

# Снижение уровня шума в кривых

При движении подвижного состава в кривых малого радиуса генерируется скрежет, в котором доминируют узкополосные шумы с частотами от 500 Гц до 8 кГц. Уровень их громкости гораздо выше, чем обычный уровень шума от качения колес по рельсам на прямолинейном участке при прочих равных условиях.

Скрежет в кривых возникает тогда, когда колесная пара из-за разных радиусов качения колес не может катиться по рельсам без проскальзывания. Меры по предотвращению или уменьшению скрежета могут предприниматься на различных стадиях генерирования этого шума. При этом должны соблюдаться определенные требования, такие, например, как минимально допустимое значение коэффициента трения, умеренные эксплуатационные расходы жизненного цикла, а также типовые условия железнодорожной сети и реализуемых в ней эксплуатационных процессов. Кроме того, при использовании смазочных средств должна подтверждаться их экологическая безвредность.

Для предотвращения скрежета на подвижном составе могут использоваться следующие решения: колеса, вращающиеся на оси, классические колесные пары с радиальной установкой колес, колесные шумопоглотители (абсорберы), смазывание гребня бандажа или поверхности катания колеса. Могут предприниматься также соответствующие мероприятия со стороны пути, такие, например, как смазка внутренней грани или поверхности катания рельса, его шумоизоляция, совершенствование систем рельсовых скреплений и применение рельсов различного профиля для внутреннего и наружного рельсов в кривых.

По сравнению с автомобильным и воздушным транспортом желез-

нодорожный оказывает меньшее вредное воздействие на окружающую среду по всем факторам влияния, за исключением одного — шума. Особенно обременительным для жителей примыкающих к железным дорогам районов является шум от грузовых поездов, которые идут преимущественно по ночам.

В результате замены чугунных тормозных колодок на композиционные было найдено решение для значительного сокращения шума от подвижного состава. Важной задачей теперь является уже разработка мероприятий не по снижению уровня шума, генерируемого при качении колеса по рельсу, а по быстрому и полному преобразованию энергии звука в другие ее виды. Если исходить из того, что проблема шума качения в ближайшие годы будет решена, то остаются такие проблемы, как скрежет при прохождении кривых и шум от вспомогательного оборудования — вентиляторов и системы кондиционирования воздуха.

## Определение понятия «скрежет»

Под скрежетом от подвижного состава при прохождении кривых следует понимать шум, который производится железнодорожным подвижным составом при прохождении кривых малого радиуса и который не менее чем на 10 дБ(А) выше, чем обычный шум от качения колес по рельсам на прямолинейном

участке при тех же условиях (например, при одинаковой шероховатости рельсов одного и того же типа).

Приведенное определение можно было бы считать достаточным, однако скрежет имеет и другие характерные особенности:

- обычно в скрежете преобладают чистые тона или узкополосные шумы;

- частоты находятся в типовом диапазоне от 500 Гц до 8 кГц, т. е. в наиболее чувствительном для человеческого слуха. В ряде исследований речь идет о частотном диапазоне скрежета 250 Гц — 10 кГц.

## Возникновение скрежета при прохождении кривых

### Эффект прерывистого контакта (Stick-Slip-Effekt)

Для исследования этого режима рассмотрена моторная колесная пара тележки. Перемещаясь в кривой, она стремится к продолжению прямолинейного движения. В результате набегания на наружный рельс гребня колеса колесная пара отжимается внутрь кривой, что приводит к увеличивающемуся изгибу внутреннего колеса. Когда возвращающее усилие внутреннего колеса становится больше силы трения между ним и внутренним рельсом, колесо отклоняется в исходное ненагруженное положение (или снова в такое положение, в котором оно находится в состоянии сцепления с рельсом, поскольку сила трения снова становится больше возвращающей силы). Далее этот процесс многократно повторяется, что вызывает широкополосное возбуждение колеса. Подавляемые частоты быстро исчезают, в то время как слабо демпфируемые частоты собственных колебаний возрастают. Колесо ведет себя как гонг и издает звук, в котором доминируют один или несколько чистых тонов.

Вторая колесная пара подвижного состава или тележки ведет себя

прямо противоположным образом по отношению к первой, т. е. получается, что возникновение скрежета здесь вызывается колесом, катящимся по наружному рельсу кривой.

Приведенный анализ процесса образования скрежета показывает, что шум в основном генерируется колесом, которое колеблется с собственной частотой. Рельс практически не издает никакого шума. Кроме того, уровень шума почти не зависит от скорости движения. Так как скрежет при прохождении кривых возникает на поверхности катания колеса, то его называют «скрежетом поверхности катания».

#### *Скрежет от контакта гребня бандажа*

Как уже отмечалось, при прохождении кривых малого радиуса происходит набегание гребня колесного бандажа на наружный рельс. Так как колесная пара стремится и дальше двигаться по прямой, то образуется угол набегания между колесной парой и рельсом. В результате этого возникает вторая точка касания между колесом и рельсом, в которой гребень бандажа скользит сверху вниз по кромке рельса. Трение этого скользящего контакта приводит к возбуждению колебаний как в колесе, так и в рельсе. В результате возникает шум, излучаемый и колесом, и рельсом. Его уровень возрастает с увеличением скорости. Так как шум этого вида возникает в результате контакта гребня бандажа колеса с рельсом, то его называют «скрежет от контакта гребня бандажа».

Оба рассмотренных вида скрежета в зависимости от действующих факторов могут появляться как независимо друг от друга, так и совместно.

#### **Способы борьбы**

Мероприятия по предотвращению или снижению скрежета могут предприниматься на различ-

ных этапах процесса возникновения обеих рассмотренных разновидностей шума.

Конечно, предпочтительнее предотвратить образование шума, однако это не всегда возможно. В связи с этим необходимо также иметь возможность его снижения. Если скрежет при прохождении кривых приводит к повышению уровня шума не менее чем на 10 дБ(А), то понятно, что предпринимаемые мероприятия должны приводить к его снижению на такую же величину.

Уменьшение шума может проявляться как в снижении его уровня, так и в сокращении длительности его воздействия.

Так как скрежет при прохождении кривых на 10 – 35 дБ(А) громче обычного шума от движущегося подвижного состава, то меры, направленные только на перекрытие путей его распространения (например, шумозащитные стенки), оказываются недостаточно эффективными. В связи с этим здесь они не рассматриваются.

#### *Скрежет поверхности катания*

Для предотвращения скрежета поверхности катания могут использоваться различные конструктивные решения, которые позволяют колесным парам или колесам свободно катиться по рельсам в кривой:

- применение свободно вращающихся на оси колес вместо классических колесных пар. За счет такой меры можно предотвратить или существенно снизить скрежет в кривых любого проходимого радиуса. Проблемы при этом часто возникают при входе в кривую и при выходе из нее, если система управления не в состоянии установить колеса точно параллельно рельсам;

- использование колесных пар с радиальной установкой. За счет такой меры можно еще на определенной величину уменьшить мини-

мальный радиус кривой, в которой обеспечивается свободное качение колесной пары.

За счет уменьшения напряженного состояния колеса уменьшается амплитуда возбуждения. Уменьшенная амплитуда режима прерывистого контакта уже не в состоянии возбуждать собственные колебания колеса. Такое уменьшение может достигаться за счет снижения сил сцепления в точке контакта.

Для гашения собственных колебаний колеса могут также использоваться демпфирующие устройства, которые либо могут быть составной частью конструкции колеса, либо устанавливаться на нем в виде дополнительных устройств. Таким образом, любые мероприятия, направленные на снижение интенсивности колебаний колеса, ведут к снижению уровня излучаемого им шума.

#### *Скрежет от контакта гребня бандажа*

Для предотвращения скрежета от контакта гребня бандажа могут использоваться различные конструктивные решения, которые позволяют колесам так катиться в кривой, чтобы они касались рельса только в своей самой нижней точке. Этого можно достичь с помощью системы направления: свободно вращающиеся на оси колеса или колесные пары устанавливаются таким образом, чтобы плоскость колес всегда была параллельна рельсам.

За счет уменьшения сил сцепления в контакте между колесом и наружным рельсом уменьшается амплитуда возбуждения колебаний.

Возбуждение может быть также уменьшено путем дополнительного демпфирования колеса и рельса независимо от того, являются ли демпфирующие устройства составной частью конструкции колеса или рельса, либо они установлены на колесе или рельсе в виде дополнительных устройств.

### Эксплуатационные требования

Типовые условия высокоскоростных транспортных систем в грузовых перевозках, дальних и региональных пассажирских перевозках, метро, на городских железных дорогах и в системе трамвая сильно отличаются в отношении скрежета в кривых от типовых условий горных железных дорог с нормальной или метровой колеей и тем более зубчатых железных дорог. Режим эксплуатации оказывает значительное влияние на важнейшие параметры шума, возникающего при движении подвижного состава в кривых.

Основные эксплуатационные требования определяются инфраструктурой, в частности наличием кривых и их минимальными радиусами.

Так как сила сцепления между колесом и рельсом является важным параметром, влияющим на образование шума, то заметную роль играют также все факторы, оказывающие влияние на условия сцепления, а именно погода и географическое положение.

Трение, необходимое в продольном направлении, является важнейшим фактором. Определенный минимальный уровень трения необходим практически во всех системах для обеспечения достаточной силы торможения. В некоторых случаях

(в первую очередь при движении поездов, ведомых локомотивами на крутых подъемах) требования к минимальному сцеплению для создания силы тяги оказываются выше, чем для создания силы торможения. Так как коэффициент трения между колесом и рельсом не может (пока) регулироваться отдельно в продольном и поперечном направлении, то ограничиваются регулированием продольной составляющей.

Несомненно, большую роль при выборе мероприятий играют затраты жизненного цикла и эксплуатационные расходы.

При реализации таких мероприятий, для которых требуется применение смазочных средств, должна быть обеспечена экологическая чистота последних.

#### *Выбор железнодорожной системы для оценки предлагаемых мероприятий*

Для оценки мероприятий по устранению скрежета в кривых был произведен поиск железнодорожной системы, которая наиболее полно удовлетворяла бы этим требованиям.

В качестве такой системы была выбрана линия метровой колеи между городами Монтрё (на Женевском озере) и Цвайзиммен (Бернские Альпы) компании Montreux — Berner Oberland-Bahnen (MOB) в Швейцарии. Линия имеет уклоны до 65 % с минимальным радиусом кривых на этих уклонах до 75 м. Некоторые кривые имеют большую длину и образуют угол поворота трассы более чем на 180 град (кривые на склонах гор со стороны Женевского озера). Частично эта линия обслуживается электропоездами, однако по ней курсирует также много поездов на локомотивной тяге, как, например, туристические поезда с панорамным обзором, известные под названием Golden Pass (рис. 1). Эта линия подвержена воздействию всего много-

образия погодных условий: от жаркого и сухого лета до суровой снежной и бесснежной зимы.

На других линиях имеются участки с более крутыми уклонами. Однако на них в связи с эксплуатацией электропоездов предъявляются меньшие требования к силе сцепления, чем при эксплуатации поездов на локомотивной тяге, как это имеет место на линии компании MOB.

Следует также отметить, что на пригородных линиях, а также на сетях трамвая часто встречаются кривые с гораздо меньшим радиусом, чем на линии MOB. Однако на них предъявляются менее жесткие требования к условиям эксплуатации.

Можно считать, что мероприятия по предотвращению скрежета в кривых, успешно подтвердившие свою эффективность в условиях железнодорожной линии MOB, могут с успехом использоваться практически на любой другой линии.

### Реализованные мероприятия

#### *Мероприятия на подвижном составе*

*Механизм радиальной установки колес, вращающихся на оси.* Наиболее часто вращающиеся на оси колеса применяются в конструкции вагонов трамвая. Если одновременно с этим используется система для параллельной (радиальной) установки колес, то этим обеспечивается надежное предотвращение скрежета обоих видов в кривых, так как устраняется источник возбуждения колебаний. На входе в кривую и на выходе из нее, где такая установка колес не обеспечивается, возможно появление скрежета.

У этой системы имеются и свои недостатки, так как в подобной ходовой части отсутствует механизм центрирования, который имеется у колесной пары. В результате свободно вращающиеся на оси колеса при движении по прямолинейным участкам имеют больший и менее



Рис. 1. Туристический поезд Golden Pass RapoGatic на линии Монтрё — Цвайзиммен

равномерный износ, чем в конструкции с колесными парами. Это приводит к значительному повышению эксплуатационных расходов.

Рассмотренная система не может быть использована при модернизации подвижного состава. Она может быть эффективной лишь на новом подвижном составе, предназначенном для эксплуатации на железнодорожных линиях с большим числом кривых малого радиуса.

**Колесные пары с радиальной установкой.** С помощью радиальной установки колесных пар, для реализации которой могут быть использованы различные технические решения, диапазон минимальных радиусов кривых, в которых подвижной состав может двигаться без скрежета, расширяется в сторону еще меньших величин. Радиальная установка колесных пар также воздействует на обе разновидности скрежета в кривых. Системы управления установкой, в которых в качестве входного параметра принимается угол между кузовами двух вагонов или между кузовом вагона и тележкой, не могут достаточно точно срабатывать на входе в кривые и на выходе из них, однако их работа не зависит от геометрии профилей колес и рельсов. При хорошем состоянии рельсов могут быть применены системы радиальной установки, зависящие от геометрии сопрягаемых профилей колес и рельсов с частичным использованием инерции масс.

Обычно механизм радиальной установки колесных пар не может быть экономически выгодно использован при модернизации подвижного состава. На новом подвижном составе реализация этого мероприятия не требует больших затрат. Использование его целесообразно практически везде, за исключением линий с малым числом кривых.

**Колесные шумопоглотители (абсорберы).** Колесные абсорберы не воздействуют на механизм возбуждения колебаний, однако могут

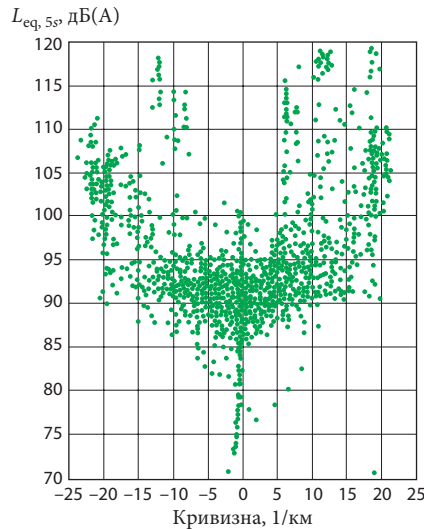


Рис. 2. Уровни шума, измеренные в центре тележки пассажирского поезда метрополитена с колесами, оборудованными абсорберами шума

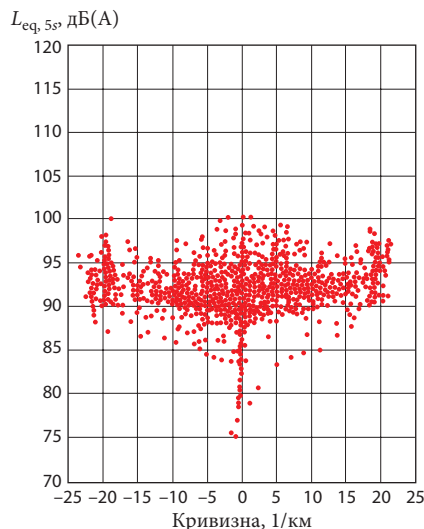


Рис. 3. Уровни шума, измеренные на поезде с колесами без абсорберов

за счет дополнительного демпфирования способствовать быстрому затуханию возникших колебаний. В основном они используются для уменьшения скрежета от поверхности катания (рис. 2 и 3), хотя и дают некоторый положительный эффект при воздействии на скрежет от контакта с рельсом гребня бандажа.

Если частоты собственных колебаний колеса, преобладающие в спектре скрежета при прохождении кривой, являются высокими (от 2 до 8 кГц), скрежет может быть пол-

ностью устранен с помощью колесных абсорберов. При более низких доминирующих частотах собственных колебаний (от 500 Гц до 2 кГц) системы демпфирования колебаний, необходимые для полного устранения скрежета, зачастую не могут быть установлены на колесе. Чем ниже частота, тем труднее создать соответствующую конструкцию абсорбера.

На рынке имеется много разновидностей систем, в том числе и тех, которые предназначены для широкополосного гашения шума. Однако имеются также системы, которые работают в одном или нескольких более узких диапазонах частот.

Колесные абсорберы в принципе не относятся к оборудованию, которое не требует обслуживания. Абсорберы некоторых конструкций с течением времени могут забиваться смазкой, смешанной с пылью, и становятся бесполезными. В связи с этим колесные гасители шума всех конструкций нуждаются по меньшей мере в регулярной чистке.

В зависимости от типа используемой тормозной системы (например, колодочный тормоз) при проектировании гасителя должен учитываться диапазон ожидаемых температур нагрева колеса.

Абсорберы могут применяться как для оборудования нового, так и для дооборудования имеющегося подвижного состава. В общем случае рекомендуется проектировать все новые колеса таким образом, чтобы имелась возможность установки абсорберов. Для этого необходимы дополнительные пазы или отверстия в колесном центре или диске, который в связи с этим должен быть несколько большим. Каждый абсорбер должен быть точно согласован с типом колеса.

Различные конструкции колесных абсорберов, используемых на линии компании МОВ и примыкающих линиях, устанавливались на уже существующих пассажирских вагонах, на колесных парах новых ваго-

нов, в том числе на используемых в поездах зубчатой железной дороге.

*Снижение излучения шума от колеса.* Некоторые типы колесных абсорберов дополнительно снижают излучение шума, излучаемого различными частями колеса, например колесным центром. Однако в связи с тем, что этот эффект может исследоваться только в совокупности с эффектом шумопоглощения, обеспечиваемым абсорбером, проблема снижения шума от элементов колеса как отдельное мероприятие здесь не рассматривается.

*Смазывание гребня бандажа.* Устройства для смазывания гребня бандажа могут устанавливаться как на подвижном составе, так и на пути. На участках с большим числом кривых более целесообразна установка их на подвижном составе. Там же, где число критических кривых невелико, более выгодной может оказаться установка этих систем на пути. Системы смазывания предназначены для снижения коэффициента трения. Некоторые изготовители смазок предлагают модификатор, при использовании которого коэффициент трения возрастает с увеличением скорости проскальзываний, что оказывает демпфирующее действие на систему.

Теоретически смазывание воздействует только на процесс возникновения скрежета от трения гребня колеса о рельс. На практике же эта мера влияет также и на скрежет от поверхности катания, так как смазка переносится колесами на поверхности катания колеса и рельса. Отсюда следует, что исследование вопроса о намеренном распределении смазки на рельсы в кривых представляет определенный интерес.

Требования к величине сил сцепления, необходимой для передачи усилий тяги и торможения, могут ограничивать возможности применения смазочных средств и, соответственно, эффективность смазывания гребня бандажа.

Важную роль в выборе этого мероприятия играют затраты жизненного цикла, интервалы заправки смазочных устройств, стоимость этих устройств и материалов. Кроме того, законодательство по охране окружающей среды в различных странах предъявляет высокие требования к экологическим характеристикам смазок.

Системы для смазки гребня бандажа могут использоваться как на новом подвижном составе, так и на уже эксплуатирующемся в качестве дополнительного оборудования.

*Модификация коэффициента сцепления.* Теоретически эта мера, заключающаяся в нанесении модификатора на поверхность катания рельсов в кривых, воздействует только на скрежет от поверхности катания. На практике же она может влиять также и на скрежет от контакта с рельсом гребня бандажа, так как при движении подвижного состава смазка-модификатор частично переносится на рабочую грань головки рельса или на гребень бандажа.

Требования к необходимой величине коэффициента сцепления для режимов тяги и торможения в данном случае еще в большей степени, чем при смазывании гребня бандажа, ограничивают применение в кривых модификатора трения.

### *Мероприятия, реализуемые на пути*

*Укладка в кривых внутреннего и наружного рельсов разных профилей.* Эта мера является эквивалентом радиальной установки колесных пар на подвижном составе, так как способствует увеличению радиусов качения колес. За счет специального профиля внутреннего рельса точка касания колеса с рельсом сдвигается как можно дальше к внешней стороне колеса. За счет этого максимально увеличивается разность радиусов качения колес и, таким образом, диапа-

зон кривых, проходимых без скрежета, смещается в сторону малых радиусов. Эта мера воздействует на оба вида скрежета и может использоваться для модернизации существующего пути (замена или шлифование рельсов в критических кривых). Однако в кривых очень малого радиуса эта мера неэффективна, так как в этом случае не достигается необходимая разность радиусов качения колес.

*Что смазывать: рабочую грань или поверхность катания рельсов в кривых?* В принципе этот аспект может рассматриваться так же, как и уже освещавшийся вопрос о смазывании гребня бандажа или поверхности катания колеса. Разница состоит лишь в том, что путевые системы смазывания могут устанавливаться непосредственно в критических местах кривых и воздействовать по-разному на внутренний и наружный рельс.

Существуют различные способы лубрикации рельсов. Возможно также комбинирование систем для смазывания рабочей грани и поверхности катания рельсов в кривых. При этом смазка дозированно подается через узкие каналы, просверленные в головке рельса, которые имеют выходы на рабочую грань и на поверхность катания.

*Демпфирование шума от рельсов.* Демпфирование шума от рельсов может производиться различными способами. Так, возможна модификация конструкции самого рельса или рельсовых скреплений. Применяется также установка отдельных демпфирующих элементов на рельсах.

Системы гашения шума от рельсов воздействуют только на скрежет, вызываемый скольжением гребня бандажа по рабочей грани головки рельса. На скрежет, генерируемый поверхностью катания рельса, они не оказывают влияния. Рельсовые демпфирующие элементы не могут передавать гасящее воздействие на колесо. Поскольку при

скрежете в контакте гребня бандажа с рабочей гранью шум излучается и колесом, и рельсом, то рельсовые демпфирующие устройства могут снижать уровень шума лишь в том случае, если доминирует рельсовая составляющая. При скрежете, исходящем от поверхности катания, доминирующим является шум, который излучает колесо. В этом случае рассматриваемая мера практически не дает снижения уровня шума.

Как и колесные абсорберы, устройства демпфирования рельсов нуждаются в регулярной очистке, что необходимо для длительного сохранения работоспособности.

Если речь идет исключительно о скрежете от контакта гребня бандажа с рабочей гранью головки рельса, то применение рассматриваемого способа снижения шума может быть целесообразно как при укладке нового, так и при дооборудовании эксплуатируемого пути.

Если сравнивать все существующие методы борьбы с шумом в кривых, то можно сделать однозначный вывод, что рельсовые системы демпфирования относятся к малоэффективным. Известно, что скрежет в кривых имеет место и на трамвайных линиях, где рельсы почти полностью спрятаны в дорожное полотно.

*Снижение шума путем изоляции рельсов.* Некоторые системы, в которых дополнительно используется изоляция рельсов, как, например, сплошная заделка рельсов трамвайных линий в дорожное полотно, приводят к снижению шума, излучаемого рельсами, чаще всего в сочетании с демпфирующими устройствами.

Так же как и рельсовые системы демпфирования, изоляция рельсов воздействует только на уровень скрежета, вызываемого трением гребня бандажа о рабочую грань. При скрежете, излучаемом поверхностью катания рельса, эта мера почти не дает эффекта, так как в этой ситуации преобладает излучение шума от колеса.

Изоляция рельсов может использоваться при модернизации существующих линий, однако ее полезный эффект с точки зрения снижения шума оценивается не как основной, а как вторичный. Ощутимую пользу эта мера может принести только в сочетании с другими методами, такими, как применение рельсовых демпфирующих устройств или изменение формы рельсов. Такие конструкции пути могут быть реализованы только при новом строительстве или при полной перекладке пути.

### Практический опыт

В процессе выполнения различных проектов и исследований по заказам железнодорожных компаний-операторов, изготовителей подвижного состава, поставщиков рельсовых креплений и федерального ведомства Швейцарии по защите окружающей среды компания Prose накопила обширный опыт работы с различными системами, предназначенными для борьбы с шумом.

Конструирование тележек и других элементов ходовой части требует поиска оптимальных решений с учетом многочисленных требований. Многие из этих требований противоречат друг другу. Примером является управление колесными парами. Для обеспечения стабильности хода при высокой скорости движения требуется жесткая установка колесных пар. С другой стороны, при мягкой установке колесных пар меньше проявляется склонность к возникновению скрежета в кривых, а также уменьшается динамическое воздействие подвижного состава на путь, снижается износ рельсов в кривых.

Требования и мероприятия, направленные на минимизацию скрежета в кривых за счет выбора оптимальной конструкции тележки или других элементов ходовой части, общеизвестны. Однако многие из-

готовители подвижного состава соблюдают эти требования только под давлением со стороны заказчика. Скрежет в кривых не имеет общепризнанных критериев оценки. Возможно, это связано с тем, что практически невозможно определить и строго воссоздать условия испытаний. Тем не менее в связи с неудобствами, которым подвергаются пассажиры и жители примыкающих к железной дороге районов, этот аспект должен обязательно учитываться. Компании, эксплуатирующие подвижной состав, также стали уделять этому вопросу больше внимания, так как скрежет от подвижного состава вредит их имиджу.

Результаты измерений, проведенных в двух кривых линии МОВ, показали, что скрежет при прохождении тележек с радиальной установкой колесных пар заметно ниже, чем при жесткой установке.

*Определение эффективности колесных абсорберов.* Компания Prose провела комплекс измерений для определения эффективности колесных абсорберов на линии с метровой колеей. Для этого были установлены микрофоны в центре тележек, одна из которых была оборудована колесными абсорберами, а другая нет. Скорость движения и радиус кривой измеряли и регистрировали параллельно с измерением уровня шума. В одном из случаев, когда доминирующие частоты составляли 2 – 8 кГц (при наличии абсорберов), наблюдалась характеристика, приведенная на рис. 2. Колеса без абсорберов не производили скрежета в кривых радиусом более 170 м, а в кривых меньшего радиуса скрежет возникал систематически (см. рис. 3). В другом случае, когда доминирующая частота была гораздо ниже и составляла около 700 Гц, дополнительное оборудование колес абсорберами не дало снижения уровня шума.

Измерения на линии МОВ также показали, что подвижной состав с колесными абсорберами производит гораздо меньше скрежета, чем

подвижной состав без шумопоглотителей в кривых, где проводилось дозированное точечное смазывание рабочей грани и поверхности катания головки рельса.

*Измерения для оценки эффективности смазывания головки рельса.* С целью оценки эффективности были испытаны две различные системы для изменения коэффициента трения, каждая из которых была установлена в одной из протяженных кривых на горных склонах со стороны Женевского озера:

- кривая близ Фонтаново радиусом от 75 до 95 м, протяженностью 284 м, с уклоном 50 ‰, рельсами SBB I (46 кг/м) на деревянных шпалах со щебеночным балластом при скорости движения поезда 35 км/ч;

- кривая близ Сонсье радиусом 81 м, длиной 31 м, с уклоном 65 ‰, рельсами VST 36 (36 кг/м) на деревянных шпалах со щебеночным балластом при скорости движения поезда 40 км/ч.

Обе системы были установлены в первые недели эксплуатации. После их установки и применения коэффициент сцепления оставался достаточным для обеспечения передачи тягового усилия локомотива. Шум от проезжающих поездов на обеих кривых измерялся при включенных системах и через три недели после их отключения.

По рассматриваемому участку линии компании MOB курсирует подвижной состав с тележками различных конструкций. Некоторые пассажирские вагоны были оборудованы колесными абсорберами.

При оценке эффективности стационарных систем для смазки головки рельса учитывался только подвижной состав, оборудованный тележками, склонными к генерированию скрежета в кривых и не имеющими колесных абсорберов.

Анализ полученных результатов показал, что ни одна из систем не могла полностью предотвратить возникновение скрежета в кривых. Система, установленная в кривой близ

Фонтаново, давала снижение уровня шума всего лишь на 2,2 дБ(А), а система у Сонсье — на 5 дБ(А). Оба результата оказались намного ниже ожидаемых, поскольку требовалось снижение не менее чем на 10 дБ(А), как уже упоминалось ранее.

*Оценка эффективности рельсовых демпферов шума.* Компания Prose провела ряд измерений для определения эффективности рельсовых демпферов. Результаты показали, что после реализации защитных мер не было обнаружено никакого улучшения ситуации, существовавшей до установки демпферов.

### Выводы и рекомендации

Для повышения эффективности мер по борьбе со скрежетом в кривых большое значение имеет определение доминирующего вида генерируемого шума. Кроме того, должны быть также определены типовые характеристики пути (радиусы кривых, уклоны, требования, предъявляемые к коэффициенту сцепления), подвижного состава и эксплуатационного процесса. На основе этих данных можно определить, какие меры являются наиболее целесообразными.

При модернизации подвижного состава могут рассматриваться следующие варианты:

- колесные абсорберы при преобладании скрежета от поверхности катания колеса и доминирующей частоте выше 2 кГц;

- установленные на подвижном составе системы смазки гребня бандажа или модификация трения, если на линии с большим числом кривых преобладает скрежет от контакта гребня бандажа с рабочей гранью головки рельса;

- установленные на подвижном составе системы дозированной точечной смазки поверхности катания или модификация трения, если на линии с большим числом кривых преобладает скрежет от поверхности катания;

- комбинированное смазывание рабочей грани головки рельса и ее поверхности катания, если на линии с большим числом кривых возникает скрежет обоих видов.

На новом подвижном составе в дополнение к вышеуказанному оборудованию могут применяться следующие меры:

- свободно вращающиеся на оси колеса с механизмом радиальной установки на линиях с большим числом кривых малого радиуса;

- радиальная установка колесных пар, если для достижения максимальной скорости не требуется их жесткая установка;

- при конструировании колес для нового подвижного состава рекомендуется предусматривать возможность заводской установки абсорберов.

Следующие мероприятия по борьбе с шумом рекомендуются для реализации на пути:

- применение рельсов разных профилей для внутреннего и наружного рельсов на линиях с кривыми малого радиуса и доминирующим скрежетом от поверхности катания;

- устанавливаемые на пути системы для смазки гребня бандажа или модификации трения, если скрежет от контакта гребня бандажа с рабочей гранью головки рельса доминирует на немногочисленных критических кривых;

- устанавливаемые на пути системы для дозированного точечного смазывания поверхности катания рельса или модификации трения, если скрежет от поверхности катания доминирует на немногочисленных критических кривых;

- комбинированные системы для дозированного точечного смазывания гребня бандажа и поверхности катания, если оба вида скрежета могут доминировать на некоторых критических кривых.