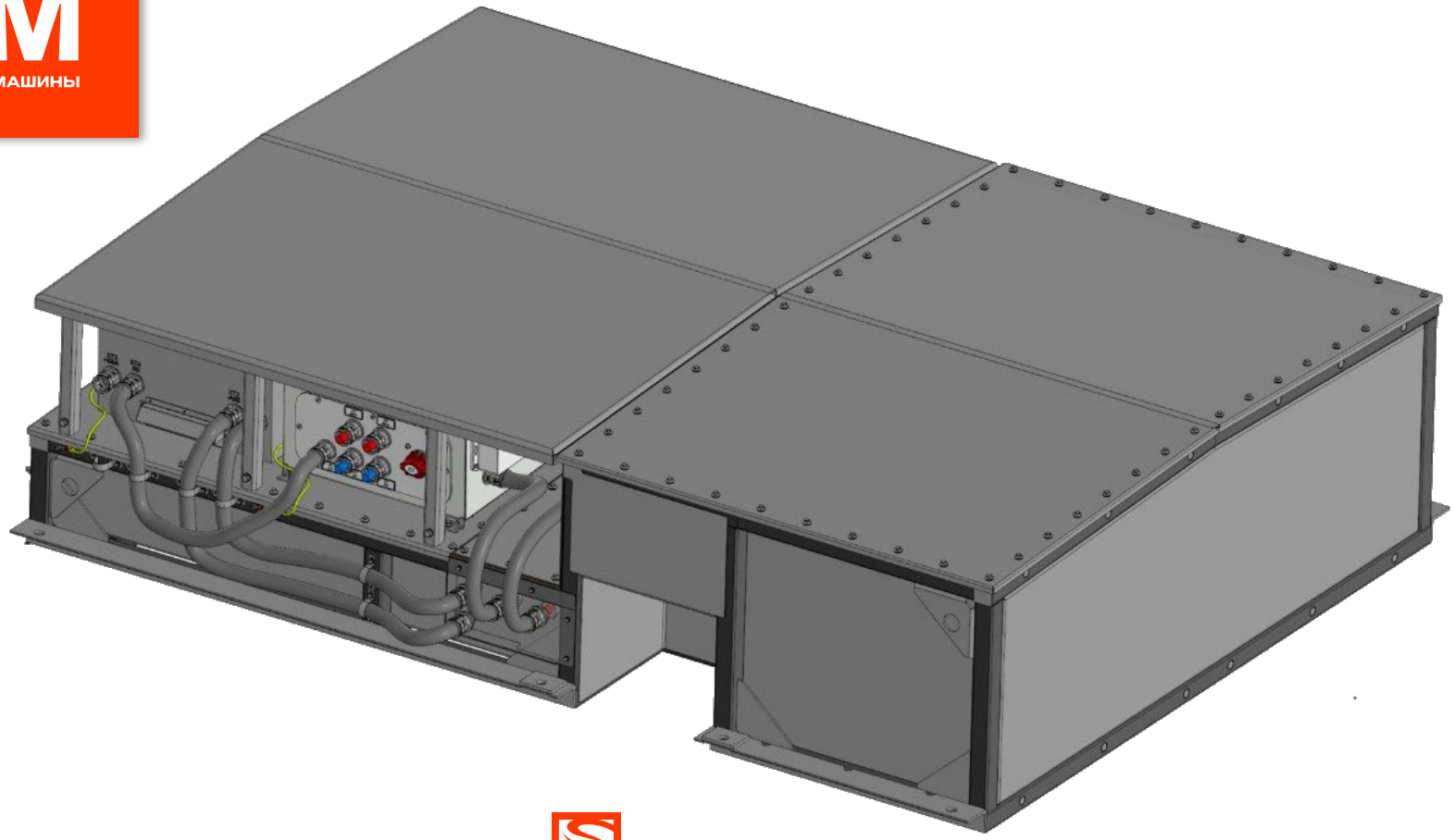
СТМ
СИНАРА ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ



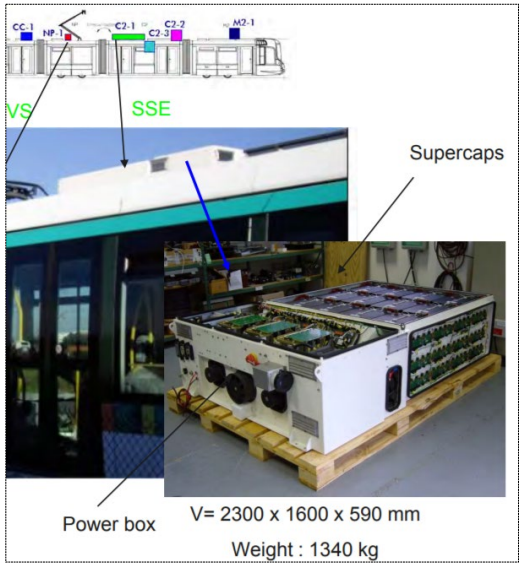
Дизайн-ревью суперконденсаторной системы накопления энергии для трамвая 71-628М

25 ноября 2021г.

Примеры реализации

Alstom

Citadis Ecopack (1.62 кВтч)



CAF

EvoDRIVE (0.8 кВтч)

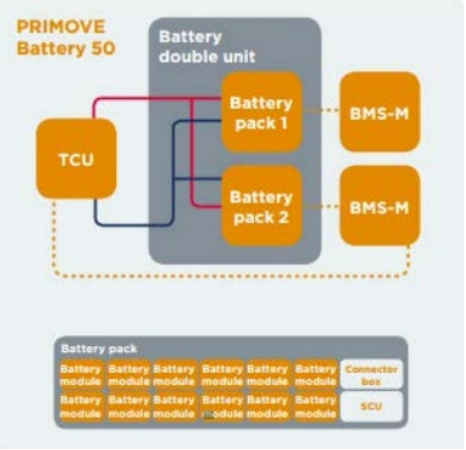
FreeDRIVE
(0.8 кВтч SC+ 18.1 Li-ion)

Bombardier

MITRAC Energy Saver (1 – 1.17 kWh)

	MITRAC Energy Saver Unit		
Application	LRV 2003	LRV 2008	DMU
Installed energy (kWh)	1	1	1,17
Max output power (kW)	300	300	100
Cooling	forced air cooling	forced air cooling	natural convection cooling
Weight (kg)	477	428	466
Dimensions (mm)	1900x950x455	1700x680x450 (partly 550)	1800x1500x250
Typical application	2 Boxes for 30m LRV 2 kWh, 600 kW	2 Boxes for 30m LRV 2 kWh, 600 kW	6 Boxes for 4 car DMU 7 kWh, 600 kW

PRIMOVE Battery 50 (49 kWh)



Требования технического задания

Согласно Техническому заданию ГУП «Мосгортранс» «трамвайный вагон оборудуется ионисторами (суперконденсаторами), обеспечивающими цикличное накопление электроэнергии при рекуперативном торможении и её расходование на тягу при движении»

«Бортовая суперконденсаторная система рекуперации энергии трамвая (далее ССРЭТ) предназначена для накопления энергии торможения в суперконденсаторном накопителе (далее СН) и ее последующего использования в процессе акселерации (при разгоне), а также для снижения потребляемой импульсной мощности от тяговых подстанций с одновременной стабилизацией параметров контактной сети. ССРЭТ устанавливается на борту трамвая».

Кроме этого, должен быть обеспечен автономный ход (движение с опущенным токоприемником) длиной не менее 1 000 (со скоростью не менее 15 км/ч с номинальной загрузкой и обеспечением возможности прохождения криволинейных участков пути с радиусом 20 метров) в условиях маршрутной сети города Москвы

© Синара-Транспортные Машины 2021

Исходные данные для расчета накопителя

Параметры контактной сети

Параметр	Значение
Максимальное напряжение контактной сети, В	1000
Номинальное напряжение контактной сети, В	550
Минимальное напряжение контактной сети, В	400
Максимальный ток, потребляемый трамвайным вагоном из контактной сети (во всем диапазоне рабочих напряжений) при использовании суперконденсаторного накопителя энергии, А	444

Характеристики трамвайного вагона

Параметр	Значение
Масса вагона при номинальной нагрузке, т	31,5
Рабочая скорость движения, км/ч	40
Максимальная скорость движения, км/ч	75
Максимальное значение ускорения, м/с^2	1,4
Время разгона при номинальной нагрузке и номинальном напряжении контактной сети, при движении на прямолинейном горизонтальном участке пути с уклонами не более ±0,3 % по сухим чистым рельсам до 40 км/ч, с	10,5
Уклон (не более), %	±0,3
Тормозной путь вагона* при номинальной загрузке, м	60

Параметры электропривода трамвайного вагона

Параметр	Значение
Количество электродвигателей, шт.	4
Мощность тяговых электродвигателей вагона (4*62кВт), кВт	248
КПД тягового преобразователя в режиме тяги, %	98
КПД тягового преобразователя в режиме рекуперации, %	98
КПД тяговых электродвигателей, %	92,5

Мощность потребления собственных нужд трамвайного вагона

Электрооборудование		Мощность, кВт	Кол-во, шт.
Кондиционер		18	1
Потребители преобразователя собственных нужд (ПСН)		18	1
Тепловая завеса	дежурный режим (67% общего времени работы)	1,3	6
	основной режим (33% общего времени работы)	3,5	
Калорифер	при напряжении питания 550 В	2	11
	при напряжении питания 400 В	1,5	

Средняя суммарная мощность потребления собственных нужд трамвайного вагона в зависимости от времени года

Время года		Мощность, кВт
Летний период		36
Зимний период	при напряжении питания 550 В	52,2
	при напряжении питания 400 В	46,7

© Синара-Транспортные Машины 2021

Параметры участка автономного хода

В режиме автономного хода (движение с опущенным токоприемником) трамвайный вагон должен преодолеть участок пути длиной не менее 1000 м (со скоростью не менее 15 км/ч с номинальной загрузкой и обеспечением возможности прохождения криволинейных участков пути с радиусом 20 метров суммарной протяженностью 100 м, в том числе движение в горку с уклоном 60 ‰ суммарной протяженностью 250 м) в условиях маршрутной сети города Москвы. При движении на автономном ходу СНЭ также обеспечивает питание собственных нужд трамвайного вагона в полном объеме.

1) Движение по прямой со скоростью 15 км/ч, уклон 3 ‰;
2) Движение по прямой со скоростью 15 км/ч, уклон 60 ‰;
3) Движение в кривой радиусом 20м со скоростью 15 км/ч, уклон 3 ‰.

Расчет емкости суперконденсаторного накопителя для обеспечения разгона

Путь преодолеваемый при разгоне, м: $Sразг40 := \frac{a40 \cdot t40^2}{2} = 58.333$

Перепад высот при разгоне (на участке с уклоном 0,9%), м: $H40 := \frac{iукл \cdot Sразг40}{1000} = 0.175$

Энергия на преодоление уклона, Дж: $Eп40Дж := M \cdot 9.81 \cdot H40 = 5.219 \times 10^4$

Кинетическая энергия, затрачиваемая на разгон вагона до скорости 40 км/ч, Дж: $Ek40Дж := \frac{M \cdot V40^2}{2} = 1.877 \times 10^6$

Основное удельное сопротивление движению вагона при разгоне до 40 км/ч, Н/кН: $w40 := 2.5 + 0.011 \cdot V40 + 0.003 \cdot V40^2 = 2.993$

Энергия, затрачиваемая на сопротивление движению при разгоне до 40 км/ч, Дж: $E40Дж := \frac{w40 \cdot M \cdot 9.81 \cdot Sразг40}{1000} = 5.206 \times 10^4$

Энергия, затрачиваемая на разгон вагона до скорости 40 км/ч с учетом КПД, Дж: $Eразг40Дж := \frac{Ek40Дж + Eп40Дж + E40Дж}{\eta td \cdot \eta tpt} = 2.297 \times 10$

© Синара-Транспортные Машины 2021

Испытания на энергоэффективность

При проведении испытаний были выбраны 2 тестовых участка:

1. Участок 1 направление 1 – 354 метров.
2. Участок 1 направление 2 – 347 метров.
3. Участок 2 направление 1 – 337 метров.
4. Участок 2 направление 2 – 361 метров.

По итогам проезда тестовых участков были рассчитаны значения удельного потребления на тягу:

1. 44 Вт·ч/т·км при средней скорости прохождения участка 26 км/ч.
2. 32 Вт·ч/т·км при средней скорости прохождения участка 24,98 км/ч.
3. 52 Вт·ч/т·км при средней скорости прохождения участка 24,75 км/ч.
4. 32 Вт·ч/т·км при средней скорости прохождения участка 25,48 км/ч.

Среднее потребления на тягу составило 40 Вт·ч/т·км при условно-расчетной скорости сообщения 25,3 км/ч,

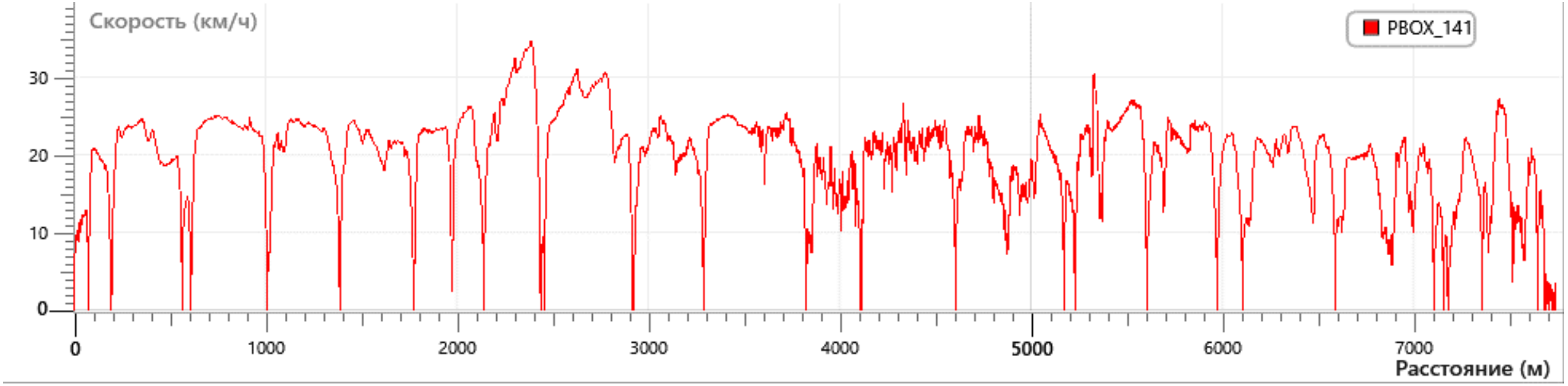
что составляет 62% от требуемого в ТЗ норматива (не более 65 Вт·ч/т·км).

© Синара-Транспортные Машины 2021

Испытания режима автономного хода

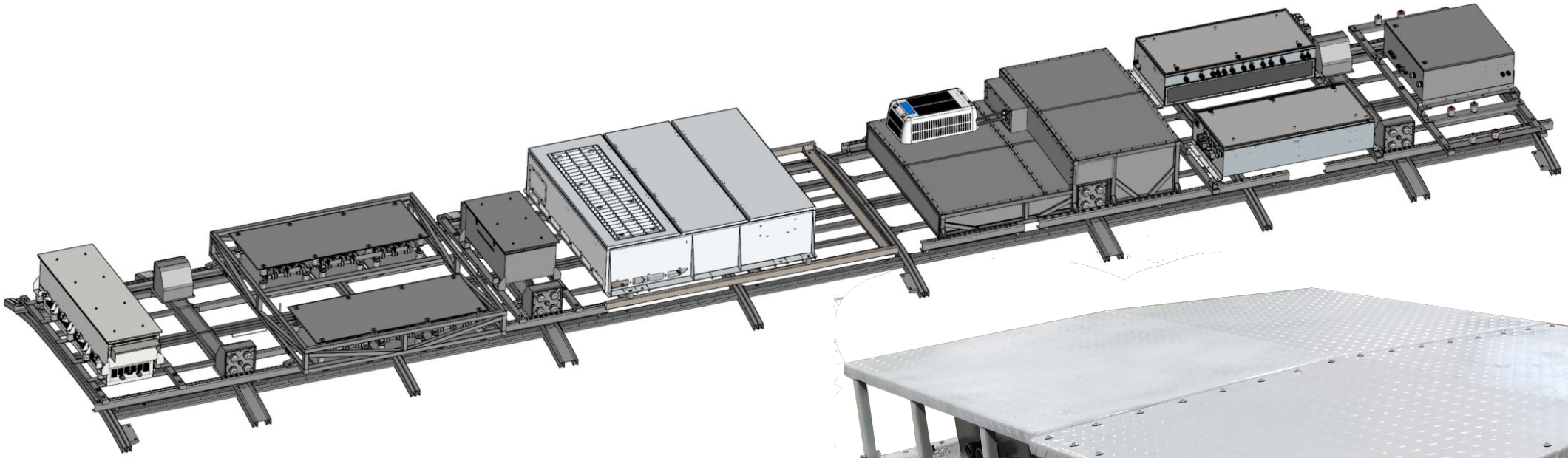
НИИ ГЭТ были проведены испытание на дальность автономного хода на вагоне с номинальной нагрузкой:

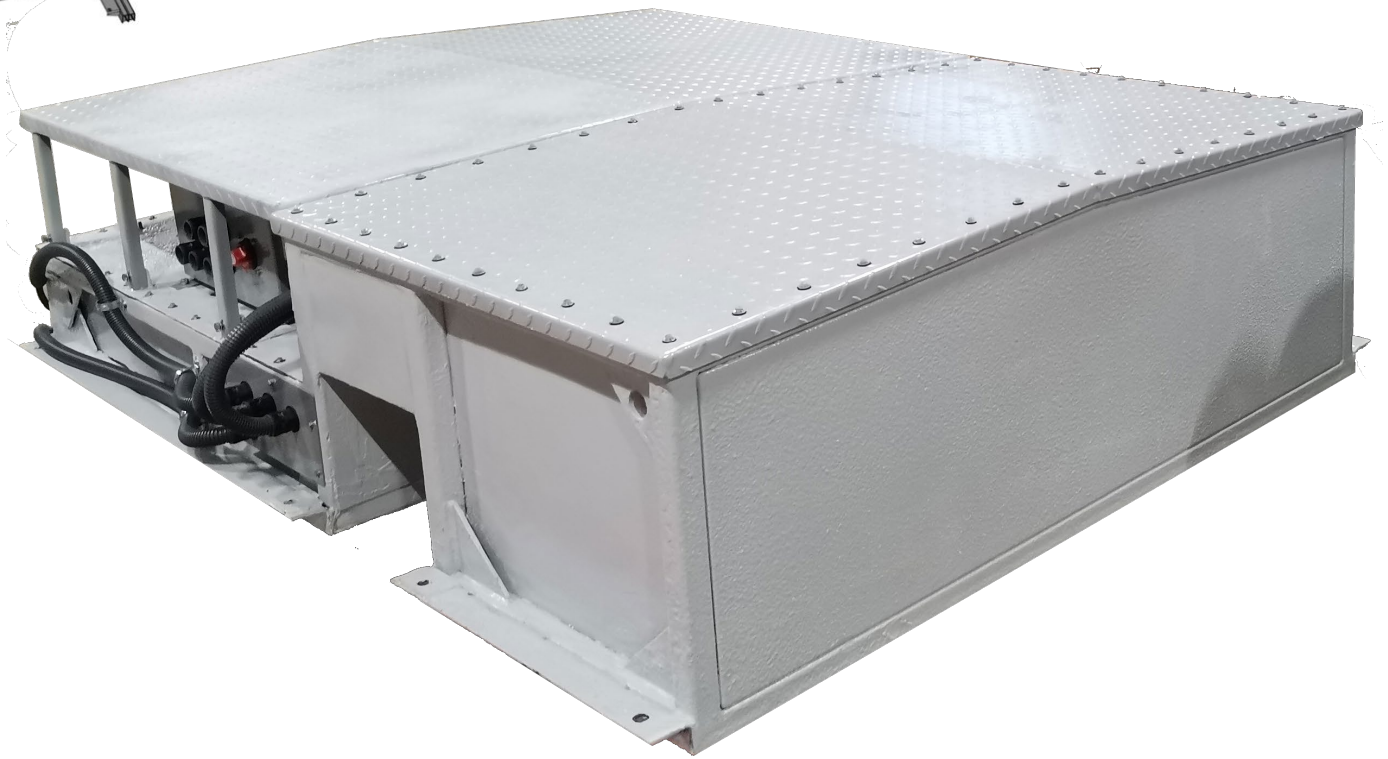
- пройден путь 7745м;
- средняя скорость движения вагона 13,2км/ч.



Электрооборудование в режиме автономного хода функционировало в штатном режиме, без замечаний, в том числе система обогрева салона мощностью 22 кВт.

Компоновка накрышного оборудования трамвая 71-628М





© Синара-Транспортные Машины 2021