

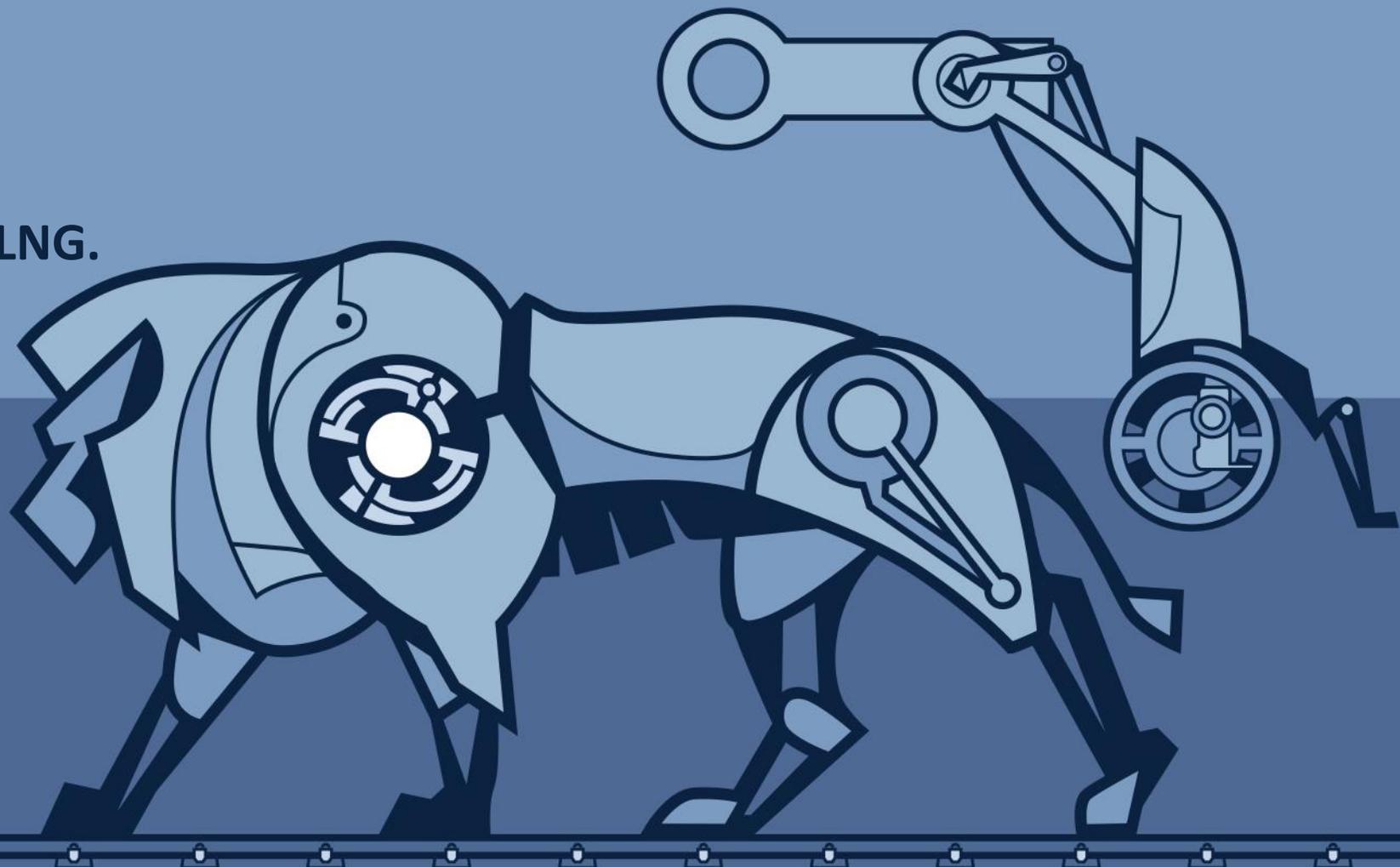


# Модернизация ЛОКОМОТИВОВ.

Водородный двигатель и LNG.  
Практический опыт

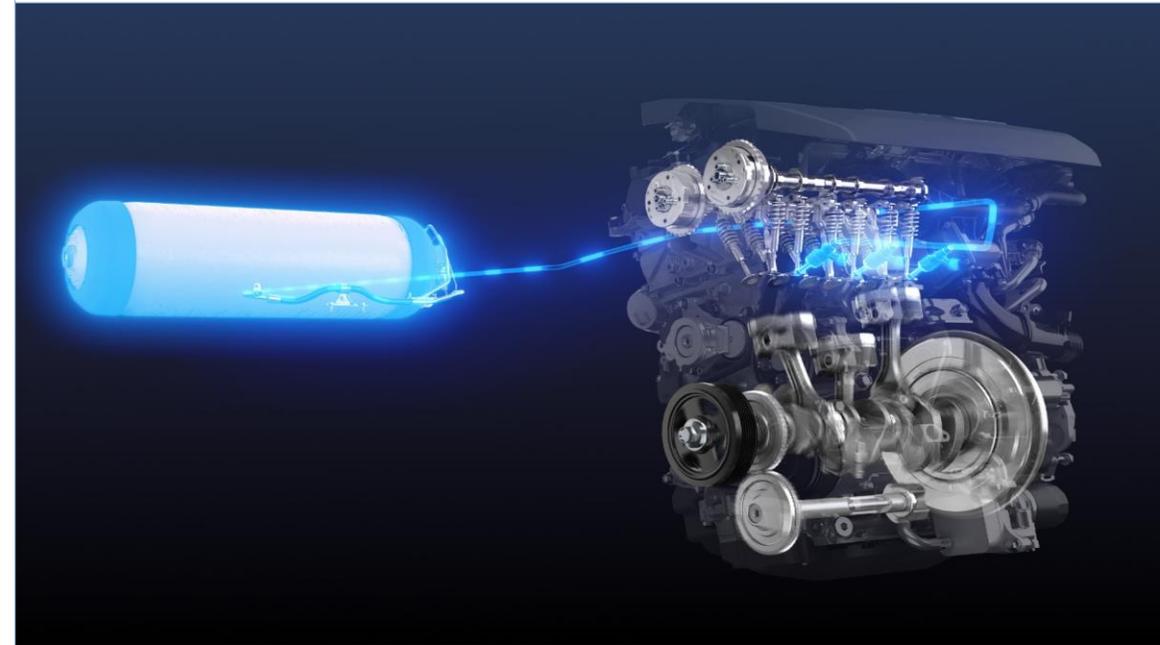
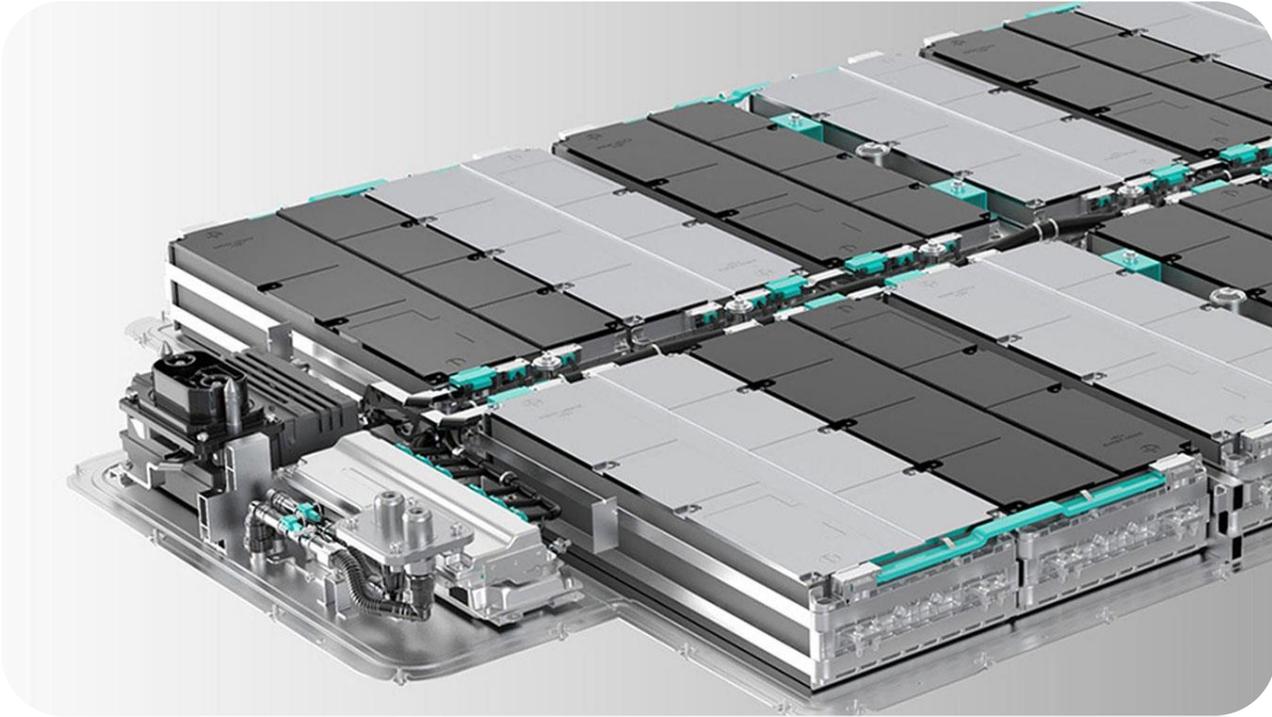
Tygran Arakelian

Head of Ukrainian business unit



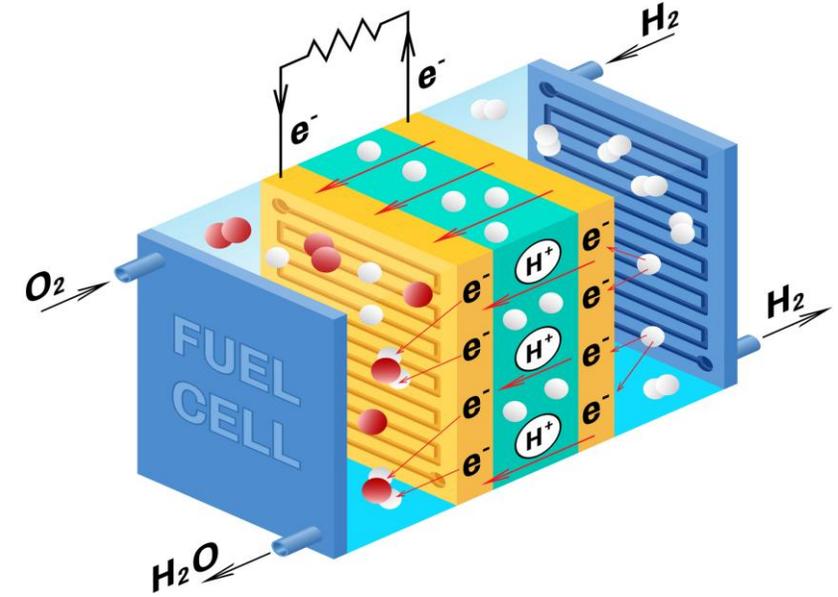


# Зеленые альтернативы





# 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

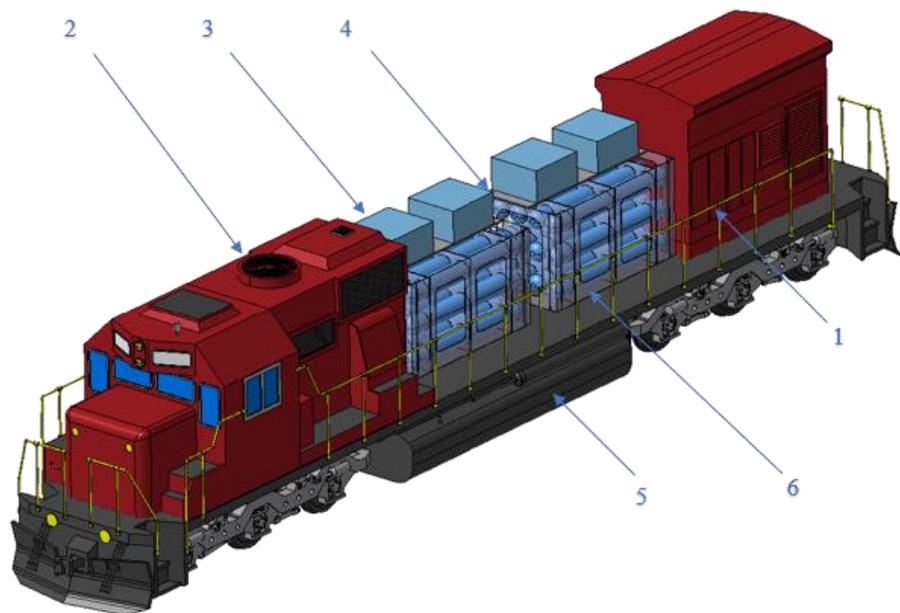




# Модернизация локомотивов

## Новые проекты

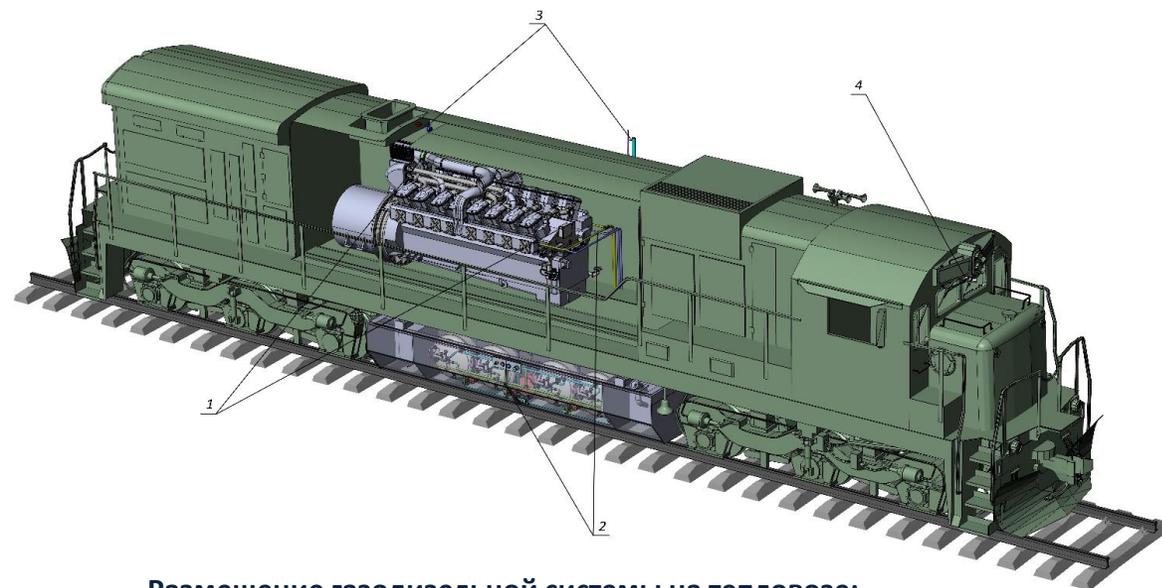
- Локомотив на водородной тяге



### 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 - H<sub>2</sub> 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-H2 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-H2 будет H<sub>2</sub>, который в результате термохимической реакции в топливных элементах преобразуется в электричество для обеспечения непрерывной мощности для работы локомотива.

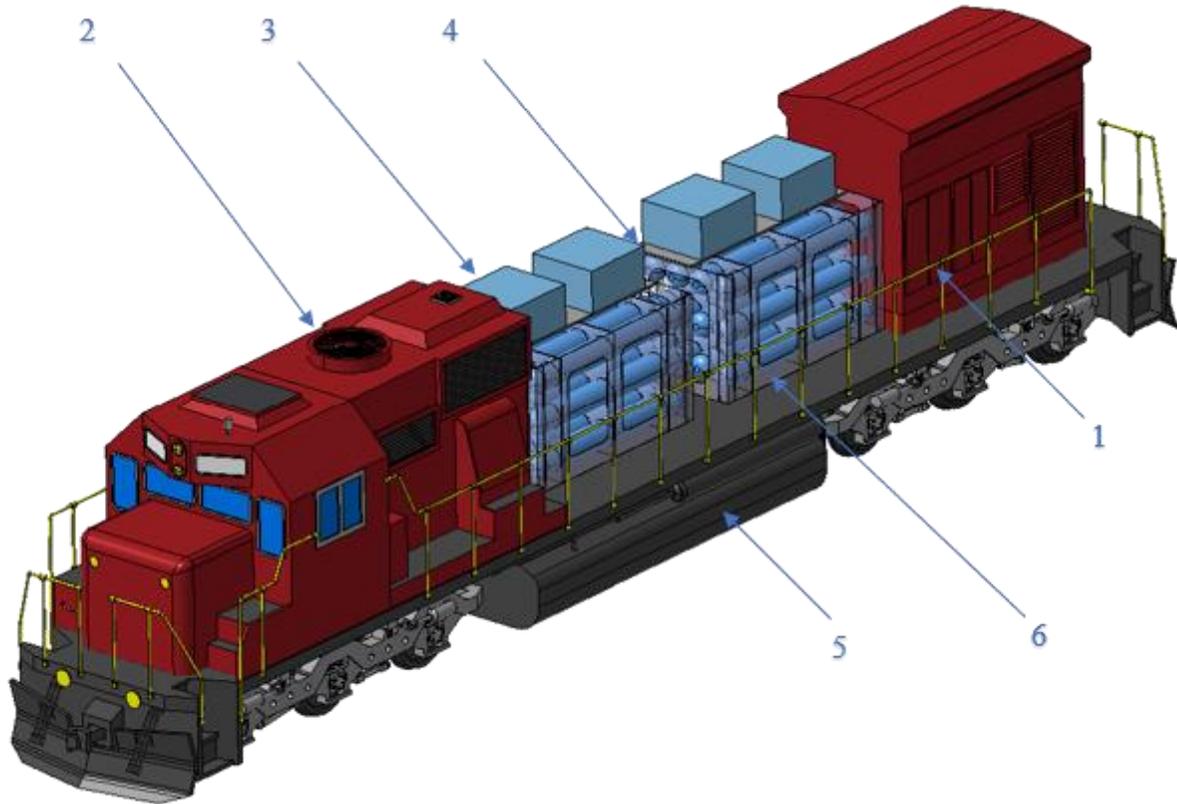


Техническое решение для С36-7i-H2 по сравнению с модернизацией стандартного дизель-электрического локомотива заключается в замене существующего дизель-генератора мощностью 2800 кВт на тяговые батареи 450 кВтч и модули топливных элементов мощностью 600 кВт с охлаждающими силовыми установками мощностью 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-H2 можно установить стандартные блоки (баки) водородного газа емкостью 240 кг H<sub>2</sub>. Это количество H<sub>2</sub> 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 - H<sub>2</sub> 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-H<sub>2</sub> - 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-H<sub>2</sub> 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.

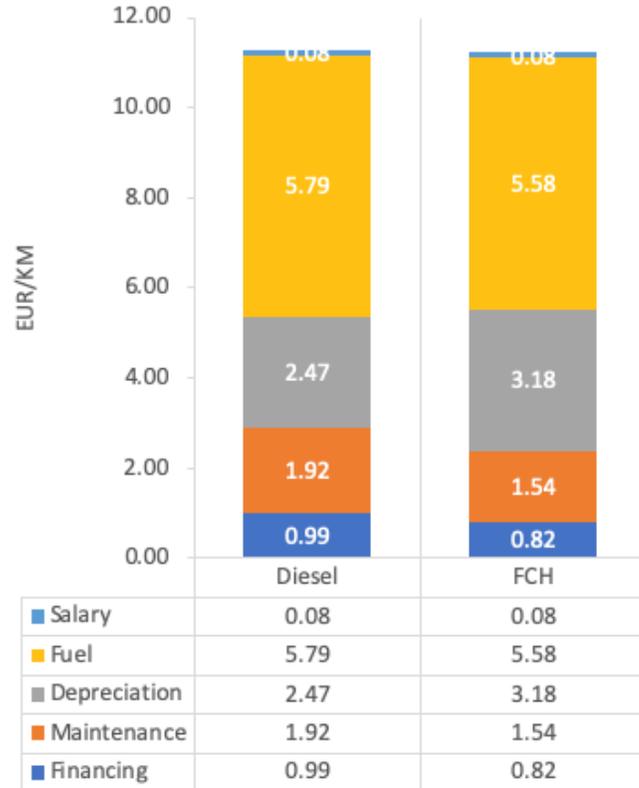
Стоимость использованного топлива для расчетов включала, что средний расход H<sub>2</sub> составляет 1,03 кг / км при цене на заправочной станции водородом около 5,4 евро / кг / H<sub>2</sub>. Стоимость бывшего в употреблении дизельного топлива в расчете составляет 1 евро / л, а расход - 5,79 л / км.





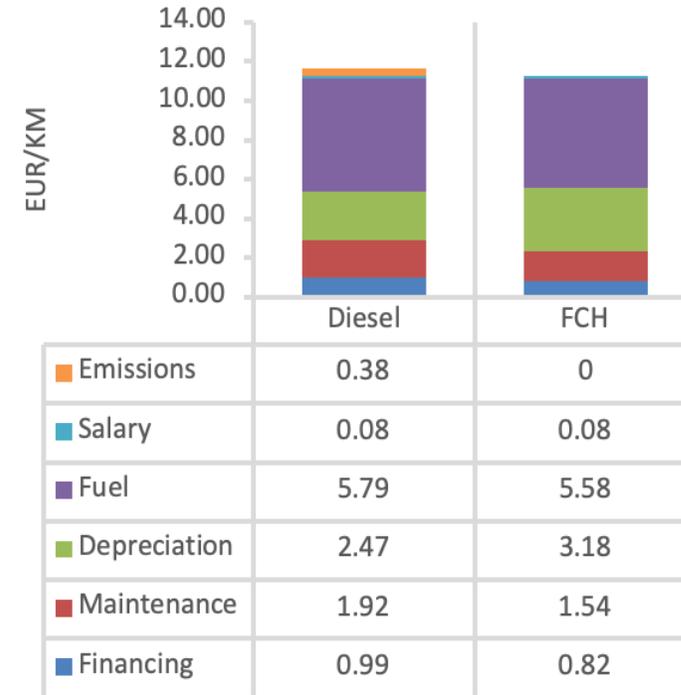
# Стоимость эксплуатации

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 CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, НМЛОС и твердых частиц;
- Снижение уровня шума;
- Топливный элемент и водородная трансмиссия С36-7i-H<sub>2</sub> 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-H<sub>2</sub> 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.

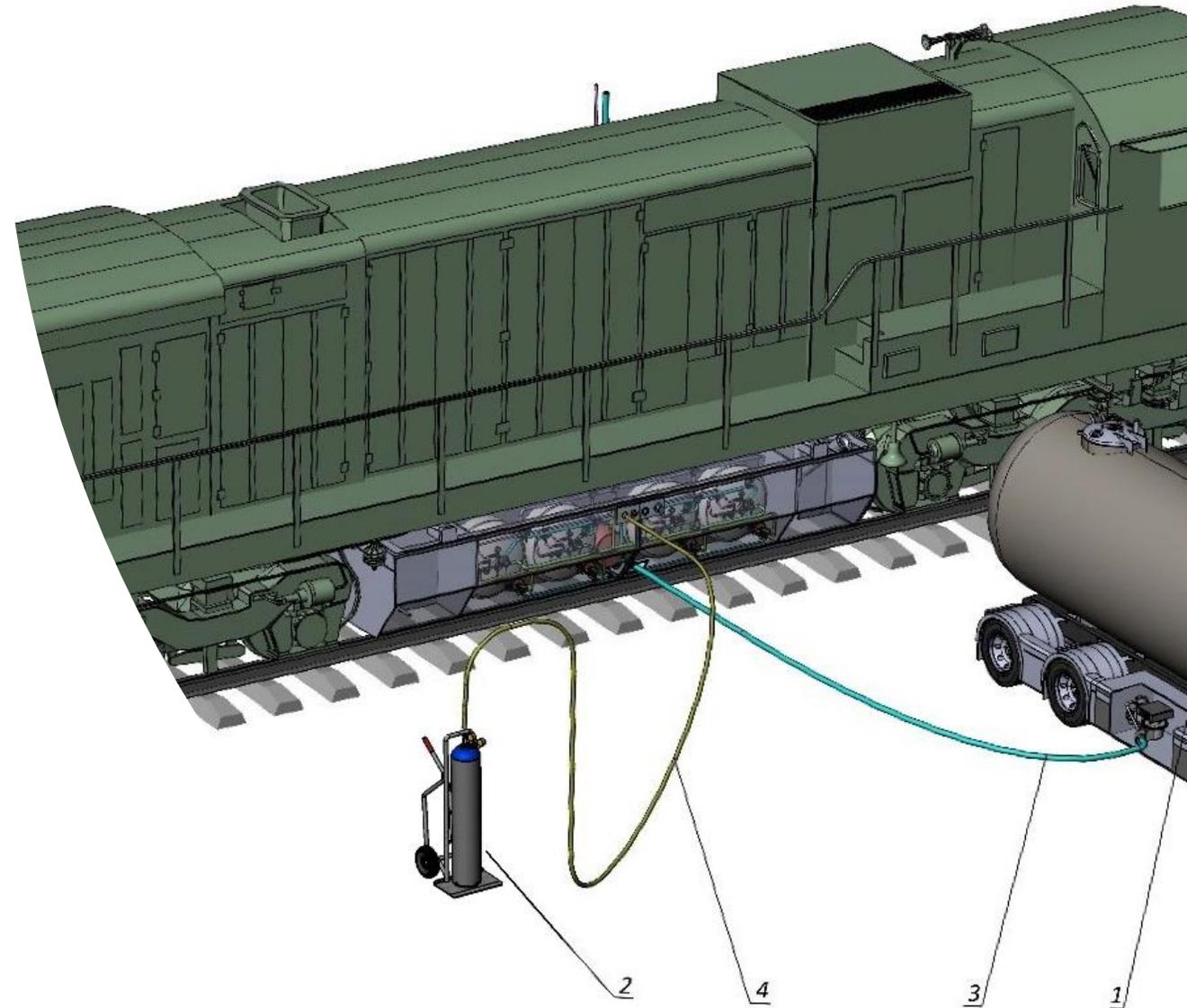




# LNG

## МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕПЛОВОЗА С ДВИГАТЕЛЕМ GE C36-71 В ГАЗОДИЗЕЛЬНЫЙ ЦИКЛ

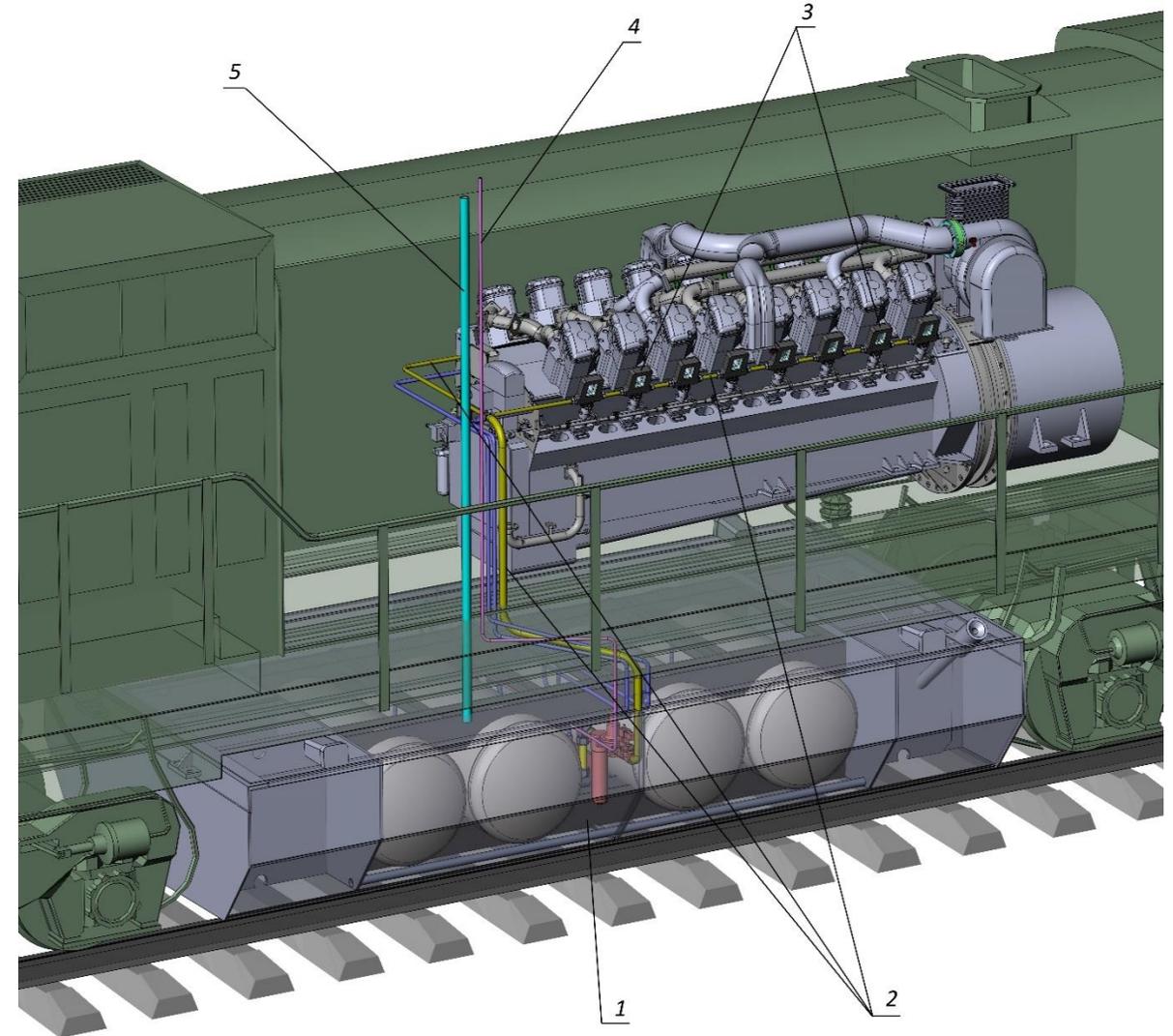
- Модернизация подразумевает возможность работы тепловоза в газодизельном режиме с использованием до 70% газового топлива, используя дизельное топливо в качестве запальной дозы, и в дизельном режиме с использованием только дизельного топлива.
- Модернизация не затрагивает кузов (в части прочности), экипажную 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<sub>x</sub>);
- ✓ уменьшение содержания твердых частиц сажи (PM).





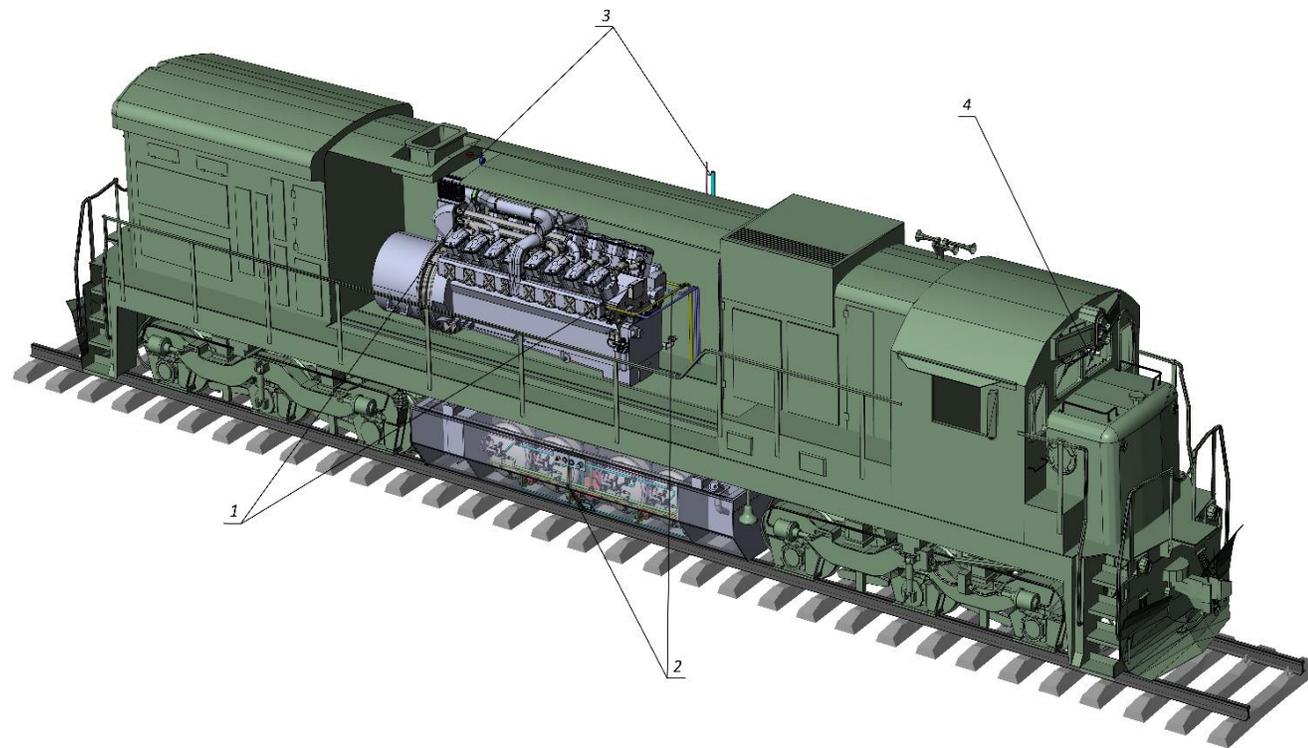
# Система телеметрии, отображение избранных параметров в реальном времени.





# 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.*



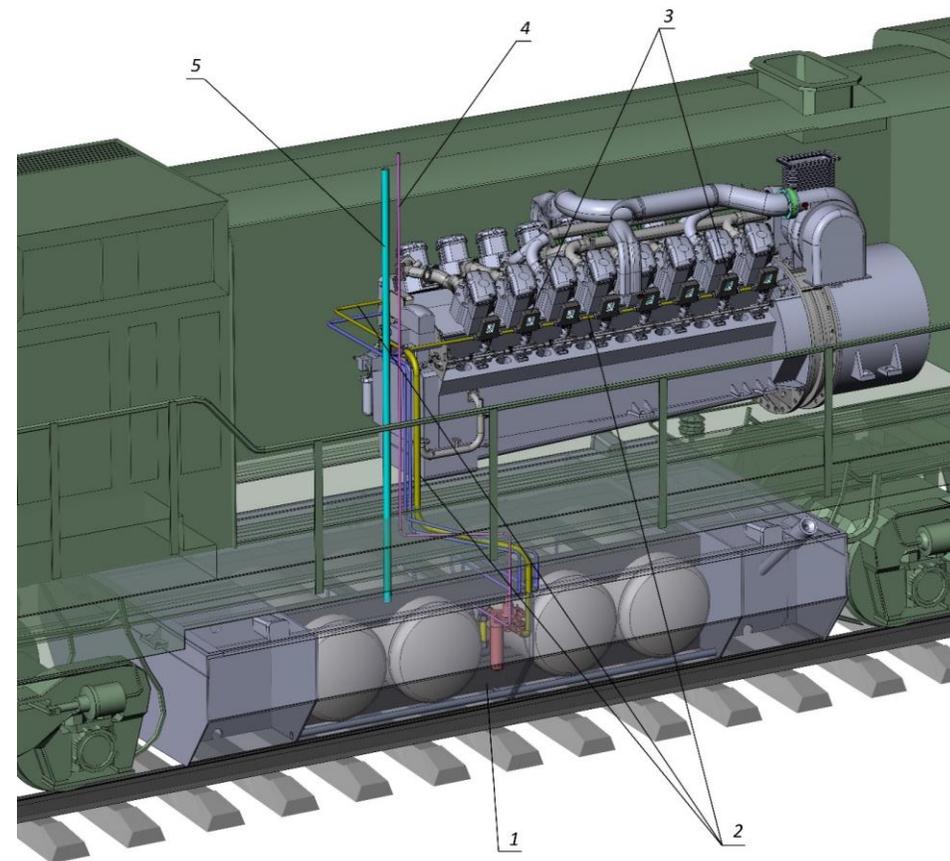


# Конструкция

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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> /year |
| Diesel fuel consumption in dual-fuel mode | 258       | Liters/day           |
| Natural gas consumption in dual-fuel mode | 602       | m <sup>3</sup> /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.

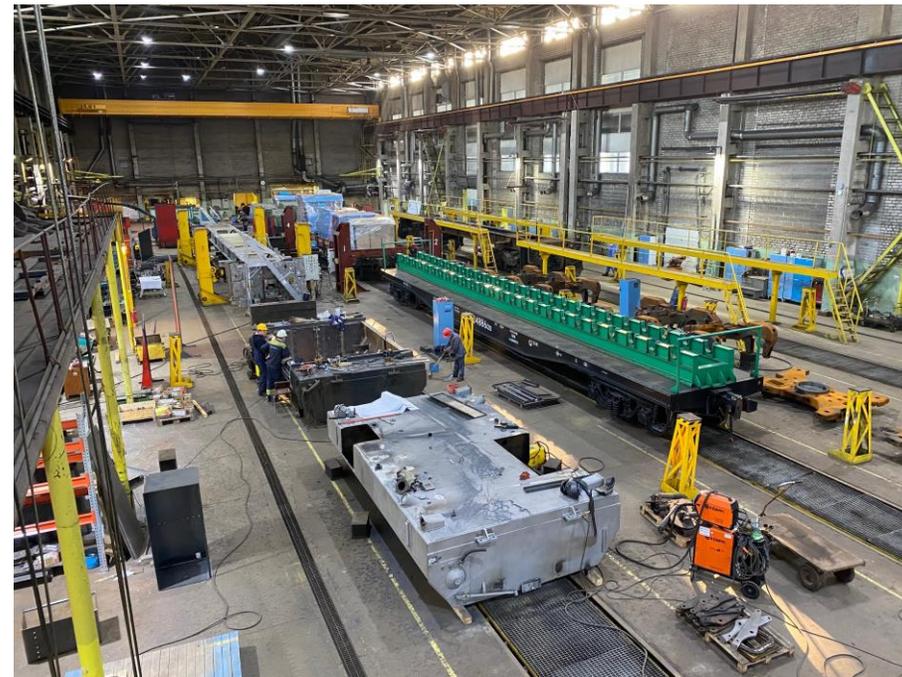




# Модернизация локомотивов

## 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](mailto:tygran.arakelian@operail.com)

