



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.355

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИОНИСТОРНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ВАГОНА МЕТРОПОЛИТЕНА, РАБОТАЮЩЕГО С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Сорокин Ф.А.

ФГБОУ ВО "ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I", Санкт-Петербург, Россия (190031, г. Санкт-Петербург, пр-кт Московский, Д.9), e-mail: filippovna1965@mail.ru

В данной работе предложены основные зависимости для расчета массогабаритных и энергетических характеристик ионисторного накопителя энергии, работающего с электрическим приводом переменного тока. Далее был произведен расчет для 8-ми вагонного поезда метро с приводом переменного тока, под общим коммерческим названием «Москва».

Актуальность этой работы заключается в том, что на данный момент отсутствуют решения расчета массогабаритных и энергетических характеристик ионисторного накопителя энергии, работающего с электрическим приводом переменного тока электропоезда метро.

Ключевые слова: Экономичный Тяговый преобразователь, емкостной накопитель энергии, ионистор, вагон метрополитена, энергия рекуперации, батарея.

DETERMINATION OF THE MAIN PARAMETERS OF THE IONISTOR ENERGY STORAGE OF THE METRO CAR WORKING WITH THE ELECTRIC DRIVE OF THE AC

Sorokin F.A.

Petersburg State University of Communications of Emperor Alexander I, St. Petersburg, Russia (190031, Saint-Petersburg, Moskovsky Ave., 9), e-mail: filippovna1965@mail.ru

In this paper, the main dependences for calculating the weight, size and energy characteristics of an ionistor energy storage device operating with an AC electric drive are proposed. Next, a calculation was made for an 8-car metro train with an AC drive, under the general commercial name "Moscow".

The relevance of this work lies in the fact that at the moment there are no solutions for calculating the weight, size and energy characteristics of an ionistor energy storage device operating with an electric AC drive of a metro electric train.

Keywords: Economical traction converter, capacitive energy storage, ionistor, subway car, energy recovery, battery.

1. Определение величины энергии рекуперативного торможения и потребной емкости ионисторного накопителя для электропоезда метро

В соответствии с [1], расчетным режимом движения для вагонов метрополитена является движение на прямом, горизонтальном участке пути с сухими рельсами при нормальном

напряжении в контактной сети и полезной нагрузки на расчетном перегоне длиной 1700 м. Для расчетов принимаются основные параметры для 8-ми вагонного поезда метро серии 81-765, 766 и 767 под общим коммерческим названием «Москва».

Для данного перегона энергия рекуперации поезда A_p , кВт · ч, составит:

$$A_p = 36,389 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Так как в данной работе ведется разработка накопителя для одного моторного вагона, то далее определяется энергия рекуперации, приходящаяся на один моторный вагон A_{p1} , кВт · ч, определяется по выражению (2):

$$A_{p1} = \frac{A_p}{(n_{\text{гл}} + n_{\text{мот}})}, \quad (2)$$

где $n_{\text{гл}}$ и $n_{\text{мот}}$ - количество головных моторных и прицепных моторных вагонов соответственно, шт.

$$A_{p1} = \frac{36,389}{(2 + 4)} = 6,035 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Выражение для определения емкости ионисторного накопителя для одного моторного вагона $C_{\text{ен}}$, Ф, по выражению (3):

$$C_{\text{ен}} = \frac{2 \cdot A_{p1}}{(U_{\text{ен max}}^2 - U_{\text{ен min}}^2)}. \quad (3)$$

где $U_{\text{ен max}}$ и $U_{\text{ен min}}$ – максимальное и минимальное соответственно напряжение ионисторного накопителя энергии.

Предварительно принимая $U_{\text{ен max}} = 1000 \text{ В}$ и $U_{\text{ен min}} = 500 \text{ В}$:

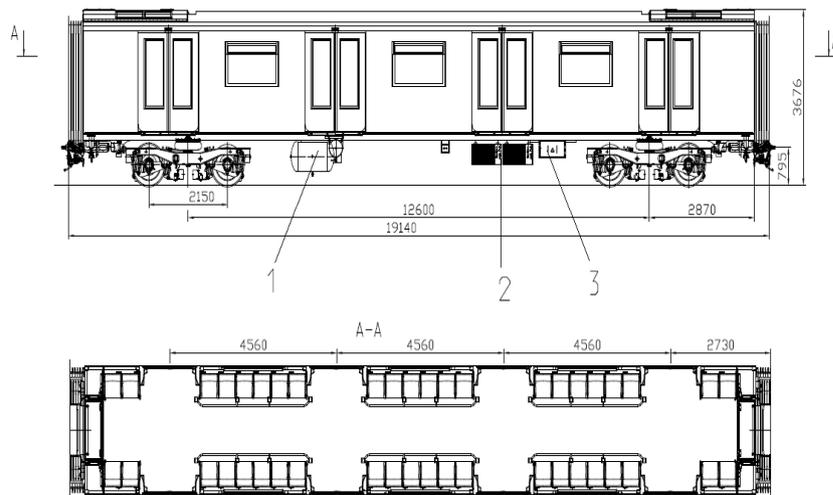
$$C_{\text{ен}} = \frac{2 \cdot 6,035 \cdot 1000 \cdot 3600}{(1000^2 - 500^2)} = 58,2 \text{ Ф}.$$

Таким образом, емкость накопителя составляет $C_{\text{ен}} = 58,2 \text{ Ф}$. В следующем пункте предлагается произвести расчеты основных параметров ионисторного накопителя.

2. Определение габаритов и основных параметров ионисторного накопителя энергии

В виду отсутствия свободного места непосредственно на моторных вагонах модели 81-765 и 81-766, предлагается установка на свободное пространство между тележками под прицепным вагоном модели 81-767 (Рисунок 1).

При определении величины свободной площади под прицепным вагоном необходимо учитывать площади, занимаемые вспомогательным оборудованием (преобразователь кондиционера салона, воздушные резервуары и распределитель) [2].



1 – воздушные резервуары, 2 - преобразователь кондиционера салона и 3 – блок распределителей.

Рисунок 1 – Общий вид вагона модели 81-767

Источник: РЭ вагонов модели 81-765, 81-766 и 81-767

С учетом вышесказанного свободная площадь $S_{ен}$, которая может быть использована для монтажа ящиков с ионисторами, определяется по выражению (4), м²:

$$S_{ен} = S_{мп} - S_{вр} - S_{пк} - S_{бр}, \quad (4)$$

где $S_{мп}$ – площадь межтележного пространства, м²;

$S_{вр}$ – площадь, воздушными резервуарами, м²;

$S_{пк}$ – площадь, занимаемая ящиком с преобразователем кондиционеров салона, м²;

$S_{бр}$ – площадь, занимаемая ящиком с блоком распределителей, м².

Для прицепного вагона модели 81-767 $S_{ен} \approx 20,5$ м², при этом максимальная длина накопителя $L_{ен max} \approx 7,6$ м и максимальная ширина накопителя $B_{ен max} \approx 2,7$ м.

Для сборки ионисторной батареи был выбран накопитель НСКБ-83-102 (рисунок 2). Его основные параметры представлены в Таблице 1.



Рисунок 2 – Общий вид накопителя суперконденсаторного НСКБ-83-1023

Источник: РЭ накопителя суперконденсаторного НСКБ-83-1023

Таблица 1 – Характеристики суперконденсаторного накопителя НСКБ-83-102

Диапазон рабочих напряжений, В	102-51
Максимальное напряжение, В	102
Минимальное напряжение, В	51
Емкость, Ф	83
Внутренне сопротивление, мОм	11 мОм
Рабочий диапазон температур, °С	-40...+65
Рабочий ресурс, циклы заряд-разряд	1000000
Максимальный постоянный ток (15/10°С), А	128/208
Габариты, мм	
Высота	177
Длина	484
Ширина	548
Масса, кг	32

Источник: РЭ накопителя суперконденсаторного НСКБ-83-1023

Далее определяется схема соединения ионисторных накопителей энергии.

В соответствии с [3] максимальное напряжение в звене постоянного тока инвертора будет достигаться в режиме электрического торможения и будет составлять 940 В. Далее определяется количество последовательно соединённых накопителей $N_{ен\text{ пс}}$ батареи, шт., по выражению (5):

$$N_{ен\text{ пс}} = \frac{U_{d\text{ max}}}{U_{н}} = \frac{940}{102} \approx 10 \text{ шт.} \quad (5)$$

При этом емкость группы из 10 последовательно соединённых ионисторных накопителей $C_{ен\text{ пс}}$, Ф, составит по выражению (6):

$$C_{ен\text{ пс}} = \frac{C_{ен\text{ 1}}}{N_{ен\text{ пс}}} = \frac{83}{10} = 8,3 \text{ Ф.} \quad (6)$$

В таком случае, сопротивление группы из 10 последовательно соединённых ионисторных накопителей $R_{ен\text{ пс}}$, мОм, по выражению (7) составит:

$$R_{ен\text{ пс}} = N_{ен\text{ пс}} \cdot R_{ен\text{ 1}} = 10 \cdot 11 = 110 \text{ мОм.} \quad (7)$$

Далее определяется количество параллельных групп накопителей $N_{ен\text{ пр}}$ из условия набора емкости в 58,2 Ф, по выражению (8):

$$N_{ен\text{ пр}} = \frac{C_{ен}}{C_{ен\text{ пс}}} = \frac{58,2}{8,3} \approx 7 \text{ шт.} \quad (8)$$

Также нужно провести проверку на максимальный длительный ток батареи, А, по выражению (9):

$$I_{ен\text{ 1}} \cdot N_{ен\text{ пр}} \geq I_{d\text{ max}}; \text{ А,} \quad (9)$$

$$170 \cdot 7 \geq 1102, \text{ А}$$

$$1190 \geq 1102, \text{ А} - \text{условие выполняется.}$$

Определяется фактическая емкость накопителя $C_{ен\text{ пс}}$, Ф, определяется по выражению (10):

$$C_{ен\text{ пс}} = C_{ен\text{ пс}} \cdot N_{ен\text{ пр}} = 8,3 \cdot 7 = 58,1 \text{ Ф.} \quad (10)$$

Таким образом, для обеспечения общей емкости ионисторной батареи, в 58,1 Ф, предлагается соединение 7 параллельных групп накопителей по 10 штук в каждой.

В таком случае, сопротивление ионисторной батареи $R_{ен\text{ пс}}$, мОм, по выражению (11), составит:

$$R_{ен\text{ пс}} = \frac{R_{ен\text{ пс}}}{N_{ен\text{ пр}}} = \frac{110}{7} = 15,71 \text{ мОм.} \quad (11)$$

Так как аккумуляторы каждого моторного вагона будут располагаться на прицепных вагонах, а для 8-ми вагонного состава их число составляет 2 шт, поэтому на каждом из двух прицепных вагонов будет располагаться батарея, состоящая из 3 аккумуляторов.

В соответствии с этим, общее количество накопителей для одного прицепного вагона $N_{ен\text{ 1в}}$, шт, по формуле (12) составит:

$$N_{ен\text{ 1в}} = N_{ен\text{ пс}} \cdot N_{ен\text{ пр}} \cdot 3 = 10 \cdot 7 \cdot 3 = 210 \text{ шт.} \quad (12)$$

Тогда, масса батареи одного прицепного вагона $m_{ен\text{ 1в}}$, кг, по выражению (13), составит:

$$m_{ен\text{ 1в}} = N_{ен\text{ 1в}} \cdot m_{ен\text{ 1}} \cdot 3 = 70 \cdot 32 \cdot 3 = 6720 \text{ кг.} \quad (13)$$

Для наибольшей энергоемкости на единицу площади предлагается располагать каждый накопитель лицевой панелью вверх, ориентируя сторону корпуса накопителя длиной 548 мм в сторону тележек вагона.

Далее определяется максимальное количество последовательно сориентированных накопителей по условиям ширины подвагонного пространства $N_{ен\text{ пс}}$, шт, по выражению (14):

$$N_{ен\text{ пс}} = \frac{L_{ен\text{ max}}}{L_{ен\text{ 1}}} = \frac{7648}{484} \approx 15 \text{ шт.} \quad (14)$$

Затем определяются необходимое количество параллельно сориентированных накопителей $N_{ен\text{ пр}}$, шт, по выражению (15):

$$N_{ен\text{ пр}} = \frac{N_{ен\text{ 1в}}}{N_{ен\text{ пс}}} = \frac{210}{15} = 14 \text{ шт.} \quad (15)$$

В таком случае, ширина батареи $B_{ен}$, мм, определяется выражением (16):

$$B_{ен} = B_{ен\text{ 1}} \cdot N_{ен\text{ пр}} = 177 \cdot 14 = 2478 \text{ мм.} \quad (16)$$

В таком случае, длина батареи $L_{ен}$, мм, определяется выражением (17):

$$L_{ен} = L_{ен\text{ 1}} \cdot N_{ен\text{ пс}} = 484 \cdot 15 = 7260 \text{ мм.} \quad (17)$$

Высота батареи $H_{ен}$, мм, определяется выражением (18):

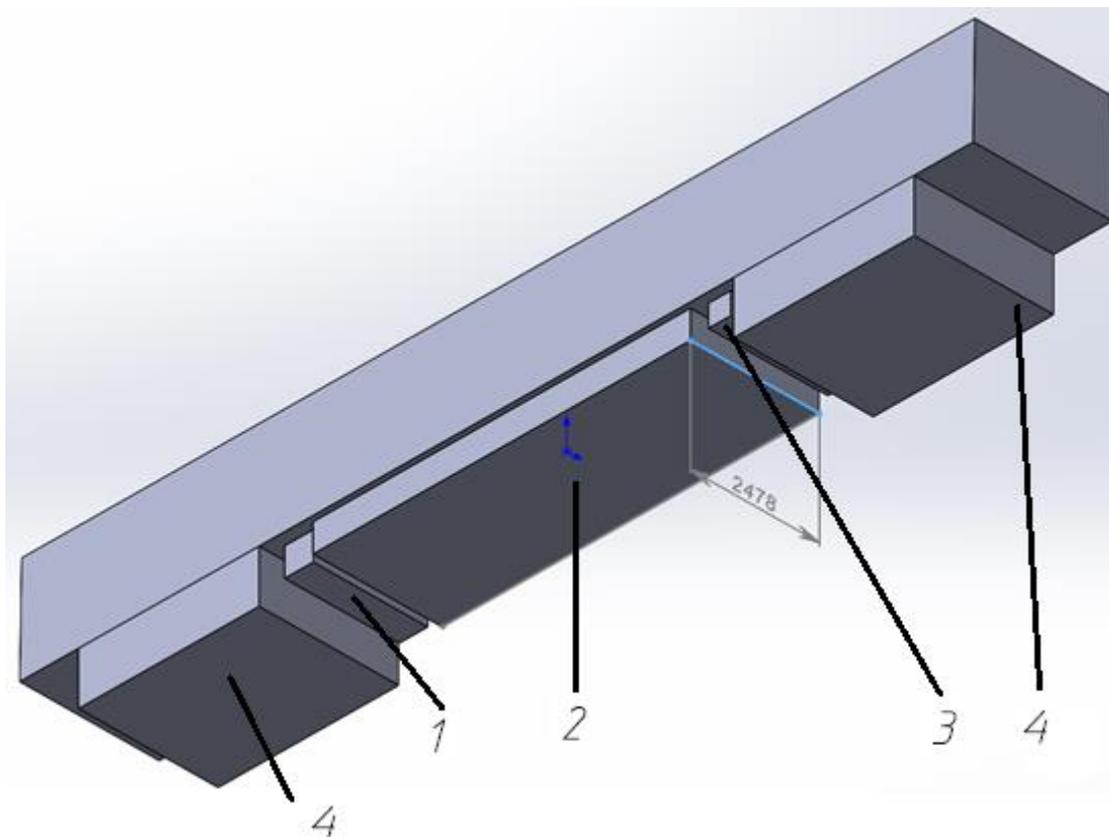
$$H_{ен} = H_{ен\text{ 1}} = 548 \text{ мм.} \quad (18)$$

Все рассчитанные параметры были сведены в таблицу 2. Также вариант расположения ионисторного накопителя в подвагонном пространстве вагона модели 81-767 представлен на Рисунке 3.

Таблица 2 – Характеристики суперконденсаторной батареи

Диапазон рабочих напряжений, В	1020-510
Максимальное напряжение, В	1020
Минимальное напряжение, В	510
Количество вагонов, запутываемых от батареи, вагонов	3
Емкость, Ф	$58,1 \cdot 3$
Внутренне сопротивление, мОм	15,7 мОм
Рабочий диапазон температур, °С	-40...+65
Рабочий ресурс, циклы заряд-разряд	1000000
Максимальный постоянный ток (15/10°С), А	896/1456
Габариты, мм:	
Высота	548
Длина	7260
Ширина	2478
Масса, кг	6720

Источник: Выше представленные расчеты



1 - воздушные резервуары, 2-ионисторная батарея, 3 - преобразователь кондиционера салона и 4 - тележки.

Рисунок 3 – Общий вид ионисторной батареи с указанием ширины батареи

Источник: Авторский материал

Список литературы

1. ГОСТ Р 50850 – 96 Вагоны метрополитена. Общие технические требования.
2. Васильев, В.А. Повышение энергетической эффективности электропоездов постоянного тока [Рукопись]: дис.канд. техн наук: 05.22.07: защищена 06.03.12 / Васильев Виталий Алексеевич. – Санкт-Петербург, 2012. – 125 с.
3. Комплект электрооборудования асинхронного тягового привода вагонов метрополитена КАТП-3. Руководство по эксплуатации. – М.: ОАО «Метровагонмаш». 2016. – 236 с.

References

1. GOST R 50850 – 96 Subway cars. General technical requirements.
 2. Vasiliev, V.A. Improving the energy efficiency of DC electric trains [Manuscript]: dis.Candidate of Technical Sciences: 05.22.07: protected 06.03.12 / Vasiliev Vitaly Alekseevich. – St. Petersburg, 2012. – p.125
 3. A set of electrical equipment for asynchronous traction drive of subway cars КАТП-3. Operating manual. – М.: JSC "Metrovagonmash". 2016. – p.236
-