

М.О. Мусабеков^{1,a}, А.М. Елшібеков^{1,b}

¹Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, Казахстан,
^amurat-shar@mail.ru, ^ba_kz@mail.ru

ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИЙ

Аннотация. Проведенные расчеты для заданного участка показывают возможность полного обеспечения энергией собственные нужды ЭПС, от рекупераций энергии динамического торможения через накопитель энергии.

Аңдатпа. Есептің нәтижесі бойынша берілген бөлімшеде динамикалық тежеуді қолдана отырып, жинақтағыштар арқылы алынған электр энергиясы ЭЖҚ өзіне жұмсалатын энергияны толығымен қамтамасыз ете алады.

Abstract. The calculations carried out for the given section show the possibility of full energy supply to the EPS's own needs, from the regeneration of the dynamic braking energy through the energy storage.

Ключевые слова. Системы тягового электроснабжения (СТЭ), накопители элементы энергии (НЭЭ), тяговый электродвигатель (ТЭД).

Түйінді сөздер. Тартым электрлі қамтамасыз ету жүйесі (ТЭЖ), Энергияны жинақтағыш элементтері (ЭЖЭ), тартым электрқозғалтқышы (ТЭК).

Keywords: Traction power supply systems (STE), energy elements (NE), traction motor (TED).

В настоящее время на железных дорогах Казахстана кинетическая энергия движущихся масс, запасенная во время движения тягового подвижного состава в процессе торможения, не рекуперуется в сеть, а выделяется в виде тепла в тормозных резисторах. Эти потери могут составлять до 50% всей электрической энергии, потребляемой из контактной сети [1]. Следовательно, экономия электрической энергии на электроподвижном составе возможна за счет полезного использования энергии торможения. Решение этой проблемы возможно как использованием режима рекуперации, так и утилизацией энергии торможения.

Основным затруднением использования режима рекуперативного торможения является не преобразование кинетической энергии в электрическую и возврат ее в контактную сеть, а способность сети принять эту дополнительную энергию. Это возможно при потреблении энергии из сети другим электроподвижным составом в режиме тяги или путем передачи ее в трехфазную сеть переменного тока. Для этого необходимо преобразовывать напряжение в трехфазное переменное, синхронизированное с сетью по частоте и амплитуде.

Исследования НИИ и многих авторов посвящались различным вариантам рекуперации электроэнергии при торможении электровозов и электропоездов, однако эта задача до сегодняшнего дня не нашла успешного решения. Системы тягового электроснабжения (СТЭ) до настоящего времени не оборудованы устройствами приема энергии рекуперации.

С появлением мощных емкостных накопителей (конденсаторов и аккумуляторов) работы по рекуперации энергии торможения активизировались. Современные накопители энергии широко используются на электромобилях, в меньшем объеме на железнодорожном транспорте и метрополитене.

В настоящее время известно несколько типов накопители элементы энергии (НЭЭ) – электрохимические, суперконденсаторы и кинетические, применение которых может рассматриваться в СТЭ энергии. Рекомендуемое места размещение накопителей энергии приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Размещение накопителей энергии

Типы накопителей энергии	Место размещение накопителя энергии			
	Районная подстанция	Тяговая подстанция	Тяговая сеть	Тяговый подвижной состав
Сверхпроводящие индукционные	+	-	-	-
Инерционные	-	+	-	+
Суперконденсаторные	-	+	+	+
Комбинированные (электрохимические + суперконденсаторные)	-	-	-	+

Суперконденсаторы и инерционные накопители имеют высокую удельную мощность, могут эксплуатироваться в пиковых и форсированных режимах в широком диапазоне температур от $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, но их удельная энергоёмкость ниже, чем у электрохимических аккумуляторных батарей.

Электрохимические накопители энергии в длительных режимах разряда имеют высокую удельную энергоёмкость и высокий коэффициент полезного действия КПД, но в пиковых и форсированных режимах, а также при температурах ниже $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ их КПД снижается.

Наиболее целесообразным в настоящее время представляется применение в СТЭ НЭЭ двух типов – ёмкостного (суперконденсатор) и электрохимического (аккумуляторная батарея), в силу ряда характеристик, или созданного на их основе гибридного накопителя.

В настоящее время активно ведутся работы по эффективному использованию рекуперативной энергии на участках железных дорог постоянного тока и метрополитенах. Для этого тяговые подстанций оснащаются ёмкостными энергонакопителями, которые способны принимать избыточную энергию торможения с последующим возвратом ее в контактную сеть при пуске и разгоне поездов.

Оснащение тяговых подстанций ёмкостными энергонакопителями электрофицированных участков переменного тока, требует больших затрат и современных технологических решений.

В Казахстане все электрофицированные участки снабжены переменным током. Существующий парк электровозов переменного тока оснащены устройствами реостатного торможения. Системой рекуперативного торможения оснащены лишь новые электровозы серии KZ8A пополняющие инвентарный парк.

Эффективность использования электровозами динамического торможения является одной из важных мероприятий по экономии энергии. Данное мероприятие требует объёмных исследовательских работ, что вызвано практической значимостью проводимых мероприятий в будущем.

На представленной на рисунке 1, б схеме показан способ применения электронакопителя при динамическом торможении ЭПС с системой реостатного торможения. В предложенном способе энергия рекупераций накапливается в энергонакопителе, который в дальнейшем используется для потребления собственных нужд ЭПС (электродвигатели воздушного компрессора, вентилятора, масляного насоса и др.).

В общем случае потребляемая для собственных нужд энергия по видам ЭПС составляет: $10\div 15\%$ - у электровозов и $25\div 40\%$ - у электропоездов (повышение до $40\div 60\%$ в зимнее время).

На рисуне 1, а показаны упрощенный вид силовой и дополнительной схемы ЭПС с передачей переменного-постоянного тока: в режиме тяги тяговый электродвигатель (ТЭД) М получает электрическую энергию от трансформатора ТР через выпрямитель Д; в режиме торможения ТЭД переходит в генераторный режим, преобразовывая потенциальную энергию поезда в электрическую энергию. В таком режиме переключатель ПР ТЭД замыкает тормозной резистор R и полученная электрическая энергия преобразуется в тепловую. В схеме цепь вспомогательных машин питается от основного тягового трансформатора ТР через обмотки собственных нужд.

На рисунке 1, б показано способ обеспечения энергией собственных нужд ЭПС в режиме торможения при применении накопителя энергии (НЭ).

Энергия идущая на тормозные резисторы R, посредством инвертора И, накапливается в НЭ. Для обеспечения потребителей собственных нужд электрической энергией постоянного тока в дополнительную цепь устанавливается блок переключателей БП, который предназначен для переключения цепи к обмоткам тягового трансформатора, в случае, когда количество накопленной энергии будет недостаточным для обеспечения потребителей собственных нужд.

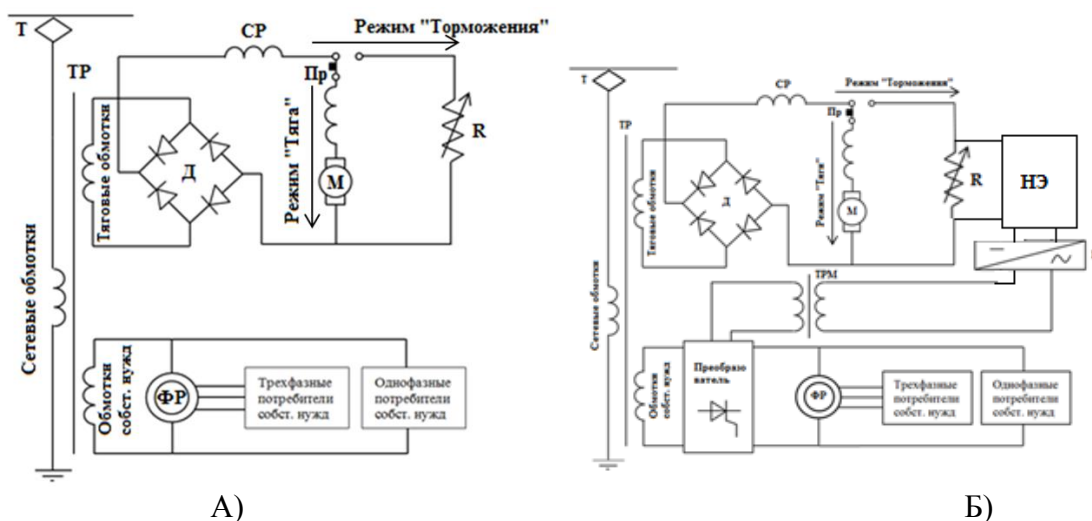


Рисунок 1 – Упрощенная тяговая и вспомогательная схемы ЭПС с тяговыми двигателями постоянного тока

А) Существующий схема Б) Предлагаемый способ и использованием НЭ схема для использования рекуперативной энергий для собственных нужд электровоза

Т – токоприемник, ТР – тяговый трансформатор, Д – выпрямитель, СР – сглаживающий реактор, М – тяговый электродвигатель, R – тормозные резисторы, НЭ – накопительный элемент, И – инвертор, Пр – переключатель, ТРМ – трансформатор маломощный, ФР – фазорасщепитель.

Для определения эффективности предлагаемой способа проведены расчеты для конкретного железнодорожного участка Астана – Атбасар. В таблице 2 приведены данные опытных поездок с электровозами серий KZ8A и ВЛ80С на заданном участке.

Участок	Тип электровоза	Масса поезда, тонн	Расстояние, км	Фактический расход электроэнергии, кВт·ч	Нормативный часовой расход энергии на собственные нужды электровоза, кВт/ч	Время поезда, час	Расход электроэнергии для собственных нужд, кВт·ч	Ожидаемая рекуперативная энергия, кВт·ч
Астана - Атбасар	ВЛ-80С	6952	229	12200	330	4,51	1488,3	2200
Астана - Атбасар	KZ8A	6962	229	11500	196,13	4,51	884,54	2200

Энергоемкость НЭ определяется произведением емкости и напряжения. При увеличении напряжения число последовательно соединенных элементов увеличивается, а число параллельных ветвей уменьшается, что благоприятно сказывается на работе АБ.

Энергоемкости НЭ должно хватать для обеспечения требуемого времени работы собственных нужд электровоза ВЛ-80С (АД) заданной мощности.

Расчет емкости НЭ удобно производить численным методом. Пусть требуемое количество энергии в сутки для питания электродвигателя:

$P_{\text{собст.нужд}} = 330 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, $196,13 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ напряжение НЭ $U_{\text{аб}} = 380\text{В}$, допустимая глубина разряда НЭ $H = 20 \%$, зарядный и разрядный ток не более $0,1\text{С}$, где С – емкость НЭ в $\text{А}\cdot\text{ч}$, КПД инвертора, от которого питается НЭ $\eta_{\text{и}} = 0,9$, Тогда НЭ должен отдать

для электровоза ВЛ80С

$$P_{\text{аб}} = \frac{P_{\text{ад}}}{\eta_{\text{и}}} = \frac{330}{0,9} = 366,66 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

для электровоза KZ8A

$$P_{\text{аб}} = \frac{P_{\text{ад}}}{\eta_{\text{и}}} = \frac{196,13}{0,9} = 217,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Емкость НЭ определяется по формуле:

для электровоза ВЛ80С

$$C = \frac{P_{\text{аб}} \cdot 1000}{U_{\text{аб}} \cdot H} = \frac{217,9 \cdot 1000}{380 \cdot 0,2} = 4824,47 \text{ А}\cdot\text{ч}$$

для электровоза KZ8A

$$C = \frac{P_{\text{аб}} \cdot 1000}{U_{\text{аб}} \cdot H} = \frac{217,9 \cdot 1000}{380 \cdot 0,2} = 2867,39 \text{ А}\cdot\text{ч}$$

Выводы.

1. Обоснован способ накопления энергии рекупераций в специальных накопителях и последующего его использования для собственных нужд ЭПС
2. Проведенные расчеты для заданного участка показывающий возможность полного обеспечения ЭПС рекуперативной энергией собственные нужды

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Авруцкий В.А. Накопители энергии и их применение. Москва МЭИ, 1982, 77.
- [2] Анисимов В.М. Техничко-экономическая эффективность использования электрохимических генераторов на железнодорожном транспорте// Вестник ВНИИЖТ 1982, № 7.
- [3] Астахов Ю.Н. Применение накопителей энергии для повышения эффективности энергоснабжения. Москва МЭИ, 1985, 71 с