

- М 87354

Московский
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э.Баумана

на правах рукописи

САМОЙЛОВА Ирина Станиславовна

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИИ ТРУБОПРОВОДОВ И РЕЗЕРВУАРОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛН РАЗЛИЧНОГО ТИПА.

Специальность 0.5.02.11 - Методы контроля и диагностика
в машиностроении

Самойлова

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1993

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена
Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Шип В.В.

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. Барзов А.А.

к.т.н., в.н.с. Белова Л.Н.

Ведущее предприятие - ВНИИСТ

Защита состоится "30" июня 1993 г. на заседании
специализированного совета К.053.16.01 в Московском государст-
венном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный
печатью, просим вы-

С диссертаци

Н.Э.Баумана.

Телефон для

Автореферат

Ученый сек
специализирован

К.053.16.

к.т.н., до

Заказ. 323

Подп. к печати

M 87354

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В настоящее время актуальны проблемы энергетики, успешное решение которых в значительной мере зависит от эффективности транспортировки, хранения и переработки газо- и нефтепродуктов. Сварные газо-, нефтепроводы и резервуары - ответственные конструкции, широко используемые в различных отраслях промышленности. Анализ отказов магистральных трубопроводов и вертикальных цилиндрических резервуаров показал, что в большинстве случаев причинами, вызывающими их разрушение, являются трещины и трещиноподобные дефекты в сварных соединениях. Обеспечение их безаварийной работы может быть достигнуто путем внедрения методов неразрушающего контроля, которые оценивают состояние сварных соединений и металла конструкции.

Перспективность использования метода акустической эмиссии (АЭ) для контроля сварных конструкций определяется возможностью оперативного получения в реальном масштабе времени информации о динамике необратимых процессов в металле конструкции на стадиях предразрушения, а также при развитии трещин от дефектов или конструктивных концентраторов напряжений.

Для повышения надежности трубопроводов и резервуаров целесообразно использовать подход, сочетающий преимущества традиционных методов контроля (радиографического, ультразвукового и магнитных методов) с преимуществами метода АЭ. В связи с этим разработка научно-обоснованных методических рекомендаций по проведению АЭ контроля магистральных трубопроводов и вертикальных цилиндрических резервуаров с целью выявления зон повышенной акустической активности и оценки состояния объектов на стадиях предпусковых и послеремонтных испытаний, а также в процессе эксплуатации, является актуальной задачей и способствует повышению надежности объектов.

Цель работы. Повышение надежности сварных трубопроводов и резервуаров за счет разработки и использования методики АЭ контроля, позволяющей оценивать развитие пластической деформации и трещин в реальном масштабе времени.

Методы исследований. Акустико-эмиссионные характеристики лабораторных образцов из модельного материала - кремнистого

ИДБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1087354

Самойлова И. С. Разработка

МГТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

железа, конструкционной стали 09Г2С и ее сварных соединений, а также натурального образца из стали 17ГС получены при помощи АЭ приборов АФ-15; АВН-3; АСТРА-6; LOSAN-AT. Для получения спектральных характеристик АЭ сигналов использовались также запоминающий осциллограф С8-9А и ЭВМ ИВ-110.

Механические испытания осуществлялись на установках: INSTRON, Р-20, установке бесшумного термонагружения, а также при помощи системы нагружения внутренним давлением. Статистическая обработка результатов АЭ испытаний, решение задач идентификации стадий деформирования и источников АЭ осуществлялись с использованием компьютера РС AT-286.

Научная новизна. Для различных стадий деформирования лабораторных образцов из кремнистого железа экспериментально установлена линейная регрессионная связь между механической энергией деформирования, энергией суммарного акустического поля, энергией его продольной и сдвиговой волновых компонент. Получены коэффициенты корреляционной связи, близкие к единице.

Показано, что соотношение акустических энергий для образцов из конструкционной стали, а также ее сварных соединений, деформировавшихся по схемам нормального отрыва и поперечного сдвига, аналогично соотношению их механических энергий и составляет 0.75.

Показана возможность идентификации стадий деформирования и стадии развития трещины в образцах из стали 09Г2С и ее сварных соединениях, качественных и с дефектами, а также возможность анализа процесса пластической деформации на различных ступенях нагружения натурального трещинового образца с использованием эллипсов рассеяния, полученных на основе статистического анализа параметров спектров АЭ сигналов - медианной частоты f и средней энерг. E .

Установлено, что при деформировании основного металла, металла сварного шва и зоны сплавления по схемам нормального отрыва и поперечного сдвига, эллипсы рассеяния для соответствующих стадий деформирования расположены на плоскости (f, E) подобно. При этом для соответствующих стадий деформирования образцов из основного металла и сварных бездефектных образцов наблюдались

близкие значения параметров эллипсов рассеяния: математических ожиданий медианных частот и средних энергий M_f и M_E , а также среднеквадратичных отклонений медианных частот и средних энергий σ_f и σ_E .

Практическая ценность работы. Разработаны методики, позволяющие на основе использования метода АЭ и статистической обработки результатов АЭ измерений идентифицировать стадии деформирования и стадию развития трещины, оценивать степень развития пластической деформации в основном металле и различных зонах сварных соединений магистральных трубопроводов и вертикальных цилиндрических резервуаров.

Даны рекомендации по повышению воспроизводимости результатов АЭ измерений при АЭ контроле сварных конструкций с использованием преобразователей продольных волн. Экспериментально показана предпочтительность использования продольных волн при АЭ контроле структурнонеоднородных материалов и сварных конструкций.

Разработанные методики получили практическое применение при АЭ контроле сварных соединений трубопроводов и вертикальных цилиндрических резервуаров. Получен экономический эффект, превышающий 90 тыс. рублей в ценах 1990-1991 гогол.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации доложены и обсуждены на: XII Всесоюзной научно-технической конференции "Неразрушающие физические методы контроля" (Свердловск 1990 г.); Всесоюзной научно-технической конференции "Прочность и диагностика сварных конструкций" (Тверь 1991 г.); III - Всесоюзной научно-производственной конференции "Акустическая эмиссия, теория и практика" (Обнинск 1992 г.); Научно-технической конференции стран СНГ "Производство и надежность сварных конструкций" (г.Калининград Московской области 1993 г.); на научном семинаре Московского государственного технического университета им. Н.Э.Баумана в 1992 г.

Публикации. Основное содержание работы изложено в 8 публикациях, перечень которых дан в конце автореферата, и отражено в ряде научно-технических отчетов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 86

наименований, I приложения и содержит 134 страницы, 19 таблиц и 31 рисунок..

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и в первой главе сформулирована основная цель работы, обоснована ее актуальность и новизна. Объектами исследования являлись магистральные трубопроводы и вертикальные цилиндрические резервуары, изготовленные из сталей феррито-перлитного класса. В этой же главе в параграфе I.1 дана характеристика объектов исследования. Приведены типоразмеры рассматриваемых трубопроводов (диаметрами $D = 351+1420$ мм с соответствующими толщинами $\delta = 4+20$ мм) и резервуаров (объемом $V=6.000+50.000$ м³ с соответствующими толщинами стенок $\delta=4+20$ мм).

На основе анализа литературы было показано, что в процессе изготовления для трубопроводов и резервуаров используют ручную электродуговую сварку, автоматизированную сварку под флюсом и в среде защитных газов. В процессе изготовления, на стадии предпусковых и послеремонтных испытаний, при плановом обследовании применяют: радиографический, ультразвуковой и магнитные методы контроля.

Перед сдачей в эксплуатацию трубопроводы и резервуары подвергают проверке на прочность и герметичность. В процессе эксплуатации для рассматриваемых конструкций характерно статическое, повторностатическое и малоцикловое усталостное нагружение, а также двухосное напряженное состояние. Кроме того, анализ статистики аварий магистральных трубопроводов и вертикальных цилиндрических резервуаров показывает, что основными причинами отказов являлись трещины и трещиноподобные дефекты в сварных соединениях. Такая общность позволяет распространять методические рекомендации по АЭ контролю на сварные соединения магистральных трубопроводов и вертикальных цилиндрических резервуаров с незначительными изменениями.

Отмечена целесообразность подхода, сочетающего преимущества традиционных методов контроля с преимуществами метода АЭ.

В параграфе I.2, главы I проведен анализ литературных источников и рассмотрены ранее установленные соотношения между информативными параметрами АЭ и параметрами, характеризующими

пластическую деформацию и развитие трещин. Отмечено, что практически не встречаются работы, посвященные исследованию корреляционных связей между информативными параметрами АЭ и характеристиками трещинообразования для конструкционных феррито-перлитных сталей, используемых для изготовления трубопроводов и резервуаров. В то же время, практически все известные из литературных источников соотношения основаны на подходах линейной упругой механики разрушения, следовательно, применение этих соотношений для материалов, обладающих повышенной вязкостью разрушения, затруднено. Были выявлены литературные источники, показывающие применительно к модельным и строительным материалам перспективность использования статистического подхода для идентификации стадий деформирования, стадии развития трещины и преимущественных источников АЭ на этих стадиях. В то же время анализ литературы показал, что применительно к конструкционным сталям и их сварным соединениям такой подход не был реализован. В связи с вышеизложенным, проведение данной работы представляется актуальным.

Во второй главе исследовалась возможность использования продольной и сдвиговой волновых компонент для анализа процесса пластического деформирования. В качестве объекта исследования были выбраны образцы размерами (190х40х0.4) мм, (140х20х1) мм с краевыми надрезами и пластина размером (400х300х0.4) мм из модельного (технического) материала с минимальной анизотропией - кремнистого железа. В настоящей главе изучались следующие вопросы: на образцах из кремнистого железа исследовались распределения спектральных плотностей АЭ сигналов, вызванных преимущественно пластической деформацией скольжением для суммарного акустического поля, продольной и сдвиговой волновых компонент, а также устанавливались корреляционные связи между ними; исследовались синхронизированные изменения во времени механической энергии деформирования и акустической энергии суммарного поля и его волновых компонент; на различных стадиях деформирования устанавливались корреляционные зависимости между механической и акустической энергиями; рассматривались пространственные распределения энергий суммарного акустического

поля и его волновых компонент вокруг вершины стабильной трещины, имитированной надрезом, полученным электроискровым способом. При регистрации АЭ сигналов и их последующей спектральной обработке для суммарного волнового поля, а также продольной и сдвиговой его компонент, наблюдались подобные по форме распределения усредненных спектральных плотностей, имеющие одинаковую доминантную частоту, близкую к 1 МГц, но разные максимальные значения. Связь между распределениями усредненных спектральных плотностей для различных пар волновых компонент во всех случаях описывается уравнениями линейной регрессии с коэффициентами корреляции, близкими к единице. Результаты регрессионного анализа позволяют установить, что при деформировании образцов из кремнистого железа изменение во времени энергии АЭ продольной, сдвиговой волн и суммарного волнового поля имеет идентичный характер. Регрессионный анализ также показал, что связь между изменением во времени акустической энергии для различных типов волн и изменением механической энергии деформирования описывается уравнениями линейной регрессии на каждой стадии деформирования образца с коэффициентами корреляции, близкими к единице.

При увеличении вязкости материала исследуемых образцов за счет уменьшения среднего размера зерна $\bar{b}$ в (1.5+2) раза, уменьшалась энергия сдвиговой волны за счет увеличения ее затухания в материале с повышенной вязкостью. При этом соответственно уменьшалась энергия суммарного волнового поля. Заметного изменения энергии продольной волны в зависимости от изменения вязкости материала не наблюдалось. Характер изменения во времени энергии суммарного поля и его волновых компонент сохранялся.

Необходимо отметить идентичность пространственных распределений энергии суммарного волнового поля, продольной и сдвиговой волн. Величина зарегистрированной энергии АЭ от единого источника излучения при соизмеримых размерах надреза и пьезопластины существенно зависит от расположения ПЭЭ относительно оси надреза и может различаться в (5+6) раз.

Подобие временных, спектральных и пространственных распределений энергии волновых компонент и суммарного

акустического поля, а также соотношения, установленные между ними, позволяют сделать заключение о возможности дефектоскопии с использованием отдельных компонент волнового поля и преимуществах использования ПАЭ, селективных к продольным волнам, как наименее подверженных влиянию неоднородностей контролируемого объекта.

В третьей главе исследовалась кинетика изменения акустических и механических параметров при испытании образцов из стали О9Г2С, ее сварных соединений, качественных и с дефектами. Были испытаны образцы следующих типов из основного металла: без надреза (тип 1), с краевым надрезом (тип 2), ступенчатые образцы (тип 3), а также сварные образцы: с горячей трещиной в шве (тип 4), с непроваром (тип 5), с надрезом в стыковом шве (тип 6), с надрезом в нахлесточном соединении (тип 7). Всего было испытано 70 образцов размерами (190х35х4) мм, по 10 образцов каждого типа. При квазистатическом растяжении образцов синхронно с диаграммой "нагрузка-перемещение" регистрировалась преобразователями суммарного поля и продольных волн мощность АЭ сигналов одновременно по двум каналам АЭ прибора АСТРА-6. Помимо мощности, на каждой стадии деформирования образца регистрировались по 56 спектров АЭ сигналов. Для этой цели использовался широкополосный канал АЭ прибора АСТРА-6, соединенный с ЭЕМ ИМ-110, позволяющей выполнять спектральный анализ АЭ сигналов в реальном масштабе времени. Для всех рассмотренных типов образцов наблюдался идентичный характер изменения анализируемых параметров: напряжений, мощности АЭ, энергии АЭ, механической энергии деформирования. При этом значения энергии АЭ вычислялись последовательным суммированием экспериментально полученных значений мощности АЭ, а значения энергии деформирования вычислялись интегрированием площади под кривой "нагрузка-перемещение".

Полученные значения мощности и энергии АЭ для образцов из основного металла типов 2 и 3, а также сварных образцов типов 5, 6 и 7 были ниже, чем для образцов из основного металла типа 1, на всех стадиях деформирования.

Мощность и энергия сварных образцов с трещиной (тип 4) на всех стадиях деформирования существенно превышали соответствующие

АЭ параметры для всех других типов испытанных образцов, как сварных, так и из основного металла, что позволяет уверенно распознавать наличие трещины по сравнительно высоким значениям мощности и энергии АЭ сигналов.

Рассмотрена синхронная кинетика изменения механической энергии деформирования и акустической энергии суммарного поля. На каждой стадии деформирования для каждого типа характерных образцов установлены линейные регрессионные зависимости между энергией суммарного акустического поля и механической энергией деформирования. Отмечены высокие значения коэффициентов корреляционной связи, близкие к единице.

Установлено, что изменение стадии деформирования при увеличении относительной деформации сопровождается возрастанием значений коэффициентов корреляционной связи между энергией суммарного акустического поля и механической энергией деформирования, а также изменением параметров в уравнениях линейной регрессии. Отмечены повышенные значения коэффициентов корреляции для образцов из стали 09Г2С по сравнению с коэффициентами корреляции для сварных образцов из той же стали на соответствующих стадиях деформирования, что, по видимому, обусловлено влиянием неоднородности сварных соединений. Для всех типов образцов были получены распределения доминантных частот спектров в зависимости от числа принятых сигналов. Для образцов из основного металла и сварных образцов в этих распределениях наблюдались преимущественно доминантные частоты, близкие к 0.18 МГц и к 0.25 МГц и обусловленные пластической деформацией. Для образцов типа 4 с горячей трещиной в шве, разрушившихся хрупко, помимо АЭ сигналов, характерных для пластической деформации, наблюдались АЭ сигналы высокой мощности с доминирующими частотами, близкими к 0.16 МГц.

В четвертой главе показана возможность идентификации стадий деформирования и стадии развития трещины для конструкционной стали 09Г2С и ее сварных соединений на основе анализа эллипсов рассеяния и их параметров, полученных в результате статистической обработки параметров спектров АЭ сигналов. Спектры АЭ сигналов были зарегистрированы в процессе деформирования образцов типов

(I+7), результаты испытаний которых приведены в главе 3. Спектральный анализ АЭ сигналов проводился в реальном масштабе времени синхронно с записью диаграммы деформирования. На каждой стадии деформирования образца было зарегистрировано по 25+30 спектров АЭ сигналов. Для статистической обработки и сопоставления использовались координаты центров спектров: медианная частота f и средняя энергия E . В результате для каждого испытанного образца была получена упорядоченная последователь-

ность, состоящая из 56 пар значений f и E , причем порядковый номер каждой пары в этой последовательности определялся моментом поступления АЭ сигнала в ЭВМ IN-110 и соответствовал определенной стадии деформирования и величине относительной деформации. Полученные пары значений f и E являлись исходными данными для дальнейшей статистической обработки. Используя полученные исходные данные, для каждой стадии деформирования образцов типов (I+7), вычислялись функции плотности распределения вероятности центров спектров $\Phi(f, E)$. Однако, в дальнейшем анализировались не сами функции $\Phi(f, E)$, а проекции их сечений на плоскость (f, E) , называемые эллипсами рассеяния. При этом положение секущей плоскости, параллельной основанию поверхности $\Phi(f, E)$, выбиралось таким образом, что выше полученного сечения располагалось 95% объема, ограниченного усеченной поверхностью.

В результате статистической обработки параметров спектров АЭ сигналов получены функции $\Phi(f, E)$ и эллипсы рассеяния, соответствующие упругой, пластической стадиям деформирования и стадии развития трещины для образцов типов (I+7). Поскольку эллипсы рассеяния, соответствующие различным стадиям деформирования на плоскости (f, E) перекрываются, использовался метод решающих функций и определялись границы, разделяющие плоскость (f, E) на области, соответствующие различным стадиям деформирования. С этой целью рассчитывались дискриминантные функции $U_{i,j}(x)$, характеризующиеся соотношением функций плотностей распределения вероятности $\Phi_i(x)$ и $\Phi_j(x)$ в данной точке плоскости $x = (f, E)$ и определяемые из выражения

$$U_{i,j}(x) = \ln \frac{\Phi_i(x)}{\Phi_j(x)}$$

Критерием идентификации стадий деформирования является условие $U_{i,j} = 0$. При этом, если $U_{i,j} > 0$, то центр спектра принадлежит i -ой стадии деформирования, если $U_{i,j} < 0$ то j -ой стадии деформирования.

В пятой главе приведены результаты анализа стадии предразрушения при АЭ испытаниях натурного трубного образца из стали 17ГС, нагруженного внутренним давлением. В процессе испытаний натурного образца проверялись зависимости, полученные ранее на лабораторных образцах, определялись диапазоны частот и энергий АЭ сигналов, характерные для стадии предразрушения натурного образца. Оценивалась возможность идентификации источников АЭ, обусловленных пластической деформацией на стадии предразрушения на основе сравнительного анализа эллипсов рассеяния и их параметров. Натурный трубный образец содержал продольный и кольцевой сварные швы и имел следующие размеры: наружный диаметр $D = 820$ мм, толщина $\delta = 8.5$ мм, длина $L = 10000$ мм. На расстоянии 100 мм от оси кольцевого сварного шва резцом был выполнен надрез глубиной 3.5 мм и длиной $l = 100$ мм, так, что ось надреза располагалась параллельно оси кольцевого сварного шва. Нагружение образца осуществлялось внутренним гидростатическим давлением со скоростью (0.5 ± 1.0) МПа/мин., изменяющимся по ступенчатому циклу с выдержкой на ступенях. В ходе АЭ испытаний образец до разрушения не доводился. Максимальное испытательное давление составляло 11 МПа. В процессе нагружения преобразователями суммарного поля и продольных волн, подключенными к многоканальному АЭ прибору LOSAN-AT, регистрировались на каждой ступени нагружения амплитуда и энергия АЭ сигналов. Преобразователем продольных волн в реальном масштабе времени регистрировались спектры АЭ сигналов на ступенях нагружения, соответствующих значениям внутреннего давления $P = 6$ МПа (3-ступень), $P = 9$ МПа (6-ступень), $P = 11$ МПа (7-ступень). На третьей ступени нагружения при $P = 6$ МПа материал образца преимущественно находился на упругой стадии деформирования, на шестой ступени ($P = 9$ МПа) - в пластической стадии, последняя-седьмая ступень нагружения ($P = 11$ МПа), соответствует состоянию общей текучести материала. Однако, в ослабленном надрезом сечении

образца протекает пластическая деформация, которая служит источником АЭ на начальных ступенях нагружения (1+5). На ступенях нагружения (5+6) при напряжениях в образце, близких к пределу текучести, источником АЭ сигналов служила преимущественно пластическая деформация в сварном кольцевом шве. На седьмой ступени нагружения АЭ сигналы были обусловлены пластической деформацией сварного шва и основного металла. В отличие от лабораторных образцов, где были проанализированы упругая, пластическая стадии деформирования и стадия развития трещины (главы 3 и 4), для натурального образца анализировалась стадия предразрушения и преимущественный источник АЭ на этой стадии - пластическая деформация при различных уровнях напряжений и в различных зонах натурального образца.

В результате проведенных АЭ испытаний натурального трубного образца определены диапазоны изменения информативных параметров АЭ сигналов: средней энергии, доминантных и медианных частот спектров для каждой ступени нагружения натурального образца. Получены эллипсы рассеяния, а также определены диапазоны изменения их параметров для третьей, шестой и седьмой ступеней нагружения натурального образца.

Эллипсы рассеяния для третьей- (эллипс 1), шестой- (эллипс 2) и седьмой - (эллипс 3) ступеней нагружения натурального образца приведены на рис.1. На рис.1. изображены также дискриминантные функции $U_{1,3}$ и $U_{2,3}$, разделяющие области пересечения эллипсов 1 и 3, эллипсов 2 и 3 соответственно.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Для источника АЭ - пластической деформации скольжением в модельном техническом материале-кремнистом железе установлена линейная регрессионная связь между: спектральными характеристиками суммарного акустического поля, продольных и сдвиговых волн; механической энергией деформирования и акустической энергией суммарного поля, продольных и сдвиговых волн на всех стадиях деформирования образца. Для всех полученных зависимостей наблюдались коэффициенты корреляции, близкие к единице.

Установлена идентичность пространственных распределений акустической энергии суммарного поля, продольной и сдвиговой волны вокруг вершины стабильной трещины. При этом максимальные значения энергии регистрировались в направлении продолжения оси трещины,

минимальные - на ее свободной поверхности.

2. Для образцов из стали 09Г2С, ее сварных соединений, качественных и с дефектами, установлены линейные регрессионные зависимости между: механической энергией деформирования и акустической энергией суммарного поля для каждой стадии деформирования образца; акустической энергией суммарного поля и энергией продольных волн. Для всех полученных зависимостей коэффициенты корреляционной связи близки к единице.

При квазистатическом нагружении образцов из стали 09Г2С и ее сварных соединений установлено, что ограниченный во времени (10-15) с первый пик мощности и резкое возрастание значений энергии на начальном этапе нагружения характерны для образцов, содержащих трещиноподобный дефект или концентратор, тогда как при деформации бездефектных образцов и образцов, не содержащих острых концентраторов, наблюдается первый пик мощности длительностью (40-60) с и плавное возрастание значений энергии.

Выявлено возрастание в несколько раз значений спектров АЗ сигналов, изменения в пределах (0.01-0.05) МГц доминантных и медианных частот спектров, наблюдаемые при переходе от упругой к пластической стадии деформирования.

3. На сварных образцах из сталей 09Г2С, 17Г1С изучено ослабление сварным соединением амплитуд акустических сигналов A и числа импульсов N , регистрируемых преобразователями суммарного поля и продольных волн. Установлено, что при использовании ПАЭ продольных волн для контроля сварных соединений, воспроизводимость результатов АЗ измерений в зонах, равноудаленных от источника АЗ, выше на (42-48)%, чем в случае использования ПАЭ суммарного поля.

4. Для образцов из стали 09Г2С, ее сварных соединений, качественных и с дефектами, для упругой, пластической стадий деформирования и стадии развития трещины были рассчитаны функции плотности распределения вероятности $\Phi(r, E)$, эллипсы рассеяния и их параметры, а также дискриминантные функции $U_{ij}(r, E)$.

Показана возможность идентификации стадий деформирования на основе параметров спектров АЗ сигналов медианной частоты и средней энергии, зарегистрированных при помощи преобразователей как суммарного поля, так и продольных волн.

Установлено, что при переходе от упругой к пластической

стадии деформирования для всех рассмотренных типов образцов наблюдалось увеличение значений параметров эллипсов рассеяния: математического ожидания M_E и среднеквадратичного отклонения σ_E средних энергий, а также значений коэффициента корреляционной связи $\rho_{f,E}$ между медианными частотами и средними энергиями спектров. При этом значения математического ожидания медианных частот M_f изменялись незначительно в пределах $(0.002+0.006)$ МГц для эллипсов рассеяния, соответствующих упругой и пластической стадиям деформирования образцов типов 2, 3, 6, 7.

5 Показано, что с использованием эллипсов рассеяния стадия развития трещины уверенно идентифицируется на фоне упругой и пластической стадий деформирования всех испытанных типов образцов. При этом для эллипса рассеяния, соответствующего упругой стадии деформирования образца с трещиной, наблюдались значения параметров, близкие или превышающие значения, характерные для эллипсов рассеяния на пластической стадии деформирования для всех рассмотренных типов образцов. Для эллипса рассеяния, соответствующего стадии развития трещины, наблюдались значения параметров M_E , σ_E , $\rho_{f,E}$, в несколько раз превышающие соответствующие значения на упругой и пластической стадиях деформирования для всех рассмотренных типов образцов. Значение M_f при этом смещалось в область более низких частот по сравнению со значениями на упругой и пластической стадиях деформирования для всех рассмотренных типов образцов.

6. Для натурального трубного образца и лабораторных образцов, изготовленных из различных марок стали феррито-перлитного класса, выявлены аналогичные изменения значений энергии, доминантных и медианных частот спектров при увеличении напряжений в образцах в пределах стадии предразрушения.

Для натурального образца и лабораторных образцов показаны аналогичные качественные изменения параметров эллипсов рассеяния: математического ожидания энергий M_E и среднеквадратичного отклонения энергий σ_E при увеличении уровня напряжений в пределах стадии предразрушения.

Установлены близкие диапазоны изменения значений математического ожидания медианных частот M_f и значений медианных частот f , ограниченных эллипсами рассеяния для стадии предразрушения натурального образца и пластической стадии

деформирования лабораторных образцов из стали 09Г2С.

Отмечено, что максимальные значения всех параметров наблюдались для злията рассеяния 3 (рис.1.), соответствующего состоянию общей текучести натурального образца.

7. На основе проведенных исследований разработаны и внедрены: методические рекомендации по идентификации источников АЗ при акустико-эмиссионном контроле сварных трубопроводов; методические рекомендации по акустико-эмиссионному контролю вертикальных цилиндрических резервуаров.

Осуществлен акустико-эмиссионный контроль сварных соединений трубопроводов и резервуаров. Получен экономический эффект, превышающий 90 тыс. руб. в ценах 1990+1991 года.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Шип В.В., Самойлова И.С., Муравин Г.Б. Спектральный анализ волновых компонент акустической эмиссии, вызванной пластической деформацией // Вопросы повышения качества сварных конструкций: Межвуз. сб. науч. тр. - М., 1990. -С. 10-15.

2. Акустико-эмиссионный контроль развития трещин в сварных соединениях с использованием волн различного типа /В.В.Шип, Г.Б.Муравин, И.С.Самойлова, А.М.Сельдин // Неразрушающие физические методы контроля: Тез. докл. XII Всес. науч.-техн. конф. - Свердловск., 1990.- Т2. -С. 171-172.

3. Шип В.В., Муравин Г.Б., Самойлова И.С. Анализ параметров акустической эмиссии при испытаниях сварных образцов с дефектами // Прочность и диагностика сварных конструкций: Тез. докл. Всес. науч.-техн. конф.- Тверь., 1991. -С. III.

4. Анализ акустических и механических параметров развития трещин нормального разрыва и поперечного сдвига в конструкционном материале/В.В.Шип, Г.Б.Муравин, Л.М.Лезвинская, И.С.Самойлова // Дефектоскопия. -1992.- № II. -С. 13-24.

5. Шип В.В., Самойлова И.С., Муравин Г.Б. Анализ энергии волновых компонент поля акустической эмиссии, вызванной развитием трещин в сварных образцах. // Стабильность и качество сварных соединений и конструкций: Межвуз. сб. науч. тр. - М., 1992. -С. 109-112.

6. Пошивалов В.П., Бигус Г.А., Самойлова И.С. Выбор частотных диапазонов для АЗ контроля магистральных трубопроводов с учетом собственных частот нормальных волн // Акустическая

Эмиссия. Теория и практика: Тез. докл. III-Всес. науч.- техн. конф.- Обнинск., 1992. - Ч I. - С. 108-113.

7. Шип В.В., Самойлова И.С., Бигус Г.А. Анализ акустических механических параметров развития трещин в сварных соединениях стали 09Г2С // Производство и надежность сварных конструкций: Тез. докл. науч.-техн. конф. стран СНГ.- Калининград (Моск. обл.), 1993.- С. 122.

8. Исследование изменения параметров акустического поля при его прохождении через сварные соединения конструкционных сталей /В.В.Шип, И.С.Самойлова, А.Н.Дементьев, С.А.Гришин // Производство и надежность сварных конструкций: Тез. докл. науч.- техн. конф. стран СНГ.- Калининград (Моск. обл.), 1993.- С. 123.

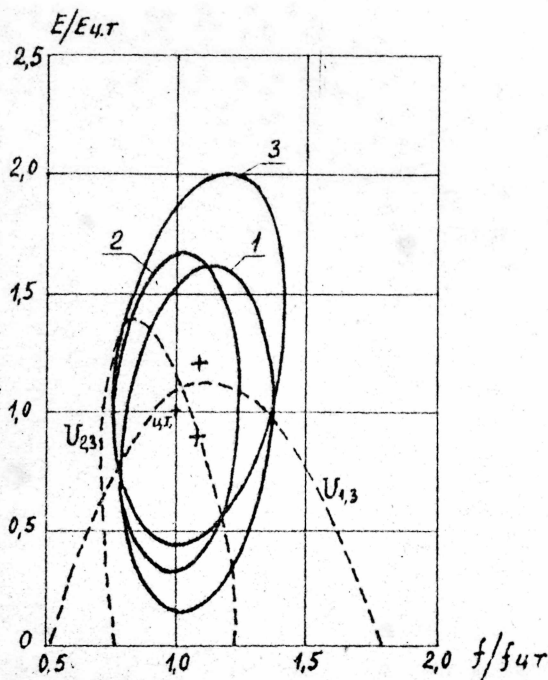


Рис.1 Эллипсы рассеяния для натурального трубного образца