

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

I издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 10 – 12 июля 2012 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 9 – 12 октября 2012 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 12 октября 2012 г.

**Р
739/1**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ ПО ДАННЫМ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
РЕЛЬСОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ УДС2 РДМ-22**

1. Введение

Современные компьютеризированные дефектоскопы сплошного контроля имеют большое количество независимых информационных каналов и обеспечивают запись принятых сигналов по каждому каналу, в процессе ультразвукового контроля (УЗК) рельсов.

Компьютерная обработка полученной информации в стационарных условиях позволяет всесторонне оценить техническое состояние рельсов, выявить дефекты, пропущенные в процессе контроля на путях и создать базу данных сигналов дефектных рельсов.

Статистическая обработка сигналов базы данных дает возможность прогнозировать техническое состояние рельсов, определять скорость развития дефектов и правильно планировать работы по текущему содержанию пути.

Указанные обстоятельства повышают безопасность движения поездов, снижают расходы на содержание пути и позволяют в конечном итоге перейти от обслуживания рельсов по регламентам установленной периодичности к обслуживанию по техническому состоянию.

2. Оценка уровня эксплуатационной стойкости дефектных рельсов

Наиболее часто причиной излома рельсов в пути являются поперечные трещины в головке рельса, которые развиваются под отслоениями и выкрашиваниями металла на поверхности катания. В процессе УЗК сигналы, сформированные переотражениями в слое между поверхностью катания головки и продольной трещиной, по своей форме могут не отличаться от сигналов, отраженных от поперечной трещины. Следовательно, возникают ошибки при интерпретации данных УЗК и неправильная оценка степени опасности дефектных рельсов.

Расслоение и выкрашивание головки рельса является источником образования поперечных трещин. При этом с ростом глубины расслоения вероятность возникновения поперечных трещин возрастает, что увеличивает вероятность возникновения излома.

Оценка уровня эксплуатационной стойкости и надежности дефектных рельсов по результатам УЗК, выполняемого с помощью ультразвукового дефектоскопа РДМ-22 (НПП „РДМ” г. Кишинев, Молдова), осуществлялась путем установления связи условных размеров дефектов с максимальной статической нагрузкой выдерживаемой дефектными рельсами до полного излома под прессом. Значения условных размеров дефектов рельсов (H_{max} – максимальная глубина, ΔH – условная высота, L – условная протяженность) определялись при компьютерной обработке сигналов дефектоскопа РДМ-22, полученных при сплошном контроле. Проконтролированные дефектные рельсы вырезались и ломались с помощью специального пресса. В момент излома рельса фиксировались максимальная статическая нагрузка F и стрела прогиба рельса l . Поверхность катания дефектного рельса и поверхность излома фотографировались.

Производился совместный анализ данных УЗК и излома дефектных рельсов. Всего было обработано 33 дефектных и остродефектных рельсов типа R-65 изъятых из пути с пропущенным тоннажем (200 - 300) млн. тонн и грузонапряженностью (15÷30) млн. т. в год. Некоторые результаты этой работы представлены на рис 1- 6. Здесь изображены фотографии поверхности катания головки и изломов дефектного рельса, а так же сигналы, полученные по каналам 55°, 70°, 0°.

Из представленных данных следует:

1. Чем больше развит дефект в рельсе, тем больше его условные размеры (H_{max} , ΔH , L) и тем меньше сила излома F и стрела прогиба l .
2. Для рельсов, имеющих повреждения головки в виде расслоений поверхности катания из которых развиваются поперечные трещины, сигналы сформированные по каналу 70° не полностью перекрываются сигналами, принятыми по каналу 0°. Например, из рис. 1 следует, что часть В-индикации $\Delta L=22$ мм канала 70° сформировалась при отсутствии расслоения, путем отражения от поперечной трещины. Соответственно, для рис. 2 $\Delta L=66$ мм, для рис. 4 $\Delta L=25$ мм. Наличие расслоения определяется по отсутствию донного сигнала в канале 0°.
3. При отсутствии поперечных трещин, независимо от условных размеров дефекта (рис. 3,5,6), В-индикации канала 70° полностью перекрываются сигналами канала 0°.

Экспериментальный график зависимости условной высоты дефекта ΔH по каналу 55° от максимальной силы излома F представлен на рис. 7 в виде совокупности экспериментально снятых точек. График построен для рельсов, имеющих повреждения головки в виде расслоений поверхности катания из которых развиваются поперечные трещины. Аппроксимация данной зависимости изображена непрерывной линией. Вид этой функции зависит от типа рельсов, грузонапряженности и пропущенного тоннажа.

В качестве максимально допустимой статистической нагрузки, при которой рельс еще может эксплуатироваться, выберем величину $F_0=120$ т. Согласно рис. 7 этому значению F_0 соответствует $\Delta H=20$ мм. Аналогичные расчеты, выполненные для сигналов, принятых по каналу 70° показывают, что в случае $F_0=120$ т., допустимое значение соответствующей максимальной глубины $H_{max}=20$ мм.

На основании вышеизложенного разработан алгоритм принятия решения о дефектности рельса по сигналам дефектоскопа РДМ-22 (рис. 8) для рельсов имеющих повреждения головки в виде расслоения поверхности катания из которых развиваются поперечные трещины.

В соответствии с рис. 8, все возможные значения условных размеров дефектов, выявленных по сигналам каналов 70° и 55° дефектоскопа РДМ-22, могут делиться на 6 независимых групп:

1. Группы 1, 2, 3 соответствующие дефектным рельсам первой группы каталога НТД/ЦП-93, которые берутся под наблюдение и повторно проверяются средствами дефектоскопии в плановом порядке.
2. Группы 4, 5, 6 соответствующие дефектным рельсам, представляющим повышенную опасность для движения поездов. Их необходимо срочно, в 3-х

дневный срок повторно проконтролировать дефектоскопами с использованием ручных искателей и принять соответствующие меры по обеспечению безопасности движения поездов.

Если условные размеры дефектов ΔH , H_{\max} соответствуют группам 4, 5, 6, а В-индикации каналов 70° полностью перекрываются сигналами канала 0° (рис. 5, 6), значит поперечные трещины головки не обнаружены. Это возможно потому, что их нет, либо они невелики и полностью маскируются расслоениями поверхности катания головки. В этом случае нагрузка при изломе рельса F больше максимально допустимой $F_0=120$ т., и повреждение должно учитываться как дефект первой группы каталога НТД/ЦП-93. Например:

- в случае рис.5 $\Delta H=20\text{мм}$, $H_{\max}=19\text{мм}$, $F=150\text{т}$;
- в случае рис.6 $\Delta H=17\text{мм}$, $H_{\max}=29\text{мм}$, $F=135\text{т}$.

Эти дефектные рельсы рекомендуется брать под наблюдение и повторно проверяются с использованием ручных искателей и специальных технологий поиска поперечных трещин под расслоениями поверхности катания головки рельса.

3. Прогнозирование технического состояния рельсов

Базы данных дефектных рельсов и статистическая оценка их эксплуатационной стойкости позволяют прогнозировать техническое состояние рельсов. Указанный прогноз осуществляется путем сравнительного анализа сигналов полученных при УЗК дефектных рельсов в разное время. При этом необходимо выполнение следующих условий:

1. Анализ сигналов дефектоскопа, полученных по основным каналам контроля, производится в режиме пространственного совмещения приемоизлучателей данных каналов. Это позволяет в канале 70° выделить сигналы отраженные от поперечных трещин на фоне помеховых отражений от поверхностных расслоений (рис. 1, 2, 4);
2. Сравнительный анализ сигналов, полученных при УЗК дефектных рельсов, в разное время следует выполнять при выравнивании усиления приемников одинаковых каналов. Это позволяет сравнивать условные размеры сигналов, полученных в разное время, разными дефектоскопами.

Ниже приводятся результаты обработки сигналов дефектоскопа РДМ-22, полученных при УЗК двух дефектных рельсов в разное время.

3.1. На рис.9 представлены сигналы, полученные при УЗК дефектного рельса **10** в разное время: а) $T1=08.12.2008$.г.; в) $T2=09.03.2009$.г. Результаты оценки условных размеров дефекта, скорости его развития и прогноза технического состояния приведены в таблице 1.

Таблица 1

Текущее состояние						Прогнозируемое состояние			
Т1, 08.12.2008		Т2, 09.03.2009		V(55°)	V(70°)	09.05.2009 г.		09.10.2009 г.	
ΔH_1 , мм	$H_{\max 1}$, мм	ΔH_2 , мм	$H_{\max 2}$, мм	$\frac{\text{мм}}{\text{месяц}}$	$\frac{\text{мм}}{\text{месяц}}$	ΔH , мм	H_{\max} , мм	ΔH , мм	H_{\max} , мм
15	11	18	14	1	1	20	16	25	21

Здесь: $V(55^\circ) = \frac{\Delta H_2 - \Delta H_1}{T_2 - T_1}$ - скорость роста условных размеров дефекта по каналу 55°,

$V(70^\circ) = \frac{H_{\max 2} - H_{\max 1}}{T_2 - T_1}$ - скорость роста условных размеров дефекта по каналу 70°.

Из этих данных следует:

1. Условные размеры дефекта ΔH , H_{\max} , полученные в разное время T_1 , T_2 меньше значений, указанных на рис. 8, для групп 1, 2, 3.
2. Скорость роста условных размеров дефекта по каналам 55°, 70° одинаковы и равны 1 мм в месяц.
3. Прогнозируемое время попадания условных размеров дефекта в первую группу (рис.8) дефектности 09.05.2009 г. При этом расчетные значения условных размеров дефекта $\Delta H=20\text{мм}$, $H_{\max}=16\text{мм}$.
4. Прогнозируемое время попадания условных размеров дефекта в четвертую группу (рис.8) повышенной опасности 09.10.2009 г. При этом расчетные значения условных размеров дефекта $\Delta H=25\text{мм}$, $H_{\max}=21\text{мм}$.

На рис. 10 представлена фотография поверхности излома дефектного рельса **10**, подтверждающая данный прогноз. Рельс изъят из пути и сломан под прессом 10.10.2009 г. Нагрузка при изломе $F=100\text{т}$, стрела изгиба $l=9\text{мм}$. Из этого рисунка следует, что головка рельса имеет повреждение в виде расслоений поверхности катания (код дефекта 17.2), из которых начинают развиваться поперечные трещины (код дефекта 21.2). Необходимо отметить, что эти трещины не выявлялись при УЗК с боковых граней головки рельса с помощью ручных наклонных искателей.

Величинам $F=100\text{т}$ и $\Delta H=25\text{мм}$ (п. 4) на графике (рис. 7) соответствует точка **10**, которая хорошо совпадает с аппроксимацией данной зависимости.

3.2. На рис. 11 представлены сигналы, полученные дефектоскопом РДМ-22 при УЗК дефектного рельса **11**, расположенного на 48 км 414 м участка пути в разное время: а) $T_1=07.01.2010\text{г.}$; б) $T_2=04.03.2010\text{г.}$; в) $T_3=22.04.2010\text{г.}$

Результаты оценки условных размеров дефекта, скорости его развития и прогноза технического состояния приведены в таблице 2.

Таблица 2

Текущее состояние								Прогнозируемое состояние	
Т1, 07.01.2010		Т2, 04.03.2010		V(55°)	V(70°)	Т3, 22.04.2010		Т3, 22.04.2010	
ΔH_1 , мм	H _{max1} , мм	ΔH_2 , мм	H _{max2} , мм	$\frac{\text{мм}}{\text{месяц}}$	$\frac{\text{мм}}{\text{месяц}}$	ΔH_3 , мм	H _{max3} , мм	ΔH , мм	H _{max} , мм
9	13	16	18	2,5	1,7	21	20	20	21

Из этих данных следует:

1. Условные размеры дефекта $\Delta H_1=9\text{мм}$, $H_{\text{max}1}=13\text{мм}$, полученные 07.01.2010 г. меньше значений указанных на рис. 8, для групп 1, 2, 3.

2. Условные размеры этого же дефекта $\Delta H_2=16\text{мм}$, $H_{\text{max}2}=18\text{мм}$, полученные 04.03.2010 г. попадают в первую группу дефектности (рис. 8) и берутся под наблюдение.

3. Рассчитанная скорость роста условных размеров дефекта составляет $V(55^\circ)=2,5\text{ мм в месяц}$; $V(70^\circ)=1,7\text{ мм в месяц}$.

4. Прогнозируемое время попадания условных размеров дефекта в четвертую группу (рис. 8) повышенной опасности 22.04.2010 г. При этом расчетные значения условных размеров дефекта $\Delta H=20\text{мм}$, $H_{\text{max}}=21\text{мм}$.

5. Условные размеры дефекта $\Delta H_3=21\text{мм}$, $H_{\text{max}3}=20\text{мм}$, полученные по данным УЗК в прогнозируемое время 22.04.2010 г. (рис. 11 с), хорошо совпадают с расчетными значениями ΔH , H_{max} (п.4). Погрешность оценки не превышает 5 %.

6. Увеличение условных размеров дефекта сопровождается ростом коэффициента выявляемости дефекта (рис. 11):

07.01.2010 $K_d=-10\text{dB}$; 04.03.2010 $K_d=-8\text{dB}$; 22.04.2010 $K_d=-6\text{dB}$.

Рассматриваемый дефектный рельс **11** сломан под прессом 30.04.2010 г. Нагрузка при изломе $F=110\text{т}$, стрела прогиба $l=11\text{мм}$.

На рис.12 представлена фотография поверхности излома, подтверждающая сделанный прогноз развития дефекта. Головка рельса имеет повреждение в виде расслоений поверхности катания (код дефекта 17.2), из которых начинают развиваться поперечные трещины (код дефекта 21.2).

Величинам $F=110\text{т}$ и $\Delta H=21\text{мм}$ (п. 5) на графике (рис. 7) соответствует точка **11**, которая хорошо совпадает с аппроксимацией данной зависимости.

3.3. Расчет интервала времени, через который следует производить очередной УЗК участка пути, содержащего рассматриваемые дефекты головки рельса, выполняется следующим образом:

1. По результатам обработки сигналов УЗК участка пути выбираются дефектные рельсы, которые попадают под наблюдение (рис. 8, группы 1, 2, 3). Для этих дефектов производится расчет скоростей роста условных размеров дефектов по

каналам 55° , 70° . При этом используются данные предыдущих проверок, записанные в базе данных.

2. Для выбранных дефектов рассчитываются интервалы времени ΔT , через которые эти дефекты по своим размерам попадают в группу повышенной опасности (рис. 8, группы 4, 5, 6). Из полученных величин выбирается минимальная ΔT_{\min} .

3. Интервал времени T_k , через который следует производить очередной контроль технического состояния рельсов на данном участке пути, определяется из условия: **$T_k = 0,5 \Delta T_{\min}$** .

Например:

- дефектный рельс **11** (п. 3.2), последний раз проконтролированный 04.03.2010, в соответствии с его техническим состоянием следует проверить дефектоскопом через $T_k = 24$ дня, т.е. 28.03.2010 г.;

- дефектный рельс **10** (п. 3.1), последний раз проконтролированный 09.03.2009 г. следует проверить через $T_k = 3,5$ месяца, т.е. 24.06.2009 г.

Следует отметить, что установленная периодичность ультразвукового контроля на участке пути, где находится рельс **10**, составляет 1 раз в месяц.

Следовательно, полученный в результате прогнозирования технического состояния рельса **10** временной интервал до следующего контроля $T_k = 3,5$ месяца, превышает в 3,5 раза интервал времени между двумя проверками, установленный на данном участке пути в соответствии с регламентом технического обслуживания.

Таким образом, ультразвуковой контроль рельсов по техническому состоянию позволяет значительно уменьшить необходимые трудозатраты при сохранении требуемого уровня безопасности движения поездов.

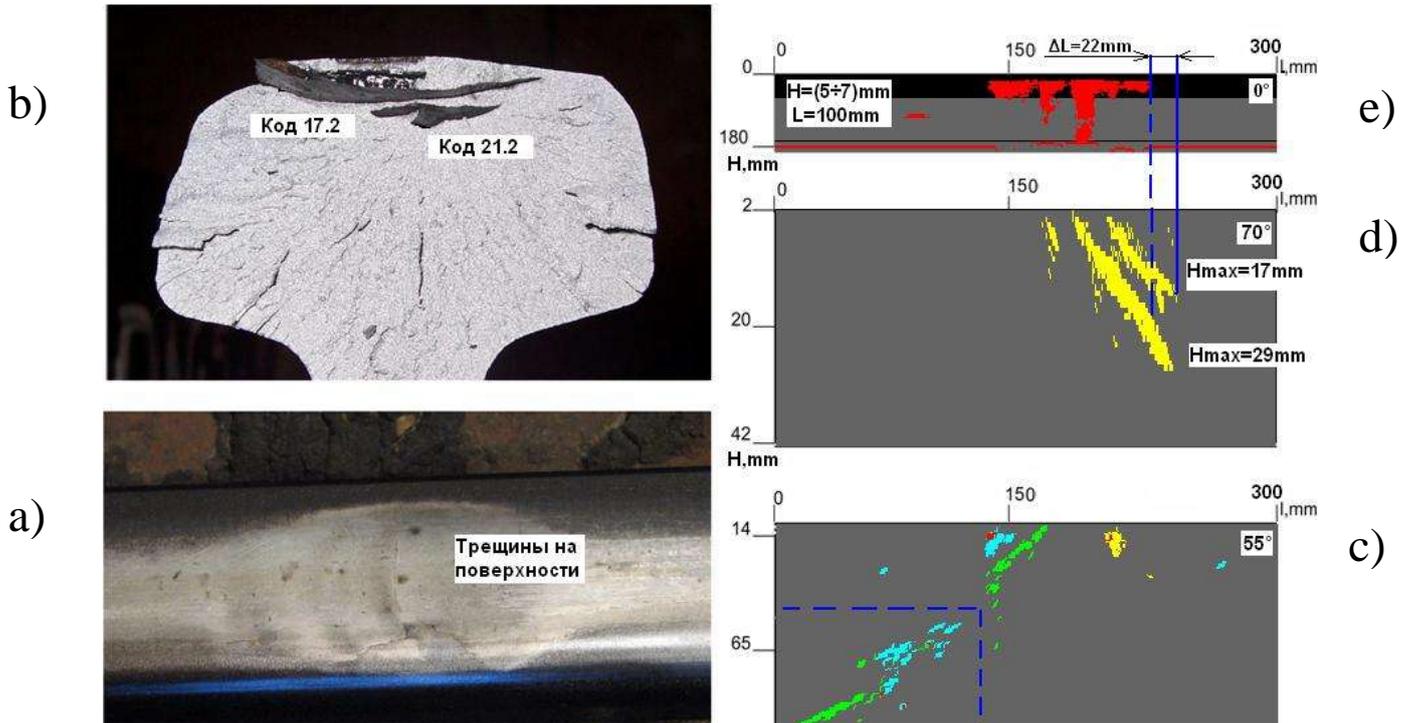


Рис. 1. Поверхность головки (а) и излома (в) дефектного рельса, а также сигналы, полученные по каналам 55° (с), 70° (д), 0° (е). Нагрузка $F=90t$, стрела прогиба $l=8mm$. Сигналы каналов 0° и 70° не перекрываются на интервале $\Delta L=22mm$.

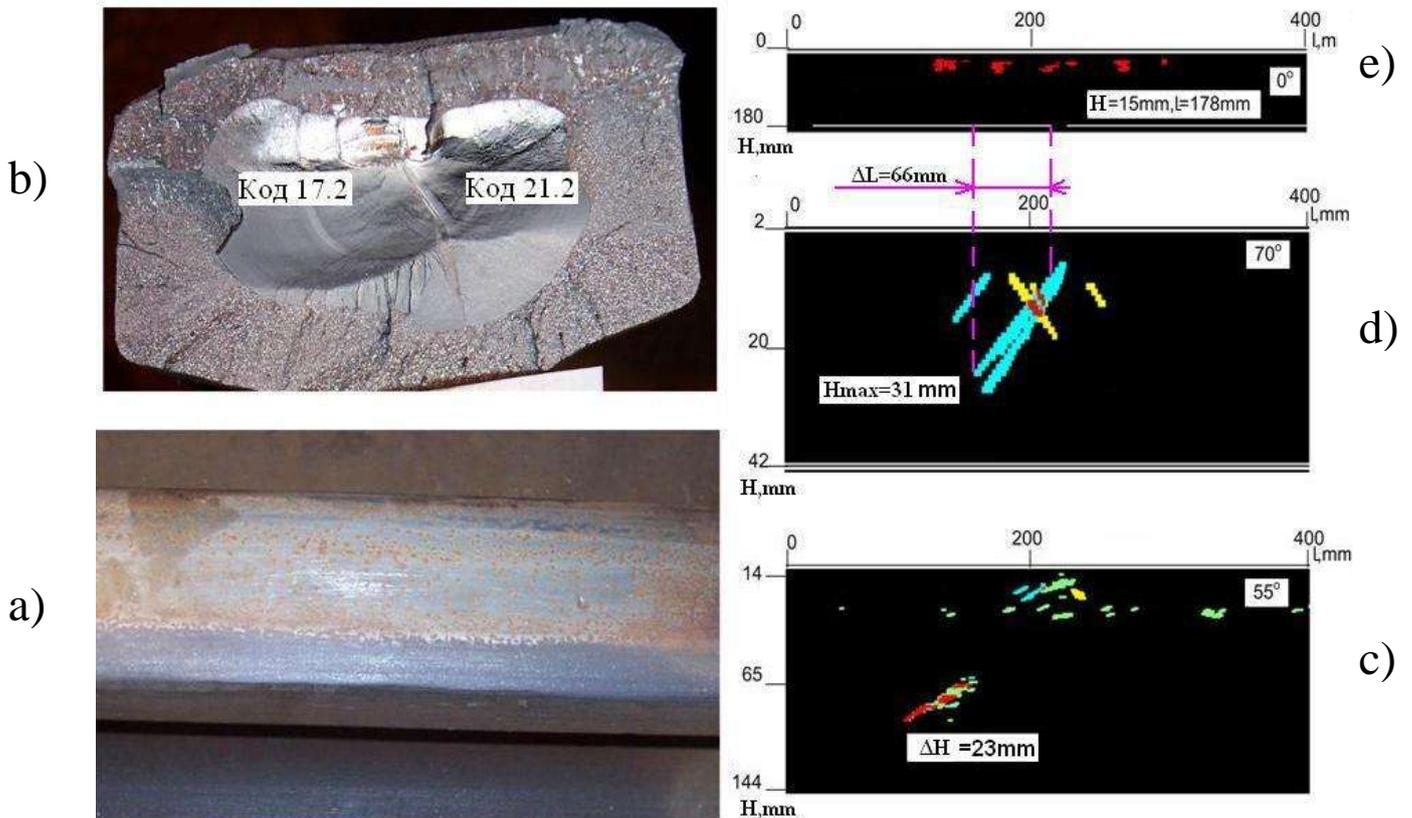


Рис. 2. Поверхность головки (а) и излома (в) дефектного рельса, а также сигналы, полученные по каналам 55° (с), 70° (д), 0° (е). Нагрузка $F=60t$, стрела прогиба $l=7mm$. Сигналы каналов 0° и 70° не перекрываются на интервале $\Delta L=66mm$.

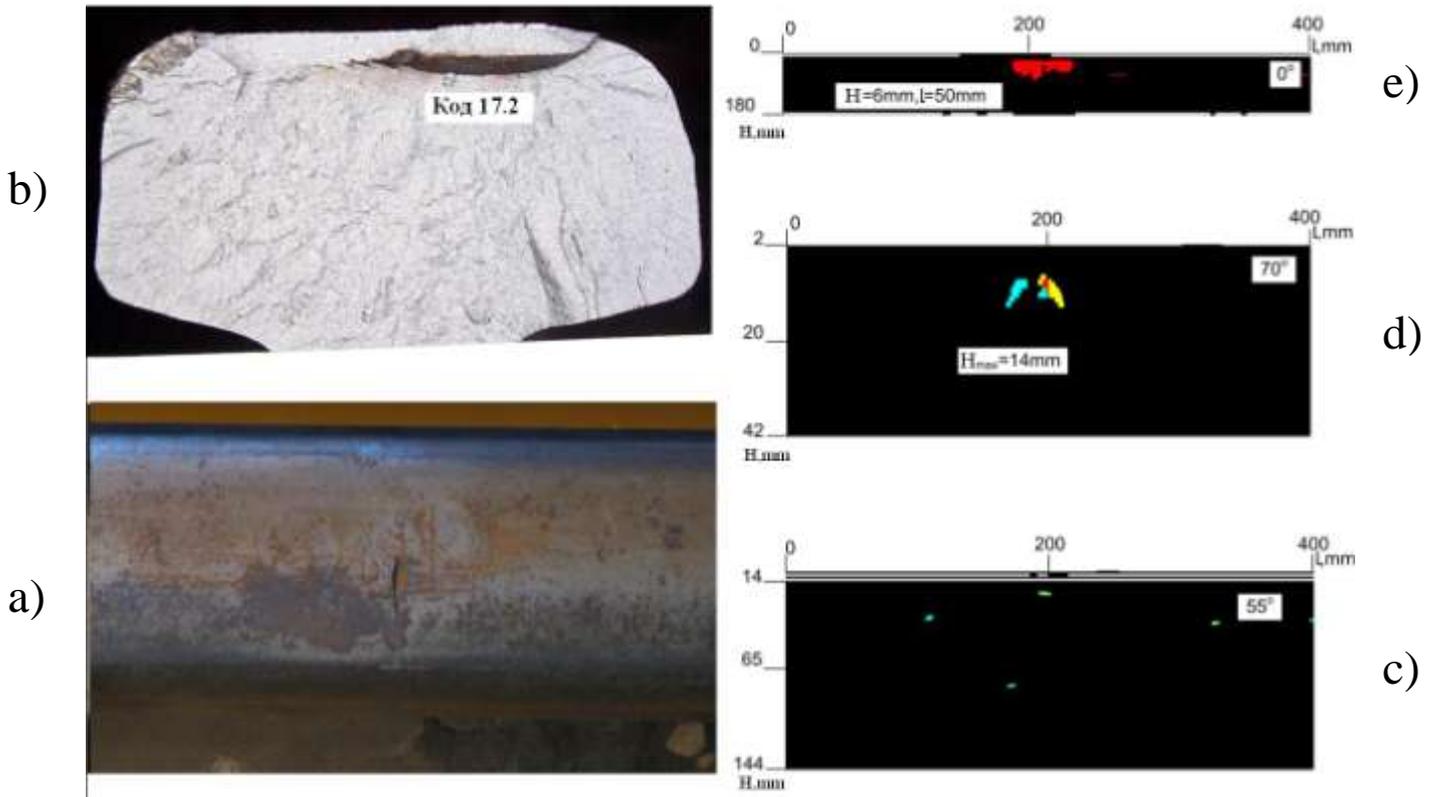


Рис. 3. Поверхность головки (а) и излома (в) дефектного рельса, а также сигналы, полученные по каналам 55° (с), 70° (д), 0° (е). Нагрузка $F=160t$, стрела прогиба $l=20mm$. Сигналы канала 0° полностью перекрывают сигналы канала 70°.

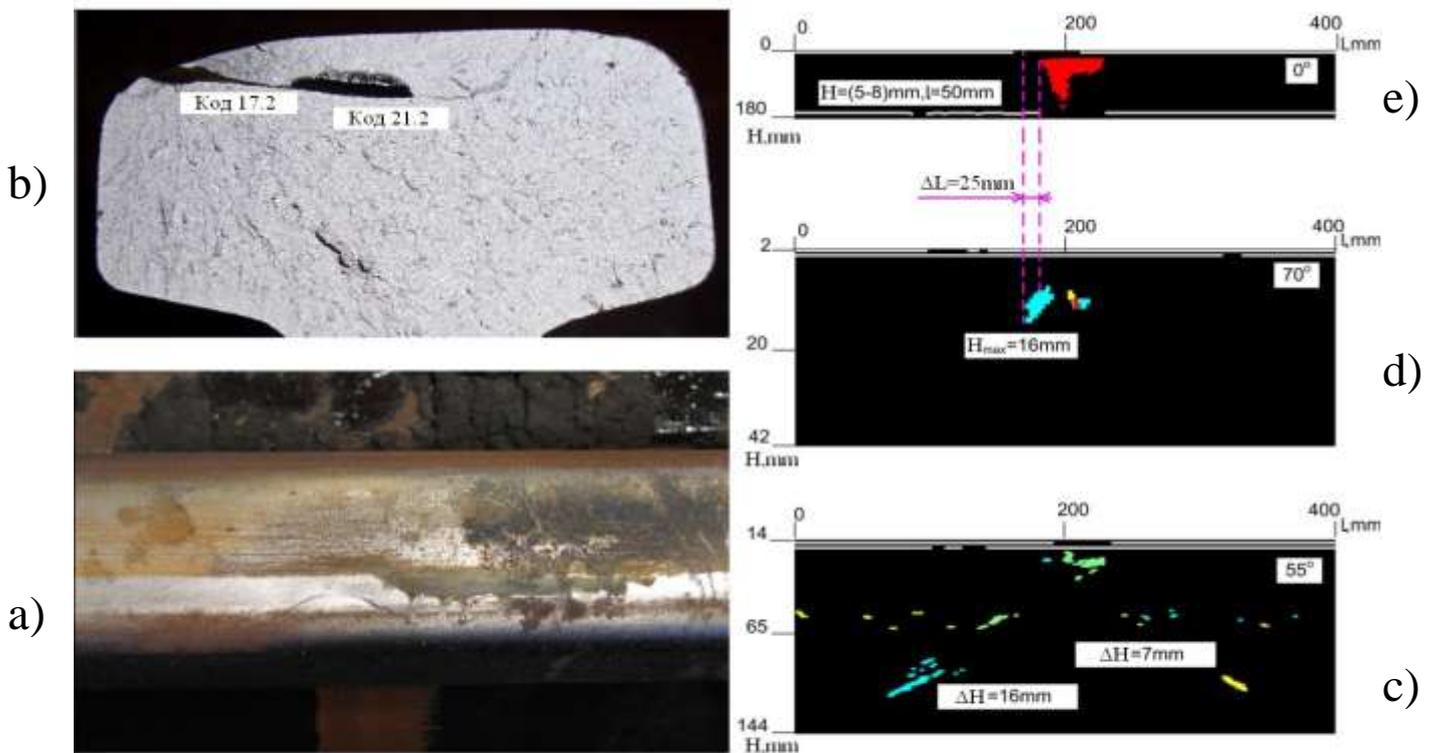
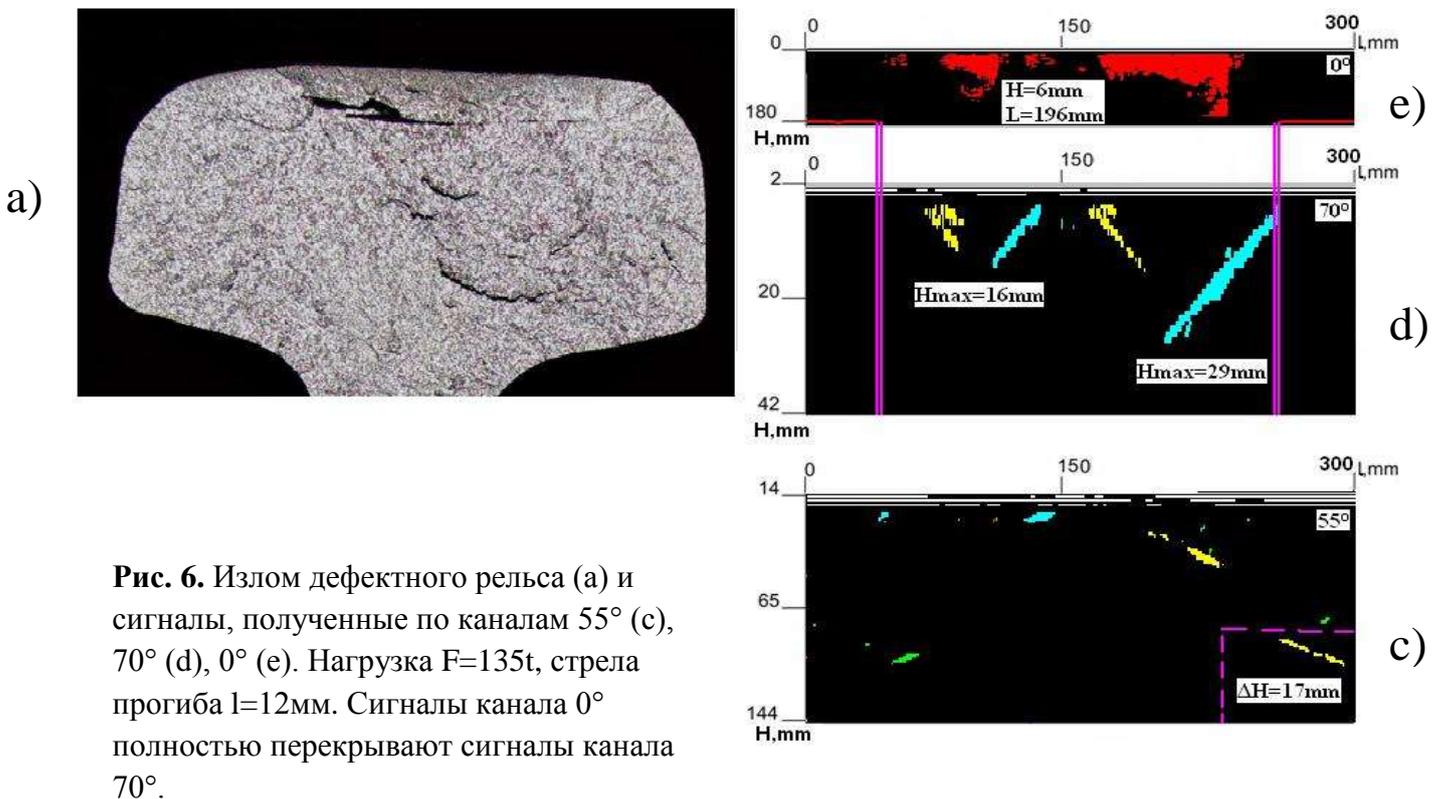
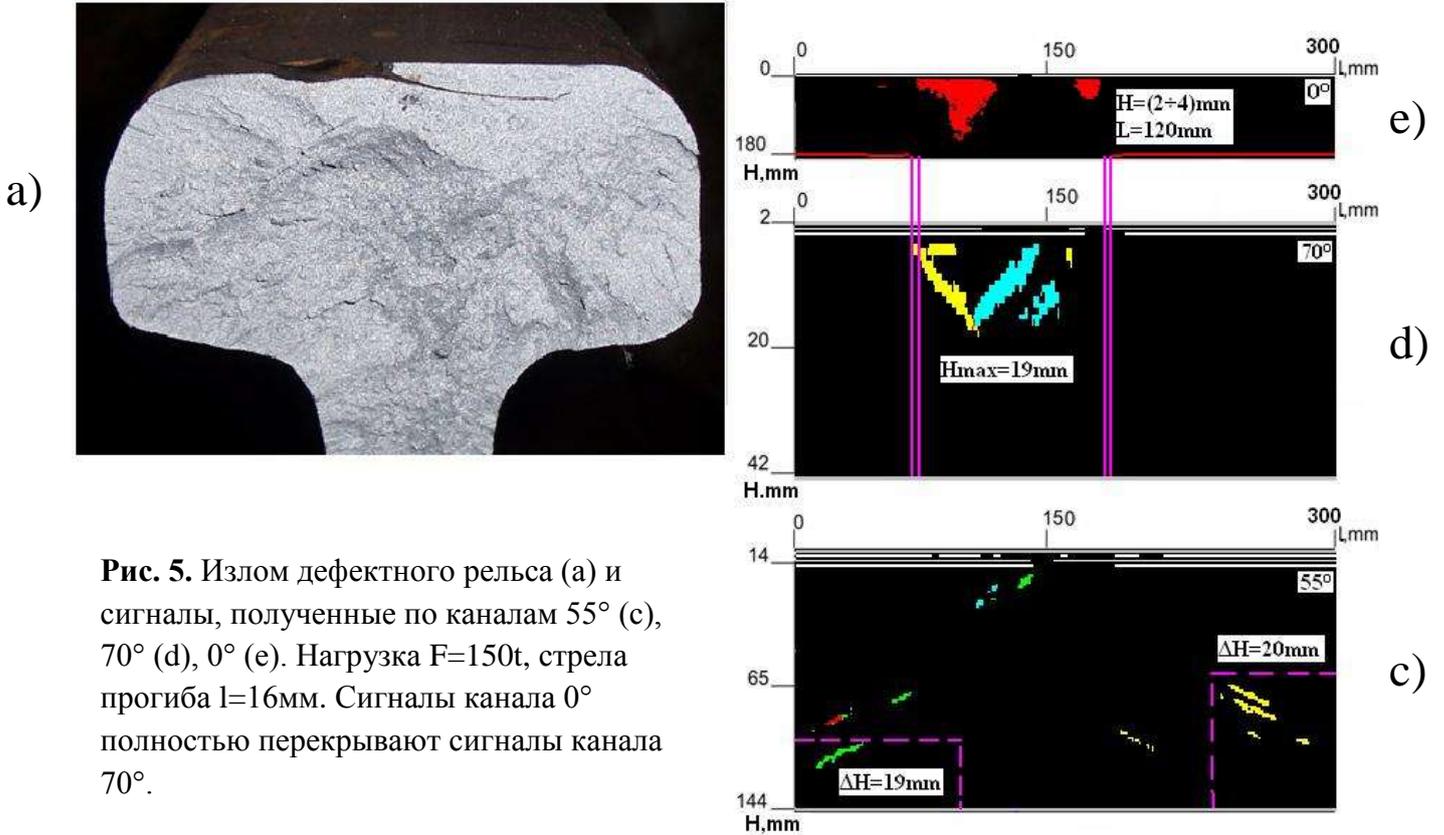


Рис. 4. Поверхность головки (а) и излома (в) дефектного рельса, а также сигналы, полученные по каналам 55° (с), 70° (д), 0° (е). Нагрузка $F=120t$, стрела прогиба $l=12mm$. Сигналы каналов 0° и 70° не перекрываются на интервале $\Delta L=25mm$.



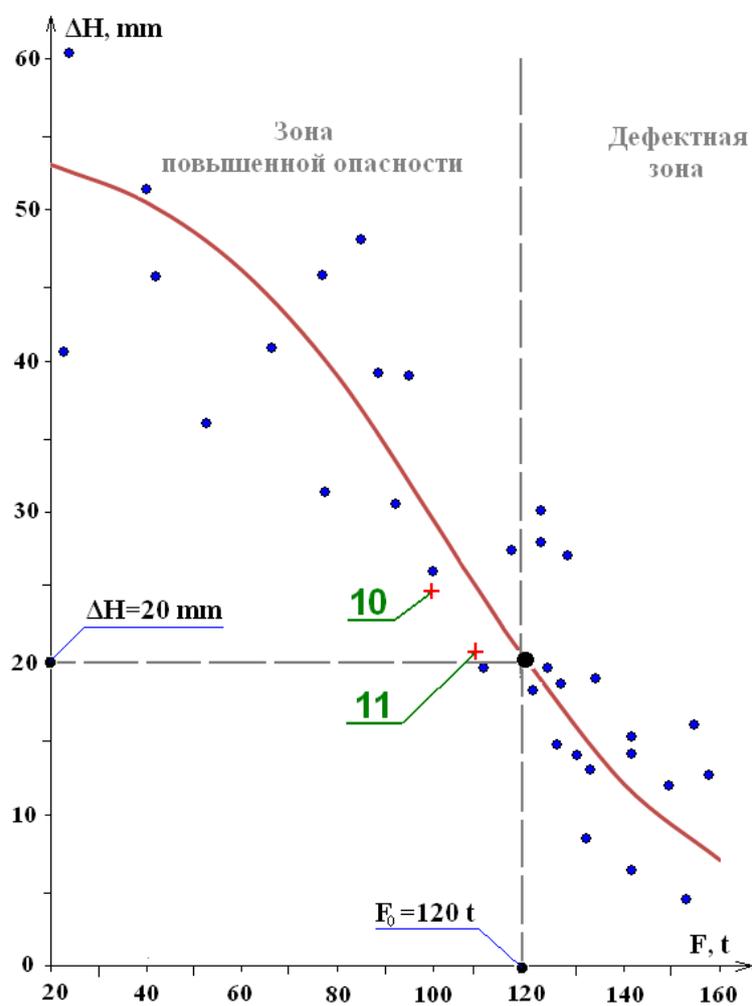


Рис. 7. Зависимость условной высоты дефекта ΔH , измеренной по сигналам канала 55° дефектоскопа РДМ-22, от силы F излома рельса под прессом.

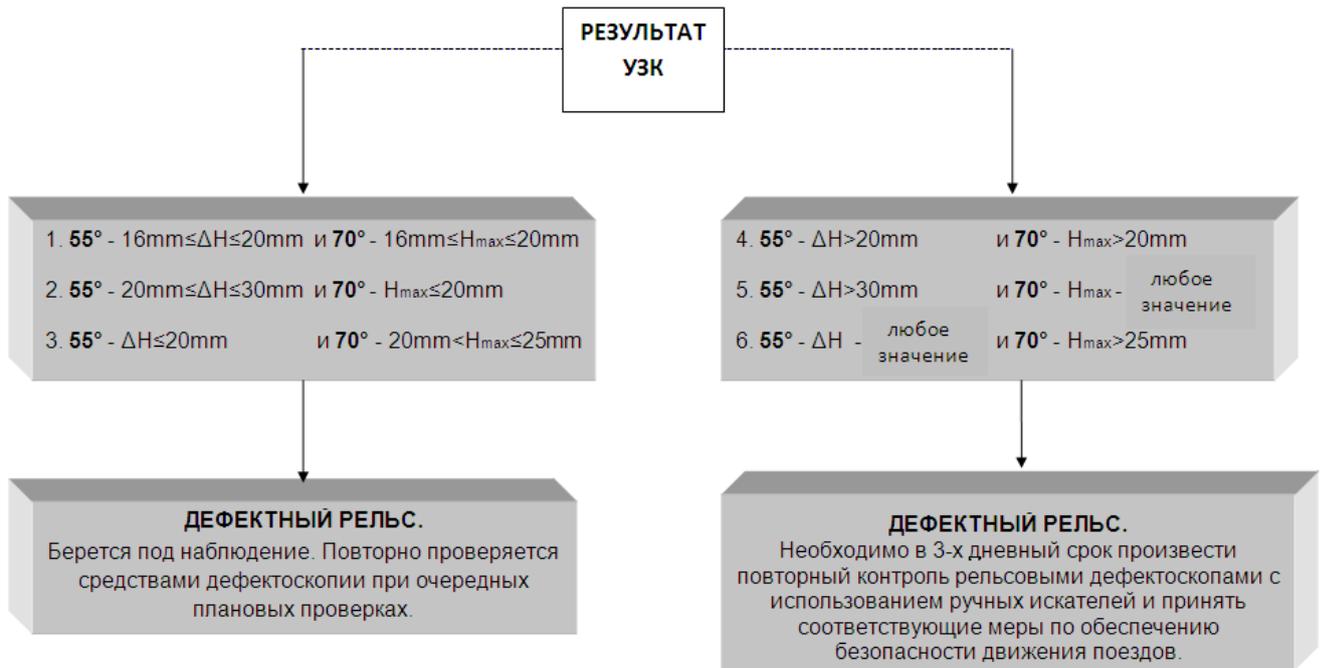
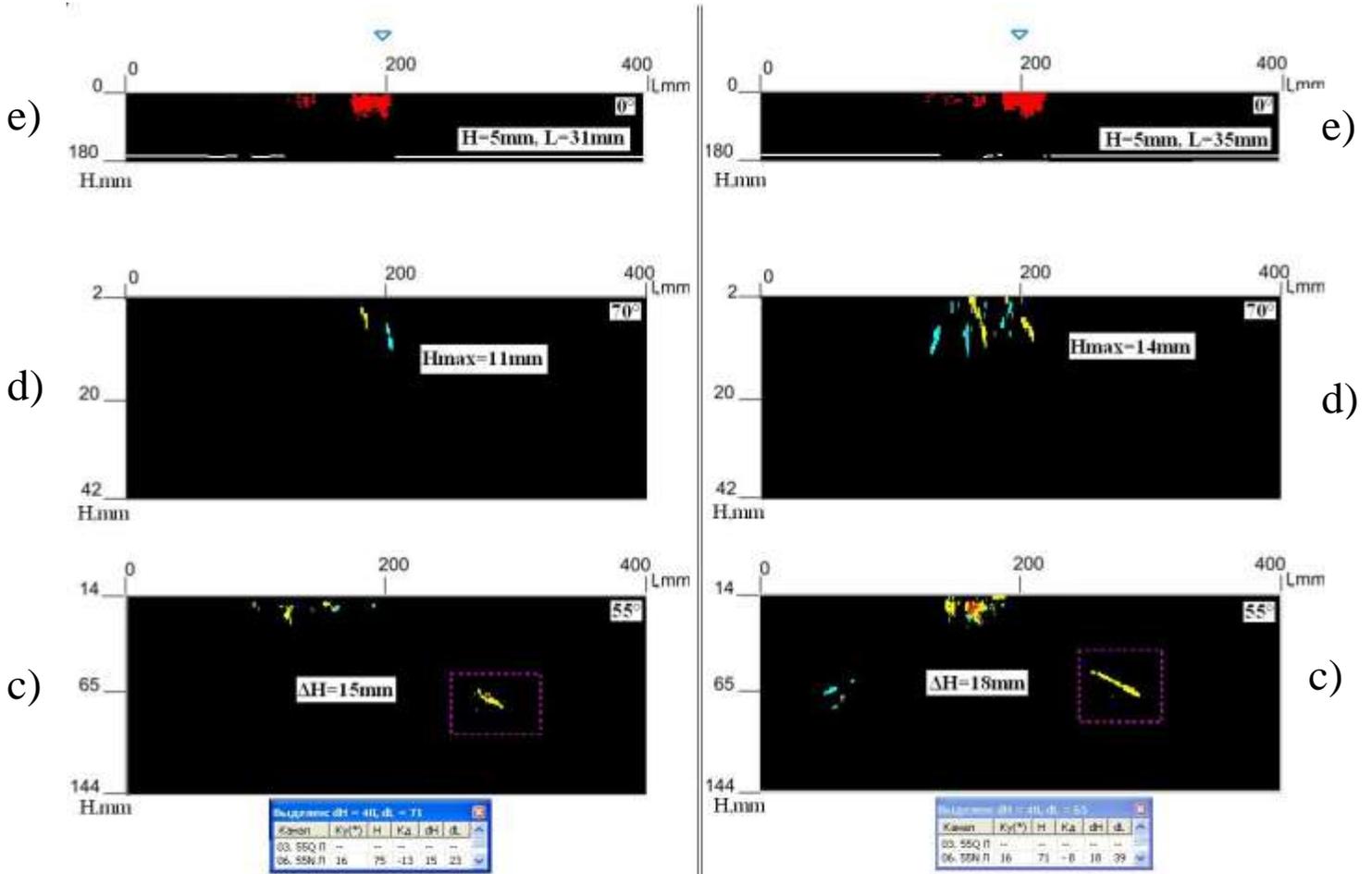


Рис. 8. Алгоритм принятия решения о дефектности рельса по сигналам РДМ-22.



а) Дефектный рельс 10,
08.12.2008. г.

в) Дефектный рельс 10,
09.03.2009. г.

Рис. 9. Сигналы, полученные по каналам 55° (с), 70° (д), 0° (е) дефектоскопа РДМ-22 на рельсе 10 в разное время: а) 08.12.2008. г; в) 09.03.2009. г.

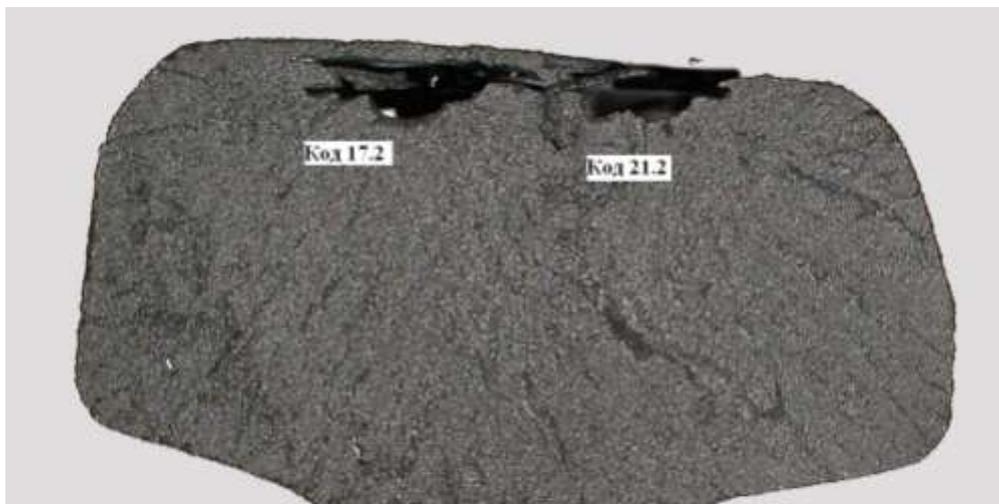
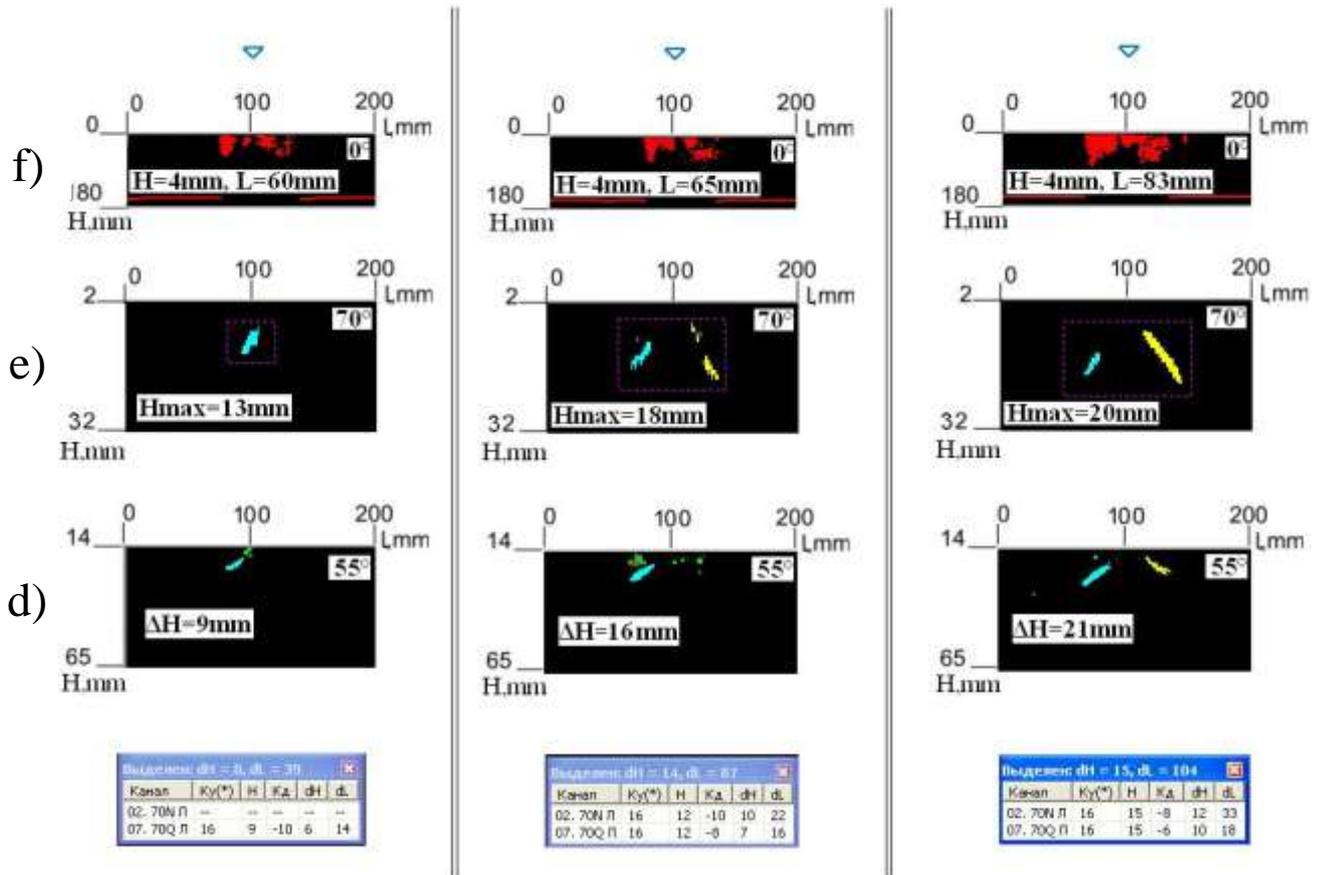


Рис.10. Поверхность излома дефектного рельса 10. Излом под прессом выполнен 10.10.2009.г. Нагрузка F=100т, стрела прогиба l=9мм.



а) Дефектный рельс 11,
07.01.2010. г.

б) Дефектный рельс 11,
04.03.2010. г.

в) Дефектный рельс 11,
22.04.2010. г.

Рис.11. Сигналы, полученные по каналам 55° (d), 70° (e), 0° (f) дефектоскопа РДМ-22 на рельсе 11 в разное время: а) 07.01.2010. г; б) 04.03.2010. г; в) 22.04.2010. г.

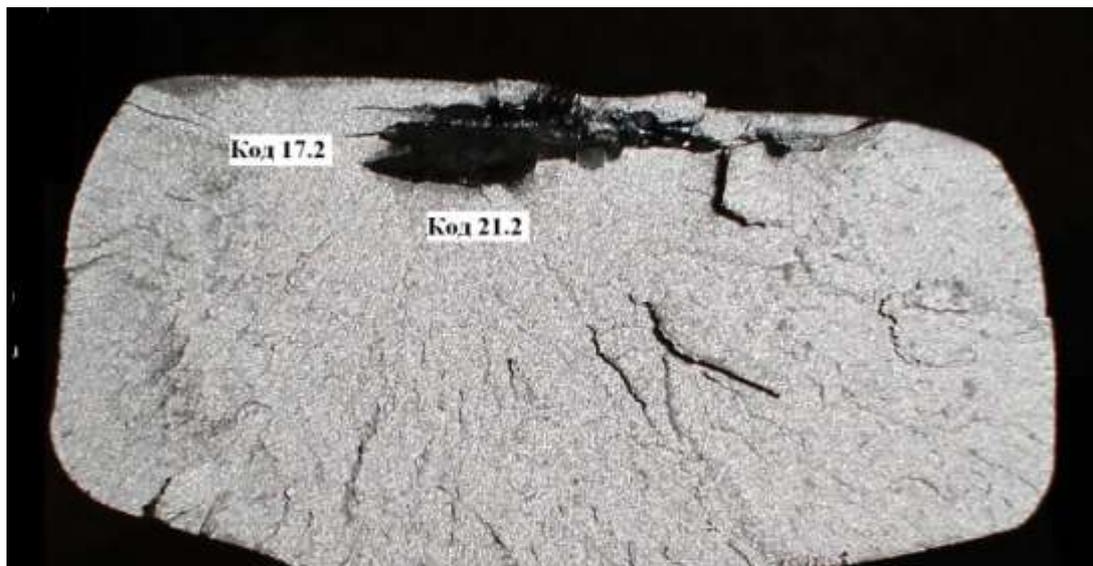


Рис.12. Поверхность излома дефектного рельса 11. Излом под прессом выполнен 30.04.2010.г. Нагрузка F=110т, стрела прогиба l=11мм