

# Электроснабжение пассажирских поездов от локомотива

На железных дорогах Индии (IR) для электроснабжения пассажирских поездов с вагонами, оснащенными системами кондиционирования воздуха, традиционно использовались специализированные вагоны-электростанции или индивидуальные системы генерации электроэнергии в отдельных вагонах. После проведения испытаний впервые поступил в регулярную эксплуатацию поезд, электроснабжение вагонов которого полностью осуществляется от локомотива.

В феврале 2011 г. на IR начата регулярная эксплуатация пассажирского поезда с электроснабжением всех вагонов от электровоза. Новой системой, получившей название Head-On Generation (HOG), оснащен поезд Shatabdi Express сообщения Нью-Дели — Калка. Согласно расчетам, переоборудование одного 24-вагонного поезда, обеспечивающее возможность получать энергию для питания пассажирских вагонов от локомотива, а не от индивидуальных генераторов или вагона-электростанции, позволит сократить потребление электроэнергии на сети IR приблизительно на 700 тыс. кВт·ч в год.

## Разные схемы электропитания

Внедрение системы HOG немаловажно и с экологической точки зрения, поскольку оснащение ею только одного поезда позволяет сократить выбросы парниковых газов на величину, эквивалентную 350 т углерода в год; к тому же устраняется шум, создаваемый работающими дизель-генераторными установками вагонов-электростанций. Благодаря этому IR могут получать значительный углеродный кредит (плату за нереализованный объем

разрешенных выбросов соединений углерода), что поможет оправдать затраты на переоборудование локомотивов.

Работы по созданию системы HOG велись Организацией по исследованиям, проектированию и стандартизации (RDSO) министерства железных дорог Индии с 1999 г. Потребная мощность на собственные нужды каждого поезда-экспресса Shatabdi или подобного ему Rajdhani, состоящего из 18–20 оснащенных системами кондиционирования воздуха вагонов, составляет около 1000 кВт·А, а

24-вагонного поезда, в составе которого системы кондиционирования используются лишь на нескольких вагонах, — 700 кВт·А.

С учетом значительной потребности в энергии для питания бортового оборудования пассажирских поездов были рассмотрены два возможных схемных решения: централизованное и распределенное. В первом случае используются два преобразователя однофазного тока в трехфазный мощностью 500 кВт·А, установленные на локомотиве или в переоборудованном вагоне-электростанции. Передача электроэнергии осуществляется по двум поездным проводам. При распределенной схеме на каждом вагоне, оснащенном кондиционером, устанавливаются два преобразователя мощностью 25 кВт·А, питающее напряжение к которым подается по однофазной поездной линии.

С 1994 г. в поезде Sapthagiri Express сообщения Ченнай — Тирупати использовалась схема питания систем освещения и вентиляции не оснащенных системами кондиционирования воздуха пассажирских вагонов (рис. 1 и 2) от электровоза. В то же время вагон первого класса с местами для сидения, оснащенный системой кондиционирования, имел собственный источник



Рис. 1. Поезд Sapthagiri Express



Рис. 2. Интерьер вагона поезда Sapthagiri Express



Рис. 3. Электровоз WAP7 № 30277, переоборудованный для питания пассажирского поезда

Таблица 1

**Технические характеристики преобразователя системы НОГ для электроснабжения пассажирского поезда**

Параметры	Значение
Входное напряжение, В	525–900
Напряжение контактной сети переменного тока, кВ	17,5–30
Продолжительная выходная мощность при коэффициенте мощности 0,8, кВ·А	500
Кратковременная мощность в течение 5 с, кВ·А	550
Выходное трехфазное напряжение частоты 50 Гц, В	750
Входной коэффициент мощности при полной нагрузке	0,95
Гармоники тока при полной нагрузке (до 20-й гармоники частотой 1000 Гц), %	Менее 5
Охлаждение	Принудительное
КПД при полной нагрузке, %	93
Напряжение постоянного тока системы управления, В	110
Уровень шума на расстоянии 1 м, дБ (А)	Менее 80
Габаритные размеры преобразователя, мм	1400 × 1075 × 1750
Габаритные размеры входного трансформатора, мм	300 × 1075 × 1750
Габаритные размеры ящика с коммутационной аппаратурой, мм	384 × 700 × 434
Общая масса оборудования, т	2,5

электроэнергии. В ноябре 2007 г. на этот вагон данного поезда были установлены два преобразователя мощностью 25 кВ·А. Таким образом,

Sapthagiri Express стал первым на сети IR поездом, электроснабжение которого полностью обеспечивалось при помощи системы НОГ.

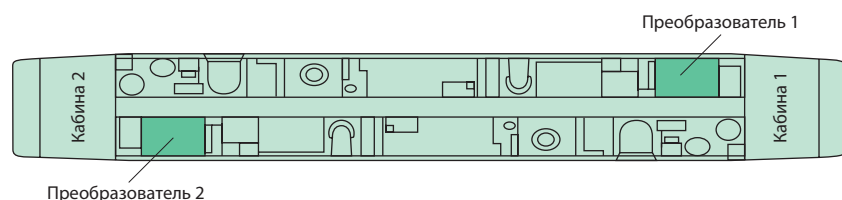


Рис. 4. Расположение оборудования на электровозе WAP7, оснащенном системой электроснабжения пассажирских вагонов

## Переоборудование локомотива WAP7

Для испытаний системы НОГ использовался электровоз серии WAP7 № 30277 (рис. 3), переоборудованный на локомотивостроительном заводе в г. Читтаранджан в июле 2010 г. Локомотив серии WAP7 фактически представляет собой пассажирскую версию грузового электровоза серии WAG9 с измененным передаточным отношением тягового редуктора, позволяющим получить более высокую скорость на ободу колеса. Поскольку на установленном на данном локомотиве трансформаторе не было предусмотрено специальной обмотки для питания пассажирских вагонов и соответствующих элементов системы управления, электровоз был оснащен трансформатором от электровоза серии WAP5 с обмоткой для питания вспомогательных нагрузок, рассчитанной на мощность 945 кВ·А.

Два изготовленных компанией Siemens статических преобразователя мощностью 500 кВ·А (табл. 1) были размещены позади обеих кабин машиниста. Ввиду нехватки места пришлось частично изменить расположение оборудования в кузове локомотива (рис. 4). Преобразователи имеют принудительное воздушное охлаждение, охлаждающий воздух поступает через фильтры, расположенные по бокам локомотива.

Силовая схема и цепи управления электровоза также претерпели некоторые изменения (рис. 5). От обоих преобразователей трехфазное напряжение питания поступает через разъемы на сцепных приборах по обоим концам локомотива к переоборудованному вагону-электростанции и далее по всему поезду. Сцепные приборы были приспособлены для передачи управляющих сигналов между локомотивом и вагоном-электростанцией.

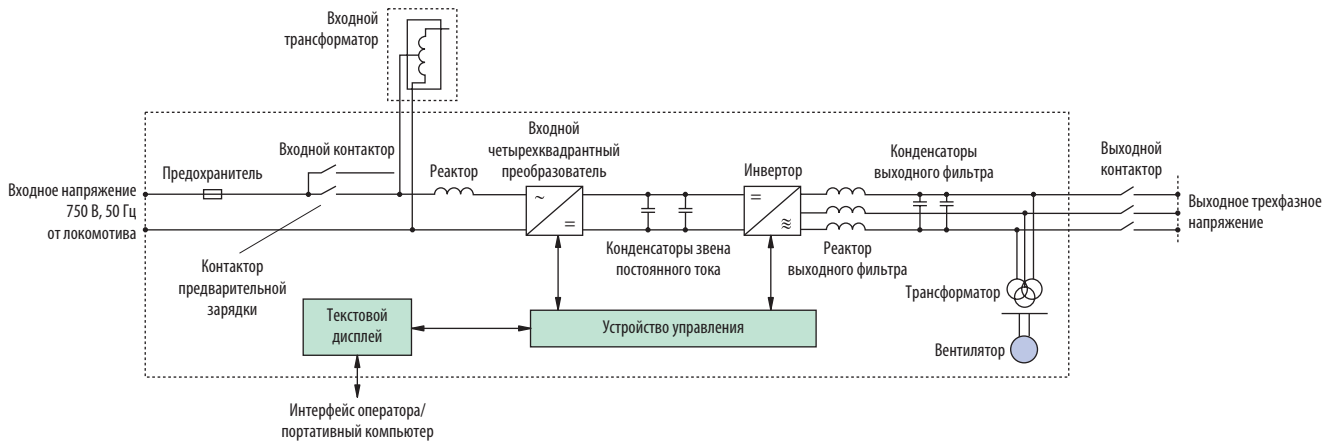


Рис. 5. Схема преобразователя для питания пассажирских вагонов

### Схема питания пассажирских вагонов

При формулировании основных требований к схеме было принято решение, что от преобразователя А питание будет подаваться по линии А, от преобразователя В — по линии В и наоборот (рис. 6). Перед проведением испытаний два дизельных вагона-электростанции адаптировали для работы с системой НОГ. Электрические цепи локомотива соединили с установленным на вагоне-электростанции дизель-генератором переменного тока.

Имеющееся бортовое оборудование пассажирских вагонов должно было надежно работать при питании как от локомотива, так и от вагона-электростанции. Для проведения испытаний 11 пассажирских вагонов переоборудовали, чтобы обеспечить энергоснабжение от локомотива, при этом их электрические цепи были приспособлены для питания системы освещения только от аккумуляторной батареи при прохождении нейтральной вставки. Поскольку ранее пассажирские вагоны получали питание от генератора вагона-электростанции по четырехпроводной системе, а при питании от электровоза по системе НОГ используются три провода, потребовалось установить трансформатор 750/415 В.

Затем провели как статические, так и ходовые испытания переоборудованных вагонов; последние — с целью изучения взаимодействия источника питания и преобразователей при прохождении нейтральной вставки. Работу системы в реальных условиях проверяли в испытательных поездках без пассажиров по маршруту Нью-Дели — Амбала в общей сложности в течение более чем 50 ч.

В ходе предварительных испытаний в июле-августе 2010 г. контролировалось качество электроэнергии на обмотках 750 и 415 В

установленного на вагоне-электростанции трансформатора мощностью 60 кВ·А. Дизель-генератор и система питания пассажирских вагонов от локомотива совместно работали вполне удовлетворительно.

В то же время обнаружилось проблемы при работе некоторых элементов оборудования, в частности индикаторных панелей на отдельных вагонах и цепей сглаживающего фильтра. Эти проблемы удалось решить путем установки фильтров на стороне вторичной обмотки трансформатора мощностью 60 кВ·А, что позволило повысить

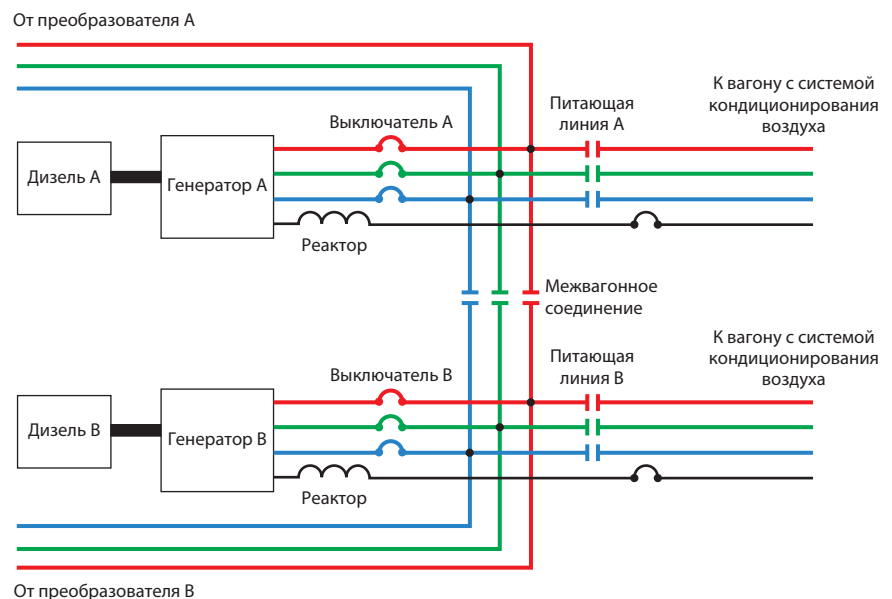


Рис. 6. Схема соединения цепей локомотива и переоборудованного вагона-электростанции

Таблица 2

**Сокращение затрат жизненного цикла за счет внедрения системы НОГ, млн рупий**

Экономия (+), дополнительные расходы (—)	По сравнению с питанием от вагонных генераторов <sup>1</sup>	По сравнению с питанием от вагона-электростанции <sup>2</sup>
Установка/замена электрооборудования	+ 54,1	— 46,8
Экономия энергии	+ 343,0 <sup>3</sup>	+554,2
Снижение/рост затрат на тягу поездов	+ 18,3	0
Потери из-за уменьшения пространства для размещения багажа	— 85,8	0
Экономия/потери из-за увеличения/уменьшения пассажироместимости	— 23,0	+167,1
Чистая экономия при сроке службы вагона 30 лет	+306,6	+674,5

<sup>1</sup>Поезд из 24 вагонов, из которых 10 — с кондиционированием воздуха.

<sup>2</sup>Поезд Rajdhani Express из 19 вагонов с кондиционированием воздуха.

<sup>3</sup>Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии — 4,4 рупии, 1 л дизельного топлива — 34,2 рупии.

качество электроэнергии. Дальнейшие испытания, проведенные в октябре 2010 г., подтвердили правильность примененных технических решений.

**Энергетические показатели и финансовые затраты**

При КПД трансформатора локомотива, равном 98%, и КПД преобразователя, равном 93%, относительный КПД системы НОГ составляет 91%, тогда как КПД системы питания от вагонных аккумуляторных батарей — только 53%. Стоимость 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии при использовании предложенной системы — 4,8 рупии (100 рупий ≈ 2,25 дол. США), при

питании от вагонных генераторов — 8,3 рупии, от вагонов-электростанций — 9,9 рупии. Использование системы НОГ дает возможность существенно сократить расходы в течение жизненного цикла (табл. 2).

Успешные результаты испытаний позволили начать регулярную эксплуатацию поезда с питанием пассажирских вагонов от локомотива на основе системы НОГ. Более того, принято решение о поэтапном повсеместном внедрении данной схемы на ИР.

В то же время остаются определенные проблемы, требующие решения. Мощность используемого сейчас трансформатора составляет 945 кВ·А при номинальном напряжении 25 кВ и частоте 50 Гц. Однако напряжение контактной сети на железных дорогах Индии может колебаться от 17,5 до 30 кВ, а в отдельных случаях — от 16,5 до 31 кВ. При значительном снижении напряжения мощность трансформатора может оказаться недостаточной. Поэтому для обеспечения работы системы даже при минимальном значении напряжения контактной сети требуется изменение параметров обмотки трансформатора,

предназначенной для питания пассажирских вагонов.

В предложенной схеме оба преобразователя получают питание от одной обмотки, вследствие чего существует возможность циркуляции тока между ними. Более целесообразным решением было бы применение отдельных обмоток, но реализация такого варианта проблематична ввиду ограниченности размеров трансформатора.

Тем временем ведется разработка встроенного преобразователя для электроснабжения пассажирских вагонов, получающего питание от звена постоянного тока тягового преобразователя. Такое решение предполагается применить на электровозе серии WAP5, где пространство для размещения оборудования ограничено.

Продолжается также поиск возможностей обеспечения питания собственных нужд поезда путем переключения обмоток трансформатора на электровозах серии WAP4 — наиболее распространенных пассажирских локомотивах железных дорог Индии. Разработан опытный образец трансформатора с обмоткой для питания пассажирских вагонов. На локомотиве данной серии компрессоры предполагается разместить под кузовом, а на освобожденном месте установить преобразователи. Однако пока не решен вопрос о возможности использования существующих выходных фильтров и системы охлаждения.

При использовании двух преобразователей мощностью 500 кВ·А с коэффициентом мощности 0,8 их суммарная полезная мощность составит лишь 800 кВт. Этого недостаточно для электроснабжения 24-вагонных поездов Rajdhani или Shatabdi Express (рис. 7), поэтому коэффициент мощности преобразователей необходимо увеличить до 0,95.



Рис. 7. Поезд Shatabdi Express с вагонами, оснащенными системами кондиционирования воздуха

S. Goyal et al. Railway Gazette International, 2011, № 5, p. 58–60; материалы RDSO (www.rdsso.indianrailways.gov.in).