

ОДЕССКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ЩЕТИНИН Владимир Иванович

ВУФ -

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА СПЕЦИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ
КАК СЛОЖНООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ

Специальность 05.23.05 - строительные материалы и изделия

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1992

Работа выполнена в Белгородском технологическом институте
строительных материалов

Научный руководитель - доктор физико-математических наук,
профессор
И.И.МИРСЫНИЧЕНКО

Официальные оппоненты- доктор технических наук,
профессор В.Н.ВЫРОВОЙ
- кандидат технических наук,
доцент В.И.БРАТЧУН

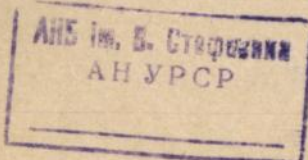
Ведущая организация - научно-исследовательская лаборато-
рия строительных материалов Пром-
строй НИИпрэкта (г. Харьков)

Защита состоится 12 января 1993 г. в 14.00 час.
на заседании специализированного совета Д 068.4Т.01
в Одесском инженерно-строительном институте по адресу:
270029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 4

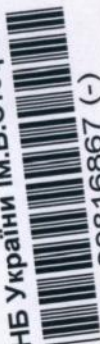
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Одесского инженерно-строительного института

Автореферат разослан 23 января 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук,
доцент
Малахова Н.А. МАЛАХОВА



ЛНБ України ім. В. Стефанюка



00816867 (-)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Интенсификация производства, с учетом достижений научно-технического прогресса, требует решения экономических и экологических проблем. В частности, применение в строительной индустрии заполнителей из попутнодобываемых пород и отходов обогащения горно-рудных предприятий, а также создание новых способов оценки специальных свойств бетонных и железобетонных конструкций будут способствовать рациональному использованию сырьевых, топливно-энергетических и трудовых ресурсов, а также повышению качества продукции.

В существующих методах определения свойств специальных бетонных и железобетонных конструкций используются особые вибростенды и временные нагружающие устройства, что обусловило сложность и длительность методик определения этих свойств. В связи с этим, актуальна разработка оценочного экспресс-анализа определения таких специальных свойств бетонов.

Бетон можно считать сложноорганизуемой системой, поэтому при решении научных вопросов интерпретации экспериментальных данных целесообразно руководствоваться современным нелинейными теориями физики. Одной из таких теорий является концепция порядок-беспорядок (изучение и описание коллективных явлений, наблюдающихся при фазовых превращениях), которая образует "мост" между макроскопическими и микроскопическими подходами и позволяет эффективно описывать сложные материальные системы. В рамках этой концепции особенно интенсивно развиваются два фундаментальных направления физики: физика критических явлений и физика нелинейных явлений (синергетика). Прогресс в этих дисциплинах открывает перед экспериментаторами новый физико-химический и математический подходы, своего рода методологию и технику "нелинейного мышления".

Целью исследований является разработка на основе единого описания процессов разрушения и твердения вяжущих, как сложноорганизуемых систем, экспресс-метода оценки специальных свойств бетонов, при изготовлении которых в качестве заполнителей используется нетрадиционное сырье - попутнодобываемые скальные породы железорудных месторождений.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи.

I. Проанализировать особенности формирования специальных

физик-механических свойств вяжущих систем.

2. Описать процессы разрушения и твердения бетонов, цементного камня, как сложноорганизуемых систем.

3. Интерпретировать экспериментальные результаты в рамках современных концепций. Дать модельные представления.

4. На основе комплексного анализа разработать акустико-эмиссионную экспресс-методику по определению пределов выносливости и длительной прочности вяжущих систем. Разработать рекомендации по экспресс-оценке специальных свойств бетонов.

Работа выполнялась в соответствии с "Целевой программой на 1981...1987 гг. научно-исследовательских и проектных работ по комплексному использованию пород вскрыши карьеров и отходов обогатительных фабрик бассейна КМА в народном хозяйстве, в рамках госбюджетных тем "Физические основы анализа и управления процессами структурообразования природных и синтезируемых материалов" (тема 86-Б-26, №1870001250), "Изучение процессов разрушения материалов, разработка датчиков и аппаратно-программных средств для неразрушающего контроля качества, оптимизации расходов и экономии энергоресурсов" (тема 88-Б-15, №1900013454) и хозяйственной темы "Изучение возможности использования вмещающих пород ТПК КМА с целью использования их в народном хозяйстве" (тема 6/85, №18500078523).

Научная новизна работы:

Описаны механизмы процессов разрушения и твердения вяжущих систем с позиций концепции порядок-беспорядок. Разработана и обоснована акустико-эмиссионная методика по определению пределов выносливости и длительной прочности бетона и цементного камня. Показана целесообразность использования нетрадиционного сырья в качестве заполнителей для специальных бетонных конструкций.

Сформулированная в приложении к вяжущим системам концепция порядок-беспорядок содержит следующие понятия и положения: понятия корреляционного радиуса (диссипативной структуры), критического явления, параметры порядка по плотности и по концентрации кристаллизационных связей; реперности процессов твердения и разрушения бетонов и цементного камня; перколяционной массы диссипативных структур, топологические схемы кристаллизационных структур и представления (сифурационное, перколяционное, иерархическое, конкурентное и эволюционное).

Практическое значение работы. Результаты исследования физико-механических свойств бетонов были использованы Белгородской геологоразведочной экспедицией при утверждении запасов скальных попутно добываемых и вскрытых пород КМА в Государственной комиссии по запасам при Совете Министров России.

На основе акустико-эмиссионного метода разработаны методика и рекомендации по экспресс-оценке специальных свойств бетонов, которые были использованы объединением "Белгородавтор" . Экономический эффект от внедрения методики составил 20 тыс. руб.

На защиту выносятся:

- оценка специальных физико-механических свойств бетонов, в которых в качестве заполнителей используется нетрадиционное сырье - попутнодобываемые скальные метаморфогенные породы железорудных месторождений КМА;
- акустико-эмиссионная экспресс-методика по определению пределов выносливости и длительной прочности бетонов;
- сформулированная в приложении к вяжущим системам концепция порядок-беспорядок;
- результаты экспериментальных исследований процессов разрушения и твердения вяжущих систем;
- интерпретация известных и вновь полученных экспериментальных данных в рамках концепции порядок-беспорядок.

Апробация работы. Основные положения диссертации представлены на всесоюзных и республиканских конференциях и семинарах по проблемам материаловедения и новым технологиям (Душанбе - 1986 г., Белгород - 1987, 1989 гг., Казань - 1990 г., Белгород, Одесса - 1991 г.). По результатам диссертационной работы опубликовано 10 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов (141 стр. машинописного текста), списка использованной литературы (150 наименований), содержит 2 стр. приложения, 34 рисунка и 3 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

На основе обобщения и анализа литературных данных установлено, что вопрос об оценке специальных свойств бетонных конструкций рассматривался в контексте теории и практики по-

ведения вяжущих систем под нагрузкой и в естественных условиях различными школами, в частности, в области формирования структуры и свойств композитов (П.Г.Ксмохов, В.И.Соломатов, В.Н.Выровой), структурообразования (твердения) вяжущих систем (И.Г. Гранковский, М.М.Сичез), разрушения бетона и цементного камня (О.Я.Берг, Ю.В.Зайцев, Г.Я.Почтовик, Е.М.Чернышов, А.Ф.Шуров, Г.Б.Муравин).

Более узкая проблематика оценки этих свойств с использованием экспресс-метода имеет в основе гипотезу О.Я.Берга о том, что, используя данные о верхней и нижней границах микротрещинообразования структуры при разрушении вяжущих систем, можно разработать экспресс-метод определения пределов выносливости и длительной прочности исследуемого материала (базовые оценки специальных свойств бетонов). Некоторая практическая реализация этой гипотезы осуществлялась Г.Я.Почтовиком акустическими методами; им же экспериментально показано, что для определения границ микротрещинообразования может быть использован акустико-эмиссионный (АЭ) метод (исходя из его высокой чувствительности). Но дальнейшие исследования по обоснованию АЭ метода, как метода экспресс-оценки специальных свойств бетонов не проводились. Это связано со сложностью в вопросах интерпретации экспериментальных данных, которая в свою очередь зависит от базовых (фундаментальных) представлений процессов разрушения и твердения вяжущих систем. Эти представления должны учитывать сложноорганизованную структуру вяжущих.

Для достижения цели диссертационной работы были проведены исследования методами АЭ и ситового анализа бетонов на заполнителях из отходов КМА и цементного камня. АЭ-данные обрабатывались двумя алгоритмами. Первый алгоритм обеспечивал нормировку, суммирование и нахождение средних значений. Второй алгоритм проводил аппроксимацию данных полиномами по методу наименьших квадратов.

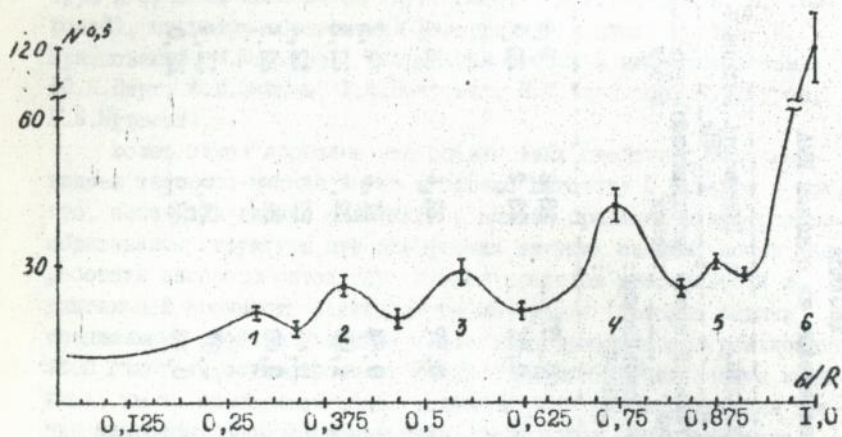
Анализ показал, что данные АЭ экспериментов (таблица, нормировка данных производилась по максимальному значению) выражают нижнюю (предел выносливости) и верхнюю (предел длительной прочности) границы микротрещинообразования при разрушении бетона. Границы находились по интегральным характеристикам АЭ-кривых, одна из которых для цементного камня представлена на рис.1.

Все представленные в диссертации АЭ кривые процесса разрушения бетонов и цементного камня на различные времена

Таблица

Физико-механические свойства бетона на заполнителях из отходов КМА

№	Щебень бетона	Марка	Акустико-эмиссионные данные, отн.един.				Прочность бетона R, МПа	
			Предел выносливости бетона	Предел длительной прочности бетона	Лебединский: Сорокинский: песок	Сорокинский: Лебединский: песок		
1. Амфиболит	100	0,19	0,06	0,62	0,37	13,8	9,8	
	200	0,27	0,49	0,78	0,51	23,2	23,4	
2. Сланец кварцитообититовый	200	0,70	0,34	0,64	0,57	22,4	26,7	
	100	0,29	0,31	0,79	0,84	11,4	8,4	
3. Кварцито-песчанки	200	1,00	0,95	0,94	1,00	22,7	23,3	
	100	0,25	0,34	1,00	0,61	12,7	12,4	
4. Гранитогнейс	200	0,94	0,13	0,11	0,60	28,2	22,5	
	100	1,00	0,24	0,90	0,87	14,0	11,4	
5. Малорудный кварцит	200	0,95	0,71	0,64	0,43	23,9	28,0	



1...6 реперные моменты

Рис. 1. Зависимость скорости счета АЭ от сжимающей нагрузки на 9-ые сутки твердения цементного камня

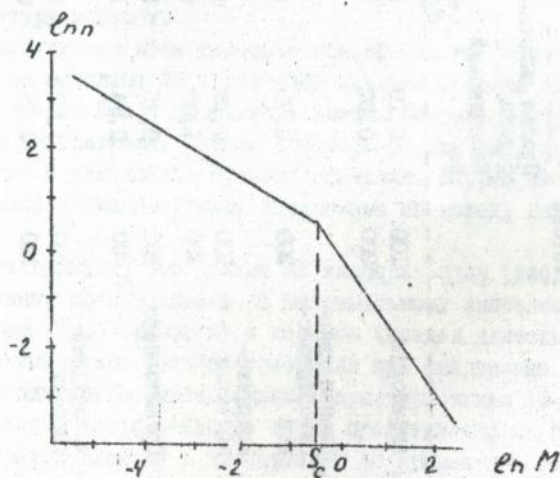


Рис. 2. Нахождение перколяционной массы

твердения (I, 3, 5, 7, 9, II сутки) имеют подобный характер и позволяют выделить несколько реперных моментов. В процессе разрушения этих вяжущих можно выделить два конкурирующих процесса: с одной стороны уплотнение, с другой стороны разуплотнение структуры разуплотняемого материала. Анализ результатов многих исследований позволили заключить, что первый реперный момент можно отнести к пластической, а второй, четвертый и шестой реперные моменты к упругой деформации. Не классифицированы третий и пятый моменты, но по представлениям школы В.А. Степанова, каждой упругой деформации предшествует пластическая, и было предложено, что эти реперные моменты, не что иное как пластические деформации. Дальнейшая интерпретация экспериментальных данных сталкивается с проблемой рассмотрения вяжущих как сложноорганизованных систем.

Представляя бетон как сложноорганизовывающуюся систему, можно выделять следующие принципиальные моменты организации: иерархическую сложность структуры; развитие системы критично, нелинейно и самоорганизованно. Исследовать бетон можно в рамках концептуального подхода современной нелинейной физики, в частности, порядок-беспорядок. В этом подходе под переходом порядка в беспорядок и обратно (например, по симметрии, по фазе и т.д.) понимается критическое явление, которое происходит нелинейно и самоорганизованно. Основными понятиями предлагаемой концепции порядок-беспорядок в приложении к вяжущим являются: критическое явление (изменение структуры в результате фазового перехода), корреляционный радиус (диссипативная структура), гипотеза универсальности и самоорганизация.

На основе экспериментальных данных и сформулированной концепции было предложено бифуркационно-иерархическое представление процесса разрушения вяжущей системы, по которому при воздействии внешнего все возрастающего силового поля происходит деформация вяжущей системы (бетона, цементного камня) в виде уплотнения одних структур и разуплотнения других, образуя соответствующие диссипативные структуры (ДС) с характерными выделенными масштабами. Эти масштабы связываются с трехмерными геометрическими блоками макроуровня, в которые вложены более мелкие блоки и т.д. по иерархии. Критическое явление предопределяет образование ДС. ДС первого уровня наиболее вероятно среднего размера ξ_1 , отвечает первой и второй реперным точкам (на зависимости АЭ от δ/R , где δ - возрастающая

сжимающая нагрузка, R — предел прочности на сжатие) и соответствуют началу разрушения, второго уровня ξ_2 — третьей и четвертой реперным точкам, соответствует трещинообразованию. ДС размера ξ_3 отвечает характерному масштабу макросетки t_e — щин, образующихся перед разрушением образца.

Образованию ξ_2 , для каждого реперного момента разрушения вяжудей системы связано с флуктуациями, которые начинаются с атомных масштабов, затем укрупняясь переходят в мезо- и макромасштабы (размеры отдельных блоков).

Используя основные положения перколяционной теории, в частности, о функции распределения кластеров по их массе, для которой находится наиболее вероятное значение — перколяционная масса (ПМ) S_c (находится на точке перегиба функции), были проведены замеры массы осколков разрушенных образцов цементного камня. На рис. 2 представлен пример методики нахождения ПМ по распределению массы осколков ξ_{PM} от их количества ξ_{nn} на II сутки твердения. С помощью данной методики были рассчитаны ДС с ξ_3 и показана непосредственная связь бифуркационного (математического) и флуктуационного (физического) представлений процесса разрушения. Предложена количественная бифуркационная модель, в которой дробление блоков (ДС), подчиняется зависимостям 2^x и 3^x .

Предложена перколяционная модель разрушения цементного камня, которая позволила описать существенные моменты разрушения. Исчерпание деформационно-упаковочных возможностей нагружаемой структуры сопоставляется с образованием бесконечного кластера по касанию сфер (ДС) определенного размера (ξ_4), который меняется в процессе деформирования образца: в сферы, образующиеся в начале процесса разрушения, вложены сферы, образующиеся при трещинообразовании, далее в которые вложены сферы, образующиеся при разрушении камня. В представлении пластической деформации соответствует протекание по касанию сфер, а упругой деформации — протекание по перекрывающимся сферам. В направлении прикладываемой возмущающей силы идет выстраивание ядерных сфер, а в поперечном сечении происходит как уплотнение (начало процесса разрушения), так и разуплотнение (трещинообразование, разрушение) по сферам.

Математическое описание процесса разрушения цементного камня дано с позиций теории перколяции и теории катастроф. В рамках этих теорий ПМ зависит степенным образом от сжима-

щей нагрузки.

На основе предложенных представлений бетон разрушается по двум блочно-иерархическим сценариям 2^е и 3^е. Если бетон разрушается по первому сценарию, то на разрушение по второму сценарию он перейдет через определенное время. Если же бетон разрушается по второму сценарию, он должен будет перейти на сценарий 4^е, если ему позволят топология заполнителей и сложноорганизующиеся процессы структуры. Т.е. здесь накладываются два фактора, которые позволяют утверждать, что чем меньше сигналов АЭ излучаются при разрушении бетона, тем лучше - долговечность и длительная прочность его выше. Но может быть такая ситуация, что два бетона имеют одну модель разрушения, но прочность у них разная, т.е. приведенное утверждение является необходимым, но недостаточным. Для доказательства достаточности были проведены исследования твердения цементного камня.

Приведены результаты экспериментальных исследований твердения цементного камня методами: определения предела прочности на сжатие, ситового анализа, АЭ, рентгенофазового анализа, РЭМ, ЯГР, ЯМР.

При рассмотрении результатов исследования исходили из того, что ввиду неравномерности твердения, обусловленного физико-химическими процессами, процессы, идущие в структуре цементного камня, принадлежат к классу сложноорганизующихся систем. Для таких систем возникают две проблемы в плане теоретического описания: возникновения иерархического расслоения (первая проблема) и динамики-эволюции (вторая проблема) системы. Эти проблемы далее решаются в рамках концепции порядок-беспорядок.

Сделав предположение, что расслоение структуры цементного камня происходит в момент критического явления, было показано на результатах И.Г. Гранковского и В.И. Соломатова правильность этого положения, т.е. образования иерархии вложенных в друг друга кластеров (блоков). Для нахождения таких критических явлений были проведены исследования методом ЯГР процесса твердения цементного камня на 1...280 сутки. Экспериментальная кривая этого метода имела волнообразный характер с точки перегиба на 7,30, 100 сут. Более подробно была исследована точками на 7 суток всеми методами с целью доказательства, что мы имеем на эти времена твердения критические явления.

Результаты экспериментов подтвердили это предположение, кроме того временные кривые были разбиты на три временных участка

(I...3,4...7,8...II сут). Первый участок характеризуется быстрым возрастанием временных зависимостей, значительным уменьшением дифракционных пиков клинкера; рыхлая поверхность цементного камня (данные РЭМ) сменяются на более плотную, что позволило характеризовать этот участок как стационарный.

Для второго участка наблюдается заметное выполаживание зависимостей. Такой ход зависимостей связывается с деструктивными процессами в структуре цементного камня. Флуктуации происходящих процессов способствуют упорядочению структуры. Упорядоченные структуры, соотношенные с кластерами (блоками), были отчетливо видны на микрофотографиях на седьмые сутки. При стабилизации флуктуаций образуется сеть неоднородностей, которая соотносена с межкластерными пространствами.

Дальнейший анализ второго участка твердения цементного камня был направлен на изучение механизма деструктивных процессов. Так как связность кластеров (для макроструктуры олоков) образуется в ходе твердения системы, была предложена методика, по которой импульсы АЭ, излучаемые в процессе разрушения цементного камня, дают информацию о динамике роста кристаллизационных связей на границах блоков трех иерархических уровней. Был предложен конкурентный иерархический механизм деструктивных процессов кристаллизационных связей (анализ ведется по связности олоков), по которому конкуренция (уменьшение связности) начинается с более мелкомасштабного структурного уровня ξ_3 , цементного камня и продолжается на более высоком ξ_2 и затем на ξ_1 . Порядок, образующийся в структуре цементного камня на втором участке твердения, был назван функциональным: твердеющая система функционально организована таким образом, что отдельные кластеры (блоки) устойчивы в различные времена. Неустойчивость одних кластеров во времени стабилизируется кластерами, расположенными иерархически выше.

На втором временном участке в цементном камне происходит нарушение симметрии алмоферритной фазы (по данным ЯТР) — основной признак критического явления. Исходя из этого, а также данных спектральных характеристик АЭ (неразрушающие исследования) было предложено характеризовать второй участок твердения цементного камня как скачкообразный по типу критического явления.

На третьем участке происходит незначительное увеличение временных зависимостей. В виду того, что межкластерное прост-

ранство к 9 суткам значительно уменьшается, было обосновано, что возрастает роль полимерной составляющей в увеличении прочности цементного камня. На основе ЯПР данных сделано предположение, что на 30 и 100 сутки твердения цементного камня наблюдаются критические явления.

Сформулировано иерархическое представление твердения цементного камня, по которому иерархия кластеров (или пространство иерархических состояний C_i - это понятие введено по Дж. Николису) образовывается в момент контракции гелевой цементной системы. В ходе твердения система реализует различные

$$C_i (C_1 = 2^2, C_2 = 3^2 \dots)$$

В гирколяционном представлении твердения цементного камня III является концентрация кристаллизационных связей, а образование бесконечного кластера приводит к образованию кластеров с выделенными размерами ξ_i^1, ξ_i^2 , которые пространственно перекрывают друг друга.

В эволюционном представлении рассмотрена возможность образования пространственно-временных кластеров на длительные сроки твердения цементного камня. Некоторые кластеры будут появляться в результате неблагоприятных условий.

Для доказательства достаточности полезны экспериментальные данные и представления по второму временному участку процесса твердения цементного камня. Прочность системы зависит от связности кристаллизационных связей. Уменьшение связности приводит к понижению прочности, что крайне не допустимо для специальных конструкций. Для проверки этой гипотезы были проведены исследования методом АЭ наиболее простой системы: цементный камень - кварцевый наполнитель.

Выявленные закономерности объясняются исходя из особенностей кристаллизационных связей. Варьируя эти связи с помощью отношения кварцевый наполнитель к цементному камню (з/ц) было найдено, что при увеличении количества наполнителей сохраняется объемная топология связей цементного камня и с дальнейшим возрастанием з/ц они меняются на поверхностную, и кристаллизационные связи ослабевают. Последнее приводит к росту АЭ при разрушении, предвещающему до з/ц ≈ 3 . Падение АЭ сигналов при з/ц = 4,5 (на вторые сутки твердения системы) связывается с дальнейшим изменением топологии кристаллизацион-

ных связей, которое состоит в исчезновении все большего количества связей, приводивших ранее к увеличению АЭ. При $z/c > 5$ топология связей становится "сеточной". Для таких отношений z/c меняется характер разрушения: образец разрушается на отдельные зерна заполнителя. Это лавинное разрушение и дает второй максимум АЭ. Образование вторичных кристаллизационных связей приводит к значительной перестройке топологии структуры (значительный сброс прочности) связи для $z/c=3$ на 14 сутки твердения.

Таким образом, снижение прочности коррелирует с возрастанием значений сигналов АЭ или нарушение функциональной взаимозависимости по связности различных иерархических блоков (кластерных) структур образовавшихся при твердении вяжущего приводит к необратимым процессам структурной неустойчивости сложносорганизуемой системы. Тем самым доказана предложенная выше гипотеза, а вместе с тем достаточность по интерпретации экспериментальных данных, приведенных в таблице: оценивать наилучшие свойства бетонов, предназначенных для специальных конструкций следует по критерию минимума излучения ультразвука (АЭ сигналов) бетона при деформировании.

Экспериментальные и теоретические исследования позволили сформулировать топологическую иерархическую схему бетона, которая представлена следующим образом. Каждый иерархический блок состоит из ядра и матрицы, разрушение происходит по матрице. В структуре матрицы расположены пустоты и разуплотненные объемы. Как только расстояние между этими объемами достигает критического расстояния, то происходит увеличение трещинообразования при разрушении. Такая схема позволила объяснить наличие в значениях АЭ для различных реперных моментов разрушения бетона при их одинаковой прочности.

Приведенные АЭ данные по бетонам позволяют выбрать наиболее рациональные по минеральному составу и строению заполнителя и использовать выбранные материалы в конструкциях, где требуется выносливость или длительная прочность.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Поиск оптимальных составов бетонов, в которых в качестве заполнителей используется нетрадиционное сырье, для специальных строительных конструкций должен основываться на использовании новейших экспериментально-теоретических исследова-

ниях. Одним из таких направлений является оценка специальных свойств бетонов по их границам микротрещинообразования. Такую оценку мы рекомендуем проводить акустико-эмиссионным методом.

2. Комплексное исследование физико-механических свойств вяжущих систем (в том числе бетонов) включало изучение процессов разрушения и твердения вяжущих методами АЭ, ЯМР, ЯГР, РЭМ и другими. На основе полученных результатов была сформулирована в приложении к вяжущим системам концепция порядок-б-спорядок, основными понятиями которой стали: диссипативная структура, параметр порядка, критическое явление, сложноорганизованность и самоорганизация.

3. Модельные представления (бифуркационное, перколяционное, иерархическое, конкурентное, эволюционное и топологическое) вяжущих как сложноорганизуемых систем позволили сформулировать необходимое и достаточное условие критериальной оценки бетона по минимуму излучения сигналов акустической эмиссии при их деформировании.

4. На основе экспериментально-теоретических исследований была разработана акустико-эмиссионная экспресс-методика по определению пределов выносливости и длительной прочности бетонов, что позволило выбрать наиболее рациональные по минеральному составу и строению заполнители бетонов. В качестве заполнителей бетонов может быть использовано нетрадиционное сырье - попутнодобываемые скальные, метаморфогенные породы железорудных месторождений КМА.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Исследование кристаллизационных связей в твердеющей вяжущей системе акустико-эмиссионным методом / В.С.Кузьменко, И.И.Мирошниченко, А.А.Пимонов, В.И.Щетинин//Механ. композ. матер. - 1989. - №1. -С.170...172.

2. Исследование методом АЭ процесса разрушения вяжущих системы/В.С.Кузьменко, И.И.Мирошниченко, А.А.Пимонов, В.И.Щетинин//Тез. докл. научно-техн. конф. "Ускорение научно-технического прогресса в промышленности строительных материалов и стройиндустрии", часть I "Физико-химические и физико-математические основы производства и исследования строительных материалов", Белгород, 12...15 мая 1987 г. - Белгород, БТИСМ, 1987. - С. 80-82.

3. Исследование методом АЭ ргзрушения бетонов на заполнителях из отходов КМА /Зныкин П.А., Корнеев В.Т., Лесовик В.С. и др. //Темат.сб. "Акустическая эмиссия и разрушение композиционных материалов". - Душанбе Ленин. ФТИ, Душан.специальное конструктор.техн. бюро, 1989. - С. 39...46.

1. Исследование структурообразования и разрушение цементного камня акустико-эмиссионным методом/В.С.Кузьменко, И.И.Мирошниченко, А.А.Пимонов, В.И.Щетинин//Физико-химич.механ.матер. -1991. - №1. - С. 85...88.

5. Экспериментальные и модельные исследования цементного камня/А.А.Виноградов, И.И.Мирошниченко, А.А.Пимонов, В.И.Щетинин// В сб. Проблемы строительного материаловедения и совершенствования технологии производства строительных изделий. - М.:Белгород: МИСИ, БТИСМ, 1990. - С. 8...23.

6. Исследование динамики развития блоков цементного камня /И.И.Мирошниченко, А.А.Пименов, В.И.Щетинин// Там же. - С. 7...8.

7. Представление разрушения цементного камня в рамках перколяционной модели/В.С.Кузьменко, И.И.Мирошниченко, А.А.Пимонов, В.И.Щетинин//Тез.докл. Всесоюз.конф. "Фундаментальные исследования и новые технологии в строительном материаловедении", часть I "Физико-химия строительных и композиционных материалов", Белгород, 23...25 мая 1989 г. - Белгород: ВЗИСИ, БТИСМ, 1989. - С. 60, 61.

8. Представление разрушения цементного камня в рамках перколяционной модели /В.С.Кузьменко, И.И.Мирошниченко, А.А.Пимонов, В.И.Щетинин //Цемент. - 1990. - №4. - С. 14, 15.

9. Исследование твердения цементного камня методом мессбауэровской спектроскопии/Мирошниченко И.И., Талецкий Ю.В., Щетинин В.И. и др. //Тез.докл. Всесоюз.конф. "Прикладная мессбауэровская спектроскопия", Казань, 11...15 июня 1990 г. - Казань: Казанский научный центр АН СССР, 1990. - С. 152.

10. Общие закономерности преобразования спектра протонного магнитного резонанса в процессе гидратации /Ю.Б.Матвеев, И.И.Мирошниченко, А.Б.Сабылинский, В.И.Щетинин //Тез.докл. Всесоюз. конф. "Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии", часть 9 "Радиационно-химические процессы и методы обработки материалов", Белгород, 21...24 мая 1991 г. - Белгород: БТИСМ, 1991. - С. 43, 44.

АНС Им. В. Ст
АН УРС

Подп. к печати 16.11.92г. Формат 60*84 1/16.
Объем 0,7уч.изд.л. 1.0п.л. Заказ № 2998 Тираж 100экз.
Гортипграфия Одесского облполиграфиздата пех №9,
Ленина 40.

26.247

AV 26.247