

УДК 621.73:620.179.14:622.271

**Д.В. Берман, К.М. Первов, С.К. Коровин,  
А.Д. Берман**

**ОТРАЖЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА И ЕГО  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИБОРОМ  
«ДИМ-2004» ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Проведено описание прибора деградационной индикации материала «ДИМ-2004», позволяющего определять силовые и усталостные дефекты на ранних стадиях их развития.*

*Ключевые слова: прибор «ДИМ-2004», структура металла, безопасность и надёжность эксплуатации, диагностика.*

**Семинар № 15**

**D.V. Berman, K.M. Pervov, S.K.  
Korovin, A.D. Berman**

**THE METAL STRUCTURE  
REFLECTION AND ITS PHYSICAL  
AND MECHANICAL PARAMETERS BY  
THE HELP OF "DIM-2004" DEVICE  
WHEN ANALYZING INDUSTRIAL  
SAFETY OF INDUSTRIAL OBJECTS**

*The description of "DIM-2004" device for degradation display of material that allows detecting power and fatiguing defects at the early stages of its developing.*

*Key words: «DIM-2004» device, metal structure, safety and reliability of exploitation, diagnostics.*

**А**декватное отражение текущих метастабильных физико-механических параметров металла возникающих из-за изменения его структуры в процессе эксплуатации производственных объектов является необходимой составляющей анализа прогноза остаточного ресурса определяющего его промышленную безопасность. Определение указанного, до последнего времени, было возможно только с помощью разрушаю-

щего контроля - «РК». Опыт диагностики металла промышленных объектов говорит, что наиболее опасные изменения метастабильных параметров зависят от малоцикловых нагрузок на фоне коррозионных процессов и, коррозии под напряжением (стресс-коррозии), когда превалируют силовые нагрузки. Таким образом, определение структуры металла: величины кристаллитов, величины субзерна, расслоения, пористости, наличия визуально ненаблюдаемых трещин и т.п.; установление остаточного ресурса до аварийной ситуации; возможности продления ресурса: когда энтропия твёрдого раствора изменяется за счёт величины энтропии растворения, [1] прибору «ДИМ-2004» по силам.

В связи с тем, что метод анализа структурных изменений — «МАСИ» является развитием энергетической теории А.А. Гриффитса [2] и базируется более, чем на 300 физических функциональных закономерностях, достоверность результатов диагностики металла буровых установок, поро-

доразрушающего инструмента, корпусов конвертеров, воздухонагревателей доменных печей, эстакад, порталных кранов, трубопроводов проведённых за последние 6 лет, близка к 78—94 %, первая цифра относится к первым годам диагностики.

Диагностика «ДИМ-2004» осуществляется путём контактирования шпильки пьезоэлектрического датчика ускорений с поверхностью материала объекта в момент заправки энергии молотком с зонным экраном в поверхность объекта. В связи с тем, что анализ килогерцового (кГц) и гигагерцового (ГГц) диапазонов заменён анализом модулирующих их ориентированно релаксационных частот (Гц), то это позволило, используя акселерометр с чувствительностью 80 мВ/м·с, считывать память об изменениях структурных колебаний зависящих от *массы атомов кристаллических решёток, их геометрии и упругости химических связей*, фиксируемых мембранами ленточных плёнок на базе эффекта Джозефсона Б.Д., [3—648 с]. Таким образом, на момент открытия запрещённых энергетических зон обеспечивается съём с мембран ленточных плёнок, обволакивающих магнитные домены, памяти о форме и частоте структурных колебаний, рис. 1, 2, 3, 4, 5, 6.

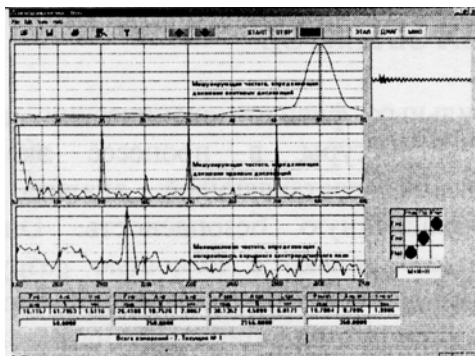
Диагностика одной зоны осуществляется в течение 30 секунд после чего на дисплее кроме информативных частот и причины деградации отражаются 35 текущих физико-механических, энергетических и теплофизических параметров, в том числе, циклической трещиностойкости, энергоёмкости разрушения, модуля упругости, скорости продольной звуковой волны, величины поверхностной энергии, сдвиговой температуропроводности, а так как считывание памяти с мембран первой ленточной плёнки и с последней, обеспечивает

анализ истории нагружения по исходным и текущим структурным колебаниям, то мгновенно определяется прогноз остаточного ресурса.

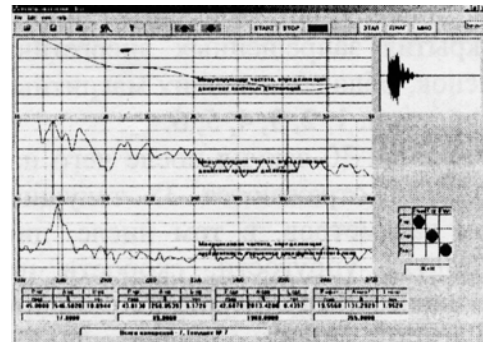
Начало метастабильных изменений обычно происходит на момент образования местных дефектов, так как малоугловые границы до 1 субъёмных кристаллитов трансформируются в углы разориентации:  $16^\circ + 45^\circ$ . То есть изменение структуры металла понижающее её абсорбционную прочность [4], адекватно отражает развитие деградации ячеисто-сетчатой структуры приводящей сначала к хаотической дислокационной субструктуре с дислокационными петлями вакансионного типа а затем, к сетчатой упорядоченной структуре с минимальной энергией.

Пример анализа памяти структурных колебаний записанных с мембран ленточных плёнок, условно: с 1-ой, 3-й, 6-й, 8-й и, на момент диагностики, с последней: 10-й, обволакивающих магнитные домены усталостных и силовых дефектов в зоне разрушения рельса при малоцикловом погружении на пульсаторе № 5 ГУП ВНИИЖТ ИЦЛ МПС. Адекватность структурных колебаний фактической структуре поверхности разрушения налицо.

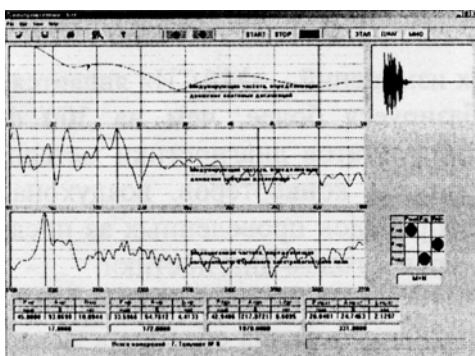
И силовое, и усталостное развитие дефектов, отражаются на дисплее прибора: «ДИМ-2004» смещением максимальных текущих амплитуд — плотностей потока колебательной энергии в информационных диапазонах от максимальных частот к минимальным частотам, соответственно: рис. 7 и рис. 11. Итак, во-первых методом анализа структурных изменений — «МАСИ» [5] при неразрушающем контроле — «НК» прибором деградационной индикации материала — «ДИМ-2004» устанавливается неподготовленность к активации структуры металла диагностируемого объекта, когда начинают интенсивно



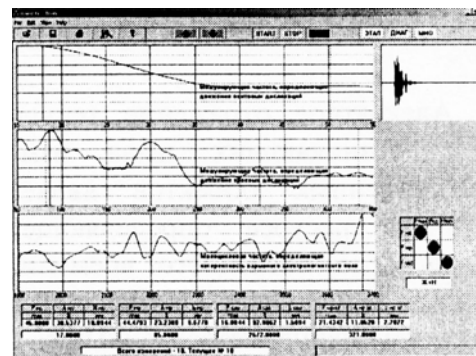
**Рис. 1.** Структурные колебания отражаемые мембранами первой ленгмюровской плёнки после единичного импульса упругой деформации. Иначе, воспоминание молодости



**Рис. 3.** Структурные колебания отражаемые мембранами шестой ленгмюровской плёнки после шести импульсов упругой деформации. Данная память является составным элементом истории нагружения



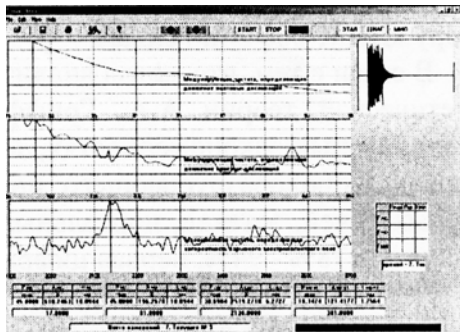
**Рис. 2.** Структурные колебания отражаемые мембранами третьей ленгмюровской плёнки после трёх импульсов упругой деформации. Данная память в совокупности с предыдущими и последующими обеспечивает анализ истории нагружения



**Рис. 4.** Структурные колебания отражаемые мембранами восьмой ленгмюровской плёнки после восьми импульсов упругой деформации. Данная память является составным элементом истории нагружения

изменяться метастабильные физико-механические свойства, что отражается фрактографией *ячеисто-сетчатой структуры* с трещиной рис. 8 и теоретически, торможением колебаний плоскости скольжения в зоне дефекта рис. 9. Перед моментом аварийной ситуации угол разориентации зёрненных структур  $\rho_{\text{мр-і}}$  равен  $45^\circ$ .

Во-вторых при развитии малоцикло-вой усталости металл подготавливается к активации — метастабильному изменению физико-механических свойств и фрактография показывает *сетчатую структуру* с трещиной рис. 12, теоретически, торможение колебаний плоскости скольжения происходит в зоне дефекта рис. 13.



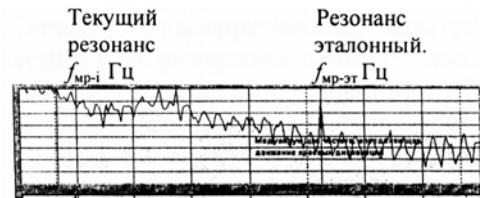
**Рис. 5.** Структурные колебания отражаемые мембранами десятой лентгмюровской плёнки после десяти импульсов упругой деформации. Картинка стабилизировалась, то есть она отражает состояние на момент диагностики



**Рис. 6.** Зона разрушенного рельса с фокусом излома, очагом разрушения, участком ускоренного развития трещины и доломом

Перед моментом аварийной ситуации угол разориентации зёрненных структур  $\rho_{MC-i}$  равен  $45^\circ$ .

Величины максимальных амплитуд местной текущей деградации на мониторе ноутбука выдаётся в процентах от исходного эталонного значения  $A_{MD-э}$ , соответственно: или  $A_{MC-i}$ , %, или  $A_{MD-i}$ , %. Если  $A_{MD-i} < A_{MD-э}$ , то это говорит о потенциальной плотности потока колебательной звуковой энергии стабилизирующей данное метаста-



**Рис. 7.** Отражение наличия силовой магистральной трещины, которую регламентирует большая плотность акустической колебательной энергии, чем эталонная. С правой стороны отражён эталонный поддиапазон



**Рис. 8.** Силовое разрушение (стресс-коррозия в диапазоне частот  $f_{MD-i}$ ), подтверждается ячеисто-сетчатой структурой,  $\times 10\ 000$ .

бильное состояние локальной области металла; при  $A_{MD-i} > A_{MD-э}$ , - говорит о том, что энергии для стабилизации недостаточно и идёт процесс деградации. Для подтверждения аварийной ситуации возникшей или из-за развитого силового дефекта (магистральной трещины) или из-за развитого усталостного дефекта (питтинга), в третьем диапазоне частот максимальная амплитуда, с некоторым запаздыванием, смещается к минимальной информативной частоте.

Третья диаграмма, рис. 10 и 14, говорит о развитии необходимой плотности потока колебательной звуковой энергии идущей на торможение силовых и усталостных дефектов. Возрастание указанной плотности потока колебательной энергии является следствием повышения пористости неметаллических включений образующих микроаккумуляторы с проникающей по межзёрненным протокам влагой имеющей определённый водородный показатель:  $pH$ , или в волосовинах проката — раскатанных усадочных раковинах или в усадочных раковинах изделий из литья, обеспечивая второй механизм естественной магнитно импульсной обработки — ЕМИО-2 на базе «Пинч-Эффекта» [6].

Первый механизм ЕМИО-1 обеспечивается цепочками комплексных анионов, сочленение которых осуществляется через вершины тетраэдров твёрдого раствора кислорода, аналогичных кремнекислородным. Импульсы тока возникающие между белыми плёнками твёрдого раствора кислорода при циклических деформациях изделий из стального литья, то есть, анизотропной среды, сублимируют дефектные кристаллиты, обеспечивая тем самым последующую их перекристаллизацию, [5, 7].

В связи с тем, что «МАСИ» [5] обеспечивает определение в локальной, наиболее деградированной зоне 35 основных текущих параметров металла, то мы можем в первую очередь установить: из-за циклических нагрузок это происходит или из-за силовых нагрузок. А также, связана ли деградация или, с неправильным прочностным расчётом или, с неправильной термообработкой или, с интенсивным корродированием уменьшающим толщину элементов конструкции. Указанное, возможно путём анализа изменения величины коэрцитивной силы:  $mHc$ , пункт 33 таблицы. Если текущее значение  $mHc$  меньше исходного, то идёт дробление

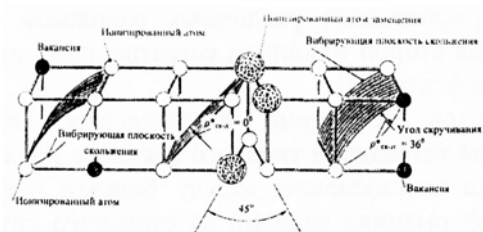
магнитных доменов, что свойственно для малоцикловых нагрузок.

Если текущее значение  $mHc$  больше исходного, то превалирует «статическая» силовая нагрузка, [8].

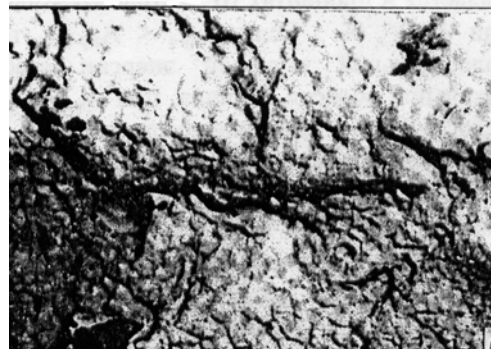
Для отсрочки аварийной ситуации необходим анализ причин деградации, которая высвечивается в третьем диапазоне дисплея, в виде соотношения резонансных частот:  $f_i$  при максимальной плотности потока колебательной звуковой энергии и, соответствующих им углов разориентации:  $\rho_{-i}$ , рис. 10 и 14, «шарики». Одновременно в пункте 31 таблицы выдаются значения циклической изгибной структурной жёсткости:  $C_{\sim_{и.с.ж}}$ : исходной; на момент диагностики; перед моментом аварийной ситуации; причём, если в процессе деградации текущее значение в локальной области начинает резко возрастать, то необходимо уменьшать конструктивную изгибную жёсткость для продления работы диагностируемого объекта.

В связи с тем, что имеется такой параметр, как «живучесть» определяющий долговечность изделия при циклических нагрузках от момента зарождения первой макроскопической трещины усталости размером  $0,5 \div 1,0$  мм. до окончательного разрушения, [9], то желательно проводить анализ металла по критерию предельного состояния:  $W_{kd} = 0,5$  пункт 34 таблицы, [5, 7], то есть сопоставлять величину фактической визуально ненаблюдаемой трещины с половиной длины сквозной трещины. Текущее значение во 2-ой колонке по пункту 34, когда  $W_{kd-i} < 0,5$  говорит о возможности дальнейшей безаварийной эксплуатации объекта.

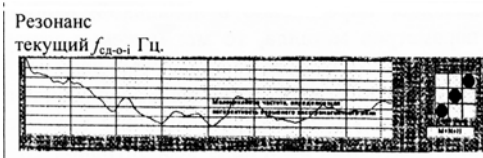
При парниковых эффектах в температурном диапазоне:  $4 \div 70$  °С, из-за образования водяной пелены тумана, число Вебера определяет закритическую деформацию капель, [10]:  $We > 20$ . Как известно, на базе механизма тепло-масс обмена происходит разложение



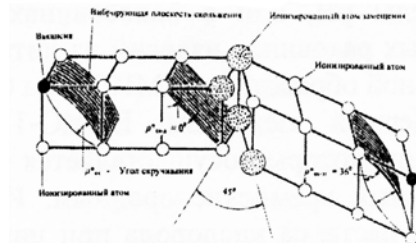
**Рис. 9.** Стилизация развития магистральной трещины на базе краевых дислокаций в диапазоне частот  $f_{MP-i}$



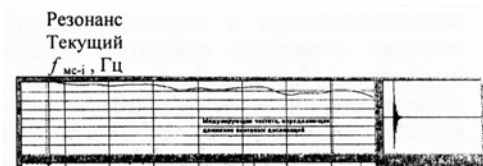
**Рис. 12.** Усталостное разрушение в диапазоне частот  $f_{MD-i}$ , подтверждается сетчатой структурой,  $\times 6\ 000$ .



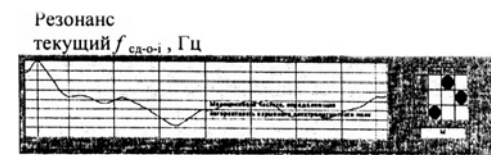
**Рис. 10.** Отражение развития пористости неметаллических включений в волокнах. — С правой стороны отражена причина деградации: «M+N+H»



**Рис. 13.** Стилизация усталостного дефекта развившегося на базе винтовых дислокаций в диапазоне частот  $f_{MP-i}$



**Рис. 11.** Отражение наличия различного усталого дефекта, что регламентирует большая плотность акустической колебательной энергии, чем эталонная. С правой стороны отражен аналоговый сигнал акселерометра



**Рис. 14.** Отражение развития пористости неметаллических включений в волокнах. — С правой стороны отражена причина деградации: Малоцикловая деформация - «M»

302 **Параметры по «МАСИ» выдаваемые прибором «ДИМ-2004»  
программного обеспечения: «IRON-6» к рис. 15**

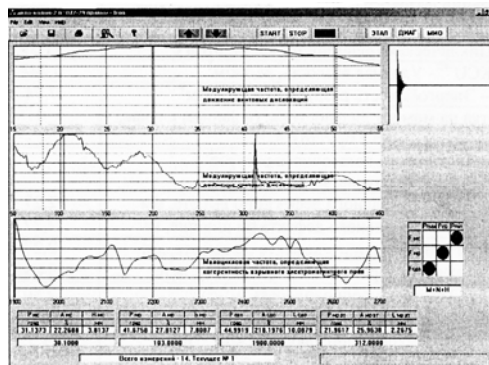
№	Физико-механические, энергетические и теплофизические метастабильные параметры	Значения на начало эксплуатации (эталонные)	Значения на момент диагностики	Значения на момент аварии
1	$\rho_{\text{ЭКВ-}i}^*$ - Эквивалентный угол разориентации кристаллитных структур, град	22,024	44,9919	1999,67
2	$f_{\text{СД-}o\text{-ЭКВ-}i}^*$ Эквивалентная частота сдвига-отрыва, Гц.	2532,64	1904,01	1899,67
3	$\rho_{\text{МС-}i}^*$ - Объёмная плотность металла, кг/м <sup>3</sup>	7850	7850	7850
4	$\sigma_{\text{В}}$ - Временный предел прочности фазового состава и структуры металла при одноосном растяжении, МПа	900,00	574,695	573,30
5	$\sigma_{\text{Т}}$ - Предел текучести фазового состава и структуры металла, МПа	593,00	378,66	377,74
6	$\sigma_{\text{С}}$ - Минимальный предел прочности при одноосном сжатии, определяющий начало сдвиговых и отрывных деформаций на малоцикловой частоте, МПа	592,34	82,49	81,52
7	$\psi_{\text{СУ}}$ — Относительное сужение, %	24,4	15,58	15,54
8	$\delta_{\text{УД}}$ — Относительное удлинение, %	5,00	4,46	4,45
9	$C_{\text{L}}^*$ — Продольная скорость звука, м/с			
10	$E^*$ — Модуль динамической упругости, ГПа	210	85,62	85,21
11	$d_{\text{СЗ}}^*$ — величина субзерна, мкм	13,63	42,95	43,24
(35)	$d_{\text{Т}}^*$ — величина зерна (кристаллита), мкм	13,50	112,89	113,36
12	$d_{\text{Т}}^*$ величина текстуры (зёрен покрытых субзёрнами), мкм	279,36	431,67	433,02
13	$M$ - Динамическая вязкость, МПа·с	4,47	2,98	2,97
14	$\tau_{\text{и-}o}$ — напряжение сдвига-отрыва, МПа	141,10	27,97	27,70
15	$\sigma_o$ - Спектральная плотность энергии поглощения -излучения при накоплении малоцикловой усталости и восстановлении фазового состава и формы структуры, ГПа/с	357,34	53,26	52,62
16	$K_{\text{и-}f}$ — Циклическая трещиностойкость, МПа·с <sup>1/2</sup>	71,39	34,82	34,65
17	$K_{\text{СУ}}^{-40}$ — Ударная вязкость, МДж/м <sup>3</sup>	0,242	0,141	0,140
18	$H_w$ — Энергоёмкость разрушения, МДж/м <sup>3</sup>	7,94	1,85	1,83
19	$T_i$ - Нарботка на момент диагностики, (в данном случае, мил.т.брутто)	0	78	

20	$\Delta T$ — Прогноз остаточного ресурса (в данном случае, мил.т.брутто)		0,36	
21	$h_{MC}$ — Габарит максимального дефекта по высоте, мм	2,27	10,09	10,09
22	$b_{MP}$ - Габарит максимального дефекта по ширине, мм	2,27	6,36	10,09
23	$C_{cd}$ - Габарит максимального дефекта по высоте, мм	2,27	10,00	10,09
24	$\dot{\alpha}_{p-cd}$ — Температуропроводность при сдвиге, $m^2/c$	594,98	379,92	379,00
25	$\dot{\alpha}_p$ — Температуропроводность, $m^2/c$	2,80	2,08	2,08
26	$\Lambda_T$ - Теплопроводность, Вт/м • °К.	68	68	68
27	$\dot{c}_{p-cd}$ — Теплоёмкость при сдвиге, Дж/кг ° К.	14,55	22,80	22,85
28	$\dot{c}_p$ — Теплоёмкость, Дж/кг °К.	584,07	1067,78	1070,59
29	$C_{пн}$ — Периметр поверхностного натяжения, мм	3,05	7,63	7,66
30	$\dot{\alpha}_{пэ}^*$ — Величина поверхностной энергии, иначе механическая и термодинамическая характеристика межфазной поверхности с длиной периметра $C_{пн}$ , КДж/м <sup>2</sup>	107,73	53,38	53,11
31	$\tilde{C}_{цж}$ — Циклическая изгибная структурная жёсткость, КН/м <sup>2</sup>	8,24	406,87	405,02
32	$HВ$ — Поверхностная твёрдость	265	168,67	168,32
33	$mHc$ — Коэрцитивная сила, А/см	2,25	1,89	1,88
34	$w_{кр}$ - Критерий предельного состояния металла в относительных единицах		0,49	0,50



пелены водяного тумана из-за термодиссоциации на атомарный водород и атомарный кислород. Пролетая сквозь флокены, на момент циклических нагрузок металлоконструкций, атомарный водород захватывая свободный электрон, превращается в молекулярный и тормозится в металле. Накопление молекулярного водорода обычно отражается во втором диапазоне диаграмм монитора «ДИМ-2004», когда текущее значение амплитуды становится выше эталонного. При достижении определённого давления молекулярного водорода в полости металла, соответствующего критической величине магистральной трещины и критической величине угла разориентации, водород взрывается. В результате взаимодействия токов с магнитным полем создаётся объёмная сила Ампера и магнитное давление, которые уравнивает гидродинамическое давление плазмы, обеспечивая унос вещества с поверхности металла, [6, 595 ÷ 604-с]. Унос вещества становится возможным на моменты локальных сдвигов, при равенстве кинематической вязкости и температуропроводности, например, с не качественно проваренного корня шва узла металлоконструкции по развитой межзёрненной канальной пористости в зону образующейся водной пелены. Такая абляция приводит к появлению электрических разрядов типа шаровых молний, которые обеспечивают силовое разрушение, например, перекрытий аквапарков, рынков, эстакад.

Абляция в зоне канальной пористости для изделий с толщиной более 264 мм из-за присутствия такой конструктивной характеристики металла, как «живучесть» не приводит к разрушению объекта при циклических нагрузениях, даже при выходе магистральной трещины на поверхность в виде визуально наблюдаемой трещины протяжённостью свыше 100 мм. Указанное отражается в третьем диапа-



**Рис. 15. Информативные спектры металла рельса до порога металлоконструкции снятой прибором «ДИМ-2004» зарегистрированным в Государственном реестре средств измерений под № 31481-06 и допущенным к применению в Российской Федерации СЕРТИФИКАТ RU.C.28.004.A № 23623; Патент РФ на полезную модель № 56620**

зоне диаграмм прибора «ДИМ-2004», опережающим смещением максимальной резонансной амплитуды к минимальной частоте, по сравнению с максимальной амплитудой второго диапазона, говорящей о наличии трещины вышедшей на поверхность, рис. 15. Тем самым металл объекта защищается от аварийной ситуации, демпфируя малоцикловые деформации с высокими напряжениями, то есть резко уменьшая конструктивную жёсткость.

Подтверждения тому: циклические испытания боковых рам ходовых тележек железнодорожных вагонов, а также оборудования кузнечно-штамповочного производства — «КШП», экскаваторов. На наш взгляд это обуславливается интенсивной естественной магнитно импульсной обработкой — ЕМИО-2 на базе «Пинч-Эффекта», которая наиболее эффективно действует при толщинах металла более 264 мм, [5, 7].

#### *Заключение*

Отражение текущей структуры металла и его физико-механических параметров за счёт смещения максимальных

дискретных резонансных амплитуд в трёх частотных диапазонах по методу «МАСИ» является весьма адекватным, так как метод является развитием энергетического подхода Гриффитса к разрушению металла, [2].

Одновременно необходимо отметить и то, что метод «МАСИ» позволяет определять изменение структуры металла и его физико-механические свойства и после магнитно импульсной обработки металла — «МИО».

Установлено, что повышение безопасности и надёжности эксплуатирующихся производственных объектов базируется на установленных механизмах повышающих живучесть металла за счёт наличия в них: опреде-

лённых габаритов стального литья, литых вставок, гофр, болтовых и заклёпочных соединений.

Работа прибора «ДИМ-2004» на настоящее время апробирована при диагностике: породоразрушающего инструмента, труб нефте и газопроводов; опорных ног буровых установок; рельсов метрополитена; колёсных пар, боковых рам и наддрессорных балок железнодорожных вагонов; кожухов доменных воздухонагревателей и конвертеров; опорных колёц и эстакад конвертеров; мостовых кранов; станин прокатных станков.

В настоящее время налажено малосерийное изготовление прибора «ДИМ-2004».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. — М.: Высшая школа. 1968. — 487с

2 Griffits A.A. Trans. Roy. Soc. London. 1920. 221-163h.

3 *Физическая энциклопедия*. / Главный редактор А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. — М.: Большая Российская энциклопедия. Том 1. 1998. — 704 с.(648 с.).

4 Соснин О.В., Громов В.Е., Козлов Э.В. Электростимулированная малоцикловая усталость. — М.: «Недра коммюникейшинс ПТД», 2000. — 207с.

5 Патент РФ № 2267776 от 02.12.2003. «Способ прогноза остаточного ресурсанеразрушающим контролем при экспертизе промышленной безопасности оборудования». Берман А.В., Новичихин С.И., Берман Алексей Д., Новичихина Н.В., Берман Т.И., Берман Андрей Д., Новичихин И.С., Новичихин А.С. Бюл. № 01 от 10.01.2006.

6 *Физическая энциклопедия*. Главный редактор А.М. Прохоров. Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич,

А.С. Боровик-Романов и др. М. Большая Российская энциклопедия. Том 3. 1992. — 672 с. (587 с.)

7 Отчёт ООО «ФИРМА «ГЕОТЕХ-ПРОГРЕСС» по НИР № 41.003.1.1.29.12. Разработка инженерных методов оптимизации нагрузок экскавационной техники типа «ЭГ-М» и акусто-эмиссионного экспресс-метода определения остаточного ресурса металлоконструкций горно-транспортных машин и механизмов. Отв. Исполнители: А.В. Берман и Д.В. Берман. М.2002. № Гос. регистрации 01.20.03.02.630, Код ВНИИЦ: 16.4000.4890320 от И.03.03.

8 *Физическая энциклопедия*. Главный редактор А.М. Прохоров. Ред.кол. Д.М. Алексеев, А.М. Балдин, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др. — М.: Большая Российская энциклопедия. Том 5. 1998. — 760 с. (309—310 с.)

9 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. — М.: Машиностроение. 1990. — 528с.

10 Волынский М.С. Необыкновенная жизнь обыкновенной капли. — М.: Знание. 1986. — 144 с. **ГИАБ**

#### Коротко об авторах

Берман Д.В. — доцент, кандидат технических наук, президент «НТЦ ГД» info@eeodiag.ru;

Первов К.М. — профессор, доктор технических наук,

Берман А.Д. — аспирант,

Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

Коровин С.К. — доцент, кандидат технических наук, ГОУВПО ПГУПС МПС РФ.