

Рис. 2. Схема внутренних сил в  $i$ -х точках вращающегося маховика

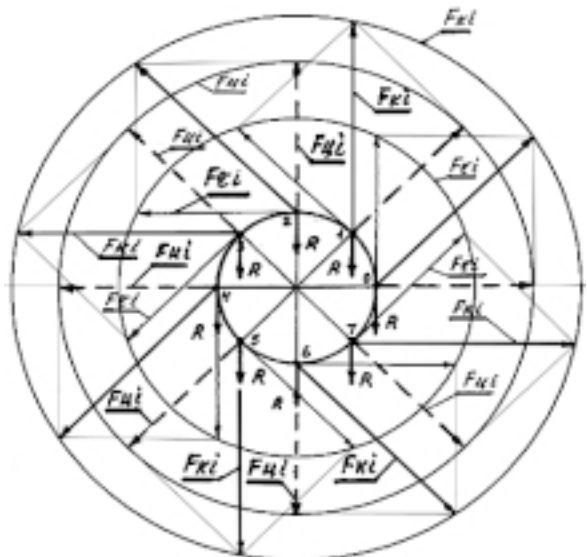


Рис. 3. Действующие внутренние силы в момент освобождения конца оси от опоры ( $t_n = 0$ )

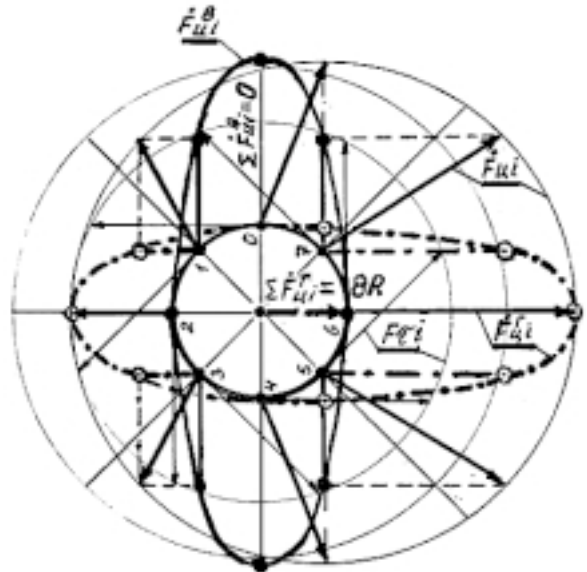


Рис. 4. Направление действия вектора самодвижения при  $t_n = t_\phi$

Вследствие их взаимодействия направление действия и величина центробежной силы изменяются так, что результирующий вектор самодвижения переместил бы маховик вниз, если бы он не вращался, но при определенной скорости вращения маховика, когда время переноса элементов строения тела маховика не менее чем на  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ) становится соизмеримым с временем формирования вектора самодвижения ( $t_\phi \approx T_{\text{ц}}$ ), в каждой  $i$ -й точке изменяется по ходу вращения маховика направление действующих внутренних центробежных сил  $F_{ei}$ , суммарная горизонтальная составляющая которых (равная  $8R$ ) создает момент прецессии в горизонтальном направлении, а суммарная вертикальная составляющая равна нулю и маховик (гироскоп) не падает вниз.

В ходе экспериментальных исследований удалось открыть еще одно существенное, ранее никому не известное, сопутствующее вращательному движению, явление – вращающийся маховик перестал противодействовать перемещению в пространстве в плоскости его вращения. Налицо нарушение третьего закона Ньютона. Оказалось, что действие не равно противодействию, так как вращающееся тело потеряло инерционные свойства.

При проведении эксперимента гироскоп, с вертикально расположенной осью вращения, общей массой – 250 г, массой маховика – 150 г и массой невращающихся конструктивных элементов – 100 г, был установлен на одном конце упругой стальной ленты, другой конец которой жестко закреплялся в массивной опоре (см. рис. 4).

После отклонения гироскопа с невращающимся маховиком на 6 делений шкалы, он продолжал колебаться до остановки в течение 32 сек (57 колебаний). Гироскоп с вращающимся маховиком после такого же отклонения продолжал колебаться в течение 82 сек (143 колебания).

Обработка результатов эксперимента показывает, что колебания гироскопа с вращающимся маховиком затухают примерно в 2,5 раза медленнее, чем колебания гироскопа с невращающимся маховиком. Исходя из этого, и учитывая, что соотноше-

ние массы всего гироскопа, к массе невращающихся конструктивных элементов также равно 2,5, можно сделать вывод, что на перемещение вращающегося маховика массой в 150 г, энергия упругой стальной ленты не затрачивается.

Он перестал противодействовать приложенной к нему внешней силе, формируемой упругой стальной лентой. Сущность этого явления заключается в том, что реакция противодействия на внешнее воздействие не может сформироваться в теле вращающегося маховика, если время переноса элементов его строения  $t_n$  по ходу вращения не менее, чем на  $90^\circ - 180^\circ$ , соизмеримо со временем формирования  $t_0$  реакции противодействия  $R_{\text{ик}}$ . Это наглядно можно увидеть на графике зависимости реакции  $R_{\text{ик}}$  от соотношения времени переноса  $t_n$  к времени формирования  $t_0$  ( $t_n/t_0 = k$ ). Как видно из графика, при величине  $k = 1$ , реакция противодействия равна нулю, что и подтверждается результатами эксперимента.

Целью проведения данных исследований было желание на основе научных и прикладных возможностей ритмодинамики разобраться в сложившейся путанице представлений о сущности и природе движения.

Некоторые постулаты и математические понятия, отражающие видимую сторону процесса движения, не дают ответа на многие вопросы, связанные, например, со свободным падением тел в гравитационном поле, или с равномерным прямолинейным и вращательным движением. А тайна некоторых внешне наблюдаемых явлений, проявляющихся при взаимодействии вращающегося маховика гироскопа с гравитационным полем до сих пор не раскрыта. Все что об этом говорится, носит поверхностный характер.

Проведенные с позиции ритмодинамики исследования процессов свободного падения тела, движения тела с постоянной скоростью и вращения маховика гироскопа в гравитационном поле, позволили получить следующие важные для глубокого понимания природы движения результаты:

1. Сущность кинетического явления – движение кроется во внутреннем состоянии тела, при-

рода изменения которого определяется либо внешним, либо внутренним насильственным воздействием на параметры вибраций элементов его строения на атомарном уровне, что неизбежно приводит к изменению скорости.

2. В природе существует только скорость (движение) и, принятое для математического описания изменения скорости на траектории понятие «ускорение», физическим параметром движения не является. Ускорение – это следствие, а не причина появления и изменения скорости. Причиной появления скорости, и ее изменение может быть вызвано только внутренним или внешним силовым воздействием (силой) во времени.

3. Свободное падение тела – это самодвижение, стремление к которому является внутренней реакцией на сформированную в нем гравитационным полем разность частот внутренних колебаний (вибраций).

4. Установившееся представление о притяжении Земли является формальным отражением видимой стороны движения. Экспериментально установленный факт того, что гироскоп с невращающимся маховиком падает, а с вращающимся не падает вниз, подтверждает вывод о изменении внутреннего состояния тела маховика, вследствие чего сформировалась внутренняя реакция самодвижения, направленная в горизонтальном направлении (вбок). В противном случае «притяжению Земли» было бы совсем безразлично: вращается маховик гироскопа или нет, он все равно бы падал вниз.

5. Гравитационная масса, по своей сущности, является силовым аспектом статической массы тела и проявляется в каждом конкретном гравитационном поле, как внутренняя сила, воздействие которой на препятствие при прерванном движении, определяет вес тела.

6. Инерционная масса, по своей сущности, является динамическим силовым аспектом статической массы. В одном случае она проявляется внутренней силой противодействия изменению скорости от внешнего воздействия и равна ему по величине. В другом случае она проявляется, как внутренняя сила инерции, поддерживающая дви-

жение тела с постоянной скоростью, пропорциональная квадрату скорости.

7. При исследовании процесса самодвижения тел в пространстве вследствие воздействия внутренних сил обнаружены и обоснованы существенные, ранее не известные, скрываемые природой явления:

✧ Две единицы статической массы в гравитационном поле проявляются единицей гравитационной массы, силовое воздействие которой на препятствие определяет вес тела. Следовательно, измерив вес тела в гравитационном поле, можно судить о его инерционных свойствах в пространстве и вне гравитационного поля, зная, что его статическая масса больше в 2 раза гравитационной;

✧ Тело, состоящее из двух единиц статической массы, при попытке изменить его скорость внешним воздействием, проявляет себя внутренней силой противодействия, определяющей единицу инерционной массы, тождественной по своей сущности реакции самодвижения на встречу внешней силе;

✧ То же тело, движущееся в пространстве со скоростью  $V$ , приобретает кинетическую энергию, равную сумме кинетических энергий, приобретенных каждой единицей статической массы. Следовательно, кинетическая энергия тела  $E_k = mV^2$ , где  $m$  – гравитационная масса.

8. Расчет параметров процесса самодвижения тела, состоящего из двух атомов, выполненный согласно известной из волновой теории методике наложения (суперпозиции) длин волн двух колебаний с достаточно близкими частотами показал, что они достаточно точно совпадают с параметрами процесса свободного падения, полученными экспериментально. Оказалось, что наименьшее перемещение тела с расстоянием между атомами, например,  $1 \cdot 10^{-10}$  м (1 А), длиной волны  $2 \cdot 10^{-10}$  м и разностью частот колебаний атомов  $1,635 \cdot 10^{-8}$  Гц, равно  $6,54 \cdot 10^{-18}$  м (2S), за время  $0,6(6) \cdot 10^{-18}$  сек (период колебаний) и через 1 секунду самодвижения, тело перемещается на расстояние 4,905 м со скоростью 9,81 м/сек, имея ускорение на траектории 9,81 м/сек<sup>2</sup>.

9. Анализ, применяемого с давних пор, математически вер-

ного равенства  $mgS = mV^2/2$  для оценки затраченной потенциальной энергии на работу по перемещению тела вниз на расстояние  $S$  и приобретенной этим же телом кинетической энергии показал, что оно является научно-необоснованным и не соответствует физической сущности движения, поскольку отражает процесс свободного падения, как следствие воздействия внешней силы «притяжения Земли», и в два раза снижает величину, приобретенной телом, кинетической энергии, только которая и может поддерживать движение тела с постоянной скоростью. Более достоверно отражает реальный процесс преобразования затраченной телом внутренней энергии, при самодвижении к центру поля под воздействием внутренней силовой реакции элементов строения тела на разность частот их колебаний, в кинетическую энергию, приобретенную статической массой тела, выражение  $mR2S = mV^2$ , отражающее процесс самодвижения за счет внутренних сил, не противоречащее закону сохранения энергии и позволяющее определить инерционную массу и внутреннюю силу инерции.

10. Теоретические предпосылки и экспериментальные исследования взаимодействия внутренних сил вращающегося в гравитационном поле маховика, позволили понять и объяснить природу возникновения прецессии оси гироскопа и открыть неизвестное ранее явление – потерю инерционных свойств вращающегося маховика. Он перестал противодействовать перемещению его в пространстве. Обнаружилось, что действие не равно противодействию, то есть не выполняется третий закон Ньютона. Экспериментальные данные полностью подтверждают реальность этого открытия и совпадают с результатами теоретического обоснования этого явления.

11. Направление дальнейших исследований предполагает разработку способа управления фазочастотным рассогласованием внутренних вибраций с целью создания безопорного безынерционного движителя, позволяющего перемещаться в пространстве в любом направлении и с любой скоростью за счет внутренних сил.

# ЕМКОСТНЫЕ НАКОПИТЕЛИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

Вниманию читателей предлагается коллективный труд, в котором описаны наиболее перспективные примеры использования емкостных накопителей энергии в системе тягового электроснабжения. Определены функции накопителей. Приведены принципиальная схема и основные технические характеристики устройства применительно к метрополитену. Показана предварительная технико-экономическая эффективность использования емкостных накопителей энергии на конкретной линии Московского метрополитена. Работу подготовила группа авторов: В.Ю. Клинов (система ГАЛС, г. Москва); Ю.А. Бродский (ОАО «Электропривод», г. Москва); А.И. Подаруев (ОАО «Электропривод», г. Москва); В.Н. Пупынин (МГУ ПС, г. Москва); М.В. Шевлюгин (МГУ ПС, г. Москва).



*The most perspective examples of use of capacitor energy storage units in system of traction electrosupply are described. Functions of stores are certain. The basic scheme and the basic characteristics of the device with reference to underground are resulted. Preliminary technical and economic efficiency of use of capacitor energy storage units on a concrete line of the Moscow underground is shown.*

Электродвижной состав (ЭПС) метрополитена имеет крайне неравномерный график потребления электрической энергии по времени. Потребление энергии осо-

бенно значительно в период пуска и разгона поездов. Менее значительно оно в периоды их равномерного движения и отсутствует на выезде, то есть в периоды движения поездов по инерции. Значительное количество кинетической энергии движущихся поездов, пропорциональное сумме произведений квадратов их скоростей на массу в момент начала торможения, в настоящее время электрическая энергия, которая в процессе торможения выделяется в виде тепла в тормозных реостатах вагона. В результате тяговые подстанции (ТП) метрополитена непрерывно испытывают значительные колебания на-

грузок фидеров. При пиковых нагрузках, возникающих при наложении пусковых токов по фидерам друг на друга, снижается напряжение на шинах ТП и в тяговой сети на промежуточных станциях метро, расположенных между двумя соседними ТП. И особенно оно сильно в конце консольных участков. Это замедляет процессы пусков поездов на них и приводит к дополнительным потерям электрической энергии в тяговой сети. По названным причинам силовое оборудование ТП СТЭ метрополитена имеет излишнюю установленную мощность, необходимую для покрытия пиковых нагрузок.

Указанных недостатков можно избежать, оснатив тяговую

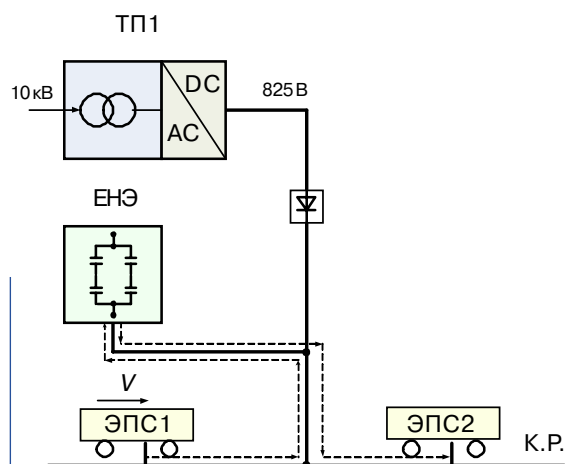


Рис. 1. Установка ЕНЭ на ТП

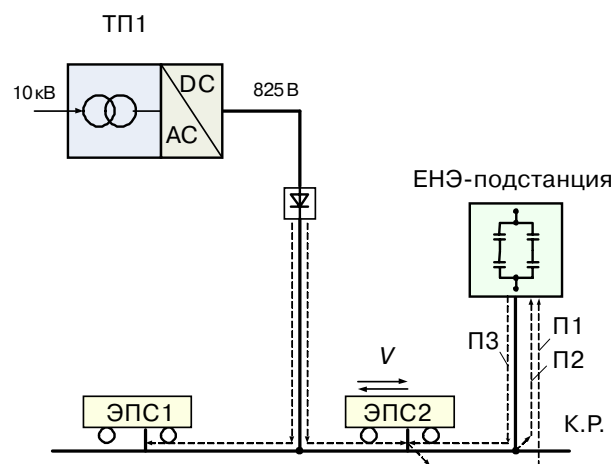


Рис. 2. Установка ЕНЭ в конце консольного участка линии метро (создание ЕНЭ-подстанции)

сеть СТЭ метрополитена емкостными накопителями энергии (ЕНЭ). В зависимости от конкретного назначения ЕНЭ могут устанавливаться и непосредственно на тяговых подстанциях (рис. 1.), на перегоне между тяговыми подстанциями, например, на промежуточных станциях и на концах консольных участков тяговой сети метро (рис. 2). При установке ЕНЭ на тяговых подстанциях наиболее просто, с минимальными затратами, обеспечивается аккумулярование и дальнейшее использование энергии рекуперации поездов. Рекуперирующие поезда (ЭПС 1, рис. 1) отдают энергию ЕНЭ, а не расходуют ее в виде тепла в тормозных реостатах. Запасенная в ЕНЭ энергия затем возвращается поездам при их пусках (ЭПС 2, рис. 1). Для выполнения таких же функций могут использоваться и ЕНЭ, установленные на перегонах, промежуточных станциях и на концах консольных участков тяговой сети метро.

Однако функции ЕНЭ могут быть значительно расширены, если их выполнить более мощными и обеспечить им возможность дополнительно аккумуляровать энергию, изымая ее непосредственно из тяговой сети. В этом случае ЕНЭ могут уже выступать в роли дополнительных источников питания, а установленные на перегонах, промежуточных станциях и на концах консольных участках тяговой сети метро – в виде своеобразных ЕНЭ-подстанций. Эти ЕНЭ-подстанции позволяют стабилизировать уровень напряжения в тяговой сети в зонах их установки и, одновременно, разгрузить ближайшие ТП от пиков пусковых токов поездов.

Следует указать, что при размещении ЕНЭ на ТП непременно потребуются произвести замену неперекрываемых токоразделов в контактной сети, с обеих сторон станций вблизи ТП, на универсальные. Этого не потребуются при размещении ЕНЭ на перегонах, промежуточных станциях и на концах консольных участков тяговой сети метро. Однако при этом для повышения коэффициента использования энергии, изымаемой из тяговой сети, в схемах ЕНЭ между конденсаторной батареей и тяговой сетью потребуются устанавливать специфические преобразователи с

промежуточным запасанием энергии в индуктивностях. Объясняется это тем, что заряд конденсаторов ЕНЭ непосредственно от тяговой сети или через ограничивающие активные сопротивления крайне неэкономичен, так как при такой схеме заряда в конденсаторах ЕНЭ оседает только половина энергии, проходящей по цепи заряда, то есть КПД использования изымаемой энергии составит лишь 50%.

Основные элементы ЕНЭ и ЕНЭ-подстанции показаны на схеме рис. 3. Это: батарея молекулярных конденсаторов (БК); Преобразователь постоянного тока П (на максимальный ток рекуперации) для связи БК с шиной ТП или тяговой сетью; система датчиков контроля тока (ДТ1, ДТ2) и напряжения (ДН1 и ДН2) совместно с системой регулирования (СР), формирующей команды на управление работой ЕНЭ; быстродействующий выключатель (БВ) для физического подключения ЕНЭ и защиты его оборудования от токов короткого замыкания.

Вне зависимости от места установки ЕНЭ управление его работой обеспечивается специальной системой регулирования (СР, рис. 3) получающей информацию от датчиков напряжения ДН1 на входе ЕНЭ к преобразователю П и ДН2 на входе к батарее конденсаторов БК, а также, соответственно, датчиков величины и направления тока ДТ1 и ДТ2.

При установке ЕНЭ на тяговой подстанции его подключение к шинам 825 В ТП, а через них к рекуперирующему поезду, осуществляется автоматически при достижении уровня напряжения на входе ЕНЭ (на шинах 825 В ТП) несколько более высокого, чем максимальное значение выпрямленного напряжения преобразовательных агрегатов ТП. При этом преобразователь ЕНЭ преобразует ток  $I_{ЕНЭ}$ , формируемый и регулируемый рекуперирующим ЭПС, во вторичный ток  $I_{БК}$  батареи молекулярных конденсаторов (БК), контролируя при этом напряжение на батарее с помощью датчика ДН2. При достижении напряжением батареи максимально допустимого уровня СР ЕНЭ запирает преобразователь П и, тем самым, прерывает приём энергии рекуперации. Если при

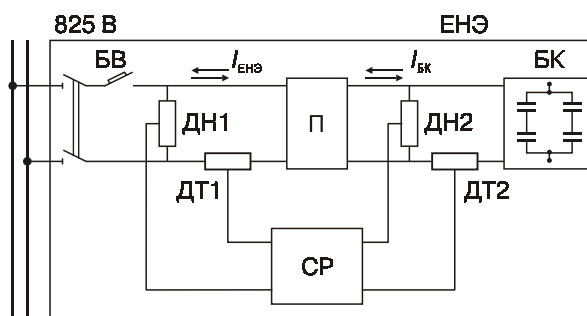


Рис. 3. Принципиальная схема ЕНЭ

этом на линии отсутствуют поезда, способные принять недоотданную энергию рекуперации, то схема рекуперирующего поезда должна автоматически мгновенно перевести прием энергии рекуперации на тормозные реостаты вагонов поезда.

Возврат энергии, запасенной в батарее конденсаторов ЕНЭ, происходит при снижении напряжения на шинах 825 В ТП ниже определенного уровня, говорящего о том, что начался пуск поезда. Процесс разряда контролируется датчиками напряжения ДН1 и тока ДТ1 на входе П ЕНЭ и датчиком напряжения ДН2 на входе БК ЕНЭ. Приведенная схема ЕНЭ позволяет разряжать БК до половинного значения допустимого максимального напряжения батареи и, тем самым, довести величину обменной энергии батареи до 75%, соответственно снизив ее мертвый объем до 25% от максимально запасаемого.

Режим работы ЕНЭ-подстанции также отличается от режима работы ЕНЭ для аккумулярования энергии рекуперации. ЕНЭ-подстанция подключается к тяговой сети при достижении напряжения в ней выше напряжения холостого хода соседних тяговых подстанций. После этого она начинает принимать ток рекуперирующего поезда. Поскольку мощность БК ЕНЭ-подстанции достаточно велика, прием энергии рекуперирующего поезда не обеспечивает заряда БК ЕНЭ-подстанции до максимально допустимого напряжения. Поэтому после завершения приема энергии рекуперации БК ЕНЭ не отключается, а продолжает заряжаться, изымая энергию из тяговой сети. Это происходит при условии, что напряжение в сети остается достаточно высоким.

Заряд БК ЕНЭ-подстанции от тяговой сети продолжается до тех

пор, пока напряжение на входе БК, контролируемое ДН2 не достигнет максимально допустимого, после чего преобразователь П ЕНЭ-подстанции отключает БК. Подключение ЕНЭ-подстанции к тяговой сети для питания поездов на ней запасенной энергией происходит тогда, когда напряжение в сети снижается ниже определенного уровня, говорящего о том, что в межподстанционной зоне появился поезд и ему можно отдать часть запасенной энергии, разгрузив, тем самым, смежные подстанции.

ЕНЭ, выполненный из предварительно отобранных комплектов, вне зависимости от места установки и выполняемых функций, отвечает следующим требованиям:

- обладает большой функциональной и эксплуатационной надежностью, имеет гарантированный срок службы не менее 10 лет;
- устойчива к эксплуатационным перенапряжениям, вызываемыми работой коммутационных аппаратов ТП;
- обеспечивает стабильную работу в диапазоне температур от минус 40 до +40 °С;
- требует минимума обслуживания;
- имеет приемлемую, экономически оправдываемую, стоимость;

Предполагается, что для БК будут использоваться конденсаторы отечественной фирмы «Эсма», имеющие напряжение единичного модуля 16 В и емкость 6000 Ф. Как было определено ранее, средняя величина энергии рекуперации одного поезда составляет 48 МДж. Предварительное имитационное моделирование показало, что для принятия основного объема энергии рекуперации (с учетом межпоездного обмена на зоне) на ТП необходим энергетический буфер величиной в 1,5 раза большей, чем энергия рекуперации одного поезда. С учетом КПД ЕНЭ ( $\eta = 85\%$ ) и с учетом мертвого объема (25%) общая энергоемкость БК на среднестатистической ТП Таганско-Краснопресненской линии получается равной 77 МДж.

При использовании в качестве базового единичного модуля 10ЭК303 фирмы «Эсма» получено, что на напряжение 900 В число последовательно соединенных модулей  $n = 900/16 = 57$  шт.

Тип системы	4*57*10ЭК303
Диапазон рабочих напряжений, В	900–450
Емкость, Ф	420
Полная запасаемая энергия, МДж	170
Запасаемая энергия в диапазоне рабочих напряжений, МДж	127
Внутреннее сопротивление, мОм	26
Номинальная мощность преобразователя, МВт	3,3
Масса аккумулирующего элемента, т	7,8
Объем аккумулирующего элемента, м <sup>3</sup>	5,3
Эффективность ( $E_d/E_c$ ) в цикле заряда разряда	Не менее, 0,85

Для необходимой общей энергоемкости ЕНЭ на ТП необходимо две таких параллельных цепочки. Однако следует учесть некоторую инертность аккумулирующего элемента и возможность частичного сглаживания характера энергопотребления ТП.

Таким образом, БК для ТП должна иметь следующие параметры, приведенные в таблице 1.

Преобразователь постоянного тока осуществляет передачу энергии рекуперации из тяговой сети в ЕНЭ и обратно и регулирует в зависимости от состояния тяговой сети величину тока. Максимальный ток преобразователя предварительно определен на уровне порядка 4–5 кА. Такой преобразователь представляет собой серьезное электротехническое устройство на современных силовых электронных приборах. Предстоит оценить реальность и целесообразность такого изделия и уточнить реальную величину тока. Есть необходимость проработать возможность создания преобразователя с понижающим коэффициентом трансформации, то есть с более низким напряжением на БК ЕНЭ, что позволит более эффективно использовать емкость молекулярных конденсаторов, уменьшить количество последовательно включенных элементов в батарее и соответственно повысить его надежность ЕНЭ. В качестве альтернативного следует также рассмотреть целесообразность использования ЕНЭ с двумя параллельными ветвями.

При расчете параметров ЕНЭ для Таганско-Краснопресненской линии Московского метро установлено, что в настоящее время величина среднестатистической мощности ТП равна 6,5 МВ·А и что для параллельной ра-

боты ЕНЭ с ТП мощность преобразователя ЕНЭ должна составлять величину до половины от 6,5 МВ·А, то есть 3,3 МВ·А.

Ориентировочная стоимость системы ЕНЭ для среднестатистической ТП Таганско-Краснопресненской линии метро, включающую необходимое количество единичных модулей «Эсма», преобразователь постоянного тока, измерительную и управляющую системы, металлоконструкции, дополнительные материалы и строительно-монтажные работы, а также стоимость НИОКР, составляет порядка 42 млн руб.

Экономическая эффективность системы электроснабжения вновь строящихся линий метрополитена с ЕНЭ должны оцениваться с учетом:

- экономии за счет использования энергии торможения на разгон поезда;
  - сокращения затрат на строительство за счет уменьшения количества тяговых подстанций;
  - стабилизации уровня напряжения в контактной сети постоянного тока при интенсивном движении электропоездов;
  - увеличения пропускной способности участка пути за счет снижения нагрузки на тяговую подстанцию;
  - экономии за счет снижения вероятности возникновения аварийных ситуаций, связанных с перегрузкой тяговой сети;
  - использования энергии, запасенной в ЕНЭ для передвижения электропоездов до станции в случае обесточивания тяговой сети.
- Предварительная технико-экономическая оценка эффективности внедрения системы СТЭ с ЕНЭ показала, что срок окупаемости ЕНЭ будет составлять примерно 2,5–3 года.