

МИНВУЗ УССР  
КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

*На правах рукописи*

САВЧЕНКО-БЕЛЬСКАЯ  
Мария Виталиевна

УДК 620.193.41:666.972

**ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ  
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.23.01 — СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев 1989

*инт. б.з., стр. 57*

Работа выполнена в Киевском ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительном институте на кафедре железобетонных и каменных конструкций.

Научный руководитель  
кандидат технических наук,  
доцент

Л.А.МУРАШКО

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук,  
профессор  
кандидат технических наук

Р.Л.МАИЛЯН

И.Н.ЗАСЛАВСКИЙ

Ведущая организация - ЦНИИпромзданий Госстроя СССР

Защита состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_ г. в \_\_\_\_\_ часов  
на заседании специализированного совета К 068.05.04 в Киевском  
ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительном инсти-  
туте по адресу: 252037, г.Киев-37, Воздухофлотский проспект, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 19 \_\_\_\_ г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент

  
А.А.НИЛОВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Защита от биокоррозии одна из актуальных научно-технических проблем, непосредственно связанных с решением важных народнохозяйственных задач, поставленных XXV съездом КПСС. Эта проблема составляет раздел технической политики и связана с вопросами долговечности новых и реконструкции существующих зданий.

Микробиологический фактор воздействий характерен для предприятий мясомолочной, пищевой, рыбной, сельхозперерабатывающей, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, коммунально-технические службы, зоны транспорта и тяжелой промышленности, связанных с использованием нефти, газа, горючих и смазочных материалов органического происхождения.

Несмотря на широкий класс таких сооружений и еще больший класс микробиологических воздействий, до настоящего времени отсутствует нормативная база, регламентирующая вопросы строительства и долговечности в таких средах.

Ежегодные потери от микробиологической коррозии по 14 странам Европы (данные ЕОСПП) составляет около 2% национального дохода; по СССР аналогичные данные отсутствуют.

В СССР, в настоящее время, в ряде отраслей промышленности до 70% производств, в том числе биоактивных, работают в условиях сильно и среднеагрессивных сред, вызывающих интенсивные коррозионные разрушения железобетонных конструкций. Данная работа является результатом исследований выполненных в составе отраслевой научно-технической программы 055.01.121.

Цель исследований -- изучение прочности и деформативности изгибаемых железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных микробиологических средах при статических нагрузках для совершенствования их методов расчета.

### Автор защищает:

методику и результаты экспериментально-теоретических исследований прочности и деформативности бетона и железобетонных элементов при кратковременном нагружении в условиях развития коррозионных процессов в структуре бетона;

установленные феноменологические зависимости, связывающие количественные характеристики воздействия среды и физико-механические характеристики бетона;

результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов из бетона неоднородной структуры при воздействии кратковременных нагрузок;

метод расчета прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов из бетона неоднородной структуры с учетом влияния среды и кратковременной нагрузки;

#### Научную новизну работы составляют:

установление степени агрессивности производственной среды мясомолочного производства по отношению к бетону и железобетону;

количественные данные об изменении прочностных и деформативных характеристик бетона;

методика прогноза прочности бетона конструкций, эксплуатируемых в биологически активных средах мясомолочной промышленности;

методика оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов из бетона неоднородной структуры при кратковременном нагружении по первой и второй группам предельного состояния;

достоверность предложенного метода прогноза прочности корродированных конструкций подтверждается путем сравнения теоретических и лабораторных данных с результатами натурных обследований;

достоверность методики расчета прочности и деформативности изгибаемых конструкций из неоднородного бетона подтверждается сравнением теоретических и опытных данных, полученных автором настоящей работы.

Практическое значение выполненной работы заключается в том, что установлены количественные данные об изменении физико-механических характеристик бетона, позволяющие прогнозировать прочность эксплуатируемых конструкций в условиях биологически активных сред. В результате проведенных исследований уточнена методика расчета изгибаемых железобетонных элементов, работающих в условиях микробиологических воздействий. Материалы работы использованы при составлении "Рекомендаций по строительному проектированию и реконструкции зданий мясомолочной промышленности".

Результаты исследований использованы институтом "Югзапгипромьясомолпром" Госагропрома УССР при разработке проектов ремонта и реконструкции ряда промышленных объектов отрасли.

Материалы работы могут быть использованы при оценке реального состояния железобетонных конструкций, а также прогноза их износа.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены на научно-технических конференциях КИСИ, НИИСК, ИМВ АН УССР, УкрНИИпроектстальконструкции, РДНТП.

Публикации. Результаты выполненных исследований опубликованы в пяти печатных работах.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов и приложения; работа изложена на 100 страницах машинописного текста, содержит 38 рисунков и графиков, 39 таблиц, 132 наименований литературы, а также Приложения.

Работа выполнена на кафедре железобетонных и каменных конструкций Киевского инженерно-строительного института под руководством кандидата технических наук, доцента Мурашко Л.А.

Микробиологические исследования выполнены совместно со специалистами лаборатории почвенной микробиологии института микробиологии и вирусологии АН УССР (г.Киев).

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

На стадии эксплуатации и особенно при реконструкции возникает вопрос оценки состояния конструкций с учетом накопления коррозийных повреждений в структуре бетона.

Основополагающими работами в данной области являются труды С.В.Александровского, В.М.Баташева, В.М.Бондаренко, Е.А.Гузеева, Э.Н.Гуджеджиани, Г.Я.Дрозда, И.Н.Заславского, Ф.М.Иванова, В.М.Москвина, К.А.Мальцева, А.Ф.Милованова, И.Г.Овчинникова, П.В.Мчедлова-Петросяна, Н.В.Савицкого, И.В.Чуйко, Т.Г.Читашивили и др.

Трудами упомянутых ученых выполнены значительные исследования в области комплексных воздействий среды и нагрузки. Несмотря на проведенный значительный объем исследований и основополагающие выводы проблема, особенно по разделу микробиологических воздействий, находится в начальной стадии исследований.

В первом разделе приведен краткий обзор натуральных и теоретических исследований, касающихся вопроса состояния железобетонных изгибаемых конструкций, работающих в условиях биоактивных сред, установление агрессивности биоактивных сред, анализ существующих методов исследований микробиологических и коррозийных повреждений бетонных и железобетонных конструкций, а также расчетных методов исследований корродированных бетонов.

Изучение литературных источников показало, что вопросу кинетики физико-механических характеристик бетонов в микробиологичес-

ких средах, прогнозу прочности, методам определений несущей способности и деформативности конструкций, работающих в условиях биоактивного производства, не уделялось достаточного внимания, а методы расчета железобетонных конструкций в упомянутых выше условиях не разработаны.

Во втором разделе изложена методика экспериментального изучения изменения во времени физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов классов В5...В35 в микробиологических средах и их химических аналогах. В качестве образцов использованы неармированные и армированные призмы размером 40x40x160 мм, а также кубы со стороной 40 мм, размеры которых диктовались техническими возможностями лабораторной базы и особенностями методики постановки микробиологических исследований. Всего было испытано 3690 образцов.

Для повышения степени достоверности получаемых данных параллельно выполнены исследования влияния биологических и их аналогов, химических сред на бетон. Такой подход был продиктован тем обстоятельством, что влияние биологических сред на прочностные и деформативные характеристики бетонов и арматуры изучаются впервые, а влияние химических сред изучалось неоднократно.

Для сопоставления результатов лабораторных исследований с результатами натуральных исследований эксплуатируемых железобетонных конструкций были подобраны составы цементно-песчаных растворов с проницаемостью, близкой к проницаемости реальных бетонов.

Выделение микроорганизмов проводили на средах Натансона, Постчейта, МПБ, Гильея, контроля для уробактерий. Концентрации микроорганизмов (клеток/мг) следующие: тионовые  $10^5$ - $10^7$ , сульфатредуцирующие  $10^6$ - $10^8$ , аммонифицирующие  $10^8$ , денитрофицирующие  $10^8$ , уробактерии  $10^{7x}$ .

Отобранные для опытов микробиологические среды и принятая их концентрация были аналогичны производственным средам, обнаруженным при обследовании зданий мясомолочной, пищевой, кожевенной промышленности. Все испытания кубов и призм на прочность и деформативность выполнены согласно методики МИ-П-74 и ГОСТ 10180-78. Исследования изменений физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов в микробиологических средах включали в себя оп-

<sup>x</sup> Моделирование сред (аналогов выявленных на производстве) выполнено ИМиВ им. Заболотного АН УССР, к.б.н. Козлова И.А. и Ражанской А.М.

ределение призмной и кубиковой прочности на сжатие, прочности на растяжение при изгибе, начального модуля упругости, сцепления арматуры с бетоном, плотности, водопоглощения. Были проведены петрографические исследования, а также изучены прочностные и деформативные свойства используемой арматуры.

В третьем разделе анализированы результаты экспериментальных исследований физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов классов В5...В35, подвергнутых микробиологическим воздействиям.

Установлено, что процесс изменения прочности бетона (рис.1) в большинстве биологических сред можно разделить на два периода. Первый период ( $t > 5...18$  месяцев), характеризующийся продолжающимся естественным ростом прочности бетона, на который накладывается процесс уплотнения структуры за счет заполнения пор бетона продуктами жизнедеятельности микроорганизмов, что приводит к некоторому общему повышению прочностных характеристик бетона.

Картина "ложное упрочнение" особенно характерна для высокопрочных бетонов. У низкопрочных бетонов за счет наличия большого количества пор и более слабых связей между зёрнами песка и цементным камнем это явление менее заметно. Второй период ( $t = 18...22$  месяца) характерен разрушением структуры бетона за счет реагирования компонентов клинкера с продуктами метаболизма микроорганизмов, накопленными к этому времени в порах бетона в результате жизнедеятельности бактерий. Скорость процесса зависит от класса бетона и характера среды.

В качестве надежной оценки стойкости бетона вводится коэффициент стойкости  $K_{ст} = R_{cor} / R_{cont}$ .

Установлено, что к концу наблюдения прочность в микробиологических средах снизилась в среднем на 40-50%. Деструкция материала носит затухающий характер.

Выполненный эксперимент позволил классифицировать микробиологические воздействия по видам коррозии (классификация В.М. Москвина); тионовые, сульфатредуцирующие, уробактерий отнести ко II виду; аммонифицирующие, денитрофицирующие - к III виду.

Испытания на растяжение при изгибе не выявили временного повышения прочности. К концу наблюдений прочность бетона на растяжение в микробиологических средах понизилась на 40-50%, а в химических - 45-60%.

Экспериментально установлено, что под воздействием микробио-

логических культур происходит снижение коэффициента призмной прочности  $K_{зм}$ , который в конце третьего года содержания образцов в микробиологической среде не превышал 0,72-0,78. Выявлены также некоторые особенности деформирования корродированного бетона к концу 3 года пребывания в среде:

деформации, соответствующие началу микротрещинообразования бетона при сжатии по сравнению с аналогичными значениями деформаций контрольного бетона ( $\epsilon_b^0 = 50 \cdot 10^{-5}$ ), в микробиологических и химических средах уменьшились соответственно до  $\epsilon_{b,м}^0 = 20 \cdot 10^{-5}$ ,  $\epsilon_{b,x}^0 = 18 \cdot 10^{-5}$ ;

уменьшились значения поперечных деформаций относительно контрольного бетона ( $\epsilon_{bt}^0 \approx 8,5 \cdot 10^{-5}$ , в микробиологических средах  $\epsilon_{bt,м}^0 = 6,5 \cdot 10^{-5}$ , в химических средах до  $\epsilon_{bt,x}^0 = 6,0 \cdot 10^{-5}$ ), соответственно коэффициенты Пуассона  $\mu = 0,16; 0,25; 0,20$ ; под воздействием биологических и химических сред существенно снижается диапазон условно упругой зоны работы. Снижение зоны линейного деформирования для контрольного бетона происходит с уровня напряжения  $\eta_1 \approx 0,57$ , для бетонов в микробиологических средах -  $\eta_{1,м} = 0,35$ , для бетонов в химических средах -  $\eta_{1,x} \approx 0,27$ ;

верхняя граница зоны упруго-пластической работы составляет для контрольного бетона  $\eta_2 \approx 0,87$ ;  $\eta_{2,м} \approx 0,52$  - для бетонов в микробиологических средах;  $\eta_{2,x} \approx 0,39$  - для бетонов в химических средах.

Опытные данные подтверждают уменьшение предельной растяжимости, снижение границы микротрещинообразования и повышения хрупкости корродированного бетона. Изучение влияния времени и среды на снижение модуля упругости бетона в агрессивных средах относительно модуля  $E_b$  контрольного бетона показывает, что этот процесс происходит медленнее, чем снижение прочности. За три года начальный модуль упругости  $E_b$  под воздействием среды понизился на 30-45% (рис.2).

Изучение кинетики сцепления арматуры с бетоном показали, что за три года пребывания в микробиологических средах сцепление понизилось на 35-50% независимо от начальной проницаемости материала (рис.3). Кинетика плотности и водопоглощения подтверждает сделанный вывод, а петрографические исследования - факт проникновения микроорганизмов по глубине сечения.

Установлено, что прочность и деформативность арматурной проволоки изменяется в следствии снижения пластических свойств армату-

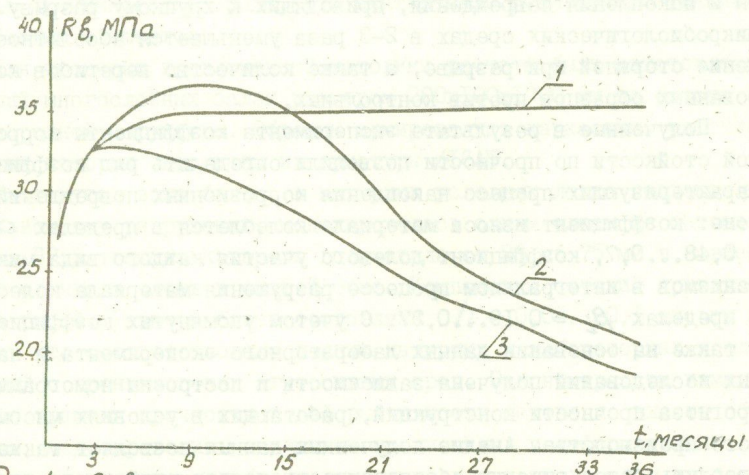


Рис.1. Зависимости изменения прочности  $R_b$ , МПа бетона класса В 22,5 от длительности ( $t=1...3$  года) пребывания в контрольной (1), микробиологической (2) и химической ( $H_2SO_4$ ; 3) средах.

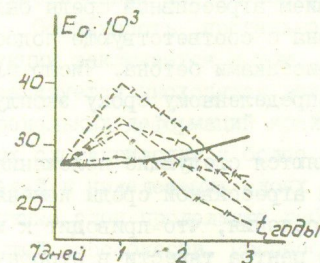


Рис.2. Изменение модуля упругости  $E_0$  бетона класса В 22,5 в зависимости от длительности пребывания в среде

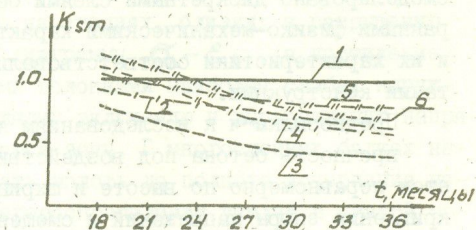


Рис.3. Изменение коэффициента стойкости  $K_{см}$  по сцеплению бетона на класс В 22,5 с арматурой, в зависимости от длительности  $t$  пребывания в среде

Условные обозначения

- контроль
- тионовые бактерии
- · - · - · сульфатредуцирующие
- - - - - аммонифицирующие
- · - · - · денитрифицирующие
- - - - - уробактерии

ры и накопления повреждений, приводящих к хрупкому разрыву. В микробиологических средах в 2-3 раза уменьшается абсолютное удлинение стержней при разрыве, а также количество перегибов корродированных образцов против контрольных.

Полученные в результате эксперимента коэффициенты коррозионной стойкости по прочности позволили определить ряд коэффициентов, характеризующих процесс накопления коррозионных повреждений в бетоне: коэффициент износа материала колеблется в пределах  $\alpha_i = 0,48 \dots 0,7$ , коэффициент долевого участия каждого вида микроорганизмов в интегральном процессе разрушения материала колеблется в пределах  $\beta_i = 0,19 \dots 0,27$ . С учетом упомянутых коэффициентов, а также на основании данных лабораторного эксперимента и натуральных исследований получена зависимость и построены номограммы для прогноза прочности конструкций, работающих в условиях массового производства. Анализ полученных данных позволяет также подтвердить более высокую обеспеченность конструкций по сравнению с обеспеченностью сечений.

Четвертый раздел посвящен исследованию прочности и деформативности железобетонных балок из неоднородного бетона. Согласно установленному характеру износа конструкций, снижение прочности к 10, 20, 40 годам эксплуатации соответственно составляет 18-20%, 30-33% и 35-45%. Продвижение фронта снижения прочностных и деформативных свойств бетона под воздействием агрессивной среды было смоделировано дискретными слоями бетона с соответствующе подобранными физико-механическими характеристиками бетона. Число слоев и их характеристики соответствовали определенному сроку эксплуатации конструкции.

Предпосылками к исследованиям являются следующие положения:

прочность бетона под воздействием агрессивной среды изменяется неравномерно по высоте и ширине сечения, что приводит к искривлению эпюры напряжений и смещению центра тяжести в сторону нейтральной оси;

уменьшение значений прочности бетона приводит к увеличению граничной относительной величины сжатой зоны бетона  $\xi$ ;

действие среды приводит к активизации нелинейных процессов и трансформации эпюры деформации при достижении сечением предельного состояния.

Для исследований приняты балки прямоугольного сечения, с нормальным процентом армирования ( $\mu = 2,3\%$ ), для которых моделиро-

валось проникновение среды, что имитировало реальное состояние изгибаемых элементов.

Для проверки предложенной методики расчета были изготовлены 5 серий многослойных балок размером 200x100x1700 мм из бетона неоднородной структуры. Образцы армировались каркасами, рабочие стержни которых выполнены из арматуры  $\text{A16AIII}$ .

Растянутая зона балок, в натуральных условиях легко поддающаяся коррозионному разрушению, моделировалась одним слоем из бетона класса В7,5 толщина которого возрастала от 25 до 75 мм в зависимости от числа слоев в сжатой зоне. Компоновка сечений приведена на рис.4. Размеры слоев составляли  $h \sim 0,08 \dots 0,1$  высоты балок, что соответствовало данным натуральных и лабораторных исследований о проникновении агрессивных сред. Закономерности изменения во времени прочности и деформативности бетона по высоте образцов, моделировались снижением прочностных и деформативных свойств специально подобранного бетона для каждого слоя из бетонов прочностью 7,5...45 МПа. Измерение деформаций арматуры, бетона и прогибов балок в процессе испытаний позволили выявить следующие особенности напряженно-деформированного состояния нормальных сечений: введение в сжатую зону одного и более дополнительных слоев из более слабых и более деформативных бетонов приводит к искривлению эпюры напряжений при одновременном смещении центра тяжести эпюры напряжений в сторону нейтральной оси (рис.5,6)

Особенность предельного состояния балок многослойной конструкции заключается в том, что на стадиях, близких к разрушению реализуется нисходящая ветвь диаграммы  $\sigma_b - \epsilon_b$ , а достижение предельных деформаций крайними волокнами наиболее слабых наружных слоев приводит к более полному включению и выравниванию напряжений в нижележащих слоях сжатой зоны. В многослойных балках наружные слои продолжают работать вплоть до полного исчерпания несущей способности. Процесс перераспределения усилий в сжатой зоне бетона с ростом нагрузки, аналогичен процессу уменьшения полезной высоты сечения или плеча внутренней пары сил, что равноценно автоматическому переходу конструкций из класса нормально армированных ( $\mu < \mu_R$ ) - в перearмированные ( $\mu > \mu_R$ ). Процесс разрушения сопровождается дроблением слоев сжатой зоны бетона без хрупкого разрушения.

При испытаниях отмечалась заметная разница в высотах сжатых

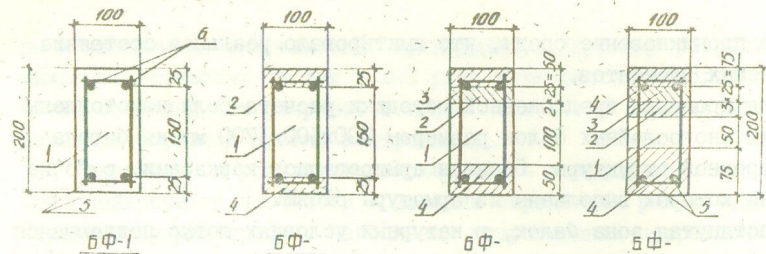
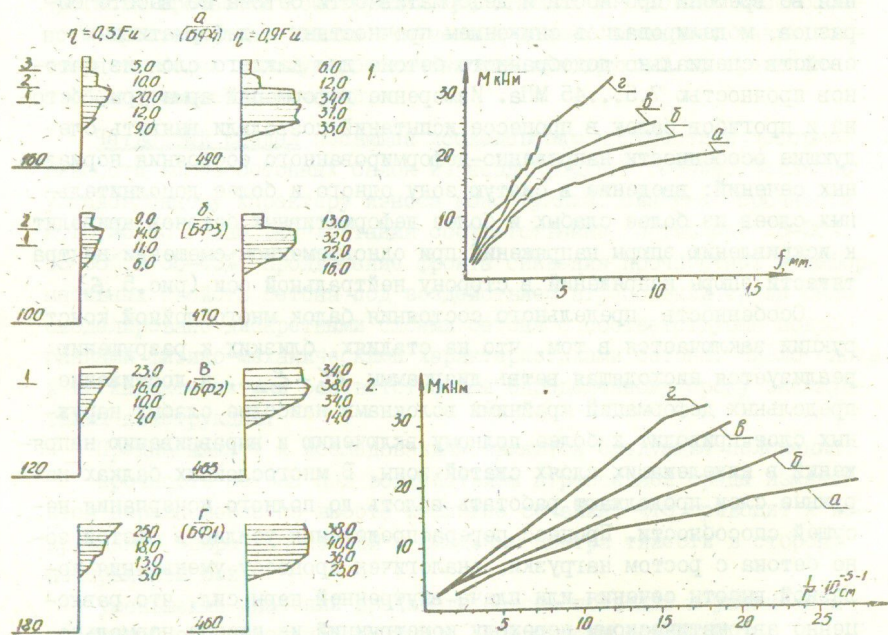


Рис. 4. Компоновка сечений опытных балок серий БФ-1...БФ-4.  
1, 2, 3, 4 - соответственно бетоны прочностью  
 $R_{bt} = 52,0; 23,5; 11,0; 5,5$  МПа  
5 - арматура  $\Phi 16A-III$ ;  
6 - арматура  $\Phi 8A-III$ ;



ис. 5. Эпюры напряжений  $\sigma_b, \sigma_s$  МПа при монотонном нагружении а, б, в, г - соответственно для серий БФ-4...БФ-1.

Рис. 6. Диаграммы: 1 - момент - прогиб; 2 - момент - кривизна при монотонном режиме нагружения; а, б, в, г - соответственно для серий БФ-4...БФ-1.

зон бетона при одном и том же относительном уровне нагружения балок разных серий.

Несущая способность балок с неоднородной сжатой зоной существенно отличается от несущей способности контрольных (до 30-35%).

Поскольку деформации арматуры в момент разрушения были практически одинаковые и в предельном состоянии не зависели от количества слоев в сжатых зонах бетона, можно утверждать, что разница в несущих способностях целиком определялась изменением прочности сжатой зоны бетона и снижением сцепления арматуры с бетоном растянутой зоны, что учитывается введением коэффициента  $K_{sm}$  (табл. I).

Несущая способность нормального сечения изгибаемого элемента в предельном состоянии ( $B = const, \psi(\eta) = 1$ )

$$M = Bh_0^2 \int_0^{\xi} \sigma_b(\eta) B \psi(\eta) (1-\eta) d\eta. \quad (I)$$

Основная сложность реализации формулы (I) состоит в том, что закон изменения напряжений в сжатой зоне может быть произвольным из-за разной степени поражения бетона коррозией, а относительная высота сжатой зоны бетона  $\xi$  и плечо пары сил  $Z_b$  зависит от распределения прочностных и деформативных свойств бетона по высоте сжатой зоны сечения (рис. 7).

Из равенства усилий в бетоне и в арматуре

$$Bh_0 \int_0^{\xi} \epsilon_b \gamma(\eta) E_b \theta(\eta) d\eta = \epsilon_s E_s A_s. \quad (2)$$

где  $\gamma(\eta)$  - функция изменения деформаций бетона сжатой зоны бетона;  $\theta(\eta)$  - функция изменения модуля упругости бетона сжатой зоны по ее высоте;  $E_b$  - модуль упругости бетона сжатой зоны.

Учитывая, что  $\mu = A_s / Bh_0, d = E_s / E_b$  формула (2) может быть представлена в следующем виде

$$\int_0^{\xi} \gamma(\eta) \theta(\eta) d\eta = \mu d E_s / E_b \quad (3)$$

Отношение  $E_s / E_b$  колеблется в пределах 0,7...0,8. До накопления более полных данных можно применять  $\sigma_{sm} / \sigma_{bm} = 0,75$ .

Выполненные экспериментальные исследования позволили установить закономерности изменения деформаций, модуля упругости напряжений по высоте сечения (рис. 8).

С учетом установленных закономерностей величина сжатой зоны может быть найдена из выражения

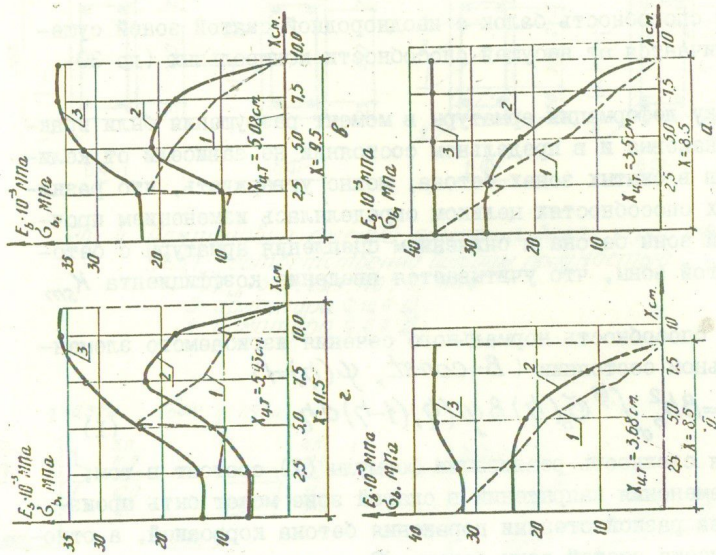


Рис. 8. Конкретные геометрические характеристики  
 Сжатая часть бруса  $\lambda = 11.5$   
 1 - экспериментальная кривая напряжений в бетоне при разрушении;  $\lambda_{4T} = 3.15$   
 2 - экспериментальная кривая напряжений в бетоне при разрушении;  $\lambda_{4T} = 3.15$   
 3 - по методике расчета прочности бетона по формулам (4) и (5)  
 а, б, в - стандарты и др. для образцов серии ВФ-1000

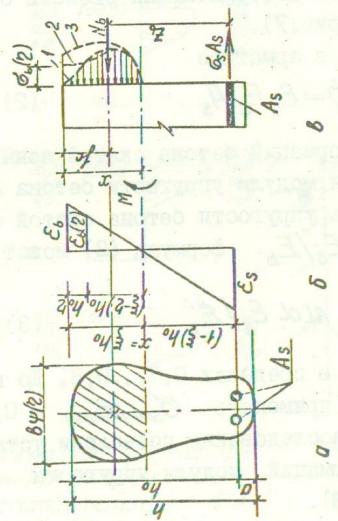


Рис. 7. К определению напряженно-деформационного состояния элемента с неоднородной структурой бетона сжатой зоны:  
 а - сечение элемента произвольной формы;  
 б - эпюра деформаций;  
 в - эпюра напряжений по несжатому сечению элемента при расчете прочности;  
 г - эпюра сжимающих напряжений в различной степени поражения бетона сжатой зоны соответственно - сильное, среднее, нормальное состояние

$$x = h_0 / [1 + \int_0^{\epsilon_b} \gamma(\eta) \theta(\eta) d\eta] / \mu \alpha \quad (4)$$

Согласно предложенной методике расчета и выявленных закономерностей, несущую способность элемента можно определить по следующим формулам:

$$M \leq B \frac{x}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} [h_0 - \frac{x}{n} (i-0.5)] \quad (5)$$

или

$$M \leq B h_0 \frac{x}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} [1 - \frac{x}{n} (i-0.5)]$$

Анализ результатов расчетов несущей способности балок всех серий по методикам СНиП 2.03.01-84 и НИИСК (теории расчета сборно-монолитного железобетона) показывает что они отличаются на 25-30% от экспериментальных значений несущей способности. Эти отличия обусловлены недостаточным учетом фактической эпюры распределения напряжений в неоднородном бетоне сжатой зоны; неучетом истинной величины плеча внутренней пары сил; снижения сил сцепления арматуры с бетоном и снижения его прочности в растянутой зоне.

Коррозийное поражение бетона выравнивает напряжения между трещинами. Это явление предлагается учитывать коэффициентом снижения сцепления  $K_{sm}$ , полученным экспериментально. Значение коэффициента  $K_{sm}$  находится в пределах 0,5...1,0 в зависимости от степени поражения материала и длительности эксплуатации.

За счет введения коэффициента  $K_{sm}$ , расчетные формулы (5) могут быть представлены в следующем виде, пригодном для программирования

$$M \leq B \frac{x K_{sm}}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} [h_0 - d (i-0.5)] \quad (6)$$

(Программа приведена в Приложении к работе)

Сопоставления результатов расчета несущей способности по различным методикам приведены в табл. I.

В диссертации предложена методика расчета деформаций (прогибов, кривизны) железобетонных элементов, подверженных биокоррозии.



Таблица I

Сравнение опытных и расчетных данных несущей способности (M, кН.м)

Серия балок	Результаты эксперимента	По предложенной методике		По теории сборно-монолитных конструкций		$K_{sm}$
		без учета $K_{sm}$	с учетом $K_{sm}$	без учета $K_{sm}$	с учетом $K_{sm}$	
		БЭ1	33,5	36,1	36,1	
БЭ2	31,5	32,3	30,0	31,0	28,8	0,93
БЭ3	24,0	31,1	26,4	29,0	24,7	0,85
БЭ4	20,0	26,4	23,0	26,0	19,5	0,75

Средние деформации арматуры растянутой зоны изгибаемых элементов можно представить как

$$\varepsilon_{sm} = \varepsilon_s \psi_s / K_{sm} \quad (7)$$

Учитывая, что  $\sigma_s = \varepsilon_s E_s$  и  $\sigma_s = M_s / A_s z_b$ , формула (7) принимает вид

$$\varepsilon_{sm} = M_s \psi_s / A_s E_s z_b K_{sm} \quad (8)$$

где  $M_s$  - изгибающий момент от эксплуатационных нагрузок;  $z_b$  - плечо внутренней пары сил.

Учитывая вышеизложенное, кривизна оси элемента, работающего с трещинами в растянутой зоне описывается выражением

$$1/r = M_s / B = M_s \psi_s / z_b (h_0 - x_m) A_s E_s K_{sm} \quad (9)$$

Приведенная жесткость

$$B = A_s E_s K_{sm} z_b (h_0 - x_m) / \psi_s \quad (10)$$

Основная сложность реализации формулы (10) связана с нахождением высоты сжатой зоны бетона  $x_m$  и плеча внутренней пары сил  $z_b$  для напряженно-деформированного состояния, которое характеризуется треугольной эпюрой деформаций и произвольным законом распределения сжимающих напряжений в сжатой зоне бетона.

Точка приложения равнодействующей напряжений в сжатой зоне зависит от закона изменения модуля деформаций бетона по высоте сжатой зоны сечения

$$E'_b = E_b \theta(\eta) \quad (II)$$

где  $E_b$  - начальный модуль упругости бетона в момент начала действия биологически активной среды;  $\theta(\eta)$  - закон изменения модуля упругости бетона по высоте сечения сжатой зоны.

Напряжения в бетоне сжатой зоны в эксплуатационной стадии изменяются по высоте в соответствии с законом

$$\sigma_b(\eta) = \varepsilon_b \gamma(\eta) E_b \theta(\eta) \quad (I2)$$

Следовательно, принимая линейный закон распределения деформаций в сжатой зоне бетона, эпюра напряжений в сжатой зоне может изменяться от треугольной при отсутствии коррозионного процесса до произвольно зависящей от степени повреждения крайних волокон бетона и продвижением фронта коррозии по высоте сечения (рис.7).

Аппроксимируя кубическим полиномом экспериментальные кривые изменения начального модуля упругости  $E_b \theta(\eta)$  и напряжений  $\sigma_b(\eta)$  по высоте сжатой зоны бетона, получаем следующие зависимости (рис.8)

$$E_b \theta(\eta) = (a\eta^3 + b\eta^2 + c\eta + d) \cdot 10^3 \quad (I3)$$

$$\sigma_b(\eta) = e\eta^3 + f\eta^2 + n\eta + m \quad (I4)$$

Нахождение центра тяжести эпюры напряжений зависит от закона изменения напряжений в сечении

$$y_{ц.т.} = \frac{\int_0^{\eta} \eta \sigma_b(\eta) d\eta}{\int_0^{\eta} \sigma_b(\eta) d\eta} \quad (I5)$$

Зависимость для определения плеча внутренней пары сил, имеет следующий вид

$$z_m = \frac{M_s}{N_b} = \frac{B h_0^2 \int_0^{\eta} \sigma_b(\eta) (1-\eta) d\eta}{B h_0 \int_0^{\eta} \varepsilon_b \gamma(\eta) E_b \theta(\eta) d\eta} = h_0 \frac{\int_0^{\eta} \sigma_b(\eta) (1-\eta) d\eta}{\int_0^{\eta} \sigma_b(\eta) \theta(\eta) d\eta} \quad (I6)$$

Сравнение экспериментальных и расчетных значений кривизны

и прогибов (табл.2) подтверждает правомочность использования предложенной методики расчета.

Таблица 2

Результаты экспериментальных и расчетных значений кривизны и прогибов изгибаемых элементов из бетона неоднородной структуры при  $M = 0,5 \dots 0,6 \text{ Ми}$

Серия балок	Кривизна $1/r \cdot 10^{-5}, \text{ см}^{-1}$		Прогибы $f$ , см		$\frac{f_{\text{эксп.}}}{f_{\text{рас.}}} \%$
	экспериментальная	расчетная	экспериментальная	расчетная	
БЭ1	7,33	8,12	0,24	0,19	20
БЭ2	7,68	8,5	0,2	0,21	5
БЭ3	8,6	9,2	0,28	0,29	3
БЭ4	9,5	10,1	0,3	0,36	15

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Установлена агрессивность микробиологических воздействий изучаемых групп относительно бетона и железобетона. Произведена классификация производственных сред мясомолочной промышленности по микробиологическим воздействиям и агрессивности по признакам II и III вида коррозии относительно бетона, ранее не регламентированная нормативными документами.

2. Установлены критерии микробиологической коррозии к которым относится: повышенный температурно-влажностный режим характеризующийся влажностью 85-90% и температурой 22-25°C; установлено наличие микроорганизмов в материале конструкций: серообразующих  $10^3 \dots 10^6$  кл/гр, азотообразующих  $10^3 \dots 10^5$  кл/гр, гетеротрофов -  $10^3 \dots 10^7$  кл/гр, уробактерий -  $10^4 \dots 10^5$  кл/гр.

3. Накоплены экспериментальные данные о закономерностях деструкции бетона, протекающей более интенсивно под нагрузкой; выявлено влияние характера силового воздействия.

4. Установлены общие закономерности и количественные характеристики снижения прочности бетона как в чистых биологических и химических средах, так и в производственных средах.

Отмечается явление охрупчивания бетона, снижение зоны его линейного деформирования относительно контрольного бетона на 25-50% и уменьшения упругопластической работы соответственно до границы  $\zeta_{\text{cont}} = 0,7$ ;  $\zeta_M = 0,3$ ;  $\zeta_x = 0,22$ . Уменьшается предельная растяжимость, трещиностойкость, повышается хрупкость, снижается сцепление арматуры с бетоном.

5. Установлено, что воздействие биологически активных производственных сред приводит к количественным и качественным изменениям процесса деформирования железобетонных элементов при кратковременном нагружении с относительного уровня нагружения  $\zeta = 0,4$ .

6. Проведены экспериментальные исследования изгибаемых элементов с неоднородной структурой бетона сжатой зоны, позволившие установить связь распределения деформаций в сжатой зоне бетона на прочность и жесткость таких железобетонных элементов, выявить границы возможного использования гипотезы плоских сечений, установить роль снижения сцепления корродированных арматуры и бетона, а также влияние повторных разгрузок на прочностные и деформативные характеристики изгибаемых элементов.

7. Предложенный метод оценки несущей способности изгибаемых элементов, находящихся в условиях агрессивных биологических сред

позволяет учесть неоднородное напряженное состояние сжатой зоны бетона и снижение сцепления арматуры с бетоном (формула 5). Решение реализуется программой для ЭВМ.

8. Предложен метод определения прогибов изгибаемых железобетонных элементов без напрягаемой арматуры, эксплуатируемых в агрессивных средах, учитывающий неоднородность бетона по высоте сжатой зоны и изменение его свойств во времени, снижение сил сцепления растянутой арматуры с бетоном растянутой зоны.

Для вычисления кривизны рассматриваемых элементов рекомендуется использовать разработанные формулы (9) совместно с (13) и (14), легко поддающиеся алгоритмизации.

9. Проведено сопоставление эффективности предложенных методик определения прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов с нарушенной структурой бетона с данными экспериментальных исследований и натуральных наблюдений, подтверждающие достоверность получаемых результатов.

10. Результаты исследований учтены при разработке ведомственного нормативного документа Госагропрома УССР "Рекомендации по строительному проектированию и реконструкции зданий и сооружений мясной и молочной отраслей промышленности".

Основное содержание диссертации изложено в работах.

1. Мурашко Л.А., Савченко-Бельская М.В. Кинетика изменения прочности бетона в некоторых биоактивных средах // Коммунальное хозяйство, НИИЖТ. - К., БудІвельник, 1985. - № 61. - С.14-16.

2. Андреев Е.И., Багмут Ю.Ю., Барашиков А.Я., Досукая Н.М., Козлова И.А., Мурашко Л.А., Рожанская А.М., Рохлин И.А., Полонский А.Я., Савченко-Бельская М.В. О работе строительных конструкций. НИИСК. - К., БудІвельник, 1986. - № 39. - С.39-41.

3. Савченко-Бельская М.В. Некоторые закономерности работы конструкций из корродированных бетонов // Библиографический указатель депонированных рукописей. НИИСК, 1987. - Вып.6. - № 7806.

4. Мурашко Л.А., Савченко-Бельская М.В. О некоторых особенностях работы бетона в микробиологических средах // Строительные конструкции, НИИСК. - К., БудІвельник, 1989. - № 42. - С.35-37.

5. Рекомендации по строительному проектированию и реконструкции зданий и сооружений мясной и молочной отраслей промышленности / Госагропром УССР, НИИСК. - К., ротاپринт, 1989. - 72 с.

БФ 21875. Подпис. к печ. 9.11.89. Формат 60x84<sup>1</sup>/16. Бумага множ. аппарат. Офсетная печать. Усл.печ.л. 1,25. Уч.-изд.л. 0,9. Тираж 100 экз. Заказ 2928.

Научно-исследовательский институт строительного производства  
Госстроя УССР, 252180, Киев-180, Краснозвездный пр., 51.  
Типография НИИСП Госстроя УССР, 252180, Киев-180,  
ул. И. Клименко, 5/2