

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Глава 1. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СИЛОВЫХ И СРЕДОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	8
1.1. Расчетные модели сопротивления железобетона.....	8
1.2. Физические модели деформирования железобетонных конструкций составного сечения.....	12
1.3. Предлагаемые методы расчета железобетонных конструкций составного сечения.....	15
1.4. Возможные направления развития исследований составных железобетонных конструкций	17
Глава 2. РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛОСКОНАПРЯЖЕННЫХ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ПРОЯВЛЕНИИ СИЛОВЫХ И СРЕДОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	19
2.1. Основные положения. Исходные гипотезы	19
2.2. Критерии прочности и трещиностойкости плосконапряженных железобетонных элементов	19
2.2.1. Прочность коррозионно повреждаемого бетона	19
2.2.2. Прочность нагруженного и коррозионно повреждаемого бетона	22
2.2.3. Трещиностойкость нагруженного и коррозионно повреждаемого бетона	28
2.2.4. Длительная прочность коррозионно повреждаемого бетона	32
2.3. Длительное деформирование нагруженного и коррозионно поврежденного плосконапряженного железобетонного элемента с трещинами	35
2.3.1. Общие замечания	35
2.3.2. Физические зависимости для железобетонных составных конструкций с трещинами вдоль зоны контакта элементов	36
2.3.3. Физические соотношения для железобетонных составных конструкций с пересекающимися трещинами в зоне контакта элементов.....	40
2.3.4. Модель деформирования составного коррозионно поврежденного железобетонного элемента с трещинами	44
Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	47
3.1. Цель и задачи экспериментальных исследований	47
3.2. Конструкции опытных балок	47
3.3. Программа и методика испытаний.....	50
3.4. Основные результаты испытаний конструкций опытных балок и их анализ	52
3.5. Методика исследований по определению приведенной жесткости шва контакта на сдвиг	61
3.6. Результаты испытаний опытных образцов на сдвиг и их анализ	70
3.7. Выводы	78

Глава 4. ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ КОРРОЗИОННО ПОВРЕЖДАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	79
4.1. Общие замечания	79
4.2. Алгоритм расчета железобетонных коррозионно повреждаемых составных и сборно-монолитных конструкции	79
4.3. Расчет сборно-монолитных железобетонных конструкций ригелей панельно- рамного каркаса многоэтажного здания на эксплуатационную нагрузку и особое воздействие	86
4.4. Рекомендации по расчету железобетонных длительно нагруженных коррозионно повреждаемых конструкций составного сечения	93
4.5. Выводы.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	101
Библиографический список	103

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Известно, что основная проблема расчета железобетонных конструкций составного сечения связана с количественным определением деформаций сдвига в межсредовой зоне контакта двух бетонов. Деформации сдвига зависят от конструктивного решения сопряжения элементов составной конструкции, схемы и интенсивности поперечного армирования, вида напряженного состояния, схем трещинообразования, класса бетона элементов и других факторов. Значительное количество исследований в этой области посвящено деформированию железобетонных составных конструкций, в которых в основном рассматриваются балочные и стержневые конструкции с одноосным напряженным состоянием при конкретных схемах их армирования [5–12, 33, 36, 42, 58, 60, 71, 77, 78, 97, 113–116, 126–131, 133, 135, 139–141, 144, 149, 152]. В то же время многие конструкции современных зданий и сооружений работают в условиях сложного сопротивления, что оказывает решающее влияние на характер их напряженного состояния и, следовательно, на их деформативность и трещиностойкость.

Теория деформирования сложноподвижных железобетонных конструкций зданий и сооружений с учетом различных факторов физической нелинейности, включая и трещинообразование, была рассмотрена в работах Н.И. Карпенко, А.Н. Петрова, П.А. Акимова [2, 47, 49, 50], а ее различные варианты в приложениях, в том числе и применительно к плосконапряженным конструкциям, в работах [45, 46, 48]. В то же время деформационные зависимости этой теории не охватывают модели плосконапряженных элементов составного сечения, моделирующих межсредовую зону контакта двух бетонов составной плосконапряженной конструкции и не рассматривают режимное проявление длительных процессов при коррозионных воздействиях.

Для сложноподвижных бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной среде, весьма актуальны формулировка и решение задач о динамике изменения во времени их прочностных и деформативных свойств [3, 13–16, 18–20, 26–31, 35, 62, 63, 74, 95, 109–111]. Результаты этих исследований до настоящего времени продолжают оставаться предметом дискуссий в отношении различий самих подходов к решению задач трещиностойкости, прочности и деформативности сечений при одновременном проявлении силовых и средовых воздействий [14, 19].

В связи с этим, учитывая длительный режимный характер нагружения железобетонных составных конструкций и возможность коррозионных повреждений при их эксплуатации, представляют интерес разработка варианта деформационной модели, формулировка критериев прочности и трещиностойкости межсредовой зоны контакта элементов составных плосконапряженных железобетонных конструкций. Перечисленные обстоятельства позволяют говорить о том, что рассматриваемые в монографии задачи обладают актуальностью и научной новизной.

Несмотря на достаточно обстоятельное изучение составных и особенно сборно-монолитных, в том числе коррозионно поврежденных железобетонных конструкций (В.М. Бондаренко [15, 17, 18, 20, 21], Х.З. Баширов [5–11], А.И. Васильев [22], Д.О. Василенко [23], Г.А. Гениев [26, 27], А.Б. Голышев [29, 30], И.С. Горностаев [33], Е.А. Гузеев [35], А.И. Демьянов [38], Н.И. Карпенко [46, 47], В.А. Клевцов [50], В.И. Колчунов [61, 65], Вл.И. Колчунов [71, 72, 75], В.И. Коробко [76], Е.А. Король [77], В.И. Морозов [82], А.И. Попеско [89, 90], В.И. Римшин [94], В.П. Селяев [77], Е.А. Скобелева [96], В.С. Федоров [114–116], Н.В. Федорова [117, 119, 120], О.Б. Чупичев [122], Ю.В. Чиненков [121], Benjeddou Omrane [124], F. Campi, I. Monetto [125], Н. Ноу, G. Не [132], Р. Кео [136, 137], А. Крофлич [138], Q.H. Nguyen [142], Z. Pei [146], Р. Wu, D. Zhou, W. Liu [152] и др.), далеко не все особенности их напряженно-деформированного состояния в условиях силовых и средовых воздействий достаточно изучены.

В работах В.М. Бондаренко [13–15, 18, 19], Н.В. Ключевой [52–54], А.И. Попеско [89], В.И. Римшина [94], В.П. Селяева [95] и других ученых, посвященных исследованию кинетики коррозионных повреждений железобетонных эксплуатируемых конструкций, показано, что до настоящего времени остаются недостаточно изученными задачи учета особенностей деформирования эксплуатируемого и реконструируемого железобетона в условиях одновременного проявления режимного силового нагружения и средовых повреждений. Уместно также заметить, что практические расчеты железобетонных конструкций составного сечения в подавляющем большинстве своем основываются на приведении конструкции к псевдо- или квазиплоскому сечению, использованию простейших нелинейных, а в отдельных случаях даже линейно-упругих законов деформирования материалов для межсредовой зоны контакта элементов [25, 36, 42], на неучете различной прочности контактирующих бетонов при условном моделировании составного сечения элемента, к примеру, податливости межсредовой зоны контакта элементов, типов конструкций их сопряжения и др. [28, 32, 75].

Известные подходы к оценке силового и средового сопротивления железобетонных составных конструкций не позволяют достаточно строго и детально анализировать поведение таких конструкций и в особенности при сложном напряженном состоянии и режимном нагружении эксплуатируемого железобетона.

Глава 1

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СИЛОВЫХ И СРЕДОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

1.1. РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Работоспособность и остаточный ресурс эксплуатируемых железобетонных конструкций зданий и сооружений, подверженных силовым и средовым воздействиям [99–101], не только продолжает привлекать внимание ученых во всем мире, но в силу известных обстоятельств техногенных и природных воздействий интерес к этим задачам продолжает расти. В решении этой проблемы к настоящему времени выполнено значительное число исследований. Можно отметить работы В.М. Бондаренко [13, 15, 16, 17, 19, 21], Х.З. Баширова [5–11], Г.А. Гениева [27, 28], А.Б. Голышева [29–31], Е.А. Гузеева [35], А.В. Забегаева [39], А.С. Залесова [42], Ю.В. Зайцева [41], Н.И. Карпенко [45–50], С.Н. Карпенко [47], А.Н. Петрова [45, 46] В.И. Колчунова [61–63, 65], Вл.И. Колчунова [70–75], Е.А. Король [77], Л.Р. Маиляна [79], Морозова В.И. [81], Г.В. Мурашкина [86], В.С. Плевкова [91], А.И. Попеско [89, 90], В.И. Римшина [94], В.П. Селяева [95], Г.А. Смоляго [98], А.Г. Тамразяна [106, 107], В.И. Травуша [111, 113], В.С. Федорова [114–117], Н.В. Федоровой [118–120], О.Б. Чупичева [122], Ю.В. Чиненкова [121], И.А. Яковенко [133], А. Carlos, [126], А. Hosny [131], Picard André [147], S. Schnabl [148], Tanarat Potisuk, Christopher C. Higgins, Thomas H. Miller, Solomon C. Yim [150] и др. по созданию развитию и совершенствованию физических и расчетных моделей силового и средового сопротивления железобетонных конструкций.

Как показали исследования многих авторов, в их числе В.М. Бондаренко [15, 16, 18], Е.А. Гузеева [35], Н.В. Ключевой [55], В.И. Колчунова, М.С. Губановой [67, 68], Вл.И. Колчунова, А.И. Демьянова [73], В.В. Петрова [87], В.П. Селяева [95], А.И. Попеско [90], В.И. Римшина В.И. [94] и др., воздействие агрессивной среды носит необратимый характер и приводит к значительным изменениям прочностных и деформативных свойств материалов во времени, и соответственно расчетный анализ эксплуатируемых железобетонных конструкций, так называемого реконструируемого железобетона [15], значительно отличается от такого анализа для вновь возводимых конструкций.

К настоящему времени известен ряд теорий качественного и количественного описания процесса деградации различных материалов, в том числе и бетона [12, 18, 20, 22, 51, 89, 94, 95]. Как правило, они носят феноменологический характер и базируются на полученных авторами зависимостях с использованием эмпирических коэффициентов, получаемых аппроксимацией полученных опытных данных для конкретных агрессивных сред. Известны также чисто экспериментальные способы оценки степени деградационных повреждений бетона [6, 57, 72, 90].

Один из наиболее простых методов оценки влияния агрессивности среды на бетон — метод оценки по внешнему виду опытного образца — использовался в известных исследованиях отечественных и зарубежных ученых, например в работах О. Графа [34] и многих других ученых. Суть метода О. Графа состояла в подробном и последовательном протоколировании изменений внешнего вида бетонных образцов, погруженных в агрессивный раствор, по предложенной им шестибалльной системе.

Исследованиями В.М. Москвина, С.Н. Алексеева, Г.П. Вербецкого, В.И. Новгородского [80] значительно расширен диапазон факторов, влияющих на деградационные процессы. В частности, установлено, что деформации коррозионного расширения зависят от размеров и формы бетонного образца, марки цемента, степени агрессивности внешней среды. Ими установлено, что если деформации расширения опытного образца через полгода превышают 0,05 %, а через год — 0,1 %, то это подтверждает наличие деструктивных процессов, ведущих в итоге к разрушению.

Второе направление в исследованиях влияния агрессивной среды связано с методом определения прочностных показателей бетонных образцов на сжатие и поперечный изгиб. В осно-

ве этих исследований (В.В. Кинд, А.И. Минас, Н.А. Мощанский, Ф.М. Иванов, Ю.М. Бутт и др.) лежит представление наличия факта коррозии как процесса изменения прочности материала. О влиянии степени развития коррозии при таком способе ученые судили по графикам изменения прочности во времени для опытных образцов, испытанных после пребывания в агрессивной и нейтральной средах. Значением количественной меры коррозии по результатам этих исследований являлся коэффициент коррозионной стойкости бетона (K_c), который представлял собой отношение прочности материалов, находившихся в агрессивной среде, к прочности опытных образцов, находившихся тот же по времени срок в воде. Этот показатель нормируется в настоящее время в ГОСТ 25881-83 Бетоны химически стойкие. Методы испытаний.

Обобщив исследования многих специалистов, В.М. Бондаренко [13, 15, 18, 20] ввел предположение о существовании границы между коррозионно поврежденным и не поврежденным коррозионно бетоном, основываясь на идее о том, что потеря прочности материала, находящегося в жидкой агрессивной среде, происходит с его поверхностных наружных слоев и постепенно распространяется внутрь на более глубокие слои.

Несомненным достижением в теории железобетона стало предложение В.М. Бондаренко [16] интегрального модуля деформаций. Этот новый параметр позволяет учитывать неоднородное напряженное состояние в структуре сечения железобетонной конструкции. Он основан на упрощении закономерностей изменения физико-механических свойств бетона по глубине фронта воздействия агрессивной среды.

Процесс коррозии бетона предложено характеризовать и степенью деструкции перерождения структуры цементного камня (Е.А. Гузеев, А.А. Митин, Л.Н. Басова [36]). Этот показатель определяется химическим анализом бетона и зависит от вида коррозии.

Анализируя исследования Е.А. Гузеева и его учеников [36], необходимо отметить весомый вклад в развитие методов расчета и проектирования железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах. Ими, пожалуй, одними из первых в стране установлено и глубоко экспериментально проверено существенное влияние внешних воздействий агрессивной среды и силовых факторов на напряженно-деформированное состояние и перераспределение силовых потоков в стержневых железобетонных конструкциях.

В ряде работ (см., например [22, 90, 94]), содержатся предложения по оценке влияния коррозии бетона на силовое сопротивление конструкций, полученные из анализа лабораторных испытаний экспериментальных образцов, находившихся в агрессивной среде и не связанных с уровнем напряженного состояния. Так, и в исследованиях А.И. Попеско [90] построены нелинейные модели (зависимости) для оценки и прогнозирования степени изменения нормативной прочности бетонов в агрессивных средах на основе обобщения результатов опытных данных, полученных в ряде известных публикаций по этой теме. В основе методологии ее исследований лежат лабораторные испытания бетонных кубов, помещенных в агрессивную среду, и определение их прочности через определенные промежутки времени.

Способ оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций, разработанный Е.А. Гузеевым [36] и В.П. Селяевым [95], учитывает не только само средовое воздействие, но и, в частности, специфику сульфатной коррозии бетона. Этот метод позволяет с достаточной точностью оценивать прочность и деформативность железобетона при длительном воздействии на него агрессивной среды.

Е.А. Гузеев один из первых экспериментально обосновал целесообразность послойного ступенчатого изменения прочностных и деформативных свойств бетона в сечении элемента для расчета конструкций, подверженных воздействию агрессивной среды (рис. 1.1, а).

Приведенные способы и механизмы оценки изменения прочностных и деформативных параметров коррозионно поврежденного бетона представляются различными исследователями по-разному.

Так, В.И. Римшин [93], исходя из особенностей вычислений, модифицировал схемы, предложенные Е.А. Гузеевым и П.Г. Комоховым, представив их обобщенной схемой в виде линейно-изменяющегося графика повреждений в переходной зоне (рис. 1.1, в);

Исходя из опытных данных и соображений монотонно энтропийного изменения повреждений, В.М. Бондаренко [15, 18] обобщил представленные Е.А. Гузеевым, П.Г. Комоховым и В. И. Римшиным схемы продвижения поверхности нейтрализации бетона и предложил выполнить сопряжение поверхности повреждения бетона с поверхностью нейтрализации. Основываясь на принятой в теории железобетона гипотезе о прямоугольной форме эпюры нормальных напряжений, В.М. Бондаренко, Н.В. Ключева [13] предложили описывать изменения прочностных свойств корродирующего бетона для зданий и сооружений, меняющих расчетную схему (конструктивно нелинейных систем), корректировать влияние коррозионных повреждений в переходной зоне Б введением к пределу прочности множителя в виде коэффициентов сохранения K_{xc} (рис. 1.2).

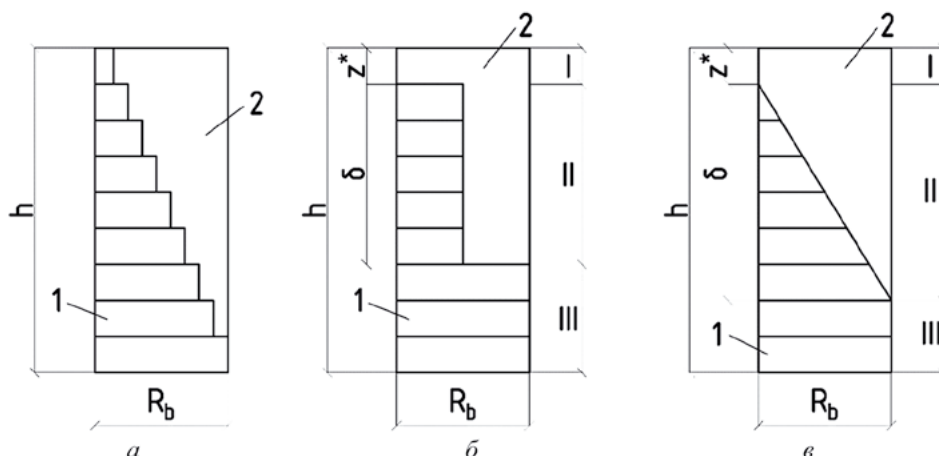


Рис. 1.1. Графики изменения предельной прочности по высоте поперечного сечения железобетонной балки поврежденной коррозией, предложенные:

a — Е.А. Гузеевым, *б* — П.Г. Комоховым, *в* — В.И. Римшиным;

I — зона полного коррозионного повреждения, потеря силового сопротивления;

II — переходная зона частичного повреждения, частично сохранено силовое сопротивление;

III — неповрежденная зона, зона полного сохранения силового сопротивления;

1 — сохраненная часть силового сопротивления;

2 — поврежденная часть с утраченным силовым сопротивлением

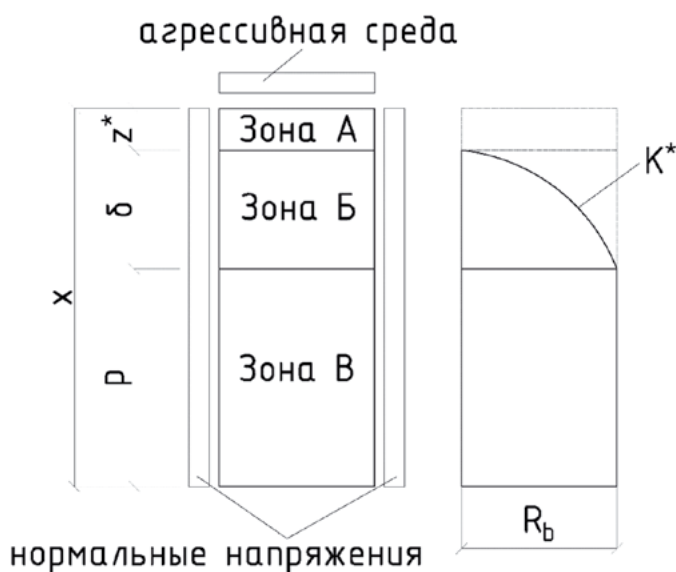


Рис. 1.2. Схема распределения сохранения силового сопротивления по высоте сечения образца при однородном напряженном состоянии, предложенная В.М. Бондаренко, Н.В. Ключевой: зона А — зона полного разрушения бетона, z^* ; зона Б — переходная зона постепенного увеличения доли сохранения исходных свойств бетона, δ ; зона В — зона не поврежденного коррозией бетона, p

Коэффициент сохранения K_{xc} [13, 15] или, как принято в ГОСТ 25881-83, коэффициент химической стойкости K_{xc} , является одним из основных показателей для оценки сопротивления бетона коррозионным повреждениям. Он определяется по изменению прочности или твердости бетона во времени воздействия агрессивной среды. В частности, в ГОСТ 25881-83 коэффициент K_{xc} предложено определять по логарифмической зависимости:

$$\lg K_{xc} = a + b \cdot \lg t. \quad (1.1)$$

Здесь $\lg K_{xc}$ и $\lg t$ — логарифмы коэффициента химической стойкости и длительности воздействия агрессивной среды; коэффициенты a и b — постоянные, которые определяются для каждого вида бетона и рассчитываются по результатам испытаний.

Известны и другие варианты определения коэффициента химической стойкости бетона. Так, В.П. Селяев [95] на основании многочисленных экспериментальных и аналитических исследований предложил определять этот коэффициент с использованием зависимости вида:

$$K_{xc} = b - \alpha t^\beta. \quad (1.2)$$

Коррозионные повреждения бетона от воздействия агрессивной среды могут быть описаны также комплексом протекающих в корродирующем бетоне химических процессов [15, 94, 95], скорость которых определяется скоростью диффузионного переноса веществ и соответствующими химическими реакциями в бетоне. Известно, что скорость химической реакции в бетоне от действия агрессивной среды значительно выше скорости диффузии вещества в структуру бетона и, следовательно, скорость и глубина нейтрализации корродирующего бетона определяется фактором проникновения агрессивной среды в бетон и зависит от проницаемости бетона.

Е.А. Гузеевым [36] и другими учеными установлено, что бетон при нагружении уплотняется с увеличением сжимающих напряжений, а затем, при увеличении в нем напряжений разуплотнения вплоть до его разрушения. Это же физическое явление об уплотнении бетона при сжатии экспериментально подтверждено В.П. Селяевым [95], В.М. Бондаренко [18, 20], В.И. Римшиным [93], Н.В. Федоровой, М.С. Губановой [118] и рядом других ученых. При этом установлено также, что с ростом относительных сжимающих усилий сначала происходит уплотнение бетона, снижаются его пористость и проницаемость, что влечет за собой уменьшение глубины проникновения агрессивной среды в бетон. Дальнейший рост напряжений в бетоне по мере его нагружения приводит к нарушению сплошности бетона, к началу образования и последующего развития микротрещин и повышению коррозионной проницаемости бетона и, следовательно, к увеличению значения глубины проникновения агрессивной среды в бетон.

Расчетная модель силового сопротивления бетонных и железобетонных конструкций, предложенная В.М. Бондаренко [15, 18] и модифицированная В.И. Римшиным [93], Н.В. Ключевой и Н.Б. Андросовой [52–54], учитывает влияние не только коррозионных, но и силовых нагрузок, поскольку последние связаны с изменением пористости (проницаемости) бетона. При этом за основу в модели были приняты характерные точки деформирования бетона О.Я. Берга и Ю.Н. Хромца. Согласно этой модели и ее модификаций, если коррозионные повреждения вначале носят затухающий, кольматационный характер, то при увеличении напряжений и вследствие изменения структуры материала они сначала будут развиваться фильтрационно, а затем перейдут в лавинные [15]. Учет такой особенности важен при разработке защиты сооружений от прогрессирующего обрушения [52, 54, 112].

Известно, что по мере продвижения коррозионных повреждений в тело бетонной конструкции снижаются защитные свойства бетона по отношению к арматуре, которая начинает корродировать, в результате чего уменьшается ее площадь поперечного сечения.

Коррозия арматурной стали на протяжении многих лет была предметом изучения большого числа исследователей, среди которых можно назвать работы С.Н. Алексева, Г.П. Вербецкого, В.И. Новгородского [80] и многих других. Установлено, что коррозия арматуры в бетоне является частным случаем коррозии металлов, то есть подразумевается процесс постепенно-

го разрушения поверхности арматурного стержня в результате химического взаимодействия с окружающей средой. Разница заключается лишь в скорости подвода агрессора к арматуре и его концентрации.

В результате коррозии арматуры в бетоне ее сечение постепенно уменьшается за счет прехода наружных слоев металла в продукты коррозии.

Единого мнения о степени влияния коррозионных поражений на прочностные характеристики арматурных сталей нет. В исследованиях [22, 90, 94] отмечено, что падение прочности арматуры при коррозионных повреждениях пропорционально уменьшению сечения стержня, в то время как пластичность практически не уменьшается, к тому же напряженное состояние арматуры, а именно растягивающие напряжения, не изменяют характер коррозии.

Экспериментальные данные, полученные рядом авторов [6, 20, 22, 94], подтверждают, что процессы коррозионных потерь металла в различных агрессивных средах и стальной арматуры в бетоне феноменологически сходны.

В работе [22] в качестве количественного показателя коррозии стальной арматуры была предложена толщина слоя продуктов коррозии стали, образованных за определенный период времени.

Согласно исследованиям А.И. Попеско [89], влияние агрессивной среды на арматурные стержни учитывается уравнением развития процесса коррозии и определяется как сумма коррозионных потерь толщины стержня за время воздействия агрессивной среды и приращение, увеличения диаметра стержня за счет продуктов коррозии.

Согласно исследованиям В.В. Петрова, В.Н. Мигунова, И.И. Овчинникова, И.Г. Овчинникова, агрессивная среда неравномерно распределяется по сечению испытуемых образцов в виду диффузионного характера ее проникновения. В случае значительной неравномерности проникновения среды в материал результаты испытаний [82, 87] дают лишь приблизительную оценку стойкости материала к действию агрессивной среды и только интегрально отображают действие среды на материал. Следовательно, для создания модели, описывающей взаимодействие материала с агрессивной средой, необходимы экспериментальные исследования, дающие полную картину взаимодействия материала со средой.

1.2. ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ

Одной из особенностей конструкций составного сечения является совместная работа двух или нескольких элементов (слоев бетона), в том числе с различными прочностными и деформативными свойствами.

В связи с этим возникает ряд специфических вопросов по расчету и конструированию конструкций составного сечения. К таким вопросам относятся: обеспечение прочности контакта бетонов, так называемой зоны межсредовой концентрации [64, 74]; учет различия деформации ползучести и усадки «сборного» и «монолитного» бетонов и их физико-механических характеристик [31, 104], влияние предварительного нагружения сборного элемента на деформативность и трещиностойкость всей конструкции [94] и многие другие.

Исследование и разработка моделей расчета и проектирования составных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений являются важными направлениями в области теории железобетона. Разработкой отдельных вопросов проектирования усиливаемых конструкций занимались многие отечественные и зарубежные ученые: Х.З. Баширов [5–11], А.И. Бедов [23], В.М. Бондаренко [19, 20], А.Б. Голышев [30], Г.А. Гениев [27], А.И. Демьянов [36], А.С. Залесов [41], Д.В. Казаков [42], Н.И. Карпенко, Б.С. Соколов, О.В. Радайкин [48], В.А. Клевцов [50], Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин [60], В.И. Колчунов [65], Вл.И. Колчунов [69, 71, 72], В.С. Плевков [91], А.И. Попеско [90], В.И. Римшин [93], В.С. Федоров [114–116], Н.В. Федорова, Н.В. Ключева [55, 56, 117], И.А. Яковенко [133], Osman Hag–Elsafi [129], A. Hosny [131], Q. H. Nguyen [142–144], T. Noshirvani, E. Brühwiler [145], Z. Pei, L. Wang, P. Wu, J. Zhang, D. Zhou [146], André Picard [147], J.P. Lin, J.F. Wang, R.Q. Xu & D.S. Ling [149], N.A. Yehia [153] и др.

Решение задач прочности контакта между «сборным» и «монолитным» бетонами рассмотрены в работах [6, 9, 10, 12, 60, 65, 69, 72, 75, 104, 126, 134, 151], вопросы прочности нормальных и наклонных сечений — [6, 56, 57, 62, 72, 77, 96, 113, 116, 117], вопросы жесткости и трещиностойкости — [6, 35, 65, 71, 78, 83, 84, 119]. Изучению влияния длительных процессов на напряженно-деформированное состояние сборно-монолитных конструкций сплошного и составного сечения посвящены работы [16, 24, 27, 29, 30, 94, 111].

Используемые для определения несущей способности, трещиностойкости и деформативности железобетонных конструкций составного сечения физические модели можно условно разделить на три группы. К первой группе относятся работы [4, 33, 59, 65, 88, 96, 108], развивающие положения метода предельного равновесия, ко второй — исследования в области механики разрушения твердых тел [10, 40, 116, 133]. К третьей группе можно отнести исследования [36, 39, 41, 44, 45, 46, 64, 70, 77, 81], которые связаны с разработкой и совершенствованием деформационных расчетных моделей составных элементов, где в основе лежат диаграммы состояния бетона и арматуры, определяющие работу материалов как в стадиях упругого, так и неупругого деформирования, вплоть до их разрушения.

При расчете несущей способности изгибаемого железобетонного элемента кинематическим методом предельного равновесия [123, 124] принимается модель жесткопластического тела для сжатой зоны бетона и растянутой арматуры.

Этот метод с незначительными изменениями и модификациями используется в нормативных документах при проектировании составных конструкций по первой группе предельных состояний.

Как модификация метода расчета составных конструкций по предельным состояниям получила распространение так называемая блочная модель теории железобетона, базирующаяся на представлении железобетонного элемента отдельными блоками, разделенными трещинами и связанными между собой сжатой зоной бетона и растянутой арматурой и формализуемыми уравнениями статики, объединяющими неизвестные параметры в этих блоках в систему нераспадающихся уравнений [6, 7, 10, 70, 134].

Детально описывая процессы деформирования сечений с трещинами, блочная модель позволяет учитывать значительное число исследуемых параметров. В то же время нормирование этих параметров требует проведения для различных видов напряженного состояния широкомасштабных и трудоемких экспериментальных исследований.

Деформационные модели железобетона, относящиеся к третьей группе, представлены двумя основными направлениями.

Первое направление представлено моделями, основанными на упругопластическом деформировании железобетона, в которых рассматриваются напряженно-деформированные состояния и критерии прочности для бетона и стали на основе их действительных диаграмм состояния.

Теория пластичности бетона и железобетона Г.А. Гениева, В.П. Киссюка, Г.А. Тюпина [28] является достаточно общей и наиболее известной моделью этого типа. Теория включает в себя методы определения предельной несущей способности конструкций, находящихся в условии сложного напряженного состояния, и учитывает специфические свойства железобетона. Полное напряжение определяется суммированием напряжений в бетоне и приведенных напряжений в арматуре. Трещины образуются по главным площадкам, где главные растягивающие напряжения превышают предел прочности бетона на растяжение.

К недостаткам этого направления можно отнести высказанное авторами предположение об одновременном наступлении предельных значений напряжений в бетоне и арматуре, а также принятая ими некоторая условность работы арматурного стержня в бетонной матрице.

Ко второму направлению относятся макроструктурные деформационные модели. В его основе лежит известная модель В.И. Мурашева [85], развитие которой на различные виды напряженного состояния приведено в работах российских и зарубежных ученых В.В. Адищева, В.М. Митасова [1], В.М. Бондаренко [16, 21], А.Б. Гольшева [29–31], В.Я. Бачинского [4], А.В. Забегаева [39], А.С. Залесова Е.А., Чистякова [41], Н.И. Карпенко [45, 48] С.Н. Кар-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru