

дованию также передача энергии в бортовую сеть экипажа. Поездки по испытательному участку должны показать, что экипаж с линейным тяговым двигателем в состоянии преодолевать значительно бóльшие подъемы, чем традиционный тяговый подвижной состав.

Опытный экипаж оборудуется системой наклона кузова и активной системой рессорного подвешивания с соответствующими датчиками и устройствами обработки информации. Ходовая часть представляет собой одноосную тележку с вращающимися на оси колесами и системой активного направления в колее. На раме тележки установлена дополнительная рама системы наклона кузова в кривых.

В рамках разработанной программы планируют изучение взаимодействия всех компонентов указанных систем, предварительно исследованных на стендах, и их последующую оптимизацию на базе результатов исследования. В ходе испытаний максимальная скорость экипажа составит 10 м/с (36 км/ч), а ускорение при разгоне достигнет 1 м/с<sup>2</sup>.

Из соображений экономии энергии автономные экипажи планируется эксплуатировать в виде групп.



Рис. 9. Участок с длинным статором на эстакаде

На опытном участке можно будет изучить как соединение в группу, так и отклонение отдельных экипажей на ответвление. Параметры участка позволяют одновременно эксплуатировать до трех опытных экипажей. При этом особое значение придается изучению процессов активного направления тележек в колее при использовании пассивных стрелок.

*H. Grotstollen et al. Elektrische Bahnen, 2004, № 6, S. 243 – 248.*

## Демонстрационная система на магнитном подвесе со сверхпроводящими магнитами

*Демонстрационная система, получившая название *Supra Trans-Demonstrator*, предназначена для исследования возможностей транспортной системы на магнитном подвесе, в которой используются мощные магниты с высокотемпературной сверхпроводимостью. На первом этапе такие магниты решено испытать в системах подвеса и направления.*

За последнее время исследования в области мощных сверхпроводящих магнитов продвинулись далеко вперед, благодаря чему появилась реальная возможность использования их в транспортных системах. Проект *Supra Trans* должен дать ответ на вопрос о возможности реализации систем подвеса и направления на базе сверхпроводящих магнитов. Должны быть также разработаны условия применения их в транспортных системах.

Демонстрационный экипаж используется для проведения серий испытаний всех основных компонентов

системы: путевой структуры, линейного тягового привода, системы передачи энергии, а также устройств управления и обеспечения безопасности движения.

В рамках проекта запланирована проработка следующих системных аспектов:

- концепции и конструкторского решения надежной путевой структуры на базе постоянных магнитов и электромагнитов;
- тягового привода, действующего бесконтактно и, следовательно, без износа, конструкционно скомпонованного с системами подвеса и направления;
- экипажа, причем особое внимание должно быть уделено нагрузкам, вызванным поперечными силами, а также режимами движения, сопровождающимися галопированием и рысканием;
- энергоснабжения, в том числе сверхпроводящих магнитов, линейного привода и вспомогательных систем;
- концепции обеспечения безопасности пассажиров или сохранности груза;

- систем управления и обеспечения безопасности движения, особенно устройств определения местонахождения экипажа, определения расстояния до следующего остановочного пункта, концепции управления экипажем, который отклоняется на отвлечение;

- электромагнитного взаимодействия между системами подвеса, направления, тяги, энергоснабжения, а также датчиками схем управления и обеспечения безопасности движения.

По сравнению с другими техническими решениями рассматриваемая система на магнитном подвесе имеет следующие преимущества:

- устройства подвеса и направления могут иметь технически более простое решение, потреблять меньше энергии и за счет этого обходиться дешевле как по капитальным вложениям, так и по эксплуатационным затратам;

- путевая структура имеет более простую конструкцию;

- стрелочные переводы реализуются без использования механических перемещений элементов путевой структуры;

- система может быть использована и при скорости движения ниже 200 км/ч, т. е. на коротких, в том числе пригородных, линиях.

Проект, начатый в 2000 г., будет завершен в 2006 г. Он реализуется на средства Европейского фонда регионального развития (ERFE) и земли Саксония.

## **Сверхпроводник**

### *Разработки*

Сверхпроводимость открыл в 1911 г. голландский ученый Г. Камерлинг-Оннес в ходе исследований электрических свойств металлов высокой чистоты при температурах, близких к абсолютному нулю ( $-273,15^{\circ}\text{C}$ ). Он обнаружил, что ртуть при температуре, превышающей точку абсолютного нуля лишь на 4 К, полностью теряет электрическое сопротивление. С тех пор многие ученые искали материалы, которые обладали бы подобными свойствами при более высоких температурах и могли использоваться при изготовлении кабелей и электрических машин, не имеющих активных потерь. В 1986 г. швейцарские и немецкие ученые обнаружили свойства сверхпроводимости, проявляющиеся при более высоких температурах у многокомпонентной керамики на основе окиси меди. Сверхпроводящий материал получил название *Kupraten*. Это открытие позволило разработать высокотемпературный сверхпроводник (HTSL), рабочая температура которого несколько превышает температуру жидкого азота, равную  $-196^{\circ}\text{C}$ . Тем самым была обеспечена возможность

практического использования сверхпроводимости при значительно меньших затратах на системы охлаждения, чем, например, при использовании жидкого гелия.

В настоящее время ведутся исследования, направленные на получение сверхпроводников, работающих при еще более высоких температурах.

### *Физические основы сверхпроводимости*

Кроме отсутствия сопротивления, сверхпроводники характеризуются также высокими диамагнитными свойствами. В результате этого магнитные поля вытесняются наружу, образуя экранирующий поверхностный магнитный поток. Когда величина этого потока достигает критической величины, материал утрачивает сверхпроводящие свойства.

Так называемые сверхпроводники типа II, к которым относятся все материалы HTSL, являются исключением. Сверхпроводящая HTSL-матрица способна пропускать квантованный магнитный поток. Однако кванты магнитной энергии не могут свободно перемещаться в материале сверхпроводника, так как они замедляются нанокристаллическими дефектами его решетки. На рис. 1 эти дефекты показаны в виде черных точек. В связи с этим намагничивание материала сверхпроводника не вызывает изменений поверхностного поля и при наличии охлаждения сохраняется в сверхпроводящем состоянии.

Это явление назвали блокированием потока, или пиннингом. Оно может быть использовано для магнитного подвеса, для чего сверхпроводник должен располагаться на заданной высоте над магнитной шиной или иной намагниченной бесконтактной опорой. В такой системе изменение высоты расположения или боковые смещения сверхпроводника вызывают возникновение сил реакции, которые удерживают в стабильном положении квантованный магнитный поток и, соответственно, сам сверхпроводник.

Если рассматривать обычные магниты (постоянные или электромагниты), то здесь в принципе естественный стабильный подвес невозможен, однако он может быть достигнут при условии использования активной системы регулирования. Примером может служить магнитный подвес, реализованный в транспортной системе *Transrapid*.

При техническом использовании подвеса на базе HTSL блокирование магнитного потока должно быть как можно большим. Наилучшие возможности для этого предоставляет химическое соединение  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , или упрощенно материал YBCO. При значительном охлаждении он обеспечивает наилучшие магнитные свойства. В настоящее время на базе массива HTSL возможна реализация магнитов, которые при температуре 16 К выше абсолютного нуля

обеспечивают грузоподъемность 16 т и выдерживают усилия растяжения или сжатия до 5000 Н/см<sup>2</sup>.

Для того чтобы сверхпроводящие магниты с такими параметрами можно было использовать в транспортной системе для реализации бесконтактного подвеса, требуется несущее магнитное поле, которое выполняет такие же функции, как классическая система колесо — рельс. Это значит, что вдоль магнитной шины с гомогенным полем должен двигаться сверхпроводник, положение которого строго фиксировано по вертикали и горизонтали. В данном случае функции подвеса и направления идентичны.

### Демонстрационная система

#### Постановка задачи

Демонстрационный экипаж потребовался для того, чтобы подтвердить возможность использования сверхпроводящих магнитов в транспортной системе для подвеса и направления. Его размеры и параметры были выбраны таким образом, чтобы можно было наилучшим образом показать возможности новой системы. В связи с этим экипаж был сконструирован в расчете на перевозку как минимум одного человека или груза соответствующей массы. На первом этапе длина опытного участка была выбрана равной 7 м. Исходя из этих параметров выбирали величину ускорения при разгоне и максимальную скорость.

Для исследования основных функций системы с наименьшими затратами времени нужно было выбирать конструкцию и параметры модулей таким образом, чтобы обеспечивалось удобное размещение всех функциональных узлов и компонентов. В связи с этим были приняты следующие решения, определяющие первичную конфигурацию системы:

- путевая структура базируется на постоянных магнитах;
- линейный привод расположен вертикально;
- используется пассивный охладитель сверхпроводника;
- энергия с помощью подвижного контакта передается в накопитель, установленный на экипаже.

Решение о вертикальном расположении линейного привода принято в связи с тем, что на первом этапе благодаря этому не будет дополнительных горизонтальных усилий, воздействующих на экипаж. Этим обусловлено также решение использовать в конструкции экипажа традиционные технологии, которые в ходе дальнейших разработок должны поэтапно заменяться современными.

#### Компоненты

**Путевая структура с системами подвеса и направления.** Путевая структура состоит из двух параллельно расположенных направляющих шин. Для этого по-

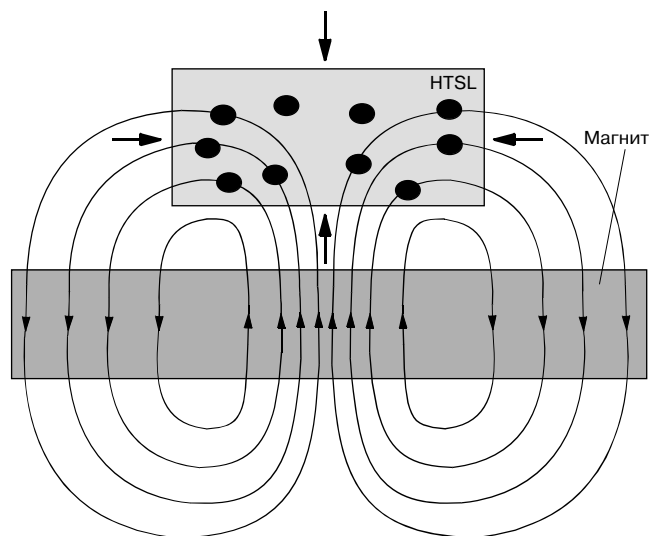


Рис. 1. Сверхпроводник в магнитном поле

требовалось такое решение магнитной системы, в которой обеспечивались бы гомогенность магнитного поля вдоль всего участка и возможно больший градиент поля в вертикальном направлении. Поскольку величина сил между сверхпроводником и магнитом пропорциональна магнитной индукции и градиенту поля, магнитные шины должны обеспечивать высокую и сконцентрированную индукцию. Это условие должно выполняться в зоне над магнитной шиной, чтобы между экипажем и путевой структурой обеспечивался достаточно большой воздушный зазор. В то же время магнитное поле не должно рассеиваться в окружающем пространстве. Все эти требования на первом этапе удалось удовлетворить

#### Основные технические данные демонстрационной системы Supra Trans

##### Путевая структура

Расстояние между серединами магнитных шин, мм. ....	575
Длина участка, м. ....	7
Магнитная индукция на высоте сверхпроводника, Тл. ....	0,6
Мощность тягового привода, кВт. ....	3,5

##### Экипаж

Длина, мм. ....	1322
Ширина, мм. ....	800
Масса тары, кг. ....	170
Максимальная масса перевозимого груза, кг. ....	350

##### Конденсаторный накопитель энергии

Напряжение, В. ....	42
Емкость батареи, Ф. ....	67
Энергоемкость, кВт.с. ....	59
Максимальная потребляемая мощность, Вт. ....	700

##### Общие параметры

Расстояние между сверхпроводником и магнитной шиной, мм. ....	13 – 18
Конструктивный воздушный зазор под криостатом, мм. ....	10 – 15
Максимальная сила подвеса, Н. ....	±100
Максимальное ускорение или замедление, м/с <sup>2</sup> , при общей массе экипажа 200 кг. ....	0,5
Демонстрационная скорость, м/с. ....	1

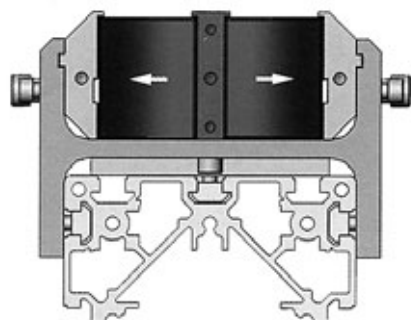


Рис. 2. Магнитная шина в разрезе

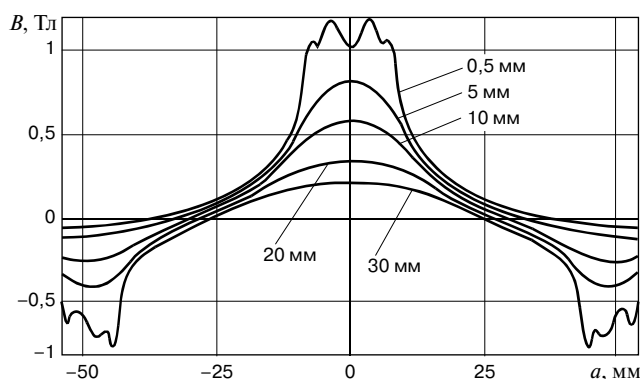


Рис. 3. Распределение магнитной индукции над магнитным рельсом:  $B$  — магнитная индукция;  $a$  — расстояние от центральной оси шины

благодаря использованию постоянных магнитов и экрана из магнитно-мягкого железа или стали, концентрирующего поле (рис. 2).

На рис. 3 показаны кривые распределения магнитной индукции над магнитной шиной. Как видно из характера кривых, величина магнитного поля в зоне нахождения пассажира или оператора значительно ниже допустимых значений.

На экипаже установлены четыре охладителя (криостата), в каждом из которых размещены 10 блоков сверхпроводящей керамики YBCO. Отдельный блок

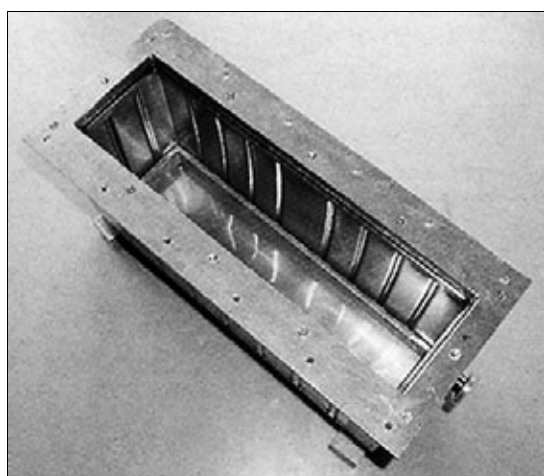


Рис. 4. Корпус пассивного криостата

представляет собой керамический брусок размером  $90 \times 30 \times 15$  мм.

Криостаты служат для того, чтобы сверхпроводящие блоки в течение минимум 9 ч сохраняли температуру  $-196$  °С. В качестве охлаждающей среды использовался жидкий азот. Криостат представляет собой сосуд из нержавеющей стали с двойными стенками (рис. 4). Особо критическим параметром системы является толщина изолирующего слоя между сверхпроводниками и магнитной шиной, так как она включает в себя воздушный зазор подвеса.

Сила, которая действует между сверхпроводящими блоками и магнитной шиной, зависит от их взаимного положения в пространстве, и прежде всего от положения сверхпроводников в охлажденном состоянии, а также от изменений их положения. Чем меньше расстояние охлажденного сверхпроводника от магнитной шины по вертикали, тем больше боковые силы направления. Сила подвеса увеличивается от нуля по мере приближения сверхпроводника к магнитной шине. На рис. 5 приведена соответствующая кривая для одиночного сверхпроводящего блока, охлажденного до рабочей температуры на высоте 40 мм над магнитной шиной. По мере его приближения к шине сила плавно увеличивается и достигает 115 Н на высоте 13 мм. Последняя складывается из расстояния от нижней плоскости сверхпроводящего блока до дна криостата, толщины дна и воздушного зазора величиной 10 мм. Для 40 сверхпроводящих блоков это соответствует силе, удерживающей на высоте 10 мм равномерно распределенную массу 470 кг. Если массу демонстрационного экипажа с грузом уменьшить на 50 %, сила подвеса, приходящаяся на один блок, снизится до 60 Н, а воздушный зазор увеличится лишь на 5 мм.

**Тяговый привод.** Для создания силы тяги в демонстрационной системе использован линейный асинхронный двигатель двойного питания. Он состоит из развернутого статора (первичного элемента), расположенного вдоль пути, и ротора (вторичного элемента), размещенного на экипаже. Оба компонента двигателя имеют трехфазные обмотки с полюсным делением  $\tau_p = 36$  мм. В отличие от линейного двигателя с коротким статором здесь всю энергию тяги не нужно передавать в экипаж.

Развернутый (длинный) статор выполнен в виде двойной гребенки с шагом зубцов 20 мм и вертикальным воздушным зазором. Динамика движения экипажа требует наличия боковых зазоров, которые в состоянии покоя должны иметь ширину 5 мм на сторону. Плоскость воздушного зазора системы подвеса расположена перпендикулярно соответствующей плоскости тягового привода. Благодаря этому простейшим способом выполняется условие неизменности силы тяги при колебаниях величины вертикального воздушного зазора. При горизон-

тальном расположении, т. е. параллельно плоскости воздушного зазора системы привода, последний развивает дополнительную силу притяжения, которая при наличии на экипаже ферромагнитного вторичного элемента может в 10 раз превысить силу тяги.

В связи с большим воздушным зазором тягового привода индукция, наводимая в зоне перекрытия части первичного элемента вторичным, не содержащим ферромагнитных компонентов, слишком мала, чтобы создать необходимую силу тяги. Это следует из динамики движения опытного экипажа: длина опытного участка с учетом тормозного пути и максимальной скорости определяет величину ускорения. Полученная из этого условия сила тяги  $F_{max} = 100$  Н требует как можно большего магнитного сцепления между первичным и вторичным элементами, что может быть достигнуто лишь путем уменьшения магнитного сопротивления. В связи с этим в конструкцию вторичного элемента ввели ферромагнитные сердечники, что позволило уменьшить рабочий воздушный зазор с 20 до 10 мм.

Развернутый статор, уложенный вдоль участка, разделен на два отрезка, включенных параллельно и подсоединенных к источнику питания. Каждый из отрезков состоит из десяти статорных сегментов: по пять слева и справа от воздушного зазора. Сегменты в каждом из отрезков соединены между собой последовательно, а выходы десятых сегментов могут переключаться в схему звезды.

Статор получает питание от трехфазной системы напряжением 400 В, частотой 50 Гц. В связи с этим линейная скорость перемещающегося электромагнитного поля в магнитном зазоре представляет собой синхронную скорость  $v$  и одновременно максимальную теоретическую в направлении движения экипажа:

$$v = 2\tau_p f = 2 \cdot 0,036 \cdot 50 \approx 3,6 \text{ м/с} \approx 13 \text{ км/ч.}$$

Для более высокой скорости требуется более высокая частота. Однако для других случаев применения системы потребуются также увеличение полюсного деления.

Вторичный элемент линейного двигателя расположен на нижней части экипажа в зоне магнитного зазора развернутого статора. Этот элемент состоит из трех независимых сегментов, которые закреплены в экипаже в линию с шагом в несколько полюсных делений. Электрически они, как и сегменты развернутого статора, включены последовательно и одновременно могут переключаться в звезду. Длина участка линейного двигателя, необходимая для создания силы тяги, равна 24 полюсным делениям. На рис. 6 схематично представлен асинхронный линейный тяговый привод.

Регулирование тягового привода осуществляется на экипаже путем генерирования трехфазного тока с

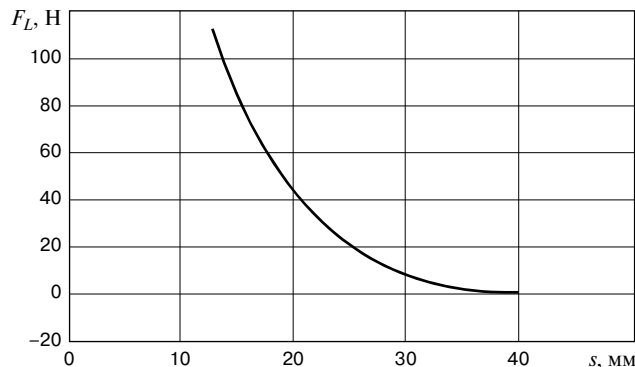


Рис. 5. Зависимость подъемной силы подвеса от высоты расположения сверхпроводящего блока над магнитной шиной:  
 $F_L$  — подъемная сила;  $s$  — высота расположения над шиной

асинхронной частотой, который подается в обмотку ротора (вторичного элемента двигателя). С его помощью можно ускорять или замедлять экипаж или устанавливать постоянную скорость движения. Энергия потребляется из бортовой сети постоянного тока и преобразуется бортовым трехфазным инвертором.

Информация о положении экипажа и частоте, отнесенная к движущемуся полю статора и необходимая для генерирования поля трехфазной системы, измеряется в магнитном зазоре с помощью датчиков Холла, установленных на экипаже. Информация, снимаемая с датчиков, оценивается регулятором тягового привода. На участке с развернутым статором могут двигаться, сближаясь, сцепляясь или распцепляясь, несколько экипажей.

**Опытный экипаж.** Экипаж спроектирован с использованием облегченных конструкций. Он обладает достаточной жесткостью, невосприимчивостью к магнитным воздействиям и устойчивостью к термическим нагрузкам. Он прост в монтаже, что особенно важно на стадии испытаний, так как при этом часто требуются замена и ремонт компонентов.

Экипаж базируется на несущей раме из алюминиевых профилей. Отдельные компоненты и узлы крепятся непосредственно на раме или на ее консолях (рис. 7).

На экипаже смонтированы системы подвеса и направления. С двух сторон размещено по два криоста-

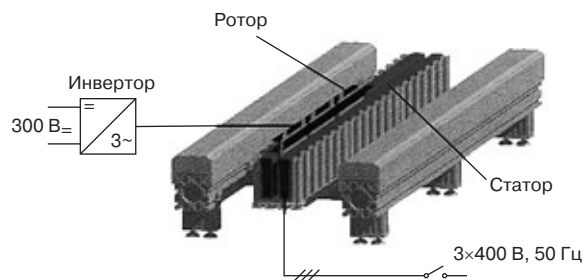


Рис. 6. Схема асинхронного линейного привода двойного питания

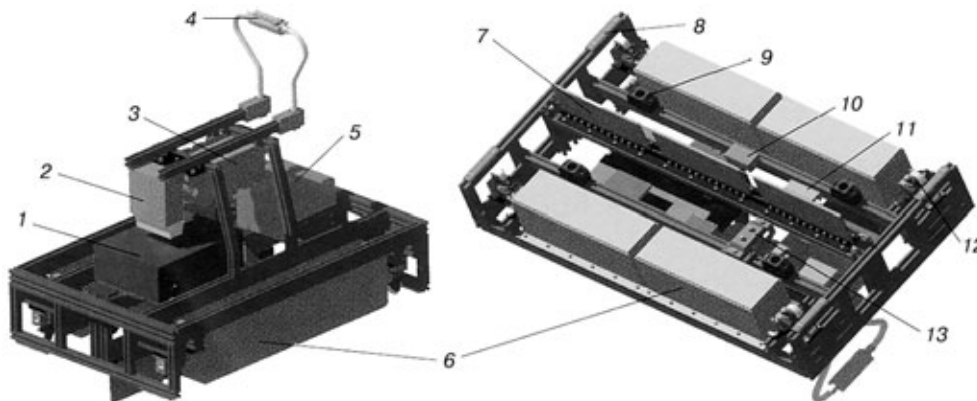


Рис. 7. Конструкция демонстрационного экипажа:

1 — регулятор; 2 — преобразователь питания линейного двигателя; 3 — накопитель энергии; 4 — ручка с пультом управления; 5 — бортовой компьютер; 6 — криостаты со сверхпроводящими магнитами; 7 — элемент обмотки ротора в линейном приводе; 8 — поверхность скольжения в случае аварии; 9 — гнездо для центрирующего штифта в механизме подъема и фиксации; 10 — прибор для определения положения экипажа на участке; 11 — датчик контроля изоляции; 12 — контакты для подключения к стационарной системе внешнего электроснабжения; 13 — транспортные ролики для технологических перемещений

та. Между ними смонтирован ротор линейного двигателя. При отключенных криостатах экипаж стоит на полимерных опорах. Облицовка экипажа изготовлена из трехкомпонентного полимера, армированного стекловолокном.

Техническое оснащение экипажа проектировали таким образом, чтобы все функции управления и регулирования можно было осуществлять только на экипаже, не используя для передачи информации вспомогательные путевые шлейфы или кабели для электроснабжения. В качестве бортового источника питания используется батарея двухслойных конденсаторов напряжением 42 В, заряжаемая от внешней стационарной сети.

На рис. 8 показана силовая схема экипажа, а также стационарная часть его системы электроснабжения. Регулятор постоянного тока соединяет батарею конденсаторов с промежуточным звеном постоянного напряжения 300 В. Потоки энергии в зависимости от режима работы идут в одном из двух направлений. Торможение при полностью заряженной батарее осуществляется с помощью тормозного резистора. Система регулирования экипажа интегрирована в преобразователь линейного двигателя. Силовая схе-

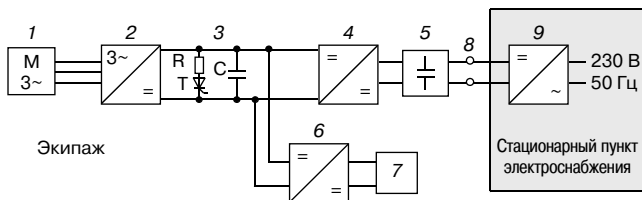


Рис. 8. Силовая схема экипажа:

1 — ротор линейного двигателя; 2 — преобразователь питания линейного двигателя; 3 — промежуточное звено постоянного напряжения с тормозным регулятором; 4 — регулятор; 5 — конденсаторный накопитель энергии; 6 — преобразователь питания цепей управления; 7 — цепи управления; 8 — контакты для подключения к внешнему источнику электроснабжения; 9 — стационарный зарядный агрегат

ма организована таким образом, что при однополюсном нарушении изоляции экипаж остается работоспособным. Это особенно важно для эксплуатации экипажа с магнитным подвесом, в котором первичная система торможения реализована на базе тягового привода.

**Вспомогательные устройства.** Систему обеспечения безопасности движения разработали, основываясь на требованиях к ускорению, задаваемому при регулировании тягового привода. Оно не должно:

- быть выше  $0,5 \text{ м/с}^2$ ;
- обуславливать скорость выше  $1 \text{ м/с} = 3,6 \text{ км/ч}$ ;
- действовать на всем испытательном участке.

Система управления и регулирования тягового привода выполняет также функции торможения и определения места расположения экипажа. От дополнительной системы торможения экипажа разработчики отказались. В качестве экстренного тормоза по обоим концам опытного участка установили буфера с упругими демпфирующими элементами. Их смонтировали так, чтобы длина участка сокращалась минимально и замедление не превышало  $3 \text{ м/с}^2$ .

Оператор (водитель) экипажа во время движения держится за ручку управления. Экстренный тормоз должен быть рассчитан лишь на небольшие значения максимальной скорости, чтобы обеспечивалась безопасность незащищенного водителя.

Система подъема и фиксации экипажа обеспечивает его подъем на заданную высоту магнитного подвеса при достижении соответствующей температуры сверхпроводников, а также фиксацию его в этом положении для посадки и высадки пассажиров. Эта система крепится четырьмя цапфами к основанию экипажа. Здесь же находится панель с контактами для подключения к стационарной сети электроснабжения для зарядки конденсаторов бортового накопителя.

При регулировании в режимах тяги или торможения необходима точная информация о положении экипажа на линии. Для этого используется датчик Холла, установленный в схеме ротора экипажа. В этом случае сначала определяется скорость экипажа на линии, на основании которой путем интегрирования рассчитывается пройденный путь  $s$ .

При высокой скорости или движении со стабилизированной частотой статора, например с помощью преобразователя, возможно достаточно точное определение на самом экипаже его положения.

При относительно низкой скорости демонстрационного экипажа воздействие колебаний частоты в сети усиливаются настолько, что работа системы определения положения становится возможной лишь при условии принятия специальных мер. После изучения различных возможностей была выбрана комбинация из оптической инфракрасной системы передачи точечных сигналов, генерируемых в соответствии с частотой в сети, и путевых маркеров. Для этого на обоих концах участка и в точках подключения питания развернутого статора установили маркеры, положение которых считывается блоком регулирования, размещенным на экипаже (рис. 9). После того как на одном из маркеров система рассчитает точное положение экипажа, дальнейшая работа ее продолжается обычным способом с детектированием поля статора.

**Концепция эксплуатации.** Демонстрационная система в первую очередь предназначена для испытания отдельных компонентов и их взаимодействия. Исходя из этого запланировали различные эксплуатационные режимы. Так, система управления испытывалась как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Включение демонстрационной системы производится только с экипажа (рис. 10). В автоматическом режиме работа начинается с нажатия кнопки пуска на пульте экипажа, после чего экипаж движется с заданными заранее значениями скорости, ускорения и замедления.

В режиме ручного управления с помощью кнопок и рукоятки задаются направление движения и величина ускорения. При этом в любой точке участка экипаж можно остановить, изменить направление движения и пункт назначения.

**Испытания**

В рамках опробования демонстрационной системы проведен широкий спектр испытаний по проверке ее безопасности и функциональных возможностей. Последнее подразумевает исследование взаимодействия компонентов и определение следующих параметров:

- величины сил подвеса и направления;

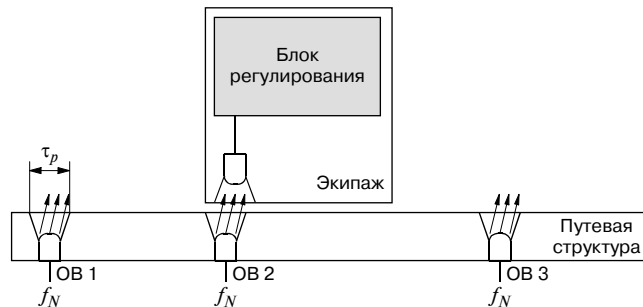


Рис. 9. Схема расположения путевых маркеров: ОВ 1 – ОВ 3 – путевые маркеры;  $f_N$  – частота сети;  $\tau_p$  – полное деление

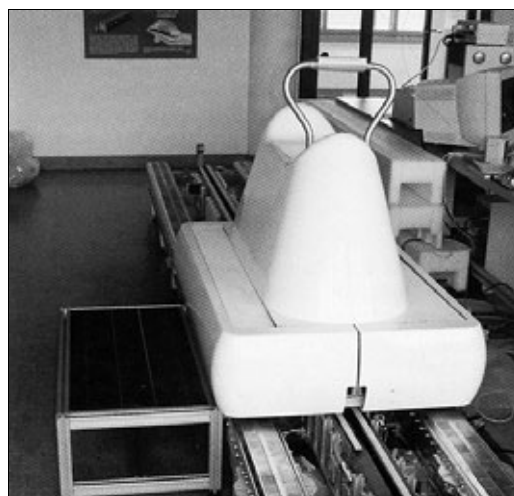


Рис. 10. Демонстрационная система в лаборатории



Рис. 11. Демонстрационная система Supra Trans на выставке InnoTrans 2004

- влияния степени нагруженности экипажа на системы подвеса и направления;
- величины силы тяги и токовой нагрузки тягового привода.

Помимо этого, проводилась проверка системы позиционирования и определения местоположения экипажа, функционирования системы энергоснабжения и устройства подъема.

Проверка безопасности включала изучение степени защищенности персонала и определение следующих параметров, влияющих на безопасность:

- напряжения прикосновения;
- уровня электромагнитных влияний;
- величины нагрузок, вызываемых экстренным торможением.

### Выводы

Демонстрационная система, построенная в Дрездене и экспонировавшаяся на выставке InnoTrans 2004 (рис. 11), является промежуточным этапом в создании транспортной системы на магнитном подвесе на базе новейших технологий. После завершения испытаний

демонстрационной системы планируется проведение дальнейших исследований:

- путевой структуры с электромагнитными стрелочными переводами без механических компонентов;
- вертикального расположения тягового привода;
- криостата с электрическим охлаждением;
- бесконтактной передачи энергии в бортовую сеть экипажа.

Если эти этапы исследований завершатся успешно, появится возможность создания на базе новейших технологий транспортной системы на магнитном подвесе, которая может эксплуатироваться в диапазоне значительно более низкой скорости, чем существующая система Transrapid.

Новая система может иметь широкий диапазон применения — от пригородных пассажирских перевозок до транспортировочных операций на предприятиях, например, электронной промышленности в условиях высокой стерильности производства.

*O. de Haas et al. Elektrische Bahnen, 2004, № 8/9, S. 369 – 376.*

## Внедрение системы ETCS на линии Берлин — Ютербог — Галле/Лейпциг

*Эксплуатационные испытания системы ETCS на пилотной линии Берлин — Ютербог — Галле/Лейпциг начались в декабре 2003 г. Между компаниями Alcatel и Siemens, а также железными дорогами Германии (DBAG) согласован поэтапный план проведения процедуры ввода системы в эксплуатацию. В октябре 2004 г. начались испытания с целью проверки безопасности, при успешном завершении которых будут созданы технические предпосылки для создания единой европейской железнодорожной сети.*

Линия Берлин — Ютербог — Галле/Лейпциг стала первой в Германии магистралью, оснащенной новой европейской системой управления движением поездов ETCS. Особое внимание уделялось допуску системы в эксплуатацию, что обусловлено не только внедрением новой технологии, но и потребностью в согласовании европейской и принятой в Германии процедур допуска. В связи с этим процесс допуска был разделен на следующие этапы:

- этап 0 — инициализация;

- этап 1 — предсерийные испытания (с июля 2003 г.);
- этап 2 — эксплуатационные испытания без проверки безопасности (с декабря 2003 г.);
- этап 3 — эксплуатационные испытания с проверкой безопасности (с октября 2004 г.);
- этап 4 — эксплуатационные испытания с проверкой надежности (эксплуатация ETCS с полной ответственностью за обеспечение безопасности);
- этап 5 — допуск к эксплуатации в соответствии с положением об эксплуатационной совместимости железных дорог (EIV).

В поэтапном плане зафиксированы все условия, необходимые, требуемые действия и ожидаемые результаты для каждого этапа.

### Этап 0 — инициализация

Одна из важнейших задач этапа 0 состояла в разработке концепции допуска к эксплуатации системы ETCS на линии Берлин — Ютербог — Галле/Лейпциг.