

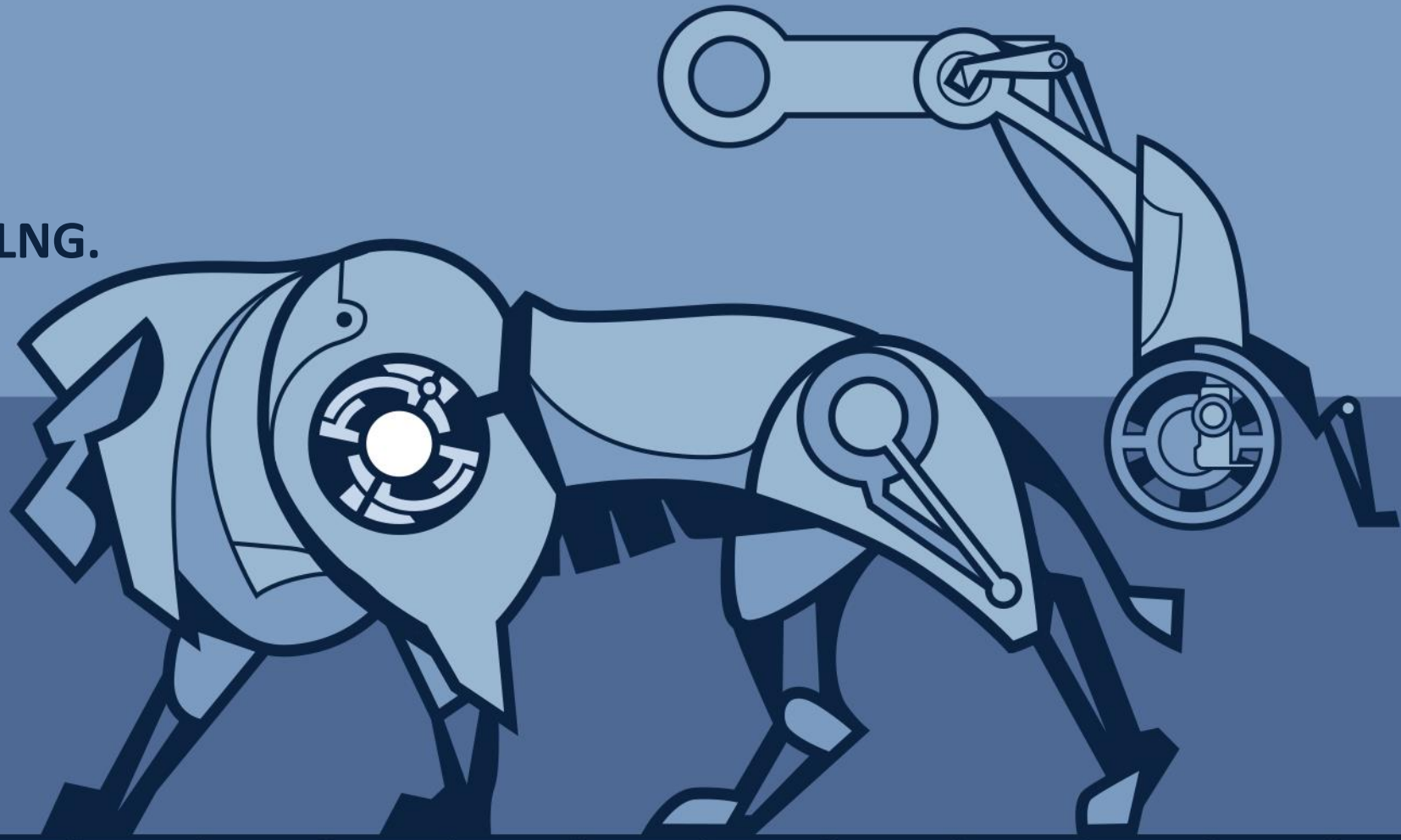


Модернизация ЛОКОМОТИВОВ.

Водородный двигатель и LNG.
Практический опыт

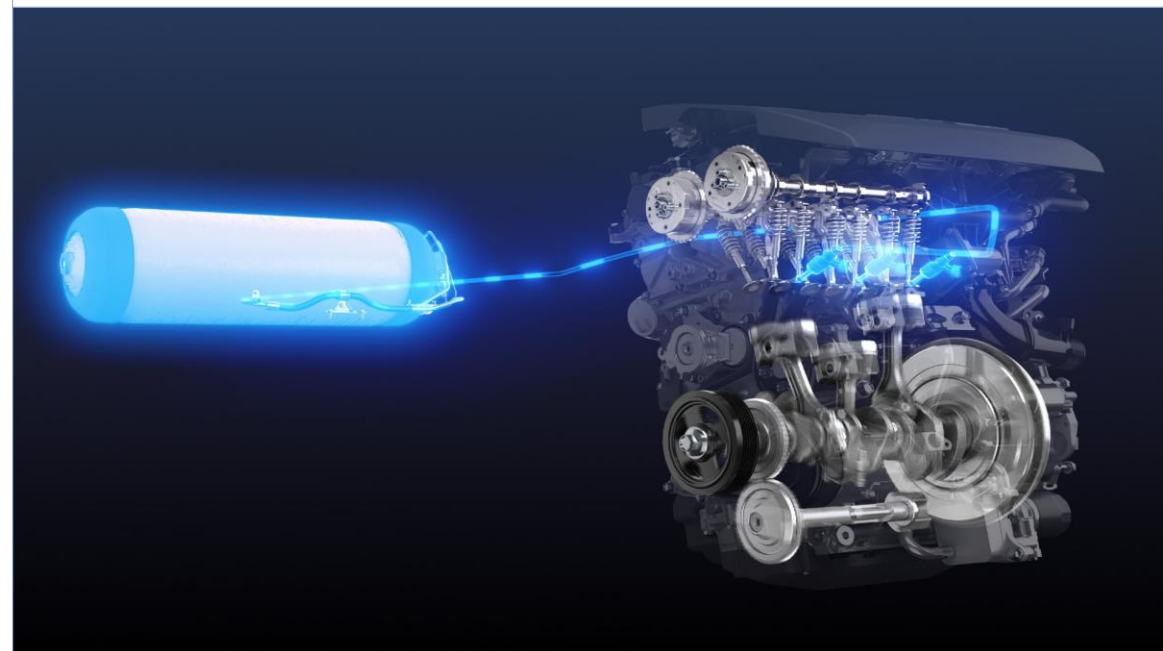
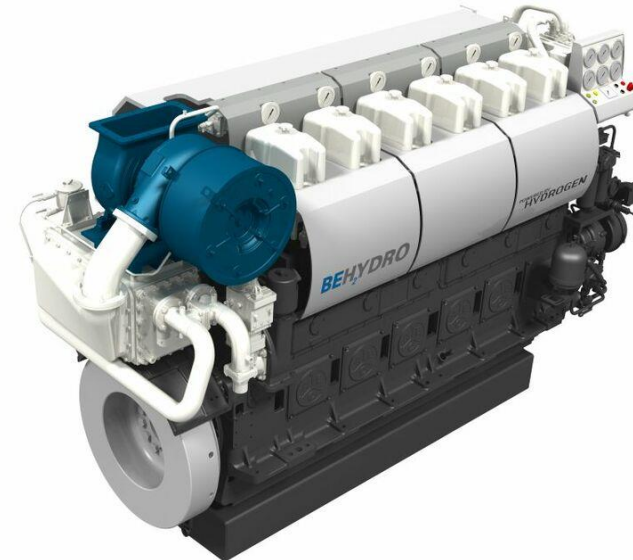
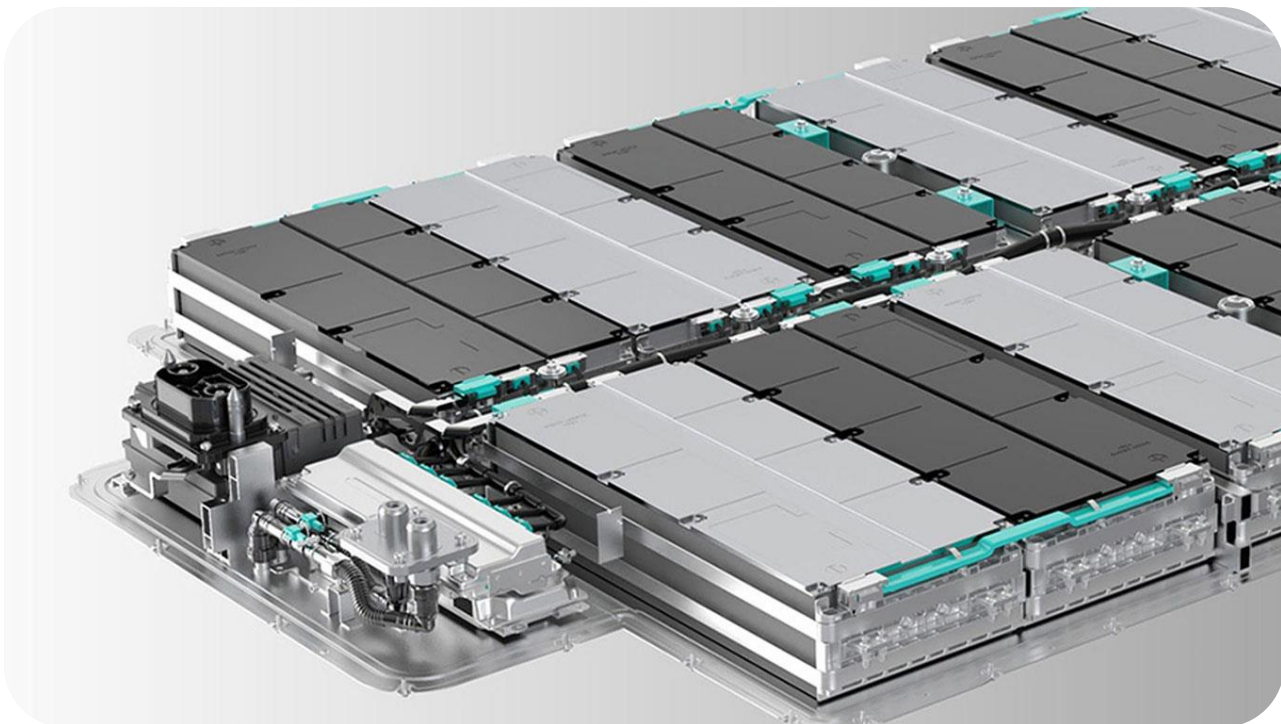
Tygran Arakelian

Head of Ukrainian business unit



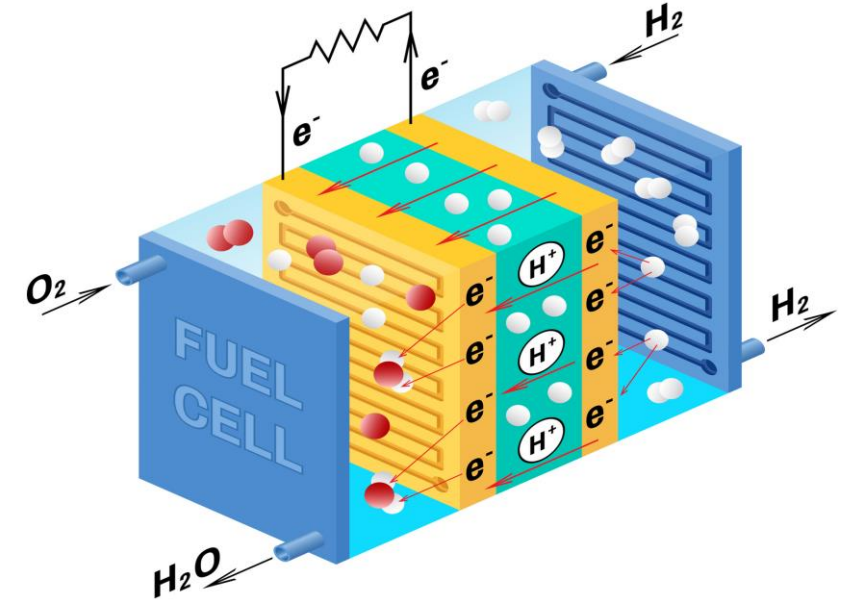
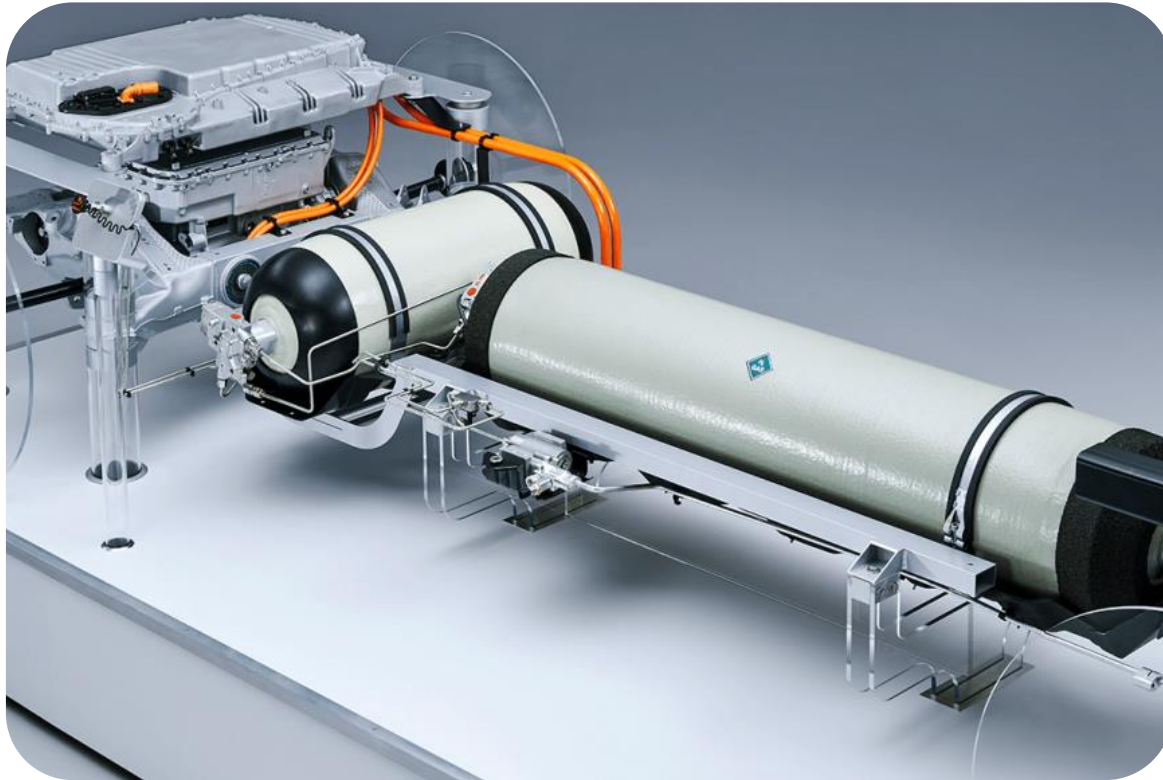


Зеленые альтернативы





Водородный топливный элемент



탄소배출량으로
가볍게 제작되어 연비 및
충전량이 증가합니다



탄소배출량으로 특수내부 재료로
만들어진 수소연료탱크는 강한
외부 충격 및 화재를 최소화 합니다.



저장 압력이 높아 같은
부피로 더 많은 에너지
저장이 가능합니다

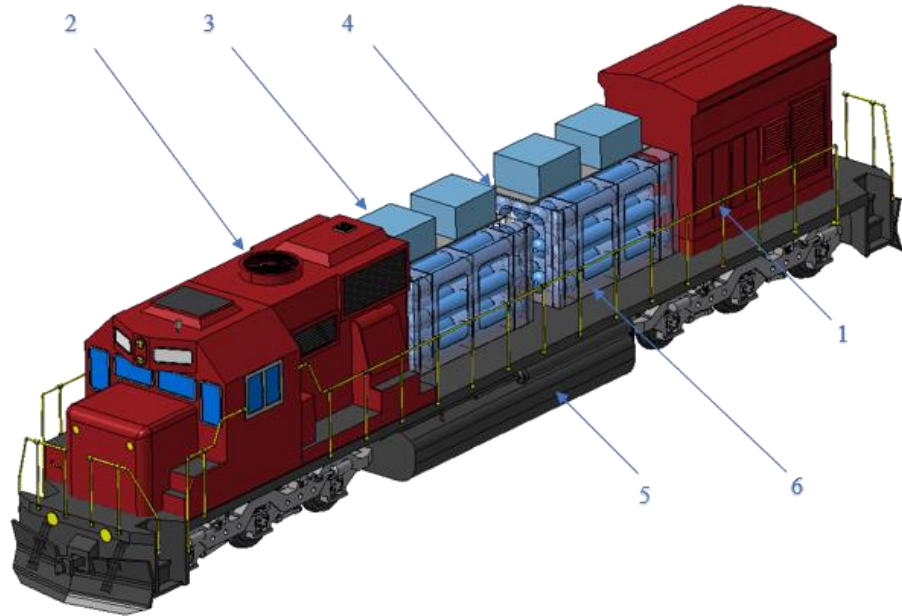




Модернизация локомотивов

Новые проекты

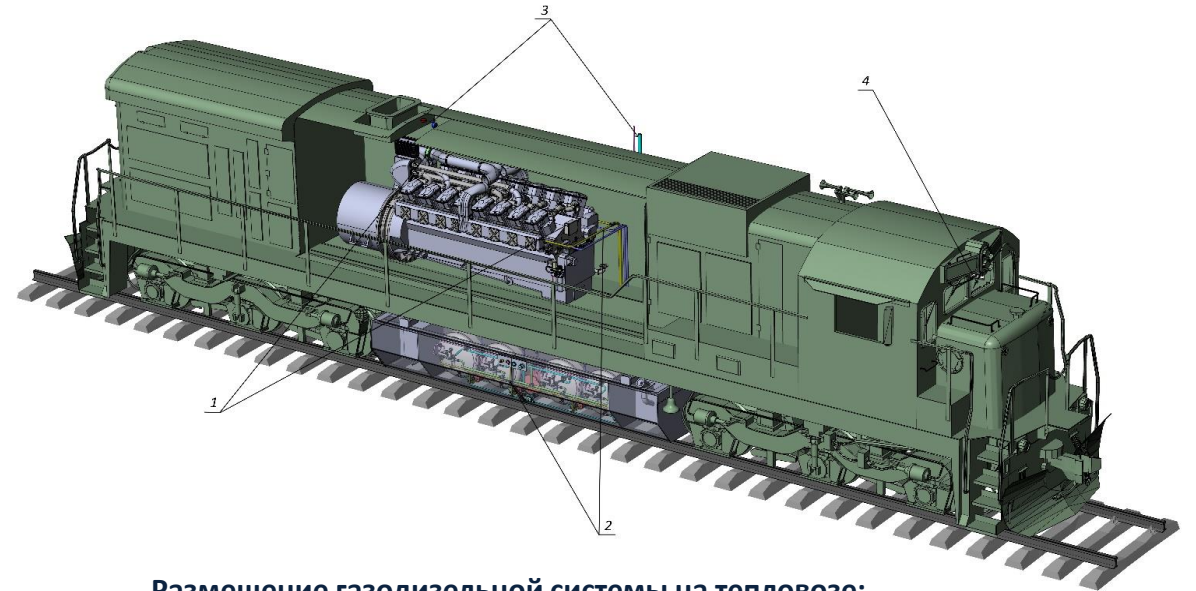
- Локомотив на водородной тяге



Размещение водородной системы на тепловозе:

1 - Тяговые преобразователи, тормозные резисторы, вентиляторы охлаждения тяговых двигателей, вспомогательные агрегаты; 2 - электрический шкаф управления и шкаф управления TCMS; 3 - топливные элементы; 4 - H₂ и холодильные агрегаты; 5 - тяговые аккумуляторы; 6 - блоки хранения водорода.

- Первый в Европе линейный двухтопливный локомотив



Размещение газодизельной системы на тепловозе:

1 – элементы системы управления;
2 – элементы газовой системы;
3 – элементы системы безопасности;
4 – элементы системы индикации и оповещения.





Локомотив

Locomotive length	20 700 mm
Weight of locomotive	175 t
Amount of axis	6
Traction power	2 800 kW
Diesel Unit	GE 7FDL16, 4-cycle
Traction motors	DC / GE 725AF
Traction effort (17,7 km/h)	431 kN
Designed speed	112 km/h

В рамках исследования сделана первая оценка характеристик системы топливных элементов, аккумуляторной батареи и накопителя водорода на борту модернизированного локомотива С36-7i-H2.

С36-7 - это локомотивы американского производства, которые используются в Эстонии с 2003 года. Шестиосные магистральные локомотивы были реконструированы для адаптации к железнодорожной колее (1520/1524 мм) в Эстонии. Система управления С36-7 также была модернизирована перед вводом в эксплуатацию, и в настоящее время подвижной состав эксплуатируется под маркой С36-7i. Из 56 агрегатов 35 находятся в эксплуатации.



Маршрут

Фактическая ситуация указывает на то, что электрификация на линии Таллинн - Палдиски - не будет. Данная линия является наиболее подходящей для замены существующего подвижного состава на локомотивы Н2 на первом этапе внедрения. Общая протяженность линии составляет 48 (51) км, локомотивы С36-7i эксплуатируются в режимах магистральных локомотивов. Средняя масса поезда 1400 т, ориентировочный грузооборот 1 100 000 т в год.





Текущие затраты

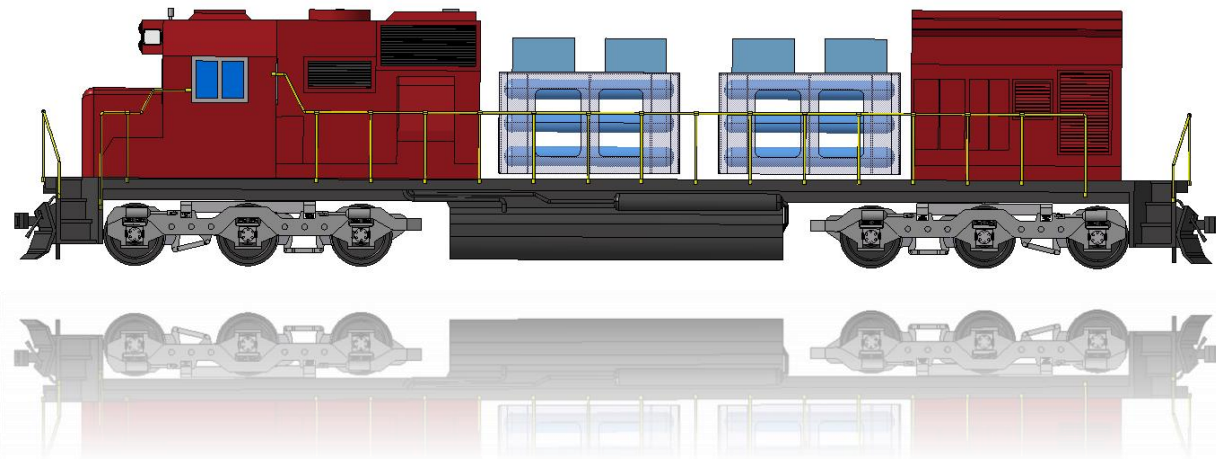
За счет достижения характеристик и возможных затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание локомотива С36-7i-N2 может произойти замена существующего парка модернизированными локомотивами, оснащенными гибридными топливными элементами и аккумуляторной силовой установкой.

Costs of C36-7i locomotive operation	
Personal expenditures	12 451 EUR
Materials and spare parts	10 643 EUR
Lubricants	5 252 EUR
Other material	1 562 EUR
Workshop expenses	10 890 EUR
Direct expenses	30 550
Total	71 348 EUR



Оборудование

Основным источником энергии для локомотива С36-7i-Н2 будет Н2, который в результате термохимической реакции в топливных элементах преобразуется в электричество для обеспечения непрерывной мощности для работы локомотива.

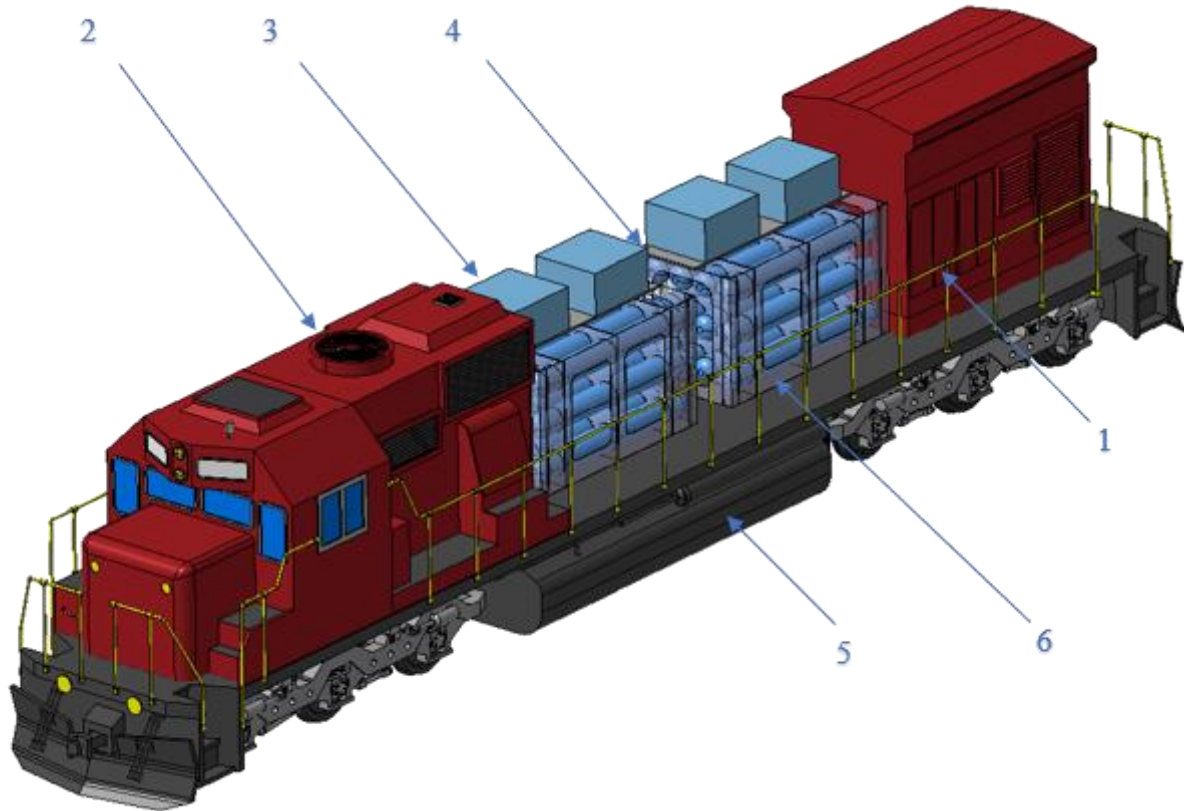


Техническое решение для С36-7i-Н2 по сравнению с модернизацией стандартного дизель-электрического локомотива заключается в замене существующего дизель-генератора мощностью 2800 кВт на тяговые батареи 450 кВтч и модули топливных элементов мощностью 600 кВт с охлаждающими силовыми установками мощностью 100 кВт. Общая мощность вспомогательных агрегатов и управления не должна превышать 40 кВт. В ходе первых инженерных учений был сделан вывод, что без сложных наладок на тепловоз С36-7i-Н2 можно установить стандартные блоки (баки) водородного газа емкостью 240 кг Н2. Это количество Н2 равно 4000 кВтч.





Схема расположения элементов



Расположение силового оборудования

- 1 - Тяговые преобразователи, тормозные резисторы, вентиляторы охлаждения тяговых двигателей, вспомогательные агрегаты;
- 2 - электрический шкаф управления и шкаф управления TCMS;
- 3 - топливные элементы;
- 4 - H₂ и холодильные агрегаты;
- 5 - тяговые аккумуляторы; 6 - блоки хранения водорода





Планируемый расход

Обычное потребление водорода на кВтч (потребление) составляет не более 0,058 кг / кВтч. Согласно анализу для линии Палдиски (Рийзипере) - Таллинн, расход водорода составляет около 1 кг / км. Информация имеет решающее значение для дальнейшего определения необходимой заправки водородом и, при необходимости, характеристик производственного объекта. Кроме того, резервуары для хранения водорода отличаются от производителей, а размер и количество строго зависят от размера локомотива С36-7i. Общая смета на эксплуатацию тепловоза С36-7i-H2 - установка резервуаров для хранения водорода общей емкостью не менее 240 кг. Это позволит локомотиву проработать минимум два полных дня.



Расход водорода на локомотив С36-7i-H2 составляет примерно:

- *Дневной - 100 кг.*
- *Неделя - 500 кг*
- *Месяц - 2100 кг*



Планируемый расход

Вся необходимая мощность для локомотива С36-7i-H2 обеспечивается топливным элементом и аккумуляторным модулем. Для топливного элемента необходимо иметь возможность обеспечивать непрерывную мощность тяговых электродвигателей, то есть не меньше средней мощности в конкретном рабочем режиме (цикле). Кроме того, необходимо учитывать, что топливный элемент также будет обеспечивать энергией вспомогательные силовые агрегаты, то есть воздушные компрессоры, систему охлаждения, кондиционер и другие вспомогательные низковольтные агрегаты.



Приблизительное энергопотребление существующих вспомогательных компонентов локомотива С36-7:

- *Воздушный компрессор - 35 кВт;*
- *Система охлаждения тягового двигателя - 30 кВт;*
- *Система охлаждения дизеля - 50 кВт;*
- *Система охлаждения реостата тормозной системы - 15 кВт.*

Система охлаждения топливных элементов уже включена в общий баланс мощности и не входит во вспомогательные агрегаты.

Кроме того, если для зарядки аккумуляторного модуля используется система рекуперации, общее потребление энергии снижается на 5-15%.



Стоимость эксплуатации

Согласно ранее описанным условиям использования на маршруте Палдиски (Рийзипере) - Таллинн инвестиционные затраты на локомотив требуемой конфигурации для модернизации одной единицы составляют приблизительно **2,1 млн** евро в случае дизельного двигателя и **2,95 млн** евро для развертывания локомотива С36-7i-H2.

Затраты на техническое обслуживание локомотива С36-7i-H2 составляют **1,54** евро / км по примерным расчетам тепловоза - **1,92** евро / км. Это приводит к ежегодным затратам на эксплуатацию С36-7i-H2 для тепловозов С36-7i в размере **51 100** евро и **70 80** евро.

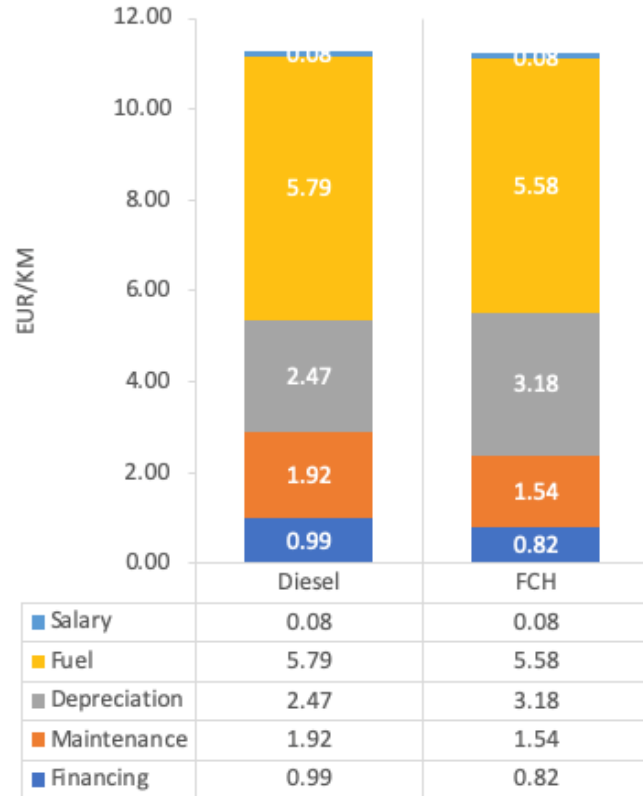
Стоимость использованного топлива для расчетов включала, что средний расход H₂ составляет 1,03 кг / км при цене на заправочной станции водородом около 5,4 евро / кг / H₂. Стоимость бывшего в употреблении дизельного топлива в расчете составляет 1 евро / л, а расход - 5,79 л / км.





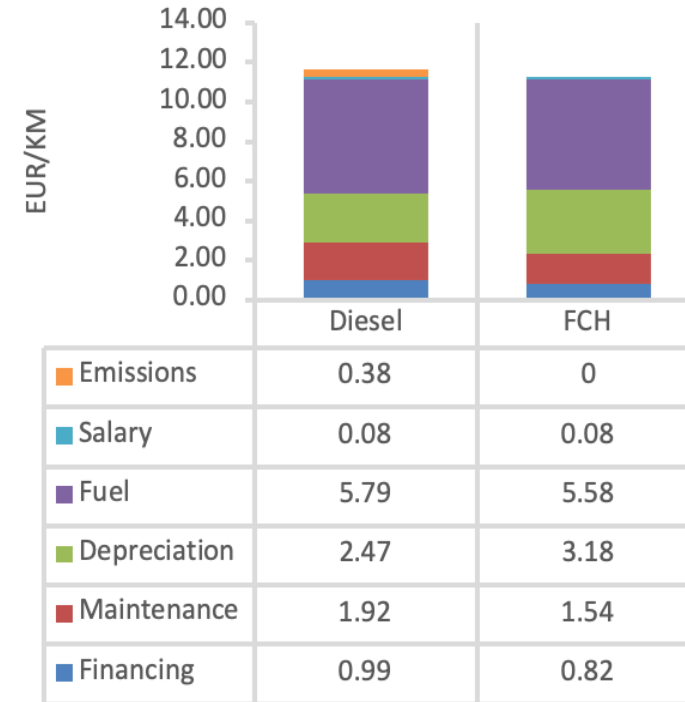
Стоимость эксплуатации

C36-71 LOCOMOTIVE TCO EUR/KM



Расчетная экономия **0,05** EUR / км. По расчетам, общие затраты на тепловоз на 1 км составляют **11,24** евро. Предполагаемые затраты на водородный локомотив - **11,19** евро за км.

C36-71 LOCOMOTIVE TCO EUR/KM



Расчетная экономия **0,43** EUR / км. По расчетам, общие затраты на тепловоз на 1 км составляют **11,62** евро. Предполагаемые затраты на водородный локомотив - **11,19** евро за км.



Преимущества реализации проекта

- Поддержка перехода AS Operail на транспорт с нулевым уровнем выбросов;
- Устранение локальных выбросов поездов CO₂, CO, NO_x, НМЛОС и твердых частиц;
- Снижение уровня шума;
- Топливный элемент и водородная трансмиссия С36-7i-H₂ повышает энергоэффективность по сравнению с силовыми агрегатами с дизельным двигателем и сокращает время технического обслуживания трансмиссии;
- Повышенная энергоэффективность по сравнению с дизель-электрической трансмиссией;
- Более легкое обслуживание топливных элементов и водородных модулей по сравнению с дизельными установками;
- Концепция модернизации С36 как рентабельная трансформация подвижного состава вместо смены парка;
- Возможность использования топливных элементов и водородных локомотивов С36-7i-H₂ на закрытых территориях, складах и в местах, где технически и географически сложно или невозможно обеспечить электрификацию, например, железнодорожные депо, грузовые порты, маневровые станции и т. д.
- Концепция модернизации локомотивов может быть легко воспроизведена на дизель-электрических локомотивах других производителей, также с другими установленными диапазонами мощности;
- Короткий срок реализации модернизации (до 2 лет) по сравнению с внедрением новых типов локомотивов от OEM (от 4 до 10 лет);
- Участие в преобразовании водорода как ключевой момент для обмена ноу-хау и постоянного снижения цен на компоненты из-за эффекта масштаба.

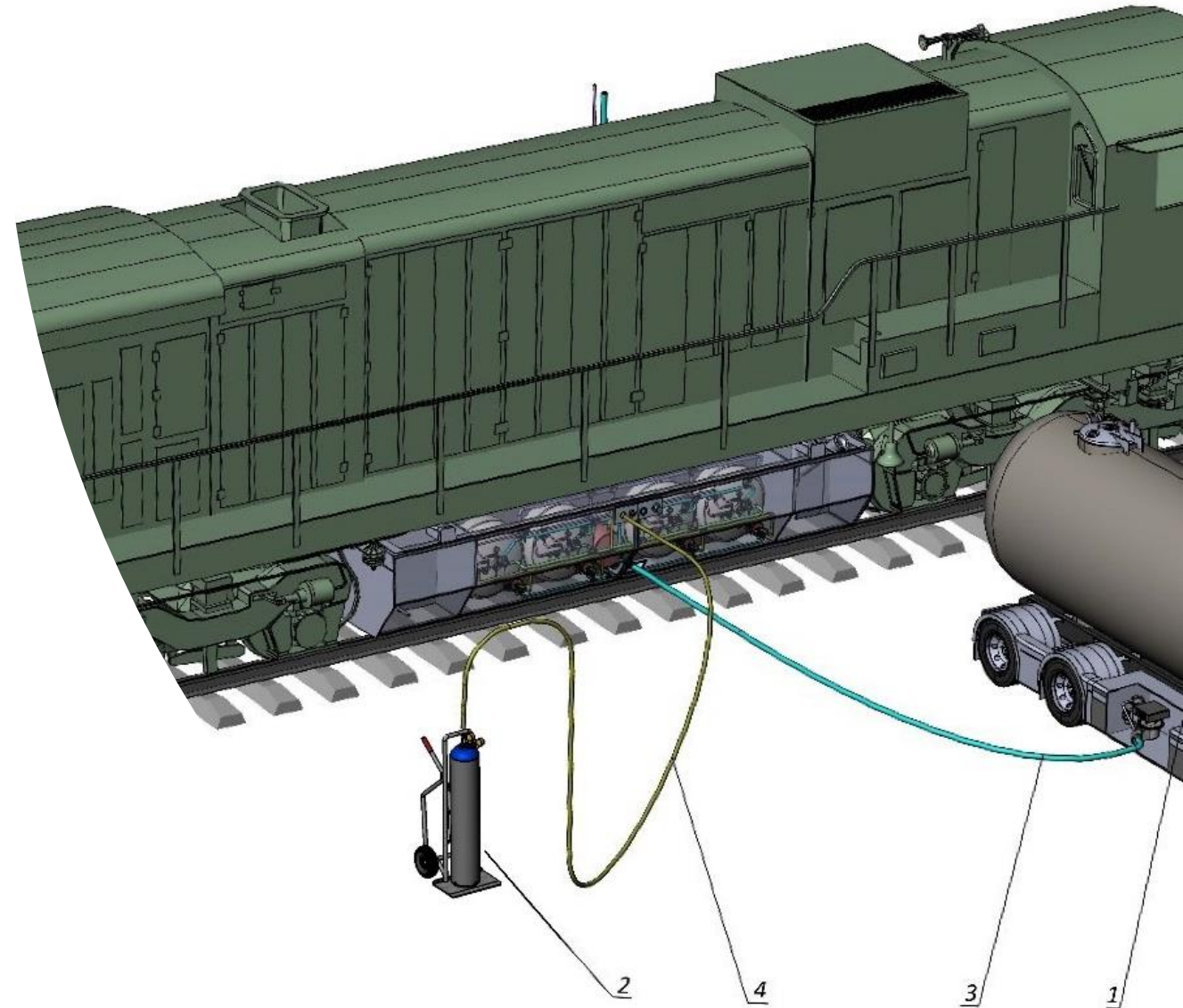




LNG

МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОВОЗА С ДВИГАТЕЛЕМ GE C36-71 В ГАЗОДИЗЕЛЬНЫЙ ЦИКЛ

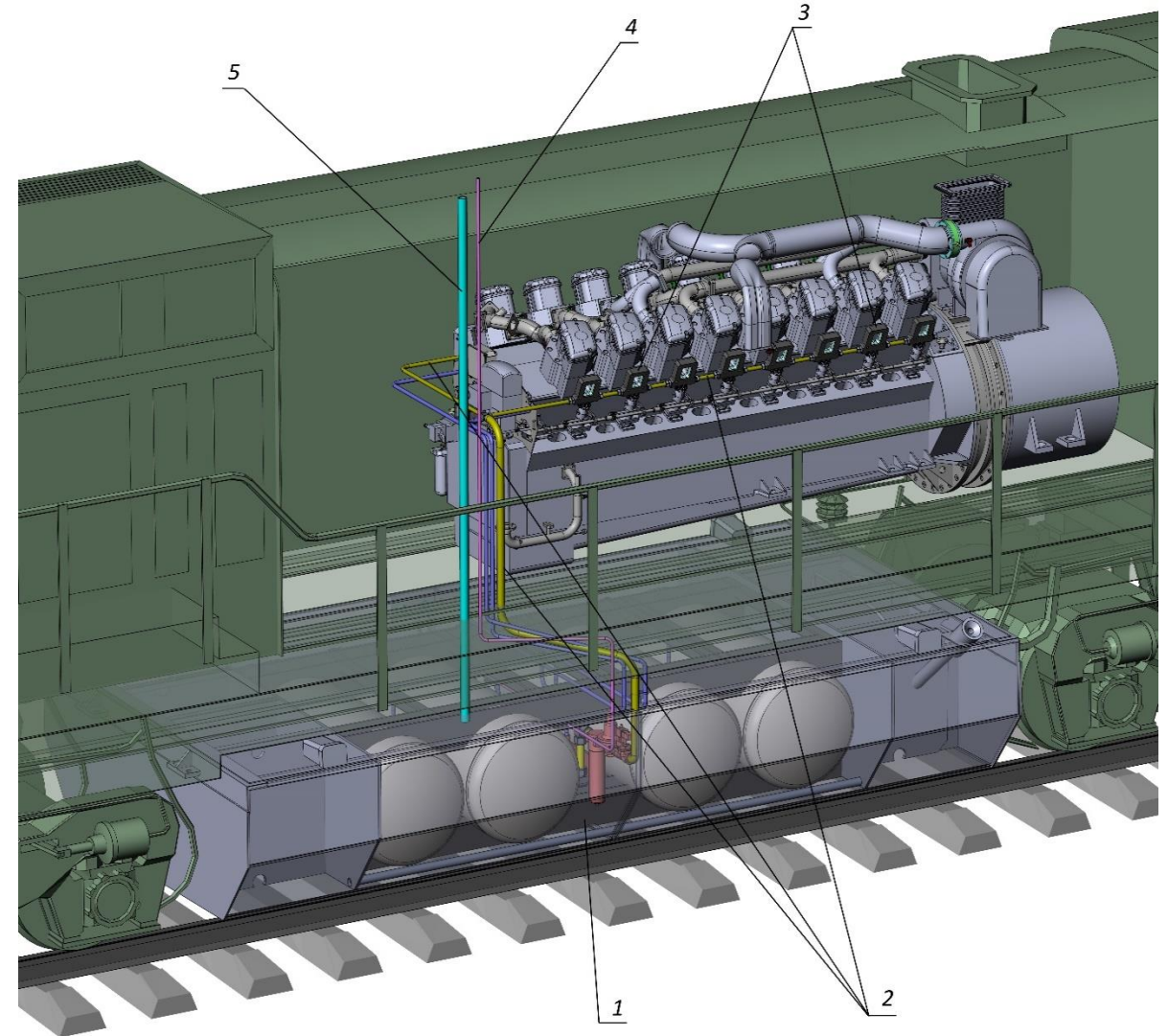
- Модернизация подразумевает возможность работы тепловоза в газодизельном режиме с использованием до 70% газового топлива, используя дизельное топливо в качестве запальной дозы, и в дизельном режиме с использованием только дизельного топлива.
- Модернизация не затрагивает кузов (в части прочности), экипажную часть, тормозное оборудование, тяговое электрооборудование, штатные системы управления и безопасности тепловоза, а также основную часть вспомогательного оборудования. Основные изменения связаны с определённой доработкой топливной системы, а также систем управления дизельного двигателя.





Преимущества LNG

- ✓ фазированный распределенный впрыск газа в каждый из цилиндров по отдельности только в такте впуска;
- ✓ контроль мощности дизель-генераторной установки (ДГУ) и недопущение перегрузок;
- ✓ динамически изменяемая запальная доза дизельного топлива;
- ✓ автоматический переход в газодизельный и дизельный режимы;
- ✓ полное соответствие характеристик мощности и крутящего момента в режимах постоянной и переменных нагрузок;
- ✓ система безопасности: автоматическое обнаружение утечки газа и пожара;
- ✓ уменьшение содержания оксидов азота (NO_x);
- ✓ уменьшение содержания твердых частиц сажи (PM).





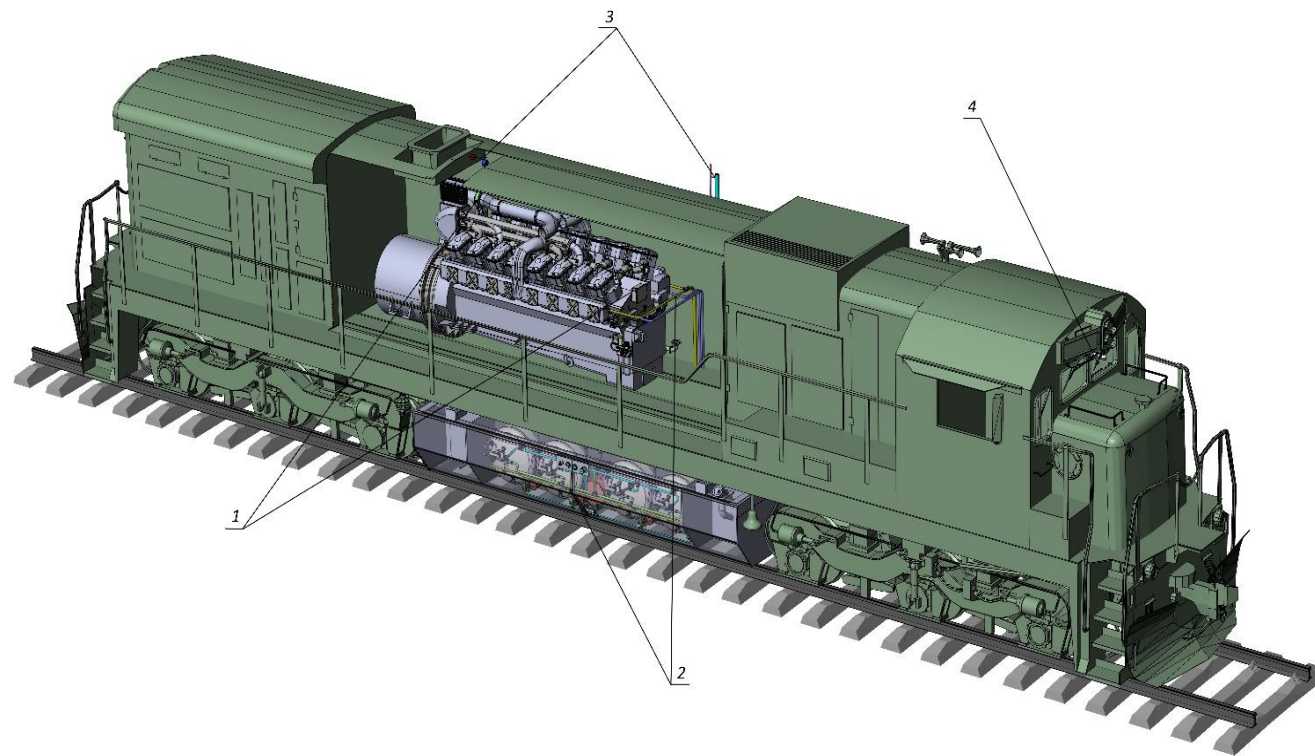
Система телеметрии, отображение избранных параметров в реальном времени.





Основные компоненты газодизельной системы

- ✓ система управления (электронные блоки управления (ЭБУ), датчики, исполнительные механизмы, жгуты);
- ✓ газовая система (баки со сжиженным природным газом (LNG), система испарения LNG, запорная арматура, фитинги, трубы, редуктор, газовые форсунки, фильтр);
- ✓ система безопасности (система пожарного оповещения и определения утечки газа).
- ✓ система индикации, оповещения и диспетчеризации с функцией телеметрии для удаленного контроля рабочих параметров тепловоза и системы безопасности.



Размещение газодизельной системы на тепловозе:

1 – элементы системы управления; 2 – элементы газовой системы; 3 – элементы системы безопасности; 4 – элементы системы индикации и оповещения.



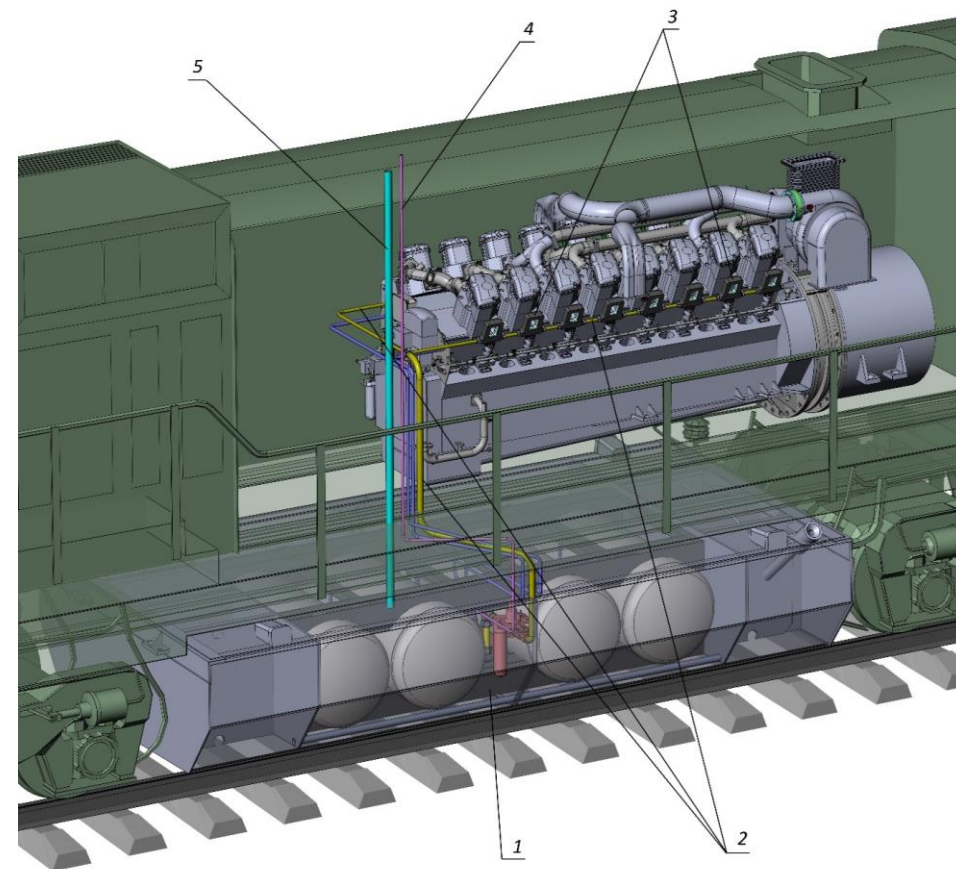


Конструкция

Основным компонентом газовой системы является модуль хранения и подачи газа, к которому подводится заправочная магистраль, а также магистраль сброса газа и вентиляционная магистраль

Модуль хранения и подачи газа состоит из:

- четырех баков, в которые заправляется с последующим сохранением сжиженный природный газ (LNG);
- компонентов, предназначенных для испарения LNG (перевод газа из жидкого состояния в газообразное);
- компонентов, предназначенных для очищения газа, понижения и поддержания стабильного давления газа на выходе из модуля.



Система газовая:

1 - модуль хранения и подачи газа; 2 - магистраль подачи газа; 3 – модули впрыска газа; 4 – магистраль сброса газа; 5 – магистраль вентиляционная.





Расход и экономический просчет

Вид топлива	Плотность, кг/м ³	Теплотворная способность, МВтч/т
Дизельное топливо	840	11,74
LNG	421	13,3

- ✓ объем дизельного топлива в одном отделении – 2940 л (2470 кг);
- ✓ общий объем дизельного топлива в двух отделениях – 5880 л (4940 кг);
- ✓ общий объем LNG – 3600 л (1515 кг) = 2036 DLE (эквивалент литров дизтоплива);
- ✓ при замещении 60% LNG / 40% дизтопливо (ДТ) в момент,
- ✓ когда LNG будет израсходован на 100% - остаток дизельного топлива – 4520 л (3790 кг);
- ✓ разница распределения нагрузок по осям тепловоза до и после модернизации ≈0%.

Fuel Consumption	Data	Unit of measurement
Diesel fuel consumption in diesel mode	223 555	Liters/year
Diesel fuel consumption in dual-fuel mode	67 067	Liters/year
Natural gas consumption in dual-fuel mode	156 489	m ³ /year
Diesel fuel consumption in dual-fuel mode	258	Liters/day
Natural gas consumption in dual-fuel mode	602	m ³ /day
Economic Implications	Data	Unit of measurement
Fuel costs in diesel only mode	214 837 €	EUR/year
Fuel costs in dual-fuel mode	136 642 €	EUR/year
Diesel fuel costs in dual-fuel mode	64 451 €	
Natural gas costs in dual-fuel mode	72 191 €	
Savings from dual-fuel conversion	78 194 €	EUR/year



Operail общая информация

- AS Operail является международным логистическим и транспортным предприятием.
- Нашими основными направлениями бизнеса являются:
 - грузовые перевозки,
 - обслуживание и модернизация подвижного состава,
 - аренда подвижного состава.
- У нас работает около 600 сотрудников по всей стране.
- Наш парк насчитывает около 3650 железнодорожных вагонов и 85 локомотивов.

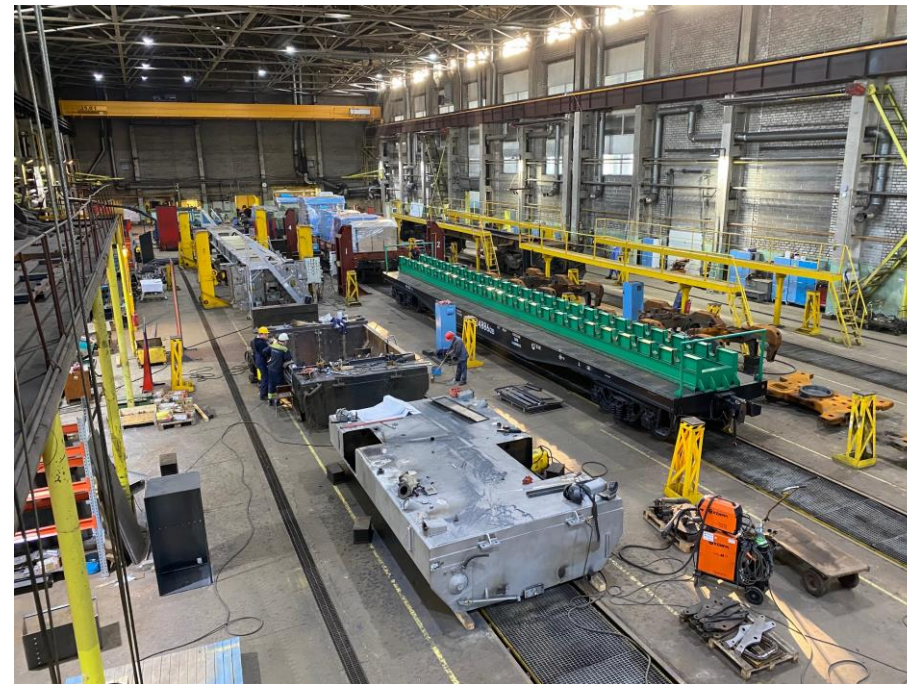




Модернизация локомотивов

Место - Депо Тапа

На территории располагаются сборочно-сварочные цеха,
а так же современный цех очистки-окраски



Модернизированный локомотив С-30М





Thank you!

Tygran Arakelian

Head of Ukrainian business unit

Cell: +380675038700

Email: tygran.arakelian@operail.com

