

# Тележка LEILA-DG для грузовых вагонов

*Для реализации планов перевода части грузопотока с автомобильного транспорта на железнодорожный, намеченных на период до 2020 г., потребуется более совершенный подвижной состав и, прежде всего, новые более мощные и малошумные тележки. Примером такой техники может служить тележка LEILA-DG, разработанная в Германии по заказу федерального министерства образования и науки (BMBF). Эта тележка с внутренним опиранием характеризуется низкими значениями уровня излучаемого шума и износа.*

Выполненные по заказу Федерального правительства прогнозирующие расчеты объемов перевозок показали, что к 2015 г. объем грузов, перевозимых всеми видами транспорта, увеличится на 63 %. В связи с этим правительство поставило цель удвоить за указанный период долю грузовых железнодорожных перевозок, изменив таким образом общую структуру грузоперевозок в стране. В масштабах Европы это означает, что объем перевозок по рельсам должен быть утроен, т. е. увеличен с 8 % (241 млрд. ткм, 1998 г.) до 15 % (784 млрд. ткм, 2020 г.).

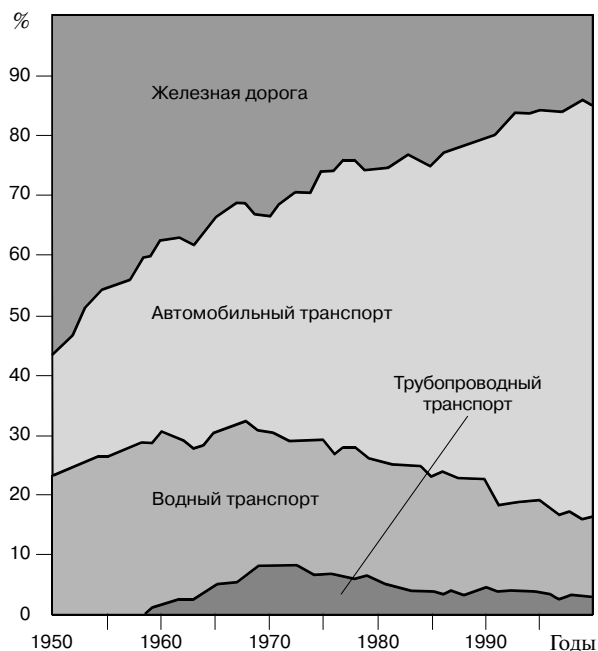


Рис. 1. Доли видов транспорта на рынке грузовых перевозок Германии

В последние годы доля железных дорог на рынке грузовых перевозок имеет устойчивую тенденцию к снижению при постоянном увеличении доли и грузооборота автомобильного транспорта (рис. 1). В Германии и в масштабах ЕС предлагаются различные проекты увеличения объема грузовых перевозок по железной дороге. В рамках одного из них и была предпринята разработка облегченной малошумной грузовой тележки LEILA-DG.

## Концепция тележки

В Германии грузовые поезда идут преимущественно ночью, т. е. в наиболее чувствительное к шуму время суток. Для грузовых вагонов принят максимальный допустимый уровень шума, равный 96 дБ(А). Измерение должно проводиться на расстоянии 7,5 м от оси пути при скорости движения вагона 80 км/ч. Эта норма вызывает постоянные нарекания со стороны населения.

Снизить уровень шума пытаются различными способами, в частности за счет замены чугунных тормозных колодок композитными. Последние в меньшей степени повреждают поверхность катания колеса, что ведет к снижению шума качения на 5 – 7 дБ(А).

Для автомобильного транспорта в 1980 г. в качестве максимальной допустимой величины был принят уровень шума 91 дБ(А). К 1985 г. он снижен на 11 дБ(А). В настоящее время шум от автомобильных перевозок в пересчете на 1000 т/ч на 2 дБ(А) ниже, чем от грузовых поездов. Ожидается его дальнейшее снижение на автомобильном транспорте. В связи с этим аргумент в пользу железнодорожного транспорта как самого экологичного в отношении уровня шума уже не имеет силы.

Это мнение подтверждает рис. 2, который показывает, какая часть населения Германии подвергается ночью воздействию шума различных видов. При этом различают источники шума от железнодорожных и автомобильных грузовых перевозок. В 2000 г. в Германии грузооборот железных дорог составлял всего пятую часть грузооборота автомобильного транспорта (75 млрд. против 374 млрд. ткм).

Для того чтобы реально конкурировать с автомобильным транспортом, железные дороги должны снижать транспортные издержки и повышать при-

влекательность своих услуг для клиентуры. В настоящее время ситуация на железных дорогах внушает серьезные опасения в силу ряда обстоятельств:

- масса грузовых тележек, основы конструирования которых разработаны более 50 лет назад, равна 4,7 – 5,4 т и уже не отвечает современным требованиям, так как большая масса тележек означает снижение грузоподъемности вагона;

- существующие грузовые вагоны имеют низкие ходовые качества, ведущие к высоким нагрузкам на путь и вызывающие значительные напряжения в компонентах самого подвижного состава. Это в свою очередь ведет к повышению эксплуатационных затрат на все железнодорожные устройства;

- каждый грузовой вагон в среднем дважды в год подвергается внеплановым ремонтам, что свидетельствует о недостаточной надежности этого подвижного состава, низкой эксплуатационной готовности и склонности к отказам, снижающим уровень безопасности движения;

- железные дороги зачастую не могут дать грузоотправителям информацию о местонахождении груза в момент запроса и о точном времени его прибытия на станцию назначения. Лишь в ограниченных масштабах возможно получение информации о грузе во время транспортировки;

- сошедшие с рельсов вагоны в отдельных случаях блокируют до нескольких километров пути, а в критических местах (на стрелочных переводах и мостах, в тоннелях) это приводит к несчастным случаям;

- при повагонных перевозках в нормальном режиме для транспортировки грузов на расстояние 300 км требуется около 24 ч, что не отвечает требованиям растущего рынка перевозок.

Все рассмотренные пункты в решающей степени зависят от конструкции вагонных тележек. Этим и объясняется актуальность проекта LEILA-DG. Его реализация преследует следующие цели:

- снижение уровня шума по двум вариантам (на 18 и 23 дБ(А)), уменьшение массы тележки (вместе с тормозами менее 4 т), значительное снижение интенсивности износа;

- повышение надежности и эксплуатационной готовности грузовых вагонов, увеличение скорости транспортировки, обеспечение прозрачности транспортной цепочки, а также активной и пассивной безопасности за счет контроля технического состояния и своевременного выявления ситуаций, могущих привести к сходу.

Планируемое снижение уровня шума на 18 дБ(А), т. е. по первому варианту, означает, что уровень шума, излучаемого одним грузовым вагоном на обычных тележках с тормозными колодками из серого чугуна, будет эквивалентен суммарному уровню, излучаемому 113 вагонами на тележках LEILA. Если же исходить из второго варианта, предусматривающего

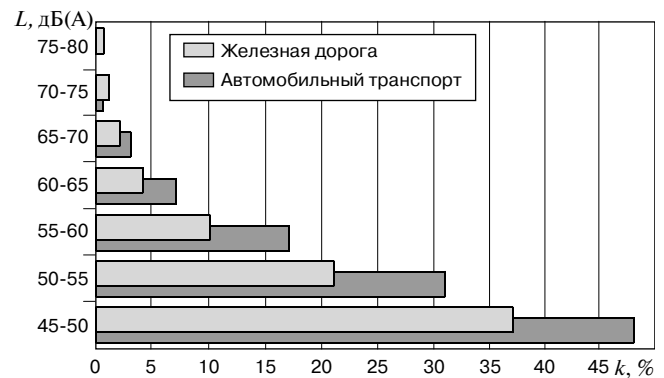


Рис. 2. Доли населения Германии, страдающего от транспортного шума в ночное время:  
k — доля населения; L — уровень шума

снижение уровня шума на 23 дБ(А) за счет дальнейшей оптимизации новой тележки, то шум от одного стандартного вагона должен быть эквивалентен шуму от 200 вагонов с тележками LEILA.

На первый взгляд поставленные цели кажутся нереальными. Однако принимаемый в базовой версии уровень шума 78 дБ(А) для тягового подвижного состава уже достижим. В качестве примера следует назвать локомотив серии 2000 Федеральных железных дорог Швейцарии (SBB), акустически оптимизированный для грузовых перевозок.

Снижения уровня шума, массы и износа можно также добиться, используя для расчетов математические модели, в том числе уже известные методы конечных элементов и многотельных систем. Повышение надежности, скорости, безопасности и прозрачности транспортной цепочки достигается путем использования на подвижном составе средств телематики.

К началу работ над проектом был разработан каталог требований. В соответствии с ним тележку LEILA-DG рассчитывали на осевую нагрузку 22,5 т и максимальную скорость 120 км/ч (для использования в Европе). В ходе разработки выяснилось, что при использовании модульного принципа конструирования можно увеличить осевую нагрузку тележки до 25 т. Разрабатывались и другие варианты тележки LEILA-DG.

Для работы над проектом был привлечен ряд компаний и исследовательских институтов:

- компания Josef Veyer Waggon (Райнфельден, Швейцария) — разработка рамы тележки и изготовление опытного образца;

- компания Freudenberg Schwingungstechnik Industrie (Фельтен, Германия) — резиновые упругие элементы, амортизаторы;

- компания SAB WABCO KP (Бад-Ненндорф) — тормоза и система их диагностики;

- компания Bochumer Verein Vekrehrstechnik (Бохум, Германия) — колесные пары, буксовые подшипники и их корпуса;



Рис. 3. Общий вид тележки LEILA-DG (стадия разработки — конец 2002 г.)

- холдинг DBAG, экологический центр (Берлин) — рабочие контакты с эксплуатационными службами;
- компания SVE (Берлин) — акустические и прочностные расчеты;
- Берлинский технический университет: отделение подвижного состава — руководство проектированием, изучение динамики движения; отделение техники монтажа и промышленного производства — диагностика, концепция технического обслуживания; отделение пути и эксплуатации железных дорог — составление каталога требований, расчеты стоимости, анализ затрат жизненного цикла (LCC);
- межотраслевой научно-технический союз железнодорожной техники (Берлин) — организация проектирования;
- Федеральная экологическая служба — общая поддержка, обеспечение информацией по вопросам транспортной политики.

### Элементы конструкции

На базе каталога требований к тележке LEILA с учетом поставленных задач был выполнен анализ экономического эффекта для основных элементов ее конструкции. Одновременно на базе углубленных динамических исследований и расчетов на модели изучались вопросы выбора первичного рессорного подвешивания и способа опирания (внутреннего или наружного), а также эффективности применения диагональных связей.

Первые расчеты массы всех деталей показали, что поставленная задача (масса тележки менее 4 т) реальна. На рис. 3 приведен общий вид тележки LEILA-DG.

При конструировании рамы исходили из того, что будет выбран способ внутреннего опирания. Главная цель проекта, заключавшаяся в снижении

массы, могла быть достигнута лишь при условии использования всего потенциала. Одна из составляющих этого потенциала — внутреннее опирание, так как здесь сила тяжести вагона передается к первичному рессорному подвешиванию кратчайшим путем. К тому же было доказано, что внутреннее опирание при одинаковых динамических свойствах позволяет использовать первичное рессорное подвешивание повышенной жесткости, что говорит в пользу применения резиновых упругих элементов.

Благодаря предусмотренной в тележке системе диагностики, которая контролирует все важные для безопасности движения детали, совместимость со стационарными устройствами обнаружения греющихся букс не требуется.

Применение диагональных связей для поперечного соединения колесных пар дало возможность заметно улучшить ходовые качества как на прямолинейных участках, так и в кривых. Диагональные связи выполнены в виде соединительных штанг. Исследования динамики такой системы показали, что заметное снижение износа в сочетании с устойчивым движением со скоростью до 120 км/ч возможно лишь при наличии поперечного соединения колесных пар.

Сочленение тележки с кузовом осталось традиционным и состоит из расположенного в середине рамы полусферического подпятника и двух боковых опор.

Сохранение этой концепции объясняется тем, что только подпятник является приемлемой по цене конструкцией, обеспечивающей проследование кривых малого радиуса (многие примыкающие линии и подъездные пути имеют радиусы 35 м и меньше). Благодаря этой системе обеспечивается полная совместимость новой тележки с прежней конструкцией кузова.

Тележка LEILA-DG оснащена дисковым тормозом. Диск изготовлен из алюминиевого сплава, что позволило значительно снизить общую массу тормозного оборудования по сравнению с традиционным решением. Более высокая стоимость алюминия по сравнению со сталью с избытком компенсировалась значительно большим сроком службы. Благодаря размещению тормозных дисков на ступицах колес обеспечивается существенное гашение шума качения. В данном случае тормозные диски дополнительно играют роль абсорберов шума.

Первая ступень первичного рессорного подвешивания в тележке LEILA-DG состоит из пары клиновых резиновых рессор в сочетании с гидравлическим гасителем колебаний, характеристика которого зависит от нагрузки. Резиновые рессоры также имеют прогрессивную характеристику, т. е. зависящую от нагрузки и обеспечивающую устойчивость хода вагона как с грузом, так и в порожнем состоянии.

Применение резиновых рессор в тележке LEILA-DG ведет к значительному снижению уровня корпусного шума по сравнению с традиционной тележкой, поскольку колебания высокой и средней частоты, возникающие в зоне контакта колеса с рельсом, не могут передаваться на кузов вагона.

Для дальнейшего повышения привлекательности железнодорожного транспорта для клиентуры, а также обеспечения его эффективности и безопасности тележку LEILA-DG оборудовали информационными устройствами. Для их электроснабжения используется подвагонный генератор с приводом от оси колесной пары. Применение информационных устройств обеспечивает:

- повышение надежности и эксплуатационной готовности вагона благодаря наличию диагностической информации по каждой тележке. В этом случае можно в значительной мере уменьшить число непредсказуемых отказов;
- достижение прозрачности транспортной цепочки. Отправитель может, например, в любое время получить информацию о местонахождении или состоянии своего груза. Эта практика уже внедрена в системе автомобильных грузовых перевозок. Здесь следует отметить, что грузы некоторых категорий можно перевозить по железной дороге только при этом условии;
- повышение активной и пассивной безопасности перевозок. Активная безопасность достигается применением уже упоминавшейся системы диагностики соответствующих деталей подвижного состава (тормозов, подшипников, рессор), пассивная — применением специальных датчиков, которые при сходе или возникновении ситуации, чреватой сходом, быстро подают сигнал тревоги. Размеры повреждений при этом заметно снижаются;
- повышение скорости транспортировки путем автоматизации процессов, требующих больших затрат времени. Так, длящийся более 2 ч технический осмотр вагона, включающий опробование тормозов, с использованием информационных систем может быть проведен за несколько минут. Кроме того, упрощается процесс сортировки за счет прицельного торможения, которое, с одной стороны, заметно уменьшает число путей, занимаемых на сортировочных станциях, с другой стороны, делает возможным проведение маневровых работ вне этих станций.

#### Сравнение тележки LEILA-DG с традиционными

В ходе проводившихся динамических исследований вагонов с определением уровня износа тележек и оценкой плавности хода сравнивали вагоны на тележках LEILA-DG и на двух обычных, наиболее

распространенных в Европе типов. Речь идет о тележках с листовыми параболическими рессорами (условно Schake) и наиболее распространенной сейчас Y25.

Для сравнивавшихся тележек была разработана многотельная модель (MKS), в которой использовались результаты стендовых испытаний. Результаты, полученные на модели, сравнивали с реальными величинами, полученными во время измерительных поездок, которые выполнял Европейский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ERRI).

#### Плавность хода

Для грузовых вагонов она может характеризоваться частотой собственных колебаний галопирования и величиной ускорений кузова. Эти параметры должны быть минимальными, а для тележки LEILA находится ниже значений, которые имеют традиционные современные тележки.

Исследования показали, что частота собственных колебаний галопирования тележки LEILA-DG заметно ниже, чем у традиционных, благодаря высокой жесткости груженого вагона, равной  $1,4 \cdot 10^7$  Н/м. В то время как у традиционных тележек собственная частота галопирования составляет примерно 6 Гц, у тележки LEILA-DG она равна 4 Гц.

Наряду с этим параметром для количественной оценки плавности хода привлекалось среднеквадратичное значение ускорений кузова (стандартное отклонение). В ряде источников приводятся случаи определения предельного стандартного отклонения, в том числе при величине вертикального ускорения  $2 \text{ м/с}^2$ .

На рис. 4 сопоставлены стандартные отклонения вертикальных ускорений традиционных тележек и тележки LEILA-DG при движении со скоростью 100 км/ч по пути с нарушениями геометрии. Все испытывавшиеся тележки показали, что они имеют значительный запас по величине этого параметра,

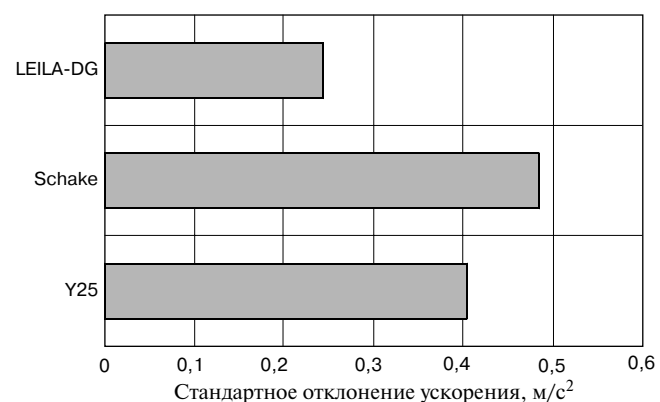


Рис. 4. Плавность хода при скорости 100 км/ч. Сравнение тележки LEILA-DG с традиционными

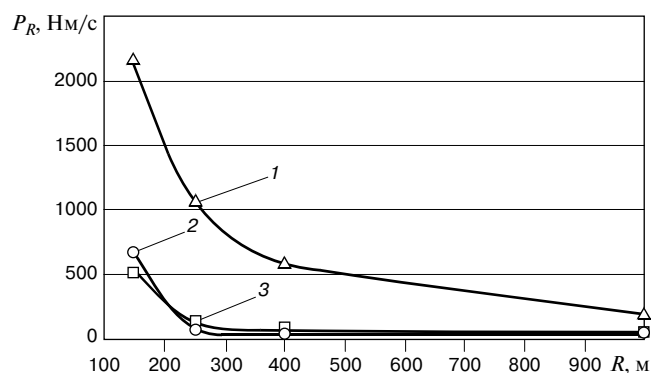


Рис. 5. Износ при движении в кривых:  
1 — тележка Y25; 2 — тележка Schake; 3 — тележка LEILA-DG;  
 $P_R$  — коэффициент мощности трения;  $R$  — радиус кривой

однако у тележки LEILA-DG, несмотря на увеличенную жесткость рессор, плавность хода оказалась выше в связи с отсутствием фрикционных гасителей колебаний.

### Износ

Износ в зоне контакта колесо — рельс количественно определяется величиной коэффициента мощности трения  $P_R$ .

Представленная на рис. 5 кривая изменения величины  $P_R$  в зависимости от радиуса кривой  $R$  является суммарной для всех восьми контактов колесо — рельс в грузовом вагоне. При моделировании принимали, что вагон проходит кривые всех радиусов с некомпенсированным поперечным ускорением  $0,4 \text{ м/с}^2$ .

Тележка LEILA-DG и по износу имеет лучшие показатели. Во всем диапазоне наиболее распростра-

ненных радиусов кривых ее износ был заметно ниже, чем у тележки Y25. Однако здесь следует отметить, что тележка Schake имела те же показатели износа, что и LEILA-DG.

### Выводы

Первый образец тележки LEILA-DG изготовили в конце 2003 г., а в сентябре 2004 г. эта тележка экспонировалась на международной выставке InnoTrans (рис. 6). К концу 2005 г. тележка должна пройти все сертификационные испытания и стать рыночным продуктом.

Для операторов, которым требуются вагоны с высокой надежностью, малыми расходами на техническое обслуживание, максимальной грузоподъемностью, высокой скоростью доставки за счет ускоренного выполнения маневровых работ на малых сортировочных станциях и высоким уровнем безопасности, экономические достоинства новой тележки будут особенно важными.

Использование информационных устройств в тележке может быть расширено без значительных затрат, что позволит, например, контролировать прохождение груза, включая определение его местонахождения с помощью системы глобального позиционирования. Благодаря этому железнодорожные грузовые перевозки всех видов, в том числе срочные, станут опять конкурентоспособными.

К экономическим преимуществам тележки LEILA-DG добавляется еще составляющая, обусловленная низким уровнем шума. В Швейцарии с января 2002 г. малозумные поезда получают бонусы

в расчете на одну колесную пару и 1 км пробега, некоторые железнодорожные компании уже работают над реализацией предложения о зависимости тарифов от уровня шума, излучаемого грузовыми поездами. Это предложение поддержал и транспортный форум Германии. Дальнейшим развитием инициативы будет разделение всех видов подвижного состава на категории по уровню создаваемого шума. При этом тариф для них будет увеличиваться с ростом этого уровня. Операторы, которые будут использовать «тихие» тележки LEILA-DG, смогут рассчитывать на более низкие тарифы.



Рис. 6. Презентация тележки LEILA-DG на выставке InnoTrans 2004

V. Hecht, A. Schirmer, Eisenbahntechnische Rundschau, 2003, № 9, S. 519 — 525.