

Акустический аспект шероховатости рельсов и колес

Одной из причин шума, возникающего при движении подвижного состава, является шероховатость поверхностей катания колеса и рельса. При сегодняшнем состоянии техники рельсы создают больший уровень шума, чем колеса. Определять шероховатость рельсов требуется для того, чтобы правильно выбрать периодичность и способ их технического обслуживания. Расчет уровня шума, генерируемого качением колес по рельсам, необходим для создания мал шумных колес.

Расчет уровня шума качения

Воздействие чугунной тормозной колодки на колесо вызывает появление шероховатости на поверхности катания последнего, что ведет к значительному повышению акустического излучения. В связи с этим большое внимание уделяется разработке мер по снижению шума, возникающего в основном при торможении грузовых поездов, а при высокой скорости движения — и пассажирских. Ряд компаний, университетов и инженерных бюро разработали модели и программное обеспечение для расчетного определения уровня шума, создаваемого при качении колеса. Все они были объединены в общий пакет под названием Twins. Расчеты, выполненные с применением этого пакета программ, позволяют, прежде всего, оптимизировать геометрию колесной пары в отношении излучаемого шума.

Установлено, что в разных диапазонах частот соотношение уровней шума, обусловленного шероховатостью колес или рельсов, различно (рис. 1). Так, если частота основной гармонической составляющей не превышает 1600 Гц, уровень шума от пути в каждой третьей полосе на 10 дБ больше, чем от

колес. И наоборот, при частоте более 1600 Гц уровень шума от колеса на 10 дБ превышает уровень шума от рельса.

Расчеты

Уровень шума от колеса, как показано в таблице, зависит от многих условий. Приведенные здесь значения частично завышены. При измерениях можно легко выявить результаты, не соответствующие ожидаемым вследствие того, что предельные значения не были точно определены. Следует учесть, что в раздел спецификации TSI, относящийся к определению шероховатости

сти рельсов и демпфированию колебаний, еще до выполнения расчетов был внесен ряд изменений. Шероховатости подразделяются как на зависящие от подвижного состава, так и не зависящие от него.

На развитие шероховатостей колес и нарушение их круглости влияют тормозная система подвижного состава, шумопоглощающие устройства (колесные абсорберы), а также геометрия колеса. К появлению некруглости колеса или шероховатости его поверхности катания приводят, кроме того, дефекты, появившиеся в ходе ремонта. Большую роль играют также тип верхнего строения пути и воздействие температуры окружающей среды. Вследствие этого введены некоторые параметры, определяющие уровень шума, не связанного с подвижным составом.

Чтобы сравнить результаты измерений и расчетов, необходимо, по крайней мере, установить тождественность условий, при которых они получены, или же степень несовпадения этих условий. При определении шероховатости колеса и рельса в настоящее время ошибка составляет почти 2 дБ на каждую третью полосу. На основании этого можно получить общую неточность 4 дБ, суммируя ошибки отдельных измерений для колеса и рельса при схожих неровностях.

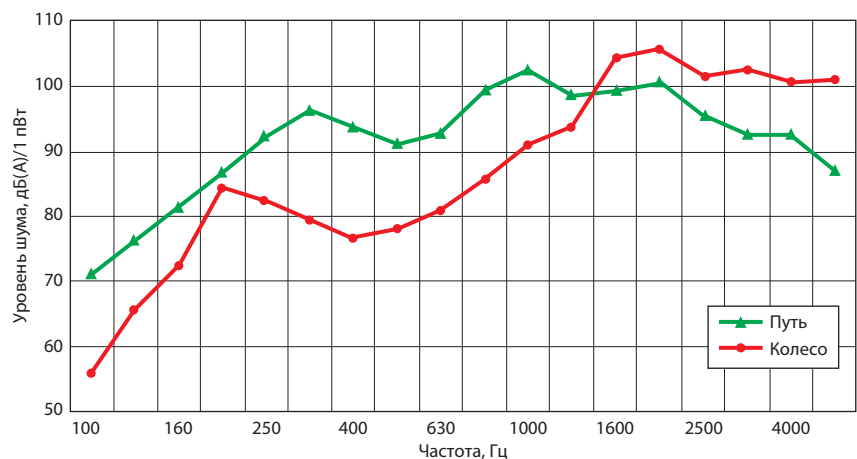


Рис. 1. Результаты расчета по системе Twins

Стандартные шероховатости для рельса и колеса, дБ

Длина волны, мм	Шероховатость рельсов по документам		Шероховатость колес	
	Стандарт ISO 3095:2005	Нормы спецификации TSI	новых	с износом
630	23,5	(17,1)	5	12,9
500	21,7	(17,1)	5	11,3
400	19,8	17,1	5	9,7
315	18	15	5	8,3
250	16,1	13	5	6,9
200	4,3	11	4	4,4
160	12,4	9	2,5	2,7
125	10,6	7,0	1	1,4
100	8,8	4,9	0	0,5
80	6,9	2,9	-1	0,3
63	5,1	0,9	-2	0,2
50	3,2	-1,1	-3	-0,3
40	1,4	-3,2	-4,5	-1,1
31,5	-0,5	-5	-6	-1,6
25	-2,3	-5,6	-7	-1,4
20	-4,1	-6,2	-8	-0,9
16	-6	-6,8	-8	-1,8
12,5	-7,8	-7,4	-8	-4,6
10	-9,7	-8	-8	-7,6
8	-9,7	-8,6	-7	-9,8
6,3	-9,7	-9,2	-7	-10,4
5	-9,7	-9,8	-7	-12,2
4	-9,7	-10,4	-7	-14,7
3,15	-9,7	-11	-7	-17,1

Основные условия

При выполнении расчетов использовали приведенные далее основные параметры и условия, содержащиеся в евроstandarte EN 139790 – 1.

Рельсы типа МСЖД-60 выбраны как наиболее распространенные. Впрочем, рельсы МСЖД-54 очень мало отличаются от них по уровню излучаемого шума.

Подкладка между рельсом и бетонными шпалами имеет жесткость около 500 кН/мм. Мягкая подкладка обеспечивает лучшую развязку колебаний рельса и шпалы и сохраняет балластный слой верхнего строения пути. Однако находят применение и подкладки с жесткостью 1000 кН/мм и выше. Так, были выполнены расчеты с подкладками динамической жесткостью

250, 500 и 1000 кН/мм. Жесткость подкладки не оказывает большого влияния на шум от колес, тем не менее увеличение ее все же снижает шум от рельсов.

Бетонные шпалы моноблочной конструкции массой 257 кг уложены с шагом 60 см.

Контактный фильтр типа Remington. Нагрузка на колесо принята равной 70 кН. Место контакта колеса типа S1002 и рельса (с небольшим износом и радиусом головки 500 мм) представляет собой упругую контактную площадку, что способствует снижению шероховатости и волнообразного износа. Шероховатости с длиной волны меньшей, чем длина контактного пятна, из рассмотрения исключали, для чего использовали фильтр Remington. Установлено, что в случае применения контактного фильтра

DPRS уровень высокочастотного шума был несколько выше.

Продольное смещение точки контакта принято равным 10 мм. Колесо или колесная пара движется не строго прямолинейно, а скорее синусоидально, поэтому положение точки контакта отличается от идеального. Этот факт и учитывается величиной продольного смещения.

Шероховатость рельса выбрана по спецификации совместимости для подсистемы TSI-Noise, нормирующей уровень шума.

Шероховатость колеса выбрали применительно к новому колесу, определив ее опытным путем. Расчеты были выполнены для трех вариантов колеса, но в дальнейших расчетах использовали результаты, полученные для нового колеса.

Скорость движения принята равной 200 км/ч. В процессе расчетов ее величину варьировали в пределах 100 – 400 км/ч, но для дальнейших вычислений использованы результаты, полученные при скорости 200 км/ч.

Примеры расчета

Пример 1. Рассмотрено колесо диаметром 850 мм, массой 293 кг челночного поезда Desiro компании Siemens. На ступице колеса установлен тормозной диск. Перед расчетом провели экспериментальный анализ, чтобы определить, как влияет тормозной диск на собственную частоту колебаний колеса и на их гашение.

Результаты расчета: в точке контакта уровень шума от колеса составляет 104,9 дБ (А), от рельса – 108,6 дБ (А). Таким образом, хотя уровень шума, создаваемого колесом, ниже, чем шум от рельсов, на подвижном составе все-таки необходимо принятие мер, направленных на снижение уровня шума.

Пример 2. Рассматриваемое колесо пассажирского вагона диаметром 920 мм по форме соответствовало классическому. Колесо акси-

ально симметрично, по этой причине экспериментальный анализ не проводили.

Результаты расчетов: в точке контакта уровень шума от колеса составляет 110,9 дБ (А), от рельса — 108,6 дБ (А). Отсюда следует, что необходимо найти возможности для улучшения формы колеса, так как оно создает уровень шума больший, чем рельс.

Пример 3. Была сделана попытка найти оптимальную форму колеса, при которой достигается компромисс между его акустическим воздействием и массой. Таковым является колесо 920SLT#2 диаметром 920 мм и массой 322 кг.

Результаты расчета: в точке контакта уровень шума от колеса составляет 108,2 дБ (А), от рельса — 108,6 дБ (А). По сравнению с этим параметром уровень шума для обычного колеса пассажирского вагона ниже примерно на 3 дБ. Дальнейшее снижение может быть достигнуто применением колесного абсорбера. Результат еще лучше для небольшого колеса с тормозным диском: разница в уровнях шума составляет 6 дБ, причем снижение уровня шума на 1,5–2 дБ достигается гашением шума в зазоре между колесом и тормозным диском. В результате шум, создаваемый колесом, меньше шума от рельсов.

Уровень шума от проходящего поезда

Чтобы определить уровень шума от проходящего поезда, необходимо учесть все точки контакта колеса с рельсом и определить, как распространяется шум от подвижного состава. При этом важно знать длину поезда, степень абсорбции колебаний землей и подвижным составом, выявить и смоделировать источник шума. Допустимо также использование передаточной функции для установления уровня шума по звуковому давлению. В данном случае для четырехвагонного подвижного состава

эта функция составляет 19 дБ. Измерения в зоне источника шума, выявленного с помощью микрофона на поезде и под ним, подтвердили результаты расчетов. В любом случае необходимо учесть, что источником шума может быть не только контакт колеса и рельса, поэтому микрофоны располагали вдоль всего поезда.

В результате расчетов было установлено, что предельное значение уровня шума при движении со скоростью 200 км/ч составляет 92 дБ (А). Для его снижения необходимо изменить основные условия.

Технические условия допуска к эксплуатации дисковых колес

Документ EN 139790 – 1:2003 предусматривает акустическую оценку дисковых колес. Для этого применяют специальную программу. Поскольку путем выбора основных условий нельзя было обеспечить точность полученных результатов, решили использовать результаты сравнения усредненных значений уровня шума, исходя из комбинации значений шероховатости и скорости.

Необходимые для расчетов значения нажатия колеса на рельс и нагрузки на колесо (порожний подвижной состав) обычно задаются. Параметры и условия, используемые при расчете, были приведены ранее.

Испытания колесных абсорберов

Выполненный на модели анализ шумового воздействия колес с абсорберами и без них не мог дать полных доказательств эффективности этих устройств, так как при качении колес происходит некоторое гашение звуковых колебаний в зоне их контакта с рельсами. Можно рассчитать уровень шума, создаваемого каждым колесом с абсорбером и без него, применяя пакет Twins. Однако более точно определить значения требуемых величин проще, используя результаты предварительных расчетов. Результаты расчетов, проведенных для колес с неизношенной поверхностью катания и с имеющей волновой износ, дают возможность определить величину демпфирования колебаний, необходимую для достижения заданного снижения шума от колеса.

Результаты расчетов были обобщены и позволили проверить действие колесных абсорберов в лабораторных условиях путем простого измерения коэффициента демпфирования (рис. 2). При оборудовании колеса таким абсорбером можно снизить уровень шума на 4–6 дБ. Следует напомнить, что колесо поезда Desiro, не имеющее абсорбера, но оборудованное тормозным диском, тоже обеспечивает снижение уровня шума, но не более чем на 1,5–2 дБ.

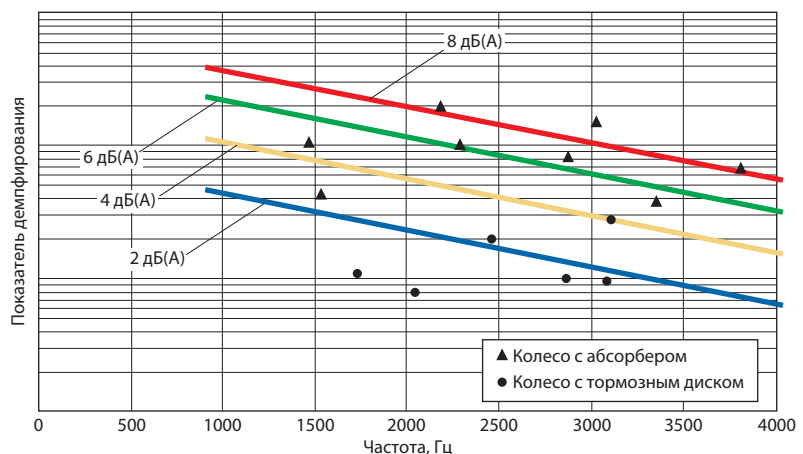


Рис. 2. Сравнение коэффициентов демпфирования колес с абсорбером и с тормозным диском

Использование предельной характеристики по TSI

Правовые и экономические требования играют существенную роль при разработке технических мер по снижению уровня шума. Соответствуют ли нормы TSI этой цели? Очевидно, что источником шума является движущийся подвижной состав. В настоящее время большая часть шума исходит от рельсов. Меры, которые реализуют на подвижном составе для уменьшения общего уровня шума, могут поэтому оказаться неэффективными. Гладкую поверхность катания рельсов, соответствующую требованиям TSI, можно получить только путем предварительного шлифования.

Для уменьшения уровня шума от движущегося поезда желательнее в качестве первого шага несколько повысить степень гашения колебаний рельсов. Следующий шаг — корректировка в сторону снижения допустимых отклонений шероховатости рельсов или суммарной шероховатости относительно предельной характеристики. Такой подход можно реализовать при условии использования таких наглядных и незатратных методов, как акустическое измерение шероховатостей.

Метод измерения шероховатости рельсов

Для определения эффективной стратегии ухода за рельсами необходимо иметь достоверную информацию о распределении и развитии шероховатости на них. По поручению Федерального ведомства по окружающей среде Швейцарии Берлинский университет совместно с компанией Prose на основе обширных теоретических и экспериментальных исследований разработал новый способ расчета шума, излучаемого рельсами, — метод sonRAIL. В эмиссии шума, создаваемого современным подвижным составом, для высокой точности расчета учте-

ны связанные с акустикой свойства пути и окружающей среды. Метод sonRAIL по начальному параметру (шероховатости рельсов) позволяет выявить наиболее действенные меры, направленные на уменьшение шума.

Косвенный метод измерения

В настоящее время нет сведений о типичной величине шероховатости для всей сети железных дорог. К сожалению, проведено очень мало выборочных проверок по стандарту EN 15610 для определения уровня шума. Не установлена корреляция между шероховатостью и типом верхнего строения пути, расположением пути (профиль и план) и общими размерами движения. Существующие профилактические меры ухода за рельсами, направленные на уменьшение уровня шума, до сих пор малообоснованны.

В рамках проводимых исследований необходимо было с помощью измерительного вагона получить сведения о шероховатости рельсов на линиях Швейцарии общей протяженностью 1075 км. Наряду с регистрацией скорости и местонахождения вагона собирали данные о верхнем строении пути, типе шпал, условиях окружающей среды.

Примененный новый, так называемый косвенный метод исследования предусматривает измерение ускорений на подошве рельса и осевой буксе. По этим показателям можно рассчитать сумму шероховатостей колеса и рельса. Прямые измерения позволяют определить неизвестную шероховатость рельса или колеса в определенной точке. С помощью косвенного метода, используя измерительный вагон, следующий со скоростью до 80 км/ч, можно получить ее значения на отрезке пути. Предварительно установив по EN 15610 точные значения шероховатости рельса в некоторых точках пути, можно калибровать получаемые при измерениях сигналы.

На отрезках пути были рассчитаны спектры шероховатости и ее отдельные значения. По этим данным определяли места на сети, имеющие повышенную шероховатость. Косвенный метод позволяет с небольшими затратами выполнить измерения на всех участках пути. По результатам измерений можно провести шлифование именно там, где наиболее необходимо снизить уровень шума.

Результаты измерений

Результаты определения относительной шероховатости рельсов на сети железных дорог Швейцарии были опубликованы в технической печати. В среднем шероховатость оказалась ниже соответствующей предельному уровню шума по TSI. Правда, в зависимости от типа верхнего строения пути выявились различия в отношении разброса измеряемых величин и доминирующей длины волны при наличии волнового износа рельсов. Верхнее строение с деревянными шпалами по этому показателю является наилучшим. Бетонные, в том числе двухблочные шпалы показали наиболее неблагоприятный спектр. При измерениях, проводившихся по методу sonRAIL, зависимость шероховатости от размера движения не подтвердилась.

Таким образом, измерения, выполненные обычным способом, дают возможность исследовать развитие шероховатости во времени и получить хорошую статистическую базу, на основе которой следует планировать выполнение мероприятий по уходу за рельсами. С другой стороны, с помощью косвенного способа измерений шероховатости можно найти конкретный путь к оптимизации мер по шлифованию с небольшими затратами.

C. Czolbe. *Eisenbahningenieur*, 2010, № 2, S. 32 – 34; материалы компании Prose (www.prose.ch) и Schweizerische Gesellschaft für Akustik (www.sga-ssa.ch).