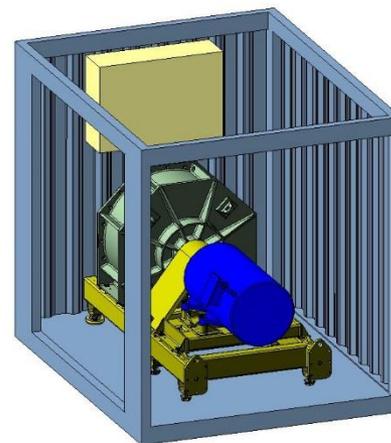




кинемак

# Накопитель кинетической энергии

для эффективного использования  
рекуперированной энергии  
электрифицированного транспорта



# Проблема энергоэффективности на городском транспорте и её решение

## Малое использование рекуперирующей энергии на городском транспорте

Троллейбус и трамвай могут рекуперировать энергию. Но практически вся рекуперирующая энергия электрифицированного транспорта «сжигается» на тормозных резисторах и повторно не используется. Резкие перемены напряжения в сети. Недостаток мощности на отдельных участках движения.

ПРОБЛЕМА

## Применение маховичных накопителей позволит эффективно использовать рекуперируемую энергию

Режим быстрого запасания энергии с последующей быстрой отдачей, для применения на городском электрифицированном транспорте (трамвай, троллейбус). Сглаживание колебаний напряжения в сети. Работа в качестве параллельного генератора.

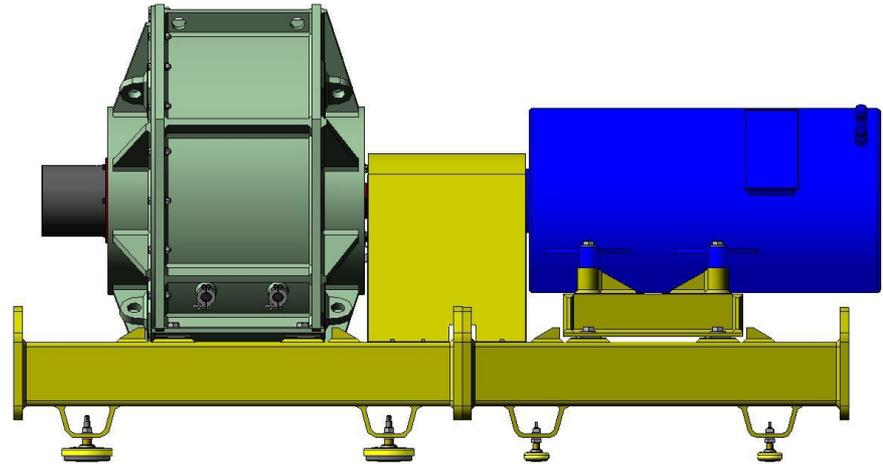
РЕШЕНИЕ

# Конструкция и принцип работы НКЭ

Электрическая энергия рекуперации вагона подается на мотор-генератор, раскручивающий «высокоэнергетичный маховик», который имеет энергоёмкость до 8 МДж (~2 кВт\*час) энергии.

Накопитель энергии комплектуется блоком управления.

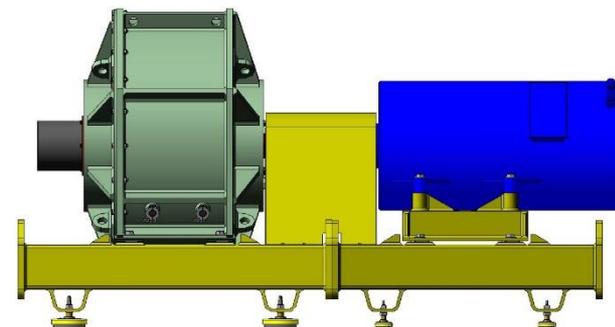
Когда возникает необходимость, мотор-генератор преобразует накопленную кинетическую энергию обратно в электрический ток и выдает в контактную сеть.



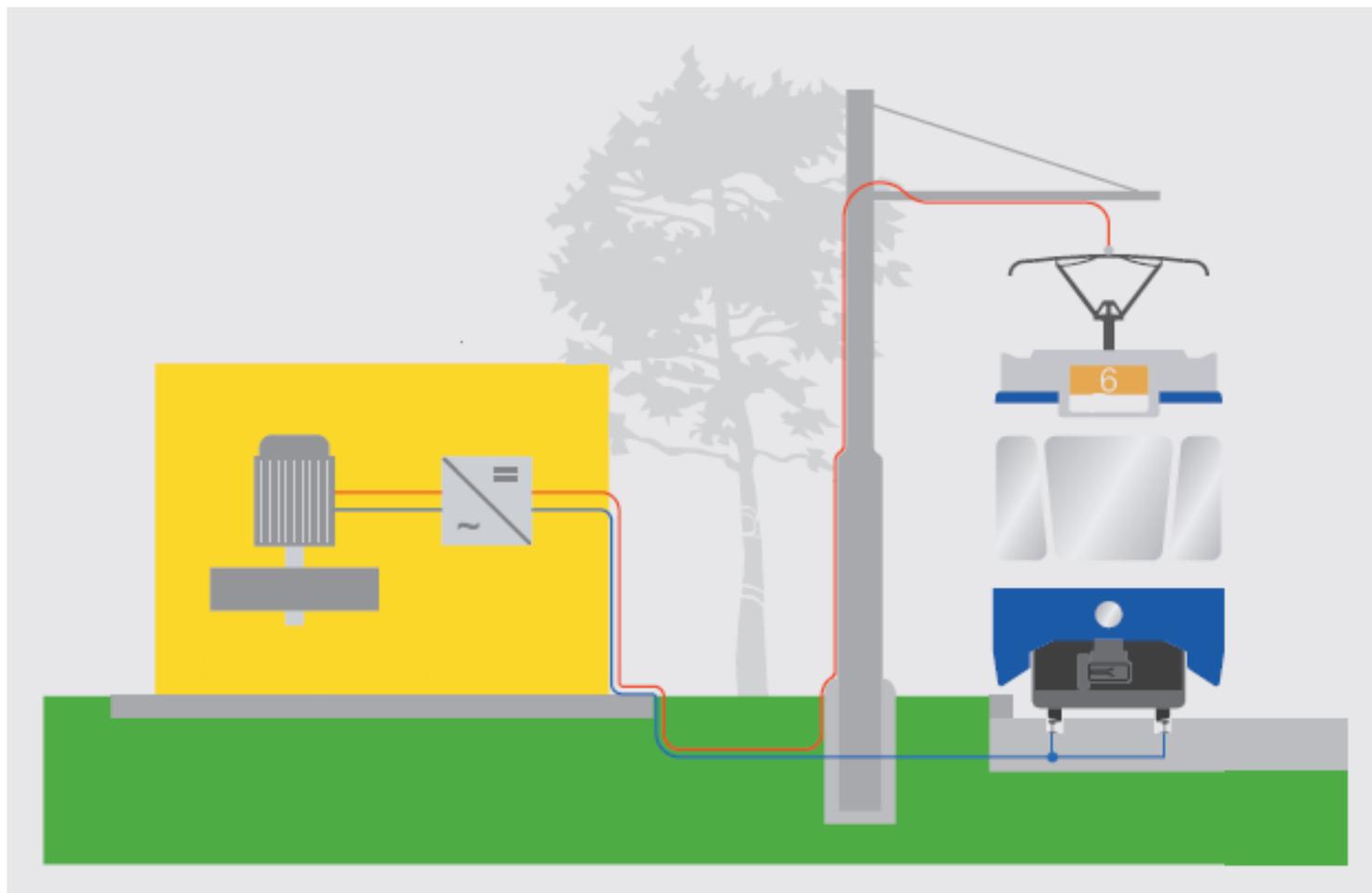
# Режим рекуперации



Стационарная система рекуперации энергии  
для электрифицированного городского  
транспорта на основе накопителя кинетической энергии



# Подключение стационарного НКЭ к контактной сети



Соединение может быть как напрямую с участком контактной сети, так и на подстанции.

## Экономический эффект НКЭ

- снижение платы энергоснабжающим организациям за потребляемую пиковую мощность
- снижение потребления электроэнергии на тягу

Повышение эксплуатационного ресурса оборудования подвижного состава и тяговых подстанций городского электротранспорта.

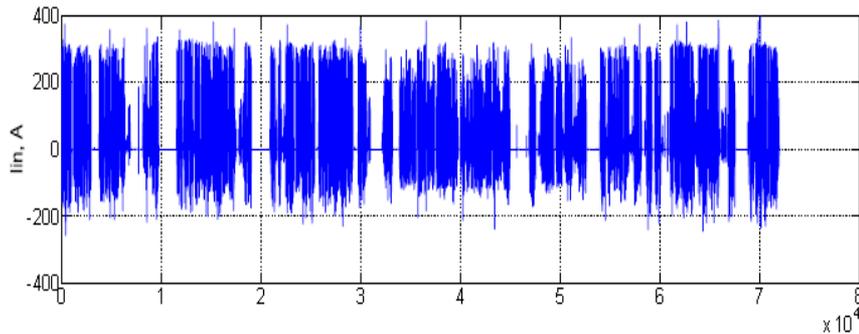
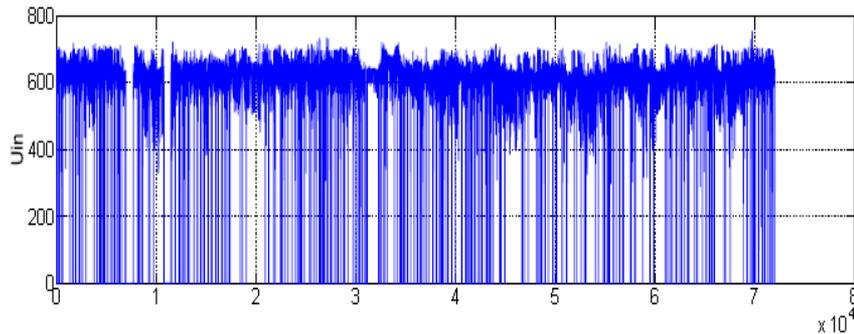
# Применение НКЭ для рекуперации энергии троллейбуса/трамвая



Марка	<b>ЗиУ-682</b>
Технические данные	
Род тока и напряжение	= 550 (400-720) В
Выходная мощность	115 кВт
Ускорение	1,3 м/с <sup>2</sup>
Масса вагона	17,985 тонн
Торможение	1,1 м/с <sup>2</sup>
Система управления	инверторная

**Сейчас рекуперируемая энергия торможения повторно в сети практически не используется. С применением НКЭ она может полностью направляться на разгон вагона.**

# Условия расчётов эффективности рекуперации



Для расчётов требуется график нагрузки в сети (на тяговой подстанции или между подстанциями).

Эффективность буферного накопления и отдачи энергии зависит от частоты циклов рекуперации транспорта.

# Расчет числа накопителей на 1 остановку

Троллейбус (1 вагон, тара) – 10750 кг.

Кол-во пассажиров (122 чел) – 9 760 кг.

Общая масса – 20 510 кг.

$A_{\text{движ.}} = m (v_{2H}^2 - v_{2K}^2) / 2 = 2,3 \text{ МДж}$

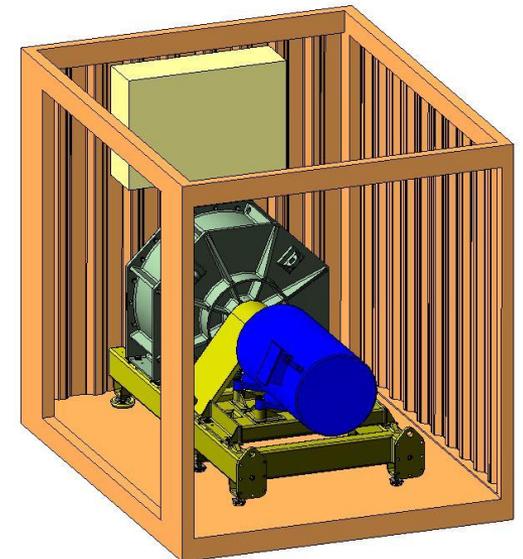
$A_{\text{сопр.}} = F * l = m g k l = 0,4 \text{ МДж}$

Полезная энергия рекуперации ~ 1,9 МДж

**Число накопителей на остановку - 1 НКЭ**  
(с расчетом на одновременное торможение  
3-4 троллейбусов)

**Накопленная энергия разгоняет вагон  
от 0 км/час до 40-45 км/час.**

$V_H = 0 \text{ м/с}$   
 $V_K = 15 \text{ м/с}$   
 $l = 500 \text{ м}$   
 $g = 9,8 \text{ м/с}^2$   
 $k = 0,002$



# Расчет экономических показателей

## на одну остановку

Выдача запасенной в НКЭ энергии для разгона 1 троллейбуса

~1,8 МДж ≈ **0,5 кВт\*час**

За 20 часов через одну остановку проходит  
~800 троллейбусов в обе стороны (из расчёта  
интервала в одну сторону 3 мин.)

Общий объем рекуперируемой  
электроэнергии в сутки, выданной на разгон  
троллейбусов: ~400 кВт\*час

Цена сэкономленной электроэнергии  
из расчета 4 рубля за 1 кВт\*час  
Составляет 1600 рублей в сутки

Общая экономия (только по  
электроэнергии) в год с одной остановки  
составляет **584 000 рублей (без учета  
торможений на светофорах и др.)**

Срок  
окупаемости  
НКЭ ~3,5 года

Срок службы  
НКЭ – 25 лет.

Если НКЭ установить на 50 остановках

Экономия за год:  
**29 200 000 рублей**

# Применения НКЭ для рекуперации энергии подвижного состава



Производитель	Татра (ЧССР)
Технические данные	
Род тока и напряжение	= 600 В
Выходная мощность	4*50 кВт
Ускорение	1,2 м/с <sup>2</sup>
Масса 1 вагона	20 тонн
Торможение	1,1 м/с <sup>2</sup>
Система управления	инверторная

**Сейчас рекуперированная энергия торможения в сети практически не используется. С применением НКЭ она может полностью направляться на разгон вагона.**

# Расчет числа накопителей на 1 остановку

Трамвай (1 вагон, тара) – 20 000 кг.

+

Кол-во пассажиров (100 чел) – 7 500 кг.

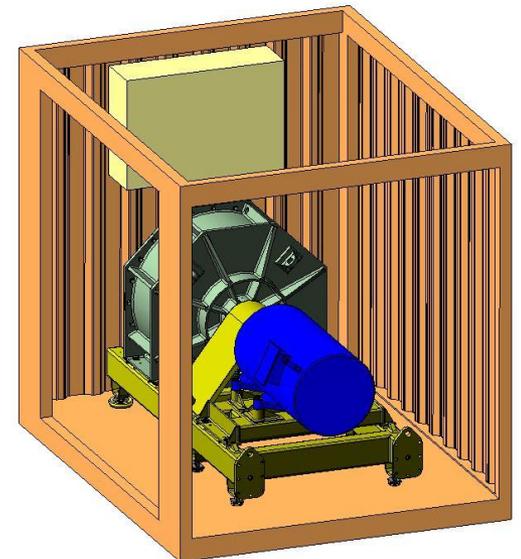
||

Общая масса – 27 500 кг.

$$A_{\text{движ.}} = m (v_{\text{н}}^2 - v_{\text{к}}^2) / 2 = 1,7 \text{ МДж}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{н}} &= 0 \text{ м/с} \\ V_{\text{к}} &= 11 \text{ м/с} \\ l &= 500 \text{ м} \\ g &= 9,8 \text{ м/с} \\ k &= 0,002 \end{aligned}$$

Общее количество накопителей - **1 НКЭ**  
(с расчетом на одновременное торможение  
3-4-х трамваев)  
Накопленная энергия разгоняет трамвай  
от 0 км/час до 40 км/час.



# Расчет экономических показателей на 1 остановку

Энергозатраты для разгона 1 трамвая  
>1,7 МДж  $\approx$  **0,46 кВт\*часов**

За 20 часов через остановку проходит 800  
трамваев в обе стороны

Общие затраты электроэнергии на разгон  
трамваев в сутки : 370 кВт\*часов

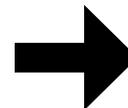
Цена потребленной электроэнергии  
из расчета 4 рубля за 1 кВт\*час  
составляет 1480 рублей в сутки

Общая экономия в год с одной остановки  
составляет **540 200 рублей (без учета  
торможений на светофорах и др.)**

Срок  
окупаемости  
НКЭ ~ 4 лет

Срок службы  
НКЭ – 25 лет

Если НКЭ установить на 50 аналогичных  
остановках

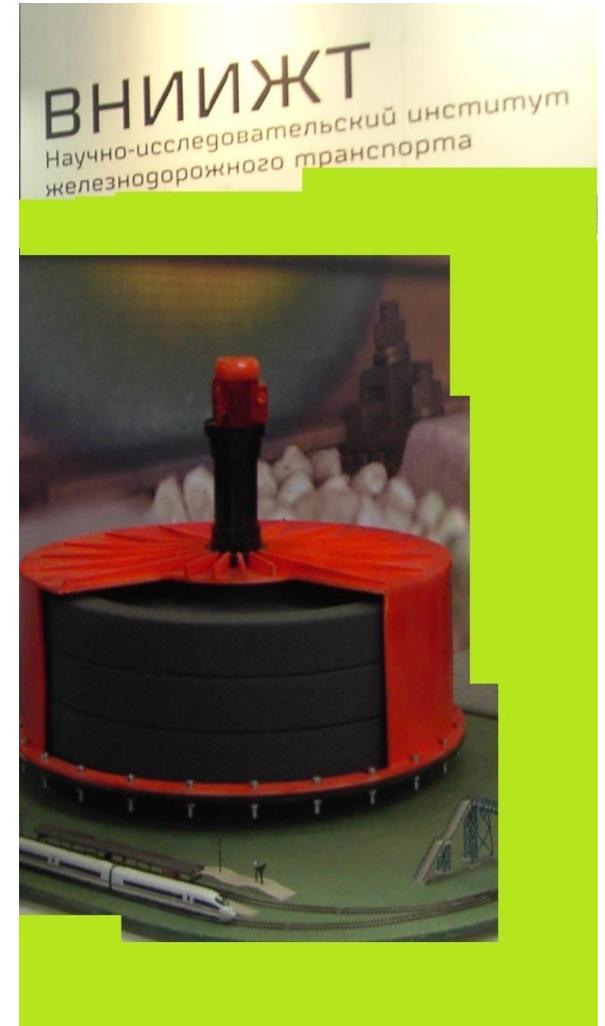
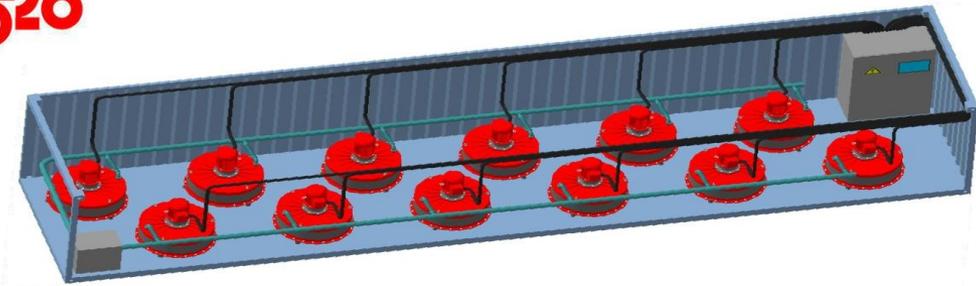


Экономия за год:  
**27 010 000 рублей**

## Снижение платы за мощность

- Горэлектротранспорт является крупным потребителем пиковой мощности.
- Энергоснабжающие организации взимают плату за потребление пиковой мощности по цене порядка 400 тыс. руб. за 1 МВт в месяц.
- Мощность одного НКЭ позволяет компенсировать пики и провалы до 250 кВт.
- Экономия по оплате за мощность с одного НКЭ в месяц составит 100 000 руб. или >1,2 млн. руб. в год.
- Суммарная экономия по электроэнергии и мощности одного НКЭ в год составит >1,7 млн. руб.
- **Срок окупаемости НКЭ составит менее 2-х лет.**

# Макет НКЭ на совместном стенде с ОАО «ВНИИЖТ» Выставка «EXPO – 1520», сентябрь 2011г.





**ЭЛЕКТРОТРАНС**

## Стенд компании на выставке «Электротранс-2014», Москва, ВВЦ



**По результатам конкурса перспективных технологий и разработок  
«Зеленый Свет» признан перспективной разработкой!**

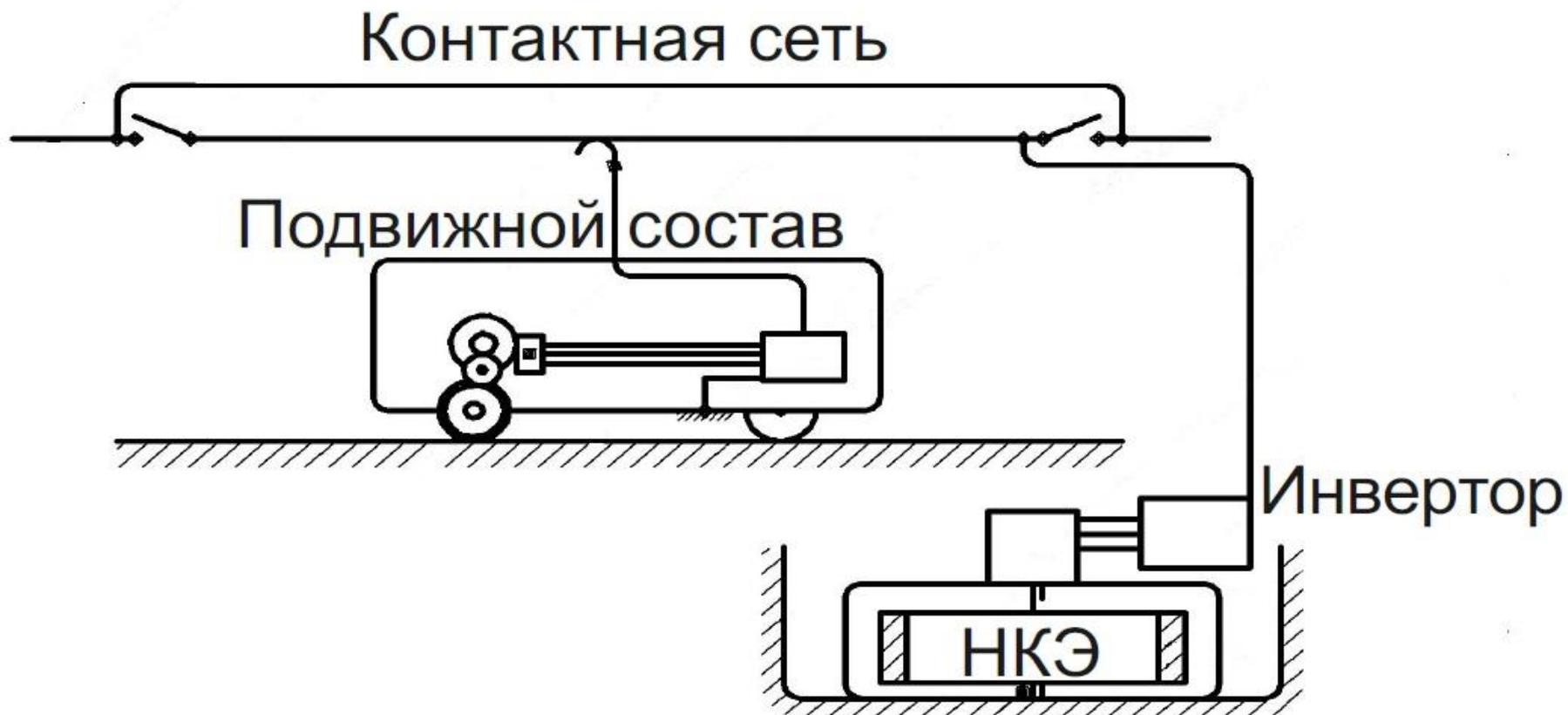
**Экспериментальные исследования  
динамического накопительного комплекса в  
режиме рекуперации энергии подвижного состава**

# Моделируемая система

Была смоделирована система энергоснабжения электроподвижного состава:  
контактная сеть + НКЭ.

**Режим движения ЭПС:**

Этап	Время этапа, с
Стоянка ЭПС (хранение энергии)	40



# Модель НКЭ-1В на стенде в ходе испытаний

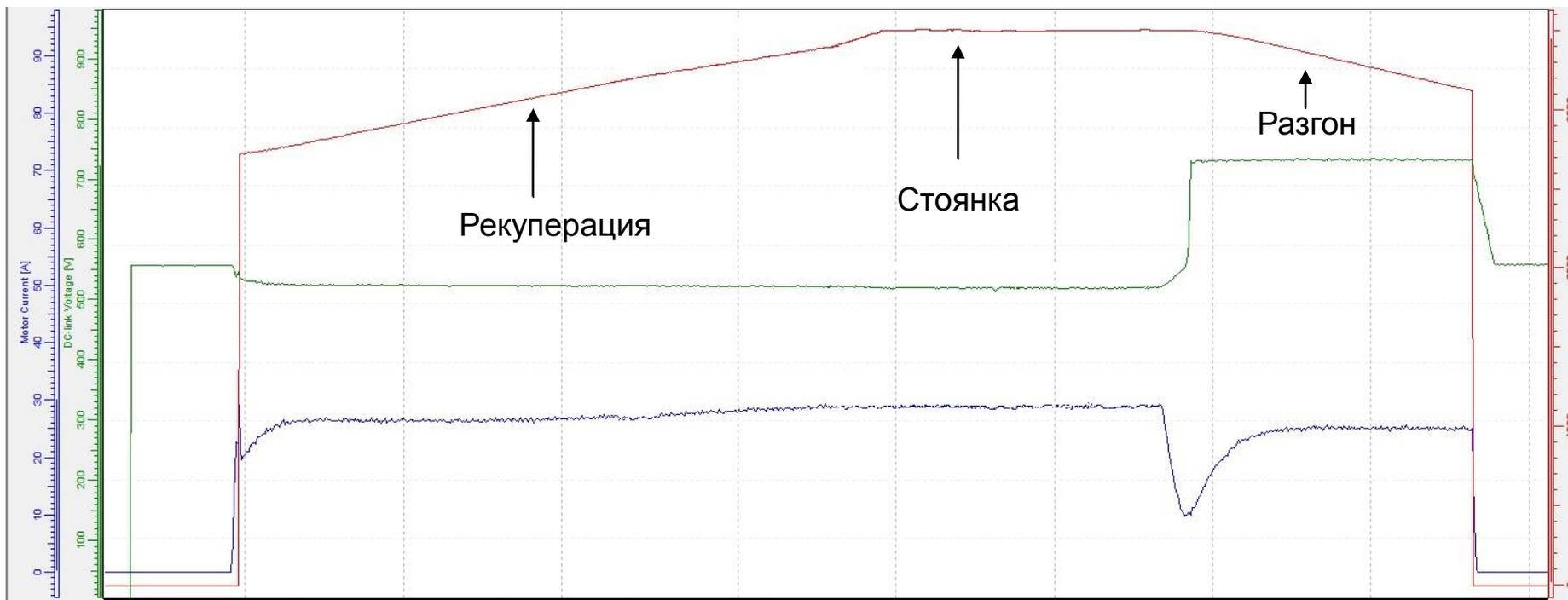


# Модель НКЭ-3Г на стенде в ходе испытаний



# Моделирование режима рекуперации

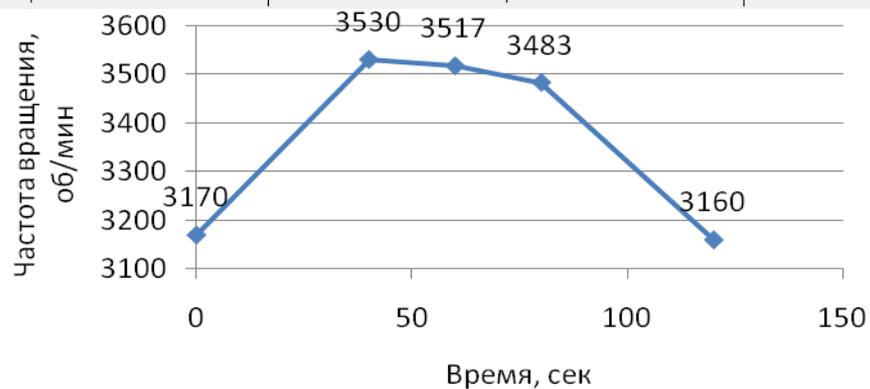
- Обороты маховика
- Ток в моторе
- Напряжение звена пост. тока



Этап

Стоянка ЭПС (хранение энергии)

40



# Выводы

1. Испытания показали успешную работу стационарного НКЭ в режиме запасания-выдачи энергии рекуперации ЭПС.
2. Экономия энергии при разгоне одного трамвая или троллейбуса составит  $\sim 0,5$  кВт\*часов. Через оживленные платформы в сутки проходит  $\sim 800$  и более вагонов.
3. Предварительный расчет показывает окупаемость НКЭ в течение  $< 2$  лет.
4. Стационарный НКЭ может работать с трамваями, с троллейбусами, метропоездами и электричками.
5. Срок службы НКЭ превышает 20 лет.
6. Для внедрения может быть реализован энергосервисный контракт.

# Выгоды от использования НКЭ

Применение стационарных маховичных накопителей позволит обеспечить:

- существенную экономию потребления энергии, затрачиваемой на разгон троллейбуса/трамвая, за счет рекуперации
- компенсацию мощности в сети
- существенное снижение бюджетных затрат на содержание предприятия городского транспорта
- стабилизацию напряжения в контактной сети
- увеличение ресурса оборудования тяговых подстанций
- снижение затрат на модернизацию действующих и строительство новых подстанций
- снижение тепловой нагрузки на окружающую среду.

**Применение НКЭ также положительно скажется на качестве работы городской энергосистемы в целом.**

## Предложение

Провести опытную эксплуатацию стационарного накопителя энергии на одном из участков движения городского троллейбуса или трамвая.

*Требуется :*

1. график нагрузки в контактной сети
2. площадка для опытной эксплуатации НКЭ.



КИНЕМАК

# Контактная информация

Компания «Кинемак»  
Генеральный директор:  
Александр Кацай  
Тел.: 8-916-248-02-44  
E-mail: [proton764@mail.ru](mailto:proton764@mail.ru)  
Web: [www.kinemak.ru](http://www.kinemak.ru)