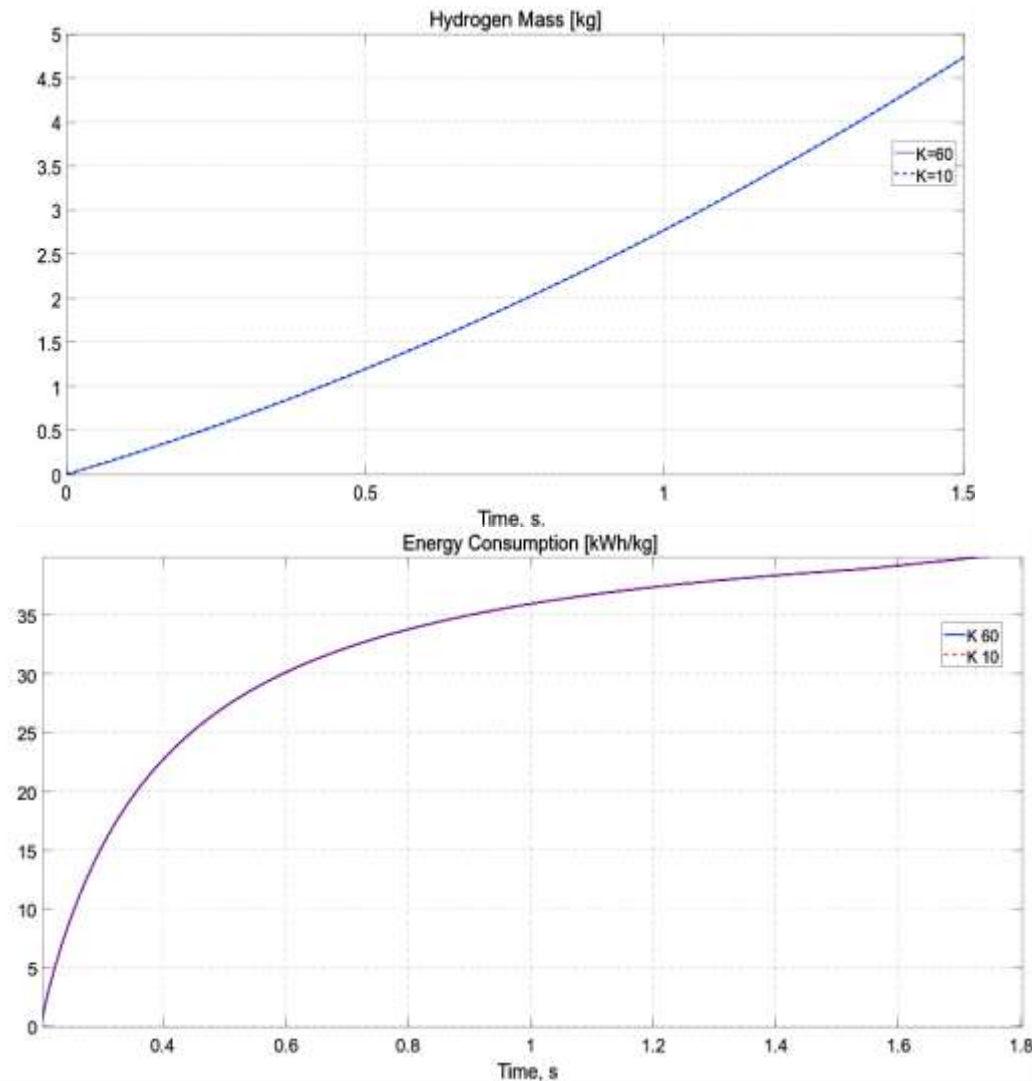
Напряжение в звене постоянного тока электролизера



Осциллограммы тока электролизной установки

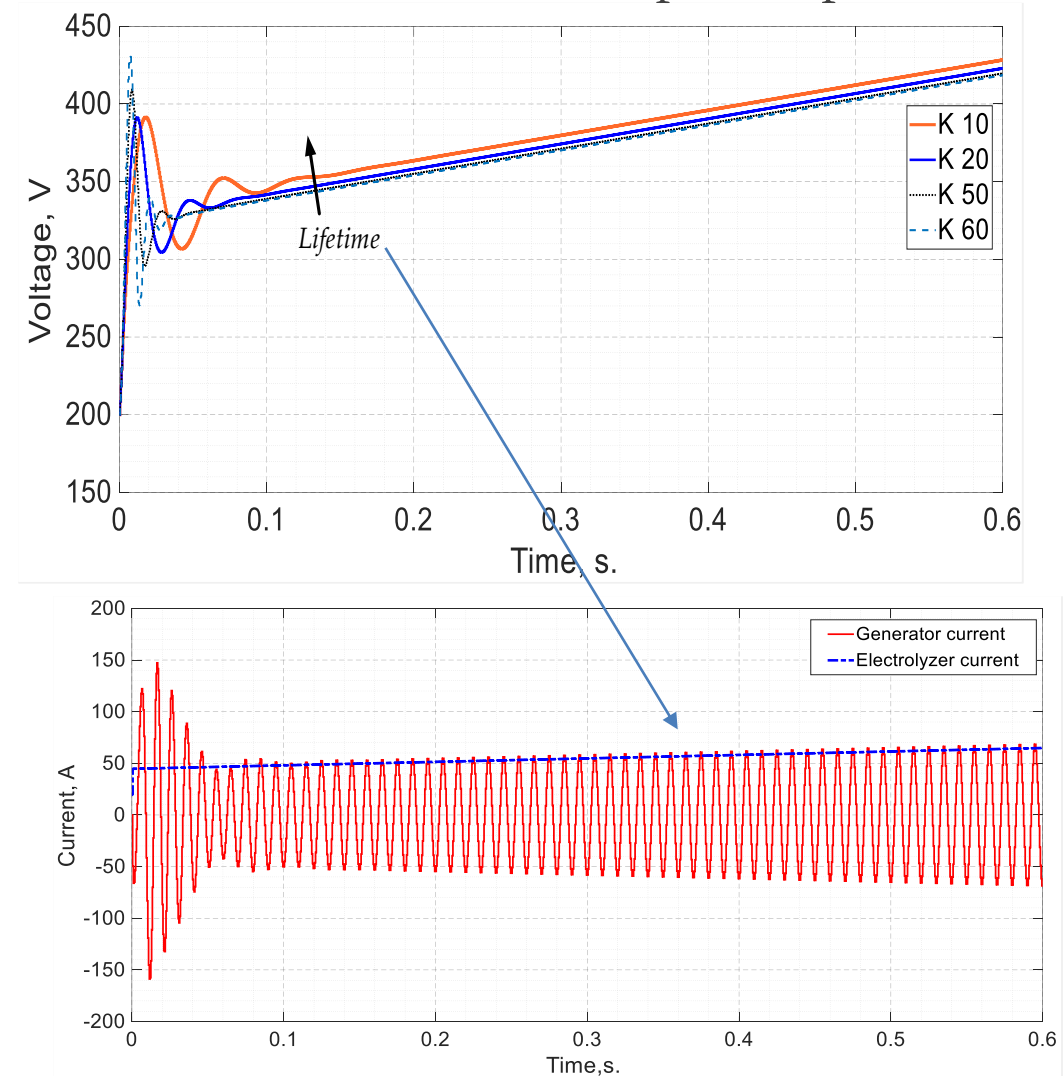


Характеристики водорода



Энергопотребление

Напряжение на протон-обменной мембране в звене постоянного тока электролизера



Осциллограммы тока электролизной установки

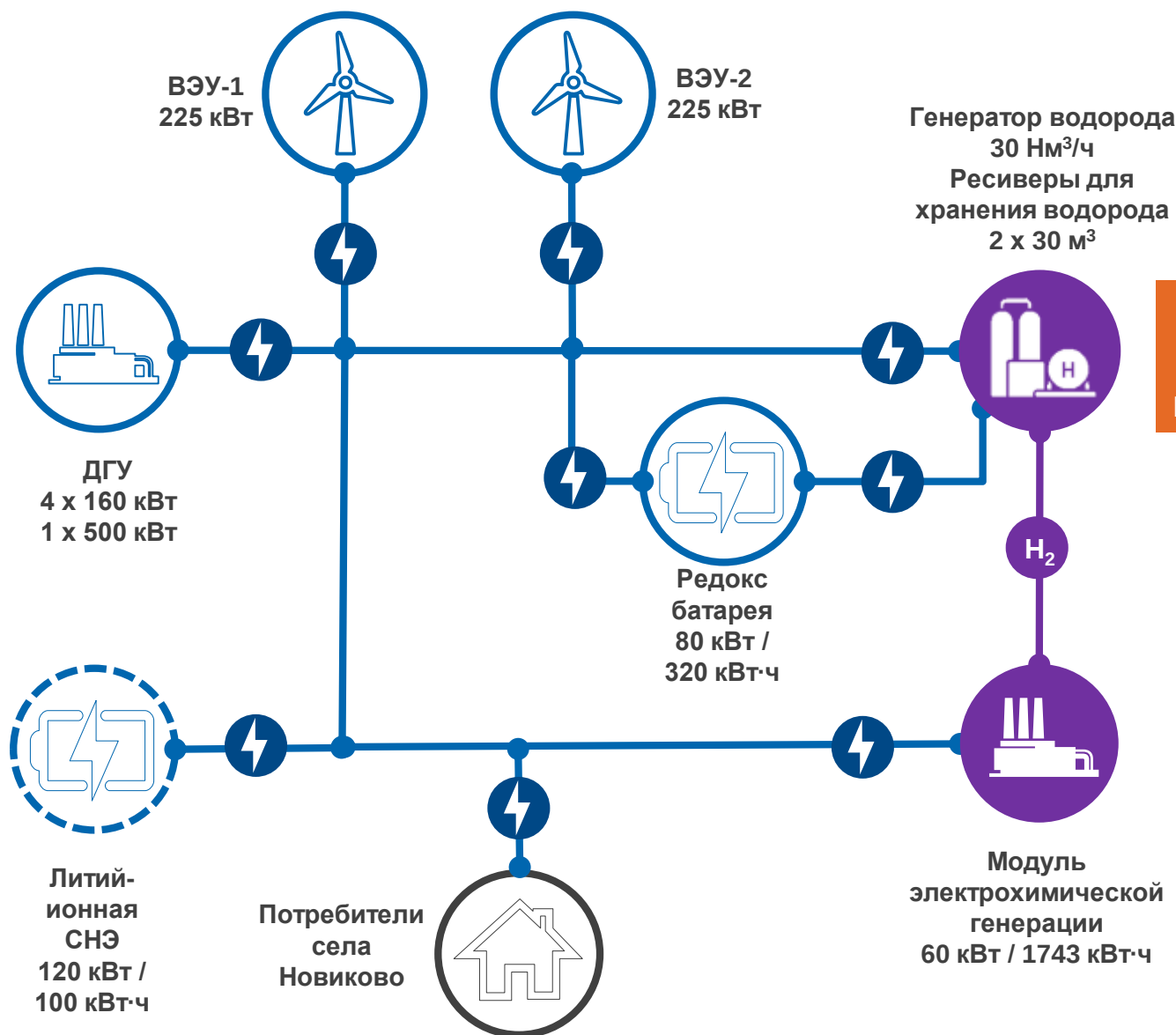


- Усовершенствование алгоритма фазовой автоподстройки частоты с использованием векторного управления током и напряжением, матриц концентраций газовой эмиссии позволило повысить регулируемую способность ПЛМ.
- Данная особенность позволяет развивать алгоритм ФАПЧ в части изменения значений напряжения в линии постоянного тока при возмущающих воздействиях и сохранении объема производства водорода.
- Таким образом, происходит изменение уровня напряжения в преобразователе переменного тока в постоянный со стороны ветрогенератора. Это способствует значительному улучшению условий эксплуатации электролизеров с протонообменной мембраной и продлению срока их службы, созданию благоприятных условий для развития данной отрасли.



DOI: [10.1016/j.ijhydene.2023.07.283](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.283)





2024 год

Установка новых
ДГУ и
восстановление ВЭУ



2025 год

Испытания на
полигоне
водородного
оборудования

ЭФФЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕШЕНИЙ

20-30%

Повышение КИУМ ВЭУ

30%

Снижение расхода
дизельного топлива

100%

Выработка от ВИЭ –
возможность реализации
«Зеленого» режима



Развитие компетенций в
части водородных
технологий



Обоснованная результатами
опытной эксплуатации
оценка эффективности
применения иных видов
ВИЭ (например, СЭС) для
замещения дизельной
генерации



- Achitaev, A.; Timofeev, K.; Suslov, K.; Kalachev, Y.; Shornikov, Y. Specific Characteristics of Numerical Simulation of Mechatronic Systems with PWM-Controlled Drives. *Modelling* 2024, 5, 1375-1394. <https://doi.org/10.3390/modelling5040071> (Web of Science Core Collection, Scopus). (Impact Factor 1.4)
- A. Achitaev, A. Suvorov, P. Ilyushin, I. Volkova, K. Kan, and K. Suslov, "Life extension of AC-DC converters for hydrogen electrolyzers operating as part of offshore wind turbines", *International Journal of Hydrogen Energy*, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.ijhydene.2023.07.283. (Web of Science Core Collection, Scopus). (Impact Factor 7.139)
- Suvorov A, Askarov A, Ruban N, Rudnik V, Radko P, Achitaev A, Suslov K. An Adaptive Inertia and Damping Control Strategy Based on Enhanced Virtual Synchronous Generator Model. *Mathematics*. 2023; 11(18):3938. <https://doi.org/10.3390/math11183938> (Web of Science Core Collection, Scopus). (Impact Factor 2.592)
- A. Suvorov, A. Askarov, Y. Bay, B. Maliuta, A. Achitaev, K. Suslov, Comparative small-signal stability analysis of voltage-controlled and enhanced current-controlled virtual synchronous generators under weak and stiff grid conditions, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 147 (2023) 108891. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108891>.
- Achitaev AA, Suslov KV, Nazarychev AN, et al. (2022) Application of electromagnetic continuous variable transmission in hydraulic turbines to increase stability of an off-grid power system. *Renewable Energy*. DOI: 10.1016/j.renene.2022.06.062. (Web of Science Core Collection, Scopus). (Impact Factor 8.652)
- Udalov SN, Achitaev AA, Pristup AG, et al. (2018) Increasing the regulating ability of a wind turbine in a local power system using magnetic continuous variable transmission. *Wind Engineering* 42(5). 5. SAGE Publications: 411-435. DOI: 10.1177/0309524X18780404. (Web of Science Core Collection, Scopus). (Impact Factor 1.977)

