

Снижение массы скоростных поездов

Реализуемый в настоящее время проект стокгольмского Королевского технологического института (Швеция) ориентирован на оценку экономического и экологического эффекта от снижения массы скоростного железнодорожного подвижного состава, добиться которого можно благодаря использованию многофункциональных сэндвич-панелей кузова на основе композиционных материалов.

По сравнению с другими видами транспорта подвижной состав железных дорог отличается большей удельной массой. Так, в скоростном электропоезде X2000 железных дорог Швеции (SJ) (рис. 1) масса, приходящаяся на одно место для сидения, примерно в 3 раза больше, чем в автобусе Neoplan Spaceliner. Приблизительно половина этой разницы обусловлена тем, что в пассажирских вагонах одно место для сидения занимает значительно большее пространство, чем в автобусах. Оставшаяся часть может быть уменьшена путем совершенствования технологии производства и применения прогрессивных методов обеспечения безопасности в случае столкновения.

Многослойные панели в конструкции кузовов вагонов

Значительный эффект может быть достигнут благодаря использованию с целью снижения массы кузова современных композиционных материалов и многослойных панелей (сэндвич-панелей). Исследования в данной области в рамках создания инновационной конструктивной концепции подвижного состава ведутся в центре по созданию экономичных и экологичных транспортных средств (ECO2) Королевского технологического института в Стокгольме.

Суммарная масса стен, крыши, пола, каркаса и обшивки кузова

обычно достигает примерно 35–40% массы вагона, не считая тележек и тягового электрооборудования. Остальное приходится на элементы интерьера и вспомогательное оборудование. Масса панелей стен, пола и крыши составляет около 40% массы кузова, или 16% всей массы единицы подвижного состава, остальное приходится на раму и другие элементы конструкции.

Чтобы добиться значительного снижения массы, необходимо пересмотреть функциональные свойства каждого элемента. Например, несущие боковые сэндвич-панели позволяют частично или полностью отказаться от некоторых усиливающих элементов конструкции кузова. Использование таких панелей может также способствовать упрощению процесса производства за счет уменьшения числа требуемых элементов и обеспечить теплоизоляцию, жесткость и прочность кузова как единого целого.

Другим преимуществом данной технологии является уменьшение толщины стенок, что было подтверждено инновационной технологией FICAS, разработанной компанией Bombardier для вагонов серии C20 метрополитена Стокгольма (рис. 2).



Рис. 1. Электропоезд типа X2000 (фото: SJ)



Рис. 2. Электропоезд серии C20 (фото: Bombardier)



Рис. 3. Опытный электропоезд типа ТТХ железных дорог Республики Корея

Благодаря использованию сэндвич-панелей, изготовленных по технологии FICAS, толщина стенок кузовов вагонов здесь уменьшена на 120 мм. Применительно к типичному скоростному поезду с расстановкой кресел по схеме 2 + 2 внедрение подобной технологии позволит увеличить на 60 мм ширину личного пространства для каждого пассажира.

Применение многослойных конструкций и композиционных материалов при изготовлении подвижного состава железнодорожного транспорта не является чем-то новым. Композиционные материалы уже используются при отделке интерьеров салонов или в конструкции модулей кабин управления обитаемой формы. Имеется также несколько примеров подвижного состава, в конструкциях которого

использованы сэндвич-панели, в частности пассажирские вагоны типа Revvivo ныне не существующей компании Schindler Waggon и опытный образец поезда ТТХ из вагонов с наклоняемыми кузовами (Республика Корея; рис. 3). Однако кузова всех этих вагонов имеют стальные рамы для увеличения жесткости.

В идеальном варианте простым решением был бы отказ от применения рамы. Не исключено, что за счет использования оптимизированных композиционных материалов и некоторого изменения формы кузова станет возможным создание безрамной конструкции — например, путем установки высококачественных сэндвич-панелей с покрытием из углепластика и алюминиевым ячеистым внутренним слоем.

Существует достаточно большое число композиционных материалов различного назначения, и оказываемое ими воздействие на окружающую среду также отличается. С учетом длительного срока службы вагонов следует выбирать материал с наименьшей массой, обладающий лучшими экологическими показателями.

Потребление энергии

При сроке службы, составляющем обычно до 40 лет, пробег вагонов скоростного поезда за это время достигает примерно 15 млн км. Снижение массы на 100 кг позволяет

сократить потребление энергии поездом в течение его жизненного цикла примерно на 100 ГДж. Если считать, что зависимость между этими показателями является линейной, при планируемом для рассматриваемого исследовательского проекта снижении массы поезда на 4 т потребление энергии сократится на 4000 ГДж.

Удельное потребление энергии электропоездом Х2000 составляет 10 кВт·ч/поездо-км. В течение срока его службы при пробеге 15 млн км потребление энергии достигает примерно 540 тыс. ГДж. Приблизительно 25% энергопотребления зависит от массы подвижного состава, причем только 20% этой массы находится внутри несущей конструкции, т. е. из всей потребленной энергии 27 тыс. ГДж приходится собственно на эту конструкцию. Снижение массы на 30% эквивалентно сокращению потребления энергии примерно на 8 тыс. ГДж. Это больше, чем предполагаемые затраты энергии на производство подвижного состава, включая переработку сырья (рис. 4).

Однако не всегда возможно определить реальное значение снижения массы подвижного состава с точки зрения уменьшения воздействия на окружающую среду, в частности сокращения эмиссии парниковых газов. Необходимо иметь в виду, что величина эмиссии соединений углерода при эксплуатации поездов на электрической тяге зависит от способов выработки электроэнергии, используемых в данном регионе.

По данным ряда исследований, можно предположить, что к 2050 г. потребление энергии на 1 пассажиро-км при поездке на дальние расстояния на легковом автомобиле снизится до 0,12 кВт·ч, на самолете — до 0,32 кВт·ч. Аналогичный показатель для междугородного железнодорожного транспорта уже сейчас ниже этих значений, а к 2050 г. окажется менее 0,05 кВт·ч/пассажиро-км, что эквивалентно расходу

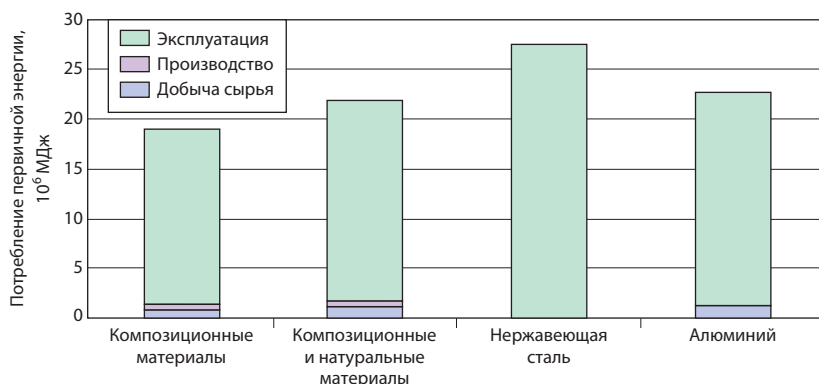


Рис. 4. Потребление первичной энергии в течение жизненного цикла скоростного электропоезда при использовании различных материалов в конструкции кузовов вагонов

бензина, равному 0,005 л/пассажиро-км. В рамках реализуемой в Швеции программы Gröna Tåget («Зеленый поезд») такой уровень расхода энергии уже подтвержден во время испытаний модернизированного электропоезда Regina на новой линии Botniabanan (рис. 5).

Энергопотребление также зависит от физического сопротивления движению поезда: сопротивление качению, сил гравитации и ускорения, аэродинамического сопротивления. Последнее зависит от очертаний и длины подвижного состава и приблизительно пропорционально квадрату скорости. Три другие величины зависят от массы подвижного состава, и поэтому любые меры, направленные на ее снижение, приводят к их уменьшению.

Экономическая эффективность

Тем не менее повышение привлекательности пользования железнодорожным транспортом само по себе не приведет к уменьшению воздействия на окружающую среду, если в результате будет генерировать только рост спроса на перевозки, но не замену более энергоемких видов транспорта.

В настоящее время стоимость поездки между крупнейшими городами Швеции на воздушном и железнодорожном транспорте находится в одном ценовом диапазоне. С учетом затрат времени на прохождение предполетных формальностей, а также на поездку между городом и аэропортом при расстоянии от пункта отправления до пункта назначения менее 300 км добраться на скоростном поезде можно, как правило, быстрее, чем на самолете, а при расстоянии более 150 км — быстрее, чем на автомобиле.

Повышение скорости, возможно, сделает путешествие на поезде более привлекательным, вследствие чего на железную дорогу может

перейти часть пассажиров, пользующихся личными автомобилями, а также внутренними и, не исключено, даже некоторыми международными воздушными сообщениями. Если снижение массы не представляется критическим фактором для достижения более высокой скорости, то оно может быть важно с точки зрения уменьшения неблагоприятного воздействия на путь, которое связано с оказываемой подвижным составом нагрузкой и увеличивается по мере роста скорости.



Рис. 5. Электропоезд Regina компании Bombardier, модернизированный на железных дорогах Швеции по программе Gröna Tåget (фото: Bombardier)

Кроме того, вполне вероятно, что в перспективе плата за пользование инфраструктурой будет зависеть от величины сил воздействия на путь и вызванного ими износа пути. При уменьшении массы подвижного состава и осевой нагрузки может стать возможным повышение скорости движения поездов без увеличения сил взаимодействия между колесом и рельсом, в том числе в кривых. С другой стороны, снижение массы и увеличение ширины пассажирских салонов подвижного состава, достигаемое за счет уменьшения толщины стенок кузова, может привести к увеличению полезной вместимости салона при том же

уровне эксплуатационных характеристик. В обоих случаях снижение затрат на пассажиро-километр способствует повышению конкурентоспособности железнодорожного транспорта.

Эффективность снижения массы подвижного состава подтверждается возможностью уменьшения размеров компонентов оборудования без ущерба для их характеристик. Это касается, в частности, тормозов, систем подвешивания, демпферов, а также уменьшения габаритов и мас-

сы тягового оборудования при неизменном соотношении мощности и массы. Другими положительными моментами уменьшения сил взаимодействия колес с рельсами могут быть снижение уровня внешнего шума, включая корпусной.

Благодаря уменьшению массы подвижного состава возможен переход от совместного применения механического и электродинамического торможения к преимущественному использованию электрического. Это приведет к экономии электроэнергии и затрат на техническое обслуживание механических тормозов, однако, поскольку требования к величине замедления

Потенциальные преимущества применения сэндвич-панелей из композиционных материалов в конструкции кузовов вагонов

Показатели	ЕСО2 (экономичность и экологичность) ¹	Безопасность
<i>Снижение массы</i>		
Сокращение потребления энергии	+	
Снижение уровня внешнего шума	+	
Уменьшение размеров компонентов ²	+	
Снижение неблагоприятного воздействия на путь	+	+
Косвенное воздействие на сокращение эмиссии вредных веществ	+	
Устойчивость к воздействию боковых сил		—
<i>Уменьшение толщины стенок</i>		
Увеличение полезной нагрузки	+	
Повышение уровня комфорта для пассажиров	+	
<i>Уменьшение числа конструктивных элементов</i>		
Упрощение изготовления	+	
Повышение привлекательности дизайна	+	
<i>Применение новых материалов</i>		
Обеспечение безопасности при столкновении		±
Переработка для вторичного использования	±	
Пожарная безопасность		±

¹Имеются в виду как экономические преимущества для оператора, так и экологические преимущества в целом.

²Возможно создание «спирального» эффекта от уменьшения размеров.

зачастую выше, чем к величине ускорения, может возникнуть потребность в увеличении мощности тяговых двигателей.

В таблице представлены некоторые потенциальные экономические и экологические преимущества, достигаемые благодаря использованию сэндвич-панелей в качестве несущих конструкций кузова.

Проблемы

В то же время имеются некоторые аспекты, которые могут оказывать негативное влияние. В частности, заслуживает внимательного рассмотрения проблема устойчивости подвижного состава к воздействию поперечных сил при снижении массы.

Обеспечение безопасности при столкновении и поглощение энергии соударения — еще одна проблема при использовании композиционных материалов. Стальные кузова получили достаточно широкое

распространение при производстве подвижного состава и обладают хорошими энергопоглощающими свойствами. Многослойные конструкции с использованием композиционных материалов подвержены разрушениям различного характера, которые по-разному влияют на их энергопоглощающие свойства. Поэтому для создания прочной конструкции важно определить последовательность выхода из строя ее элементов.

Композиционные материалы обладают исключительно благоприятными характеристиками соотношения прочности и массы и, как правило, имеют высокую устойчивость к коррозии по сравнению с другими материалами. Они могут быть предпочтительны с точки зрения меньшей потребности в обслуживании или замене компонентов. Однако многие из используемых ныне композиционных материалов с трудом поддаются переработке с целью их повторного использования, хотя

увеличение интереса к применению таких материалов заставляет искать пути решения этой проблемы.

При производстве подвижного состава железнодорожного транспорта используются некоторые натуральные волокнистые композиционные материалы, например пенька. Такие материалы могут быть предпочтительными с точки зрения снижения массы, возможности переработки для повторного использования и меньшей стоимости. В то же время по ряду показателей отдельные натуральные материалы хуже искусственных и могут не соответствовать, например, требуемому уровню жесткости, прочности, огнестойкости и влагопоглощения.

В конечном итоге выбор материала определяется на основе компромисса между механическими, экологическими и экономическими характеристиками. Некоторые из них, например механические, легко поддаются количественной оценке. Для других характеристик сделать это труднее. Так, непросто оценить, какая степень непригодности данного материала к переработке для повторного использования приемлема при возможном снижении массы или цены или какие аспекты имеют большее значение в плане воздействия на окружающую среду и где находится допустимый предел.

Оптимальное решение этих вопросов, по всей видимости, должно быть ориентировано на снижение массы как важнейшую цель, после чего могут быть последовательно рассмотрены основные варианты конструкции подвижного состава. В то же время необходимо принять во внимание производственные затраты для различных вариантов, что позволит сделать реалистичный окончательный выбор.

D. Wennberg et al. Railway Gazette International, 2011, № 1, p. 30–32, материалы Стокгольмского Королевского технологического института (www.kth.se/en).