

УДК620.179.1:66.045.1

## ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС ОБОЛОЧКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### THE RESIDUAL LIFE OF SHELL STRUCTURES

Ковшова Ю.С.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,  
г. Уфа, Российская Федерация

Ju.S. Kovshova

FSBEI NPE Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russian Federation  
e-mail: july52008@yandex.ru

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы оценки остаточного ресурса оболочковых конструкций, эксплуатируемых в условиях длительного статического нагружения. Существующие методики оценки остаточного ресурса в качестве параметров технического состояния сосудов и аппаратов используют измеренные величины возникших повреждений, данные об изменении физико-химических характеристик материалов, а также число циклов нагружения. При этом не учитываются необратимые структурные изменения материала, возникшие в процессе эксплуатации. Для оценки технического состояния оборудования оболочковой конструкции предлагается разработать интегральный критерий оценки накопленных повреждений в материале, применимый для условий статической нагрузки. Экспериментальные исследования показали, что в материале под действием длительной статической нагрузки происходят изменения внутренней структуры, связанные с адаптацией к внешнему воздействию, когда материал, исчерпывая один механизм адаптации, переходит на другой, и таким образом происходит накопление повреждений. Установлено, что скорость ультразвуковых волн, напряженность магнитного поля, напряжение отклика электрического сигнала и поверхностная энергия являются параметрами, чувствительными к накоплению повреждений в материале. Установление пороговых значений этих параметров, характеризующих уровень накопленных повреждений, позволит оценивать момент наступления предельного состояния и определять остаточный ресурс конструкции.

**Abstract.** The paper deals with the assessment of the residual life of shell structures, operated under long-term static loading. Existing techniques of an estimation of the residual life in the capacity of parameters of a technical condition of vessels and apparatuses use the measured magnitudes of the originated faults, the data about change of physical and chemical characteristics of materials, and also number of cycles of a loading. Thus the irreversible structural changes of the material which has originated

while in service are not considered. For an estimation of a technical condition of the equipment of a shell-type construction it is offered to develop integrated criterion for evaluating the accumulated damage in the material, applicable for conditions of static loading. Experimental researches showed that in a material under the influence of long static loading there are the changes of an internal structure related with adaptation to external impact when the material exhausting one adaptation *mechanism passes* to another and thus there is the accumulation of damages. Found that the velocity of ultrasonic waves, magnetic field strength, voltage of the electric signal response and the surface energy are the parameters that are sensitive to the accumulation of damage in the material. The establishment of threshold values for these parameters that characterize the level of accumulated damage will measure the time of the limit state and to determine the residual life the structure.

**Ключевые слова:** оболочковые конструкции, квазистатическое нагружение, механизмы адаптации, накопление повреждений, скорость продольных ультразвуковых волн, поверхностная энергия, напряженность магнитного поля, напряжение отклика электромагнитного сигнала, остаточный ресурс

**Keywords:** shell structures, quasi-static loading, mechanisms of adaptation, damage accumulation, velocity of longitudinal ultrasonic waves, surface energy magnetic field strength, voltage of the electric signal response, residual life

В условиях старения технологического оборудования контроль технического состояния и оценка остаточного ресурса имеют особое значение для обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов [1].

Согласно методикам, изложенным в действующих нормативно-технических документах [2,3,4], остаточный ресурс сосудов и аппаратов определяется исходя:

- из условий прочности, с учетом фактических значений толщин стенок элементов сосудов, размеров и расположения выявленных дефектов, результатов исследований свойств металла;

- из условий долговечности по допускаемому числу циклов нагружения  $[N]$ , для сосудов и аппаратов, работающих в условиях циклического нагружения.

Оценка работоспособности оборудования и живучести конструкции осуществляется по результатам определения величины дефектов, выявленных методами неразрушающего контроля (НК), и сопоставления их с предельно допустимыми значениями.

В процессе длительной эксплуатации технологического оборудования, работающего под давлением, происходит изменение структуры, физико-механических характеристик материала. Неизбежные отклонения параметров технологического процесса (давления, температуры и др.) приводят к локальным

изменениям свойств металла, так как амплитуда изменения напряжений в локальных зонах может быть большой, по сравнению с общим уровнем напряжений в конструкции. В результате формирования локальных зон пластической деформации в элементах конструкции, имеющих конструктивные концентраторы напряжений и дефекты, возникает опасность хрупкого разрушения в случае внезапного повышения напряжения.

Существующие методы и средства НК направлены на поиск и нахождение конкретного дефекта, определение его размеров (глубина залегания, протяженность), что является сложной практической задачей, особенно при большой площади поверхности или протяженности объекта. Поскольку контроль осуществляют выборочно, изменения, происходящие в локальных зонах, могут быть не охвачены при измерении, поэтому достоверность контроля при этом остается неопределенной. Кроме того, традиционные методы НК не позволяют определять зарождение дефектов на раннем этапе [5].

Поэтому, чтобы оценить фактическое состояние материала конструкции и обеспечить безопасную эксплуатацию оборудования, следует определять не критические размеры дефектов, а уровень накопленных повреждений, который может коррелировать с параметрами, легко измеряемыми методами неразрушающего контроля. Необходимо найти интегральный параметр, характеризующий состояние материала в исследуемой зоне.

При оценке состояния оборудования, работающего в условиях циклических нагрузок, для обозначения уровня накопленных повреждений используется условная величина отношения фактического числа циклов к числу циклов, при котором происходит разрушение материала ( $N_i/N_p$ ).

В работах [6, 7, 8, 9] рассматривались методы оценки технического состояния оборудования на основе исследования закономерностей изменения физических характеристик материала, таких как скорость ультразвука, магнитные и электромагнитные параметры и поверхностная энергия, в результате накопления усталостных повреждений в сталях различных марок: 09Г2С, Ст3сп, ВСт3сп5. Экспериментальные исследования показали, что данные характеристики чувствительны к наступлению предельного состояния. На зависимостях скорости ультразвука, действующего и среднего напряжения отклика электромагнитного сигнала, напряженности постоянного магнитного поля и поверхностной энергии от уровня накопленных повреждений наблюдается резкое изменение характеристик при переходе через уровень накопленных повреждений  $N_i/N_p=0,8$ , который соответствует области предразрушения.

Приведенные выше исследования проводились для оборудования, работающего в условиях циклических нагрузок. Однако на производстве широко используется оборудование, работающее при стационарном режиме нагружения. Проблема оценки технического состояния такого оборудования также представляет большой интерес.

В работе А.К. Гайдукевича [10] в результате исследования распространения ультразвуковой волны в реальных объектах при акустико-эмиссионном контроле в условиях гидравлического испытания теплообменного аппарата, было установлено, что при достижении уровня нагрузки, соответствующей рабочему давлению  $P_{\text{раб}}=0,7$  МПа, в материале аппарата наблюдается изменение скорости распространения ультразвуковых волн (рисунок 1).

Данный факт указывает на то, что в материале конструкции, работающей в условиях стационарного нагружения, происходят изменения, которые фиксируются ультразвуковыми характеристиками.

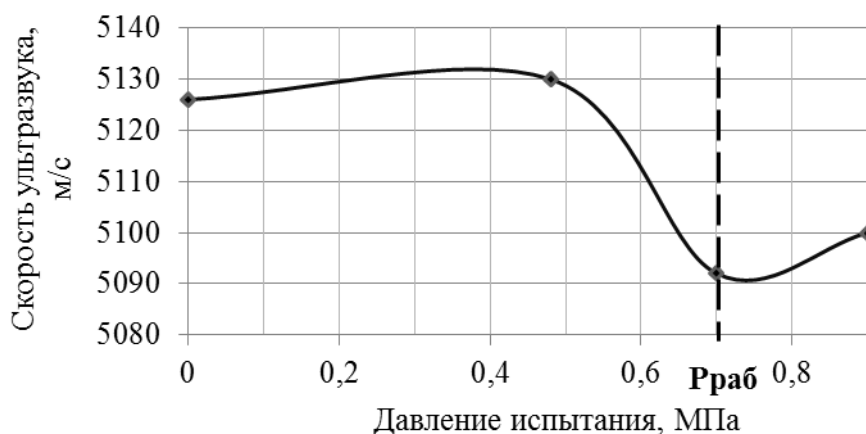


Рисунок 1. Изменение скорости ультразвуковых волн в металле в зависимости от давления при гидравлическом испытании теплообменного аппарата [10]

Следует отметить, что падение скорости ультразвука наблюдается именно при рабочем давлении. Данный факт показывает, что система в результате длительной эксплуатации приходит в равновесное состояние при рабочей нагрузке.

Значит, при статическом нагружении, мы можем найти такие параметры, которые могут показать, что происходит в структуре материала в результате длительной эксплуатации.

С целью дальнейшего изучения данного явления в работе [11] были проведены исследования влияния длительности выдержки металла под статической нагрузкой на скорость распространения продольных ультразвуковых волн и напряженность постоянного магнитного поля при различной степени деформирования. В эксперименте использовались образцы плоского типа из стали 09Г2С с геометрическими размерами  $200 \times 20 \times 6$  мм. Деформацию образцов создавали посредством изгиба в специальном приспособлении. Измерения выполнялись при относительной деформации 0; 0,093; 0,18 и 0,24 %, после чего образец устанавливался на величину деформации 0,18 % и выдерживался в течение 120 дней, при этом каждые 10 дней измерения повторялись.

Полученные результаты показали, что по достижении 80 дней выдержки скорость ультразвука резко возрастает, а после выдержки в течение 100 дней наблюдается экстремум изменения скорости от деформации для уровня рабочей нагрузки (рисунок 2).

Также установлено резкое возрастание относительной результирующей напряженности постоянного магнитного поля после 14дней выдержки, затем ее снижение по всей длине рабочей зоны образца при выдержке до 70-80 дней и следующее скачкообразное возрастание при достижении 90 дней выдержки (рисунок 3).

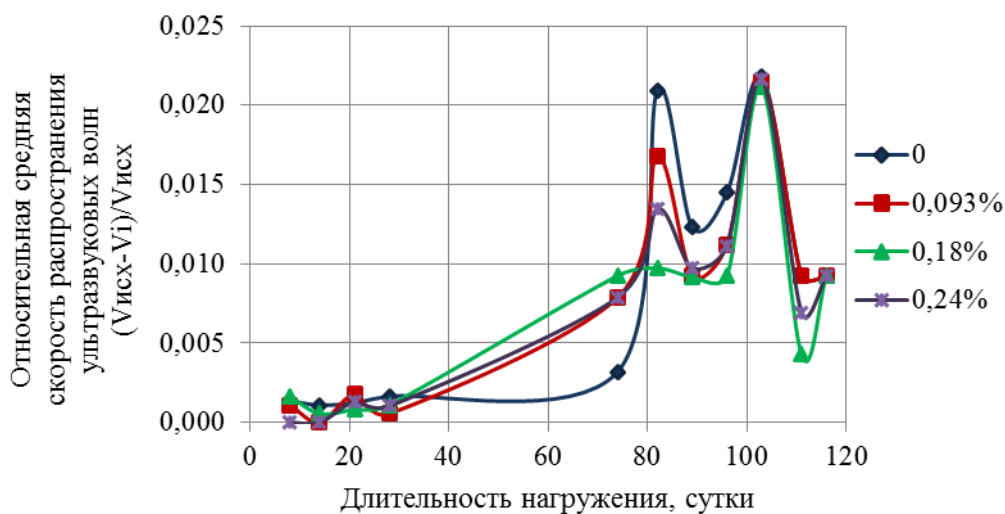


Рисунок 2. Зависимость средней скорости распространения продольных ультразвуковых волн от длительности выдержки под нагрузкой [11]

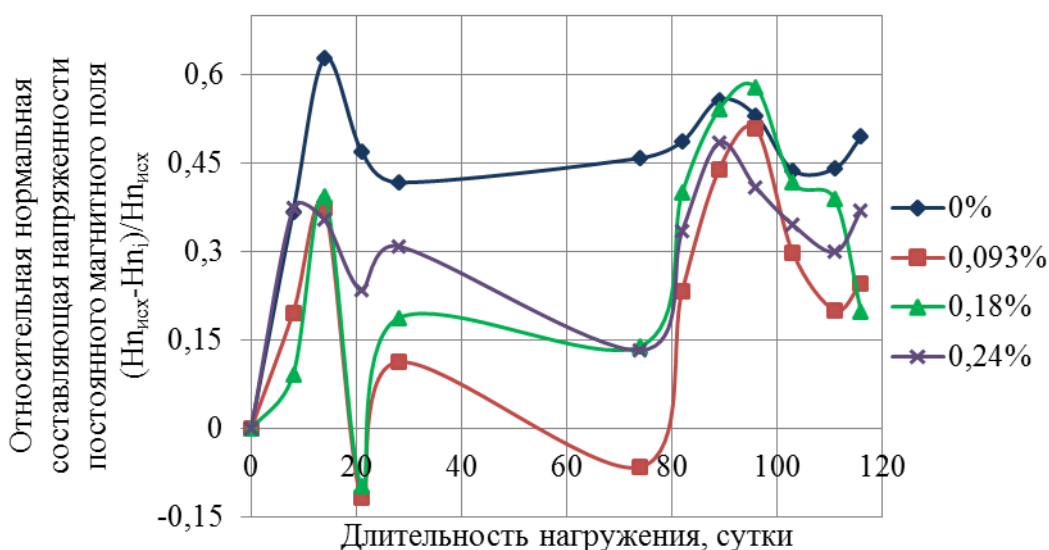


Рисунок 3. Зависимость средней результирующей напряженности постоянного магнитного поля от длительности выдержки под нагрузкой [11]

Так как напряженность постоянного магнитного поля характеризует свойства поверхности материала, а скорость ультразвуковых волн взаимосвязана с объемными свойствами, скачок относительной нормальной составляющей может быть связан с тем, что на ранних этапах нагружения изменения в материале происходят сначала на поверхности, а через некоторое время изменения происходят и в объеме, о чем свидетельствует скачок скорости ультразвука и напряженности магнитного поля через 80 дней.

Зафиксированные эффекты требуют отдельного изучения и оценки.

Обычно, когда проводится расчет напряженно-деформированного состояния, твердое тело рассматривается как изотропная среда, однако, оно таковым не является. Это означает, что в самой поликристаллической структуре могут локально изменяться свойства. В результате энергия, сообщаемая материалу при нагружении, не рассеивается, как в изотропной среде, а накапливается в локальных зонах с измененными свойствами. Свойство структуры адаптироваться к изменяющимся внешним условиям определяет механическое поведение материала под нагрузкой. В работах В.С. Ивановой, А.А. Оксогоева, В.Е. Панина [12, 13, 14] установлено, что при внесении энергии извне конструкционные материалы адаптируются к ней, проходя несколько стадий, в которых последовательно используются соответствующие механизмы адаптации (рисунок 4).

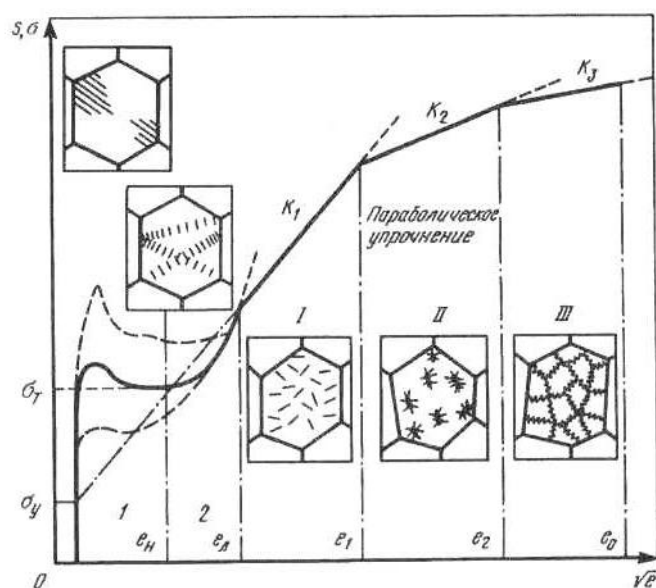


Рисунок 4. Трехстадийная кривая деформации в координатах приведенное напряжение сдвига – деформация сдвига [12]:

I – стадия легкого скольжения; II – стадия линейного упрочнения; III – стадия параболического упрочнения;  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  – коэффициенты деформационного упрочнения для стадий I, II и III соответственно;  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  – степени деформации, отвечающие концу стадий I и II.



Начальная стадия, отмеченная на рисунке 4 цифрой 1, связана с появлением неустойчивости пластического течения (зуб или площадка текучести); вторая дополнительная стадия 2 характерна для сплавов с низкой энергией дефекта упаковки. Стадии 1 и 2 отвечают линейному участку кривой деформации в обычных координатах напряжение – деформация. Для этого участка характерна своя дислокационная структура (чаще всего плоские скопления).

На стадии II диссипация энергии связана с дислокациями (ламинарное течение), а на стадии III – с дисклинациями (турбулентное течение). Это и обуславливает смену типа диссипативных структур в этой критической точке. Таким образом, критическое напряжение отвечает напряжению сдвига, выше которого система не может продолжать пластическую деформацию по механизму трансляции как контролирующей моды, не обеспечивающей дальнейшую эффективную диссипацию энергии и устойчивость системы, а поэтому включается новый контролирующий механизм диссипации энергии, связанный с ротационной модой деформации [12].

В работе [13] на кривой растяжения выделены 4 стадии, границы которых являются точками бифуркаций, которые отвечают смене механизма адаптации системы к внешнему воздействию и переходу в диссипативное состояние. В этом состоянии в процессе обмена энергией и веществом с окружающей средой самоорганизуется новая, более устойчивая к нарушению симметрий структура. Стадии I и II связаны со сдвигом в кристаллической решетке с сохранением исходного равновесия для упругой и квазиупругой стадий. Эти две стадии связаны с микроскопическими концентраторами напряжений. Переход от стадии II к стадии III является точкой бифуркации на мезоуровне. К началу этой стадии образуется ячеистая структура, знаменующая переход к новому масштабному уровню пластического течения (мезоуровень I). Локализация пластического течения (стадия IV) приводит к появлению нового мезоскопического масштаба (мезоуровень II) и новой точки бифуркации на кривой растяжения. Переходу от одной точки бифуркации к другой отвечает достижение критической разреженности среды (вследствие роста с деформацией плотности дефектов) [13, 14].

То есть при статическом нагружении материал воспринимает нагрузку и, исчерпывая один механизм адаптации, переходит на другой и, таким образом, происходит накопление повреждений.

Так как интегральная характеристика уровня накопленных повреждений (Ni/Np), применяемая для условий циклического нагружения, в случае воздействия длительной статической нагрузки не может быть использована, необходимо разработать критерий оценки накопленных повреждений в материале, применимый для условий статической нагрузки. Такой критерий может быть выражен отношением времени реализации работы, совершаемой под нагрузкой, к времени разрушения, однако оценить совершаемую работу – сложная задача, так как эксперименты показывают, что изменения происходят без

видимых признаков и явных нагрузок. Поэтому в целях установления критерия оценки накопленных повреждений следует рассматривать квазистатическую нагрузку.

Для оценки величины работы, совершаемой под действием длительной квазистатической нагрузки, была рассмотрена модель режима работы колонного аппарата с изменением рабочего внутреннего давления во времени. Расчетным путем была определена величина деформации цилиндрической обечайки аппарата при отклонениях рабочего давления, и рассчитана величина работы, совершаемой при этом изменении. Также на основании расчетов была определена величина работы, при которой произойдет разрушение материала конструкции, то есть образуется микротрещина. Работа, совершаемая при каждом последующем изменении рабочего давления, суммировалась с предыдущим значением. На основании проведенных расчетов была установлена тенденция роста величины совершаемой работы во времени. На рисунке 5 представлена схема оценки времени до разрушения материала (образования микротрещины) в зависимости от величины суммарной работы, совершаемой в процессе изменения рабочей нагрузки при эксплуатации аппарата в условиях квазистатического нагружения. Сплошной линией показано изменение величины суммарной работы при изменении нагрузки во времени от начала эксплуатации до фактического времени на момент оценки ( $T_{\text{факт}}$ ), пунктиром показана экстраполяция дальнейшего изменения работы до достижения критической величины работы разрушения и соответствующее время ( $T_{\text{разр}}$ ), при котором произойдет образование микротрещины в материале конструкции.

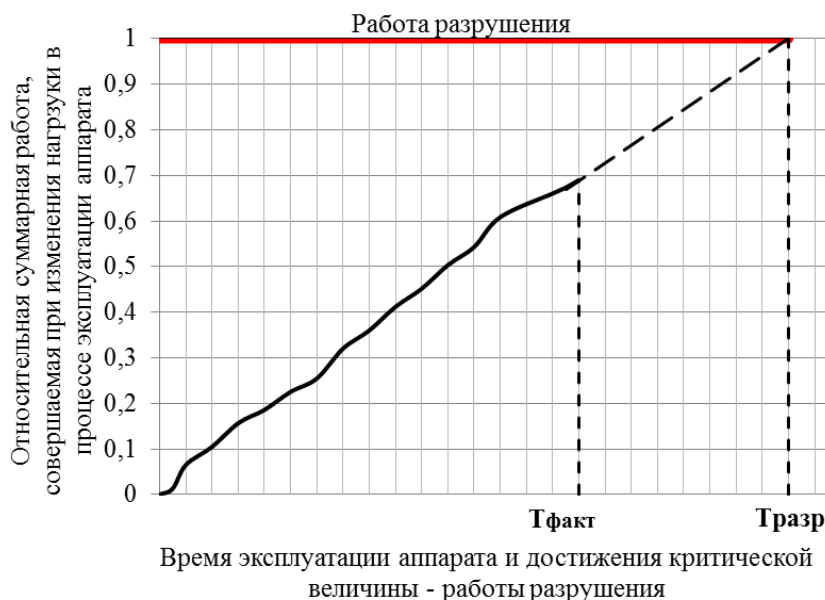


Рисунок 5. Схема оценки времени до разрушения конструкции в зависимости от величины суммарной работы, совершаемой в процессе изменения рабочей нагрузки при эксплуатации в условиях квазистатического нагружения



Для исследования статического нагружения проведены измерения скорости продольных ультразвуковых волн и напряженности постоянного магнитного поля при испытании плоских образцов на растяжение по ГОСТ 1497-84. Измеряя физические характеристики на каждой стадии растяжения образца, мы определяем смену механизмов адаптации материала к нагрузке, выясняем какие внутренние процессы, сменяя друг друга, доводят материал до разрушения.

Для установления механизмов изменений, возникающих в материале под воздействием статической нагрузки, важно исследовать, как будут изменяться физические характеристики, начиная с упругой области деформаций. С этой целью были проведены исследования изменения поверхностной энергии и скорости продольных ультразвуковых волн при статическом растяжении плоских образцов из стали 09Г2С и после снятия нагрузки.

Регистрация параметров поверхностной энергии и скорости продольных ультразвуковых волн образцов осуществлялась в исходном состоянии до нагружения, во время нагружения, сразу после снятия нагрузки и через каждые 30 минут в течение 2,5 часов. По результатам измерений построены зависимости скорости продольных ультразвуковых волн (рисунок 6) и поверхностной энергии (рисунок 7) от времени после снятия нагрузки.

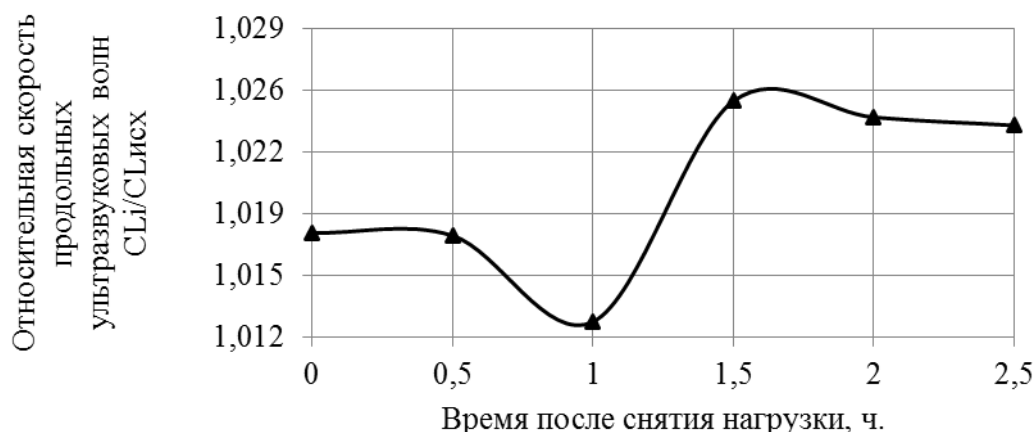


Рисунок 6. Зависимость относительной скорости продольных ультразвуковых волн от времени после снятия статической растягивающей нагрузки

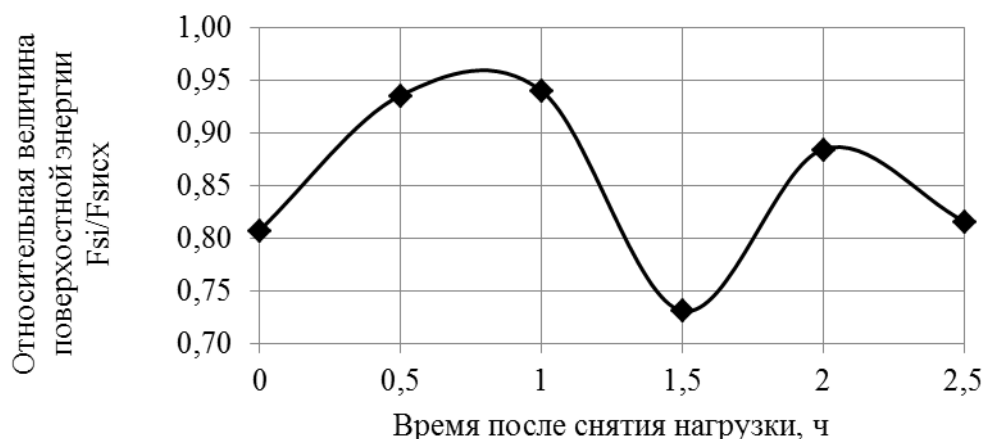


Рисунок 7. Зависимость относительной величины поверхностной энергии от времени после снятия статической растягивающей нагрузки

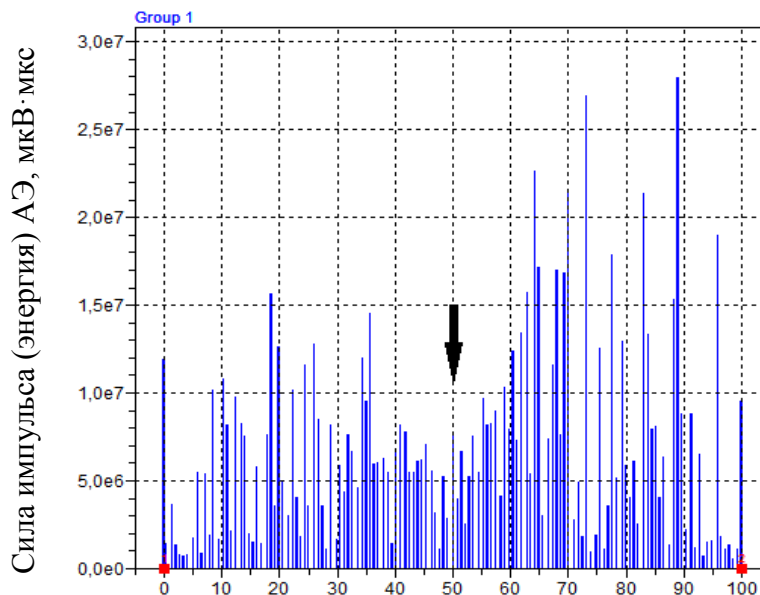
Полученные зависимости показывают, что приложенная растягивающая нагрузка вызывает возрастание скорости ультразвука, затем в течение часа после снятия нагрузки скорость ультразвука снижается, через 1,5 часа наблюдается ее скачок до максимального значения, после которого происходит постепенное снижение скорости ультразвука.

Поверхностная энергия, наоборот, снижается под действием статической нагрузки, и дальнейшее изменение происходит противоположно изменению скорости ультразвука, а через 1,5 часа поверхностная энергия достигает минимального значения, после которого наблюдается возрастание.

Даже после однократного воздействия нагрузки происходит изменение физических характеристик материала, при этом с течением времени наблюдается циклически затухающий характер зависимостей, что свидетельствует о процессах изменения структуры, продолжающихся и после снятия нагрузки.

Известно, что при поступлении в систему энергии извне, она стремится всеми доступными средствами к перераспределению энергии, одним из которых является образование новой поверхности, в этом случае энергия на поверхности материала должна реализовываться в образование трещины.

С помощью акустико-эмиссионных (АЭ) сигналов отслеживалось изменение характеристик акустического сигнала в процессе зарождения трещины при статическом растяжении образца.



Координата события АЭ по длине образца между преобразователями X, мм

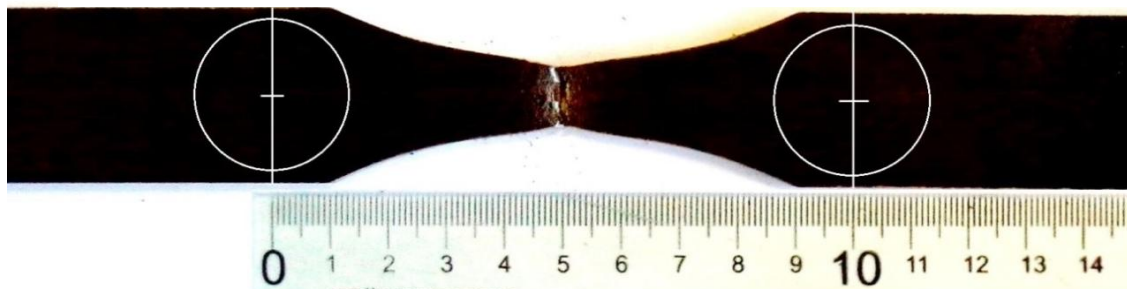


Рисунок 8. Распределение энергии события АЭ по длине участка образца между преобразователями

Энергия, сообщаемая материалу при деформировании, накапливаясь, перераспределяется во вновь образовавшуюся поверхность трещины. В очаге разрушения всплески энергии акустико-эмиссионных событий должны уменьшаться. На рисунке 6 мы видим распределение энергии АЭ-сигнала по длине образца между преобразователями акустической эмиссии.

В месте разрыва образца наблюдается минимум энергии сигнала акустической эмиссии за все время испытания. Материал, адаптируясь к нагрузке, постепенно исчерпывает механизмы адаптации, в результате чего сигнал акустической эмиссии в области разрушения становится менее интенсивным.

### Выводы

Таким образом, анализ литературных данных и проведенные экспериментальные исследования показали, что в материале под действием длительной статической нагрузки происходят изменения внутренней структуры, связанные с адаптацией к внешнему воздействию. Установлено, что скорость

ультразвуковых волн, напряженность магнитного поля, напряжение отклика электрического сигнала и поверхностная энергия являются параметрами, чувствительными к накоплению повреждений в материале. При дальнейших исследованиях необходимо найти пороговые значения этих параметров для материала, работающего в режиме статического нагружения, соответствующие состоянию предразрушения и характеризующие уровень накопленных повреждений аналогично условной величине  $N_i/N_p = 0,8$ , используемой для анализа в условиях малоциклового усталости. Тогда эти результаты дадут возможность оценивать момент наступления предельного состояния материала и определять остаточный ресурс конструкции.

**Исследования выполнялись при содействии Межвузовского центра коллективного пользования «Региональный научно-производственный комплекс «Недра» Уфимского государственного нефтяного технического университета.**

### Литература

1. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В 2 ч. / Н.А. Махутов. Новосибирск: Наука, 2005. - Ч. 2. Обоснование ресурса и безопасности. 431 с.
2. Методика диагностирования технического состояния и определения остаточного ресурса технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических производств (ДиОР-05). //URL: [http://www.tehlit.ru/1lib\\_norma\\_doc/48/48689/](http://www.tehlit.ru/1lib_norma_doc/48/48689/) (Дата доступа 04.03.2013).
3. РД 03-421-01. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов. // URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=313346> (Дата доступа 03.03.2013).
4. РД 26.260.004-91. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. //URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=ESU;n=23003> (Дата доступа 03.03.2013).
5. Дубов А.А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования // Арматуростроение: межотраслев. журн.2012. № 3 (78) С.74-78.
6. Наумкин Е.А. Методология прогнозирования ресурса нефтегазового оборудования, эксплуатируемого в условиях циклического нагружения, на стадии проектирования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.13 / УГНТУ. Уфа, 2011. 48 с.
7. Бикбулатов Т.Р. Оценка предельного состояния стали по параметрам переменного электрического сигнала// Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2011. №5. С. 394-399. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Naumkin/Naumkin\\_2.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Naumkin/Naumkin_2.pdf).

8. Кузеев И.Р., Наумкин Е.А., Кондрашова О.Г. Оценка адаптивных свойств металла по изменению его магнитных характеристик для определения ресурса безопасной эксплуатации нефтегазового оборудования// Нефтегазовое дело: науч. техн. журн. 2006. Т.1, № 4. С. 124-133.

9. Наумкин Е.А., Кузеев И.Р., Прохоров А.Е. Оценка степени поврежденности стали 09Г2С в условиях малоциклового усталости с учетом параметров поверхностной энергии// Мировое сообщество: проблемы и пути решения: сб. науч. ст. /УГНТУ. 2005. № 17. 223 с.

10. Гайдукевич А.К. Повышение качества акустико-эмиссионного контроля сосудов, работающих под давлением, в нефтепереработке и нефтехимии: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Уфа, 2001. 89 с.

11. Юмаева Э. Р., Ашин Д. С., Наумкин Е. А. Влияние длительности выдержки материала под статической нагрузкой на магнитные и акустические характеристики // Актуальные проблемы науки и техники: сб. тр. II Междунар. конф. мол. ученых, (г. Уфа, 9 дек. 2010 г.). Уфа: Нефтегазовое дело, 2010. - Т. I. С. 215-216.

12. Синергетика и фракталы в материаловедении/Иванова В.С. [и др.]. М.: Наука, 1994. С.130-138.

13. Оксогоев А.А. Фракталы. Инженерные приложения в материаловедении. // Фракталы и прикладная синергетика 2005: сб. ст. под ред. Ю.К. Ковнеристого [и др.]. М.: изд-во Интерконтакт Наука, 2005. С. 71 - 81.

14. Панин В.Е., Панин Л.Е. Масштабные уровни гомеостаза в деформируемом твердом теле // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7, №4. С. 5-23.

## Referenses

1. Mahutov N.A. Konstrukcionnaya prochnost', resurs i tehnogennaya bezopasnost': V 2 ch. / N.A. Mahutov. Novosibirsk: Nauka, 2005. Ch. 2: Obosnovanie resursa i bezopasnosti. 431s. [in Russian].

2. Metodika diagnostirovaniya tehničeskogo sostoyaniya i opredeleniya ostatochnogo resursa tehnologičeskogo oborudovaniya neftepererabatyvayushih, neftehimicheskikh proizvodstv (DiOR-05). // URL: [http://www.tehlit.ru/1lib\\_norma\\_doc/48/48689/](http://www.tehlit.ru/1lib_norma_doc/48/48689/) (Data dostupa 04.03.2013).

3. RD 03-421-01. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu diagnostirovaniya tehničeskogo sostoyaniya i opredeleniyu ostatochnogo sroka sluzhby sudov i apparatov. // URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=313346> (Data dostupa 03.03.2013).

4. RD 26.260.004-91. Prognozirovanie ostatochnogo resursa oborudovaniya po izmeneniyu parametrov ego tehničeskogo sostoyaniya pri ekspluatácii. // URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=ESU;n=23003> (Data dostupa 03.03.2013).

5. Dubov A.A. Problemy ocenki ostatochnogo resursa stareyushego oborudovaniya// Armaturostroenie: mezhotraslev. zhurn. 3 (78) 2012.S.74-78. [in Russian].

6. Naumkin E.A. Metodologiya prognozirovaniya resursa neftegazovogo oborudovaniya, ekspluatiruemogo v usloviyah ciklicheskogo nagruzheniya, na stadii proektirovaniya: avtoref.dis. □ d-ratehn. nauk: 05.02.13 / UGNTU. Ufa, 2011. - 48 s. [in Russian].

7. Bikbulatov T.R. Ocenka predel'nogo sostoyaniya stali po parametram peremennogo elektricheskogo signala// Neftegazovoe delo: elektron. nauch. zhurn. 2011. №5. S. 394-399. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Naumkin/Naumkin\\_2.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Naumkin/Naumkin_2.pdf).

8. Kuzeev I.R., Naumkin E.A., Kondrashova O.G. Ocenka adaptivnykh svoystv metalla po izmeneniyu ego magnitnykh karakteristik dlya opredeleniya resursa bezopasnoi ekspluatatsii neftegazovogo oborudovaniya/ Neftegazovoe delo: nauch. tehn. zhurn. 2006.- T.1, №4. S. 124-133. [in Russian].

9. Naumkin E.A., Kuzeev I.R., Prohorov A.E. Ocenka stepeni povrezhdennosti stali 09G2S v usloviyah malociklovoi ustalosti s uchetom parametrov poverhnostnoi energii// Mirovoe soobshество: problemy i puti resheniya: sb. nauch. st. / UGNTU. 2005. №17. 223 s. [in Russian].

10. Gaidukevich A.K. Povyshenie kachestva akustiko-emissionnogo kontrolya sosudov, rabotayushih pod davleniem, v neftepererabotke i neftehimii: dis. □kand. tehn. nauk: 05.02.13. Ufa, 2001.89 s.[in Russian].

11. Yumaeva E. R., Ashin D. S., Naumkin E. A.Vliyanie dlitel'nosti vyderzhki materiala pod staticheskoi nagruzkoi na magnitnye i akusticheskie karakteristiki // Aktual'nye problemy nauki i tehniki: sb. tr. II Mezhdunar. konf. mol. uchenykh, (g. Ufa, 9 dek. 2010 g.). Ufa: Neftegazovoe delo, 2010. - T.I. S. 215-216. [in Russian].

12. Sinergetika i fraktaly v materialovedenii / Ivanova V.S. [i dr.]. M.: Nauka, 1994. S. 130-138. [in Russian].

13. Oksogoev A.A. Fraktaly. Inzhenernye prilozheniya v materialovedenii// Fraktaly i prikladnaya sinergetika 2005: sb. st. pod red. Yu.K. Kovneristogo [i dr.]. M.: izd-vo InterkontaktNauka, 2005. S. 71 – 81 [in Russian].

14. Panin V.E., Panin L.E. Masshtabnye urovni gomeostaza v deformiruемом tverdom tele// Fizicheskaya mezomehanika. 2004. T. 7, №4. S. 5-23. [in Russian].

### **Сведения об авторе**

Ковшова Ю.С., аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

Ju.S. Kovshova, postgraduate of chair “Technological machines and equipment”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, Russian Federation.

e-mail: july52008@yandex.ru