

# Снижение массы пригородных электропоездов

**Компании — изготовители железнодорожного подвижного состава изучают возможности снижения его массы, что, как известно, позволяет уменьшить потребление топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов и сократить общие расходы жизненного цикла. Опыт японских компаний подтверждает, что следование этой стратегической линии приносит благоприятные результаты.**

Стоимость топливно-энергетических ресурсов в последние годы показывает явную тенденцию к дальнейшему росту. Это вынуждает операторов изыскивать пути уменьшения потребления топлива и электроэнергии на тягу поездов, и одним из этих путей является снижение массы подвижного состава. Однако чтобы следовать этому пути, необходимо преодолеть серьезные препятствия, обусловленные рядом факторов, которые вступили в силу в относительно недавнем времени. К числу основных из них можно отнести следующие.

Во-первых, были приняты новые, более жесткие стандарты на сопротивляемость подвижного состава динамическим воздействиям при столкновениях, что привело к необходимости усиления, а следовательно, и утяжеления конструкции кузовов с внесением в нее дополнительных элементов.

Во-вторых, для удовлетворения запросов пассажиров на более комфортные условия поездки подвижной состав все чаще стали оснащать дополнительным и энергоемким оборудованием, например системами кондиционирования воздуха и т. п.

В-третьих, ужесточились требования по созданию на борту поездов оптимальных условий (опять же за счет установки дополнительного оборудования, например специально оснащенных туалетов) для поездок пассажиров с ограни-

ченными физическими возможностями.

Для преодоления указанных препятствий (а их перечень отмеченными не ограничивается) на железных дорогах разных стран принимают разные меры.

В Великобритании работу в данном направлении организуют Ассоциация компаний-операторов (АТОС) и консультативная группа по исследованиям и инновациям на железнодорожном транспорте. Поставлена цель снижения массы тары пассажирского подвижного состава на 30%. В ноябре 2005 г. состоялся семинар на эту тему, направленный на улучшение понимания проблемы и связанных с ее решением препятствий, возможностей и альтернатив. Участники семинара пришли к выводу, что целесообразно использовать опыт железных дорог Японии, в частности компании JR East, которая за

последние 50 лет добилась снижения массы тары пригородных электропоездов почти в 2 раза.

## Эволюционная стратегия

Железнодорожная компания JR East обслуживает пригородные (в том числе в регионе Токио) и высокоскоростные пассажирские сообщения на самом крупном в Японии острове Хонсю. Ежедневно JR East перевозит до 16 млн. пассажиров, т. е. в 6 раз больше, чем все компании-операторы железных дорог Великобритании. Общая численность вагонного парка компании составляет примерно 12 тыс. ед., из которых примерно 1100 ед. приходится на вагоны высокоскоростных поездов.

На рис. 1 схематично представлена эволюция электропоездов, эксплуатируемых в регионе Токио. В 1950-х годах, т. е. еще во времена существования Национальных железных дорог Японии (JNR), вагоны этих поездов были относительно тяжелыми, хотя за счет оптимизации планировки, оснащения пассажирских салонов и перехода на

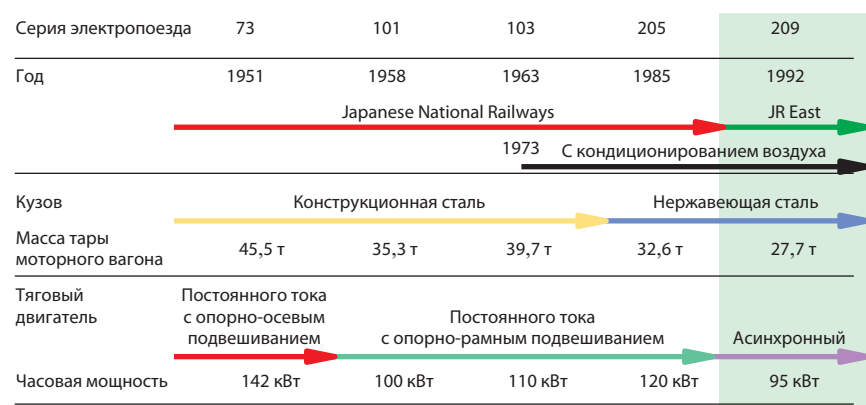


Рис. 1. Эволюция пригородных электропоездов железных дорог Японии с точки зрения снижения массы тары вагонов



Рис. 2. Электропоезд серии 205



Рис. 3. Электропоезд серии 209

другие тяговые двигатели к 1958 г. удалось снизить массу тары вагона примерно на 10 т. Однако после этого вступили в силу факторы, обусловленные требованиями по повышению уровня комфорта для пассажиров, и эта экономия в массе существенно уменьшилась из-за установки в вагонах нового оборудования (систем кондиционирования воздуха, информирования пассажиров и др.).



Рис. 4. Электропоезд серии E231

Очередное значительное снижение массы вагонов было достигнуто в 1980-х годах благодаря применению кузовов из нержавеющей стали и использованию метода конечных элементов при расчете конструктивных элементов вагонов. Примером оптимизации массовых параметров стал электропоезд серии 205 (рис. 2).

После денационализации JNR деятельность по облегчению вагонов продолжили вновь созданные железнодорожные компании группы Japan Railways, в том числе JR East. В качестве одной из целей создания электропоездов нового поколения серии 209 (рис. 3) JR East поставила сокращение суммарных затрат жизненного цикла. При этом компания руководствовалась концепцией «в 2 раза меньшая масса — в 2 раза меньший срок службы — в 2 раза меньшие стоимость и эксплуатационные расходы».

Компания начала работу в данном направлении с постройки в своих мастерских трех опытных электропоездов серии 901 (затем эти поезда получили серийное обозначение 209.900). Они были оснащены различными комплектами оборудования для проведения сопоставительных испытаний, по результатам которых предполагали выбрать наиболее приемлемый вариант.

Среди оцениваемых компонентов были главные тяговые преобразователи, тяговые двигатели, кузова, двери и их привод, установки кондиционирования воздуха, контроллеры машиниста, элементы оснащения интерьера пассажирских салонов. По завершении испытаний и анализа их результатов JR East могла определить окончательный вариант, принятый для массового производства электропоездов серии 209.

В итоге общая масса тары 10-вагонного поезда была снижена на 122 т, т.е. на 34 % по сравнению с поездом серии 103, эксплуатировавшимся во времена JNR. В том числе около 30 т было сэкономлено на ку-

зовах, 35 т на тележках и 20 т на оборудовании тягового привода.

За счет умелой организации тендеров на поставку поездов цену вагонов удалось снизить на 30 %, даже несмотря на дополнительную стоимость оборудования, устанавливаемого в целях повышения уровня комфорта для пассажиров. Кроме того, снижение массы и переход на асинхронный тяговый привод с возможностью рекуперативного торможения позволили уменьшить на 53 % потребление электроэнергии. Дальнейшее сокращение затрат на техническое обслуживание и ремонт поездов было достигнуто благодаря совершенствованию конструкции с применением модульного принципа и внедрению новых технологических процессов.

Электропоезда серии 209 были впервые введены в эксплуатацию на линии Кейхин Тохоку в 1993 г. Вскоре после этого последовал ввод в обращение модифицированных электропоездов серии 209.500 на линии Собу, пересекающей центр Токио.

Однако уже через 7 лет после начала эксплуатации электропоездов серии 209 JR East создала пригородный поезд нового поколения, получивший серийное обозначение E231 (рис. 4), и организовала его массовое производство. Самым заметным новшеством этих электропоездов стал перевод элементной базы тяговых преобразователей с GTO-тиристоров на IGBT-транзисторы, а также внедрение современной микропроцессорной системы управления и контроля. Эта прогрессивная технология позволила использовать поезда с одинаковым тяговым приводом для обслуживания как внутригородских, так и пригородных сообщений.

Первые электропоезда серии E231 были введены в обращение на линии Йоубан в 2001 г., затем в 2002 г. они появились на линии Яманоте, отличающейся значительными пассажиропотоками. В 2005 г. поезда серии E231, адаптированные

Сравнение электропоездов разных серий

Параметр	Серия электропоезда				
	V	9000	209	209.500	E231
Страна, город	Австрия, Вена	Испания, Мадрид	Япония, регион Токио		
Компания-изготовитель	Siemens	AnsaldoBreda	Kawasaki, Tokyu Car, JR East		
Составность	ПУ+4М+ПУ	МУ+П+М+М+П+МУ	ПУ+2М+3П+2М+П+ПУ		
Длина, м	111,2	108,3	200,0		
Ширина кузовов, мм	2850	2808	2800	2950	
Масса тары, т	162,6	193,0	241,0	255,0	256,0
Число мест для сидения	260	178	522	518	
Число мест для пассажиров, едущих стоя (из расчета 6 чел./м <sup>2</sup> )	1360	1094	1832	1926	
Общая пассажировместимость, чел.	1620	1272	2354	2444	
Удельная масса, кг/чел.	100,37	151,73	102,38	104,34	104,75

Примечание: ПУ — прицепной вагон с кабиной управления; М — промежуточный моторный вагон; МУ — моторный вагон с кабиной управления; П — промежуточный прицепной вагон.

ные для обслуживания сообщений большей дальности, были направлены на линию Токайдо. Общая численность вагонов эксплуатируемых поездов серии E231 уже превысила 4000 ед.

## Сравнение

В таблице приведены в сравнении основные технические характеристики современных поездов серий 209, 209.500 и E231, эксплуатируемых в системах городского рельсового транспорта Японии (в основном в регионе Токио), и поездов серий V (рис. 5) и 9000 (рис. 6), эксплуатируемых в двух городах Европы — Вене и Мадриде соответственно.

С первого взгляда видно, что японские поезда формируются из 10 вагонов, европейские — из шести. Поэтому при сравнении во внимание принималась удельная (на одного пассажира) масса поездов.

Следует также учесть, что в Японии число пассажиров, едущих стоя, определяется исходя из 0,3 м<sup>2</sup> площади пола на каждого. Таким образом, полная расчетная (номинальная) населенность поезда имеет место тогда, когда заняты все места для сидения, а плотность

стоящих пассажиров находится на указанном уровне, т. е. примерно 3 чел. на 1 м<sup>2</sup>. При увеличенной населенности, т. е. при 6 чел./м<sup>2</sup>, как принято в таблице, плотность стоящих пассажиров составляет 180 % расчетной. В то же время в Японии максимально допустимая плотность на практике более чем в 1,5 раза превышает указанную выше, т. е. достигает 10 чел./м<sup>2</sup>, так что в таких условиях при том же числе мест для сидения критическая населенность поезда составляет 250 % номинальной.

Вагоны поездов метрополитена Вены по массогабаритным показателям в общем находятся на том же уровне, что и поездов JR East. Вагоны поездов метрополитена Мадрида короче и тяжелее. Это объясняется, по-видимому, применением более тяжелых тележек, наружных дверей, кресел, оборудования кабин управления, систем информирования пассажиров и внутреннего видеонаблюдения. Еще одним фактором является меньшее расчетное число пассажиров, едущих стоя, что определяется относительно малой шириной вагонов (поперечное расстояние между продольными диванами для сидения равно всего 1500 мм), большими размерами самих диванов и наличием зо-



Рис. 5. Электропоезд серии V



Рис. 6. Электропоезд серии 9000





Рис. 7. Распределение массы вагона электропоезда по составляющим

ны, выделенной для лиц с ограниченными физическими возможностями, из-за чего пространство для стоящих пассажиров существенно сокращено.

Как бы то ни было, характеристики поездов, в том числе пассажироместность, в конечном счете определяются компанией-оператором, которая их эксплуатирует. Компании-изготовители способны выполнить любое задание, но могут иметь место случаи, когда оператор предпочитает скорее создать лучшие условия для сидящих пассажиров, чем увеличивать общую населенность поездов за счет пассажиров, едущих стоя.

### Материалы и технологии

Опыт Японии доказывает возможность сокращения затрат, в том числе на топливно-энергетические ресурсы, за счет облегчения подвижного состава. Не следует пренебрегать также и тем, что легкий подвижной состав оказывает меньшее воздействие на инфраструктуру, а это позволяет, например, снизить износ рельсов. Можно задаться вопросом: почему в Европе использование легких материалов, таких, как композиты, в конструкциях подвижного состава распространено меньше, чем в Японии (там ком-

позиты применяются для изготовления, например, панелей внутренней обшивки вагонов, и благодаря этому снижаются производственные расходы)?

Есть ряд проблем технического плана, которые следует при этом рассмотреть. В их число входит, в частности, усложнение конструкции и технологии изготовления элементов из композитов, наиболее широко используемых в кузовных структурах. Однако есть и другие преграды, которые на этом пути предстоит преодолеть европейским компаниям.

С данной проблемой связана выполняемая в настоящее время и финансируемая Европейским союзом программа Modurban. В рамках этой программы над темой «Устранение препятствий к использованию легких материалов» работает группа, в которую входят специалисты компаний Alstom, AnsaldoBreda, Bombardier, Siemens, NewRail и администрации городского транспорта Рима АТАС. В ее функции входят содействие конструкторам и проектировщикам в оценке преимуществ и недостатков новых материалов в сравнении со старыми и выяснение правовых и ментальных осложнений, которые предстоит устранить.

В начале работы группа изучила распределение массы тары ти-

пичного современного вагона поезда метрополитена по составляющим (рис. 7).

Видно, что от 75 до 80% общей массы тары вагона приходится на пять основных компонентов: тележки (40%), кузовы вчерне (20%), оборудование интерьера кузова (10%), оборудование систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (5%) и двери (5%).

На следующем этапе работ было важно определить, на какие компоненты вагона и, соответственно, на какую долю массы тары может потенциально влиять замена одних материалов другими. Так, в оборудовании интерьера кузова переход на новые материалы относительно прост, а в оборудовании систем искусственного климата — гораздо сложнее.

В общем случае к числу компонентов вагона, массу которых можно снизить за счет применения новых материалов, относятся тележки, обшивка кузова, двери, окна, межвагонные переходы, сцепные устройства, кресла, оборудование систем связи и наблюдения, оборудование кабины управления, различные наружные приспособления; к числу тех, с которыми это осуществить сложнее, — тяговый привод и силовая установка, система электропитания бортовых потребителей энергии, тормозная система и пневматическое оборудование, оборудование систем искусственного климата и информирования пассажиров, провода, кабели и ряд других. Анализируя этот перечень, можно сделать вывод, что потенциал снижения массы за счет замены материалов имеют компоненты, представляющие до 80% общей массы тары вагона.

При этом следует иметь в виду, что нельзя принимать решения о замене материалов исходя только из конструктивных соображений. Необходимо также учитывать соображения экономические и относящиеся к действующему законода-

тельству, например правила противопожарной безопасности.

Легкие материалы, такие, как армированные стекловолокном полимеры, уже могут использоваться в некоторых видах оборудования интерьеров, где трудно добиться заметного снижения массы путем лишь изменения конструкции. Однако больший эффект дает функциональная интеграция новых материалов. Например, в многослойных материалах на базе пенополиуретана, используемых в качестве теплоизоляции, можно также выполнять каналы для прокладки проводов и кабелей или воздухопроводы системы искусственного климата.

Положительным свойством новых легких материалов является и то, что изделия из них можно придать любой желаемый внешний вид, как уподобляя их, например, металлическим, так и делая их совершенно отличными. Кроме того, применение легких материалов имеет и тот побочный эффект, что позволяет уменьшить энергопотребление. Например, для более легких дверей требуется и менее мощный привод.

Следует, однако, иметь в виду, что эффективность использования легких материалов в рассматриваемых случаях оценивается примени-

тельно к массе тары вагонов, в то время как в реальных эксплуатационных условиях приходится иметь дело с полной массой, т. е. включающей массу пассажиров. Так, полная эксплуатационная (с пассажирами) масса поезда метрополитена на 100 – 150 т больше массы тары, и на эту дополнительную нагрузку замена материалов влиять не может.

Кроме материаловедческого аспекта, в снижении массы подвижного состава существенную роль играет аспект технологический. Так, за счет перехода на другой тип тягового привода общую массу электропоезда серии 209 удалось снизить на 20 т по сравнению с его предшественниками.

Есть и другие пути снижения массы подвижного состава. Например, за счет использования последних достижений информационных технологий можно существенно сократить потребность в проводах, кабелях и соединительных устройствах: в современном электропоезде серии E231 общая длина и, следовательно, масса кабельно-проводной разводки на 80 % меньше, чем в поезде серии 209.

Действенным способом снижения массы подвижного состава, который находит все большее приме-

нение, является также уменьшение числа тележек, на которые, как указано выше, приходится до 40 % общей массы вагонов. Для этого поезда выполняются сочлененными. JR East создала опытный сочлененный электропоезд AC-Train, который при практически одинаковой длине с поездом серии E231 имеет 16 тележек против 20 и 12 обмоточных колесных пар против 16.

### Заключение

Опыт компании JR East доказывает преимущества наличия четкой программы снижения массы подвижного состава с определением конкретных целей, которые необходимо достичь на каждом ее этапе. Исследования на поездах-прототипах позволяют использовать системно-инженерный подход к пересмотру конструкций и материалов применительно к вагону в целом, включая электрооборудование. Правда, получению благоприятных результатов способствует и то, что в Японии действуют менее жесткие требования к механической прочности кузовов, чем в Европе.

*M. Robinson, H. Nomoto. Railway Gazette International, 2006, № 5, p. 267 – 270.*

## Редакция журнала

### «Железные дороги мира»

**приглашает на внештатную работу переводчиков с английского, немецкого и французского языка, имеющих опыт работы на железнодорожном транспорте и проживающих в Москве или Московской области.**

**Обращаться по телефону (495) 317-55-65 или по электронной почте [zdm@css-rzd.ru](mailto:zdm@css-rzd.ru).**