

ISSN 0005-9889

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

**3**  

---

**1990**



## Издания НИИЖБа в 1990—1991 гг.

### СБОРНИКИ

**Новые экспериментальные исследования и методы расчета железобетонных конструкций.**

**Расчет, конструирование и технология изготовления бетонных и железобетонных изделий (сборник молодых специалистов 1989 г.).**

**Исследование и применение химических добавок в бетонах.**

**Самонапряженные и непрерывно армированные конструкции.**

**Предварительно напряженные железобетонные конструкции зданий и сооружений.**

**Исследование ячеистых бетонов и конструкций.**

**Бетонные конструкции машин и оборудования.**

**Свойства и особенности применения в железобетоне современных видов стержневой арматуры.**

**Защита бетона и железобетона от коррозии.**

**Технология и свойства защитных П-бетонов.**

**Расчет, конструирование и технология изготовления бетонных и железобетонных изделий.**

*Заказы на издания НИИЖБа следует направлять по адресу:  
109428, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, ОНТИ НИИЖБа*



# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

**3** (420)

Издается с апреля 1955 г.

ОРГАН ГОСУДАРСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КОМИТЕТА СССР

Март 1990

## СОДЕРЖАНИЕ

VIII Всесоюзная конференция по коррозии и защите строительных конструкций <i>Михайлов К. В., Бердичевский Г. И., Рогатин Ю. А.</i> Бетон и железобетон — основа современного строительства . . . . .	2 3
<i>Агаджанов В. И.</i> Эффективность повышения долговечности конструкций производственных зданий с агрессивными средами . . . . .	5
<i>Иванов Ф. М., Розенталь Н. К.</i> Оценка агрессивности среды и прогнозирование долговечности подземных конструкций . . . . .	7
<i>Гладков В. С.</i> О морозосолеустойкости бетона . . . . .	9
<i>Батраков В. Г., Силина Е. С.</i> Применение химических добавок — способ первичной защиты железобетона . . . . .	11
<i>Алексеев С. Н., Степанова В. Ф., Яковлев В. В.</i> Перспективы использования методов первичной защиты конструкций . . . . .	13
<i>Вербецкий Г. П., Шаповалова В. Я., Саралидзе О. А.</i> Расчет допускаемой ширины раскрытия трещин в конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных водах . . . . .	15
<i>Гузев Е. А., Борисенко В. М., Савицкий Н. В.</i> Механоматематические методы прогноза долговечности железобетонных конструкций . . . . .	17
<i>Чернявский В. Л., Заславский И. Н.</i> Обеспечение долговечности железобетонных конструкций при их ремонте . . . . .	19
<i>Елшина Л. И.</i> Химический способ пассивации стальной арматуры с коррозионными поражениями в бетоне . . . . .	20
<i>Чернышев Ю. П.</i> Обеспечение долговечности конструкций при использовании в бетонах промышленных отходов . . . . .	22
<i>Шевяков В. П.</i> Новое при проектировании защиты от коррозии в сильноагрессивных средах . . . . .	24
<i>Хаустова Л. Г., Матвеева О. И.</i> Об агрессивности надмерзлотных вод по отношению к бетону фундаментов и способах их защиты . . . . .	25
<i>Лещинский М. Ю., Лихтман М. А., Вакуленко Н. С.</i> Первичная защита сборных конструкций тепловых магистралей . . . . .	26
<i>Шинтемиров К. С., Изжанов М. М., Муратова У. Д.</i> Коррозионная стойкость стальной арматуры в бетонах на обезвреженных фосфорно-шлаковых вяжущих . . . . .	26
<i>Крушедольская В. Е., Флак В. Я.</i> Противокоррозионная защита стальных соединений конструкций модифицированными смазками . . . . .	27
<i>Осетинский Ю. В., Саар В. А., Подвальный А. М.</i> Оптимизация состава морозостойкого бетона со смешанным заполнителем . . . . .	28
<i>Маркина Г. К., Фридган Л. Б.</i> Эксплуатационная надежность железобетонных свай при коррозии . . . . .	28
<i>Полак А. Ф., Латыпова Т. В., Шаймухаметов А. А., Минибаев Э. З., Латыпов В. М.</i> Определение срока защитного действия антикоррозионного покрытия . . . . .	29
<i>Тэннбаум Г. В.</i> Прогноз долговечности железобетонных конструкций с трещинами при воздействии газовой хлорсодержащей среды . . . . .	30

### В порядке обсуждения

<i>Иванов Ф. М.</i> По поводу статьи Н. И. Зошука «Влияние пирита на коррозионную стойкость бетона и арматуры» (Бетон и железобетон. — 1989. — № 11. — С. 28—30) . . . . .	30
--	----



МОСКВА  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ  
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ

# VIII ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Недостаточная эффективность капитальных вложений в промышленность и сельское хозяйство страны объясняется многими причинами, среди которых не последнее место занимают различные аспекты качества строительной продукции и, в частности, долговечность зданий и сооружений.

Особенно неблагоприятно обстоит дело с сохранностью основных фондов на предприятиях химико-лесного, металлургического, топливно-энергетического комплексов, в пищевой промышленности, т. е. там, где конструкции подвергаются действию природных и технологических агрессивных сред. Стоимость зданий и сооружений составляет около половины стоимости основных фондов промышленности.

Так, в химической промышленности 40% затрат на обслуживание и ремонт связаны с коррозией, ущерб от которой оценивается в 1,8 млрд. р. в год. Общие потери от коррозии строительных конструкций в стране, по экспертной оценке, составляют около 5 млрд. р. в год.

Металлофонд СССР, заложенный в зданиях и сооружениях, ориентировочно оценивается в 200 млн. т, т. е. более 10% всего фонда страны. Лишь около 25% стальных конструкций не подвергаются коррозии внутри отапливаемых зданий без агрессивных выделений. Остальные 75% стальных конструкций нуждаются в постоянной защите от коррозии.

В условиях дефицита лакокрасочных материалов защита таких конструкций производится часто малостойкими покрытиями, нерегулярно и некачественно возобновляется в процессе эксплуатации, что ускоряет коррозионный износ в средне- и сильноагрессивных средах.

В связи с этим возникает необходимость преждевременного восстановления, усиления и замены конструкций. На некоторых объектах через несколько лет эксплуатации стоимость ремонтных работ превышает капитальные вложения.

Ежегодные затраты на ремонт и восстановление стальных конструкций в целом по стране превышают 1 млрд. р. даже без учета потерь, связанных с остановками производства, и, если не изменится положение с их защитой, могут возрасти до 2,5...3 млрд. р. к 2000 г. Известные случаи аварийных разрушений стальных конструкций в результате коррозии.

Железобетонные конструкции во многих случаях более коррозионно-стойкие, чем стальные, и в большинстве случаев не нуждаются в защите, так как стальную арматуру можно надежно защитить бетоном, а последнему придать высокую стойкость. Однако ошибочно считать, что это получается само собой в любой железобетонной конструкции и в любых условиях ее эксплуатации.

Длительная коррозионная стойкость железобетонных, а также стальных конструкций может быть обеспечена при правильном учете условий их службы, в частности взаимодействия с конкретной агрессивной средой, в проекте, в технологии изготовления конструкций и при эксплуатации.

Возможности проектирования и изготовления долговечных коррозионно-стойких железобетонных конструкций реализуются так называемой первичной защитой. Если по условиям эксплуатации этих мер недостаточно, то используют средства вторичной защиты по ограничению воздействия на конструкцию агрессивной среды. Обычно необходимость в разного рода изоляции конструкции возникает при наличии средне- и сильноагрессивных сред.

Оценку агрессивности сред и выбор способов как первичной, так и вторичной защиты конструкций производят по СНиП 2.03.11—85.

Проблемой повышения коррозионной стойкости строительных конструкций и их защитой занимаются многие лаборатории научно-исследовательских институтов и вузов обычно в тесном контакте с производственными и проектными организациями.

Периодически исследователи, разработчики, проектировщики и производственники встречаются на региональных или всесоюзных конференциях для обмена опытом, обсуждения и обобщения результатов, отбора наиболее перспективных и проверенных практикой опытного внедрения решений, в частности путем усовершенствования норм проектирования, технологии изготовления конструкций, а также выбора эффективных видов защиты от агрессивных сред.

В мае 1990 г. в Донецке состоится очередная VIII Всесоюзная научно-практическая конференция «Коррозия и защита строительных конструкций производственных зданий и сооружений».

Оргкомитетом получены тезисы около

150 сообщений, подготовленных в виде стендовых докладов, которые будут обсуждены участниками конференции. Доклады охватывают широкий спектр вопросов, связанных с долговечностью конструкций. Часть из них посвящена оценке агрессивности природных и различных технологических сред. В некоторых рассматриваются механизмы разрушающего действия компонентов среды на бетон и арматуру, предлагаются математические модели для прогноза скорости процессов и долговечности конструкций в различных средах; описываются новые методы обследований и лабораторных испытаний, разработанные приборы и приспособления. Проектные организации (Проектхимзащита, Гипроцветмет и др.) поделятся опытом проектирования, производственные (Техэнергохимпром, Укрмонтажхимзащита, Укрметаллургремонт и др.) — опытом обследований и выполнения разнообразных антикоррозионных работ. Наибольшая часть докладов посвящена различным конструктивным и в особенности технологическим разработкам. Значительная часть последних связана с использованием минеральных и органических отходов промышленности в качестве модифицирующих добавок в бетон. При этом зачастую одновременно повышаются стойкость, способностью защищать арматуру и экологический эффект.

Предлагается использовать отходы для получения или модификации лакокрасочных, мастичных и других защитных покрытий, потребность в которых так велика в строительстве и при ремонтных работах. Разработаны новые эффективные конструкционные материалы, как правило, композитные с использованием различных отходов. Так, например, применение на предприятиях Главметиза Минчермета СССР полимербетонных композиций для травильных ванн уже дало более 1 млн. р. экономии.

В этом номере нашего журнала мы публикуем часть проблемных докладов конференции и кратких сообщений.

На конференции, кроме обсуждения опубликованных докладов и сообщений, будут широко представлены исследования и разработки в виде стендовых докладов, а также экспонатов выставкярмарки, целью которой предполагается заключение хозяйственных договоров.

Конференция проводится под эгидой Всесоюзной ассоциации коррозионистов (ВАКОР), образованной при Союзе научных и инженерных обществ СССР, которая будет располагать всеми материалами конференции и издаст ее труды.

К. В. МИХАЙЛОВ, Г. И. БЕРДИЧЕВСКИЙ, доктора техн. наук, профессора,  
Ю. А. РОГАТИН, канд. техн. наук (НИИЖБ)

## Бетон и железобетон — основа современного строительства

Строительство является одной из самых материалоемких отраслей народного хозяйства страны, поэтому рациональное использование и экономия ресурсов на этапе перестройки становятся решающими факторами в обеспечении строительной программы поставками сырья, материалов, топлива и энергии. Особое значение приобретает снижение трудоемкости и повышение производительности труда при изготовлении строительных конструкций и возведении зданий и сооружений различного назначения.

Итоги 1987—1988 гг. показывают, что в некоторых регионах страны для реализации строительной программы не хватило металла, цемента, леса, кирпича и других материалов, в результате не было введено много жилых домов и объектов социально-бытового назначения. По статистическим данным в первом квартале 1989 г. по сравнению с тем же периодом 1988 г. ввод жилья уменьшился на 500 тыс. м<sup>2</sup>, сократился ввод в строй школ, профтехучилищ, дошкольных учреждений, больниц, поликлиник, клубов и Домов культуры, государственными предприятиями и организациями введены в действие основные фонды на 16,9 млрд. р., что на 400 млн. р. меньше.

Бетону и железобетону как основным конструкционным материалам строительства принадлежит важная роль в повышении технического уровня и индустриализации строительства, экономии ресурсов, ускорении ввода объектов жилищно-гражданского строительства, предприятий, зданий и сооружений высокого качества и долговечности. Эти материалы широко применяют при строительстве новых зданий и инженерных сооружений, реконструкции и капитальном ремонте. Из железобетона возводят крупнейшие объекты гражданского, производственного и транспортного назначения: многоэтажные здания, дымовые трубы, гидроэлектростанции, тепловые электростанции, многопролетные мосты, спортивные сооружения больших пролетов и многие другие объекты.

Общими предпосылками к широкому

использованию бетона являются практически неисчерпаемые запасы исходных материалов для вяжущих и заполнителей, экологическая рациональность использования в качестве сырья для цемента и заполнителей отходов промышленности, относительно низкая энергоемкость производства, сравнительная простота технологии изготовления, возможность придания зданиям из бетона любой формы и отделки. Кроме того, отсутствует реальная альтернатива выполнения возрастающих объемов жилищного и гражданского строительства из иных материалов.

Следует отметить, что мировая практика строительства выявила огромные возможности совершенствования не только форм железобетонных конструкций, но и внешнего вида бетонных поверхностей путем использования цветных цементов, мраморной крошки, высококачественной опалубки, придания различного рельефа и т. д.

Бетон и железобетон, особенно монолитный, пригодны для возведения качественного и долговечного индивидуального жилья как в городских, так и в сельских условиях. При этом для их изготовления можно использовать местные материалы и отходы производства (шлаки, золы, горные породы, дробленую солому и щепу, костру и др.).

Развитие производства и применения бетона и железобетона на современном этапе в СССР отвечает тенденциям и практике в других странах. Из промышленно развитых стран по производству бетона на душу населения на первом месте стоят: из европейских стран — Финляндия — 3 м<sup>3</sup>, ФРГ — 1,8 м<sup>3</sup>, из азиатских — Япония — 2,1 м<sup>3</sup>, из стран американского континента — США — 1,2 м<sup>3</sup>. В СССР в 1988 г. было выпущено всего 0,9 м<sup>3</sup> бетона на душу населения.

Сложившаяся в СССР структура использования этих материалов отличается от структуры промышленно развитых зарубежных стран. Так, в США выпуск сборных железобетонных конструкций составляет немногим более 10%, мелкоштучных бетонных блоков и камней —

около 35%, монолитный бетон и железобетон занимают почти 55%.

В СССР в общей структуре применения бетона и железобетона сборные составляют около 60%, среди которых почти 90% — железобетонные конструкции и изделия. Такое развитие в значительной степени определялось климатическими условиями страны и стремлением максимально механизировать производство. По основным видам строительства структура применения сборных железобетонных конструкций (в %) приведена ниже.

Жилищно-гражданское строительство, включая крупнопанельное и объемно-блочное домостроение	55
Строительство объектов промышленности, транспорта и связи	25
Сельскохозяйственное строительство	8
Водохозяйственное и гидротехническое строительство	7
Все другие виды строительства	5

В СССР создана мощная промышленность по производству сборных железобетонных конструкций и изделий широкой номенклатуры с годовым объемом выпуска около 150 млн. м<sup>3</sup>, в том числе преднапряженных более 30 млн. м<sup>3</sup>. В результате преднапряженных конструкций на душу населения в СССР производится 0,1 м<sup>3</sup>, в то время как в США всего 0,04 м<sup>3</sup>, ФРГ — 0,03 м<sup>3</sup>, Японии — 0,01 м<sup>3</sup>.

Использование сборного железобетона в индустриальном строительстве в достигнутом объеме эквивалентно суммарному высвобождению 5 млн. т стальных конструкций, 70 млн. м<sup>3</sup> лесоматериалов, 30 млрд. шт. условного кирпича.

Для строительства здания или сооружения из сборного железобетона требуется в несколько раз меньше стали, чем из строительных металлоконструкций. Так, для одноэтажных производственных зданий из сборных железобетонных конструкций удельный расход стали в натуральном исчислении на 1 м<sup>2</sup> площади составляет около 30 кг/м<sup>2</sup>, включая расход на опалубочные формы и подъемные петли. Расход же стали для одноэтажных зданий, выполненных из строительных металлических конструкций, составляет более 70 кг/м<sup>2</sup>. Трудозатраты на возведение таких зданий из сборного железобетона не превышают 1,4 (чел.ч)/м<sup>2</sup>, в то вре-

мя как из металлических конструкций они достигают 3,3...3,5 (чел.-ч)/м<sup>2</sup>.

Одноэтажных промышленных зданий с железобетонным каркасом ежегодно возводится около 20 млн. м<sup>2</sup>. Следовательно, только при этом экономится около 800 тыс. т стали в натуральном исчислении и более 20 тыс. чел.-лет.

Расход стали для металлических колонн широко применяемых одноэтажных производственных зданий составляет около 15, а сборных железобетонных колонн прямоугольного сечения — 8 кг/м<sup>2</sup>. На сборные преднапряженные железобетонные стропильные фермы пролетом 24 м расходуется стали 6,8, а на металлические фермы аналогичного назначения — 11,1 кг/м<sup>2</sup>.

На широко рекламируемые трехслойные наружные стеновые панели из пенополиуретана со стальными обшивками из тонколистовой стали толщиной 0,6...0,8 мм требуется стали 11,2...14,5, на стеновые панели из ячеистого и легкого бетонов на пористых заполнителях — 4,2...8,8 кг/м<sup>2</sup>.

Применение новых прогрессивных конструктивных решений, например стропильных ферм из высокопрочных бетонов, колонн рациональных сечений (круглых, тавровых и др.), наружных стеновых панелей из ячеистого и легкого бетонов пониженной плотности (550...600 для ячеистого и 800...900 кг/м<sup>3</sup> для легкого), повышает эффективность сборных железобетонных конструкций. Как показали разработки и практика строительства, при использовании для одноэтажных зданий покрытий из преднапряженных плит «на пролет» размером 3×24 м с легким утеплителем, укладываемых по подстропильным продольным балкам, расход стали и трудоемкость монтажа снижаются почти в 2 раза.

В журнале «Наука и жизнь» (1989 г., № 1, с. 2—7) была опубликована статья В. Толпыгина и А. Егурьева «Что нам стоит дом построить», посвященная актуальным вопросам повышения эффективности средств, направленных на капитальное строительство страны.

Одним из главных отрицательных явлений инвестиционного процесса в нашей стране авторы считают непрерывное нарастание так называемых бросовых работ. К числу таких «бросовых» комплексов они относят производство и применение сборного железобетона в капитальном строительстве. Приводятся также поразительно безответственные «подсчеты» убытков в 700 млрд. р., якобы вызванных широким применением сборного железобетона в строительстве за последние 30...35 лет.

В связи с этим остановимся на основных структурных особенностях использования железобетона в отечественном строительстве.

Как отмечалось, в промышленном строительстве используется не более 25% железобетона, производимого в стране. Остальные 75% железобетона, на который в основном расходуются многие десятки миллионов тонн и кубометров материалов, расцененных в статье как «бросовые потери», употребляются в других важных отраслях строительства, в том числе: в жилищно-гражданском (около 50%), водохозяйственном, сельскохозяйственном, транспортном и др.

Вполне очевидно, что громадное по размаху жилищно-гражданское строительство, а также десятки тысяч километров дорог, сетей связи и энергетики и др. могли бы быть реализованы с использованием преимуществ металлических конструкций. Кстати, некоторое увеличение объема производства сборного железобетона, достигнутое в последние 2...3 года, в основном без прироста заводских мощностей, по поводу которого в упомянутой статье (с. 4) приводятся не совсем корректные высказывания, было реализовано прежде всего для расширения жилищно-гражданского строительства. Не выдерживают критики и приведенные авторами исходные положения о сравнительных технико-экономических показателях для стальных и железобетонных конструкций одноэтажных производственных зданий.

Следует отметить, что в текущей двенадцатой пятилетке площадь новых расширяемых одноэтажных производственных зданий, в которых используются стальные каркасы, составляет свыше 1/3 общей площади строящихся зданий такого типа. В их числе определенную часть составляют легкие конструкции комплектной поставки, производство и применение которых будет расширяться. Определенным ограничением областей использования легких металлических конструкций является их пониженная пожаро- и коррозийная стойкость, что впрочем относится ко всем видам стальных строительных конструкций.

В целом положения статьи о развитии, становлении и состоянии железобетона в нашей стране содержат недостоверную информацию, необъективность анализа проблемы, свидетельствуют о низкой компетентности авторов и неприемлемости их рекомендаций. Авторы не владеют информацией о том, что в настоящее время имеются способы извлечения «замурованного металла» из

выбраванного бетона и железобетона и вторичного использования ресурсов, включая дробленный бетон.

Разработанная программа обеспечения населения страны жильем предусматривает увеличение мощности строительства и промышленности строительных материалов до уровня, позволяющего в 1995 г. обеспечить ввод в эксплуатацию не менее 250 млн. м<sup>2</sup> жилой площади, а к 2000 г. обеспечить каждую семью отдельной квартирой. В связи с этим перед промышленностью сборного железобетона стоит задача повышения эффективности производства, дальнейшего наращивания, а не свертывания выпуска продукции, повышения ее качества без увеличения численности персонала и при одновременном выполнении заданий по экономии стали, цемента и топливно-энергетических ресурсов. Если до последнего времени основное внимание уделялось расширению объемов производства сборного железобетона, то в настоящее время, на тринадцатую пятилетку и далее, намечается при незначительном росте общего производства ускоренный рост наиболее эффективных и перспективных видов конструкций — преднапряженных на 25%, конструкций из высокопрочных бетонов на основе новых видов вяжущих в 3,2 раза, из легких и ячеистых бетонов в 1,5 раза. В связи с развитием массового жилищного строительства объем производства мелкоступчатых изделий и блоков из ячеистого бетона, в том числе безавтоклавного, предполагается увеличить в 5...10 раз.

Утвержденная ГКНТ государственная научно-техническая программа «Стройпрогресс-2000» предусматривает в основном дальнейшее совершенствование различных железобетонных конструкций с применением новых эффективных материалов и автоматизации производства. Выполнение этой программы должно обеспечить к 2000 г. повышение производительности труда в 2,5 раза по сравнению с 1990 г., сокращение расхода металла на 30%, цемента на 35%, топлива на 40%.

В заключение следует отметить, что для объективного определения рациональных областей применения железобетонных и металлических конструкций необходимо учитывать различные факторы, однако для получения правильных исходных данных по материалу, трудоемкости и капитальным затратам надлежит для сравнения принимать конструктивные решения, отвечающие современным требованиям научно-технического прогресса и степени их освоения.

## Эффективность повышения долговечности конструкций производственных зданий с агрессивными средами

Производственные здания составляют значительную часть основных фондов промышленных предприятий, должны обеспечивать размещение в них и нормальную работу технологического оборудования и машин, производственную деятельность людей в течение длительного срока эксплуатации.

Коррозия материалов и конструкций наносит значительный ущерб народному хозяйству, препятствует эффективному использованию основных производственных фондов в агрессивных средах и приводит к увеличению расходов на их эксплуатацию. Ежегодный ущерб от коррозии строительных конструкций превышает 4 млрд. р. при потерях металла более 1,5 млн. т [1].

Непрерывно возрастающие объемы технического перевооружения и реконструкции промышленных предприятий, создание новых технологий и интенсификация производства требуют наиболее рационального использования материальных и финансовых средств при возведении и эксплуатации производственных зданий и сооружений.

В современных условиях развития промышленности и перехода на новые методы хозяйствования одной из важных задач является повышение долговечности строительных конструкций с экономическим обоснованием принимаемых хозяйственных и проектных решений с ориентацией на конечные результаты.

Экономические обоснования повышения долговечности строительных конструкций базируются на основных положениях, изложенных в методических материалах СЭВ по стандартизации [2, 3], рекомендательных документах [4...7].

Методика определения наиболее экономичного решения антикоррозионной защиты предусматривает выбор альтернативных (не менее двух) вариантов, по каждому из которых рассчитываются затраты на его осуществление и результаты применения (изменение эксплуатационных затрат и издержек).

Интегральный экономический эффект Э рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = [(Z_{н1} - Z_{н2}) + (Z_{э1} - Z_{э2})] A_2, \quad (1)$$

где  $Z_{н1}$  и  $Z_{н2}$  — первоначальные затраты на возведение сравниваемых конструкций и их защиту от коррозии по сравниваемым вариантам;  $Z_{э1}$  и  $Z_{э2}$  — эксплуатационные затраты и издержки, учитываемые по сравниваемым вариантам за срок службы производственных зданий;  $A_2$  — объем внедрения варианта с большей долговечностью конструкций.

Долговечность строительных конструкций — свойство длительно сохранять работоспособность с необходимыми перерывами на ремонты вплоть до предельного состояния, при котором дальнейшая эксплуатация конструкции невозможна из-за физического износа, а ее восстановление нецелесообразно из-за морального старения производственного здания в целом. Долговечность конструкции характеризуется межремонтными сроками службы — чем меньше капитальных ремонтов за срок службы производственного здания, тем выше долговечность конструкции.

Для учета различий, вытекающих из одновременности рассматриваемых в формуле (1) затрат и их приведения к одному моменту времени (базе приведения), используют коэффициент приведения  $\alpha_t$ , определяемый по формуле

$$\alpha_t = (1 + E)^t, \quad (2)$$

где  $E$  — норматив приведения (дисконтирования) разновременных затрат, равный 0,10;  $t$  — время в годах между моментом осуществления затрат и началом расчетного периода (базой приведения).

За базу приведения принимается начало первого года эксплуатации производственных зданий.

Затраты по годам, осуществляемые до начала эксплуатации, приводятся к началу расчетного года (базе приведения) умножением на коэффициент  $\alpha_t$ , а эксплуатационные затраты делятся на соответствующий им коэффициент  $\alpha_t$ .

В составе первоначальных затрат на возведение конструкций учитывается полная расчетная (сметная) стоимость, которая включает затраты на изготовление конструкций с учетом стоимости защиты от коррозии, их транспорти-

рование с завода-изготовителя на строительную площадку, возведение конструкций и антикоррозионную защиту, выполняемую на строительной площадке.

В необходимых случаях при оценке эффективности проектных решений с применением новых материалов и изделий, выпуск которых еще не освоено промышленностью, следует учитывать дополнительные капитальные вложения в производственную базу сопряженных со строительством отраслей.

При этом первоначальные затраты  $Z_n$  определяют по формуле

$$Z_n = \left( Z_d + \sum_1^n Z_{м.с} \right) \alpha_t, \quad (3)$$

где  $Z_d$  — затраты на возведение сравниваемых конструкций и их защиту от коррозии;  $Z_{м.с}$  — капитальные вложения в сопряженные отрасли промышленности, изготовляющие и поставляющие строительству новые материалы и изделия, используемые при возведении производственных зданий и защите конструкций от коррозии;  $n$  — число видов материалов и изделий, отличающихся в сравниваемых вариантах конструкций.

Капитальные вложения в сопряженные отрасли определяют по формуле

$$Z_{м.с} = E_n K_n P, \quad (4)$$

где  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  $K_n$  — удельные капитальные вложения в производственную базу сопряженных отраслей, приведенные к началу их использования в строительстве;  $P$  — расход материалов и изделий, используемых для изготовления и защиты от коррозии на единицу сравниваемых строительных конструкций.

Нормативный коэффициент эффективности  $E_n$  и удельные капитальные вложения  $K_n$  принимают по действующим нормативам.

Рассчитанные затраты суммируют и в соответствии с формулой (3) приводят к началу эксплуатации здания путем умножения на коэффициент приведения  $\alpha_t$ .

Эксплуатационные затраты и издерж-

ки для каждого из рассматриваемых вариантов конструкций и их защиты от коррозии рассчитывают за весь срок службы производственного здания. При этом предполагается, что здания независимо от физико-механических воздействий, атмосферных и агрессивных производственных сред должны обладать установленным нормативным сроком службы.

Затраты и издержки  $Z_3$ , осуществляемые в процессе эксплуатации зданий за весь срок службы, определяют по формуле

$$Z_3 = \frac{C_{\Phi}}{\alpha_t} + \sum_t \frac{C_{кр}}{\alpha_t} + \sum_t \frac{C_{з.к}}{\alpha_t} + \frac{C_{т.р}}{E} + \frac{C_{т.с}}{E} + \sum_t \frac{C_{п.к}}{\alpha_t}, \quad (5)$$

где  $T_c$  — срок службы производственного здания, в течение которого учитывают эксплуатационные затраты (но не более 50 лет);  $C_{\Phi}$  — затраты на приобретение оборудования для специальных видов защиты (например, электрохимической) в процессе эксплуатации производственных зданий;  $C_{кр}$  — затраты на один капитальный ремонт строительных конструкций, проводимый в соответствующие годы;  $C_{з.к}$  — затраты на восстановление защиты конструкций от коррозии;  $C_{т.р}$  — затраты на среднегодовой текущий ремонт конструкций;  $C_{т.с}$  — ежегодные затраты на техническое содержание здания и оборудования для специальных видов защиты, если они не учтены в составе текущих ремонтов;  $C_{п.к}$  — прямые и косвенные потери от коррозии строительных конструкций при эксплуатации производственных зданий;  $t$  — время в годах между моментом производства затрат и началом первого года эксплуатации зданий.

При учете затрат на капитальные ремонты  $t = T_{к.р}$  — периодичности проведения капитальных ремонтов; при учете затрат на возобновление антикоррозионной защиты  $t = T_{з.к}$  — сроку службы вторичной защиты от коррозии; при учете потерь от коррозии  $t$  принимается равным  $T_{к.р}$  или  $T_{з.к}$ ; в первом члене формулы (5)  $t$  — год приобретения оборудования.

Входящие в формулу (5) слагаемые затрат, осуществляемых в процессе эксплуатации зданий и сооружений, в зависимости от времени  $t$  приводятся к началу эксплуатации путем деления на коэффициент приведения  $\alpha_t$ , определяемый по формуле (2).

Стоимость капитального ремонта для сравниваемых вариантов определяют по формуле

$$C_{к.р} = \frac{C_{зд} N_{к.р} T_{к.р}^{\#} d_{к.с}}{100 D_{к.н}} + C_{з.к}, \quad (6)$$

где  $C_{зд}$  — сметная стоимость единицы измерения здания (1 м<sup>3</sup> строительного объема, 1 м<sup>2</sup> производственной площади);  $N_{к.р}$  — расчетный норматив среднегодовых затрат на капитальный ремонт здания;  $T_{к.р}^{\#}$  — нормативная периодичность капитального ремонта конструкций;  $d_{к.с}$  — доля стоимости конструкций в общей стоимости здания;  $D_{к.н}$  — число конструкций на единицу измерения здания, в натуральных единицах измерения рассматриваемых конструкций;  $C_{з.к}$  — стоимость возобновления защитных покрытий на единицу рассматриваемой конструкции, определяемая по проектным данным. Среднегодовые затраты на текущий ремонт вычисляют по формуле

$$C_{т.р} = q \frac{(C_{к.р} - C_{з.к})}{T_{к.р}}, \quad (7)$$

где  $q$  — коэффициент, зависящий от модуля поверхности конструкции  $M_{п.р}$  в равном отношении площади внешней поверхности конструкции к ее объему. Для железобетонных массивных конструкций (например, фундаментов) при  $M_{п.р} \leq 5$  м<sup>2</sup>  $q = 0,35$ ; для железобетонных ферм, плит покрытий и перекрытий, а также для металлических конструкций  $q = 0,05$ ; для остальных железобетонных элементов производственных зданий  $q = 0,20$ .

К народнохозяйственным потерям от коррозии относятся материальные, трудовые, энергетические и финансовые издержки, обусловленные потерей поврежденных коррозией материалов и продукции, а также частичным или полным выходом из строя основных фондов, что приводит к снижению объема и потерям выпускаемой продукции, а также затраты по возмещению ущерба.

Потери, рассчитываемые при сравнении проектных решений повышения долговечности строительных конструкций в агрессивных средах, учитывают потери из-за возможного простоя основных производственных фондов в периоды проведения ремонтно-восстановительных работ или потери от снижения выпуска продукции; потери продукции из-за сквозной коррозии элементов зданий, а также затраты на возмещение ущерба от загрязнения окружающей среды и смежным отраслям народного хозяйства.

Потери при выпуске неоднородной

продукции от возможного простоя основных производственных фондов в периоды проведения ремонтов строительных конструкций определяют по формуле

$$C_{п.о} = E_{п} K_{об} t_{п.о}, \quad (8)$$

где  $K_{об}$  — стоимость основного технологического оборудования предприятия, простаивающего в связи с ремонтом строительных конструкций или восстановлением антикоррозионной защиты;  $t_{п.о}$  — время, в течение которого простаивает размещенное в здании основное технологическое оборудование при проведении ремонтов строительных конструкций.

При выпуске предприятием однородной продукции потери, связанные с простоем производства и снижением выпуска продукции, можно оценить по формуле

$$C_{в.п} = (Ц - С) В t_{п.п}, \quad (9)$$

где  $Ц$  — единичная оптовая цена сбыта продукции;  $С$  — единичная себестоимость продукции;  $В$  — средний однодневный объем выпуска продукции;  $t_{п.п}$  — время простоев производства при проведении ремонтов — по дням простоя.

Потери от утечки или порчи материалов и продукции от сквозной коррозии конструктивных элементов зданий (например, покрытий и перекрытий складов, хранилищ и др.) вычисляют исходя из утечки продукции из-за сквозной коррозии и оптовой цены потерянной продукции.

Потери из-за порчи продукции и стоимость возмещения ущерба, наносимого смежным отраслям промышленности и сельского хозяйства из-за нарушения поставки продукции и загрязнения окружающей среды, оценивают соответствующими актами, составленными на действующих предприятиях с учетом непроизводительных расходов и штрафов.

Учет прямых и косвенных потерь от коррозии при проектировании производственных зданий новых и реконструкции действующих предприятий приобретает решающее значение при необходимости строительства очистных сооружений, разработке безотходных технологических процессов и предотвращении загрязнения окружающей среды.

Например, снижение степени агрессивности среды в производственных зданиях путем устройства усиленной вентиляции — один из наиболее рекомендуемых способов сохранения долговечности конструкций — невозможно решать без соответствующих мероприятий по очистке выводимых продуктов,



вредных для здоровья человека и окружающей среды.

Проведенные технико-экономические расчеты показывают, что эффективность антикоррозионной защиты достигается главным образом повышением коррозионной стойкости материалов и долговечности конструкций.

Экономический эффект от применения добавок в бетоне, повышающих долговечность конструкций, составляет 5...15 р. на 1 м<sup>3</sup> бетона в зависимости от вида конструкций и степени агрессивности среды.

Устройство защитного слоя бетона повышенной толщины и плотности требует 7...16 р. на 1 м<sup>2</sup> нижней поверхности конструкций, применение коррозионно-стойких бетонов (полимербетона, кислотостойкого бетона, серного бетона и др.) 10...15 р. на 1 м<sup>2</sup> защищаемой поверхности.

Для защиты от коррозии арматурной стали и закладных деталей необходимо 20...35 р. на 1 т стали, для защиты химически стойкими лакокрасочными покрытиями металлических конструкций — 3...10 р/м<sup>2</sup>, железобетонных конструкций — 2...8 р/м<sup>2</sup>.

Для уточнения главных направлений борьбы с коррозией и обеспечения оптимальной долговечности строительных конструкций производственных зданий, особенно при реконструкции и техническом перевооружении предприятий, необходимо разрабатывать методы диагностики технического состояния конструкций, определения степени воздействия различных агрессивных сред на бетон и металл, учитывать фактические потери от коррозии, а также использовать ЭВМ при проектировании и экономической оценке различных вариантов антикоррозионной защиты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агаджанов В. И. Экономика повышения долговечности и коррозионной стойкости строительных конструкций. — М.: Стройиздат, 1988. — 144 с.
2. Методический материал по стандартизации СЭВ: Защита от коррозии в строительстве. Методы определения экономической эффективности / (ММ6-83).
3. Методический материал по стандартизации СЭВ: Защита от коррозии в строительстве. Метод определения экономических потерь / (ММ 10-85).
4. Рекомендации по учету и отчетности о потерях от коррозии и затратах на противокоррозионную защиту на предприятиях стройиндустрии и в строительных организациях / НИИЖБ. — М.: Стройиздат, 1984. — 40 с.
5. Рекомендации по технико-экономической оценке применения добавок в бетон. — М.: НИИЖБ, 1985. — 79 с.
6. Рекомендации по расчету экономической эффективности применения лакокрасочных покрытий для защиты бетонных и железобетонных конструкций от действия агрессивных сред. — М.: НИИЖБ, 1986. — 41 с.
7. Методические рекомендации по комплексной оценке эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса / ГКНТ и АН СССР, М., 1988. — 11 с.

УДК 624.1:620.169.1

Ф. М. ИВАНОВ, д-р техн. наук, проф., Н. К. РОЗЕНТАЛЬ, канд. техн. наук (НИИЖБ)

## Оценка агрессивности среды и прогнозирование долговечности подземных конструкций

Вопрос о долговечности железобетонных конструкций приобрел в настоящее время значение технико-экономического показателя качества строительства. Зарубежные источники показывают широкий разброс данных о фактических сроках службы конструкций различного вида (см. таблицу).

Материал и конструкция	Срок службы, годы		
	нижний предел	средний предел	верхний предел
Обычный бетон	30	70	—
Автоклавный легкий бетон	10	35	60 + а
Бетонные блоки	10	45	70 + а
Сборный железобетон толщиной, см:			
4	15	40	60 + а
8	25	55	80
12	30	70	Неопределен
Плиты	15	40	60 + а

Примечания: 1 По данным К. Окада. 2. Срок +а можно учитывать при очень умеренном воздействии окружающей среды.

В процессе эксплуатации, т. е. во времени и при различных воздействиях, долговечность железобетона зависит от многих факторов: химического состава и физических свойств среды, условий контакта внешней среды и поверхности конструкции, свойств бетона и арматуры, особенностей конструкции.

Наши нормы проектирования защиты строительных конструкций от коррозии дают оценку степени агрессивности жидких, твердых и газообразных сред. Они содержат самые дифференцированные в мировой практике показатели агрессивности различных веществ, но охватывают лишь часть возможных составов природных и техногенных сред и различных условий контакта с поверхностью бетона. В то же время в оценке степени агрессивности не учитываются напряженное состояние бетона и арматуры и конструктивные особенности строительных элементов.

Простое расширение перечня агрессивных компонентов и их концентраций, детализация условий работы, характеристик материалов и конструкций осложняют нормативный документ и не решают задачи. По-видимому, следует

учесть прежде всего особенности проектирования на заданные сроки службы несущих железобетонных конструкций. Практически их следует проектировать с заданной вероятностью на невозможность отказа, причем большая часть из них должна сохранять первоначальные свойства весьма длительные сроки — в течение 50...100 лет. В связи с этим рекомендуется применять такие материалы, которые за этот срок не ухудшат своих свойств и в которых не должны проходить процессы коррозии или они должны затухать во времени.

Для сооружений с заведомо короткими сроками службы прогноз их стойкости следует рассчитывать.

Необходим новый подход к определению сроков службы, основанный на теории физико-химических процессов коррозии, их классификации с привлечением математического моделирования и созданием компьютеризованной методологии прогноза.

Уже в течение нескольких лет предпринимается попытка изучить кинетику отдельных коррозионных процессов, получить эмпирические коэффициенты скорости этих процессов и на этой основе прогнозировать сроки службы бетона. При таком подходе нормы агрессивности должны учитывать скорость процесса, рассчитывать глубину разрушения или накопление в исследуемом бетоне агрессивного вещества или продуктов его взаимодействия с цементным камнем.

При большом разнообразии состава агрессивных сред и условий нельзя разработать универсальные методы расчета, однако такие расчеты можно осуществить для отдельных достаточно типичных и распространенных случаев. В частности, можно создать достаточно общую методологию расчета сроков службы бетона или сохранения им защитных свойств по отношению к арматуре.

Ближайшие 5...10 лет можно считать переходными от существующей системы нормирования показателей агрессивности с качественной оценкой по отдельным параметрам к новой с максималь-

ным использованием сроков службы и введением в нормы показателя «неагрессивна» при определенных свойствах бетона.

Преимущество расчета степени агрессивности в том, что в зависимости от вида конструкции и ее ответственности можно заранее определить параметры предельного состояния в момент потери эксплуатационной пригодности, т. е. допустимое снижение прочности бетона, арматуры или сцепления между ними или изменение размеров конструкции, в частности уменьшение толщины защитного слоя бетона.

Значение допустимых коррозионных потерь бетона подземных железобетонных конструкций зависит от вида конструкций и условий передачи нагрузки с конструкции на грунт. Для фундаментов, передающих нагрузку на грунт через нижнюю грань, защитную обычно гидроизоляционным слоем, критическим является повреждение бетона на толщину защитного слоя, что вызывает коррозию стальной арматуры. Для неармированных фундаментов допустимые коррозионные потери бетона следует определять несущей способностью неповрежденной части сечения элемента.

Для свай-стоек допустимое разрушение бетона зависит от толщины защитного слоя. При использовании свай, передающих нагрузку от собственной массы и массы вышесмонтированных конструкций, имеет значение трение сваи о грунт и прочность поверхностного слоя бетона. Очевидно, что прочность на сдвиг бетона наружного слоя, подвергшегося действию агрессивной среды, не должна быть менее соответствующей прочности грунта.

Для тонкостенных элементов, контактирующих одной поверхностью с воздухом (коллекторы, трубы, каналы), выход из строя может быть связан с потерей защитного действия бетона, коррозией арматуры, разрушением защитного слоя и потерей сцепления стальной арматуры с бетоном.

Расчет сроков службы возможен, прежде всего, для коррозии I и II видов, а также для сульфатной коррозии. Конкретная методика расчетов на основании теоретических предпосылок разработана НИИЖБом, НИИпромстроем, МАДИ и др. Методики должны быть доработаны и использованы при рассмотрении главы СНиП 2.03.11—85. Здесь можно изложить только основные методологические принципы.

Разработанные конкретные виды расчетов методически доведены до получения практически приемлемых данных.

Для коррозии I вида (выщелачива-

ние бетона мягкими водами) — это омывание поверхности бетона, фильтрация воды через бетон. Для коррозии II вида (растворение цементного камня кислотами или гидролизующимися солями) — это растворение с поверхности с сохранением продуктов коррозии на месте реакции или без него, растворение при фильтрации с уплотнением продуктами реакции. Для коррозии III вида (сульфатной) — это накопление сульфатов в бетоне в виде гипса и этрингита.

Потеря бетоном защитного действия по отношению к стали и развитие коррозии стальной арматуры объясняются нейтрализацией бетона кислотными газами или прониканием в бетон хлорид-ионов из грунтовой влаги.

Проблема повышения долговечности железобетонных конструкций непосредственно связана с проблемой защиты окружающей среды. Необходимо учитывать, что грунты и грунтовая вода являются медленно обновляющимися средами: вынос вредных компонентов, процессы их самоочищения сильно заторможены. В связи с трудностью изучения потоков агрессивных веществ в грунтовых водах возникает опасность заражения ими территорий с ранее построенными зданиями и сооружениями.

В настоящее время агрессивность грунтовых вод оценивают, как правило, данными химического анализа единовременно отобранных проб воды и редко при повторном или систематическом их отборе. В то же время известно, что концентрация агрессивных веществ в грунтовой воде в течение года может изменяться, тем более при вводе в эксплуатацию новых производств, использующих агрессивные технологические жидкости.

При нормировании агрессивности жидких сред необходимо прогнозировать состав среды во времени и изменения гидрогеологических условий вокруг сооружения. Проблема эта сложная, требует привлечения специалистов по инженерной геологии и, в частности, по гидрогеологии. Сложность задачи связана также с наблюдающимся повсеместно в городах и населенных пунктах повышением уровня грунтовых вод и подтопления территорий.

Проблема защиты окружающей среды, экологические аспекты деятельности человека приобретают все большее значение. Создание безвредной для человека окружающей среды совпадает с программой создания благоприятных условий эксплуатации строительных конструкций. Высокая культура эксплуатации — устранение проливов, газовых выбросов агрессивных техногенных ве-

ществ, нормально действующая вентиляция и снижение влажности воздуха в помещениях — резко снижают возможность и интенсивность коррозии бетона и арматуры несущих строительных конструкций, подвергающихся действию не только жидких сред, но и жидкости, конденсирующейся на их поверхности.

В нормах обязательно должно присутствовать требование включения в проекты промышленных предприятий надежной химически стойкой изоляционной аппаратуры, трубопроводов, емкостей, контактирующих с агрессивными веществами. Обязательно также устройство уловителей, нейтрализаторов, сборных емкостей для любых аварийных ситуаций, связанных со сбросом агрессивных жидкостей.

Степень агрессивного воздействия среды на железобетонные конструкции зависит от свойств не только среды, но и материала конструкции, а также особенностей конструкции. Решающим является процесс взаимодействия среды и цементного камня бетона, который может быть усиливающимся во времени, замедляющимся или затухающим до полного прекращения. Для подземных сооружений соотношение между агрессивностью среды и свойствами бетона должно содействовать затуханию процессов коррозии. Этого можно достигнуть приданием непроницаемости бетону с помощью состава и технологии или постепенного уплотнения в результате выделения продуктов реакции в порах бетона или образования на его поверхности стойких и плотных пленок.

Процессы, которые приводят к потере конструкциями эксплуатационной пригодности, зависят от температуры, проницаемости бетона, структуры цементного камня, которую невозможно однозначно охарактеризовать только средним минералогическим составом цементного клинкера, В/Ц и условиями твердения в общем виде (пропариванием или нормально-влажным). На структуру и ее стойкость во времени влияют и такие свойства материалов, как тонкость помола цемента, содержание в нем гипса, добавок различного вида и др.

Дифференциация показателей агрессивности в нормах должна быть выполнена не только в зависимости от свойств материала конструкции, но и от параметров самой конструкции. Должна быть разработана классификация железобетонных конструкций по степени их сопротивляемости агрессивным воздействиям в зависимости от массивности (принятое в настоящее время деление на массивные и тонко-

стенные) и от конфигурации (возможности задержки на поверхности агрессивной среды), степени и вида армирования, напряженного состояния.

В дальнейшем методы прогнозирования долговечности подземных железобетонных конструкций должны учитывать:

совершенствование расчета скорости коррозии бетона с учетом замедляющего действия контактного слоя грунта, его фильтрационной и диффузионной проницаемости, их изменения из-за накопления в контактном слое продуктов коррозии бетона;

процессы понижения проницаемости

бетона при длительном нахождении во влажном грунте, продолжающейся гидратации цемента и накопления в бетоне продуктов взаимодействия с внешней средой;

капиллярное поднятие растворов солей в бетоне, высоту подъема, интенсивность капиллярного потока растворов, колющее действие солей и продуктов взаимодействия их с цементным камнем, глубину расположения верхнего горизонта грунтовых вод, капиллярные свойства грунта, температурно-влажностные условия, определяющие скорость испарения влаги из бетона; прогноз процессов коррозии стальной

арматуры на основе расчета накопления хлористых солей в защитном слое, нейтрализацию его кислотными газами в тонкостенных конструкциях, оценку проницаемости бетона для кислорода и определение кинетики коррозии стальной арматуры;

коррозионные процессы, вызываемые биологическими факторами, например в подземных коллекторах сточных вод сульфатредуцирующими бактериями;

влияние напряженного состояния бетона и арматуры на развитие коррозионных процессов и конструктивных особенностей железобетонных элементов.

УДК 691.327.536.485

В. С. ГЛАДКОВ, канд. техн. наук (ВНИИ транспортного строительства)

## О морозосолеустойкости бетона

Конструкции из бетона, замороженные в соленый лед, довольно быстро повреждаются, хотя в этих случаях температура в бетоне не переходит через 0°C.

Такой вид повреждения бетона морских сооружений впервые отмечен в работе [1]. Описаны также случаи разрушения бетона конструкций, которые очищали зимой от снега и наледи поваренной солью [2]. Аналогичные явления наблюдались при эксплуатации других конструкций, подвергавшихся воздействию засоленных вод (льда) и постоянных отрицательных температур [3].

Во ВНИИ транспортного строительства исследовали морозосолеустойкость бетона конструкций морского гидротехнического строительства. Поводом к этому послужили многочисленные случаи повреждения конструкций на побережье Черного и других морей. Так, осыпание бетона свай наблюдалось после кратковременного их вмерзания в ледяные поля, а повреждение тетраподов — после образования на них ледяных шапок в зимнюю штормовую погоду.

Особенностью методики исследований была количественная оценка повреждений бетона на ранней стадии, поскольку лишь фиксация значительных повреждений в виде трещин, осыпаний [1, 2, 4] не позволяла оценить особенности процесса.

Степень повреждения использованных бетонов (табл. 1) определяли изменением прочности при изгибе и сжатии, остаточного динамического модуля упругости, массы образцов и ростом оста-

Таблица 1

№ состава	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц	Вид добавки	Объем во-влеченного воздуха, %
1	480	0,440	—	0,6
2	360	0,600	—	0,7
3	380	0,550	—	0,6
4	400	0,520	—	0,8
5	487	0,435	—	0,8
6	405	0,440	СНВ+СДБ	2,0
7	316	0,620	—	1,2
8	470	0,405	СНВ+СДБ	4,8
9	480	0,405	ГКЖ-94+СДБ	1,6
10	470	0,405	СНВ+СДБ	2,4
11	500	0,420	—	0,8

точных деформаций расширения. Опыты проводили на образцах размерами 4×4×16 и 2,5×5,5×25 см, для изготовления которых использовали материалы, позволяющие получать высокоморозостойкие бетоны до F1000: портландцемент Белгородского завода С<sub>3</sub>A=6%, содержание гранулированного шлака до 8%, чистый песок с M<sub>к</sub>=2,2...2,4, гранитный щебень фракций 5...10 и 10...20 мм.

В первых опытах было установлено, что повреждение насыщенного и замороженного в растворе 3,5%-ного NaCl бетона может развиваться довольно быстро и выражается снижением прочности и динамического модуля упругости, а также ростом остаточных деформаций (рис. 1). Масса образцов в начальной стадии растет, а затем уменьшается из-за осыпания ребер и граней. Рост деформаций бетона наблюдался как после оттаивания, так и в замороженном состоянии при практически постоянной отрицательной температуре (см. рис. 1). В то же время образцы бетона, замороженные в питьевой воде, повреждений не получали, и прочность после оттаивания сохранялась.

Для повреждения бетона, замороженного в лед, наибольшее значение имеет соленость льда, а не состав жидкой среды, в которой предварительно насыщали бетон. Это наблюдалось на образцах бетона состава 2 годичного возраста после 14 сут насыщения и последующего замораживания в течение 11 сут при температуре -12±5°C (табл. 2).

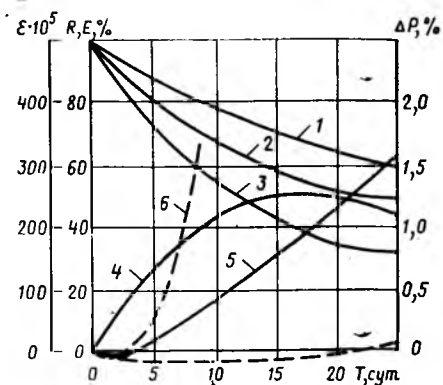


Рис. 1. Изменение физико-механических свойств образцов бетона (состав 1), замороженных в растворе NaCl. 1, 2 — прочность при сжатии и изгибе; 3 — динамический модуль упругости; 4 — приращение массы; 5 — остаточная деформация расширения после оттаивания; 6 — деформации расширения в замороженном состоянии (7 — в питьевой воде); — температура замораживания -12±5°C; — — — — — то же -10±1°C. Возраст к началу замораживания: 1...5 — 90 сут; 6, 7 — 28 сут

Таблица 2

Среда вмораживания	Среда предварительного насыщения	Относительный динамический модуль упругости, %	Деформация расширения $\epsilon \cdot 10^6$	Прочность, %		Увеличение массы, %
				при изгибе	при сжатии	
Питьевая вода	Питьевая вода	98	5	100	100	0,18
То же	Раствор 3% NaCl	98	0	93	91	0,09
Раствор 3% NaCl	Питьевая вода	69	119	64	80	1,41
То же	Раствор 3% NaCl	56	50	82	90	0,74

Разрушение бетона наиболее интенсивно протекает при отрицательной температуре, превышающей эвтектическую температуру используемого в качестве среды раствора соли. В опытах с образцами составов 3 и 4, подвергшимися в возрасте 12 сут насыщению в течение 7 сут и последующему замораживанию в растворе 3%-ного NaCl в течение 18 сут, установлено, что образцы, замороженные при  $-16^\circ\text{C}$ , полностью разрушились. Замороженные же при температуре  $-37 \pm 12^\circ\text{C}$  образцы потеряли лишь некоторую часть механических свойств (табл. 3). Это объясняется, видимо, тем,

Таблица 3

Среда вмораживания	Относительный динамический модуль упругости, %	Прочность при изгибе, %
Раствор NaCl при $-16^\circ\text{C}$	Образцы разрушились полностью	
Раствор NaCl при $-37 \pm 12^\circ\text{C}$	63/88	70/87
Питьевая вода при $-37 \pm 12^\circ\text{C}$	96/96	89/102

Примечание. Перед чертой — для состава 3, после черты — для состава 4.

что при замораживании эти образцы лишь часть времени находились при температуре выше эвтектической (для раствора NaCl  $-21,2^\circ\text{C}$ ).

В другом опыте образцы состава 4 после 5 мес твердения, насыщенные в питьевой воде в течение 1 мес, замораживали в 3%-ных растворах  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , NaCl,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$  при температуре  $-12 \pm 5^\circ\text{C}$ . Длительность замораживания составляла 14 сут. Изменения физико-механических свойств бетона после оттаивания показаны в табл. 4.

Таблица 4

Среда вмораживания	Температура эвтектики, $^\circ\text{C}$	Изменение масс, %	Деформация расширения $\epsilon \cdot 10^6$	Прочность, %	
				при изгибе	при сжатии
Питьевая вода		$\pm 0,14$	—	100	100
Раствор $\text{MgSO}_4$	-6,9	$\pm 0,14$	—	99	100
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	-7,6	$\pm 0,12$	—	90	94
NaCl	-21,2	-1,82	77	87	75
$\text{MgCl}_2$	-33,6	-1,39	4	95	81
$\text{CaCl}_2$	-55	-1,28	43	92	70

Наиболее поврежденными оказались образцы, замороженные в растворах солей с температурой эвтектики ниже температуры замораживания. Это согласуется с данными [2]. В опытах с образцами состава 3, которые после 5 мес твердения насыщали и замораживали при температуре  $-12 \pm 5^\circ\text{C}$  в растворах NaCl разной концентрации (0...3,4%), выявлена корреляция между степенью повреждения бетона и приращением его массы из-за поглощения рассола из соленого льда. Характерно, что на стадии, предшествующей осыпанию, рост массы образцов был тем больше, чем выше концентрация соли в среде вмораживания и чем длительней процесс вмораживания (рис. 2). Повреждение бетона тем значительней, чем больше приращение массы образцов, независимо от концентрации соли в среде вмораживания или длительности замораживания (рис. 3).

При замораживании бетонов в морской, в том числе синтезированной, воде получены аналогичные результаты. Так, в образцах составов 5...7 после пропаривания и 5 сут насыщения питьевой водой, замороженных в синтезированной морской воде разной солёности в течение 55 сут при температуре  $-8 \pm 4^\circ\text{C}$ , прочность заметно снизилась (табл. 5).

Таблица 5

№ состава	Прочность при изгибе, % после замораживания в воде солёностью, г/л		Морозостойкость, циклов
	10	34	
5	90	25	70
6	96	52	200
7	48	36	6

Испытание образцов этих же бетонов на морозостойкость по ГОСТ 10060—76 с оттаиванием в воде солёностью 34 г/л показало, что между морозостойкостью по ГОСТ 10060—76 и морозосолеустойкостью нет удовлетворительного соответствия: при значительной разнице в морозостойкости (6...200 циклов) степень повреждения бетонов при испытании на морозосолеустойкость отличается незначительно.

Учитывая большое разнообразие условий эксплуатации конструкций (состав и солёность среды, уровень и длительность воздействия отрицательных температур), следует, видимо, разработать специальную методику определения морозосолеустойкости бетона. Это важно, поскольку существуют технологические меры повышения морозосолеустойкости

Рис. 4. Зависимость повреждения бетонов, замороженных в морской воде солёностью 34 г/л от степени их насыщения. Цифрами обозначены номера составов

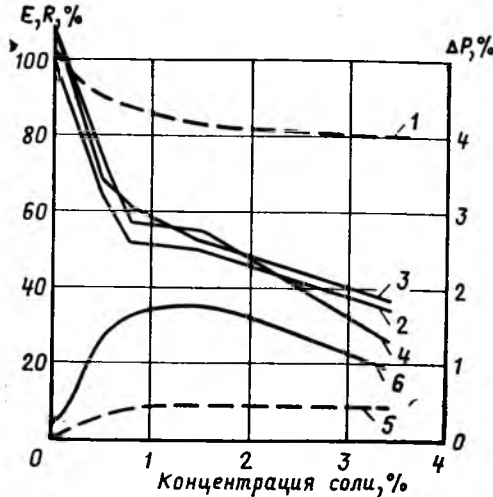


Рис. 2. Изменение физико-механических свойств образцов бетона (состав 3), замороженных в растворах NaCl разной концентрации 1, 2 — динамический модуль упругости; 3, 4 — прочность при изгибе и сжатии; 5, 6 — изменение массы; — — — длительность замораживания 7 сут; — — — — — то же 28 сут

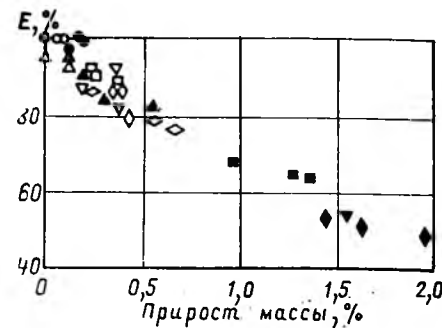
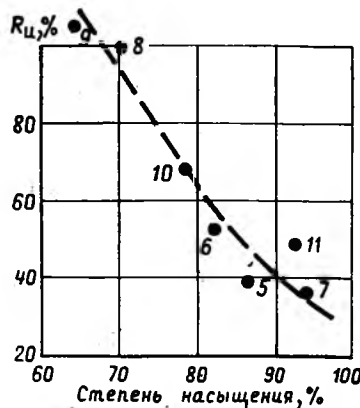


Рис. 3. Зависимость снижения динамического модуля упругости от приращения массы образцов бетона (состав 3), замороженных в растворах NaCl разной концентрации  $\circ$  — 0%;  $\triangle$  — 0,2%;  $\square$  — 0,5%;  $\nabla$  — 0,8%;  $\bullet$  — 1,5%;  $\blacktriangle$  — 3,4%;  $\circ$   $\square$   $\nabla$  — длительность замораживания 7 сут;  $\bullet$   $\blacktriangle$   $\blacksquare$   $\blacktriangledown$  — то же 28 сут





бетона. Так, испытания составов 5...11, отличающихся благодаря применению химических добавок структурой пор, показали, что морозостойкость зависит (рис. 4) от степени насыщения пор, характеризующей долю капиллярных пор в их общем объеме. Выявленный положительный эффект введения в бетонную смесь добавок ГКЖ-94 и СНВ

использовали в производстве гидротехнических свай для причальных сооружений на северном побережье Черного моря, что повысило их долговечность, подтвержденную эксплуатацией в течение более 15 лет.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адамчик К. А. К вопросу о причинах разрушения бетона морских сооружений в зоне переменного уровня и о мерах борьбы

с разрушением // Коррозия бетона и меры борьбы с ней. — Л.: Изд-во АН СССР, 1954. — С. 227—230.

- Кореньюк А. Г. Разрушение бетона при одновременном воздействии водного раствора соли и мороза // Бетон и железобетон. — 1974. — № 11. — С. 38—39.
- Бугрим С. Ф., Андреев В. В. Методы защиты бетона при воздействии засоленных вод и отрицательных температур // Строительство трубопроводов. — 1980. — № 3. — С. 17—18.
- Адамчик К. А. Коррозионная морозостойкость бетона // Тр. НИИЖБ. Вып. 22. — М.: Госстройиздат, 1961. — С. 105—118.

УДК 666.972.16

В. Г. БАТРАКОВ, д-р техн. наук, Е. С. СИЛИНА, канд. техн. наук (НИИЖБ)

## Применение химических добавок — способ первичной защиты железобетона

Цементный камень, являясь источником образования капиллярно-пористой структуры в бетоне, определяет в основном его стойкость в условиях воздействия различных агрессивных сред. Существует несколько способов первичной защиты бетона от коррозии. Основной из них — применение модификаторов структуры и свойств бетона. В отдельных случаях высокую долговечность бетона невозможно обеспечить без применения добавок. В первую очередь это относится к морозостойкости бетона. Высокоморозостойкие бетоны можно получить только путем использования структурирующего (воздухововлекающего или газообразующего) действия модификаторов, заключающегося в изменении структуры порового пространства цементного камня за счет образования системы мелких условно замкнутых пор сферической формы.

Среди модификаторов воздухововлекающего и пластифицирующе-воздухововлекающего действия известны такие, как СНВ, СДО, СПД, ЛХД, ВЛХК и др. Хорошие результаты по морозостойкости получены при использовании воздухововлекающих добавок нефтехимического происхождения — НЧК (нейтрализованный черный контакт) и КЧНР (контакт черный нейтрализованный рафинированный).

С этой же точки зрения значительный интерес представляли соединения, которые благодаря наличию в составе молекул активных функциональных групп хемосорбционно взаимодействуют с продуктами гидратации цемента. К веществам такого типа относятся кремнийорганические соединения (КОС). Отечественная промышленность выпускает КОС, обладающие в цементных системах раз-

личным механизмом действия: гидрофобизирующим, гидрофобизирующе-структурирующим и т. д. Максимальное повышение морозостойкости наблюдается при использовании воздухововлекающих кремнийорганических соединений (алкилсиликатов и алюмоалкилсиликатов натрия) и особенно газообразующих КОС (алкилгидросилоксаны, алкил (арил) гидридсилесквиноксаны), имеющих в составе молекул активный водород (0,7...1,76%) в связи Si—H.

Повышению морозостойкости бетонов при введении КОС способствует также наличие в составе молекулы органического радикала в связи Si—R, мозаично гидрофобизирующего стенки пор и капилляров цементного камня. Дополнительным эффектом от применения кремнийорганических соединений является пластификация бетонной смеси.

Наиболее мощным способом повышения морозостойкости бетонов как нормального твердения, так и подвергнутых в процессе твердения гидротермальной обработке, является применение газообразующих кремнийорганических продуктов. Так, использование кремнийорганической жидкости 136-41 (б. ГКЖ-94) при строительстве Зейской ГЭС позволило получить бетоны с маркой по морозостойкости F1000 и выше, которые к тому же обладали высокой кавитационной стойкостью.

Монолитные и сборно-монолитные железобетонные конструкции, изготовленные из бетонов с применением КОС, испытывали в зоне берегового прилива Баренцева моря. Обследования, проведенные через 20 лет испытаний, показали, что ни бетон, ни арматура не имеют признаков разрушения.

Кремнийорганические соединения раз-

личного механизма действия, особенно гидрофобно-газовыделяющего типа, позволили также повысить коррозионную стойкость бетонов в условиях воздействия солей, при развитии процессов гипсовой и гипсосульфаталюминатной коррозии, в том числе при периодическом увлажнении в 5%-ном растворе сульфата натрия и последующем высушивании.

Бетоны, модифицированные КОС, в течение 15 лет испытывали в условиях высококонцентрированных солей Сивашских озер хлоридно-натриево-магниезиального типа (общее содержание солей 300 г/л). Бетоны сохранили высокую стойкость, признаков коррозии арматуры не обнаружено.

Авторами разработаны бетоны высокой объемной гидрофобности с применением КОС типа полиорганосилоксанов (жидкость 113-63, б. ФЭС-50). Использование таких соединений особенно эффективно при эксплуатации конструкций в условиях капиллярного подсоса растворов солей при наличии испаряющих поверхностей, а также повышенной относительной влажности воздуха при наличии в окружающей среде агрессивных газов и пыли. Проведенный эксперимент по изучению стойкости в условиях капиллярного подсоса в 5%-ном растворе сульфата натрия показал, что бетоны с расходом цемента 250 кг/м<sup>3</sup>, модифицированные КОС типа полифенилэтоксисилоксанов, обладают большей стойкостью, чем бетоны с расходом цемента 500 кг/м<sup>3</sup>, изготовленные без добавок. Опыт внедрения гидрофобных штукатурных растворов на складе готовой продукции комбината Белорускалий показал, что через 12 лет эксплуатации в условиях повышенной влажности (особенно в осенне-зимний период) и наличия гигроскопич-

ной пыли КС1 гидрофобный эффект в штукатурке исчез на глубину 2...4 мм, а остальной ее слой обладает высокими гидрофобными свойствами.

Таким образом, применение в бетонах соединений структурообразующего действия, особенно кремнийорганических продуктов гидрофобно-газовыделяющего типа, а также модификаторов высокогидрофобизирующего действия позволяет успешно защитить бетон и железобетон от воздействия мороза, а также повысить их коррозионную стойкость.

Известно, что проникновение агрессивной среды в бетон происходит по капиллярам, число которых определяется количеством воды затворения бетонной смеси, поэтому, естественно, чем ниже ее водосодержание, тем плотнее бетон и выше его стойкость.

Водосодержание бетонной смеси можно снизить водоредуцирующим действием пластификаторов. Разработанные и применяемые в настоящее время в технологии бетонов суперпластификаторы позволяют снизить расход воды на 20, иногда на 30%. Соответственно снижается проницаемость бетонов. Так, снижение расхода воды на 20% позволяет повысить марку бетона по водонепроницаемости от W 4 до W12 (для бетонов нормального твердения) и до W 18 (для пропаренных бетонов). Снижение В/Ц на 18...27% повышает марку бетона по водонепроницаемости от W 8...W 10 (для бетона без добавки) до W 16...W 20 и более (для бетона с С-3).

Исследование коррозионной стойкости этих бетонов, проведенное в сульфатных средах с концентрацией иона  $SO_4^{2-}$  5000...50 000 мг/л, показало, что стойкость бетона, изготовленного с С-3, минимально в 1,5 раза выше по сравнению с бетоном без добавки. Полученные результаты позволяют квалифицировать сульфатную среду, среднеагрессивную по отношению к бетону с маркой по водонепроницаемости W 4, как неагрессивную по отношению к бетону с маркой по водонепроницаемости W 16 и выше, полученной в результате введения суперпластификатора С-3.

При снижении В/Ц за счет применения

С-3 морозостойкость бетонов повышается в 1,5...1,7 раза. Кроме того, значительно повышаются защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре.

Другим способом снижения проницаемости бетонов является применение добавок кольматирующего действия. Такой прием оказался эффективным средством защиты бетона от коррозии в сульфатных средах. В НИИЖБе были проведены испытания по ускоренной методике добавок кольматирующего действия типа «Тилор» и «Эветикс» венгерского производства, предназначенных для повышения стойкости бетонов.

При проведении эксперимента в качестве агрессивной среды использовали раствор сульфата натрия с концентрацией 10 000 мг/л (по иону  $SO_4^{2-}$  За 550 сут испытания образцы с добавкой «Тилор» поглощали 0,41% массы цемента иона  $SO_4^{2-}$ , а образцы с добавкой «Эветикс» имели нулевой показатель поглощения. Образцы без добавки поглощали 3,09% иона  $SO_4^{2-}$ .

Эффект снижения проницаемости бетонов с соответствующим повышением их стойкости можно получить введением воздухоудаляющих добавок. К добавкам, способствующим, правда, косвенным образом повышению стойкости бетонов, можно отнести стабилизирующие (предупреждающие расслоение) и водоудерживающие (уменьшающие водоотделение) добавки. И те, и другие способствуют повышению однородности бетонной смеси и тем самым снижают возможность локального скопления большого числа капилляров в бетоне.

В последние годы большое внимание уделяется разработке и применению биоцидных добавок, повышающих стойкость бетона к микробиологическому фактору коррозии. Так, добавку катапин-бактерицид применяют при строительстве лечебных учреждений, а также сельскохозяйственных зданий и сооружений. Кроме защиты от коррозии в условиях микробиологического фактора добавка улучшает санитарно-гигиеническое состояние помещений.

При эксплуатации железобетонных

конструкций в средах, агрессивных по отношению к арматуре, необходимо применение ингибиторов коррозии стали, таких, как нитрит натрия, нитрит-нитрат кальция и др.

Опыт применения модификаторов в технологии бетонов показывает, что, улучшая одно свойство бетонной смеси или бетона, добавка часто ухудшает какие-либо другие их свойства. Кроме этого, иногда требуется одновременное улучшение нескольких свойств цементных систем. В данном случае выход найден в применении комплексных полифункциональных модификаторов (ПФМ). Целесообразно, создавая ПФМ, предназначенные для повышения стойкости бетона, вводить в их состав суперпластификаторы и регуляторы структуры. Именно такой состав имеют ПФМ типа ЦЛК, КМБП и Промопласт, разработанные в НИИЖБе.

Модификаторы ЦЛК изготавливают на основе КОС и поверхностно-активных веществ микропорообразующего и пластифицирующего действия. Благодаря их использованию из бетонной смеси с  $O.K. = 10...15$  см можно получать бетоны с маркой по морозостойкости F500...F800. Наиболее перспективны соединения, в состав которых входят водородсодержащие газообразующие КОС.

Модификаторы КМБП и Промопласт изготавливают на основе суперпластификатора С-3 с применением воздухововлекающих и другого типа добавок. Их применение позволяет из литой бетонной смеси с  $O.K. = 20...22$  см получить бетоны классов В30...В40 с маркой по морозостойкости F500. Использование водоредуцирующего действия ПФМ в еще большей степени повышает прочность и морозостойкость бетонов, а также их защитные свойства по отношению к стальной арматуре.

Многочисленные результаты исследований, широкий опыт внедрения различных добавок в практику строительства показывают, что их использование в качестве первичной защиты бетона и железобетона от коррозии является надежным средством повышения стойкости материалов.

## Перспективы использования методов первичной защиты конструкций

В условиях устойчиво сохраняющегося дефицита материалов для защиты от коррозии строительных конструкций большое значение имеет способность железобетона длительно противостоять различным воздействиям среды. В первом приближении эти меры, объединяемые понятием первичной защиты, предусмотрены в нормах проектирования СНиП 2.03.11—85. Ведутся исследования по их уточнению и расширению. При этом значительное внимание уделяется технологии приготовления бетона и изготовления изделий, а также контролю неразрушающими методами параметров коррозионной стойкости конструкций в процессе их производства.

В настоящее время меры первичной защиты железобетона используют недостаточно, главным образом из-за конъюнктуры рынка, который не стимулирует изготовление долговечных и высококачественных конструкций.

Рассмотрим возможности первичной защиты конструкций в агрессивных воздушных средах, где в подавляющем большинстве случаев долговечность зависит от способности бетона длительно защищать арматуру в конкретных конструкциях и условиях эксплуатации. Ограничимся бетонами тяжелыми и на пористых заполнителях.

В СССР и за рубежом предлагаются способы количественной оценки защитной способности бетона в воздушных средах. Хорошо изучен процесс нейтрализации бетона в защитном слое углекислотой воздуха. Практические рекомендации по расчету этого процесса сводятся к экспериментальной оценке диффузионной проницаемости для  $\text{CO}_2$  каждого конкретного для данного производства бетона [1].

Ограничения проницаемости бетона с необходимыми степенью огрубления и запасом выражены в СНиП 2.03.11—85 через водонепроницаемость как единственную пока характеристику, получаемую объективно по стандартизированной методике. Замена условной для воздушных сред характеристики водонепроницаемости бетона физической характеристикой его диффузионной проницаемости для углекислого газа принци-

пиальных препятствий для реализации в нормах не имеет. Для ее использования заводы необходимо обеспечить методами и приборами неразрушающего контроля проницаемости бетона непосредственно в конструкциях. В качестве примера можно указать на апробированный в производстве при контроле качества бетона ребристых плит покрытий метод, основанный на установленной корреляции диффузионной проницаемости бетона и скорости распространения в нем ультразвуковых колебаний [2].

Принципиально обоснованная в [1] классификация агрессивных газов по растворимости образуемых при их взаимодействии с цементным камнем продуктов коррозии (в основном кальциевых солей соответствующих кислот) позволяет экспериментально и теоретически обосновать расчетные методы оценки долговечности конструкций или уточнить степень агрессивности воздушно-влажных сред, загрязненных различными газами (сернистым, сероводородом, хлористым водородом и т. п.).

В [3] изложено теоретически возможное снижение степени агрессивности воздуха, содержащего сернистый газ. Очевидно, что можно принять, например, в качестве признака слабоагрессивной среды для железобетона на порядок более высокую концентрацию  $\text{SO}_2$ , чем в СНиП 2.03.11—85 —  $0,5 \text{ мг/м}^3$ . При этом будут учтены как постепенное медленное уменьшение толщины защитного слоя бетона в результате шелушения его поверхности под действием увеличения в объеме продуктов взаимодействия цементного камня с сернистым газом, так

и малая опасность трещин в растянутой зоне бетона. Начало трещины всегда будет заполнено плотным слоем продуктов коррозии бетона, в основном гипсом, который будет препятствовать прониканию агрессивного газа в глубь трещины и таким образом выравнивать линию нейтрализации бетона.

В Уфимском НИИпромстрое проведены исследования взаимодействия участка поверхности бетона, имеющего трещину, с хлористым водородом. Оказалось, что глубина проникания хлоридов в бетон вдоль стенок трещины лишь незначительно превышает глубину проникания хлоридов на известном удалении от трещин. Так, при воздействии на бетон хлористого водорода с концентрацией  $20 \text{ мг/м}^3$  при относительной влажности воздуха 80% глубина проникания хлоридов вдоль стенок трещины с шириной раскрытия 1,2 мм за пять месяцев составила 5,6 мм, а в тот же бетон без трещины — 3,5 мм. Это, по-видимому, объясняется тем, что при поступлении газа в трещину он практически полностью поглощается поровой жидкостью бетона вблизи начала трещины, и далее миграция хлоридов осуществляется в жидкой фазе за счет диффузии ионов. Поскольку растворимость хлористого водорода высока (430 объемов на 1 объем воды при  $20^\circ\text{C}$ ), процесс растворения газа протекает с постоянной скоростью достаточно длительное время вплоть до полного преобразования цементного материала в хлористые соединения. Только после этого происходит углубление зоны проникания газа в трещину. Таким образом, зона нейтрализации или полного преобразования бетона, а также глубина проникания хлоридов вдоль стенок трещины лишь незначительно превышают аналогичные величины в бетоне без трещины. Это превышение сопоставимо с шириной раскрытия трещин.

В результате зона нейтрализации бетона хлористым водородом и зона проникания хлоридов в сечении, нормальном поверхности бетона и стенкам трещины, имеют формы полуокружности с центром в начале трещины. Это особенно ярко видно, когда поверхность бетона изолирована лакокрасочным покрытием (рис. 1).

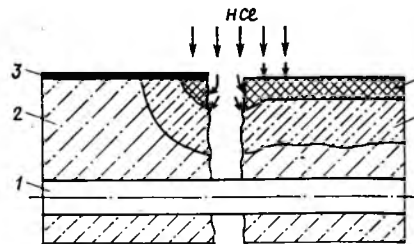


Рис. 1. Схема взаимодействия хлористого водорода в бетоне  
1 — стальная арматура; 2 — бетон; 3 — изоляционное покрытие; 4 — зона полной нейтрализации бетона; 5 — зона распространения хлорид-ионов

Учитывая незначительную глубину проникания хлористого водорода в трещину, можно, по-видимому, снизить требования нормативных документов по ширине раскрытия трещин в железобетонных конструкциях, эксплуатирующихся в хлорсодержащих газовых средах, и по крайней мере не ставить более жесткие условия изготовления конструкций по сравнению с конструкциями, эксплуатируемыми в других газовых средах, например в  $\text{CO}_2$ . Скорость накопления хлоридов вблизи арматуры, а также требуемые параметры первичной защиты, в частности толщину защитного слоя и его диффузионное сопротивление в первом приближении, можно определить расчетным путем [4].

Круг вопросов, требующих своего изучения, расширяется при выяснении возможностей первичной защиты конструкций, изготавливаемых из бетонов с пониженной защитной способностью по отношению к арматуре, в частности ограждающих, в которых такие бетоны чаще всего используются.

В НИИЖБе выполнены исследования и разработки, в основном внедренные в практику строительства с максимальным использованием методов первичной защиты ограждающих конструкций из бетонов на природных и искусственных пористых заполнителях, в том числе с такими отходами производства, как золы и шлаки.

В изделиях из конструкционно-теплоизоляционных бетонов длительная сохранность арматуры зависит от двух существенных факторов.

Во-первых, пассивность стали может быть не обеспечена при изготовлении конструкций, если не учитывать конкретный состав бетона, т.е. расход цемента и способность заполнителя связывать гидроксид кальция (гидравлическую активность). Во-вторых, если первоначальная пассивация арматуры обеспечивается, то длительность ее сохранения может быть недостаточна в результате нейтрализации проницаемого бетона, что связано с его пористой структурой, обусловливаемой теплотехническими требованиями. Наибольшую опасность с точки зрения коррозии арматуры представляют мелкие фракции пористого заполнителя, так как обладают большей гидравлической активностью. В связи с этим на стадии подбора состава бетона расход цемента следует назначать с учетом гидравлической активности заполнителя [5].

При разработке рекомендаций по использованию средств и способов первичной защиты ограждающих конструкций из конструкционно-теплоизоляционных бетонов важнейшее значение имеют относительная влажность воздуха помеще-



Рис. 2. Расчетная эксплуатационная влажность бетона в ограждающих конструкциях из 1 — бетона на вулканическом шлаке Кармрашенского месторождения; 2 — керамзитобетона; 3 — шлакопемзобетона с добавкой шлама и СДО; 4 — шлакопемзобетон с добавкой шлама; 5 — шлакопемзобетона

ний и климатическая зона влажности, от которых зависит влажностный режим ограждения.

При низкой относительной влажности в отапливаемых зданиях защита конструкций не требуется, так как легкий бетон в течение 1...2 лет теряет технологическую влагу и приходит в состояние равновесной влажности существенно ниже критической для развития коррозии арматуры. Значение критической влажности пока не уточнено. В работах различных авторов оно определяется 3...5% массы легкого бетона.

Нами были выполнены исследования равновесной влажности, коэффициента паропроницаемости и водопоглощения различных бетонов. Полученные экспериментальные данные позволяют констатировать, что водопоглощение конструкционно-теплоизоляционных бетонов достаточно велико и будет опасно при прямом увлажнении бетона конструкций. Значения коэффициента паропроницаемости близки к нормам СНиП II-3-79\*.

Сорбционная влажность исследованных составов бетона в диапазоне относительной влажности среды 60...75% изменяется незначительно и не превышает 5%. В карбонизированных бетонах, хранившихся в таких средах в течение трех лет, коррозии арматуры не обнаружено, тогда как при влажности свыше 75% наблюдалось значительное повреждение арматуры. Подобные результаты были получены для бетонов на различных пористых заполнителях. Однако однозначно перенести полученные результаты на реальную конструкцию нельзя, поскольку любая ограждающая конструкция является сложной многослойной системой из-за наличия фактурных и отделочных слоев. Кроме того, ограждения работают в условиях градиентов влажности и температуры, когда температура на противоположных поверхностях может от-

личаться на несколько десятков градусов, а снаружи периодически переходить через нуль. При этом в зависимости от уровня влажосодержания бетона при колебаниях температуры часть влаги изменяет агрегатное состояние. Указанные причины приводят к тому, что при прогнозе влажностного режима конструкции необходимо учитывать влияние всех коэффициентов переноса.

В НИИСФе имеется программа расчета температурно-влажностного режима конструкции в пределах зоны сорбции, т.е. в интервале влажности материала от сухого состояния до максимально гигроскопического. Расчет по данному методу выполняли на основе полученных экспериментальных данных: изотермы сорбции и паропроницаемости. Расчеты, проведенные для семи различных вариантов конструкций с изолирующим слоем из цементно-песчаного раствора или конструкционного бетона (рис. 2), показали, что для бетона всех составов при относительной влажности среды 60...75% наибольшая эксплуатационная влажность бетона приходится на декабрь — февраль. При использовании в качестве мелкого заполнителя природных пористых песков эксплуатационная влажность бетона в 1,5...2 раза выше, чем бетонов на искусственных пористых песках. Минимальная эксплуатационная влажность бетона приходится на июнь — октябрь и, как правило, не превышает 5%. При увеличении влажности среды свыше 75% при прочих равных условиях эксплуатационная влажность бетона конструкций в зоне расположения арматуры колеблется от 6 до 13%, что после полной карбонизации бетона будет способствовать развитию коррозии.

Большой опыт эксплуатации жилых и общественных зданий со стенами из бетонов на различных пористых заполнителях, в том числе из шлакобетона [6], а также результаты исследований свидетельствуют о долговечности этих конструкций при условии исключения источников систематических увлажнений (промерзание стен, протечки стыков, увлажнение осадками при неорганизованном водоотводе и неисправных водосточных трубах, а также над козырьками подъездов и балконов), особенно в сочетании с недостаточной толщиной защитного или фактурного слоя у арматуры. Для помещений с повышенной влажностью воздуха разработаны и в течение более 10 лет применяются панели с изолирующим от влаги слоем плотного бетона (в том числе на пористых заполнителях) с ограниченной и контролируемой проницаемостью. Для подобных условий разработаны также однослойные конструк-



ции, в которых бетон на пористых заполнителях должен содержать добавки — ингибиторы коррозии стали.

Все мероприятия первичной защиты экономически эффективны благодаря отсутствию необходимости во вторичной защите и увеличению межремонтных периодов. Однако их успешное использование требует надежного контроля параметров долговечности при производстве конструкций. Контроль следует производить как операционный (фиксирование арматуры в проектном положении — толщина защитного слоя), так и выходной (проницаемость бетона, оцениваемая разрушающими методами, после под-

бора соответствующего состава бетона). Имеются успешные попытки организации контроля диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа по скорости распространения ультразвуковых колебаний в изделиях [2].

Необходимо стимулировать использование первичной защиты как средства экономии материалов в эксплуатации зданий. Эффективно также дальнейшее развитие расчетно-прогнозного метода назначения параметров первичной защиты конструкций в жидких агрессивных средах, основы которого заложены в работах В. М. Москвина, Ф. М. Иванова, А. Ф. Полака, Г. П. Вербецкого.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев С. Н., Розенталь Н. К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. — М.: Стройиздат, 1976.—204 с.
2. Урбанович И. Н., Алексеев С. Н. Оценка долговечности железобетона с помощью ультразвука // Бетон и железобетон.— 1986. — № 5. — С. 8—10.
3. Алексеев С. Н. Проблемы нормирования защиты конструкций от коррозии // Бетон и железобетон. — 1988. — № 11. — С. 21—22.
4. Полак А. Ф., Яковлев В. В., Кравцов В. М. Коррозия железобетона в среде, содержащей хлористый водород // Бетон и железобетон. — 1976.— № 3. — С. 4—6.
5. Степанова В. Ф., Курбатова И. И. Определение и влияние гидравлической активности заполнителя на коррозию арматуры // Бетон и железобетон. — 1989. — № 8. — С. 21—22.
6. Ярмаковский В. Н., Степанова В. Ф. Опыт применения шлакопемзобетона в строительстве. — М.: Стройиздат, 1989. — 72 с.

УДК 691.32:620.191.33+691.87:620.193

Г. П. ВЕРБЕЦКИЙ, д-р техн. наук, В. Я. ШАПОВАЛОВА, О. А. САРАЛИДЗЕ, инженеры (ГрузНИИЭГС)

## Расчет допускаемой ширины раскрытия трещин в конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных водах

Большинство железобетонных конструкций проектируют в настоящее время с допущением образования трещин ограниченного раскрытия. Эти допущения регламентируются нормами проектирования конструкций в различных областях строительства, а также общестроительными нормами защиты строительных конструкций от коррозии (СНиП 2.03.11—85). Однако в нормах даны в табличной форме осредненные величины допускаемого раскрытия трещин в укрупненных диапазонах значений основных факторов. Так, в указанном СНиПе оценка степени агрессивности воды по отношению к стальной арматуре, определяемая содержанием в воде хлоридов, приведена всего для трех диапазонов концентрации ионов хлора: <500, 500...5000 и >5000 мг/л. Для каждой из этих групп содержится общая для всего диапазона допускаемая ширина раскрытия трещин.

В нормах на гидротехнические сооружения эти диапазоны несколько уже, но они ограничены верхним пределом концентрации ионов хлора и сульфата 1000 мг/л, что не охватывает многих природных вод. Кроме того, во всех нормах, ограничивающих ширину раскрытия трещин по условию сохранности арматуры, не учитываются такие существенные факторы, как бикарбонатная щелочность воды, плотность бетона, диаметр арматурных стержней. Отмеченные не-

достатки приводят к тому, что при проектировании конструкций принимают неоптимальные величины допускаемого раскрытия трещин, что ведет к перерасходу арматуры или к снижению долговечности сооружений. Важное значение имеет также недостаточно дифференцированный учет фактического режима эксплуатации сооружения — периодическое увлажнение-высыхание конструкции вызывает сильную коррозию арматуры. Так в Потийском железобетонном элеваторе, построенном в 1937 г. на берегу моря, к моменту его обрушения в 1972 г. вследствие коррозии арматуры глубина коррозионного поражения арматурных стержней диаметром 16 мм в трещинах частей сооружения обращенных фасадом к морю, достигала 6 мм, а с противоположной стороны не превышала 1,5 мм.

При разработке действующих норм в качестве критерия допустимости трещин того или иного раскрытия принимали условие затухания коррозионного процесса. Однако скорость и продолжительность затухания, а также допустимая глубина коррозионного поражения арматуры не были регламентированы. Кроме того, не учитывали диаметр арматурных стержней, от которого зависит относительное снижение несущей способности арматуры при одинаковой глубине коррозионного поражения. Поэтому целесообразно разработать расчетный

метод установления допускаемой ширины раскрытия трещин, основанный на ограничении потери несущей способности арматуры в результате коррозии за проектный срок эксплуатации сооружения.

Вследствие специфики механизма коррозии арматуры в трещинах бетона [1... 3] и значительного числа взаимосвязанных факторов теоретический расчет их комплексного воздействия с получением достаточно надежных количественных оценок в настоящее время затруднителен. Поэтому авторы провели статистическую обработку опытных данных и получили искомые зависимости в виде многофакторных регрессий.

Для экспериментов использовали железобетонные образцы в форме колец с внутренним и внешним диаметрами 200 и 300 мм, а также призмы и балки, в которых образовывали при помощи специальных приспособлений и фиксировали на весь период коррозионных испытаний трещины различного раскрытия. Поддержание в образцах постоянного напряженного состояния, соответствующего образовавшимся трещинам, приближает условия испытания к условиям работы конструкций под нагрузкой. Это обстоятельство имеет существенное значение, поскольку в соответствии с теорией коррозии арматуры в трещинах железобетона [1...3] одной из трех главных элементов суммарной гальванической ма-

кропары, поддерживающей коррозионный процесс, является макропара перепада растягивающего напряжения в арматуре на участке трещины в конструкции. Преимущество кольцевых образцов [2] заключается в отсутствии, за исключением арматуры, металлических элементов. Трещины в кольцах и фиксацию ширины их раскрытия достигли вдавливанием на прессе в отверстие кольца бетонного конического сердечника. Кольца армировали провололочной арматурой  $\varnothing$  5 В-I, а призмы и балки —  $\varnothing$ 12 и 16 А-III. Поскольку по исследованиям НИИЖБа, нашедшим отражение в СНиП 2.03.11—85, коррозионные свойства арматурных сталей классов А-I, А-II, А-III, В-I, Вр-I, А-IIIв, А-IV и Ат-IVк практически одинаковы, то результаты выполненных исследований можно применить к конструкциям с арматурой перечисленных классов.

Коррозионные испытания образцов проводили в водных средах с различными комбинациями концентраций агрессивных веществ при постоянном нахождении образцов в перемешиваемой воде (режим I) и при периодическом погружении образцов в воду и высыхании их на воздухе с частотой 50...100 циклов в год (режим II).

На основании анализа результатов предыдущих исследований авторов, материалов натуральных наблюдений и литературных данных выделены в качестве главных следующие факторы интенсивности коррозии арматуры в трещинах железобетона и приняты пределы варьирования их значений в экспериментах:  $a$  — ширина раскрытия трещин на уровне оси арматуры — 0,05...1,2 мм;  $t$  — продолжительность испытания — 2, 4, 6, 10, 14 лет;  $[Cl^-]$  — концентрация в воде ионов хлора — 0...4755 мг/л;  $[SO_4^{2-}]$  — концентрация в воде ионов сульфата — 0...1500 мг/л;  $[HCO_3^-]$  — бикарбонатная щелочность воды — 0,2...4,8 мг·экв/л; Ц/В — цементно-водное отношение в бетоне, условно характеризующее его плотность — 1,35...2,6.

Через 2...14 лет часть образцов каждой группы разбивали и измеряли микрометром глубину наибольшего коррозионного поражения арматурного стержня в зоне трещины. В каждом образце имелось 2...8 трещин различного раскрытия, пересекавших 3...4 стержня, что позволило получить около тысячи экспериментальных данных. Их изучили по методу статистической обработки материалов пассивного эксперимента в виде регрессии, связывающей глубину коррозии  $\delta$  с рассмотренными факторами. Многофакторную регрессию обычно получают в

виде полинома степени выше первой, содержащего кроме основных членов произведения факторы, выражающие их взаимодействие в различных комбинациях. При этом даже при отсеке малозначимых членов остается громоздкая формула в несколько десятков членов, неудобная для практических расчетов.

Авторами для получения множественной корреляционной зависимости использовано положение [4, 5]. Оно заключается в свойстве, позволяющем функцию нескольких переменных заменить произведением элементарных функций тех же переменных  $X_i$ , т. е.

$$\Phi(X_1, X_2, \dots, X_n) = A_0 \varphi_1(X_1) \times \varphi_2(X_2) \times \dots \times \varphi_n(X_n), \quad (1)$$

где  $A_0$  — постоянный коэффициент.

Вид элементарных аппроксимирующих функций  $\varphi_i(X_i)$  подбирали на основании анализа экспериментальных зависимостей глубины коррозии арматуры от каждого фактора при постоянстве остальных. При этом требуется определить лишь приблизительный вид элементарной функции (парабола, экспонента и др.). Адекватность комплексной многофакторной зависимости обеспечивается вычислением на ЭВМ сомножителя  $A_0$  и коэффициентов каждой элементарной функции по способу наименьших квадратов. При таком методе число членов регрессии равно или соизмеримо с числом факторов.

Таким образом получена регрессия для режима I

$$\delta_I = 0,056 a_0^{0,42} t_0^{20} a_0 (\lg C_0)^{0,32} \lg C_0 \times [HCO_3^-]^{0,24} (Ц/В)^{-0,68} \quad (2)$$

и для режима II

$$\delta_{II} = 0,104 t_0^{0,51} a_0 (\lg 10 t_0)^{a_0} \times (\lg C_0)^{0,27} \lg C_0 \times [HCO_3^-]^{0,21} (Ц/В)^{-0,42}, \quad (2')$$

где  $a_0$ ,  $t_0$ ,  $C_0$ ,  $[HCO_3^-]$  — относительные безразмерные величины, численно соответствующие количественным значениям факторов (логарифмируются только безразмерные числа), т. е.

$$a_0 = \frac{a, \text{ мм}}{a = 1 \text{ мм}}; \quad t_0 = \frac{t, \text{ годы}}{t = 1 \text{ год}};$$

$C_0$  — суммарная концентрация в воде агрессивных ионов:

$$C_0 = \frac{C, \text{ мг/л}}{C = 1 \text{ мг/л}};$$

$$[HCO_3^-]_0 = \frac{[HCO_3^-], \text{ мг·экв/л}}{[HCO_3^-] = 1 \text{ мг·экв/л}}.$$

Учитывая различную активность растворенных в воде агрессивных по отношению к стали ионов  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  и принятый в связи с этим в СНиП 2.03.11—85

коэффициент 0,25 приведения концентрации ионов  $SO_4^{2-}$  к эквивалентной по агрессивности концентрации ионов  $Cl^-$ , при обработке экспериментальных данных принято

$$C = [Cl^-] + 0,25 [SO_4^{2-}]. \quad (3)$$

Регрессии (2), (2') формально справедливы в пределах применявшихся в экспериментах значений факторов. Графический анализ большого числа экспериментальных данных показал устойчивость принятых элементарных функций и возможность их распространения на большую, чем 14 лет, продолжительность коррозионного процесса. Этот вывод согласуется и с теоретическими основами механизма коррозии арматуры в трещинах железобетона, подтверждающими затухающий характер интенсивности этого процесса в трещинах с раскрытием  $< 1$  мм вследствие анодной и катодной поляризации.

Регрессии (2), (2') выражают зависимость статистически наибольшей глубины коррозионного поражения арматуры от исследованных факторов. Это поражение занимает лишь часть окружности арматурного стержня, глубина коррозии на остальной части меньше. Для расчета площади потери сечения  $\Delta S$  в плоскости трещины в бетоне ее принимали в виде эквивалентного по площади кольца толщиной 0,5  $\delta$

$$\Delta S = \frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi}{d} (d - \delta)^2 \approx \approx \frac{\pi}{2} d \delta, \quad (4)$$

где  $d$  — диаметр арматурного стержня, мм.

Приняв в качестве критической величины уменьшение сечения арматуры  $S$  вследствие коррозии за проектный срок эксплуатации сооружения на 5%, с учетом формулы (4)

$$\Delta S_{кр} = 0,05 S = = 0,05 \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{2} d \delta_{кр}, \quad (5)$$

откуда  $\delta_{кр} = 0,025 d$ .

Прологорифмировав выражения (2) и (2'), выразив их через  $a_0$  и подставив из зависимости (5)  $\lg \delta_{кр} = \lg 0,025 + \lg d$ , а также  $\lg 0,025 = -1,602$ ;  $\lg 0,07 = -1,155$  и  $\lg 0,104 = -0,983$ , получены формулы для вычисления критической ширины раскрытия трещин:

$$\begin{aligned} & \lg 20 a_0 \lg C_0 = \\ & = \frac{-0,250 + \lg d - 0,32 \lg C_0 \lg C_0}{0,42 \lg t_0} - \\ & \frac{0,24 \lg [HCO_3^-]_0 + 0,68 \lg (Ц/В)}{0,42 \lg t_0}; \quad (6) \end{aligned}$$

$$a_{0 \text{ II кр}} = \frac{-0,619 + \lg d - 0,27 \lg C_0 \lg \lg C_0}{0,51 \lg t_0 + \lg (\lg 10 t_0)} - \frac{0,21 \lg [\text{HCO}_3^-]_0 + 0,42 \lg (\text{Ц/В})}{0,51 \lg t_0 + \lg (\lg 10 t_0)} \quad (7)$$

Вычисления по зависимостям (6) и (7) легко выполнять на портативной ЭВМ. Искомые величины  $a_{\text{кр}}$  определяются из условия  $a_{\text{кр}} = a_{0\text{кр}} \cdot 1 \text{ мм}$ .

Допускаемую ширину раскрытия трещин  $a_{\text{доп}}$  рекомендуется устанавливать по формуле

$$a_{\text{доп}} = K_1 a_{\text{кр}}, \quad (8)$$

где  $K_1$  — коэффициент, учитывающий, что в реальных конструкциях вследствие разброса величин раскрытия трещин наибольшая из них превышает расчетную:  $K_1 < 1$ . Он также компенсирует возможные отклонения фактических количественных значений факторов от принятых в расчете.

Расчетные формулы для режима I можно применить к условиям постоянной эксплуатации конструкции в проточной речной или грунтовой воде, а режим II — к частям конструкций в зонах колебания уровня подземных вод, уровня рек и водохранилищ, к камерам шлюзов и др. При частоте увлажнений  $> 300$  циклов в год следует использовать формулу для режима I.

**Пример 1.** Требуется определить  $a_{\text{доп}}$  для условий:  $d = 20 \text{ мм}$ ;  $[\text{Cl}^-] = 750 \text{ мг/л}$ ;

$[\text{SO}_4^{2-}] = 1000 \text{ мг/л}$  ( $C = 750 + 250 = 1000 \text{ мг/л}$ );  $\text{HCO}_3^- = 2 \text{ мг·экв/л}$ ;  $\text{Ц/В} = 1,8$ ; проектный срок эксплуатации сооружения  $t = 50$  лет по режиму II.

По формуле (7)

$$a_{0 \text{ II кр}} = \frac{-0,619 + 1,3 - 0,27 \cdot 3 \cdot 0,477}{0,51 \cdot 1,699 + 0,431} - \frac{0,21 \cdot 0,3 + 0,42 \cdot 0,255}{0,51 \cdot 1,699 + 0,431} = 0,26;$$

$$a_{\text{II кр}} = a_{0 \text{ II кр}} \cdot 1 \text{ мм} = 0,26 \text{ мм};$$

$$a_{\text{I доп}} = K_1 a_{\text{II кр}} = 0,5 \cdot 0,26 = 0,13 \text{ мм}.$$

**Пример 2.** Требуется установить  $a_{\text{доп}}$  для режима I при значениях факторов, приведенных в примере 1.

По формуле (6)

$$\lg 20 a_{0 \text{ I кр}} = \frac{-0,250 + 1,3 - 0,32 \cdot 3 \cdot 0,477}{0,42 \cdot 1,699} - \frac{0,24 \cdot 0,3 + 0,68 \cdot 0,255}{0,42 \cdot 1,699} = 0,96;$$

$$20 a_{0 \text{ I кр}} = \text{antl} \lg 0,96 = 9,12;$$

$$a_{0 \text{ I кр}} = \frac{9,12}{20} = 0,455;$$

$$a_{\text{I кр}} = 0,455 \text{ мм}; \quad a_{\text{I доп}} = K_1 a_{\text{I кр}} = 0,5 \cdot 0,455 = 0,23 \text{ мм}.$$

**Пример 3.** Необходимо подсчитать  $a_{\text{доп}}$  по данным примера 1 при  $d = 40 \text{ мм}$ .

По формуле (7)

$$a_{0 \text{ I кр}} = 0,49; \quad a_{\text{I кр}} = a_{0 \text{ I кр}} \cdot 1 \text{ мм} = 0,49 \text{ мм}; \quad a_{\text{I доп}} = 0,5 \cdot 0,49 = 0,245 \text{ мм}.$$

Из сопоставления примеров 1 и 3 видно значительное влияние диаметра арматуры на величину допускаемого раскрытия трещин.

#### Вывод

Глубину коррозионного поражения арматурных стержней в трещинах железобетона за проектный срок эксплуатации сооружения в условиях постоянного (режим I) и периодического (режим II) насыщения конструкции водой различной агрессивности рекомендуется вычислять по формулам (2) и (2'), а допускаемую ширину раскрытия трещин — по зависимостям (6)...(8).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Москвин В. М., Алексеев С. Н., Новгородский В. И. О механизме коррозии стальной арматуры в бетоне с трещинами // Коррозия, методы защиты и повышения долговечности бетона и железобетона. — М.: Стройиздат, 1965. — С. 27—39.
2. Вербецкий Г. П. Механизм образования коррозионных макропар в трещинах железобетона // Изв. ТНЦСЭИ. — Т. 16. — М.: Энергия, 1965. — С. 329—337.
3. Трещины в железобетоне и коррозия арматуры / В. М. Москвин, С. Н. Алексеев, Г. П. Вербецкий, В. Н. Новгородский. — М.: Стройиздат, 1971. — 144 с.
4. Статистические методы в экономическом анализе производства. — Новосибирск: Наука, 1968. — 204 с.
5. Езикил М., Фокс К. А. Методы анализа корреляции и регрессии. — М.: Статистика, 1966. — 310 с.

УДК 666.972.019.3

Е. А. ГУЗЕЕВ, д-р техн. наук, проф., В. М. БОРИСЕНКО, Н. В. САВИЦКИЙ, кандидаты техн. наук (НИИЖБ)

## Механоматематические методы прогноза долговечности железобетонных конструкций

Гарантия долговечности и эффективности железобетонных конструкций заключается в их проектировании и изготовлении из материалов, обладающих свойствами механического и физико-химического сопротивления воздействиям, при которых предполагается эксплуатация конструкций в пределах заданного срока. При этом важными параметрами проектирования является стоимость материалов различной долговечности, стоимость изготовления конструкций повышенного качества и стоимость затрат на ремонт для восстановления коррозионных и механических повреждений.

В настоящее время природа физико-химических коррозионных процессов, из-

меняющих эксплуатационные качества железобетона и долговечность конструкций, в основном выявлена и изучена, сформулированы физические модели процессов в бетоне и арматуре, есть возможность предсказания коррозионной опасности агрессивной среды по отношению к железобетонной конструкции с позиций исчерпания ее несущей способности или запредельной деформативности.

Лабораторными и натурными исследованиями установлено, что к свойствам, характеризующим состояние конструкций и используемых для прогноза их остаточного ресурса относятся прочность и проницаемость бетона в зоне максималь-

ных нагрузок (механических, циклических, коррозионных), данные количественного химического состава бетона (реакционной емкости), вяжущего, продуктов взаимодействия, прочность и деформативность арматуры в зоне максимальных нагрузок и местах повреждений, геометрические размеры фактических сечений конструкций, дефекты в бетоне и арматуре, фактический и перспективный прогноз нагрузок и воздействий, данные расчетной схемы сооружения и возможности ее изменения.

Используемые для диагностики методы и приборы достаточны для практических целей, однако все чаще возникает необходимость гарантии в достовер-

ности расчетного прогноза, а также прогноза остаточного ресурса конструкции с определением межремонтного срока ее эксплуатации в сложных, как правило, агрессивных условиях. Уroveň знаний природы физических и физико-химических коррозионных процессов в железобетоне при действии механической и коррозионной нагрузки дает возможность произвести количественную оценку изменения физико-механических свойств бетона и арматуры в пределах фронта взаимодействия некоторых видов активной среды.

Исследованиями НИИЖБ установлены закономерности взаимодействия кислотных газов с цементным камнем в бетоне и железобетоне, построены физические модели коррозионных процессов в бетоне и арматуре, выявлены константы процессов, предложены аналитические зависимости для прогноза сохранности защитных свойств бетона к стальной арматуре, а также арматуры в трещинах бетона конструкций.

Выявлены закономерности взаимодействия растворов кислот и кислых болотных вод с бетоном, предложены математические модели для расчета глубины фронта коррозии и скорости продвижения его от поверхности контакта в глубь конструкции, построены физические модели процесса коррозии бетона и железобетона при воздействии на конструкцию растворов солей (сульфатов, хлоридов, карбонатов и др.). Позднее накоплены экспериментальные данные для обоснования констант коррозионного процесса, построены математические модели для расчета и прогноза прочности и деформативности бетона в зоне фронта коррозионного процесса в нем по глубине сечения конструкции.

Получены физические модели коррозионного процесса в бетоне и железобетоне при циклическом замораживании и оттаивании в воде и растворах солей. Экспериментально установлены константы коррозионного процесса и напряженно-деформированного состояния в сечениях железобетонных конструкций. Получены математические функциональные связи прочностных и деформативных свойств бетона и железобетона от комплекса механической и коррозионной нагрузки.

Физико-механические методы определения прочности дают в большинстве случаев только приближенную оценку в поверхностном слое бетона. Этого часто недостаточно для полного представления о напряженно-деформированном состоянии во всем сечении конструкции и прогноза его кинетики.

Физико-химические и химические методы более точно позволяют выявить ве-

ществительный состав продуктов взаимодействия коррозионной среды с компонентами цементного камня и бетона, дефекты в его структуре, что составляет основу для качественного и количественного моделирования и прогнозирования. В настоящее время эти методы весьма трудоемки.

Продолжаются поиски новых способов интегральной оценки структурных изменений в бетоне конструкций в условиях сложных воздействий для использования в прогнозировании ресурса конструкций.

Механика разрушения, основанная на расчетно-экспериментальном подходе, включает расчет (анализ) уровня повреждений, возникающих в элементе конструкции с накопленными дефектами структуры к моменту образования магистральной трещины, приводящей к фрагментации с экспериментальным определением вязкости разрушения (трещиностойкости) элемента конструкции вследствие комплексного механо-коррозионного воздействия.

Параметры механики разрушения  $K_1$  — коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины — силовой критерий,  $\sigma_1$  — удельная энергия квазистатического разрушения при равновесных испытаниях — энергетический критерий отражают и напряженно-деформированное состояние и разброс механических и физико-химических характеристик бетона. Для бетона в условиях механо-коррозионных воздействий характерно неупругое деформирование в зоне вершины фрагментирующей трещины, когда деформация в области вершины трещины мала по сравнению с трещиной и очень мала по сравнению с размерами элемента.

Рассматривая механо-коррозионное разрушение бетона как многоцикловый обратимый усталостный процесс, включающий упругую и пластическую деформацию части атомно-молекулярных связей, обрывы некоторых связей в микро- и макроструктуре, накопление дефектов в структуре, можно обоснованно применять методы механики разрушения при прогнозировании остаточного ресурса в бетоне.

В основе силового критерия разрушения лежит предпосылка, согласно которой оно происходит, когда у вершины трещины возникает напряжение, вызывающее критическое накопление коррозионно-механических дефектов в структуре, превышающее предельное значение.

Предельное значение силового критерия отражает вязкость разрушения. По значениям  $K_{IN_k}$ ,  $K_1$ ,  $K_{1c}$ , определяемым для бетона в фактическом коррозионно-напряженном состоянии (базовые лабо-

раторные испытания), в эталонном состоянии можно получить оценку меры повреждений структуры при известной интенсивности коррозионной нагрузки  $N_k$ . По зависимостям, связывающим силовой критерий и модуль упругости бетона с соответствующим количеством коррозионных повреждений в структуре, определяемым по диаграмме деформирования и режимом коррозионного воздействия, можно перейти к реальному времени до заданного уровня (остаточного) ресурса бетона [2, 3].

Основы методологии прогнозирования остаточного ресурса по индивидуальному техническому состоянию конструкций на этапе диагностики разработаны в работе [4]. Применяя полудетерминистический метод для одномерной модели, решение существенно упрощается, а при подстановке в уравнения значений меры накопления повреждений на момент последней диагностики можно получить остаточный ресурс.

Для оценки расчетного и остаточного ресурсов бетонных и железобетонных конструкций с применением методов механики разрушения в НИИЖБ создано оборудование для лабораторных и натурных исследований, разрабатывают методики и стандарты на метод определения трещиностойкости (вязкости разрушения) бетона.

Одновременно прорабатывают теоретический подход к прогнозу по силовым и энергетическим характеристикам бетона, к нормированию режимов и критических уровней коррозионных и коррозионно-механических воздействий на бетон и железобетон.

Использование современных механо-математических методов для оценки предельного ресурса различных видов бетонов в агрессивных средах позволяет более обоснованно выбирать материалы для железобетонных конструкций, обладающие необходимым сопротивлением механическим и физико-химическим воздействиям в течение заданного срока службы, а также дает возможность разработать более достоверный расчетный метод прогнозирования их долговечности в условиях комплексных внешних воздействий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. — М.: Стройиздат, 1980. — 535 с.
2. Гузеев Е. А., Шевченко В. И., Сейланов Л. А. Экспериментальные полнотью равновесные диаграммы деформирования бетона. — Л.: Атомиздат, 1987. — С. 180—219.
3. Шербаков Е. Н., Мамажанов Р. Прогнозирование ресурса конструкций, работающих при режимных нагрузках // Бетон и железобетон. — 1989. — № 8. — С. 22—23.
4. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1984. — 309 с.



## Обеспечение долговечности железобетонных конструкций при их ремонте

СНиП 2.03.11—85 (п. 2.1) рекомендует производить вторичную (поверхностную) антикоррозионную защиту в случае недостаточной эффективности первичной. Для выполнения этого требования необходимо прежде всего установить критерии эффективности первичной защиты. Поскольку наиболее опасным для несущих железобетонных конструкций повреждением в большинстве случаев является уменьшение сечения арматуры вследствие коррозии металла и нарушения ее сцепления с бетоном, авторами в качестве критерия выбран расчетный срок службы конструкции до момента исчерпания бетоном защитных свойств по отношению к арматуре. В связи с этим возникает необходимость определения срока службы бетона с учетом протекания в нем физико-химических процессов, вызванных воздействием эксплуатационных факторов.

Способы оценки (прогнозирования) срока службы бетона для случая карбонизации, накопления хлоридов у арматуры, разрушения под действием кислот, жидких сульфатных сред, мягких вод (выщелачивания), а также многократно повторяющихся воздействий нагрева и увлажнения грунтовыми или техническими сульфатсодержащими водами приведены в источнике [1].

Сложностью и разнородностью процессов, протекающих в бетоне, объясняется оценка его коррозионного состояния с помощью многопараметрической модели, в частности с использованием теории распознавания образов. Поведение материала в процессе эксплуатации определяется многими параметрами. Для вновь возводимых конструкций на стадии проектирования эти параметры, как правило, неизвестны. Принятые по нормам, они иногда значительно отличаются от фактических. Для ремонтируемых элементов можно учитывать действительные значения указанных исходных параметров, полученные в результате обследований с известной степенью достоверности. Для повышения достоверности исходных данных рекомендуется сочетать несколько методов, основанных на различных принципах, что уменьшает влияние недостатков каждого из них на конечный результат. Так, при определении прочности

бетона и глубины трещин целесообразно использовать механические и акустические методы.

Разработаны неразрушающие способы установления проницаемости (водопоглощения) бетона в конструкции для применения совместно с результатами испытания отобранных при обследовании образцов бетона и т. п.

В развитии методики, изложенной в источнике [1] с учетом требования ГОСТ 15467—79, а также накопленных экспериментальных данных меру коррозионного состояния бетона предложено выразить в виде

$$S_t = \prod_{i=1}^n \frac{|X_{it} - X_{ik}|}{X_{ik}},$$

где  $X_{it}$  — значение  $i$ -го признака на момент обследования (текущее значение  $X_i$ );  $X_{ik}$  — значение  $i$ -го признака, соответствующее исчерпанию ресурса (пороговое значение  $X_i$ ). Ресурсом по данному параметру считается разность  $|X_{it} - X_{ik}|$ , а величину  $X_{ik}$  определяют конкретные условия работы бетона в конструкции.

Номенклатура параметров, характеризующих меру коррозионного состояния бетона, тесно связана с той ролью, которую он играет в строительной конструкции в качестве первичной защиты. Возможны три случая оценки  $S_t$ . При установлении состояния бетона неармированной конструкции (бетонного массива) в состав  $S_t$  входят ресурсы по прочности  $|R_t - R_k| / R_k$ , по капиллярному водопоглощению  $|W_{ct} - W_{ck}| / W_{ck}$ , по количеству негидратированных цементных остатков  $|V_t - V_k| / V_k$  [2]. При оценке коррозионного состояния бетона защитного слоя в растянутой зоне железобетонной конструкции, оценка  $S_2$  включает ресурсы по  $W_c$  и  $V$ , а также ресурс по рН водной вытяжки из растворной составляющей бетона  $|\text{pH}_t - \text{pH}_k| / \text{pH}_k$ . Для защитного слоя в сжатой зоне железобетонной конструкции предусматривается включение в оценку  $S_3$ , кроме ресурсов, входящих в оценку  $S_2$ , дополнительно ресурса по прочности. Пороговые значения параметров, входящих в оценки состояния:  $W_c = 7\%$ ,  $\text{pH} = 11,5$ ,  $V = 20\%$ ,  $R$  принимают по расчету.

Для удобства практического использования описанного метода прогнозирования рекомендуется проводить масштабирование оценок состояния:  $\eta_t = S_t / S_{t_0}$ . Таким образом,  $\eta_t$  изменяется от 1 для нового бетона до 0 для бетона, исчерпавшего свои защитные свойства.

В развитие СНиП 2.03.11—85 на основании проведенных экспериментальных и натурных обследований предложены значения средних скоростей изменения  $\eta_t$  для бетона на среднеалюминатном портландцементе в зависимости от степени агрессивности изученных сред (см. таблицу).

Степень агрессивности среды	Марка бетона по водонепроницаемости	Продолжительность эксплуатации, годы	$\eta_t \cdot 10^3$ за 1 год
Неагрессивная	—	> 20	< 50
Слабоагрессивная	W4—W8	15—20	50—66
Среднеагрессивная	W4—W8	10—14	70—100
Сильноагрессивная	W6	< 10	> 100

Многочисленные обследования, выполненные на промышленных объектах в Кривом Роге, Днепропетровске, Запорожье, Донецке, Харькове и в других городах показали, что бетон в результате эксплуатации от начального состояния ( $\eta_t = 1$ ) переходит на один из трех уровней:  $\eta_t = 0,5 \dots 1$ ;  $\eta_t = 0,1 \dots 0,5$  и  $\eta_t < 0,1$ . На первом уровне при продолжительности периода предыдущей (до обследования) работы больше планируемого времени эксплуатации, ресурс защитных свойств существующего бетона можно считать достаточным, в противном случае необходимо прогнозировать срок действия остатка ресурса с целью выбора вторичной защиты бетона. Если бетон отнесен к состоянию второго уровня, но требуется прогнозирование срока действия остатка ресурса с последующей вторичной защитой, обеспечивающей заданный срок службы. Если бетон находится в состоянии третьего уровня, то необходима его замена на новый, первичную и вторичную защиту которого назначают в зависимости от срока эксплуатации с учетом результатов прогнозирования.

Указанные правила справедливы для бетона без трещин. Исследованиями авторов на объектах черной металлургии и машиностроения установлено, что в условиях повышенной влажности и воздействия жидких агрессивных сред коррозия горячекатаной арматуры в месте трещин наблюдается при ширине раскрытия  $>0,2...0,3$  мм (величина защитного слоя  $>15$  мм). Аналогичные данные получены советскими и зарубежными исследователями на объектах других отраслей промышленности. При ремонте преднапряженных железобетонных конструкций трещины шириной раскрытия  $>0,3$  мм следует тщательно заделывать цементными или полимерными составами [1].

Основными свойствами бетона, определяющими долговечность усиленных конструкций, в большинстве сред, является проницаемость, сплошность (отсутствие трещин) и сцепление нового бетона со старым.

Одним из эффективных способов повышения долговечности конструкций при ремонте является поверхностная пропитка бетона. В Харьковском ПромстройНИИпроекте разработана эффективная пропиточная композиция из петро-

латума и высших жирных кислот [3]. Технология пропитки бетона эксплуатируемых конструкций включает очистку поверхности, прогрев и нанесение композиции. Имеется значительный опыт применения указанного способа для антикоррозионной защиты различных конструктивных элементов, а также устройства безрулонных кровель в горячих цехах металлургических предприятий. Для совмещения процессов прогрева поверхностей и нанесения пропиточных композиций разработана специальная установка. Важное преимущество пропитки термопластиками заключается в их ремонтоспособности: для восстановления защиты на поврежденных участках достаточно нанести композицию на предварительно прогретую поверхность конструкции.

Специфическими работами при вторичной (поверхностной) антикоррозионной защите эксплуатируемых конструкций являются заделка трещин и других повреждений, удаление старых покрытий и прокорродированного бетона, подготовка поверхности. При ремонте предъявляются дополнительные требования к поверхностной защите — низкая токсичность материалов, возможность нанесения на влажную поверхность, ско-

рость формирования покрытий с меньшим числом слоев.

Относительно широкое применение для гидроизоляции и антикоррозионной защиты железобетонных фундаментов, перекрытий, безнапорных труб и т. д. нашли разработанные в Харьковском ПромстройНИИпроекте битумно-петролатумные композиции. На основании лабораторных исследований и опытно-промышленного внедрения установлен срок службы таких покрытий. Для бетона марок  $W 4... W 8$  на среднеалюминатном цементе, пропитанного смесью петролатума и высших жирных кислот,  $\eta_c \cdot 10^3$  (см. таблицу) в слабоагрессивных средах составляет 25...28, среднеагрессивных — 29...33, сильноагрессивных  $>33$ , а для тех же бетонов, защищенных битумно-петролатумной композицией, — 16...18, 19...20 и  $>20$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении. — М.: Стройиздат, 1989. — 189 с.
2. Чернявский В. Л. Повышение антикоррозионных свойств бетонов. — Киев: Будівельник, 1983. — 88 с.
3. Защита железобетонных конструкций петролатумом / В. Л. Чернявский, В. В. Савенков, И. Н. Заславский и др. — Киев: Будівельник, 1980. — 68 с.

УДК 669.14.018.8

Л. И. ЕЛШИНА, инж. (НИИЖБ)

## Химический способ пассивации стальной арматуры с коррозионными поражениями в бетоне

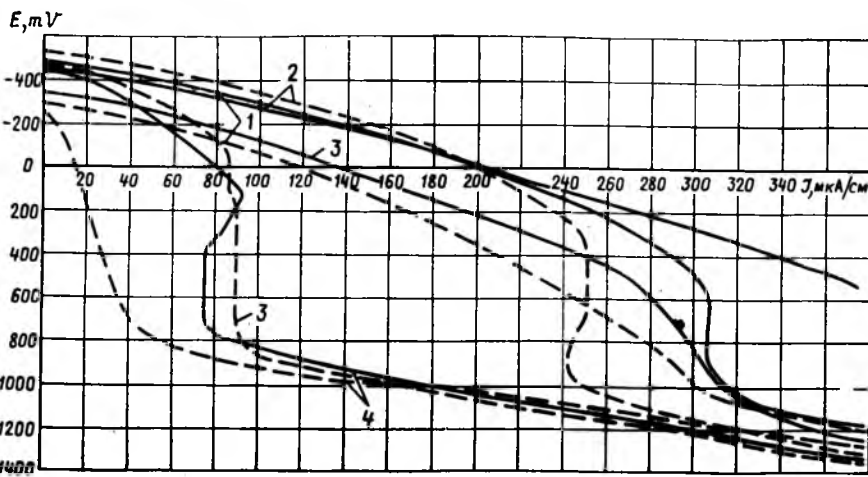
Производство железобетонных изделий и конструкций предполагает использование арматурной стали без коррозионных поражений. Однако на практике нередко применяют пораженную коррозией арматуру, предварительно ее очищая. Механическая чистка стальной арматуры от продуктов коррозии при изготовлении железобетонных конструкций в заводских условиях хотя и трудоемка, но осуществима. В то же время при возведении массивных монолитных сооружений, а также при проведении различных ремонтных работ, где прокорродированная арматура может оказаться в труднодоступных местах, механическая очистка экономически необоснованна, а иногда и неосуществима.

Механическую очистку арматуры от продуктов коррозии успешно заменяет обработка модификатором ржавчины, осуществляемая путем погружения или нанесения кистью или распылителем. Для выявления возможности применения модификатора ржавчины, условно обозначенного СВ-1, для восстановления продуктов коррозии различной толщины исследовали коррозионное поведение арматурной стали с различной степенью коррозионного поражения и обработанной модификатором ржавчины в тяжелом бетоне класса В15.

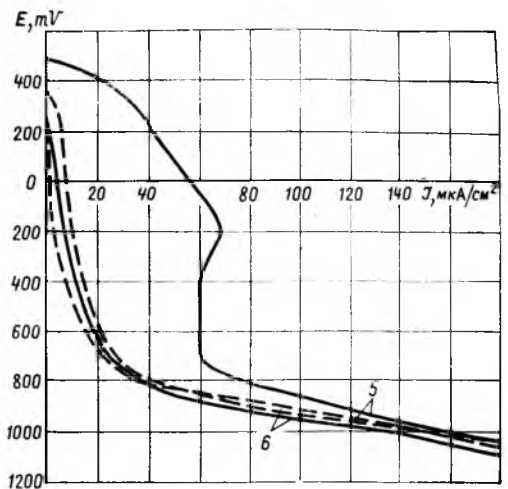
В качестве образцов использовали арматурные стержни из стали марки Ст3 длиной 120, диаметром 8 мм, которые предварительно корродировали с обра-

зованием слоя продуктов коррозии различной толщины в условиях атмосферы Москвы с постоянным капиллярным подсосом влаги со дна установленного поддона. Часть образцов перед бетонированием обрабатывали модификатором ржавчины, часть закладывали в бетон без обработки поверхности, в качестве эталонного образца бетонировали арматурный стержень без следов коррозионного поражения. От каждой серии близнецов с различной степенью коррозионного поражения отбирали образцы для гравиметрических исследований. Толщину слоя продуктов коррозии на поверхности арматурных стержней измеряли микроскопом МИС-11.

Результаты гравиметрических исследо-



Анодные поляризационные кривые образцов  
1 — группы VI; 2 — группы V; 3 — группы IV; 4 — группы III; 5 — группы II; 6 — группы I;  
— — — — — необработанные образцы; — — — — — обработанные СВ-1 образцы



ваний образцов шести групп (см. таблицу) показывают, что наибольшая скорость коррозии арматурных образцов достигается к 28 сут выдерживания, затем наблюдается спад скорости коррозии почти до начальной. Увеличение скорости коррозии на Ст3 в слабо- и среднеагрессивной средах связывают [1, 2] с накоплением на поверхности стали продуктов коррозии, состоящих в основном из лепидокрокита ( $\gamma$  —  $\text{FeOOH}$ ) и гетита ( $\alpha$  —  $\text{FeOOH}$ ). При переходе этих фаз в магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), образующийся при накоплении гидроксидов железа на поверхности образцов, скорость коррозии замедляется. Вероятно, после 28 сут выдерживания в условиях атмосферы города на поверхности арматурных образцов начинает формироваться тормозящая коррозию пленка магнетита.

Наряду с данными таблицы это подтверждается и результатами электрохимических исследований. Прокорродировавшие арматурные стержни помещали в бетонные образцы-призмы размером  $70 \times 70 \times 140$  мм. Для сравнительной оценки поведения арматуры, обработанной модификатором ржавчины, применяли методику снятия анодных поляризационных кривых (стандарт СЭВ 4421—83) (см. рисунок).

Характер изменения анодной поляри-

Группа образцов	Возраст ржавчины, сут	Толщина слоя ржавчины, мкм	Удельные коррозионные потери массы, г/см <sup>2</sup>	Скорость коррозии, (г/см <sup>2</sup> ) сут
I	8	150—120	0,004	0,0005
II	11	270—150	0,006	0,0006
III	15	375—150	0,0087	0,0007
IV	21	520—220	0,013	0,0008
V	28	600—370	0,020	0,0010
VI	35	1270	0,024	0,0006

Примечание. Площадь поверхности для всех образцов 30,9 см<sup>2</sup>

зационной кривой в сторону снижения тока поляризации свидетельствует о пассивации арматуры в бетоне. Плотность тока поляризации в каждой группе близнецов в результате обработки модификатором снижается в 1,5..6 раз. Наибольшая эффективность модификатора отмечается на образцах групп II..V, у которых плотность тока при  $\varphi = 300$  мВ в результате обработки модификатором ржавчины СВ-1 уменьшается в 6..2,5 раза. Эти образцы относятся к тем группам близнецов, которым соответствует увеличение скорости коррозии (см. таблицу), а значит [2] превалирующее содержание в продуктах коррозии лепидокрокита и гетита. Эффективность пассивации арматурных стержней, обработанных модификатором ржавчины, обу-

словлена очевидно восстановлением характерных фаз атмосферной среды города фаз ржавчины: лепидокрокита, гетита [3].

Для уточнения и расширения области применения модификатора в настоящее время проводятся длительные испытания железобетонных образцов в условиях различной влажности с учетом сохранения механических и эксплуатационных свойств стали. Проведенные испытания показали, что действие модификатора ржавчины проявляется при всех исследованных значениях толщины слоя продуктов коррозии (120..1270 мкм). Наибольшая его эффективность выявлена на образцах с толщиной слоя продуктов коррозии 150..520 мкм и максимальным содержанием лепидокрокита и гетита.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Подлекарев Н. Н. Влияние преобразователей ржавчины на защитную способность лакокрасочных покрытий // Вопросы повышения износо-, коррозионной стойкости сельскохозяйственных машин, оборудования: Сб. научн. тр. ВАСХНИЛ, ЦНИПТИ-МЭЖ. — Запорожье, 1984. — С. 38.
2. Продукты атмосферной коррозии железа и окраска по ржавчине / О. Кукурс А. Упите, И. Хонзак и др. — Рига: Зинатне, 1980. — 164 с.
3. Степанова В. Ф., Елшина Л. И. Применение арматуры с коррозионными поражениями в железобетонных конструкциях // Бетон и железобетон. Ресурсо- и энергосберегающие конструкции и технологии на Дальнем Востоке: Мат. Всесоюз. науч.-техн. конф. — Владивосток, 1988. — С. 238.

## Обеспечение долговечности конструкций при использовании в бетонах промышленных отходов

Минеральные отходы некоторых отраслей промышленности уже многие годы используют в производстве строительных материалов и железобетонных конструкций. В настоящее время отмечается повышенный интерес к рациональной утилизации отходов, в том числе для строительных целей. Применение золы и шлака тепловых электростанций вместо традиционных заполнителей из горных пород позволяет получить экономический эффект в пределах 3...8 р. на 1 м<sup>3</sup> бетона, а материалов из доменных шлаков — 3...5 р.

При использовании доменных шлаков, зол и шлаков тепловых электростанций не изучена долговечность бетона, сохранность стальной арматуры, не отработана технология производства.

ПромстройНИИпроект совместно с НИИЖБом еще в начале семидесятых годов были предложены способы защиты арматуры от коррозии в бетонах на шлаковых и зольных материалах. При этом были выявлены основные закономерности, определяющие защитные свойства таких бетонов. С учетом агрессивности каждого компонента (портландцемента и извести) и различных их сочетаний предложен метод подбора состава бетона из условия неагрессивности к стальной арматуре. Золошлакобетон, состав которого подобран по указанному методу, способен защищать арматуру от коррозии так же, как и обычный бетон, без шлаковых и зольных компонентов\*.

\* Рекомендации по защите арматуры от коррозии в бетонах на шлаковых и зольных материалах. — Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект — НИИЖБ, 1979, 25 с.

Очень важным является сохранение защитных свойств бетонов на шлаковых и зольных материалах во времени, определяемое известковым балансом и проницаемостью бетона.

Обожженные глины и глинистые сланцы, так же, как золы ТЭС, относятся к искусственным пуццоланам и характеризуются высокой способностью к поглощению извести. Проведенные авторами эксперименты по интенсивности поглощения извести золами, шлаками и некоторыми легкими заполнителями подтвердили известные положения и позволили установить эти характеристики для конкретных материалов. В табл. 1 приведены данные по интенсивности поглощения извести для некоторых материалов.

Они свидетельствуют о возможности существенного нарушения известкового баланса. Расчеты на основе этих данных показывают, что 100 кг золы ТЭС способно за 180 сут поглотить ≈ 15, за 1 год — 30, за 2 года — 60 кг извести. Однако известковый запас бетона ограничен. Если произвести простые подсчеты количества выделяющейся извести при гидратации цемента, приняв его количество в бетоне 400 кг, содержание в его составе C<sub>3</sub>S равным 55%, C<sub>2</sub>S — 23%, минеральных добавок до 20% и обусловив степень гидратации клинкера 25%, то это составит 65...70 кг. Сравнение показателей поглощения и выделения извести показало, что известковый баланс через 2 года практически исчерпывается при содержании в составе бетона 100 кг золы ТЭС. Защитные свойства бетона по отношению к арматуре после этого существенно ослабевают и

неизбежно должны интенсифицироваться процессы коррозии арматуры, соответствующие среде с пониженной щелочностью при наличии агрессивных серосодержащих анионов.

Однако на практике этого не происходит даже при большом содержании в бетоне золы ТЭС и присутствии других компонентов, способных поглощать извести, например керамзитового гравия. Это подтверждается не только непосредственными коррозионными испытаниями арматуры в бетоне, но и многолетним опытом эксплуатации железобетонных конструкций, изготовленных с применением золошлаковых материалов.

Следовательно, процесс поглощения извести более сложен и определяется как особенностями гидратации цемента, так и свойствами золошлаковых материалов. Необходимо обратить внимание на изменения, происходящие с глинистым материалом при сжигании измельченного угля в топках ТЭС. Минеральная часть пылевидной золы ТЭС представляет собой частички глинистых сланцев различной степени обжига — от полностью остеклованных пустотелых гранул до практически неизменного материала. Причем большая часть золы представлена материалом, степень обжига которого близка к глиняному кирпичу или черепку. Дегидратация и обжиг глинистых минералов обуславливает их структурные изменения и определяет свойства, характерные для цеолитов по способности к ионному обмену.

Проведенными экспериментами установлено, что при водном контакте цемента и золы ТЭС происходит ионный обмен (табл. 2). Для опытов использовали бездобавочный портландцемент Амвросиевского цементного комбината, золу различных ТЭС и ГЭС Донецкой области. Приведенные в табл. 2 данные характеризуют свойства золы Кураховской ТЭС. Экспериментальные данные для зол Старобешевской, Славянской ТЭС и Ясиновской ТЭС аналогичны.

Из табл. 2 видно, что в цементно-зольных смесях протекает интенсивный ионный обмен, в результате которого цеолитные структуры глинистых минералов золы обогащаются кальцием, от-

Таблица 1

Материал	Интенсивность поглощения Ca(OH) <sub>2</sub> мг/(г·сут)				Продолжительность испытаний, сут	Общее количество поглощенной Ca(OH) <sub>2</sub> , мг/г
	0—180 сут	180—360 сут	к моменту окончания испытаний	средняя		
Зола Кураховской ТЭС	1,63	0,62	0,17	0,63	851	536,19
Зола Угледорской ТЭС	0,34	0,81	—	0,50	278	143,96
Зола Ясиновской ТЭС	1,37	0,73	0,31	0,80	552	439,35
Измельченный керамзит (Волгоградский з-д)	0,86	0,72	0,39	0,63	849	537,48

Анализируемый компонент	Химический состав, %					
	Цемент без контакта с золой	Цемент после контакта с золой	Изменение состава		Зола после контакта с цементом	Зола без контакта с цементом
			цемента	золы		
CaO	58,00	54,66	-3,34	2,04	4,99	2,95
$\Sigma \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$	0,50	1,32	0,82	-1,36	3,46	4,82
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,30	3,73	-0,57	0,50	9,63	9,13
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4,85	4,98	0,13	-0,26	25,32	25,58

давая в основном натрий и калий. При этом в жидкой фазе устанавливается устойчивое равновесие в пределах условий эксперимента. Знание свойств зольных минералов цеолитного строения необходимо для объяснения и правильного учета защитных свойств золошлакобетонов во времени.

Применение золы ТЭС в качестве компонента бетона снижает проницаемость и, следовательно, уменьшает скорость карбонизации защитного слоя бетона, а также повышает общую коррозионную стойкость.

Экспериментально установлено, что введение в бетоны пылевидной золы повышает их водонепроницаемость в 2...3 раза. Это происходит вследствие влияния золы на формирование капиллярно-пористой структуры бетона. По данным проведенных исследований, 50...100 кг золы на 1 м<sup>3</sup> бетона существенно изменяют дифференциальную пористость материала. При этом объем мелких (<5·10<sup>-6</sup> см) пор существенно увеличивается, а крупных — уменьшается и, как следствие, повышается водонепроницаемость бетона.

Структурные изменения в бетоне и повышение его плотности происходят благодаря кольматации пор и капилляров соединениями коллоидного типа, образующимися из высокодисперсной части пылевидной золы. Поэтому плотность бетонов во времени и в разных условиях эксплуатации существенно зависит от свойств коллоидных соединений. Исследования свидетельствуют о том, что коллоидные соединения, образующиеся в бетоне из пылевидной золы, имеют рыхлую структуру, низкую прочность и сравнительно легко вымываются водой. Последний факт установлен в ходе испытания бетонов с добавками золы на водонепроницаемость. В результате фильтрации воды с течением времени объем крупных пор в таком бетоне увеличивается, а его плотность и водонепроницаемость снижаются. Таким образом, эффект уплотнения бетона добавками пылевидной золы следует рассматривать как временный. Этот вывод справедлив для немассивных бетонных конструкций.

Стабильный эффект уплотнения бетона пылевидной золой можно достичь повышением структурно-механической прочности коллоидных образований вследствие введения солей-электролитов, способствующих ускорению коагуляции таких коллоидных соединений. В качестве солей-электролитов использовали нитрат кальция, хлориды кальция и натрия, обеспечивающие надежную устойчивость уплотняющего эффекта добавками золы. Испытания показали, что при длительном воздействии гидростатического давления снижение плотности таких бетонов и вымывание соединений коллоидного типа не наблюдается. Установлено также существенное повышение сульфатостойкости бетона при комплексном использовании золы и электролитов.

Следовательно, при введении добавок активных минеральных веществ обеспечение стабильности их уплотняющего эффекта, водонепроницаемости и коррозионной стойкости бетона можно достичь добавлением в бетонную смесь солей-электролитов, ускоряющих коагуляцию соединений коллоидной степени дисперсности.

Материалы из доменных шлаков широко используют в технологии бетона. Шлакопортландцемент применяют в большинстве регионов нашей страны. На практике бетоны на основе портландцемента часто имеют в своем составе золу и шлаки ТЭС, керамзит, шлаковую пемзу и другие материалы, поглощающие известь. Однако при изготовлении и применении цемента это обстоятельство не учитывают. Доля доменного гранулированного шлака в составе цемента непрерывно растет. В

современном портландцементе она достигает 60 и может быть по согласованию доведена до 80%. Клинкерная основа для производства шлакопортландцемента по минералогическому составу не регламентируется. Доменный гранулированный шлак оценивают в основном по модулю основности (по данным валового химического состава). Степень кристаллизации шлака при грануляции и фактический его минералогический состав не учитывают.

Наши представления о доменном гранулированном шлаке в основном базировались на его составе и свойствах после мокрого способа грануляции. Он содержит 70...90% стекла и  $\beta$ -двухкальциевый силикат. Он не столько поглощал, сколько выделял известь. Во всяком случае, гранулированный шлак мокрой грануляции отличается относительно высокой активностью.

В настоящее время применяют в основном полусухой способ грануляции. При этом строго технологического регламента грануляции практически не существует. Такой шлак достаточно закристаллизован, содержит в составе продукты распада. Минералогический состав этих шлаков представлен преимущественно  $\gamma$ -двухкальциевым силикатом, гелинитом, ранкнитом и сульфидами. Активность шлаков полусухой грануляции значительно ниже, чем шлаков мокрой грануляции.

Изложенное свидетельствует о необходимости переосмысления многих технологических и нормативных представлений о подготовке, переработке и применении золошлаковых материалов.



## Новое при проектировании защиты от коррозии в сильноагрессивных средах

Сокращение объемов капитального строительства приводит к изменению тематики проектных организаций, в планах которых все большее место занимают работы по ремонту, реконструкции, техническому перевооружению.

В промышленном строительстве не менее трети зданий и сооружений эксплуатируется в агрессивных средах. Наряду с кислотами, щелочами, газами типа хлора, хлористого водорода, сернистого ангидрида, окислов азота значительная часть строительных элементов подвергается попеременному замораживанию и оттаиванию в водонасыщенном состоянии или в условиях высокой относительной влажности воздуха. Атмосфера крупных промышленных предприятий нередко является также источником высокой коррозионной активности по отношению к железобетонным и особенно металлическим конструкциям.

Обеспечение долговечности элементов зданий и сооружений применительно к действующим предприятиям существенно отличается от традиционных решений для новых объектов.

СНиП 2.03.11—85 содержит требования к материалам и конструкциям, оценку степени агрессивных воздействий, особенности защиты применительно к проектируемым зданиям и сооружениям. Во введении к этому документу имеется пункт, в котором отмечается, что «проектирование реконструкций зданий и сооружений должно предусматривать анализ коррозионного состояния конструкций и защитных покрытий с учетом вида и степени агрессивной среды в новых условиях эксплуатации». Однако конкретные рекомендации отсутствуют.

При реконструкции, техническом перевооружении и ремонте приходится сталкиваться с конструкциями, которые уже были рассчитаны по несущей способности (предельное состояние первой группы) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельное состояние второй группы).

В производствах с сильноагрессивными средами снижение несущей способности происходит, в основном, под влиянием внешней среды. Силовые факторы, на которые были первоначально рассчита-

ны конструкции, обычно отсутствуют или не превышают проектные (хотя и отмечаются значительные отклонения). Опыт обследования многих предприятий свидетельствует, что в 90% условия работы конструкции по температурно-влажностному режиму, теплофизическим параметрам, коррозионным воздействиям отличается от тех, на которые они были запроектированы.

Выбор методов производства и способов защиты значительно отличается от тех, на которые ориентированы СНиП 3.04.01—87, технологические регламенты, многочисленные инструкции. Так, например, невозможно выполнить первичную защиту бетона и железобетона, так же как и большинство лакокрасочных, оклеечных и футеровочных покрытий, для которых требуется положительная температура, низкая относительная влажность воздуха, определенное качество подготовки поверхности, в условиях действующих цехов, когда выделяется ограниченное время, а нередко ремонты ведутся даже без остановки технологического процесса, когда атмосфера содержит токсичные, пожаро- и взрывоопасные газы, влажность повышенная, традиционные методы защиты малоэффективны.

Нужны новые технологии, материалы и методы ведения работ, использование модификаторов и преобразователей ржавчины, нанесения покрытий на бетон, подвергавшийся коррозии, применение вместо многослойных тиксотропных лакокрасочных покрытий, твердеющих во влажных условиях, более широкое использование ингибированных составов.

Необходима система нормативно-технологических документов, учитывающих не только условия действующих предприятий, но и обеспеченность материально-техническими ресурсами, поскольку традиционно ремонтные организации снабжались химически стойкими материалами значительно хуже нового строительства.

Некоторые научно-исследовательские институты уже начали активно заниматься этой проблемой, но в целом она требует серьезной координации и привлечения большого количества исполнителей.

Увеличение габаритов железобетонных наливных сооружений и их использование в качестве хранилищ агрессивных сред (многие из которых являются еще и токсичными) поставили перед проектировщиками еще одну проблему — охрану окружающей среды.

Этому способствовало максимальное увеличение единичных мощностей технологических агрегатов, интенсификация производств, повышение коэффициента застройки территорий действующих заводов, внедрение в строительство (в том числе и подземное) сборного железобетона при значительном увеличении степени агрессивности и токсичности сточных вод.

При разработке защиты проектировщики обычно использовали готовые сооружения (в том числе типовые), разработанные для воды. Поэтому широко распространены в настоящее время емкостные сооружения для агрессивных стоков — прямоугольные резервуары со сборными стенками и монолитным днищем. Практика привязки типовых сооружений для воды применительно к агрессивным средам существует до сих пор. Между тем, опыт эксплуатации показывает, что увлечение объемами, сборностью, погоня за индустриальностью приводят к значительным изменениям окружающей среды. Дело в том, что конструкции указанных сооружений негерметичны. Уязвимыми местами являются швы в стеновых панелях, сопряжение панелей с днищем, деформационные швы, через которые агрессивные вещества из резервуара проникают в грунты и подземные воды. Положение осложняется тем, что отсутствуют методы контроля за утечками в процессе эксплуатации. Кроме того, резервуары обычно рассчитывают по 3-й категории трещиностойкости. В результате усадочных явлений, просадок, вызванных неоднородностью оснований при размерах сооружений в плане 30, 40, 50 и даже 80 м, трещины в натуральных условиях значительно (иногда в 5..10 раз) превышает допустимые.

Поскольку нормативные документы не ограничивают предельные объемы со-

оружий для сточных вод, а для состава последних характерно наличие высокоагрессивных и токсичных продуктов, в результате утечек происходит значительные изменения гидрогеологических условий промышленных площадок — повышение уровня подземных вод и степени их агрессивного воздействия, снижение несущей способности грунтов оснований, загрязнение технологическими продуктами верхнего горизонта подземных вод.

Экономические и социальные последствия технологических загрязнений трудно предсказать ввиду несовершенства методики их расчета. Опасность усугубляется еще и тем, что даже в случае прекращения эксплуатации (в отличие от газовых выбросов) вокруг таких сооружений долгие годы сохраняется очаг загрязнения.

Поэтому при проектировании защиты от коррозии строительных конструкций

сооружений с высокоагрессивными средами сохранение долговечности бетона, арматуры, непроницаемости железобетона или бетона служит главной задачей — защите окружающей среды.

Выбор антикоррозионной защиты подземных сооружений осложнен тем, что она должна обладать сроком службы, максимально приближенным к сроку самого сооружения. Между тем, большинство защитных покрытий уже через 5...8 лет требует восстановления, что в условиях действующих предприятий сложно или даже невозможно без остановки производства.

Поэтому первейшая задача проектировщиков сооружений в агрессивных средах — максимально использовать возможности первичной защиты, включая конструктивные решения, выбор бетонов, добавок, повышение трещиностойкости и т. д. Без этого даже оклейка рулонными полимерными пленками с

кислотоупорным кирпичом не обеспечивает требуемой надежности сооружений.

Наиболее перспективны сооружения, которые не требуют после изготовления дополнительной защиты поверхности (конструкционные полимеры, химически стойкие бетоны). Но уже и сейчас важно, чтобы к резервуарам был обеспечен доступ в процессе эксплуатации, а вопрос о форме, материале конструкций и их герметичности был не менее ответственным, чем расчет по несущей способности.

Высокоагрессивные и токсичные среды являются потенциальными источниками повышенной опасности для строительных конструкций и окружающей среды. Поэтому обеспечение надежной работоспособности следует рассматривать как один из важнейших показателей технико-экономического уровня проектных разработок, что не всегда учитывается при экспертизе инженерных решений.

УДК 624.15:620.197

## Об агрессивности надмерзлотных вод по отношению к бетону фундаментов и способах их защиты

Особенность условий работы свайных фундаментов заключается в засоленности грунтов основания, высоком уровне минерализованных надмерзлотных вод сезоннооттаивающего слоя.

Засоление грунтов в зоне Центральной Якутии связано с первичной засоленностью пород (лессовидных суглинков). Основным источником соленакопления явились соли, образовавшиеся в процессе выветривания и почвообразования горных пород, которые выносились на равнину водами с окружающих территорий. Многолетняя мерзлота не только способствует сохранению солей в грунтах, но и придает соленакоплению в поймах своеобразные особенности. Процессы соленакопления в грунтах на территории Якутска, кроме того, обусловлены равнинным рельефом города и отсутствием естественного дренажа. Грунты города более 350 лет несут коммунальную службу, в течение которых внеслось большое количество солей: жирных кислот, сульфатов, нитратов, гидрокарбонатов — что привело к значительной минерализации грунтов культурного слоя. Установлено, что грунты культур-

ного слоя содержат иногда незамерзающую влагу даже при температуре  $-3...-4^{\circ}\text{C}$ .

Грунты Центральной Якутии, включая территорию Якутска, в той или иной степени засолены легкорастворимыми соединениями. Наибольшая засоленность отмечается на глубине 20...40 см от поверхности грунта и у границ вечномерзлых грунтов, образуя иссушенный средний слой в разрезе грунтового профиля. Минерализация надмерзлотных грунтовых вод колеблется в широких пределах. В составе грунтовых вод присутствуют катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , сульфат-ионы, хлорид-ионы и гидрокарбонат-ионы, причем общая минерализация составляет 1,5...120 г/л.

Исследования стойкости бетонов на местных материалах в однокомпонентных и многокомпонентных средах с учетом грунтовых и климатических условий района показали, что коррозия в бетоне свай на участке, расположенном в зоне сезонного оттаивания и промерзания, носит затухающий характер, обусловленный замедлением сульфатной коррозии при содержании в грунтовых

водах ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{HCO}_3^-$  и диффузионных процессов вследствие кольматации пор бетона труднорастворимыми продуктами коррозии в условиях ограниченной смены воды — среды, а также снижением скорости химических реакций при понижении температуры внешней среды согласно закону Аррениуса.

Изучение различных методов защиты бетона свай при комплексном воздействии агрессивных минерализованных сред позволило выбрать эффективный способ защиты фундаментной части — устройство дренируемых грунтовых подсыпок, выполняющих функции дренажа и теплозащиты. Отмечено, что поверхностные лакокрасочные покрытия ускоряют разрушение бетона свай.

Предложения внедрены в практику проектирования и строительства зданий в Якутске с экономическим эффектом 15...33 р. на  $1 \text{ м}^3$  свайных фундаментов.

Л. Г. ХАУСТОВА, О. И. МАТВЕЕВА,  
кандидаты техн. наук  
(Якутский ин-т  
промышленного проектирования)

## Первичная защита сборных конструкций тепловых магистралей

Для обеспечения надежности и долговечности эксплуатационных свойств железобетонных конструкций тепловых магистралей традиционно предусматривается их вторичная защита путем нанесения на поверхность конструкций защитных покрытий.

В Главкиевгорстрое, учитывая высокую трудоемкость и недостатки вторичной защиты, была обеспечена первичная защита железобетонных лотков тепловых магистралей путем повышения плотности и водонепроницаемости бетонов.

Принципиальным преимуществом первичной защиты таким способом по сравнению со вторичной является сохранение требуемой водонепроницаемости конструкций, несмотря на возможные повреждения их поверхности, в то время как повреждение защитных покрытий приводит к фильтрации воды через лотки. Материалы поверхностной гидроизоляции во времени стареют, что снижает ее защитные свойства. Первичная защита в виде повышения водонепроницаемости бетона сохраняет свойства в процессе эксплуатации конструкций. Водонепроницаемость бетонов с возрастом увеличивается, причем более интенсив-

но, чем его прочность. Обеспечение требуемой водонепроницаемости бетона приводит к повышению степени заводской готовности железобетонных конструкций и позволяет отказаться от проведения трудоемких операций по нанесению на бетонную поверхность защитных покрытий.

Повышение водонепроницаемости бетонов достигается путем введения добавок суперпластификаторов и золы в состав бетонной смеси.

Применение суперпластификатора С-3 в количестве 0,6% массы цемента позволило не только обеспечить требуемую марку бетона лотков по водонепроницаемости W 4, но и использовать бетонные смеси с большей подвижностью, уменьшить расход цемента в среднем на 20 кг/м<sup>3</sup> и в результате снижения В/Ц обеспечить более высокую морозостойкость бетонов. Для заводов сборного железобетона в Главкиевгорстрое разработана «Инструкция по применению добавки суперпластификатора С-3 при изготовлении железобетонных конструкций тепловых магистралей для обеспечения марки бетона по водонепроницаемости W4».

Введение золы-уноса Ладыжинской

ГРЭС в количестве 150 кг/м<sup>3</sup> позволяет повысить водонепроницаемость бетона на 1...2 марки, снизить расход цемента на 30...50 кг/м<sup>3</sup>, пластифицировать бетонную смесь. Как показали наши исследования, применение золы позволяет также повысить сульфатостойкость бетона.

Выбор способа первичной защиты зависит от конкретных условий изготовления конструкций: наличия подъездных путей, емкостей для хранения и т. д.

Изготовление железобетонных лотков тепловых магистралей из водонепроницаемого бетона позволяет тресту Киевподземдорстрой № 1 отказаться от нанесения в условиях строительной площадки обмазочной изоляции битумными материалами в количестве более 60 тыс. на 1 м<sup>2</sup> поверхности в год. При этом годовой экономический эффект составляет 51 тыс. р.

М. Ю. ЛЕЩИНСКИЙ,  
М. А. ЛИХТМАН  
(Киевгорстрой Главкиевгорстроя);  
Н. С. ВАКУЛЕНКО  
(трест Киевподземдорстрой № 1  
Главкиевгорстроя)

© Лещинский М. Ю., Лихтман М. А., Вакулenco Н. С., 1990

УДК 669.14.018.8

## Коррозионная стойкость стальной арматуры в бетонах на обезвреженных фосфорно-шлаковых вяжущих

Один из способов снижения себестоимости строительства заключается в удешевлении производства строительных материалов вследствие использования местного сырья и побочных продуктов промышленности. Казахстан располагает огромным количеством отходов, в частности шлаками электротермического производства фосфора, которые пригодны для производства вяжущих — наиболее энергоемкой отрасли промышленности строительных материалов.

В настоящее время основным потре-

бителем гранулированных фосфорных шлаков является цементная промышленность, использующая их в качестве активной минеральной добавки при помолу клинкера [1]. Содержание шлаков в цементе в зависимости от химического состава и вида цемента составляет 20...60%.

В последние годы многие ученые склонны применять гранулированные фосфорные шлаки непосредственно в качестве вяжущего материала. Исследованиями [2, 3] установлено, что шлаки,

имеющие в составе значительное количество оксидов кальция и стеклофазы, проявляют вяжущие свойства, хотя и очень слабые, но увеличивающиеся с введением в них добавок-активизаторов. Однако исследованиями последних лет выявлено, что при переработке фосфорного гранулированного шлака в вяжущие материалы (сушка и помол) выделяются фосфин (PH<sub>3</sub>) и фтористый водород (HF), значительно превышающие предельно допустимые концентрации. Алма-Атинским НИИСтромпроектом сов-

местно с институтом органического катализа и электрохимии АН КазССР предложен механохимический способ обезвреживания шлака и получены вяжущие и бетоны, обладающие высокой прочностью и сульфатостойкостью ( $K_{ст} = 0,9...1,1$ ). Однако широкое внедрение этих бетонов сдерживается из-за неизученности коррозионного состояния стальной арматуры в них.

Проведенные авторами электрохимические исследования показали, что арматура в бетонах на обезвреженных фосфорно-шлаковых вяжущих находится в состоянии неустойчивой пассивности при хранении образцов в воде и воздушно-влажностных условиях и активном состоянии — в растворах сульфата натрия и магния 5- и 2,5%-ой концентрации. С целью повышения защитной способ-

ности бетона по отношению к стальной арматуре испытали ингибиторы коррозии — нитриты натрия и кальция, хроматы натрия и калия, трехзамещенный фосфат натрия. Дозировка этих ингибиторов в количестве 1% массы вяжущего надежно защищает арматуру от коррозии в воде и воздушно-влажностных условиях. Стационарный потенциал стали смещается в положительную сторону с  $-340$  до  $-185$  мВ, а плотность тока при потенциале  $E = 300$  мВ составляет  $3...5$  мкА/см<sup>2</sup>. Эти же ингибиторы, введенные в количестве 2% массы вяжущего, переводят сталь в пассивное состояние в растворах сульфатов натрия и магния. При этом стационарные потенциалы  $-210...-285$  мВ, а плотность тока на стали  $3...6,5$  мкА/см<sup>2</sup>.

Таким образом, для защиты арматуры

от коррозии в бетонах на фосфорно-шлаковых вяжущих необходимо применять ингибиторы коррозии (пассиваторы) в количестве 1...2% массы вяжущего.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крыжановская И. А. Применение электротермофосфорных шлаков в производстве цемента. — М.: Стройиздат, 1978. — 53 с.
2. Будников П. П., Горшков В. С. Повышение гидравлической активности доменных шлаков методом направленной кристаллизации // Строительные материалы. — 1964. — № 9. — С. 22—23.
3. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, Б. Н. Виноградов, К. В. Гладких. — М.: Стройиздат, 1969. — 392 с.

К. С. ШИНТЕМИРОВ,  
М. М. ИЗЖАНОВ

(Алма-Атинский архитектурно-строительный ин-т);

У. Д. МУРАТОВА  
(НИИстромпроект Госстроя КазССР)

УДК 666.14.018.8

## Противокоррозионная защита стальных соединений конструкций модифицированными смазками

Совершенствование противокоррозионной защиты необетонируемых стальных соединений сборного железобетона связано, как известно, с переходом на одностадийный метод защиты, при котором элементы соединения защищают в постройных условиях после монтажа. Для этого необходимы пластичные материалы, обладающие хорошей адгезией к необработанной стальной поверхности, в том числе с продуктами коррозии, полностью заполняющие зазоры и щели узлового соединения. К таким материалам относится, в частности, пластичная углеводородная смазка марки «пушечная» (ПС).

Рассматривали факторы, влияющие на защитные свойства и теплостойкость покрытия из ПС: наличие продуктов коррозии стали на подложке, исходная толщина покрытия (0,2; 0,7; 1; 1,4; 3 мм), модифицирование ПС алюминиевой пигментной пудрой в количестве 5...30% (МПС). Определяли температуру каплепадения и сползания, емкостно-омические характеристики, паро- и водонепроницаемость покрытий, а также коррозионную стойкость покрытий, нанесенных на стальные стержни, в парогазовоздушной камере с сернистым газом и в 0,5 N растворе  $Na_2SO_4$ .

Различия в коррозионном поведении

покрытий ПС и МПС, нанесенных на эталонную стальную поверхность (протравленную, шлифованную) и на поверхность с продуктами коррозии толщиной 30 мкм, не наблюдается. Температура сползания ПС на поверхности стали с продуктами коррозии на 10°C выше по сравнению с эталоном. При росте толщины ПС с 1 до 3 мм (стандартная подложка) температура сползания уменьшалась незначительно, примерно на 1°C на каждый мм прироста толщины.

Введение алюминиевой пудры в ПС повышает ее температуру сползания и каплепадения соответственно на 17 и 5°C (стандартная подложка). Указанный рост температуры сползания наиболее интенсивен при введении небольших количеств (до 5%) наполнителя и практически прекращается при наличии 20% и более наполнителя. При введении 5% алюминиевой пудры температура сползания и каплепадения становится одинаковой.

Прямые коррозионные испытания показали большую стойкость покрытий с 5% алюминиевой пудры (толщина 0,2 мм). Так, продукты коррозии стали на образцах под покрытием в 0,5 N растворе  $Na_2SO_4$ , содержащем 10% через 25 сут, а при наличии 5% наполнителя — продукты коррозии отсутствовали после 3 мес испытаний. После 30 циклов испы-

таний образцов (7 мес) в парогазовоздушной камере интенсивность коррозии стали под покрытием из МПС с 5% наполнителя и ПС без наполнителя, определенная весовым методом, после удаления смазки составила соответственно 1,5 и 2,5 мкм/цикл. Для МПС с 5% наполнителя наилучшими оказались и барьерные свойства (паро-, водонепроницаемость, импеданс).

Таким образом, установлено, что наличие продуктов коррозии не снижает защитные свойства смазки ПС, а даже повышает температурный предел ее использования с 50 до 60°C. Для улучшения защитных свойств и теплостойкости эффективно введение в ПС 5% алюминиевой пигментной пудры. При этом срок службы покрытия увеличивается примерно в 1,5...2 раза, теплостойкость на 30%, улучшаются также и декоративные качества покрытия.

Покрытия из МПС с 5% алюминиевой пигментной пудры использовали для защиты закладных деталей железобетонных конструкций на Первомайском заводе алюминиево-бронзовых сплавов, АТС в Харькове и других строительных объектах.

В. Е. КРУШЕДОЛЬСКАЯ, В. Я. ФЛАКС  
(Харьковский ПромстройНИИпроект)

## Оптимизация состава морозостойкого бетона со смешанным заполнителем

Стойкость бетона к низкотемпературным циклическим воздействиям, обусловленная уровнем собственных напряжений, возникающих в структуре бетона, можно в некоторых случаях повысить благодаря замене части крупного тяжелого заполнителя легким.

Авторами предложен один из способов подбора состава бетона с демпфирующими компонентами, которыми являются легкие заполнители (керамзитовый гравий, доменный шлак и др.). Экспериментально установлено, что применение смешанного заполнителя повышает морозостойкость бетона без снижения других свойств.

На основе предложенного способа разработана теоретико-экспериментальная методика оптимизации (по стоимости) состава бетона, стойкого по отношению к циклическим низкотемпературным воздействиям. Критерием качества бетона может служить стоимость 1 м<sup>3</sup> бетона. Поэтому целевую функцию примем в виде

$$C = C_1 Ц + C_2 Т + C_3 Л + C_4 П + C_5 В, \quad (1)$$

где  $C_i$  — удельная стоимость  $i$ -го компонента ( $i=1..5$ ); Ц, Т, Л, П, В — расход цемента, тяжелого заполнителя, легкого заполнителя, песка, воды, кг/м<sup>3</sup>.

Расходы компонентов бетона варьируют, причем ограничениями служат требования прочности, плотности и морозостойкости

$$0,6 R_{ц} (Ц/В - 0,5) K_{28} \geq R_{28}, \quad (2)$$

где  $K_{28}$  — коэффициент, учитывающий снижение прочности бетона в 28-суточном возрасте при введении легкого заполнителя вместо тяжелого

$$Ц + В^* + П + Т + Л \leq \rho, \quad (3)$$

$В^*$  — суммарная водопотребность заполнителей и бетонной смеси.

$$\frac{R_n}{R_0} = \sum_{i=1}^3 a_i(n) x_i \geq 0,85, \quad (4)$$

где  $R_0, R_n$  — начальная и после  $n$  циклов замораживания-оттаивания прочность бетона;  $x_i$  — факторы, влияющие на состав бетона — параметры управления [ $V_{л}/V_{к.э.}$ , В/Ц, П/(Т+Л)];  $a_i(n)$  — функция, представленная в виде полиномов Лагранжа, которую строят по результатам экспериментов.

Условие морозостойкости:  $R_n/R_0 > 0,85$ , где 0,85 — критерий, устанавливаемый стандартом. Задача состоит в минимизации целевой функции  $C$  при ограничениях (2)...(4).

Создана реализуемая с помощью ЭВМ

ФОРТРАН программа оптимизации состава бетона. Для решения нелинейной задачи целесообразно использовать метод прямого поиска, задав параметры управления в виде целочисленных массивов, организовать поиск оптимального проекта состава перебором возможных вариантов.

Время счета на ЭВМ ЕС-1022 при 10000 вариантов составляет около 2 мин. Расчеты, выполненные с помощью ЭВМ, основанные на данных экспериментальных исследований, свидетельствуют об экономической целесообразности замены в некоторых случаях части тяжелого заполнителя легким.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о возможности универсальной технико-экономической оценки состава бетона, оптимального в конкретных условиях его приготовления и использования, что при больших объемах производства даст значительный экономический эффект.

Ю. В. ОСЕТИНСКИЙ, В. А. СААР  
(Ростовский инженерно-строительный ин-т);  
А. М. ПОДВАЛЬНЫЙ (НИИЖВ)

© Осетинский Ю. В., Саар В. А., Подвальный А. М., 1990

УДК 624.012.45:620.197.046.5

## Эксплуатационная надежность железобетонных свай при коррозии

По многочисленным литературным данным можно судить о повсеместных неблагоприятных гидрогеологических условиях эксплуатации подземных сооружений — поднятии уровня грунтовых вод, увеличении концентрации в грунтовой среде агрессивных ионов за счет техногенных вод и агрессивности вышерасположенных грунтовых массивов.

Так, по нашим данным, для основных промышленных регионов Украины, за исключением Западной Украины и Крыма, характерно поднятие уровня грунтовых вод после ввода в эксплуатацию крупных

промышленных объектов до 1 м в год, а концентрация основных агрессивных ионов в грунтовой воде повышается до 10...15 тыс. мг/л для сульфатов, 1...1,5 тыс. для хлоридов, 1 тыс. для бикарбонатов.

Особо опасно повышение концентраций агрессивных ионов для свай в связи с ограниченными возможностями их поверхностной защиты как на стадии изготовления, так и в период эксплуатации. В этом случае приходится считаться со сравнительно глубоким понижением коррозионных процессов в тело бетона,

что не предусмотрено современными нормами по коррозии.

Исследования бетона при циклическом воздействии деструктивных сред, включающих изменение температурно-влажностных параметров, в том числе периодическое замачивание в средах с различным содержанием сульфат-, хлорид- и бикарбонатов (имитация грунтовой среды), выявили определенную взаимосвязь изменчивости основных конструктивных характеристик (кубиковой и призмочной прочности, прочности при растяжении, выносливости при сжатии,



## Определение срока защитного действия антикоррозионного покрытия

модуля мгновенной деформации). Так, для призмной прочности  $R_{пр} t/R_{пр0}$ :  $R_{сж} t/R_{сж0} = 0,75$ ; для прочности при растяжении  $R_p t/R_{p0}$ :  $R_{сж} t/R_{сж0} = 0,5$ ; для выносливости при сжатии — зависимость, аналогичная растяжению; для модуля упругости

$$E_6 t/E_6 0 : R_{сж} t/R_{сж0} = 0,5 \dots 0,8.$$

Армирование вызывает развитие сульфатной коррозии сечения свай. Коррозия арматуры, начинающаяся при достижении в слое бетона у арматуры количества  $SO_3 > 2\%$  массы цемента, приводит к отслоению защитного слоя бетона в результате накопления продуктов коррозии стали. При незначительной толщине защитного слоя отслоение происходит при небольшом снижении прочности бетона отслаивающегося слоя и лишь после отслоения снижение прочности бетона продолжается, в том числе в глубоких слоях.

В грунтовых средах, агрессивных только по содержанию ионов хлора, возможны конструктивные и расчетные мероприятия обеспечения надежности свай, например уменьшение при проектировании защитного слоя до арматуры с исключением защитного слоя и арматуры из расчета свай в эксплуатационной стадии с учетом роста прочности бетона сохраняемого ядра сечения. Такое решение предложено нами и реализовано в одном из объектов.

Возможен вариант противоположный — концентрация арматуры в центре сечения. В этом случае в предельном состоянии при коррозии арматуры возможно расслоение сечения свай на две части продольными трещинами, что следует учитывать расчетом.

Изменение средних значений прочности бетона по сечению свай при глубокой деформации в условиях грунтовых агрессивных сред можно характеризовать четырьмя зонами:

зона А (поверхностная) — из рассмотрения исключается в связи с неустойчивостью процесса деформации (где  $R_t < < 1/3 R_0$ );

зона Б — падение прочности при относительно стабильных характеристиках дисперсии (где  $R_t > 1/3 R_0$ );

зона В — ложный рост прочности, обусловленный накоплением продуктов коррозии;

зона Г — рост прочности, обусловленный длительной временной гидратацией цемента.

Имеется в виду, что при глубокой деформации арматура, расположенная у наружных граней, вошла в исключаемую зону А.

Г. К. МАРКИНА, Л. Б. ФРИДГАН  
(Харьковский ПромстройНИИпроект)

На основе ранее изложенных представлений\* предложено аналитическое описание процесса проникания агрессивного раствора через изоляционное покрытие на основе цементных композиций к поверхности стальной конструкции. При этом принимают, что диффузия внешнего агрессивного раствора, не осложнена химической реакцией, т. е. внешний раствор незначительно взаимодействует с компонентами покрытия.

Интенсивность массопереноса агрессивного раствора из внешней среды концентрацией  $C_0$  через покрытие толщиной  $L_1$  к поверхности конструкции определяется градиентом концентрации раствора

$$q = - \frac{D^* dC}{dx} = \frac{D^* C}{L}, \quad (1)$$

где  $D^*$  — эффективный коэффициент диффузии агрессивного вещества в цементном покрытии,  $m^2/c$ ;  $L$  — глубина проникания агрессивного вещества в покрытие к произвольному моменту времени,  $m$ ;  $C_0$  — концентрация внешнего раствора,  $г/м^3$ .

Если за время  $dt$  агрессивный фронт продвинулся на  $dL$ , то из условия баланса массы диффундирующего вещества можно записать дифференциальное уравнение углубления агрессивного фронта

$$q dt = 0,5 C_0 dL \quad (2)$$

или, после подстановки  $q$  и разделения переменных,

$$D^* C_0 dt = 0,5 C_0 L dL. \quad (3)$$

В результате интегрирования зависимости (3) при начальных условиях  $t=0$ ,  $L=0$  получим выражение, аналогичное уравнению диффузии Эйнштейна

$$L^2 = 4 D^* t, \quad (4)$$

что позволяет определить время  $t_1$ , необходимое для проникания агрессивного вещества к поверхности металла

$$t_1 = \frac{L_1^2}{4 D^*}. \quad (5)$$

Таким образом срок  $t_1$  характеризует эффективность защитных свойств изоляционного покрытия и, в конечном счете, долговечность конструкции, если считать,

что начало коррозии металла недопустимо.

Однако, если поверхность металла пассивирована (например, ингибиторами), то коррозия происходит лишь при некоторой критической концентрации агрессивного вещества у поверхности металла на глубине  $L_1$  через время  $t_2$ , причем  $t_2 > t_1$ . Интенсивность накопления агрессивных ионов на глубине  $L_1$  описывается уравнением

$$\frac{D^* (C_0 - C) dt}{L_1} = 0,5 L_1 dC, \quad (6)$$

интегрирование которого при граничных условиях  $t=t_1, C|_{L=L_1} = 0$  позволяет установить время  $t_2$ , через которое начнется коррозия металла

$$t_2 = t_1 \left( 1 + \frac{2 \ln C_0}{C_0 - C_1} \right). \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что долговечность конструкции определяется толщиной покрытия  $L_1$ , эффективным коэффициентом диффузии агрессивных ионов в покрытие  $D^*$ , концентрацией агрессивной среды  $C_0$  и критической концентрацией  $C_1$ .  $t_2$  возрастает при увеличении  $C_1$  и  $L_1$  и уменьшении  $C_0$  и  $D^*$ .

Для реализации расчетов по математической модели (7) необходимо экспериментально найти  $D^*$  и  $C_1$ , поскольку  $C_0$  — заданная характеристика эксплуатационной среды, а  $L_1$  — технологический фактор.

Расчеты по формуле (7), осуществленные при  $C_1 = 87,5$  г/л (по хлор-иону) для полимерцементсиликатного покрытия с  $D^* = 0,5 \cdot 10^{-12}$   $m^2/c$ , показывают, что срок защитного действия существенно зависит от толщины покрытия: при  $L_1 = 4$  мм  $t_2 = 3$  года, а при  $L_1 = 10$  мм — 18 лет. Кроме того,  $t_2$  заметно снижается при уменьшении критической концентрации агрессивного вещества у поверхности металла, т. е. при снижении эффективности ингибиторов коррозии, например вследствие их вымывания из покрытия в процессе эксплуатации.

При наличии химического взаимодействия эксплуатационной среды с покрытием срок его защитного действия превышает  $t_2$ .

А. Ф. ПОЛАК, Т. В. ЛАТЫПОВА,  
А. А. ШАЙМУХАМЕТОВ,  
Э. З. МИНИБАЕВ, В. М. ЛАТЫПОВ  
(Уфимский нефтяной ин-т)

\* Палак А. Ф. Моделирование коррозии железобетона и прогнозирование его долговечности // Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии. — Т. XII. — М.: ВИНТИ, 1986. — С. 136—180.

## Прогноз долговечности железобетонных конструкций с трещинами при воздействии газовой хлорсодержащей среды

Основой для прогнозирования долговечности железобетона является положение о недопустимости эксплуатации конструкций с корродирующей арматурой. Известно, что основные причины развития коррозии арматуры заключаются в снижении щелочности, т. е. нейтрализации защитного слоя бетона и деполяризации арматуры стимуляторами коррозии стали, среди которых наиболее распространены ионы хлора. В районах с развитой химией и нефтехимией особое значение приобретают вопросы долговечности железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в хлорсодержащих газовых средах, воздействие которых на железобетонные конструкции исследовано недостаточно.

При взаимодействии хлорсодержащих газов с железобетоном образуются хлористые соли (в основном хлористого кальция) и происходит их массоперенос в защитном слое бетона. Прогнозирование заключается в определении времени, в течение которого концентрация ионов хлора у поверхности арматуры достигнет некоторой критической величины ( $\approx 0,4\%$  массы цемента). Скорость процесса диффузии хлоридов, а следовательно, и долговечность железобетонных конструкций зависят от плотности бетона, концентрации и влажности агрессивной среды и т. д. Кроме того, считается, что трещины в защитном слое бетона многократно увеличивают опасность коррозионного поражения арматуры.

Для разработки метода прогнозирования авторы исследовали кинетику процессов взаимодействия хлористого водорода с бетоном и влияния трещин в бетоне на скорость накопления хлоридов и их продвижение к арматуре. В результате установлено, что количество образующихся хлоридов пропорционально концентрации газа и зависит от влажности агрессивной среды. Процесс взаимодействия протекает практически на поверхности бетона, при этом, если скорость образования хлоридов значительно превышает скорость их диффузии в бетон, быстро возрастает концентрация на поверхности конструкции. Эффективный коэффициент диффузии хлоридов в поровом пространстве бето-

на постоянен при определенных условиях эксплуатации. Трещины в защитном слое бетона шириной раскрытия до 0,5 мм практически не влияют на скорость продвижения хлоридов к арматуре. Это объясняется тем, что благодаря высокой растворимости хлористого водорода (442 объема в 1 объеме воды) и хлористого кальция (745 г/л) происходит активное поглощение газа в устье трещины на глубине, не превышающей  $1/3$  ее ширины раскрытия, после чего продукты коррозии цементного камня диффундируют в поровом пространстве бетона со скоростью, одинаковой во всех направлениях.

Полученные результаты позволили разработать графоаналитический метод прогнозирования долговечности железобетонных конструкций в среде хлорсодержащих газов с учетом влияния трещин на повышение концентрации хлоридов в устье трещины по сравнению с их концентрацией на бездефектной поверхности. Достаточно высокая точность прогнозирования обеспечивается, если известен закон, по которому изменяется кон-

центрация хлоридов в защитном слое бетона конкретных конструкций. Наиболее просто этот закон можно получить в графическом виде на основании результатов послынного количественного анализа на содержание ионов хлора образцов бетона, отобранных из железобетонных конструкций при натуральных обследованиях. Прогноз выполняется по формуле

$$t_p = \left( \frac{a + 0,5 \Delta \lambda}{\lambda_0} \right)^2 t_0,$$

где  $a$  — толщина защитного слоя бетона, см;  $t_0$  — время эксплуатации объекта до обследования, годы;  $\lambda_0$  — глубина проникновения хлоридов в бетон за время  $t_0$ , см;  $\Delta \lambda$  — разность между  $\lambda_0$  и глубиной, где концентрация хлоридов достигла критической величины, см; 0,5 — коэффициент, учитывающий влияние трещин на содержание хлоридов в бетоне.

Г. В. ТЭНЕНБАУМ  
(Уфимский НИИпромстрой  
Минуралсибстроя РСФСР)

© Тэненбаум Г. В., 1990

### В порядке обсуждения

УДК [691.327+691.87:693.554]:620.193.2

## По поводу статьи Н. И. Зошука «Влияние пирита на коррозионную стойкость бетона и арматуры»

(Бетон и железобетон. — 1989. — № 11. — С. 28—30)

В статье автор делает один общий вывод: «Пирит не вызывает сульфатной коррозии бетона и не способствует коррозии арматуры. Целесообразно исключить его из перечня потенциально реакционноспособных минералов в заполнителях бетона». С таким заключением согласиться нельзя по следующим причинам.

В тексте статьи сказано: «Введение в цементный камень зерен пирита крупно-

стью 2,5...5 мм разрыхляет его структуру при циклическом увлажнении и высушивании из-за плохого сцепления с поверхностью зерен пирита и повышенного коэффициента температурного расширения последнего». Далее указывается, что вокруг зерен пирита хорошо виден зазор, свидетельствующий о плохой смачиваемости последнего. Таким образом, возможность снижения строительных-технических свойств бетона при по-

вышенном содержании пирита в заполнителе не отрицает и автор статьи.

Приведенные данные об испытаниях бетонов, содержащих в заполнителе примеси пирита, еще не дают оснований для полной отмены требования о необходимости проверки заполнителей для бетона. Приходится учитывать результаты испытаний на стойкость бетона при действии микробиологических факторов, следует отделить требования к допустимому содержанию пирита от требований о содержании других сульфидов, так как известно, что пирит может встречаться совместно с весьма нестойким сульфидом железа — марказитом, имеющим аналогичный химический состав и различную кристаллическую структуру.

Приведенные в статье экспериментальные данные (табл. 1) о составах бетона внушают сомнение в возможности получить бетонные смеси одинаковой подвижности при замене 100 кг цемента на 100 кг песка (составы 7 и 3), или 100 кг порошка на 100 кг крупки с размером частиц 0,14...0,315 мм (составы 7 и 8).

Труднопредсказуемая область применения заполнителей, используемых для бетонов различного вида и назначения, неизвестные условия эксплуатации не могут быть моделированы 50 циклами увлажнения и высушивания при обычной температуре. Кроме того, снижение строительно-технических свойств бетонов при повышенном содержании пирита заставляет весьма осторожно отнестись

к заполнителям с повышенным содержанием этого сульфида. Установленные в настоящее время в ГОСТ 10268—80\* требования, ограничивающие содержание сульфидов, в том числе пирита, следует считать обоснованными. Повышение допустимого содержания этого минерала возможно лишь после проведения специальных исследований или надежных данных об условиях работы будущих конструкций (сухие условия или постоянное пребывание под водой). Указание в упомянутом стандарте о пирите как о возможной вредной примеси к заполнителям следует сохранить.

Ф. М. ИВАНОВ, д-р техн. наук

## Рефераты статей, опубликованных в номере

УДК 624.012.45:620.197.003.13

Агаджанов В. И. Эффективность повышения долговечности конструкций производственных зданий с агрессивными средами // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 5—7

Приводится методика определения экономической эффективности защиты от коррозии производственных зданий с учетом коррозионных потерь при эксплуатации и фактора времени. Даны усредненные удельные показатели эффективности по отдельным направлениям повышения долговечности конструкций. — Библиогр.: 7 назв.

УДК 624.1:620.169.1

Иванов Ф. М., Розенталь Н. К. Оценка агрессивности среды и прогнозирование долговечности подземных конструкций // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 7—9

Излагаются методологические принципы нормирования агрессивности среды по отношению к подземным железобетонным конструкциям. Сделаны предложения о пересмотре этих норм. — Табл. 1.

УДК 691.327:536.485

Гладков В. С. О морозостойкости бетона // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 9—11

Исследовано воздействие соленого льда на бетон, снижающее прочность, модуль упругости, рост остаточных деформаций расширения. Обязательным условием повреждения бетона является наличие незамерзшего рассола во льде, окружающем бетон. Показана необходимость создания специальной методики определения морозостойкости бетона. — Ил. 4, табл. 5. — Библиогр.: 4 назв.

УДК 666.972.16

Батраков В. Г., Силина Е. С. Применение химических добавок — способ первичной защиты железобетона // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 11—12

Излагаются результаты исследований в области применения добавок-модификаторов структуры и свойств бетона как средства его первичной защиты. Рассмотрено действие модификаторов гидрофобизирующего, гидрофобно-структурирующего, воздухововлекающего и пластифицирующего действия, а также комплексных модификаторов многоцелевого назначения. Показана возможность повышения морозо- и коррозионной стойкости бетона в условиях капиллярного подсоса и испарения растворов солей, а также их длительного непрерывного действия.

УДК 624.012.45:620.197

Алексеев С. Н., Степанова В. Ф., Яковлев В. В. Перспективы использования методов первичной защиты конструкций // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 13—15

Рассматриваются возможности первичной защиты железобетонных конструкций в агрессивных средах. Обосновываются расчетные методы оценки долговечности конструкций или степени агрессивности сред. Освещаются возможности количественного учета трещин и в некоторых случаях их ограничения. Обосновываются условия использования ограждающих конструкций из легких бетонов без вторичной защиты. — Ил. 2. — Библиогр.: 6 назв.

УДК 691.32:620.191.33+691.87:620.193.

Беребский Г. П., Шаповалова В. Я., Саралидзе О. А. Расчет допустимой ширины раскрытия трещин в конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных водах // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 15—17

Получены многофакторные регрессии для расчета глубины коррозионного поражения стальной арматуры в трещинах железобетона за проектный срок эксплуатации сооружений в условиях постоянного и периодического увлажнения природной водой различной агрессивности. Предложен метод расчета допустимой ширины раскрытия трещин в железобетонных конструкциях по условию ограничения коррозионного ослабления арматуры. — Библиогр.: 5 назв.

УДК 666.972.019.3

Гузев Е. А., Борисенко В. М., Савицкий Н. В. Механоматематические методы прогноза долговечности железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 17—18

Приведены исследования коррозионных процессов в бетоне и железобетоне при взаимодействии с агрессивными средами. Сформулированы основные характеристики состояния конструкций, определяющие прогноз их ресурса. Намечены основные тенденции перехода от физико-механических, физико-химических и химических методов к интегральной оценке структурных изменений в бетоне конструкций при сложных воздействиях методами механики разрушения. — Библиогр.: 4 назв.

УДК 624.012.45:620.169.1

Чернявский В. Л., Заславский И. Н. Обеспечение долговечности железобетонных конструкций при их ремонте // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 19—20

Изложены особенности выбора и обоснования антикоррозионной защиты эксплуатировавшихся в агрессивных средах железобетонных конструкций, связанные с оценкой коррозионного состояния бетона и проведением общестроительных и специальных работ в условиях действующих цехов. Приведены примеры эффективных способов обеспечения долговечности железобетонных конструкций при их ремонте. — Табл. 1. — Библиогр.: 3 назв.

УДК 669.14.018.8

Елшина Л. И. Химический способ пассивации стальной арматуры с коррозионными поражениями в бетоне // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 20—21

Рассмотрена замена механической очистки поверхности стальной арматуры обработкой модификатором ржавчины. — Ил. 1, табл. 1. — Библиогр.: 3 назв.

УДК 624.012.45:725.4:620.197

Шевяков В. П. Новое при проектировании защиты от коррозии в высокоагрессивных средах // Бетон и железобетон. — 1990. — № 3. — С. 24—25

Освещены новые проблемы, возникшие у специалистов, занимающихся вопросами защиты от коррозии промышленных зданий и сооружений в высокоагрессивных средах. Отмечено значительное увеличение габаритов железобетонных и стальных наливных емкостей, которые по условиям эксплуатации относятся уже к технологическому оборудованию и требуют нового подхода к проектированию защиты. Рассмотрена взаимосвязь проблемы обеспечения охраны окружающей среды с разработкой защиты сооружений в высокоагрессивных жидких средах.

## CONTENTS

VIII All-Union Conference on corrosion and protection of building structures  
*Mikhailov K. V., Berditshevskij G. I., Rogatin Yu. A.* Concrete and reinforced concrete—a base of modern construction  
*Agadzhanov V. I.* Efficiency of increase of durability of industrial building structures with aggressive media  
*Ivanov Ph. M., Rozental N. K.* Estimation of medium aggressivity and prediction of durability of underground structures  
*Gladkov V. S.* About frost-salt resistance of concrete  
*Batrakov V. G., Silina E. S.* Application of chemical admixtures—method of initial protection of reinforced concrete  
*Alexeev S. N., Stepanova V. Ph., Yakovlev V. V.* Perspectives of use of methods for initial protection of structures  
*Verbetskiy G. P., Shapovalova V. Ya., Saralidze O. A.* Calculation of tolerated width of opening of cracks in structures working in aggressive maters  
*Guzeev E. A., Borisenko V. M., Savitskiy N. V.* Mechano-mathematical methods of prediction of reinforced concrete structures durability  
*Tchernjavskij V. L., Zaslavskij I. N.* Ensuring of durability of reinforced concrete structures during their repairs  
*Elshina L. I.* Chemical method of passivation of steel reinforcement with corrosion defeats in concrete  
*Tchernyshev Yu. P.* Ensuring of durability of structures using industrial wastes in concretes  
*Shevjakov V. P.* The new in designing of anticorrosive protection in greatly aggressive media  
*Khaustova L. G., Matveeva O. I.* About aggressivity of over-frozen waters relatively to concrete of foundations and about methods of its protection  
*Leshchinskiy M. Yu., Likhtman M. A., Vakulenko N. S.* Initial protection of precast structures thermal mains  
*Shentemirov K. S., Izzhanov M. M., Muratova U. D.* Corrosion strength of steel reinforcement in concretes on neutralized phosphorus-slag binders  
*Krushedolskaja V. E., Phlaks V. Ya.* Anticorrosive protection of steel joints of structures by modified lubricants  
*Osetinskiy Yu. V., Saar V. A., Podvalnyy A. M.* Optimization of composition of frost-resistant concrete with mixed aggregate

## CONTENU

VIII Conférence de l'URSS sur la corrosion et la protection des structures de construction  
*Mikhailov K. V., Berditshevskij G. I., Rogatine Yu. A.* Le béton et le béton armé—la base de la construction moderne  
*Agadzhanov V. I.* L'efficacité de l'accroissement de la durabilité des structures des bâtiments industriels avec des milieux agressifs  
*Ivanov Ph. M., Rozental N. K.* L'évaluation de l'agressivité du milieu et la prévision de la durabilité des structures souterraines  
*Gladkov V. S.* Sur la résistance au gel et au sel  
*Batrakov V. G., Silina E. S.* L'application des adjuvants chimiques le moyen de la protection initiale du béton armé  
*Alexeev S. N., Stepanova V. Ph., Yakovlev V. V.* Les perspectives de l'utilisation des méthodes de la protection initiale des structures  
*Verbetskiy G. P., Chapovalova V. Ya., Saralidze O. A.* Le calcul de largeur admissible de l'ouverture des fissures dans les structures qui fonctionnent dans les eaux agressives  
*Gouzeev E. A., Borissenko V. M., Savitskiy N. V.* Les méthodes mécano-mathématiques pour la prévision de la durabilité des structures en béton armé  
*Tchernjavskij V. L., Zaslavskij I. N.* L'assurance de la durabilité des structures en béton armé pendant les réparations  
*Elchina L. I.* La méthode chimique de passivation des armatures en acier avec des défaites corrosives dans le béton  
*Tchernyshev Yu. P.* L'assurance de la durabilité des structures quand dans les bétons sont utilisés les déchets industriels  
*Chevjakov V. P.* Le nouveau dans l'établissement des projets de la protection contre la corrosion dans les milieux tres agressifs  
*Khaustova L. G., Matveeva O. I.* Sur l'agressivité des eaux au-dessus de sol congelé relativement au béton de fondations et sur les méthodes de leur protection  
*Leshchinskiy M. Yu., Likhtman M. A., Vakulenko N. S.* La protection initiale des structures préfabriquées des conduites thermiques

## INHALTSVERZEICHNIS

VII Allunionskonferenz über Korrosion und Schutz von Baukonstruktionen  
*Michailow K. W., Berditshevskij G. I., Rogatin Ju. A.* Beton und Stahlbeton-Grundlabe der modernen Bauausführung  
*Agadshanov W. I.* Steigerungseffektivität der Konstruktionsdauerhaftigkeit von Produktionsgebäuden mit aggressiven Medien  
*Iwanow F. M., Rosentalj N. K.* Beurteilung zur Aggressivität des Mediums und Vorausbestimmung der Dau erhaftigkeit von Tiefbaukonstruktionen  
*Gladkov W. S.* Frost-Salz-Beständigkeit des Betons  
*Batrakow W. G., Silina Je. S.* Anwendung von chemischen Zusatzmitteln-Primärschutzverfahren des Stahlbetons  
*Aleksejew S. N., Stepanowa W. F., Jakowlew W. W.* Perspektiven zur Ausnutzung von Primärschutzverfahren der Konstruktionen  
*Werbezkiy G. P., Schapowalowa W. Ja., Saralidze O. A.* Berechnung der zulässigen Breite des Rissöffnens in den in aggressiven Wässern ausgenutzten Konstruktionen  
*Gusejew Je. A., Borissenko W. M., Sawizkiy N. W.* Mechanisch mathematische Methoden zur Vorausbestimmung der Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen  
*Tschernjavskij W. L., Saslawskij I. N.* Dauerhaftigkeitsgarantie für Stahlbetonkonstruktionen bei denen Reparatur  
*Jelschina L. I.* Chemisches Passivationsverfahren der Stahlbewehrung mit Korrosionsbeschädigungen im Beton  
*Tschernyschew Ju. P.* Dauerhaftigkeitsgarantie für Konstruktionen unter Anwendung von Produktionsabfällen in Betonen  
*Schewjakow W. P.* Neues beim Projektieren des Korrosionsschutzes in stark aggressiven Medien  
*Chaustowa L. G., Matwejeva O. I.* Aggressivität von über dem Frostboden befindlichen Wässern im Verhältnis zum Beton von Fundamenten und Verfahren deren Schutzes  
*Lestschinskiy M. Ju., Lichtman M. A., Wakulenko N. S.* Primärschutz von Fertigteilkonstruktionen für Heizstränge  
*Schentemirov K. S., Isshanow M. M., Muratowa U. D.* Korrosionsbeständigkeit der Stahlbewehrung in Betonen unter Anwendung von desinfizierten Phosphor-Schlacken-Bindern

Редакционная коллегия: Ю. П. Гуца (главный редактор), В. И. Агаджанов, Ю. М. Баженов, В. Г. Батраков, Н. Л. Биевец, В. М. Бондаренко, А. И. Буракас, В. В. Гранев, П. А. Демянюк, В. Г. Довжик, Ф. А. Иссерс, Б. И. Кормилицин, Р. Л. Мамлян, К. В. Михайлов, Т. М. Пецольд, В. А. Рахманов, И. Ф. Руденко, Р. Л. Серых, В. М. Силян, В. М. Скубко, Ю. Г. Хаютин, А. А. Шлыков (зам. главного редактора), Е. Н. Щербаков

Технический редактор *Е. Л. Сангурова*

Корректор *Н. А. Шатерникова*

Сдано в набор 12.01.90.

Подписано в печать 12.02.90.

T-05260

Формат 60×90/16

Печать высокая.

Бумага книжно-журнальная.

Усл. печ. л. 4,0

Усл. кр.-отт. 4,75

Уч.-изд. л. 5,41

Тираж 13712 экз.

Заказ 26

Цена 60 коп.

Адрес редакции:  
 Москва, Георгиевский пер., 1, строение 5, 3-й этаж  
 Почтовый адрес редакции (экспедиция): 101442, Москва, ГСП, Каляевская, 23а  
 Тел. 292-41-34, 292-62-05

Подольский филиал производственного объединения «Периодика»  
 Государственного комитета СССР по печати  
 142110, г. Подольск, ул. Кирова, 25

## Вниманию специалистов

Всесоюзная ассоциация коррозионистов (ВАКОР) совместно с заинтересованными организациями в мае 1990 г. проводит в г. Донецке VIII Всесоюзную научно-практическую конференцию «Коррозия и защита строительных конструкций производственных зданий и сооружений» («Коррозия-90»).

### На конференции будут обсуждены вопросы:

- современные научные представления о процессах коррозии и пути повышения эффективности капитальных вложений за счет увеличения стойкости материалов и долговечности зданий и сооружений
- опыт передовых предприятий в реализации научных разработок, обеспечивающих эффективную защиту от коррозии строящихся, реконструируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений
- опыт передовых предприятий и организаций антикоррозионной службы по защите строительных конструкций в условиях эксплуатации
- рациональное, научно обоснованное использование сырьевых и материальных ресурсов, в том числе крупнотоннажных отходов, для изготовления средств противокоррозионной защиты строительных конструкций
- экономическая оценка эффективности антикоррозионных мероприятий в строительстве
- новые разработки способов повышения коррозионной стойкости и защиты строительных конструкций, удлинения межремонтных периодов и сокращения затрат на ремонтно-восстановительные работы; методы проектирования конструкций на оптимальный срок службы
- современные методы обследования строительных конструкций в агрессивных средах, рекомендации по оказанию технической помощи промышленным предприятиям.

На конференции будут организованы консультации ведущих специалистов по методам оценки коррозионного состояния строительных конструкций, методам исследований коррозионной стойкости материалов и определения ресурса их защитного действия, по прогнозу долговечности конструкций при различных вариантах их защиты и по методикам оценки экономической эффективности антикоррозионной защиты.

Одновременно намечено проведение ярмарки научно-технических разработок с целью заключения договоров и контрактов между организациями.

Более подробные сведения о конференции можно получить в НИИЖБе по адресу: 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, Оргкомитет конференции по коррозии.



## К сведению авторов

Направленные в редакцию рукописи статей должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Рукописи представляются в двух экземплярах и сопровождаются необходимой документацией.
2. Содержание статьи излагается предельно кратко и ясно с практическими рекомендациями и выводами. Объем рукописи не должен превышать **7 стандартных машинописных страниц, напечатанных через 2 интервала**, включая таблицы, выводы и библиографический список. Формулы следует писать разборчиво, выделяя латинские и греческие буквы. Все имеющиеся по тексту формулы необходимо разборчиво и с указанной разметкой выписать (и пронумеровать в том же порядке, как они пронумерованы в тексте в круглых скобках) на отдельном листе стандартного формата. Между отдельными формулами надо оставить интервал в 4...5 строк. Иллюстрационный материал (3...4 рисунка, фото на глянцевой бумаге) также представляется в **2 экземплярах**. Графики и схемы должны быть четкими, не перегруженными излишними линиями, формулами, обозначениями, надписями и размерами. Все позиции на рисунке или схеме, кривые на графике следует нумеровать арабскими цифрами и выносить их в подрисуночные подписи (прилагаются на отдельном листе). На оборотной стороне каждого рисунка (фото) необходимо проставлять карандашом его порядковый номер и фамилию первого автора статьи.
3. Таблицы должны быть компактными, по возможности упрощенными и не дублировать информации, содержащейся на графиках или вытекающей из текста статьи. Таблицы должны быть построены так, чтобы их можно было читать, не обращаясь к тексту статьи. Не предусмотренные стандартами словесные сокращения в таблицах не допускаются.
4. Ссылки на рисунки, таблицы и библиографический список следует приводить в тексте статьи. При необходимости в конце статьи приводится библиографический список, при ссылке на него и на авторские свидетельства необходимо давать **полные библиографические сведения** об этих источниках.
5. Рукопись (в первоначальном виде и после авторской доработки по замечаниям редакции и рецензентов) должна быть обязательно подписана всеми авторами. При визировании отредактированной статьи достаточно подписи одного из авторов. При отправке рукописи в редакцию необходимо **указать полные паспортные данные всех авторов, а также 6-значный почтовый индекс домашнего адреса и номера телефонов**. В случае большого (более двух человек) авторского коллектива при визировании подготовленной к печати статьи просьба письменно сообщать, на кого из авторов следует начислить гонорар и сколько авторских экземпляров журнала редакции предусматривать авторам в счет этого гонорара.
6. Вместе с рукописью следует представлять в двух экземплярах отпечатанный на машинке реферат статьи объемом 3...5 предложений с указанием ключевых слов статьи.

*Рукописи и письма направлять по адресу: 101442, ГСП, Москва, К-6, Каляевская, 23а. Телефоны редакции: 292-41-34, 292-62-05.*