

Выявление поверхностных повреждений головки рельса по данным магнитного канала.



Антипов А.Г. Ведущий специалист НТК СНК
Выпускник кафедры вычислительной физики СПбГУ,
В ОАО «Радиоавионика» с 2008г.

Изучена возможность использования данных магнитного канала мобильных средств дефектоскопического контроля для выявления поверхностных повреждений головки рельса. Предложены меры по улучшению выявляемости поверхностных повреждений рельса посредством дополнительной цифровой обработки сигнала.

Поверхностные повреждения головки рельса являются наиболее распространенным типом дефектов в рельсовой дефектоскопии. Однако задаче обнаружения подобных дефектов зачастую не уделяется должного внимания, поскольку основная часть металла рельса оказывается не затронутой и, следовательно, никаких катастрофических последствий поверхностные повреждения сами по себе вызвать не могут. Вместе с тем, известно, что наличие большого количества повреждений рабочей поверхности рельсового пути оказывает негативное воздействие на состояние подвижного состава железной дороги. Другим фактором отрицательного влияния поверхностных повреждений является то, что там, где они имеются, иные, потенциально более опасные типы дефектов развиваются чаще по сравнению с гладкими изначально участками. Последнее обстоятельство объясняется большими динамическими нагрузками, которые испытывает рельс с поврежденной поверхностью при движении по нему подвижного состава. В связи с вышесказанным, проблема обнаружения поверхностных дефектов рабочей грани рельса выглядит весьма актуальной.

В настоящее время на железных дорогах эксплуатируются мобильные средства контроля – автомотрисы и вагоны-дефектоскопы, реализующие маг-

нитные методы дефектоскопии. Магнитные датчики индукционного типа фиксируют изменения тангенциальной составляющей поля над головкой продольно намагниченного рельса. Возникает вопрос – в какой мере полученные таким образом данные пригодны для обнаружения поверхностных повреждений рельса и что можно дополнительно предпринять для повышения выявляемости дефектов подобного типа?

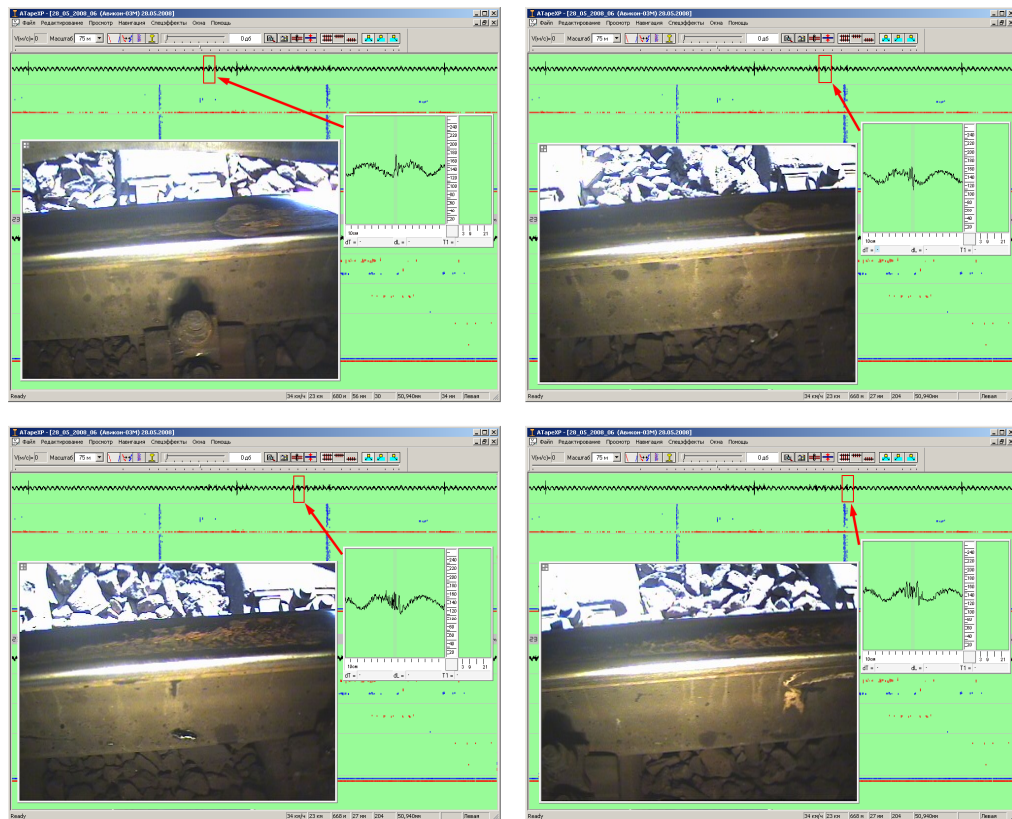


Рис. 1 Дефектограммы с сигналами от поверхностных повреждений головки рельса (записаны на вагоне с дефектоскопическим комплексом АВИКОН-03М)

На рис.1 показан 75-метровый участок пути, содержащий более десятка поверхностных дефектов различной величины, так, как он выглядит на экране оператора программно-аппаратного комплекса неразрушающего контроля (ПАК НК). На записи данных магнитного канала на расстоянии 25м друг от друга отчетливо видны отклики от трех стыков сварного пути – характерные М-образные группы импульсов (рис.2).

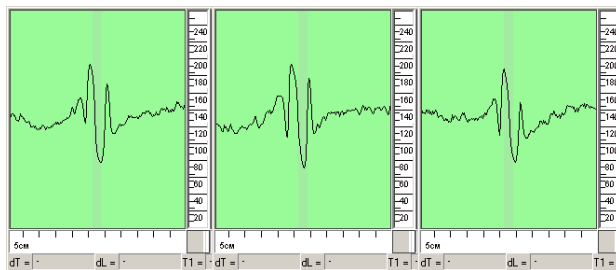


Рис.2. Сигналы от сварных стыков на магнитном канале

По сравнению с ними сигналы от поверхностных повреждений головки значительно слабее и в данном масштабе отображения с трудом выявляются визуально. При помощи «лупы» показаны увеличенные фрагменты записи магнитного канала, соответствующие местам поверхностных повреждений, а также приведены кадры, которые сняты камерой, установленной со стороны рабочей кромки рельса. Действительно, амплитуда сигналов от поверхностных повреждений сравнима по величине с амплитудой подкладочного процесса – периодических колебаний магнитного поля, обусловленных влиянием ферромагнитных элементов креплений шпал – и лишь в несколько раз превышает величину естественного шума, наблюдаемого в магнитном канале.

Чтобы оценить характеристики сигналов магнитного канала, порождаемые поверхностными повреждениями, рассмотрим модель дефекта головки рельса, построенную на двумерной сетке 1000x700 (рис.3а).

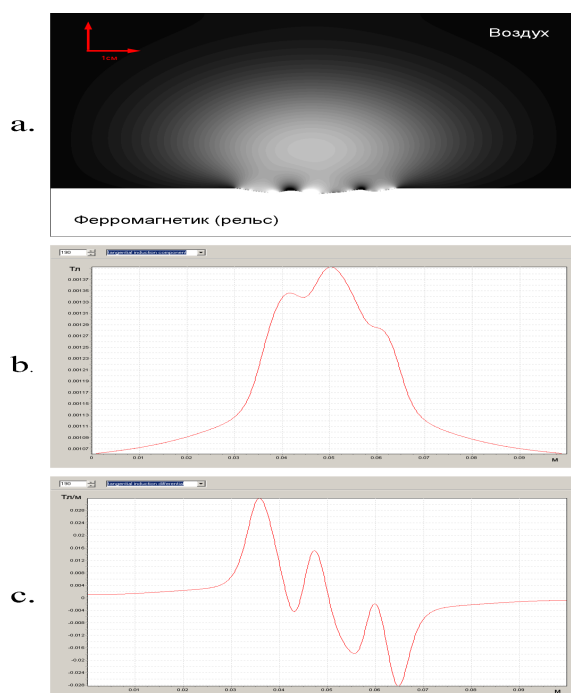


Рис.3. Результаты численного моделирования поверхностного повреждения рельса: а) распределение модуля индукции магнитного поля вблизи дефекта; б) тангенциальная составляющая индукции в 1 см от поверхности рельса; в) производная тангенциальной составляющей

Геометрические размеры «выщербины» — около 3 см в горизонтальном направлении, до 2 мм глубиной; магнитное поле в рельсе — 0.5 Тл, что по порядку величины соответствует тем полям, которые генерируют намагничивающие системы вагонов-дефектоскопов. Расчеты велись методом конечных разностей применительно к векторному потенциалу магнитного поля.

Результаты вычислений отражены на рис.3а-с. Над рельсом наблюдается поле рассеяния, порожденное неоднородностью границы ферромагнетика, величина модуля индукции поля показана интенсивностью цвета. Вблизи рельса (менее 5 мм от его поверхности) поле неоднородно, его величина варьируется в зависимости от локальной геометрии границы воздух-сталь. На большем расстоянии от поверхности рельса поле рассеяния принимает правильную геометрическую форму. Очевидно, что поле вблизи поверхности рельса содержит информацию о локальных характеристиках повреждения, в то время как на некотором отдалении — о его геометрических размерах в целом. По своей величине поля рассеяния относительно слабые — максимум индукции (~ 1.5 мТл), достигаемый на расстоянии порядка 1 см от поверхности рельса, приблизительно в 1.5 раза превышает фон, генерируемый намагничивающей системой в воздухе. Таким образом, дополнительное поле, порождаемое рассматриваемым дефектом, составляет не более половины от того, что существует над идеально гладким рельсом. Тем не менее, по абсолютной величине оно на порядок больше естественного магнитного поля Земли (~ 0.05 мТл). На рис.3b показано распределение тангенциальной составляющей магнитного поля на расстоянии 4 мм от поверхности рельса. На рис.3с — производная распределения тангенциальной составляющей по горизонтальной координате — именно та величина, которая фиксируется дифференциальным индукционным датчиком искательной системы. Амплитудные и частотные характеристики импульсов сравнимы с теми, что наблюдаются в реальных условиях (рис.1).

Таким образом, малая величина сигналов от поверхностных повреждений составляет основную трудность при работе с ними. Возникает проблема — как выделить эти слабые сигналы на фоне подкладочного процесса и естест-

венного шума магнитного канала? Чтобы решить ее, воспользуемся цифровой обработкой данных магнитного канала.

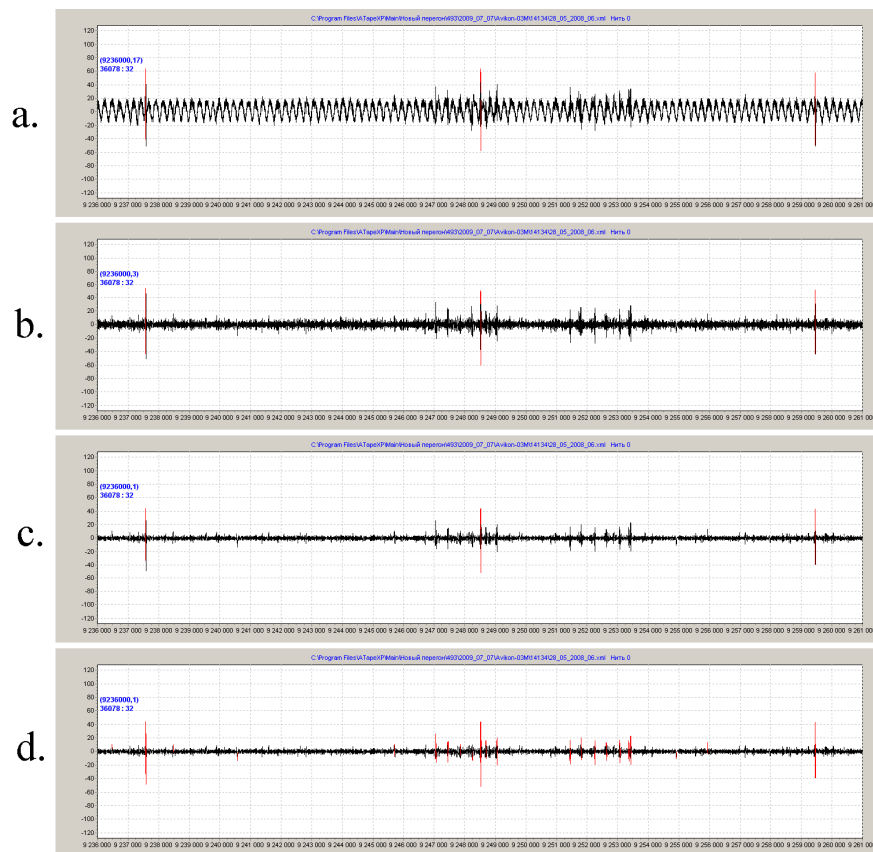


Рис.4. Цифровая обработка сигнала магнитного канала: а) исходный сигнал; б) после применения фильтра верхних частот; в) после фильтрации и сглаживания; г)разметка обработанного сигнала

На рис.4а показан участок исходной записи магнитного канала, на котором красным выделены результаты работы модуля автоматической расшифровки, ориентированного на работу с амплитудными характеристиками сигнала: кроме откликов от трех сварных стыков, никаких иных заслуживающих внимания импульсов не обнаружено. Дабы устранить негативное влияние подкладочного процесса, применим фильтр высоких частот, подавляющий спектральные компоненты с периодом более некоторого предела. Спектральная характеристика исходного сигнала изображена на рис.5: отчетливо виден пик, соответствующий диапазону частот 1.8-1.9 периода на метр.

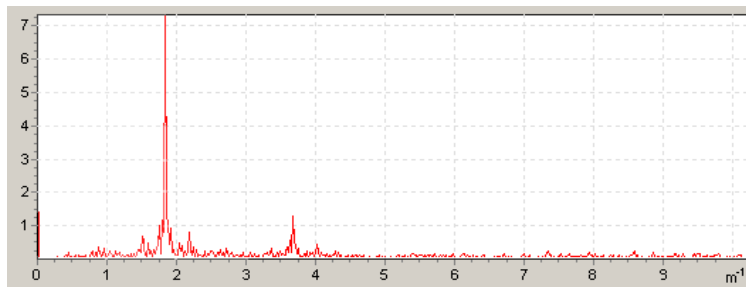


Рис.5. Частотный спектр сигнала магнитного канала

Очевидно, что существование этого пика связано с основной частотой подкладочного процесса, которая, в свою очередь, определяется плотностью укладки шпал на рассматриваемом участке пути (в данном случае – 1840 шпал на километр). Используем фильтр, подавляющий спектральные компоненты с периодом более 20 см. Такой фильтр оказывает воздействие не только на основную частоту подкладочного процесса, но и на ее вторичную гармонику с частотой ~ 3.7 периода на метр, также хорошо заметную на рис.5. Вместе с тем, сигналы от поверхностных повреждений практически не затрагиваются фильтром, так как их основные частоты более чем на порядок выше частоты подкладочного процесса. Результат фильтрации показан на рис.4b. Чтобы уменьшить влияние хаотичного высокочастотного шума, проведем сглаживание отфильтрованного сигнала с окном 18 мм. Результаты сглаживания представлены на рис.4с.

Результаты работы модуля автоматической расшифровки с отфильтрованным и сглаженным сигналом заметно отличаются от тех, что были получены с исходным сигналом. Как видно на рис.4d, локализованы не только импульсы сварных стыков, но и импульсы, порожденные поверхностными повреждениями. Отчетливо заметны две серии, в каждой из которых имеется по несколько повреждений на равном расстоянии друг от друга. Можно предположить, что эти повреждения – последствия некоторого периодического процесса, например – движения колеса.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что данные магнитного канала вполне пригодны для выявления поверхностных повреждений головки рельса. Однако необходимым условием обеспечения высокой вероятности обнаружения дефектов является дополнительная автоматическая обработка оцифрованного сигнала.