

Лазер и ультразвук в дефектоскопии рельсов

В Центре транспортных технологий (ТТС) Ассоциации американских железных дорог (ААР) рассмотрены возможности подготовленного компанией Тесногамма для применения на практике метода неразрушающего контроля рельсов с применением лазера с высокой энергией излучения, подающего в рельс ультразвуковые импульсы, и датчиков с воздушной связью, отслеживающих форму волн обратных сигналов звуковой частоты, проходящих через рельс.

Данная лазерно-ультразвуковая технология уникальна тем, что обеспечивает передачу механической энергии на рельс в любом месте, доступном для лазерного луча, в то время как возможности обычных систем динамического контроля рельсов в настоящее время ограничены введением энергии ультразвукового излучения в рельс только на поверхности катания головки рельса между внутренней и наружной ее гранями. Такое ограничение обусловлено наличием в пути специальных конструкций (например, стрелочных переводов и глухих пересечений), препятствующих осуществлению непрерывного контроля рельса со стороны головки. Полагают, что технология на базе лазера повысит надежность выявления дефектов, обеспечивая более полный контроль целостности рельсов и тем самым снижая риск инцидентов, связанных с наличием дефектов в рельсах.

Анализ применимости бесконтактной системы ультразвуковой дефектоскопии на базе лазера был выполнен в сентябре 2002 г. на рельсоиспытательном полигоне ТТС в Пуэбло, штат Колорадо. ТТС и университет Д. Хопкинса совместно провели предварительное исследование и натурные испытания неразрушающего контроля рельсов по методу комбинированной лазерно-ультразвуковой технологии (LANUT), запатентованному университетом.

Систему LANUT, аппаратура которой была установлена на ручной рельсовой тележке, оценивали с точки зрения ее способности выявлять поперечные дефекты в подошве рельса и вертикальные дефекты (щелевидные трещины) в его головке. Оказалось, что с использованием системы можно обнаруживать до 100% дефектов указанного вида в головке рельса и 90% дефектов в подошве.

В стремлении продолжить совершенствование данного метода дефектоскопии ТТС поставил компании Тесногамма (Тревизо, Италия), которая приобрела лицензию на доработку системы LANUT, партию рельсов, имеющих дефекты как эксплуатационного происхождения, так и искусственно созданные, для более тщательного расследования потенциала метода при его использовании в полевых условиях.

В марте 2004 г. ТТС организовал семинар для изучения состояния исследований в области ультразвуковой технологии применительно к дефектоскопии рельсов. Рассматривались два метода: с использованием фазированного (работы над этим методом спонсировала Федеральная железнодорожная администрация США, FRA) и лазерного (спонсировала Ассоциация американских железных дорог в рамках программы стратегических исследовательских инициатив) излучения. В ходе семинара специалисты

компании Тесногамма продемонстрировали на рельсоиспытательном полигоне ТТС возможности системы LANUT на базе лазера обнаруживать поперечные и вертикальные дефекты в головке рельса и поперечные дефекты в его подошве.

Описание системы LANUT

Система ультразвуковой дефектоскопии на базе лазера состоит из собственно лазера, комплекта зеркал и линз, комплекта измерительных преобразователей-датчиков с воздушной связью и системы сбора данных. Для обеспечения мобильности и стабильности в работе аппаратура системы, как указано выше, смонтирована на ручной тележке. Для генерирования ультразвуковых сигналов применен неодимово-иттриево-алюминиево-гранатовый импульсный лазер (Nd:YAG) с модулируемой добротностью. Этот лазер работает на длине волны 1064 нм и генерирует импульсы шириной от 4 до 7 нс с энергетическим уровнем около 800 мДж на импульс.

Во время обследования на поверхность рельсов подается вода с целью создания граничного слоя, который оптимизирует условия работы за счет минимизации потерь энергии между источником излучения и поверхностью контролируемого объекта. Благодаря сохранению энергии увеличивается соотношение сигнал/шум, что делает интерпретацию данных более надежной. Лазерное излучение конфигурируется и подается на головку рельса с помощью системы зеркал и линз. В зависимости от типа изучаемого дефекта лазерный луч фокусируется в точку или в линию.

Для восприятия поступающих сигналов применены емкостные датчики с воздушной связью. Эти датчики могут работать в широкополосном (от 40 кГц до 2,25 мГц) частотном диапазоне и способны воспринимать сигнал на некотором

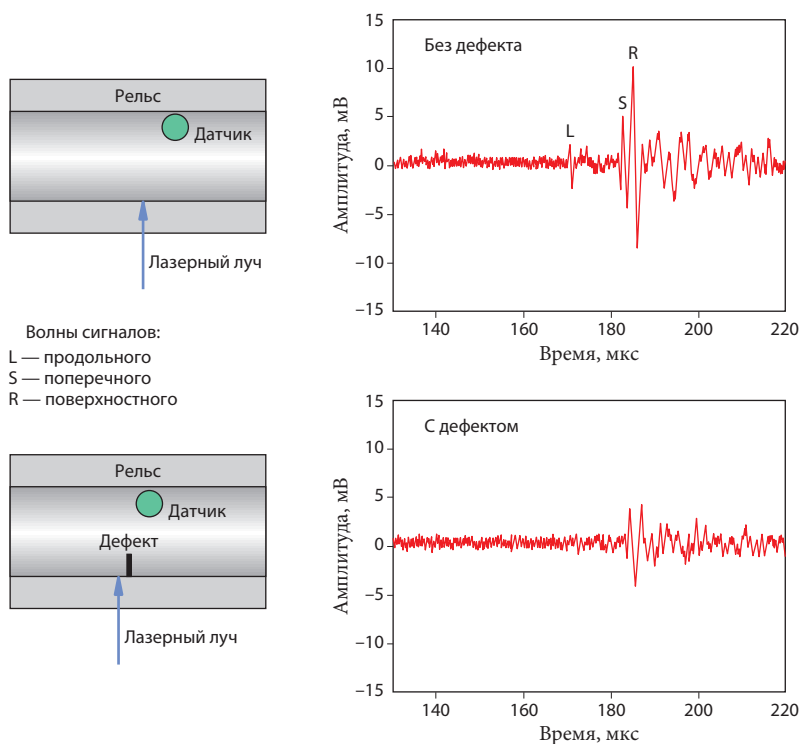


Рис. 1. Расположение датчика и отображение волн сигналов при поиске поперечного дефекта в головке рельса

расстоянии от поверхности рельса, чем обеспечивается зазор между датчиком и возможным препятствием на поверхности. Дополни-

тельными достоинствами датчиков с воздушной связью являются гибкость ориентации и удобство настройки по месту вследствие ма-

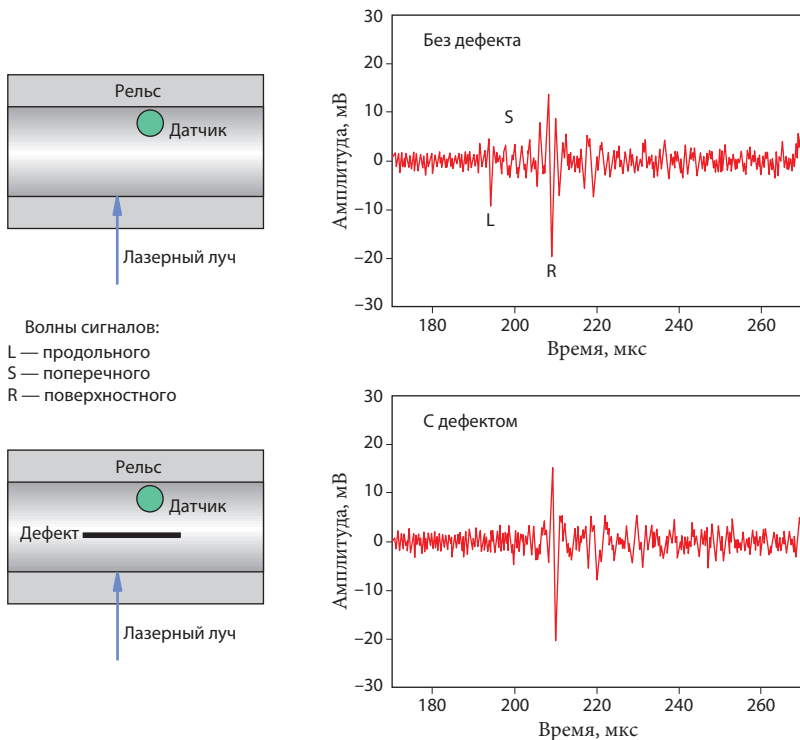


Рис. 2. Расположение датчика и отображение волн сигналов при поиске вертикального дефекта в головке рельса

лых углов разброса между поверхностью и датчиком.

Металловедческие исследования поверхностей рельса, подвергающихся лазерному облучению, были проведены в металлургической лаборатории ТТС в целях выявления возможных рисков возникновения структурных повреждений в рельсах в процессе их обследования. Рельсы оценивали в четырех разных зонах: свободной от импульсов лазерного излучения и получивших 1, 10 и 100 импульсов. Исследования показали, что опасности с точки зрения металлургии лазерное облучение не представляет.

Обнаружение дефектов в головке рельса

Система ультразвуковой дефектоскопии на базе лазера настраивается в тональном режиме, что обеспечивает возможность осуществлять с помощью датчиков мониторинг волн продольных, поперечных и поверхностных сигналов, проходящих через головку рельса.

Поперечные трещины в головке

Указанный метод использовали для обследования головки рельса с целью обнаружения в ней поперечных дефектов. Результаты показали, что когда в головке рельса поперечных дефектов нет, на экране электронно-лучевой трубки радиочастотные сигналы отображаются весьма четко, идентифицируя волны трех видов отслеживаемых сигналов.

Когда прохождение сигналов прерывается из-за наличия поперечного дефекта, их отображение видоизменяется, как показано на рис. 1. Волна продольного сигнала ослабевает или исчезает со своей временной метки, находящейся перед меткой волны поверхностного сигнала, и перемещается на метку, находящуюся после метки волны поверхностного сигнала. То же про-

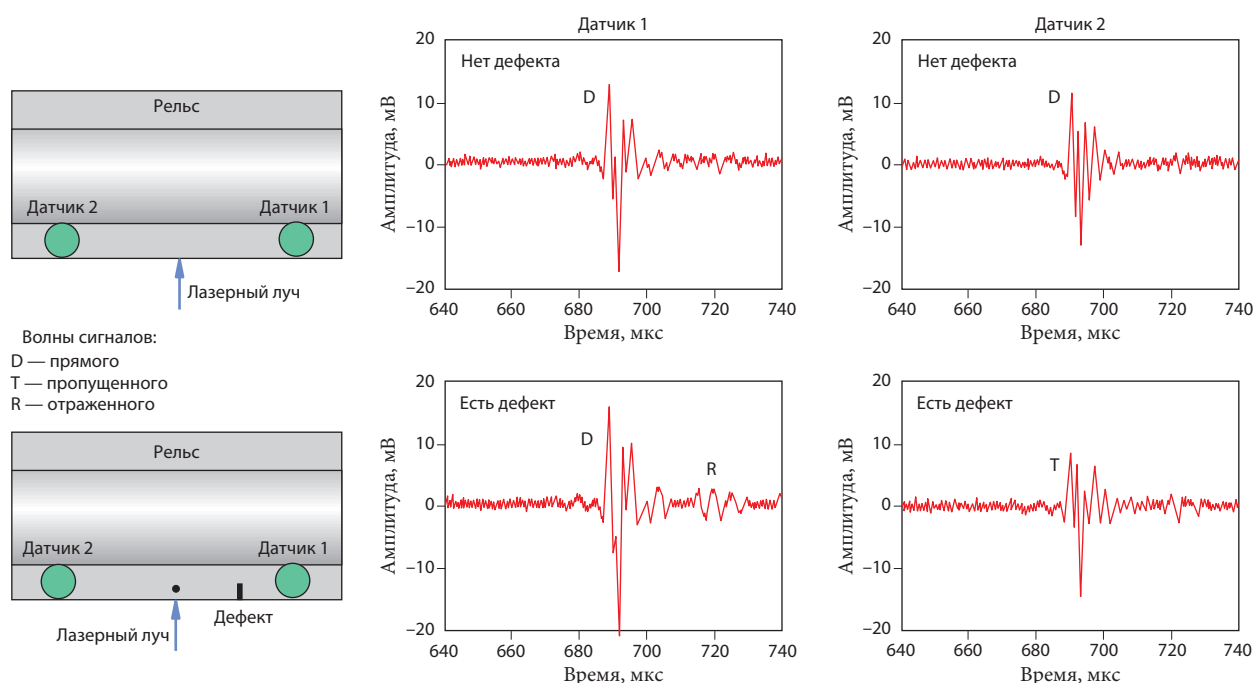


Рис. 3. Расположение датчиков и отображение волн сигналов при дефектоскопии подошвы рельса

исходит с волной поперечного сигнала, но в меньшей степени, а волна поверхностного сигнала при наличии пленообразования гасится.

Вертикальные трещины в головке

Рассматриваемый метод использовали также для обнаружения вертикальных трещин в головке рельса. Здесь в процессе дефектоскопии также отслеживаются волны сигналов трех видов (продольного, поперечного и поверхностного), как показано на рис. 2. Когда трещин нет, волны радиочастотных сигналов всех трех видов четко отображаются на экране электронно-лучевой трубки. При наличии дефекта волны продольного и поперечного сигналов ослабевают, исчезают или сдвигаются во времени как диффрагированные. До тех пор пока дефект не выйдет

на поверхность и не расположится в зоне между источником генерирования лазерного луча и приемным датчиком с воздушной связью, отображение отраженных от поверхности волн сигналов остается четким.

Обнаружение дефектов в подошве рельса

Использование рассматриваемого метода для обследования подошвы рельса показало широкие возможности ультразвуковой дефектоскопии на базе лазера с точки зрения надежности и воспроизводимости результатов на удалении более 20 см от верхней поверхности подошвы. Два датчика отображают на мониторе волну поверхностного сигнала, направленного от подошвы рельса. Точка генерирования лазерного излучения расположена

посредине между датчиками. Когда между точкой генерирования излучения и приемными датчиками дефектов нет, волна поверхностного радиочастотного сигнала отчетливо отображается на экране электронно-лучевой трубки (рис. 3). Если же имеет место дефект между точкой генерирования излучения и одним из приемных датчиков, соответствующий радиочастотный сигнал ослабляется или исчезает. Приемный датчик, между которым и точкой генерирования излучения дефекта нет, дает отображение непрерывной волны поверхностного сигнала вместе с волной сигнала, отраженного от поверхности, причем вторая отстает во времени от первой. Этот второй сигнал представляет собой отражение поверхностного сигнала в отсутствие дефекта.

G. Garcia et al. *Railway Track and Structures*, 2004, № 6, p. 16–18.