

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

УДК 691.327.666.972.7:620.193:624.046.5



ЛИТВИНЕНКО Дмитрий Анатольевич

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ
ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ОСОБОТЯЖЕЛОГО
БЕТОНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ БОРНОЙ
КИСЛОТЫ**

**Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции,
здания и сооружения**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Днепропетровск - 1996

604
 Диссертация является рукописью.
 Работа выполнена в
 академии строительства и архитектуры
 железобетонных и каменных конструкций

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00743833 (S)

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
САВИЦКИЙ Николай Васильевич

Научный консультант - доктор технических наук, доцент
ВОЛОШИН Владимир Фомич

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
ЯЦЕНКО Евгений Андреевич

- кандидат технических наук, профессор
МУРАШКО Леонид Андреевич

Ведущая организация - Научно-исследовательский институт
ДнепрНИПИэнергопром
 (Днепропетровск).

Защита диссертации состоится "26" ДЕКАБРЯ 1996 г. на
 заседании специализированного ученого совета Д 03.07.01 в
 Приднепровской государственной академии строительства и
 архитектуры по адресу:

320600, г. Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24-а, ауд. 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
 Приднепровской государственной академии строительства и
 архитектуры.

Автореферат разослан "25" ноября 1996 г.

Ученый секретарь специализированного
 ученого совета, к.т.н.

В.Л.Красовский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Основной объем из общего количества энергоблоков атомных электростанций Украины оснащен водо-водяными энергетическими реакторами. В качестве биологической защиты и замедлителя элементарных частиц в реакторах такого типа в технологических процессах используются водные растворы борной кислоты. Реактор помещается в бассейне выдержки и перегрузки (БВ и БП) ядерного топлива, который выполнен из особотяжелого бетона. Бассейн выдержки и перегрузки предназначен для хранения и перегрузки элементов ядерного топлива и конструктивных элементов реактора.

Опыт обследования реакторных отделений всех атомных электростанций Украины и некоторых АЭС России, оснащенных водо-водяными энергетическими реакторами, свидетельствует о наличии повреждений стен бассейнов выдержки и перегрузки и неконтролируемых протечек технологических растворов. В качестве технологического раствора в бассейнах выдержки и перегрузки атомных электростанций используется борная кислота.

Таким образом, строительные конструкции БВ и БП эксплуатируются в условиях экстремальных воздействий силовых нагрузок и воздействия агрессивной среды (водных растворов борной кислоты). Основным фактором, снижающим надежность конструкций БВ и БП и усложняющим эксплуатацию энергоблока, являются протечки борной кислоты через наружные стены бассейнов.

На стадии эксплуатации, ввиду сложной системы теплоизоляции и высокого уровня остаточной радиации, выполнить контроль сварных швов и обнаружить места контакта агрессивной среды с несущими железобетонными конструкциями не представляется возможным. По той же причине проведение регламентных и ремонтных работ на БВ и БП крайне

ИПБ им. В. Соснычки
АН Украины

затруднительно. Поэтому, возникает необходимость в прогнозе долговечности конструкций из особотяжелого бетона в условиях воздействия силовых нагрузок и агрессивного воздействия борной кислоты.

Исследовательские работы по изучению коррозионной стойкости конструкций из особотяжелых бетонов в условиях воздействия борной кислоты выполнялись в соответствии с договором с ПО Запорожская АЭС "Исследование коррозионной стойкости бетонов и долговечности железобетонных конструкций при воздействии борсодержащих растворов". Материалы, изложенные в диссертации, использовались при выполнении работ по договору "Определение фактических прочностных и деформативных характеристик бетона защитных оболочек эксплуатирующихся энергоблоков ПО Запорожская АЭС"; Диссертация является частью комплексных исследований госбюджетных тем Министерства образования Украины "Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів бетонних та залізобетонних конструкцій, які працюють в умовах екстремальних впливів високих температур та агресивних середовищ" (№ госрегистрации 0196U008322); "Разработка методики диагностики и оценки надежности локализирующих систем безопасности атомных электростанций" (№ госрегистрации 0193U023566).

Цель и основные задачи:

Целью работы является исследование коррозионной стойкости особотяжелых бетонов на железорудных заполнителях при воздействии борной кислоты для прогнозирования долговечности железобетонных конструкций.

Для выполнения поставленной цели определены задачи исследования:

1. Исследование физико-механических характеристик особотяжелых бетонов и их изменений во времени при воздействии борной кислоты;

2. Совершенствование методики оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов в условиях длительного воздействия растворов борной кислоты и кратковременной нагрузки;

3. Численное моделирование изменения напряженно-деформированного состояния и прогноз долговечности по прочности сечений, нормальных к продольной оси изгибаемых железобетонных элементов, выполненных из особоотяжелых бетонов, в условиях развития коррозионных процессов в структуре бетона;

4. Прогноз долговечности конструкций бассейнов выдержки и перегрузки реакторных отделений атомных электростанций, эксплуатирующихся в условиях воздействия борной кислоты.

Практическая ценность заключается в том, что в результате комплекса проведенных экспериментально-теоретических исследований разработана методика оценки долговечности изгибаемых железобетонных элементов по прочности сечений, нормальных к продольной оси, в условиях развития коррозии бетона I вида, что позволяет проектировать конструкции на заданный срок службы или обоснованно назначать сроки их ремонта и восстановления.

Декларация личного вклада автора:

- проведен комплекс экспериментальных исследований физико-механических характеристик особоотяжелого бетона в условиях воздействия борной кислоты, воды и в нормальных условиях эксплуатации;

- на основе экспериментально-теоретических исследований разработана методика оценки кинетики накопления коррозионных повреждений в структуре бетона при развитии коррозии I вида;

- разработана методика оценки напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов при воздействии сред, агрессивных по признаку коррозии I вида;

- проведено численное моделирование долговечности изгибаемых железобетонных элементов по критерию изменения прочности сечений, нормальных к продольной оси, при варьировании конструктивно-технологических параметров.

Автор защищает:

1. Результаты экспериментальных исследований физико-механических характеристик особотяжелого бетона на железорудных заполнителях и их изменений во времени при воздействии борной кислоты;

2. Результаты экспериментальных исследований и полученные на их основе количественные зависимости коррозионных процессов особотяжелых бетонов I вида;

3. Усовершенствованную методику, алгоритмы расчета прочности сечений, нормальных к продольной оси, момента образования трещин и кривизны изгибаемых железобетонных элементов при действии сред, агрессивных по признаку коррозии I вида;

4. Результаты численного моделирования изменения прочности сечений, нормальных к продольной оси железобетонных элементов из особотяжелого бетона при действии сред, агрессивных по признаку коррозии I вида.

Научную новизну работы составляют:

1. Данные экспериментальных исследований физико-механических характеристик особотяжелого бетона на железорудных заполнителях;

2. Кинетические зависимости развития коррозионных процессов в особотяжелом бетоне при действии борной кислоты и воды;

3. Усовершенствованная методика оценки напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов при развитии коррозии бетона I вида;

4. Результаты численного моделирования изменения прочности сечений, нормальных к продольной оси изгибаемых железобетонных

элементов при варьировании конструктивно-технологических параметров в условиях воздействия борной кислоты и воды.

Апробация работы, публикации и внедрение.

Материалы, изложенные в диссертации, рассматривались на научно-технических семинарах кафедры железобетонных и каменных конструкций ПГАСиА в 1993-1996 г.; на Международной конференции "Совершенствование стройматериалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях" (Сумы, 1994); III Международной научной конференции "Материалы для строительных конструкций" (Днепропетровск, 1994); XXXV Международном семинаре по проблемам моделирования и оптимизации композитов "Моделирование и вычислительный эксперимент в материаловедении" (Одесса, 1996); IV Международной конференции "Строительные материалы и строительные конструкции" (Днепропетровск, 1996); II Международном семинаре "Механика и физика разрушения строительных материалов и конструкций" (Львов-Дубляны, 1996), на семинаре "Оптимизация проектирования конструкций, машин и приборов" филиала Научного Совета по проблеме "Кибернетика" при Приднепровском научном центре НАН Украины (Днепропетровск, 1996); объединенном семинаре кафедр строительных конструкций, сопротивления материалов и строительной механики ПГАСиА (Днепропетровск, 1996).

По теме диссертации опубликовано 8 научных статей.

Материалы диссертации использовались при прогнозировании срока службы строительных конструкций бассейнов выдержки и перегрузки ядерного топлива на энергоблоках ПО "Запорожская АЭС".

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы из 129 наименований, приложения, содержит 189 страниц, в том числе 182 страниц машинописного текста, 57 рисунка, 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе рассмотрено состояние вопроса, обоснована актуальность исследований применительно к бассейнам выдержки и перегрузки ядерного топлива атомных электростанций, приведены конструктивные особенности и режимы эксплуатации БВ и БП. Представлены данные о применяемых специальных бетонах на особотяжелых заполнителях, приведены результаты обзора работ, посвященных исследованию свойств специальных бетонов, применяемых для защиты от ионизирующих излучений. Дан анализ работ, посвященных проблемам коррозионной стойкости бетонов, работающих в условиях воздействия воды и кислот.

Приведен обзор литературных источников, посвященных разработке методов оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) железобетонных элементов, подверженных воздействию агрессивных сред.

Из результатов проведенного анализа сделаны выводы:

1. Вследствие существующих повреждений БВ и БП, вызванных воздействием растворов борной кислоты и низкой ремонтпригодности конструкций, необходимо выполнить прогноз долговечности бассейнов выдержки и перегрузки реакторных отделений атомных электростанций;

2. Свойства бетонов на особотяжелых заполнителях изучены недостаточно. Данные для оценки НДС железобетонных элементов из особотяжелых бетонов с использованием диаграмм деформирования особотяжелого бетона отсутствуют;

3. Данных о коррозионной стойкости особотяжелого бетона при воздействии борсодержащих растворов не имеется;

4. В качестве метода оценки НДС возможно использование численно-аналитического метода оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при действии агрессивных сред. С целью унификации методов оценки усилий, воспринимаемых бетоном сжатой и

растянутой зон и учета особенностей процесса коррозии бетона, численно-аналитический метод требует совершенствования.

С учетом состояния вопроса определена цель работы и основные задачи исследований.

Во втором разделе приведена методика экспериментальных исследований коррозионной стойкости бетонов в условиях воздействия воды и растворов кислот.

Экспериментальные исследования проведены в направлении:

1. Получения данных о физико-механических характеристиках особотяжелого бетона на железорудных заполнителях в нормальных условиях эксплуатации;

2. Получения данных о прочности, деформативности и кинетике накопления коррозионных повреждений особотяжелого бетона на железорудных заполнителях в условиях развития коррозионных процессов при воздействии борной кислоты и воды.

В качестве количественной характеристики процессов коррозии бетона I и II видов, как наиболее вероятных при воздействии растворов борной кислоты, может быть принято содержание в цементном камне окиси кальция. Поэтому, для оценки стойкости бетона в воде и в растворах борной кислоты применен подход, учитывающий изменение физико-механических характеристик бетона во времени в зависимости от содержания окиси кальция в цементном камне. Экспериментальные исследования характеристик бетона проведены на 7 партиях бетонных образцов с применением особотяжелых заполнителей и партии образцов из тяжелого бетона на традиционных заполнителях. В качестве заполнителей для бетонов применялись: железорудные окатыши - продукция горнообогатительных комбинатов, подготовленное сырье для металлургического производства; прокатная окалина - отход обработки металла в процессе прокатки; щебень Чаплинского карьера, речной

днепровский песок. Данные о заполнителях, применяемых в исследованиях, представлены в таблице.

Таблица

Химический состав заполнителей*

Вид заполнителя	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	S	FeO	Fe ₃ O ₄
Железород- ные окатыши	0.16	7.38	81.2	4.47	1.17	1.19	0.03	3.60	---
Прокатная окалина	---	---	5.05	---	---	---	---	79.0	15.0

* Содержание указано в % по массе

Для приготовления бетона использовался портландцемент Балаклейского цементно-шиферного комбината.

Исследование физико-механических характеристик особотяжелого бетона в нормальных условиях производилось на образцах партии ОБ. Эта партия в своем составе содержала: призмы 100x100x400 мм, цилиндры высотой 300 мм, наружным диаметром 100 мм при толщине стенки 20 мм - для изучения деформативных характеристик ОТБ в условиях воздействия растворов борной кислоты. Для изучения прочностных характеристик особотяжелого бетона в партии ОБ изготовлены образцы - кубы с размером ребра 100 мм. Кинетика накопления коррозионных повреждений по глубине изучалась на образцах-полнотельных цилиндрах, диаметром 50 высотой 150 мм, покрытых на время экспозиции защитным составом на основе битума таким образом, чтобы среда контактировала с одной торцевой поверхностью образца.

Исследование характеристик бетона при воздействии борной кислоты, коррозионной стойкости бетонов проводилось на полых цилиндрических образцах с толщиной стенки 10 мм, диаметром 50 мм и высотой 50 и 150 мм, имеющих двухкомпонентную структуру, состоящую из окалина и цемента и моделирующую растворную часть бетона. При этом, исследовалось влияние борной кислоты в сравнении с влиянием

дистиллированной воды на бетон с течением времени. В качестве агрессивной среды при экспериментальных исследованиях использовались водные растворы борной кислоты и дистиллированная вода. Рабочая концентрация растворов, содержащих борную кислоту, принята равной 16 г/л, что соответствует условиям эксплуатации бетона БВ и БП реакторных отделений атомных электростанций. Испытания образцов проводились в следующие сроки после экспозиции: 3, 30, 120, 365, 455, 720 суток. На каждую временную точку испытывалось по 5 образцов из каждой партии. Всего было испытано более 300 образцов.

В третьем разделе приведены результаты обработки экспериментальных исследований физико-механических характеристик специальных бетонов на железорудных заполнителях в нормальных условиях эксплуатации и в условиях воздействия борной кислоты.

Проведенные экспериментальные исследования изменений физико-механических характеристик бетона при воздействии борной кислоты с одновременным исследованием количественного изменения химического состава бетона свидетельствуют о том, что коррозия бетона обусловлена выносом компонентов цементного камня (продуктов взаимодействия активных компонентов цементного камня и борной кислоты). Процесс коррозии оценивали интегрально - количеством вынесенных компонентов бетона в пересчете на окись кальция (CaO). Поэтому процесс коррозии бетона при воздействии борной кислоты можно условно отнести к коррозии I вида (выщелачивания).

В результате статистической обработки результатов испытаний получена эмпирическая зависимость для модуля упругости особотяжелого бетона:

$$E_b = \frac{47400 \cdot R_b}{R_b + 19}, \quad (1)$$

где E_b - модуль упругости особотяжелого бетона в нормальных условиях эксплуатации, МПа; R_b - призмная прочность бетона на особотяжелых заполнителях, МПа.

Испытания образцов серии ОБ выявили величину предельной сжимаемости бетона на особотяжелых заполнителях в пределах $2.1 \div 2.3 \cdot 10^{-3}$ (мм/мм).

Изменение величины модуля упругости бетона на железорудных заполнителях при воздействии растворов борной кислоты с учетом влияния водонасыщения предлагается учитывать при помощи зависимости:

$$E_{b,s}(\tau) = \beta_w(\tau) \cdot \beta_s(\tau) \cdot E_b, \quad (2)$$

где $\beta_w(\tau), \beta_s(\tau)$ - соответственно, коэффициенты, учитывающие влияние процессов водонасыщения и накопления коррозионных повреждений в структуре бетона на изменение модуля упругости по отношению к нормальным условиям эксплуатации; E_b - модуль упругости особотяжелого бетона в нормальных условиях эксплуатации.

В результате анализа экспериментальных данных, значения коэффициентов $\beta_w(\tau), \beta_s(\tau)$, приняты равными, соответственно, 1.09 и 0.95.

Изменение прочности бетона при воздействии растворов борной кислоты предложено оценивать зависимостью:

$$R_b(\tau) = \gamma_{ba}(\tau) \cdot \gamma_{bg}(\tau) \cdot \gamma_{bs}(\tau) \cdot R_b, \quad (3)$$

где $\gamma_{ba}(\tau), \gamma_{bg}(\tau), \gamma_{bs}(\tau)$ - соответственно, коэффициенты условий работы, учитывающие эффект адсорбционного снижения прочности бетона при водонасыщении, процесс гидратации цементного камня, результат взаимодействия активных компонентов среды и цементного камня. Используя данные экспериментальных исследований,

получены аналитические выражения для параметров $\gamma_{ba}(\tau)$, $\gamma_{bg}(\tau)$, $\gamma_{bs}(\tau)$.

Для коэффициента условий работы $\gamma_{bs}(\tau)$ зависимость имеет вид:

$$\gamma_{bs}(\tau) = 1 - 1.30 \cdot q - e^{33.3q} \cdot 10^{-5}, \quad (4)$$

где $q = Q_{CaO} / p \cdot C$ - степень выщелачивания,

Q_{CaO} - количество вынесенной из цементного камня окиси кальция;
 p - относительное содержание (концентрация) CaO ; C - расход цемента в бетоне; e - основание натурального логарифма.

В результате проведенных экспериментальных исследований коррозии выщелачивания, получены данные о распределении коррозионных повреждений по глубине фронта взаимодействия (вынесенного количества окиси кальция), предложена аналитическая зависимость, описывающая пространственно-временное распределение коррозионных полей при диффузии Ca^{2+} (в пересчете на CaO) в случае одномерного процесса массопереноса.

Зависимости для параметров коррозионного процесса описываются мультипликативной моделью. Сущность модели состоит в определении зависимостей параметров коррозионного процесса применительно к эталонным или средним условиям. Влияние факторов оценивается путем введения поправочных коэффициентов.

При анализе данных экспериментальных исследований в качестве эталонного принимался бетон естественного твердения, марки по водонепроницаемости W4 ($W/C=0.5$), имеющий растворную часть состава окалина : цемент = 3 : 1, с расходом цемента 450 кг/м^3 , приготовленный на портландцементе с минералогическим составом клинкера: $C_3S-58\%$, $C_2S-20.5\%$, $C_3A-7.5\%$, $C_4AF-14\%$, бетон экспонируется в условиях постоянного погружения в водный раствор борной кислоты концентрацией 16 г/л при стационарном режиме, продолжительность действия среды - 1 год,

температура раствора - 20 °С, бетон находится в ненагруженном состоянии.

Полученные зависимости учитывают влияние следующих факторов на процесс выщелачивания: количества активных добавок в цементе, величины открытой пористости бетона, температуры, продолжительности воздействия среды и напряженного состояния.

В четвертом разделе приведена усовершенствованная методика оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при воздействии сред, агрессивных по признаку коррозии первого вида на основе численно-аналитического метода. Основные предпосылки при совершенствовании методики оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов следующие:

- Считается справедливой гипотеза плоского распределения средних деформаций на участке элемента вплоть до разрушения изгибаемого железобетонного элемента по сечениям, нормальным к продольной оси;

- Переход от средних деформаций на участке железобетонного элемента к деформациям в сечении с трещиной осуществляется по методике В.И.Мурашева, путем введения коэффициентов φ_b , ψ_b , ψ_s , учитывающих неравномерность деформирования бетона и арматуры.

- Для построения эпюр напряжений в бетоне сжатой и растянутой зон используются уравнения механического состояния, полученные при испытании бетона при одноосном сжатии и растяжении.

- Воздействие среды на бетон, изменение прочности элемента учитывается путем изменения параметров диаграмм деформирования (уравнений механического состояния) бетона во времени.

- Момент образования трещин определяется по критерию достижения относительными деформациями бетона краевого волокна растянутой зоны величины предельных.

- Расчет деформаций (прогибов) железобетонных элементов выполняется по правилам строительной механики, используя кривизну участка элемента.

- Прочность сечений железобетонных элементов, нормальных к продольной оси, определяется с использованием критерия максимума функций равновесных состояний (при разрушении по бетону сжатой зоны), а также критерия ограничения предельных деформаций арматуры (при разрушении элемента по арматуре растянутой зоны).

В соответствии с рассмотренными предпосылками разработаны алгоритмы и программа оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при воздействии сред, агрессивных по признаку коррозии первого вида, со стороны сжатой зоны бетона. Усилия, воспринимаемые бетоном сжатой и растянутой зон определялись численно-аналитическим методом, сущность которого состоит в замене подынтегральной функции напряжений интерполяционным полиномом в конечных разностях, который при некоторых значениях аргумента принимает те же значения, что и подынтегральная функция.

Усовершенствованная методика оценки напряженно-деформированного состояния была апробирована на тестовых примерах расчета прочности сечений, нормальных к продольной оси, в нормальных условиях эксплуатации. Были рассмотрены слабо-, средне- и перearмированные элементы. Расчет произведен по средним (опытным) и расчетным значениям характеристик материалов. Рассматривались железобетонные элементы с шириной поперечного сечения $b = 0.2$ м и рабочей высотой $h = 0.5, 0.3, 0.1$ м. Результаты расчета прочности по усовершенствованному численно-аналитическому методу сопоставлялись с методикой расчета прочности по СНиП 2.03.01-84*, принимая последнюю в качестве эталонной. Расчет произведен для элементов, армированных сталью с площадкой текучести, при классе бетона по прочности на сжатие

В20 и варьированием армирования, характеризующимся отношением $\xi/\xi_R = 0.2 \div 1.4$, где ξ - относительная высота сжатой зоны; ξ_R - граничная относительная высота сжатой зоны. Данные расчетов свидетельствуют, что во всем диапазоне армирования и изменения геометрических параметров сечений, расхождения вычислений по предлагаемой методике и методикой СНиП 2.03.01-84* не превышает 4.5%. Принимая во внимание, что точность расчетов по методике СНиП не превышает $\pm 10\%$, можно считать, что предлагаемая усовершенствованная методика удовлетворительно оценивает прочность изгибаемых железобетонных элементов по нормальным сечениям.

В пятом разделе проведено численное моделирование долговечности железобетонных элементов по критерию изменения прочности нормальных сечений при действии сред, агрессивных по признаку коррозии I вида.

Рассмотрены изгибаемые железобетонные элементы прямоугольного поперечного сечения с одиночным армированием при одномерном процессе массопереноса по диффузионному и фильтрационному механизмам массопереноса при воздействии агрессивной среды со стороны сжатой грани бетона. Элементы армированы сталью, имеющей физический предел текучести (А-III). Принят бетон естественного твердения, имеющий временное сопротивление сжатию 23.3 МПа, на основе портландцемента при относительном содержании основных минералов в клинкере: $C_3S = 0.58; C_2S = 0.205; C_3A = 0.075; C_4AF = 0.14$. В расчетах рассмотрен бетон марки по водонепроницаемости $W2 \div W6$. Для рассматриваемых железобетонных изгибаемых элементов варьировались параметры: высота элемента: $h = 0.1$ м, 0.3 м, 0.5 м; степень армирования, соответствующая: $\xi/\xi_R = 0.2; 0.4; 0.8; 1.0$. В качестве агрессивных сред приняты водные растворы борной кислоты, концентрацией 16 г/л и вода.

Для выявления механизма изменения прочности во времени сечений железобетонных элементов, нормальных к продольной оси, при расчетах анализировали изменение усилия, воспринимаемого бетоном сжатой зоны (N_b), рабочей высоты сечения (h_0), плеча внутренней пары сил (z), изменение относительного плеча внутренней пары сил (z/h_0).

Результаты численного моделирования показывают, что при равных коррозионных повреждениях, изменение прочности изгибаемых элементов по сечениям, нормальным к продольной оси, в большей мере сказывается для элементов с $h=0.1$ м по сравнению с элементами при $h=0.5$ м. Это объясняется большим относительным изменением плеча внутренней пары сил для элементов с малой рабочей высотой при наличии равных коррозионных повреждений. Так, для элементов с высотой $h=0.1$ м при $\xi/\xi_R = 0.2$, для бетона марки по водонепроницаемости W_6 при воздействии растворов борной кислоты концентрацией 16 г/л, к 50 годам ожидается снижение прочности изгибаемых железобетонных элементов по нормальным сечениям на 65%, для элементов высотой 0.3 м и 0.5 м - на 21% и 17%, соответственно.

Для указанных изгибаемых элементов более существенное уменьшение несущей способности происходит с ростом степени армирования. При $\xi/\xi_R = 0.4$, при воздействии растворов борной кислоты для указанных элементов уменьшение несущей способности составит 75%, 23% и 19%, соответственно; при $\xi/\xi_R = 1.0$ - соответственно, 85%, 35% и 30%.

Сущность этого явления состоит в следующем: для слабоармированных элементов ($\xi/\xi_R = 0.2$) разрушение элемента происходит по растянутой арматуре и усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны в предельном состоянии, при снижении прочности бетона практически не изменяется. Бетон сжатой зоны способен воспринять то же усилие, что и до снижения прочности бетона под действием среды за счет

наполнения эпюры напряжений и вовлечения в работу нижележащих слоев. Изменение несущей способности происходит в результате уменьшения рабочей высоты сечения и уменьшения плеча внутренней пары сил.

Для перearмированных элементов ($\xi/\xi_R \geq 1.0$), прочность нормальных сечений определяется предельным усилием, воспринимаемым бетоном сжатой зоны. При развитии коррозионных процессов и накоплении в толще бетона коррозионных повреждений, наряду с уменьшением рабочей высоты сечения и уменьшения плеча внутренней пары сил, происходит и снижение усилия, воспринимаемого бетоном сжатой зоны в предельном состоянии по прочности. При равной глубине распространения фронта взаимодействия и глубине разрушенных слоев, большее влияние изменения рабочей высоты в немассивных конструкциях по сравнению с массивными возможно объяснить большим относительным изменением плеча внутренней пары сил.

Исследования также выявили, что воздействие среды может изменить механизм разрушения железобетонных элементов. Элементы из категории слабо- и среднеармированных (разрушение по растянутой арматуре) могут переходить в категорию перearмированных (разрушение по бетону сжатой зоны).

На основании разработанной методики произведен прогнозный расчет долговечности железобетонных конструкций БВ и БП по критерию снижения прочности нормальных сечений при диффузионном и фильтрационном механизмах массопереноса. Данные прогнозных расчетов свидетельствуют о том, что для бетона класса W6 снижение прочности по нормальным сечениям составит: к 20 годам эксплуатации в растворах борной кислоты - 5 и 8%; к 30 годам - 8 и 19%, соответственно, при диффузионном и фильтрационном механизмах массопереноса.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Получены экспериментальные данные о прочностных и деформативных характеристиках особотяжелого бетона на железорудных заполнителях в нормальных условиях эксплуатации, на основании которых возможно производить расчет НДС с использованием диаграмм деформирования бетона.

2. Получены экспериментальные данные о прочности особотяжелого бетона в условиях воздействия воды и борной кислоты. В результате анализа экспериментальных данных установлены зависимости, описывающие относительное изменение прочности особотяжелых бетонов в условиях воздействия воды и водных растворов борной кислоты.

3. Получены экспериментальные данные об изменении деформативных характеристик особотяжелого бетона при кратковременном сжатии с учетом развития в структуре бетона коррозионных повреждений, вызванных воздействием среды.

4. В результате обработки данных экспериментальных исследований и обобщения ранее проведенных исследований предложена эмпирическая зависимость для описания пространственно-временного распределения коррозионных повреждений (растворения и выноса из бетона компонентов цементного камня) при стационарном процессе воздействия агрессивной среды и одномерном процессе массопереноса.

5. Усовершенствована методика оценки напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов по прочности сечений, нормальных к продольной оси. Разработаны алгоритмы и программа оценки напряженно-деформированного состояния на ЭВМ с учетом уравнений механического состояния материалов и изменения их параметров при развитии коррозионных процессов в структуре бетона.

6. На основе усовершенствованной методики оценки напряженно-деформированного состояния и кинетических зависимостей накопления в

структуре бетона коррозионных повреждений выполнен прогноз изменения прочности сечений, нормальных к продольной оси, изгибаемых железобетонных элементов, эксплуатирующихся в агрессивных средах, опасных по признаку коррозии бетона I вида.

7. На основе полученных экспериментальных данных и усовершенствованной методики оценки напряженно-деформированного состояния выполнен прогноз срока службы железобетонных конструкций бассейнов выдержки и перегрузки ядерного топлива атомных электростанций по критерию прочности сечений, нормальных к продольной оси.

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в следующих работах:

1. Савицкий М.В., Титюк А.О., Литвиненко Д.А. Дослідження довговічності басейнів витримки та перевантажування реакторних відділень атомних електростанцій / Наукові дослідження для будівництва: Збірник наукових праць / К.: ІСДО. 1994. -С.148-151. (30 % авторської участі. Розроблена методика дослідження корозійної стійкості бетону в умовах дії борної кислоти).

2. Савицкий Н.В., Литвиненко Д.А., Баташева К.В. Расчет напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при действии растворов борной кислоты / Приднепр. гос. академия стр-ва. и архитектуры. -Днепропетровск, 1995. -13 с. - Библиогр: 3 назв.-Рус. - Деп. в ГНТБ Украины. 25.11.1995 № 2487 Ук 95. (40 % авторского участия. Усовершенствована методика оценки напряженно деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов на основе численно-аналитического метода);

3. Савицкий Н.В., Бородин А.А., Баташева К.В., Литвиненко Д.А. Прочностные и деформативные характеристики бетона при коррозии выщелачивания в условиях воздействия борсодержащих водных растворов

/ Приднепр. гос. академия стр-ва. и архитектуры. -Днепропетровск, 1995. - 13 с.-Библиогр: 4 назв.-Рус.-Деп. в ГНТБ Украины. 25.11.1995. № 2488 Ук 95 (40 % авторского участия. Получение параметров уравнений механического состояния бетона, зависимостей, отражающих кинетику коррозионного процесса).

4. Савицкий Н.В., Тьпюк А.А., Литвиненко Д.А. Проблема обеспечения долговечности бассейнов выдержки и перегрузки реакторных отделений атомных электростанций / Материалы Международной научно-практической конференции "Совершенствование стройматериалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях". Сумы, ССХИ. 1994. -С. 121-122. (30 % авторского участия. Проведен обзор литературных источников применительно к существующей проблеме).

5. Савицкий Н.В., Тьпюк А.А., Литвиненко Д.А. Проектирование антикоррозионной защиты железобетонных конструкций / Тезисы докладов III Международной научной конференции "Материалы для строительных конструкций" - ИСМВ'94.- Днепропетровск, ДИСИ. 1994. -С. 98. (30 % авторского участия. Проведена оценка долговечности изгибаемых железобетонных элементов при варьировании конструктивными параметрами (размерами поперечного сечения и степени армирования)).

6. Савицкий Н.В., Березюк А.Н., Литвиненко Д.А. Модель расчета напряженно-деформированного состояния стержневых железобетонных элементов при коррозии бетона / Моделирование и вычислительный эксперимент в материаловедении/ Материалы к XXXV Международному семинару по проблемам моделирования и оптимизации композитов. МОК'35. -Одесса, ОГАСиА. 1996. -С. 76. (50 % авторского участия. Разработаны алгоритмы и программа оценки напряженно-

деформованого стану залізобетонних елементів на ЕВМ в умовах розвитку корозійних процесів в структурі бетону).

7. Савицький Н.В., Литвиненко Д.А. Исследование коррозионной стойкости бассейнов выдержки и перегрузки ядерного топлива атомных электростанций / Сборник "Материалы для строительных конструкций". IV Международная конференция ICMB'96.- Днепропетровск, ПГАСиА, 1996. - С 81. (50 % авторского участия. Постановка эксперимента, обработка данных экспериментальных исследований по исследованию распределения коррозионных повреждений по глубине элемента).

8. Савицький М.В., Титюк А.О., Литвиненко Д.А. Силові та енергетичні характеристики бетону в умовах розвитку корозійних процесів / Матеріали II Міжнародного симпозіуму "Механіка й фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій", Львів-Дубляни, 1996. -С. 383-386. (30% авторської участі. Отримання силових та енергетичних характеристик бетону по повністю рівноважних діаграмах деформування).

Анотація

Литвиненко Д.А. Корозійна стійкість згинальних залізобетонних елементів з надважкого бетону при дії борної кислоти.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.23.01 - Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпропетровськ, 1996.

Захищається рукопис дисертації, матеріали якої відображені у 8 наукових працях і містять результати експериментально-теоретичних досліджень фізико-механічних характеристик надважкого бетону, залежності для описування кінетики накопичування корозійних пошкоджень у структурі бетону, розроблену методику оцінки напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів при дії

середовищ, які небезпечні за ознакою розвитку корозійних процесів бетону І виду. Приведено результати прогнозування довговічності залізобетонних елементів за ознакою забезпечення міцності перерізів, що нормальні до поздовжньої осі, при зміні конструктивно-технологічних параметрів.

Ключові слова: напружено-деформований стан, міцність, надважкий бетон, борна кислота, довговічність, корозійна стійкість.

Abstract

Litvinenko D.A. Corrosive strength of bending reinforced concrete elements with superhard concrete subjected to boracic acid medium.

The thesis for competition on the Degree of Ph.D. in Technical Sciences on Speciality 05.23.01 - Building Constructions, Buildings and Structures. Pridneprovsky State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, 1996.

The thesis of dissertation is to be defended, its materials have been published in eight papers containing the results of experimental and theoretical research on superhard concrete, the functions for description of corrosive defects accumulation kinethics in concrete structure, the method for evaluation of stress-strain state of bending reinforced concrete elements under concrete corrosion typy I. The results for durability prediction of bending reinforced concrete elements by criteria for providing normal section strength with taking into account the varying of constructive-technological parameters have been given.

Keywords: stress-strain state, strength, superhard concrete, boracic acid, durability, corrosive strength.

438529

AB 36.361