

УДК 629.429.3:621.313

Р.Ш. Нуриев

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ СКОРОСТНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

В работе рассмотрены вопросы создания подвижного состава на базе электропоезда ЭКр1 «Тарпан»: предложен новый двигатель и его система управления, произведен расчет по наклону кузова в кривых участках пути, а также рассмотрено применение накопителей энергии для данного электропоезда.

Ключевые слова: электропоезд, электроподвижной состав, тяговый привод, синхронный тяговый двигатель, система наклона кузова, накопитель энергии.

Введение

Актуальность работы. В настоящее время большая часть пассажироперевозок на территории Украины осуществляется железнодорожным транспортом. В большей своей части подвижной состав устарел как морально, так и технически. Опираясь на то, что часть электрифицированных участков работает на постоянном токе, а часть на переменном, наиболее целесообразным будет создание двухсистемного электропоезда.

По истечении всех 4 лет эксплуатации HRCS2 на железных дорогах Украины, можем сделать вывод, что он сконструирован для участков с минимальными кривыми профилями пути, и имеет некоторые конструкционные особенности, которые не учитывают использование данного электропоезда в условиях нашего климата. Однако скоростные показатели все же остаются на высоком уровне. ЭКр1 «Тарпан» производства ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» (КВСЗ) учитывает все особенности эксплуатации электропоездов на железных дорогах Украины [1]. Основные его преимущества заключаются в низкой стоимости, благодаря производственным мощностям расположенным на территории нашей страны, а так же пассажироместимости, что на сегодняшний день является одним из ключевых факторов, однако он уступает в ряде показателей Hyundai Rotem. Поэтому разработка концептуального проекта скоростного электропоезда является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы: создание концептуального проекта нового электропоезда, на базе синхронного тягового двигателя с возбуждением от постоянных магнитов, системой наклона кузова и накопителем энергии.

Обзор и анализ последних достижений

Постоянный рост пассажирских, пригородных и грузовых перевозок обусловлен тем, что железно-

дорожные перевозки являются более дешевыми, по сравнению с другими видами транспорта, а также в некоторых странах являются разумной альтернативой самолётам или автотранспорту [2].

Впервые регулярное движение высокоскоростных поездов началось в 1964 году в Японии по проекту Синкансэн. В 1981 году поезда ВСПС стали курсировать и во Франции, а вскоре большая часть западной Европы, включая даже островную Великобританию, оказалась объединена в единую высокоскоростную железнодорожную сеть. В начале XXI века мировым лидером по развитию сети высокоскоростных линий, а также эксплуатантом первого регулярного высокоскоростного Маглева стал Китай.

В настоящее время на территории Европы и остального мира неоспоримыми лидерами в области высокоскоростного железнодорожного движения являются Япония, Китай, Корея, Германия, Франция, Италия, Швейцария, именно в этих странах применяются все современные достижения в области локомотивостроения и железнодорожной инфраструктуры [2]. В основном высокоскоростные поезда применяются для пассажироперевозок, однако существуют разновидности, предназначенные для грузоперевозок. Так, французская служба La Poste на протяжении 30 лет применяла специальные электропоезда TGV, служившие для перевозки почты и посылок (их эксплуатация завершена в июне 2015 года из-за сократившегося объема почтовых отправок).

Рассмотрим актуальные высокоскоростные электропоезда следующих моделей: AGV (Alstom, Франция), ICE-3 (Siemens, Германия), E-6 Shinkansen (Kawasaki HI, Япония).

AGV (произносится «А-Же-Ве» от фр. Automotrice à grande vitesse — «высокоскоростной самодвижущийся вагон», рис. 1) — скоростные поезда 4-го поколения компании Alstom, которые предполагается использовать во Франции вместо эксплуатирующихся сейчас TGV. Его основные особенности: син-

хронний двигатель нового покоління з постійними магнітами; особе розположення тележек поезда; збільшення показателів безпеки руху зменшенням кількості тележек в поїзді.



Рис. 1. Електропоезд AGV

Intercity-Express (англ. «Міжгородній експрес»), також відомий під скороченням ICE, рис. 2) — мережа високошвидкісних поїздів, в основному розповсюджена в Німеччині, розроблена компанією Deutsche Bahn. Сучасне покоління поїздів Intercity-Express, ICE 3, розроблено консорціумом з компаній Siemens AG і Bombardier під загальним керівництвом Siemens AG. Її основні особливості: найбільш висока потужність електропоезда за критеріями (потужність — кількість вагонів); найбільша ємність пасажирів (в основній частині).



Рис. 2. Електропоезд ICE3

Е6 (рис. 3) — високошвидкісний електропоезд змінного струму, експлуатуючий на лініях Тохокі та Акіта високошвидкісної мережі японських залізниць Синкансен. Обслуговує фирмовий швидкісний поїзд Супер Комачі. До впровадження електропоезда Е6 на цьому ж маршруті працював поїзд Комачі, розвивавший 275 км/ч.



Рис. 3. Електропоезд Shinkansen E6

Впровадження Е6 дозволило збільшити максимальну швидкість поїзда до 320 км/ч. Її основні особливості: найбільш середнє прискорення; найвищий показник аеродинамічних характеристик в своєму класі; наявність унікального аеродинамічного гальмування.

Розглянувши зарубіжні високошвидкісні електропоезди, можна зробити висновок, що вони мають високі швидкісні та технічні показники, але в повній мірі не підходять для умов експлуатації на території України [3]. Тому пропонується розглянути електропоезд вітчизняного виробництва, з метою пошуку найбільш підходящого, під наші умови, базової моделі електропоезда.

ЭКр1 — двохсистемний швидкісний електропоезд, був спроектований та побудований Крюківським вагоннобудівельним заводом, в 2011-2012 роках, з використанням обладнання спроектованого ВУЗами України, а також за консультації європейських партнерів. 80% комплектуючих та матеріалів вітчизняного виробництва. За рахунок роботи по двохсистемному електроживленню, електропоезд може застосовуватися на всіх електрифікованих ділянках України. Поїзд має в своєму складі 7 причепних та 2 головних моторних вагонів. Особливістю є пасажирський відділок в головних вагонах. Кузови вагонів виготовлені з нержавіючої сталі. Конструкція вагонів поїзда в повній мірі відповідає вимогам санітарних норм по ергономіці, мікроклімату, освітленості, шуму та вібрації, а також вимогам пожежної безпеки на всі внутрішні та зовнішні матеріали. Інтер'єр салону виконаний з витривалих, екологічно чистих, трудновгорючих матеріалів.

Ціна двохсистемного швидкісного дев'ятивагонного електропоезда для міжрегіональних перевезень виробництва КВСЗ становить 200 000 000 гривень з НДС (166 667 000 гривень без НДС або 7 700 000 доларів США). Ціна найближчого конкурента ЭКр1 на українських залізничних доріжках, корейського HRCS2 становить 29 165 000 доларів США без НДС, а з урахуванням вартості запчастин та документів, загальна вартість корейського електропоезда становить 30 700 000 доларів США. Це 36 840 000 доларів США з НДС проти 7,7 млн доларів США в КВСЗ.

Розглянемо основні характеристики ЭКр1 «Тарпан» які наведені в табл. 1. На електропоезді встановлені асинхронні двигачі ТМФ 59-39-4 характеристики якого наведені в табл. 2. Цей тип двигачів встановлюється на європейських електропоездах серії: ED74 польських залізниць та EJ 480 чеських залізниць.

Для оптимального вибору проведемо порівняльний аналіз тягових двигачів різних типів реалізованих в електроподвижному складі, і

применимых к ЭКр1 [2-6]. Примем следующие показатели, позволяющие качественно оценить рассматриваемые тяговые двигатели:

- энергетические показатели,
- массо-габаритные показатели,

- показатели, характеризующие рабочие свойства,
- показатели, характеризующие надежность и ремонтпригодность.

Сравнительный анализ приведен в табл. 3.

Таблица 1

Характеристики ЭКр1 «Тарпан»

Параметр	Обозначение
Род тока	Переменный 25 кВ, постоянный 3кВ
Ширина пути	1520 мм
Конструкционная скорость	200 км/ч
Общая длина 9ти-вагонного электропоезда	230,0 м
Длина промежуточного вагона	26,696 м
Ширина	3,420 м
База вагона	19,0 м
Высота вагона	4,4 м
Материал обшивки кузова	Нержавеющая сталь
Тип тягового двигателя	Асинхронный двигатель
Срок службы вагонов	50 лет
Количество мест для сидения	612
Количество мест первого класса	128
Количество мест второго класса	370
Количество мест третьего класса	112

Таблица 2

Характеристики асинхронного двигателя ТМФ 59-39-4

Параметр	Обозначения
Номинальное напряжение, В	398
Мощность, кВт	500
Ток якоря в часовом режиме, А	885
Частота, Гц	57
Частота вращения, об/хв	1698
Максимальна частота вращения, об/мин	5125

Таблица 3

Сопоставление результатов анализа двигателей разных типов

Критерии	Синхронный двигатель с электромагнитным возбуждением	Синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов	Реактивно-индукционный двигатель	Двигатель с поперечным полем
Коэффициент полезного действия	±	+	+	+
Масса и габариты	-	+	±	+
Удельная мощность	-	+	±	+
Удельный момент	-	+	±	+
Перегрузочная способность	+	+	+	+
Пульсации момента	+	+	-	-
Возможность работы в аварийных режимах	±	-	±	+
Возможность электрического торможения	+	+	±	±
Электромагнитная совместимость	±	±	±	±
Надежность и ремонтпригодность	-	+	+	+

Новая концепция

Как видно из табл. 3 наиболее рациональным типом тяговых двигателей для скоростного подвижного состава является - синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов. Синхронные двигатели, которые по ряду показателей превосходят асинхронные двигатели, и по мнению многих исследователей, являются перспективными, в последнее время привлекают к себе внимание передовых инженерных центров, работающих в области электрической тяги [5, 6].

Как показал опыт создания таких двигателей различных типов [5, 6] (синхронный двигатель с электромагнитным возбуждением, синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов, реактивно-индукторный двигатель, двигатель с поперечным полем), каждый из типов имеет свои пре-

имущественные области применения в зависимости от типа подвижного состава и мощности [7-14]. Решение задачи многокритериальной оптимизации должно базироваться на апробированной задаче анализа, позволяющего установить достоверную зависимость между критериями оценки и параметрами тягового двигателя при наложенных ограничениях [3].

По результатам проведенного анализа для дальнейших исследований выбран синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов [5-22].

Для расчета тягового синхронного двигателя был разработан программно-алгоритмический комплекс проектирования тягового синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов [15-18]. Результаты расчета параметров тягового двигателя приведены в табл. 4.

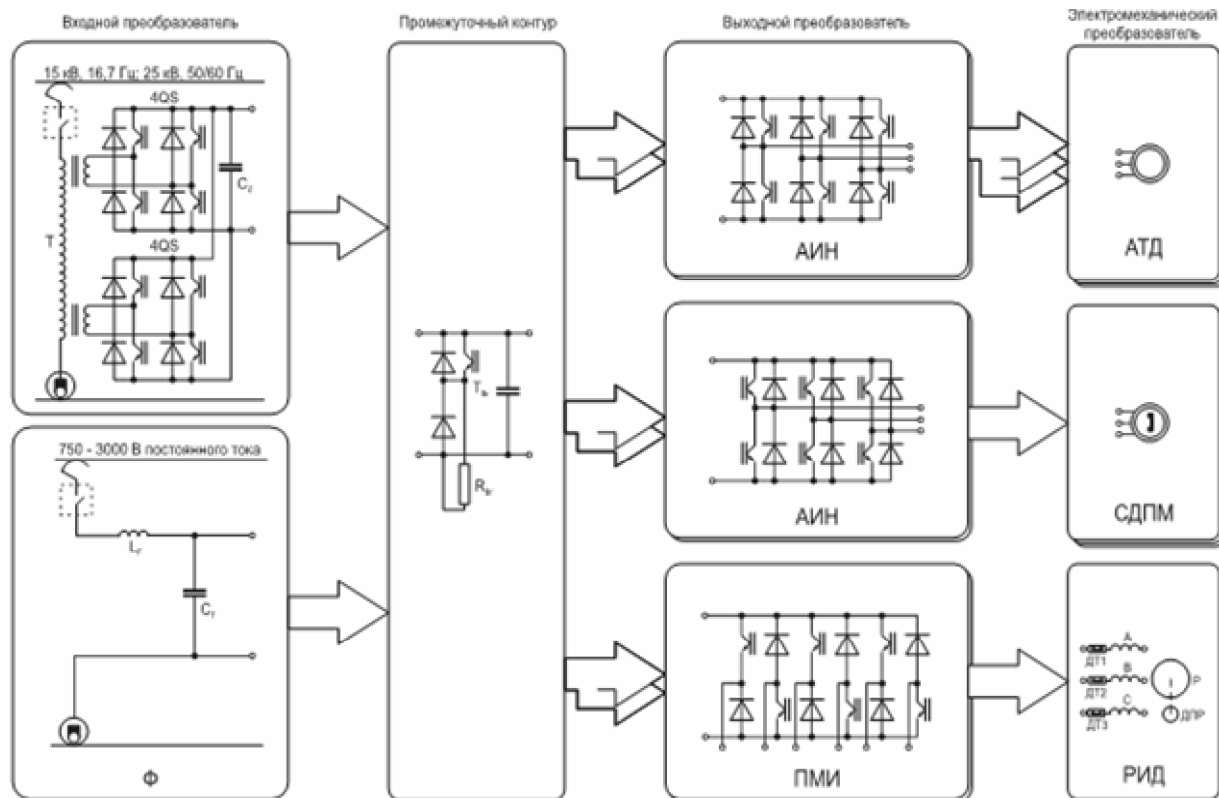


Рис. 4. Перспективная система электромеханического преобразования энергии электроподвижного состава

Таблица 4

Результаты расчета тягового двигателя

Основные характеристики двигателя	
Номинальная мощность	500 кВт
Номинальное линейное напряжение	398,0 В
Номинальный фазный ток	803,7 А
число фаз	3
КПД в номинальном режиме	0,971
Коэффициент мощности в номинальном режиме	0,906
Коэффициент мощности в режиме максимальной частоты вращения	0,997
Номинальная частота вращения	1698 об/мин
Максимальная частота вращения	5125 об/ мин

Основным направлением развития тягового двигателя электроподвижного состава является снижение затрат жизненного цикла электродвижущая сила (ЭДС). Затраты жизненного цикла состоят из затрат на производство тягового двигателя и затрат на эксплуатацию. Учитывая длительный цикла эксплуатации электроподвижного состава, затраты на его производство несравненно ниже затрат на эксплуатацию. Поэтому современные тенденции развития тягового двигателя строятся на снижении затрат на эксплуатацию электроподвижного состава.

Расходы на эксплуатацию состоят из затрат на энергоресурсы, необходимые для работы электроподвижного состава, и расходы на обслуживание и ремонт. Синхронный двигатель имеет большое количество преимуществ перед другими видами тяговый двигатель (ТД), ввиду простоты своего исполнения, и минимальных затратах на ремонт при его эксплуатации.

В настоящее время широкое распространение получили системы питания тягового двигателя на основе (ПП) с промежуточным контуром постоянного напряжения (рис. 4).

В качестве входного преобразователя для ЭДС переменного тока используется трансформатор совместно с 4-qs преобразователем, для ЭДС постоянного импульсный регулятор напряжения. Задача входного преобразователя - преобразование входного напряжения в стабилизированное постоянное напряжение в промежуточном контуре.

Промежуточный контур представляет собой систему пассивных и активных фильтров, обеспечивающих электромагнитную совместимость системы в целом. В ряде конструкций в промежуточный контур введено делитель напряжения, позволяет последовательно включать несколько выходных ПП.

Выходной преобразователь представляет собой систему питания и управления тягового двигателя. Его тип зависит от типа тягового двигателя. Для асинхронного двигателя и синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов применяются автономные инверторы напряжения реализуют как режим регулирования одноразовой широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [1-4] так и режимы регулирования с пространственно-векторной ШИМ. Для питания каждой из фаз ВД, двигателя с поперечным полем и АИД применяются полумостовые инверторы с ограничением тока в фазе. Питание АО осуществляется по групповой, в основном, тележечной схеме, при которой от одного выходного ПП питаются все тяговые двигатели тележки (2 или 3). Для других тяговых двигателей реализуется индивидуальное питание, один выходной ПП питает один тяговый двигатель. Для улучшения гармонического состава напряжения асинхронного тягового двигателя в режиме однократной ШИМ [1-4] рядом авторов

предлагается параллельная работа нескольких автономных инверторов с чередованием фаз на тяговом двигателе [1-4].

При применении синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов возможно только индивидуальное включение выходного преобразователя - один преобразователь - один тяговый двигатель. В качестве исходного преобразователя используется аналогичный по схеме инвертор напряжения, как и для асинхронного тягового двигателя.

Такие технические решения позволяют унифицировать конструкции ЭДС разного рода тока и с различными типами тягового двигателя [7-10].

Предлагается модернизировать конструкцию поезда путем оборудования его механизмом наклона кузова, который обеспечит увеличение скорости прохождения кривых участков рельсового пути. Об эффективности применения технологии наклона кузовов для скоростного пассажирского движения свидетельствует успешная эксплуатация в 15 странах мира более 60 типов поездов, созданных 10 ведущими мировыми производителями. Как силовой привод систем наклона кузовов этих поездов используются гидравлические, пневматические и электромеханические системы [11]. Гидравлическая система зависит от погодных условий, экологически несовершенна из-за возможности утечек, ее конструкция, эксплуатация и ремонт относительно сложные; пневматическая система не обеспечивает должной производительности; электромеханическая система, будучи наиболее перспективной, не обеспечивает должного уровня безопасности движения ввиду отсутствия самовозврата механизма наклона.

На рис. 5 приведены природные тяговые характеристики двигателя электромагнитного типа, полученные при различной МРС в его обмотке, а также нагрузочная кривая, соответствующая принятым расположению линейного двигателя и конфигурации исполнительного механизма.

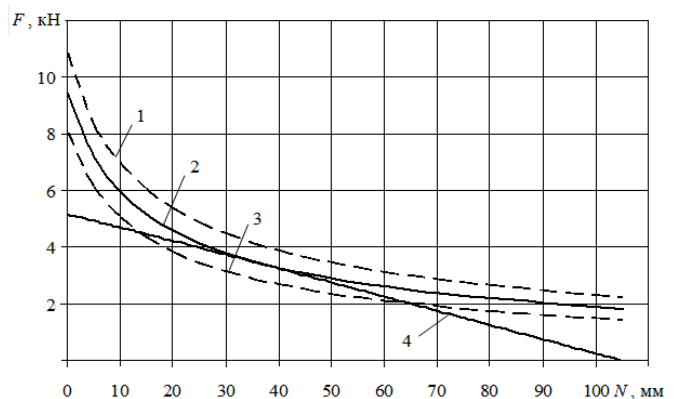


Рис. 5. Характеристики механизма наклона кузова
 1 – тяговая при МРС в обмотке 11000 А,
 2 – тяговая при МРС в обмотке 9000 А, 3 – тяговая при МРС в обмотке 8000 А, 4 – нагрузочная кривая

Как видно из рисунка, на участке рабочего хода двигателя, соответствующего рабочего зазора 28 - 44 мм, магнитодвижущая сила в обмотке может поддерживаться на уровне 11 кА, на участках 0 - 28 и 44 - 105 мм требуется снижение величины МРС путем широтно-импульсного регулирования по помо-

щью полупроводникового преобразователя энергии прямоходового типа [22, 23].

Общая схема экипажа, оборудованного механизмом наклона кузова на базе линейных электромеханических преобразователей энергии, представлена на рис. 6.

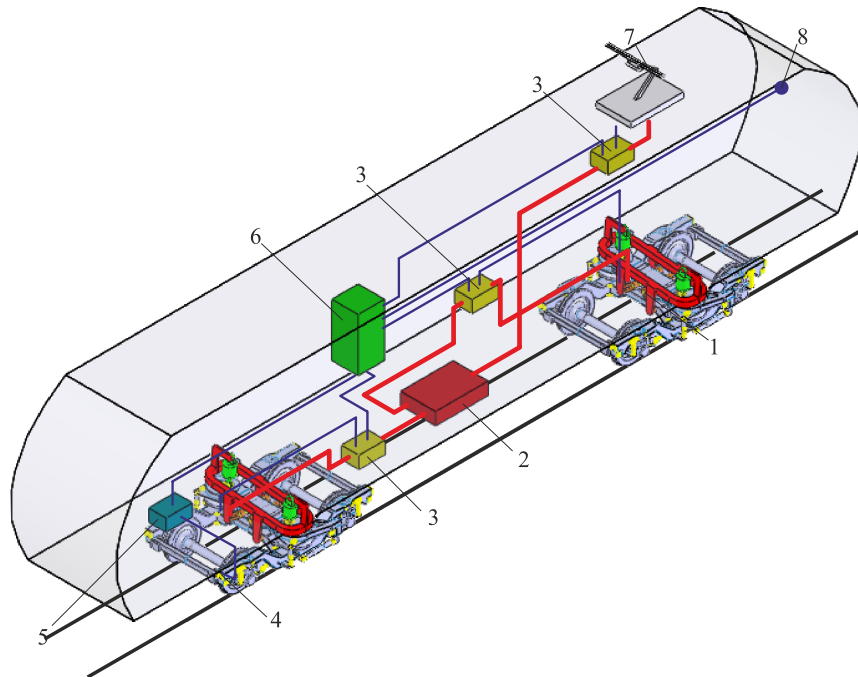


Рис. 6. Концепция компоновки экипажа, оснащенного механизмом наклона кузова:

- 1 – привод наклона кузова на базе линейного электромеханического преобразователя энергии, 2 – энергоблок, 3 – блоки силовой электроники, 4 – speedометр, 5 – акселерометр / гироскоп, 6 – вычислительный модуль (включая вычислитель угла наклона, схему управления блоками силовой электроники и контроллер поездной шины), 7 – наклоняется токосъемник, 8 – интерфейс поездной шины

Предлагаемая концепция компоновки экипажа аналогичная активной системе наклона кузовов FiatSIG «Swing» [13]. Информация о скорости движения, получаемый из speedометров 4, информация о боковом ускорении, что позволяет оценить радиус кривой, а также о подъеме наружного рельса, получаемый из акселерометра / гироскопа 5, поступает на вычислительный модуль 6. На основании полученных данных, в модуле производится расчет необходимого угла наклона кузова с учетом возвышения наружного рельса. В том случае, если расчетный угол превышает максимально реализовано системой значения (7°), модуль производит команду на снижение скорости движения.

Для наклона кузова на расчетный угол, вычислительный модуль 6 формирует сигналы управления, по информационным шинам подаются на блоки силовой электроники 3, управляющие подачей энергии от энергоблока 2 на пневматические и электромеханические исполнительные механизмы тележек 1 и токоприемника 7, способного наклоняться. Информация по достигнутому углу наклона снимается с датчиков на кузове и по информационным шинам передается на блоки силовой электроники. В случае на-

рушения функционирования механизма, информация об этом передается от блоков силовой электроники на вычислительный модуль 6. Его программа предусматривает, в зависимости от уровня опасности, или ограничение функциональности механизмов, или полное их отключение при соответствующем снижении максимальной скорости движения.

На основании данных о скорости движения вычислительный модуль 6 рассчитывает значение задержки, вносимой в сигналы управления механизмами наклона следующих вагонов, на которые указанные сигналы передаются с помощью поездной информационной шины 8.

Таким образом, предложен концептуальный проект электромеханической системы для наклона кузова поезда эрп1 «Тарпан». Описаны основные составляющие системы наклона. Построена модель тележки с комбинированной системой наклона кузова. Получено тяговую и нагрузочную характеристики предложенного механизма. Показано удовлетворительное их соответствие.

Использование накопителей энергии, как в тяговой сети, так и на подвижном составе железных дорог в перспективе является одним из эффективных

средств экономии энергетических ресурсов и защиты окружающей среды. Из известных на сегодняшний день четырех типов накопителей, пригодных для этих целей (двухслойные конденсаторы, литиево-ионные аккумуляторы, маховики и сверхпроводящие магниты), сейчас реализованы лишь три первых типа. Причем, на опытном образце скоростного подвижного состава – только инерционного типа, представляющего собой агрегат, который состоит из маховика цилиндрической формы, сочлененного на одном валу с электромеханическим преобразователем энергии – синхронной машиной.

Для выбора рационального типа накопителя с целью его работы в составе тягового электропривода современного скоростного подвижного состава проведем оценку и сравнение примененных на сегодняшний день накопителей по удельным энергетическим показателям. Эти показатели приведены в табл. 5.

Таблица 5
Сравнение удельных энергетических показателей бортовых накопителей для транспорта

Значение	Тип				
	EDLS	Li-I	Инерционный		
			Lirex	MDS L1	MDS L2
МДж/кг	0,02	0,026	0,03	0,037	0,08
МДж/м ³	0,6	17,3	25,7	66,7	151
кВт/кг	0,16	0,26	1,29	2,38	2,5
кВт/м ³	54	173	536	4717	4273

Анализ приведенных в табл. 5 данных показывает то, что удельные весовые энергетические показатели конденсаторных, электрохимических и инерционных накопителей имеют практически один порядок. Что касается удельных объемных энергетических показателей, то здесь инерционные в несколько раз превосходят другие типы. Такая же картина наблюдается и с весовыми, а также объемными удельными показателями мощности [24–28].

Завершая этот анализ, можно с уверенностью сказать, что инерционные накопители энергии существенным образом по своим удельным энергетическим и мощностным показателям превосходят конденсаторные и электрохимические накопители. Поэтому в качестве бортового накопителя целесообразно принять инерционный накопитель энергии с системой электромеханического преобразования энергии в виде обращенной машины постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и полупроводниковым коммутатором.

Такого рода накопитель разработан в НТУ «ХПИ» для тяговой сети Харьковского метрополитена [28].

Предложена система управления, которая программно реализует перетоки мощности в режиме тяги и торможения подвижного состава на основании логических элементов. Управление осуществляется на основании обратной связи по скорости подвижного состава с ограничениями, накладываемыми на коэффициент преобразования прерывателя и коэффициент изменения ЭДС СЭМПЭ накопителя.

Результаты решения тестовой задачи показали, что эффективность использования накопителя энергии достаточно высока - при варьируемых ускорениях в пределах 0.55...0.28 м/с² она составляет величину 0.28...0.37. Таким образом, использование накопителя дает возможность сэкономить в процессе торможения-разгона порядка 40% энергии.

Выводы

Проведен аналитический обзор современных технологий применяемых на современном скоростном электроподвижном составе эксплуатирующийся на железных дорогах мира. Отмечено, что ЭКр1 отечественного производства, перспективной конструкцией для создания скоростного электропоезда для железных дорог Украины.

Проведен сравнительный анализ тяговых двигателей различных типов реализованных в электроподвижном составе, и выбран синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов, с номинальной мощностью 500 кВт, и КПД 0,971. Предложено в перспективных конструкциях электропоездов применять электромеханические системы для наклона кузова. В качестве бортового накопителя принят инерционный накопитель энергии с системой электромеханического преобразования энергии в виде обращенной машины постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и полупроводниковым коммутатором, что позволит экономить до 40% энергии.

Список литературы

1. Раків В. А. Автономні вагони і потяги // Локомотиви вітчизняних залізниць 1845 — 1955. — 2-е вид., перераб. і доп. — М.: Транспорт, 1995. — С. 485 — 492.
2. Любарский Б. Г. Теоретичні основи для вибору та оцінки перспективних систем електромеханічного перетворення енергії електрорухомого складу. — Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.09. - «Електротранспорт». НТУ «ХПИ». Харків, - 2014. 368с.
3. Любарский Б.Г. Оптимизация режимов работы тягового привода на основе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов /Б.Г. Любарский // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – Харків: УкрДАЗТ.– 2014. – № 2(105)– С. 21–24
4. Lyubarskiy B.G., Selezionare il tipo di convertitore di energia di trazione elettrica per i treni elettrici interregionali./ Italian Science Review. 2014; 3(12). pp. 273-276.
5. Любарский Б.Г. Определение эффективности тягового привода электропоездов / В.И. Омеляненко, Б.Г. Любарский, С.Ю. Червяков // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». – 2013. – № 32– С. 67–75.

6. Проектирование тяговых электрических машин / Под. ред. М.Д. Находкина – М.: Энергия, 1976г. – 624с.
7. Лебедев Е.Д. и др. Управление синхронными электроприводами постоянного тока. – М.: Энергия, 1970.- 200 с.
8. ГОСТ 12.2.056-81. ССБТ. Электровозы и тепловозы колеи 1520 мм. Требования безопасности -Введ. 01.01.82.
9. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.-Введ. 01.07.84.
10. ГОСТ 12.2.003-79. ССБТ. Оборудование производственное, общие требования безопасности.- Введ. 01.01.80.
11. Zolotas A. C. New control strategies for tilting trains / A.C. Zolotas, R.M. Goodall, G.D. Halikias // Supplement to Vehicle System Dynamics, 2002. – Vol. 37. – P. 171–182.
12. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Локомотивостроение» / А.А.Камаев, Н.Г.Апанович, В.А.Камаев и др.; Под ред. А.А.Камаева.– М.: Машиностроение, 1981.– 351 с.
13. Huber V.H. The bogie-based tilt option - simplicity and flexibility / V.H.Huber // Proc Instn Mech Engrs, 1998. – Vol 212 Part F.– P. 19 – 32.
14. Wang X.M. Study of measurement system of tilting train-based on math platform / X.M.Wang, W.B.Ni, F.Li, J.H.Lin // [Spencer B.F.Jr and etc.] World forum on smart materials and smart structures technology.– Taylor & Francis Group.– London, 2008.– P. 268.
15. Goodall R.M. Active Railway Suspensions: Implementation Status and Technological Trends / R.M.Goodall // Vehicle System Dynamics.– 1997.– Vol. 28, P. 87–117.
16. Boocock D. Development of the Prototype Advanced Passenger Train / D.Boocock, B.L.King // Proc IMechE.– 1982.– Vol. 196.– P. 35–46.
17. Zolotas A.C. A Comparison of Tilt Control Approaches for High Speed Railway Vehicles / A.C.Zolotas, R.M.Goodall, G.D. Halikiast // Proc ICSE 2000, Coventry, UK.– 2000.– September.– Vol. 2.– P. 632–636.
18. Kamoshita S. A control method for hybrid tilting system using tilting beams and air spring inclination / S.Kamoshita, K.Sasaki, H.Kakinuma etc.// QR of RTRI, 2007.– Feb.– Vol. 48, No1.
19. Якунин Д.И. Электромеханический привод системы наклона кузова / Д.И. Якунин, Е.С. Редченко, Б.Х. Ериця // Тезисы докладов 70-й Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Днепропетровск, 2010. – С. 106.
20. Любарский Б.Г. Упрощенная математическая модель магнитного поля двигателя с поперечным полем / Б.Г. Любарский, Е.С. Рябов, Т.В. Глебова, М.Л. Глебова // Світлотехніка та електроенергетика: міжнар. наук.-техн. журн.– Харк. нац. акад. міськ. госп-ва.– Харьков, 2008.– № 2.– С. 72–78.
21. Любарский Б.Г. Имитационная модель тягового вентильно-индукторного электропривода / Б.Г. Любарский Е.С. Рябов, Л.В. Оверьянова, В.Л. Емельянов.– Електротехніка і електромеханіка.– Харьков, 2009.– № 5.– С. 67–72.
22. Маслиев В.Г. Проблемы скоростного движения поездов в Украине / В.Г. Маслиев, Д.И. Якунин // Междунар. информ. научн.-техн. журнал «Вагонный парк».– Харьков: изд-во «Подвижной состав».– 2007.– №1.– С. 11-13.
23. Huber V.H. The bogie-based tilt option - simplicity and flexibility / V.H.Huber // Proc Instn Mech Engrs, 1998. – Vol 212 Part F.– P. 19 – 32.
24. Оверьянова Л. В. Накопители энергии – перспективная технология для железных дорог / В.И. Омеляненко, В.Е. Бондаренко, Г.В. Омеляненко, Л.В. Оверьянова // Міжнародний інформаційний науково-технічний журнал «Локомотив-інформ». – Харків: Техностандарт.– 2011. – №4. – С.4–9.
25. Клименко Е. Ю. Сверхпроводящий накопитель энергии для тяговой сети железных дорог / Е. Ю. Клименко, В. И. Омеляненко, Г. В. Омеляненко // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 2/1. – С. 40–45.
26. Sameshima H.. On-board Characteristics of Rechargeable Lithium Ion Batteries for Improving Energy Regenerative Efficiency / Hiroshi Sameshima, Masamichi Ogasa, Takamitsu Yamamoto // QR of RTRI. – 2004. – Vol. 45, No. 2. – P. 45–52.
27. Аннин В. Рекуперация электроэнергии – основное направление энергоснабжения // Локомотив. – 2013. – №7. – С. 6–9.
28. Simon J. Der elektrische Zug einer Serie 425 für die regionalen Beförderungen / J. Simon // Deine Bahn. – 2002. – №8. – P. 494–499.

Надійшла до редколегії 11.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Г. Любарський, Національний технічний університет «ХП», Харків.

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПРОЕКТ ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

Р.Ш. Нуриев

В роботі розглянуті питання створення рухомого складу на базі електропоїзда ЕКр1 «Тарпан»: запропоновано новий двигун і його система управління, проведений розрахунок за нахилом кузова в кривих ділянках колії, а також розглянуто застосування накопичувачів енергії для даного електропоїзда.

Ключові слова: електропоїзд, електрорухомий склад, тяговий привід, синхронний тяговий двигун, система нахилу кузова, накопичувач енергії.

CONCEPTUAL PROJECT OF SPEED MOBILE COMPOSITION ON THE BASIS OF PERSPECTIVE TECHNOLOGIES FOR RAILWAYS OF UKRAINE

R.Sh. Nuriev

The paper deals with the creation of the rolling stock on the basis of electric EKr1 "Tarpan": A new engine and its control system calculated the tilt of the body in the curved sections of the path, and also considered the use of energy storage for the electric trains.

Keywords: electric train, electric rolling stock, traction drive, synchronous traction motor, body tilt system, energy storage.