

Ш 86 Р 12

Министерство науки, высшей школы и технической политики
Российской Федерации
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ВОЛКОВ Сергей Иванович

УДК 620.179.16

РАЗРАБОТКА АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО МЕТОДА
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ
ТЕРМИЧЕСКИМ И КОРРОЗИОННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ.

Специальность 05.02.11 - Методы контроля
и диагностика в машиностроении.

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Волков

М О С К В А 1992

Работа выполнена в Научно-исследовательском
институте государственной патентной экспертизы Роспатента

Научный руководитель -
Официальные оппоненты -

д. т. н. профессор Муравин Г. Б.
доктор технических наук
профессор Барзов А. А.
кандидат физико-математических
наук Рязвкин В. Р.
НИИ железобетона

Ведущее предприятие -

Защита диссертации состоится "30" сентября 1992г. на за-
седании специализированного совета К 053.15.01 в Московском Госу-
дарственном техническом университете имени Н. Э. Баумана по адресу:
107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваш отзыв, заверенный печатью, просим выслать по указанному
адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ.

Телефон для справок 203-65-14

Автореферат

УЧЕ
СПЕЦИАЛИ
К.

Подписан
Зачая 19

Ш 86712

Актуальность темы. Из года в год количество аварий строительных сооружений от случайных взрывов, пожаров, воздействия агрессивной среды и механических нагрузок, превышающих проектную величину, увеличивается пропорционально росту средств, затраченных на капитальное строительство. В развитых капиталистических странах ежегодные убытки от пожаров составляют примерно 2% от их национального дохода.

Серьезный ущерб наносит воздействие агрессивных сред на железобетонные сооружения. Прямые потери от экстремального воздействия коррозии в развитых странах достигают 4,2% от стоимости валового общественного продукта.

Расходы на проведение работ по восстановлению сооружений и конструкций, подвергшихся экстремальному воздействию, возрастают из года в год. К 1985 году в СССР ежегодные расходы на усиление и восстановление сооружений оценивались более чем в 300 млн. руб. В связи с этим, особое значение приобретают вопросы, связанные с оценкой состояния железобетонных конструкций, восстановленных после повреждающего термического и коррозионного воздействия.

Существующие методы контроля ж.б. конструкций не позволяют точно оценивать напряженно-деформированное состояние конструкций после экстремального воздействия и прогнозировать их несущую способность конструкций. Между тем значительные успехи, достигнутые в использовании явления АЭ для определения состояния материалов, вызывают большой интерес исследователей к возможности применения метода АЭ для контроля сооружений, подвергшихся в процессе эксплуатации повреждающим воздействиям. Однако к моменту начала работ над диссертацией отсутствовали необходимые и достаточные критерии, позволяющие достоверно и точно оценивать состояние конструкций, не была решена проблема выбора оптимальных параметров сигналов АЭ, значительные трудности вызвала правильная интерпретация информативных характеристик сигналов АЭ, получаемых при обследовании состояния реальных конструкций. Такое положение потребовало решения проблемы "Разработка акустико-эмиссионного метода определения состояния ж.б. конструкций, подвергшихся экстремальным термическим и коррозионным воздействиям".

Цель работы и основные задачи исследования. Повышение достоверности оценки несущей способности и надежности контроля железобетонных конструкций на основе создания и использования нового акус-



тико-эмиссионного метода определения состояния ж.б. конструкций, подвергшихся экстремальным термическим и коррозионным воздействиям.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Обосновать необходимые и достаточные акустико-эмиссионные критерии для определения пригодности к дальнейшей эксплуатации железобетонных конструкций, подвергшихся термическому воздействию.
2. Исследовать изменение уровня напряжения и вязкости разрушения бетона в конструкциях, подвергшихся экстремальному воздействию, с помощью АЭ, возникающей при динамическом нагружении. Разработать акустико-эмиссионные способы оценки уровня напряжений и вязкости разрушения в конструкциях, основанные на тарированном динамическом нагружении.
3. Изучить АЭ и ее спектральный состав при различных видах коррозии, получить акустико-эмиссионные критерии идентификации видов коррозионных повреждений в железобетонных конструкциях, разработать метод определения накопления коррозионных повреждений, вызванных электрохимической коррозией, а также метод определения наличия субкритических трещин, вызванных коррозией под напряжением.
4. Исследовать процессы твердения бетона в реконструируемых конструкциях на основе параметров АЭ, установить связь между качеством сцепления "молодого" и "старого" бетонов восстановленной конструкции и параметрами АЭ, изучить напряженно-деформированное состояние реконструированной конструкции, разработать акустико-эмиссионный метод оценки состояния реконструированных ж.б. конструкций.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- установлено, что необходимыми и достаточными критериями для определения пригодности к дальнейшей эксплуатации ж.б. конструкций, подвергшихся экстремальному термическому воздействию, являются реперные моменты трещинообразования бетона, скорость восстановления структурной целостности бетона, вязкости разрушения и уровень напряжения в бетоне конструкции. Показана возможность оценки состояния конструкции на основании измерений разности величин нагрузок, соответствующих началам стадий образования магистральных трещин и нелинейной ползаучести в образце, скорости восстановления структурной целостности, вязкости разрушения и уровня напряжений образца бетона

конструкции по параметрам АЗ;

- установлена взаимосвязь уровня напряжения в бетоне с дисперсией величин средних энергий и медианных частот АЗ, мат. ожидания и коэффициента корреляции между величинами средних энергий и медианных частот сигналов АЗ, возникающих при локальном динамическом тарированном нагружении. Доказана возможность определения вязкости разрушения бетона при тарированном динамическом нагружении по установленной зависимости "механическая энергия, затраченная на разрушение образца - энергия АЗ при локальном динамическом воздействии на образец";

- выявлены отличительные признаки сигналов АЗ, отвечающие процессам водородного или сероводородного микроагрессивирования, позволяющие идентифицировать соответственно коррозионные повреждения на фоне пластического деформирования. Показана возможность идентификации микротрещинообразования в бетоне, вызванного коррозией арматуры на основе анализа зависимости средней энергии сигналов АЗ, соответствующих накоплению и разрушению продуктов коррозии. Установлена связь между величиной коэффициента корреляции средних энергий и медианных частот сигналов АЗ, вызванных коррозией под напряжением и наличием субкритических трещин;

- обоснована возможность определения качества сцепления "старого" и "молодого" слоев бетона восстановленной конструкции по соотношению энергий продольной и поперечной составляющих АЗ, выявлены закономерности твердения бетона на основе параметров АЗ.

Практическая ценность. Разработана методика оценки состояния конструкции после повреждающего воздействия на основе комплексного измерения по параметрам АЗ соотношения величин нагрузок, соответствующих началам стадий разрушения образца, величины вязкости разрушения, уровня напряжений и величины скорости восстановления структурной целостности бетона конструкции. Разработаны методики, позволяющие на основе метода АЗ определять уровни напряжения и вязкости разрушения в железобетонных конструкциях по параметрам АЗ. Созданы способы акустико-эмиссионного контроля процессов электрохимической коррозии, коррозии под напряжением и микротрещинообразования в бетоне, вызванного коррозией арматуры в ж.б. конструкциях. Установлена возможность определения времени схватывания бетона и качества сцепления старого и нового слоев бетона конструкции восстановленной после повреждающего воздействия на основе соотношения со-

отношения энергий продольной и поперечной составляющих волн АЗ.

Созданные методы оценки состояния материала конструкции внедрены при контроле ряда объектов: мостов, гражданских сооружений. Получен экономический эффект, превышающий 200 тыс. руб.

Апробация. Основные результаты работы доложены на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МТУ им. Н. Э. Баумана.

Публикации. Основные результаты работы защищены 5 авторскими свидетельствами, по материалам работы опубликована 1 статья, получено 5 положительных решений по заявкам на изобретения.

Методы исследования. Решение поставленных в диссертации задач осуществлялось путем параллельного использования акустико-эмиссионных измерений, методов оптической металлографии, рентгеновского анализа. Применялись численные методы обработки информации и расчеты на ЭВМ. Исследования проводились на серийно выпускаемой аппаратуре с использованием лабораторных приспособлений.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 128 страницах машинописного текста, иллюстрируется 30 рисунками, состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 65 наименований.

Основное содержание работы.

В первой главе дан обзор литературы и приведен краткий анализ существующих методов контроля и диагностики состояния конструкций и сооружений, подвергшихся экстремальным воздействиям. К экстремальным воздействиям можно отнести повреждения конструкций от пожаров, воздействия агрессивных сред, механических нагрузок, превышающих проектную величину, оползней и подвижки грунтов, взрывов и землетрясений. В зависимости от вида повреждающего воздействия применяются различные неразрушающие методы оценки состояния конструкций и сооружений. Для железобетонных конструкций, поврежденных огнем воздействием при определении их состояния обычно применяются комплексные методы исследований, включающие измерение прочности, оценку конструкции по деформациям и жесткости, а также оценку по трещиностойкости и местным повреждениям. Для диагностики конструкций, подверженных коррозионным повреждениям, традиционно используются методы измерений потенциала, импульсной ультразвуковой и рентгеновской дефектоскопии, термографии. При проведении оценки состояния железобетонных конструкций, восстановленных после повреждения, могут применяться механические способы определения прочности

с помощью склерометров, ультразвуковой импульсный метод дефектоскопии, радиационные методы контроля. Особое место в ряду неразрушающих методов диагностики состояния конструкций и сооружений занимает метод акустической эмиссии. Анализ литературных данных показал, что уникальная способность контролировать развивающиеся дефекты, наличие непосредственной связи между параметрами разрушения и излучения, высокая чувствительность, простота конструкции датчиков и способов их установки делает метод АЭ весьма перспективным для оценки состояния сложных инженерных сооружений, подвергшихся экстремальным воздействиям.

Однако в настоящее время не установлены необходимые и достаточные АЭ-критерии, позволяющие достоверно оценивать состояние поврежденных конструкций. Не решены проблемы выбора оптимальных параметров сигналов АЭ. Значительные трудности вызывает правильная интерпретация информационных характеристик сигналов АЭ, получаемых при обследовании состояния реальных конструкций и сооружений.

Во второй главе описываются результаты исследований и новая методика акустико-эмиссионной диагностики конструкций, подвергшихся термическому воздействию.

В процессе разработки нового метода диагностики проведены комплексные исследования конструкций и материала, взятого из определенных точек сооружения, измерения методом акустической эмиссии (АЭ), а также ультразвуковые, рентгенографические и электронно-микроскопические измерения.

Металлографические наблюдения, выполненные на образцах из металла конструкции, находящейся в эпицентре пожара, выявили разную структуру вблизи поверхности и центральной части зерна. В первом случае на глубине до 5 мм была обнаружена неслоистая феррито-перлитная структура, во втором - текстурованная. Микротвердость в центральной части образца была на 20-25% больше, чем у его края. Сделан вывод, что наблюдаемое изменение структуры и микротвердости зерен обусловлено нагревом поверхности металла во время пожара до температуры аустенитного состояния ($T > 730^\circ\text{C}$), а изменение текстурованности - растворением углерода в аустените с последующим равномерным выделением его в феррите при медленном охлаждении.

Акустико-эмиссионные обследования конструкции зафиксировали, что в большинстве из них скорость счета АЭ не превышает фоновой.

связанной с нормальными конверсивными превращениями в бетоне. В конструкциях с аномальным уровнем напряжений, неоднородными прочностными характеристиками и дефектами, как правило, акустико-эмиссионными измерениями выявлялись накопления повреждений.

Исследования состояния материала в конструкциях по данным испытаний кернов установили, что при увеличении нагрузки в пределах $0,1 - 0,55 R$ для образца-свилетеля из целой конструкции (I) и $0,1 - 0,25 R$ для плиты, подверженной термическому воздействию (II), наблюдается рост скорости у.з. и увеличение энергии АЭ. Первое явление связано с уплотнением цементного камня, схлопыванием исходных трещин и пор, накоплением локальных пластических деформаций. Второе - обусловлено изломом отдельных сростков кристаллитов при скольжении и разрушении микроячеек. Реперный момент страгивания микротрещин и связанное с этим разуплотнение материала у.з. и АЭ измерения обнаружили у образца типа I при нагрузке $0,55 R$, а у II типа - $0,25 R$. Нелинейная ползучесть в испытаниях бетона типа I - $0,6 R$, типа II - $0,65 R$. Повышение нагрузки свыше $0,88 R$ для бетона из неповрежденных конструкций и $0,75 R$, подверженных воздействию пожара, привело к значительному (до 2-х кратного) увеличению активности АЭ, свойственному развитию нестабильных трещин.

Установлено, что наиболее оптимальной характеристикой для определения непригодности конструкций к дальнейшей эксплуатации по реперным момента трещинообразования является уменьшение ρ зности ($R_y^y - R_y^p$) величин нагрузок, соответствующих образованию магистральных трещин и нелинейной ползучести более чем на 50% по сравнению с аналогичной величиной, полученной на поврежденном образце.

Исследования вязкости материала в конструкциях были проведены путем их нагружения тарированным ударом с помощью монтажного пистолета по методике, защищенной А. С. N. 1716894. Данные измерений сопоставлялись с тарировочной зависимостью.

Испытаниями установлено, что вязкость разрушения бетона из неповрежденной зоны соответствует по характеристике композиту в нормальном состоянии. У образцов из конструкций, поврежденных пожаром, существенно (от 40 до 50%) снизилась вязкость разрушения. В этой связи указанные конструкции были признаны негодными для дальнейшей эксплуатации.

Для оценки скорости заживления трещин в бетоне после термического воздействия, позволяющей судить о восстановлении структур-

ной целостности композитного материала, изучена воспроизводимость сигналов АЭ после повторного нагружения. Принято во внимание, что при нагрузках, меньших предела трещинообразования, в бетоне наблюдается эффект Кайзера (невоспроизводимость АЭ при повторном нагружении), который носит временный характер из-за восстановления структурной целостности ячеек вследствие заживления микротрещин. Время полного восстановления активности АЭ после нагрузки для обычного композита - 56 дней. В связи с отмеченным, образцы из конструкций, не поврежденных пожаром, и подверженных термическому воздействию, были нагружены усилием $0,3R$ повторно с интервалом в 10 минут и 56 дней. Установлено, что бетон в нормальном состоянии при повторной нагрузке спустя 10 минут сигналов АЭ не излучает вследствие существования памяти предыстории. 56-дневный отдых полностью восстанавливает активность излучения. Композит, подвергшийся воздействию пожара, излучал сигналы АЭ сразу после второго нагружения, энергия которых составляла приблизительно 30% от зарегистрированной при первом нагружении. Нарушение эффекта Кайзера при деформировании образцов бетона из зоны пожара свидетельствует о том, что структурная целостность материала нарушена.

На основании исследований структурно-механических характеристик бетона, его вязкости разрушения, восстановления структурной целостности, измерений уровня напряжения, оценки неоднородности прочностных свойств и измерений АЭ был разработан способ экспресс-оценки степени повреждения конструкций, защищенный А.С. N 1649923.

С помощью разработанного метода проведена диагностика ж.б. конструкций ряда ответственных зданий и сооружений. Дано заключение об их состоянии.

В третьей главе рассмотрены результаты акустико-эмиссионных исследований конструкций с коррозионными повреждениями, целью которых была идентификация процессов пластического деформирования и микрорастрескивания при водородном или сероводородном охрупчивании. Одновременно рассматривалась возможность выявления электрохимической коррозии арматуры в бетоне, и определения степени опасности коррозионных повреждений. Исследования выполнены на обычных и наводороженных образцах из поликристаллического кремнистого железа, которые подвергали деформированию с помощью устройства для бесшумного термонагружения. Сигналы АЭ, возникающие при нагружении регистриро-

вали с помощью прибора АЭН - 3.

Были измерены энергия и медианные частоты сигналов АЭ, рассчитаны плотности распределения центрелей АЭ и построены их эллипсы рассеяния.

Установлено, что на стадии образования и развития полос скольжения средняя энергия сигналов АЭ составляет 0,74 - 1,2 усл. ед., а диапазон разброса медианных частот - 0,985 - 1,115 усл. ед.

При наводороживании и повторном нагружении образцов средняя энергия сигналов АЭ составила 0,65 - 1,48 усл. ед., а диапазон медианных частот - 0,985 - 1,055 усл. ед.

При разделении параметров АЭ, вызванной процессами пластической деформации и водородного микрорастрескивания, была построена дискриминантная функция R_{ij} . С ее помощью с достоверительной вероятностью равной 97% было установлено, что в кремнистом железе, подвергнутом водородному охрупчиванию, процессу микротрещинообразования отвечает эллипс рассеяния средних энергий и медианных частот с координатами центров $E = 1,065$ усл. ед. и $f = 1,020$ усл. ед. Это позволило предложить акустико-эмиссионный способ идентификации коррозионных повреждений, вызванных водородным или сероводородным микропластическим, защищенный А.С. N 1716430.

При исследовании коррозионного разрушения ж.б. конструкций, ставилась цель определить необходимые и достаточные критерии для распознавания трещин, обусловленных коррозией арматуры.

Исследования проводились на образцах и ж.б. конструкциях, подвергнутых действию коррозии.

Установлено, что в процессе микрорастрескивания бетона, вызванного электрохимической коррозией арматуры, имеет место чередование фаз накопления и разрушения продуктов коррозии, образования и развития трещин. Выяснено, что сигналы АЭ, соответствующие одному раствору превышают уровень энергии "белого шума" на 30% и имеют спектр частот от 60 до 400 кгц. Сигналы от разрушения оксидных пленок имеют доминантные частоты близкие к 275 кгц. При возникновении пластической деформации в вершине трещины доминантные частоты достигают 300 кгц, а уровень энергии увеличивается в среднем в 1,35 раза. Сигналы АЭ, соответствующие разрушению и накоплению продуктов коррозии, имеют доминантные частоты в пределах от 225 до 250 кгц и амплитуду на 15-20% меньше, чем сигналы от разрушения оксидных пленок. При разрушении бетона возникают сигналы АЭ, имеющие доминант-

ные частоты в пределах от 60 до 100 кгц, и уровень энергии в 1,4-1,5 раза, превышающий энергию АЗ при отслаивании оксидных пленок. В указанном диапазоне частот проводились измерения средних энергий в течение 30 дней. Обнаружено, что характер изменения уровня энергии носит периодический характер. Первый максимум $\bar{E}$ появляется на 2-4 сутки после начала измерений, второй - через 4-5 суток. Трещина в бетоне, возникшая вследствие коррозии арматуры, вышла на поверхность на 5-7 сутки и в дальнейшем располагалась параллельно арматуре конструкции.

Выявленные закономерности изменения $\bar{E} \sim f(t)$ позволили предложить способ определения микротрещинообразования в железобетоне, вызванного электрохимической коррозией арматуры, защищенной А.С. Н. 714496.

В рамках проблемы диагностики процессов коррозионного повреждения был решен вопрос выявления и оценки степени опасности развития субкритических трещин в тросе под напряжением.

Исследования проводились на элементах ж.б. конструкций, используемых в дорогах железобетонных мостов коробчатого сечения, в арматуре которых были заложены исходные микро- и макротрещины, а также на образцах из соответствующего металла. Путем измерений параметров АЗ были определены эллипсы рассеяния средних энергий и медианных частот. Установлено, что разброс величин средних энергий составляет 0,80-1,20 усл.ед., а медианных частот - 0,7 - 1 МГц. Обнаружено также, что при появлении опасных субкритических трещин возникает корреляция между приращением скорости ΔV скачков микротрещин и приращением длины ΔL скачка микротрещины. Отмечено, что по мере роста микротрещин увеличивается коэффициент корреляции $r_{\Delta V, \Delta L}$. При этом большая и малая оси эллипса рассеяния, отвечающего процессу коррозии под напряжением, разворачиваются относительно осей $\bar{E}$, $\bar{f}$, достигая в пределах 45° , что соответствует появлению опасных субкритических трещин. Промежуток времени между началом эксперимента и образованием субкритических трещин в случае коррозии под напряжением на 1-2 суток меньше, чем при электрохимической коррозии, а периодичность появления максимумов на кривой изменения энергии АЗ составляет 2-5 дней. Показано, что на основе отмеченных признаков, возможно идентифицировать появление опасных субкритических трещин в арматуре ж.б. конструкций, вызванных коррозией под напряжением. Выявлено, что достоверность идентификации названного процесса в

пространстве признаков "медианная частота - средняя энергия АЭ" с учетом величины коэффициента корреляции между $\bar{E}$ и $\bar{f}$ составляет 91%. В результате проведенных исследований был разработан и реализован метод определения субкритических трещин в материале, вызванных коррозией под напряжением, защищенный А.С. N.1744640.

В четвертой главе рассмотрен разработанный АЭ метод оценки состояния реконструированных ж.б. конструкций. При оценке состояния ж.б. элементов моста проверке были подвергнуты образцы из материала реконструированной конструкции, исследовано качество сцепления "молодого" и "старого" бетона, определено напряженно-деформированное состояние восстановленных элементов.

Первоначально путем измерения призмной прочности и энергии АЭ продольных волн $E_{пр}$ и "полного" поля $E_{полн.}$ при твердении "молодого" бетона установлено, что образование тиксотропной структуры вновь уложенного бетона сопровождается появлением пика на кривой $E_{полн.}/E_{пр} \sim f(t)$, где t - время твердения. Отношение $E_{полн.}/E_{пр}$ в момент появления пика превышает приблизительно в 6 раз аналогичное отношение на стадии существования отдельных центров кристаллизации.

В мере формирования и упрочнения кристаллического сростка на кривых $E_{полн.} \sim f(t)$ и $E_{пр} \sim f(t)$ отмечается незначительный рост энергии АЭ как полной волны, так и ее продольной составляющей. Завершение данной стадии характеризуется возникновением локальных перенапряжений и образованием микротрещин. Этому соответствует скачок энергии как полной, так и продольной волны (с некоторым запаздыванием) на кривых $E_{полн.} \sim f(t)$ и $E_{пр} \sim f(t)$. Величина этого скачка (в относительных единицах) в 2,5 раза больше скачка энергии на зависимости $E_{полн.} \sim f(t)$ соответствующего моменту схватывания, что можно объяснить, как большим числом источников АЭ, так и тем, что волны напряжений распространяются уже по твердой структуре, обладающей меньшим коэффициентом затухания. Отмечено, что в дальнейшем рост энергии обеих волн $E_{полн.}$ и $E_{пр}$ незначителен по величине, а к 28-дневному сроку твердения в нормальных условиях соотношение между энергией полной волны $E_{полн.}$ и энергией продольной волны $E_{пр}$ составляет в среднем величину 2,0.

Данные зафиксированные в эксперименте, в дальнейшем были использованы для оценки состояния бетона, уложенного в реконструированную часть конструкции. С их помощью и на основе разработанного способа определения времени схватывания вяжущих материалов, защи-

щенного А. С. Н. (положительное решение по заявке N 4939491/28), определялась активность схватывания "молодого" бетона, интенсивность набора прочности и время достижения проектного значения прочности в конструкциях реконструированной части моста.

После оценки состояния бетона в конструкции определялось качество сцепления "молодого" и "старого" бетона. В этой связи были выполнены исследования зависимости прохождения сигналов АЭ полной волны и ее продольной составляющей от состояния границы раздела "молодого" и "старого" бетона. Измерения сигналов АЭ проводились с помощью приборов АВН-1 с приемным преобразователем "полной" волны. Для получения сигналов АЭ использовался снаряд-дюбель, заглубляемый в поверхность бетона с противоположной поверхности, на которой устанавливались датчики АЭ. С целью искусственного демпфирования поперечных волн зона сопряжения пропитывалась жидкостью.

Выявлено, что при качественном сцеплении старого и нового слоев бетона продольная и поперечная составляющие энергии сигналов АЭ приблизительно равны по величине. Качество сцепления неудовлетворительно, если при искусственном демпфировании поперечной составляющей энергии АЭ отношение поперечной к продольной составляющей становится меньшим или равным 0,8-0,85.

На основе полученных результатов разработан способ определения пригодности к эксплуатации поврежденной ж.б. конструкции, усиленной слоем нового бетона, защищенный А. С. Н. (положительное решение по заявке N 4910225/28). В дальнейшем после оценки качества "молодого" бетона в конструкции и его сцепления со "старым" бетоном, конструкция была нагружена проектной нагрузкой и проведены испытания по определению уровня напряжений на основе анализа сигналов АЭ.

Предварительные исследования уровней напряжений были проведены на образцах бетона, подвергаемых статическому нагружению и нагружению тарированным ударом с помощью снаряда-дюбеля. По результатам исследования были построены эллипсы рассеяния средних энергий и медианных частот сигналов АЭ, вызванных локальным тарированным нагружением при различных величинах статической нагрузки. Установлена связь величины уровня напряжений в бетоне и параметров эллипса рассеяния. Обнаружено, что с увеличением уровня напряжений в бетоне от 0 до предела прочности величина математического ожидания средних энергий и медианных частот увеличивается от 1,0 до 1,8 усл. ед. энергии и от 1,0

до 2,5 усл.ед. по частоте. Коэффициент корреляции изменяется в пределах от 0,1 до 1, а величина дисперсии увеличивается в среднем в 15 раз. На основе проведенных исследований был разработан защищенный А.С.М.

(положительное решение по заявке N4921672/28) способ определения уровня напряжений в конструкции, примененный при оценке состояния Молитовского моста в г. Нижний Новгород.

По результатам сопоставления данных измерений времени достижения проектного значения прочности, качества сцепления "молодого" и "старого" бетона и напряженного состояния в установленной конструкции отмечено, что ее состояние отвечает требованиям проекта она пригодна к дальнейшей эксплуатации.

Основные выводы и результаты

1. Анализом установлено, что для различных видов и условий экстремальных термических воздействий на бетон существуют функциональные зависимости между параметрами акустической эмиссии и критериями повреждения бетона. Выявлено, что в качестве необходимых и достаточных критериев оценки повреждающего воздействия можно использовать величины уровня напряжений, вязкости разрушения, реперных моментов трещинообразования и скорости восстановления структурной целостности бетона.

2. В результате экспериментальных исследований выявлена функциональная связь между уровнем напряжений в бетоне и параметрами эллипса рассеяния средних энергий и медианных частот сигналов АЭ, вызванных локальными воздействиями. Доказана возможность определения уровня напряжений в конструкции по таргетной зависимости изменения характеристик эллипса рассеяния и его положения относительно координат средних энергий и медианных частот.

3. Разработана методика определения вязкости разрушения бетона конструкции, основанная на установленной экспериментально линейной зависимости между механической энергией, затраченной на разрушение образца при его статическом нагружении, и энергией акустической эмиссии при локальном динамическом воздействии.

4. На основе теоретических и экспериментальных исследований выявлены закономерности изменения параметров АЭ при коррозионном повреждении в металлических и железобетонных конструкциях.

4.1. Доказана возможность идентификации стадии накопления

повреждений в материале конструкции, вызванных водородным или сероводородным микроагрессивированием за счет анализа эллипсов рассеяния средних энергий и медианных частот сигналов АЭ и с помощью дискриминантной функции, построенной на основе полученных значений средних энергий и медианных частот.

4.2. Определены критерии идентификации микротрещинообразования в железобетоне, вызванного коррозией арматуры, на основе анализа средней энергии АЭ. Установлен периодический характер (период равен 2-5 суткам) изменения средней энергии сигналов АЭ, соответствующих процессам накопления и разрушения продуктов коррозии.

4.3. Установлена функциональная связь между появлением трещин в материале, вызванных коррозией и величиной коэффициента корреляции средних энергий и медианных частот сигналов АЭ.

5. Показано, что качество сцепления старого и нового слоев бетона становится неудовлетворительным, если при искусственном демпфировании поперечной составляющей АЭ в конструкции, усиленной слоем нового бетона, отношение поперечной к продольной составляющей акустической волны становится меньшим или равным 0,80-0,85.

6. На основе теоретических, лабораторных и промышленных исследований разработаны, внедрены и защищены авторскими свидетельствами новые методы акустико-эмиссионной диагностики состояния ж.б. конструкций, подвергшихся экстремальному термическому и коррозионному воздействию.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А. С. N 1649923 СССР, МКИ G01N29/14. Способ определения пригодности к дальнейшей эксплуатации железобетонных конструкций, подвергшихся термическому воздействию / Г.Б. Муравин, Е.Н. Чербаков, С.И. Волков и др. (СССР). - N 4780370/28. Оpubл. 16.05.91. Бюл. N 18 // Открытия. Изобретения, - 1991. - N 18. - С. 245.

2. Муравин Г.Б., Палей Ю.М., С.И. Волков и др. Диагностика состояния конструкций, подвергшихся термическому воздействию // Бюллетень строительной техники, - 1991 - N 6, - С. 19-22.

3. А. С. 1716894 СССР, МКИ G01N29/14. Акустико-эмиссионный способ определения вязкости разрушения материала железобетонных конструкций / Г.Б. Муравин, Д.М. Левинская, С.И. Волков и др. (СССР). - N 4786584/33. Оpubл. 28.02.92. Бюл. N 8 // Открытия. Изобретения. - 1992, - N 8. - С. 235.

4. А. С. 1716430 СССР, МКИ G01 N29/14. Акустико-эмиссионный способ определения накопления коррозионных повреждений в материале конструкций / Г. Б. Муравин, С. И. Волков, Н. О. Макарова и др. (СССР). - N 4806537/28. Оpubл. 28.02.92. Бюл. N8 // Открытия. Изобретения. - 1992 - N8. - С. 235.

5. А. С. 1714496 СССР, МКИ G01 N29/14. Акустико-эмиссионный способ определения накопления коррозионных повреждений в железобетонных конструкциях / Г. Б. Муравин, Н. О. Макарова, С. И. Волков и др. (СССР). - N 4832698/28. Оpubл. 23.02.92. Бюл. N7 // Открытия. Изобретения. - 1992 - N7. - С. 159.

6. А. С. 174540 СССР, МКИ G01 N29/14. Акустико-эмиссионный способ определения наличия субкритических трещин в материале, вызванных коррозией под напряжением / Г. Б. Муравин, Н. О. Макарова, С. И. Волков и др. (СССР). - N 4877352/28. Оpubл. 25.06.92. Бюл. N 24 // Открытия. Изобретения. - 1992 - N24. - С. 241.