

УДК 620.179.1

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МАТЕРИАЛА ОБОРУДОВАНИЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ СТЕПЕНИ ЗАТУХАНИЯ ОТКЛИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Наумкин Е.А.¹, Бикбулатов Т.Р., Кузеев М.И.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
e-mail: ¹унаумкин@mail.ru*

Аннотация. *В статье описан метод оценки степени поврежденности материала оборудования, эксплуатируемого в условиях усталостного нагружения, по изменению степени затухания переходного процесса отклика электрического сигнала. В результате исследований были определены оптимальные параметры вихретокового преобразователя и получены экспериментальные зависимости, позволяющие осуществлять мониторинг состояния материала оборудования.*

Ключевые слова: *усталость, вихревые токи, вихретоковый преобразователь, накопление повреждений, электромагнитный сигнал*

Одной из причин отказов оборудования является его разрушение вследствие малоцикловой усталости металла, особенно в местах, где возникают изгибающие напряжения. Подобные разрушения характеризуются медленным, вялотекущим, скрытым подрастанием усталостных трещин и объединением их в магистральную макротрещину, раскрытие которой может произойти внезапно и привести к аварийной ситуации [1].

В работах [2, 3] рассмотрены механизмы разрушения с выделением особой роли в этом процессе поверхностных слоев металла. Поэтому поверхность можно рассматривать как обособленную структуру, а по ее изменениям определять состояние.

В связи с этим изменения, происходящие в металле, целесообразно оценивать методами и приборами, позволяющими регистрировать параметры поверхности. Одним из подобных методов является вихретоковый метод контроля. Предлагаемый метод основан на анализе отклика системы, представляющей собой модель «черного ящика»: «вихретоковый преобразователь» - «металл», который был впервые применен для оценки и прогнозирования вероятности хрупкого разрушения металла оборудования, работающего в условиях статического и циклического режимов нагружения [4]. В процессе исследования на вход системы «вихретоковый преобразователь - металл» подавалось ступенчатое воздействие. Реакцией системы на это воздействие был переходный процесс, то есть переход системы от одного установившегося режима к другому. В отличие от предыдущих исследований в данной работе предлагается по изменению динамических свойств системы

судить о состоянии объекта, в связи с тем, что выходной сигнал нельзя считать абсолютно безынерционным.

Измерения выполнялись с использованием измерительного комплекса, включающего в себя: накладной вихретоковый преобразователь трансформаторного типа с сердечником с неконцентрическим расположением обмоток; внешнее измерительное устройство Tie Pie SCOPE HS801, представляющее собой двухканальный 8-разрядный прибор, функционирующий в режимах осциллоскопа, вольтметра, анализатора спектра, самописца и функционального генератора; персональный компьютер.

С помощью генератора внешнего измерительного устройства Tie Pie Score HS801 создавались электрические колебания заданной формы и амплитуды, которые, воздействуя на возбуждающую обмотку накладного вихретокового преобразователя и создавая электромагнитное поле, наводят в объекте контроля (образце) вихревые токи, а в измерительной обмотке электродвижущую силу.

Для отображения сигнала был использован осциллограф, функционирующий на базе внешнего измерительного устройства Tie Pie Score HS801 с возможностью передачи данных на персональный компьютер.

Ранее в работе [5] было отмечено, что плотность вихревых токов в объекте зависит от геометрических и электромагнитных параметров датчика и объекта, от взаимного расположения измерительного вихретокового преобразователя и объекта, а так же входных параметров сигнала, подаваемого на генерирующую обмотку. Данные факты необходимо учитывать при проведении исследований металла и обработки результатов. С целью получения достоверных результатов о состоянии материала оборудования при измерении электромагнитных характеристик исследуемого объекта необходимо подобрать оптимальные параметры входного напряжения и частоты сигнала, подаваемого на генерирующую обмотку преобразователя для оптимизации выходного сигнала с измерительной обмотки.

В данной работе для оценки влияния амплитуды и частоты на выходной сигнал вихретокового преобразователя был использован параметр «чувствительность», под которым понимается отношение изменения сигнала на выходе измерительного преобразователя к вызвавшему его изменению входного сигнала, в данном случае – это отношение амплитудных значений напряжения на входе/выходе вихретокового преобразователя.

Результаты исследований сигнала посредством варьирования входных параметров (частоты, амплитуды) приведены на рис. 1. Амплитуда напряжения U_{ex} изменялась от 0,105 В до 7,008 В, а частота ω от 30 до 1 500 Гц.

Приведенная зависимость чувствительности от частоты до достижения $\omega = 250$ Гц характеризуется линейным участком с последующим его снижением. При выборе оптимальной частоты необходимо учитывать, что с ее увеличением глубина проникновения вихревых токов уменьшается [6].

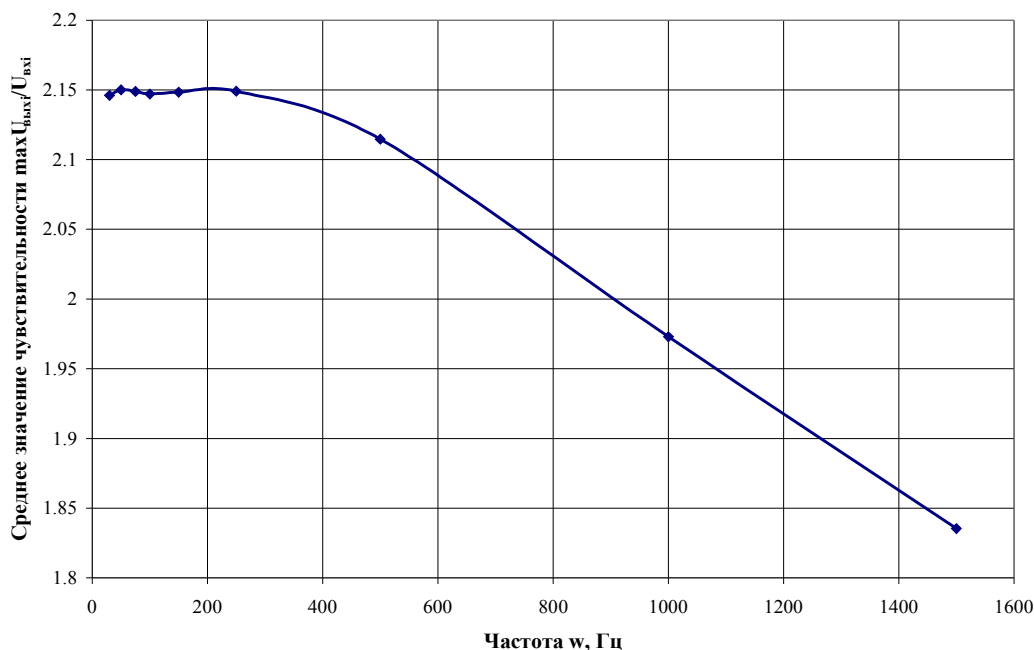


Рис. 1. Зависимость среднего значения чувствительности $\max U_{\text{вых}i} / U_{\text{вх}i}$ от частоты для различных $U_{\text{вх}i} = 0,105 - 7,008 \text{ В}$

В связи с этим в работе дальнейшие исследования проводились по аналогичному сценарию с установленными оптимальными параметрами преобразователя: частота, задаваемая генератором – 75 Гц, напряжение – 1 В, которые были использованы при измерениях отклика электрического сигнала материала, подверженного усталостным испытаниям.

На установке для испытаний на усталость образцы подвергались малоцикловому нагружению по схеме чистого симметричного изгиба с заданным уровнем деформации. Значение сигнала измерялось вихретоковым преобразователем через каждые 500 циклов от исходного состояния до разрушения по всей поверхности рабочей зоны образца.

В качестве испытуемого материала была выбрана низколегированная сталь 09Г2С, широко используемая для изготовления нефтегазового оборудования. Металлические образцы плоского типа были изготовлены согласно [7] толщиной $s = 4 \text{ мм}$ и рабочей зоной 120 мм.

В результате проведенных испытаний было установлено, что чувствительным параметром отклика электрического сигнала к изменению характеристик поверхности материала при накоплении в нем усталостных повреждений является степень затухания, которая качественно характеризует интенсивность затухания колебательного переходного процесса и вычисляется по формуле (1) [8]:

$$\psi_i = 1 - \frac{A_{3i}}{A_{1i}}, \quad (1)$$

где A_{3i} – максимум третьей амплитуды сигнала в момент времени t_{3i} ,

A_{1i} – максимум первой амплитуды сигнала в момент времени t_{1i} .

Зависимость относительного значения степени затухания ψ от уровня накопленных усталостных повреждений N_i/N_p представлена на рис. 2.

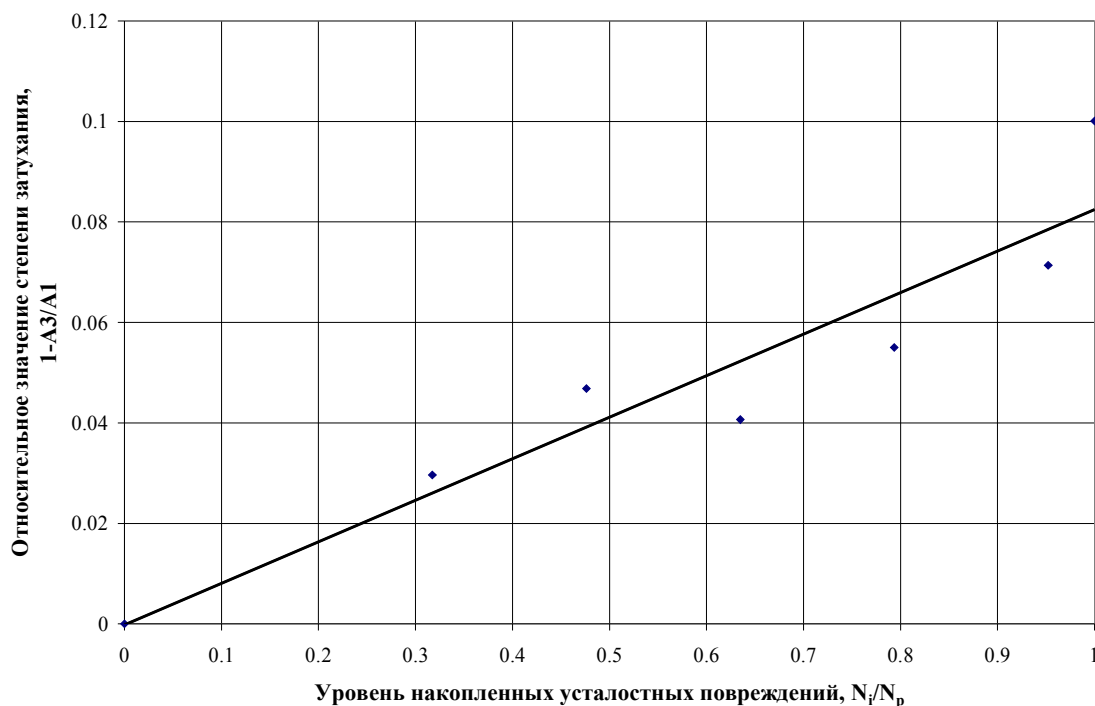


Рис. 2. Зависимость относительного значения степени затухания ψ от уровня накопленных усталостных повреждений N_i/N_p

В результате испытаний установлено, что при накоплении в материале усталостных повреждений имеет место повышение коэффициента степени затухания переходного процесса, который описывается линейным законом $N_i/N_p = 0,0827 \cdot \psi - 0,0002$. Данные изменения можно объяснить тем, что в материале происходит процесс порообразования, как в объеме, так и на поверхности, что приводит к изменению сигнала различной физической природы [9].

Применение описанного выше метода дает возможность использовать характеристику затухания переходного процесса как диагностический признак при оценке накопленных повреждений материала оборудования, подверженного циклическому нагружению.

Исследования выполнялись при поддержке лаборатории Межвузовского Центра коллективного пользования «Регионального научно-производственного комплекса «Недра» Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Литература

1. Прохоров А.Е. Оценка степени поврежденности оборудования, эксплуатируемого в условиях малоциклового усталости, с учетом параметров поверхностной энергии: Дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2005. 107 с.
2. Алехин В.П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов. М.: Наука, 1983. 254 с.
3. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. М.: Металлургия, 1975. 455 с.
4. Баширова Э.М. Оценка предельного состояния металла оборудования для переработки углеводородного сырья с применением электромагнитного метода контроля: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2005. 137 с.
5. Хандецкий В.С., Герасимов В.В. Распределение вихревых токов при изменении расположения источника поля относительно поверхности слабопроводящего металла // Вестник Днепропетровского университета, серия «Физика. Радиоэлектроника». Вып. 15. 2008. Том 16. № 2. С. 165 - 170.
6. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1995. 488 с.
7. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. М.: Изд-во стандартов, 1985. 32 с.
8. Аязян Г.К. Расчет автоматических систем с типовыми алгоритмами регулирования: Учебное пособие. Уфа: Изд. Уфим. нефт. ин-та, 1989. 136 с.
9. Дубов А.А., Власов В.Т. Физические основы метода магнитной памяти металла. М.: Спектр, 2004. 424 с.

**ASSESSMENT OF EQUIPMENT MATERIAL DAMAGE
BY USING THE DEGREE OF ATTENUATION
THE RESPONSE OF THE ELECTRICAL SIGNAL**

E.A. Naumkin¹, T.R. Bikbulatov, M.I. Kuzeev
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
e-mail: ¹ynaumkin@mail.ru

Abstract. *The article describes the method for assessing the degree of damage to equipment material, maintained in the conditions of fatigue loading, by using the degree of attenuation of transition process the response of electrical signal. As a result of research, optimal settings of eddy current probe were identified and experimental dependencies allowing to monitor the condition of equipment material were obtained.*

Keywords: *fatigue, eddy currents, eddy current probe, damage accumulation, electromagnetic signal*

References

1. Prokhorov A.E. Otsenka stepeni povrezhdennosti oborudovaniya, ekspluatiruemogo v usloviyakh malotsiklovoi ustalosti, s uchetom parametrov poverkhnostnoi energii (Damage assessment of the equipment which operated in low-cycle fatigue conditions, taking into account the parameters of the surface energy). PhD Thesis. Ufa, 2005. 107 p.
2. Alekhin V.P. Fizika prochnosti i plastichnosti poverkhnostnykh sloev materialov (Physics of strength and ductility of surface layers of materials). Moscow, Nauka, 1983. 254 p.
3. Ivanova B.C., Terent'ev V.F. Priroda ustalosti metallov (The nature of metal fatigue). Moscow, Metallurgiya, 1975. 455 p.
4. Bashirova E.M. Otsenka predel'nogo sostoyaniya metalla oborudovaniya dlya pererabotki uglevodorodnogo syr'ya s primeneniem elektromagnitnogo metoda kontrolya (Using electromagnetic inspection method for evaluation the extreme limit state of the metal of equipment for processing hydrocarbon raw materials). PhD Thesis. Ufa, 2005. 137 p.
5. Khandetskii V.S., Gerasimov V.V. Raspredelenie vikhrevykh tokov pri izmenenii raspolozheniya istochnika polya otnositel'no poverkhnosti slaboprovodyashchego metalla (The eddy currents distribution at change location of field source relative to the surface of the weakly conducting metal), *Vestnik Dnepropetrovskogo universiteta, seriya «Fizika. Radioelektronika»*. Issue 15, 2008, Vol. 16, Num. 2, pp. 165 - 170.
6. Nerazrushayushchii kontrol' i diagnostika. Spravochnik (Nondestructive testing and diagnostics. Handbook). Klyuev V.V. (Ed.), Moscow: Mashinostroenie, 1995. 488 p.
7. GOST 25.502-79. Strength analysis and testing in machine building. Methods of metals mechanical testing. Methods of fatigue testing. Moscow, 1985. 32 p.

8. Ayazyan G.K. Raschet avtomaticheskikh sistem s tipovymi algoritmami regulirovaniya: Uchebnoe posobie (Calculation of automatic systems with standard control algorithms: A tutorial). Ufa, UNI, 1989. 136 p.

9. Dubov V.T., Vlasov A.A. Fizicheskie osnovy metoda magnitnoi pamyati metalla (The physical principles of the metal magnetic memory method). Moscow, Spectr, 2004. 424 p.