



О КОНТРОЛЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ НИЗКОЧАСТОТНЫМИ ВОЛНАМИ НОРМАЛЬНОГО ТИПА

А. А. СЕЛЬСКИЙ, В. И. ГОРДЕЛИЙ

Исследования в области применения низкочастотных волн для контроля железнодорожных рельсов в Советском Союзе начались еще в 1970-х годах [1–3], но позднее (начало 1990-х годов) были прерваны ввиду известных общих политико-экономических коллизий. В настоящее время этот вопрос вновь вызывает интерес, и некоторые научные и производственные организации (в том числе НПП «Вигор» в содружестве с красноярским холдингом «Регионтехсервис-НК») обратились к этой теме.

Известно, что наиболее устойчивая к ослаблению на акустическом тракте изгибная мода волн Лэмба a_0 чаще всего может быть получена вырождением рэлеевской волны, если толщина плоскопараллельного объекта существенно меньше длины волны.

Вместе с тем головка железнодорожного рельса имеет такие размеры сечения, при которых даже на очень низких частотах сложно говорить о вырождении волн Рэля в нулевую изгибную моду волн Лэмба. Но, тем не менее, неоднородная нормальная волна образуется и, как показывают эксперименты и практика [3, 4], ее фронт весьма надежно охватывает все сечение рельса.

На частоте 0,1 МГц при угле ввода больше второго критического в стальном объекте вырабатывается рэлеевская волна длиной 30 мм. Уже вблизи ПЭП эта волна в целом охватит приповерхностный слой металла, по толщине близкий к ее длине, но интенсивность колебаний в пределах этого слоя будет убывающей от поверхности по глубине. Приведем классические функции, связывающие амплитуды продольных и поперечных составляющих колебаний точек и глубину их расположения при прохождении волн Рэля:

$$\frac{u_l}{A} = e^{-y \sqrt{k_s^2 - k_l^2}}, \quad (1), \quad \frac{u_t}{B} = e^{-y \sqrt{k_s^2 - k_t^2}}, \quad (2),$$

где u_l, u_t — соответственно амплитуды продольной и поперечной составляющих на глубине y, A, B — то же, на поверхности; $k_s = 2\pi f / C_R$ — волновое число для волн Рэля; $k_l = 2\pi f / C_l, k_t = 2\pi f / C_t$ — волновые числа для продольных и поперечных волн Рэля соответственно.

Расчет по данным формулам показывает, что в пределах ослабления энергии по фронту до 6 дБ толщина такого слоя составит приблизительно 20 мм.

Но главный интерес представляет расхождение фронта волны в плоскости поверхности по мере ее движения от преобразователя. Вследствие низкой частоты расчетный угол раскрытия диаграммы направленности в плоскости поверхности объекта оказывается очень большим (рис. 1), т. е. фронт быстро увеличивается по ширине при малых амплитудных потерях от затухания. Поэтому если расположить источник на середине поверхности катания (рис. 2, а), то из-за широкого расхождения фронта по профилю поверхности рельса уже на весьма малом удалении от него получается захват площадью активного фронта большей части головки (рис. 2, б–г), а еще дальше — выход в шейку (рис. 2, д, е), затем — в подошву (рис. 2, ж, з). К моменту выхода в шейку сердцевина головки охвачена фронтом волны слабее приповерхностных слоев, поэтому выбранный предел допустимого ослабления (6 дБ) недостаточен, и это должно быть учтено некоторым повышением чувствительности поиска. А вот момент выхода фронта в шейку (рис. 2, г) весьма интересен.

Пока фронт волн занимал только головку, интерференция его фланговых частей, идущих по поверхности катания, боковым и подголовочным поверхностям, слабо способствовала «утилизации» волновой энергии. При этом волны, синхронно идущие по левой и правой боковым поверхностям, в сердцевине головки еще не налагались одна на другую (рис. 2, в), так как стандартная ширина головки железнодорожного рельса 76 мм значительно превышает удвоенную зону активного влияния рэлеевской волны по глубине.

Однако на входе флангов фронта волны в шейку (рис. 2, г) происходит их взаимное строго синфазное наложение, из-за чего в шейке возникает идеальная мода растяже-



Рис. 1. Диаграмма направленности излучения–приема рэлеевских волн в плоскости поверхности ввода (материал ОК — сталь, ширина источника 14 мм, частота 0,1 МГц)

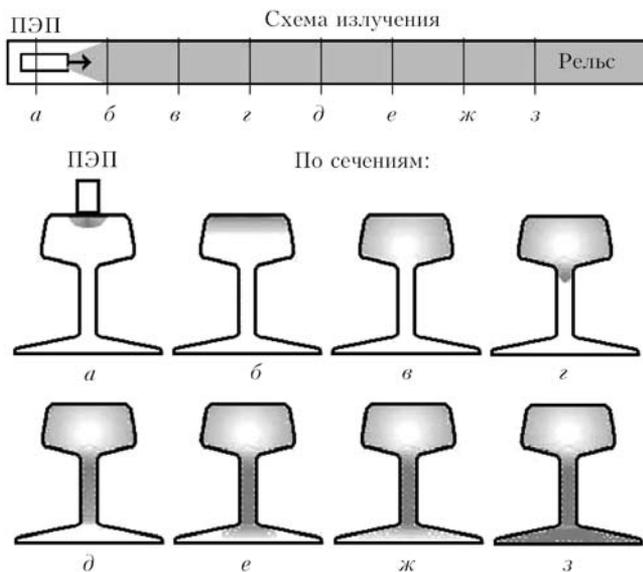


Рис. 2. Постепенное обтекание фронтом волн Рэлея профиля рельса

торый рубеж, за которым фактор потерь от расхождения фронта исключается полностью. То же самое относится и к отраженному от дефекта сигналу. Задавшись предельным уровнем ослабления по диаграмме направленности (т. е. углом отклонения краевого луча) и зная размеры профиля рельса, нетрудно рассчитать, на каком удалении фронт волны заполнит весь профиль (за исключением малой зоны в сердцевине головки). С учетом стандартных размеров профиля рельса для угла отклонения краевого луча 31° (на уровне ослабления излучаемого сигнала 3 дБ по рис. 1, т. е. 6 дБ для излучения-приема) такое удаление составит приблизительно 500 мм. Для прибора **УДС1-20**, на котором в 1980-х годах проводили первые исследования такого рода, полученный размер поглощается паспортной «ближней» зоной недоуверности (1 м), поэтому, пользуясь этим прибором или его аналогом, мы вправе говорить о том, что далее в рабочей зоне с одной установки преобразователя зондируем сразу весь профиль рельса.

Как видно из рис. 2, сердцевина головки в итоге остается слабо охваченной фронтом поверхностной волны Рэлея. По расчетам, проведенным по формулам (1), (2) с переводом итога в децибелы, ослабление амплитуды сигнала в центре головки (на глубине 20 мм) относительно поверхности составляет 14 дБ (т. е. в 5 раз). В свете того, что смоделировать исключительно внутренний дефект в сердцевине головки на удалении от торца рельса крайне трудно, и модели дефектов выполняются обычно с выходом на поверхность (засверловка, зарубка, надпил, фрезерование), это означает, что при контроле железнодорожных рельсов нормальными волнами на частоте 0,1 МГц шаг между браковочным уровнем чувствительности, устанавливаемым по отражению от модели предельно допустимого дефекта, и поисковым уровнем должен быть не менее 14 дБ.

Опыт эксплуатации установок входного контроля рельсов **УД-ЭМА-РСР** разработки **НПП «ВИГОР»** показал, что представленный здесь фактор «обтекания» фронтом поверхностной волны профиля железнодорожного рельса существует и способствует сохранению высокой чувствительности сигнала по отражению на весьма большом удалении от источника даже на частоте 0,5 МГц, т. е. в 5 раз выше той, на которой проводили первичные исследования.

1. Харитонов А. В. Развитие и проблемы теории нормальных волн в ультразвуковой дефектоскопии // Дефектоскопия. — 1979. — № 7. — С. 59–67.
2. Соседов В. Н., Пасси С. Х. Состояние и перспективы развития разработок средств ультразвукового неразрушающего контроля // Там же. — 1988. — № 8. — С. 3–9.
3. Дымкин Г. Я. Теоретические основы, методология и принципы построения аппаратуры низкочастотного ультразвукового контроля металлопродукции / Дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук. — М: ЦНИИТМАШ, 1991.
4. Сельский А. А. Обзор неразрушающих методов контроля механического оборудования Красноярского наклонного рельсового судоподъемника // Информ.-техн. сб. «Водные пути и сооружения». — М: Мин. реч. флота РСФСР. — 1990. — С. 10–14.

**За более подробной информацией просим обращаться по адресу:
107174, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 2; а/я 25, НПП «ВИГОР».
Тел./факс: (095) 262-85-35; e-mail: cevig@rambler.ru**

ния-сжатия « S_0 ». Причем, эта мода — очень мощная, поскольку низкая частота по-прежнему способствует малому затуханию, наложение двух взаимно независимых сильных флангов синфазное, а потери от расхождения фронта минимальны: профиль рельса пространственно ограничен, и расширение фронта теперь будет устремлено только вниз, к подошве рельса (рис. 2, д, е). Если на каждом из этих флангов в момент их схождения в шейке сигнал по амплитуде составлял более половины амплитуды на акустической оси в том же сечении, то совокупная амплитуда в шейке вследствие удвоения становится больше амплитуды на поверхности катания. Поэтому чувствительность контроля шейки всегда окажется выше таковой для головки.

Поскольку к приходу в основание шейки (рис. 2, ж) колебания выродились в чистое пуассоновское растяжение-сжатие, то эта же мода передается и в плечи подошвы (рис. 2, з), после чего говорить об амплитудных потерях из-за фактора расхождения фронта вообще не имеет смысла.

Таким образом, в определенный момент распространения сигнала вдоль рельса наступает неко-