

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт
Кафедра «Городское строительство и хозяйство»

08.04.01 «Строительство»
направленность (профиль) «Техническая эксплуатация и реконструкция
зданий и сооружений»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Методика учета повреждений в расчетах железобетонных конструкций»

Студент(ка)

А.С. Алипова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель
Консультанты

Д.С. Тошин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент В.А. Ерышев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.т.н. Д.С.Тошин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г.

Тольятти 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	7
1.1 Применение метода конечных элементов в расчетах строительных конструкций.....	7
1.2 Подбор и изучение компьютерных программ для моделирования железобетонных элементов с повреждениями.....	17
1.3 Классификация повреждений.....	20
1.4 Средства установления повреждений.....	25
1.5 Выводы по ГЛАВЕ 1.....	25
ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	27
2.1 Моделирование объемно-конечной модели.....	27
2.2 Моделирование повреждения.....	34
2.3 Выводы по ГЛАВЕ 2	39
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА НА МОДЕЛЯХ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ	40
3.1 Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом бетона и оголением рабочей арматуры.....	45
3.2 Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом бетона и коррозией арматуры.....	48
3.3 Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием бетона.....	51

3.4 Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозии арматуры	54
3.5 Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния конструкций с разными видами повреждений.....	56
3.5 Выводы по ГЛАВЕ 3	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ А	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ В	76
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	86

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

Устойчивое функционирование и развитие промышленных предприятий многих городов Российской Федерации определяет благосостояние его населения. Обеспечение работоспособности объектов промышленных предприятий является актуальной задачей, позволяющей устойчиво развивать страну в целом. При этом срок службы большинства строительных конструкций зданий и сооружений достиг значительного периода [1].

С течением времени степень морального и физического износа зданий увеличивается, что является проблемой в эксплуатации имеющихся зданий. В элементах несущих и ограждающих конструкций [2] отмечается накопление повреждений, различных по природе происхождения и степени влияния на работоспособность строительных объектов

Показатели долговечности, надежности и устойчивости снижаются при несоблюдении правил эксплуатации, а недостаток информации о нарушениях, возникших в конструкциях, лишь усугубляет ситуацию. Негативными последствиями становятся людские потери и экономический ущерб. Актуальным становится вопрос о приведении в нормативное состояние существующие объекты строительства.

На данный момент основными методами обследования являются визуальный и инструментальный [3], однако не во всех случаях, даже совокупность этих методов, дает полную картину работы конструкций в эксплуатируемых зданиях.

Действующие нормативные документы [4, 5], не приводят четкого алгоритма учета дефектов и возникающих в процессе эксплуатации повреждений в строительных элементах здания, в связи с чем возникает необходимость его разработки.

Цели и задачи.

Целью данной диссертации является разработка методики расчета конструкций с различными видами повреждений на основе конечно-элементной модели.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Подбор и изучение компьютерной программы для моделирования железобетонных элементов;
- Составление классификации повреждений, наиболее характерных для железобетонных строительных конструкций;
- Внесение предложений по моделированию повреждений элементов;
- Моделирование повреждений железобетонных элементов;
- Оценка результатов;
- Разработка рекомендаций по моделированию конструкций с повреждениями.

Объектом исследования в выпускной квалификационной работе выступает модель железобетонной колонны с различными видами повреждений, имитирующая реальную конструкцию.

Предметом исследования является влияние повреждений на напряженно-деформированное состояние объекта исследования.

Научная новизна.

Программное моделирование железобетонных элементов с учетом повреждений и оценка их напряженно-деформированного состояния по трем критериям: средние и максимальные деформации, эксцентриситет и его приращение и коэффициент ψ , аналогичный коэффициенту ψ_s .

Теоретическое и практическое значение работы.

Теоретическая значимость выпускной работы заключается в использовании предложенного алгоритма моделирования повреждений, который позволяет производить дальнейший анализ напряженно-деформированного состояния отдельной конструкции или здания и сооружения в целом.

Практическое значение исследования состоит в применении метода на практике для эксплуатируемых зданий и сооружений. Расчет моделей с повреждениями позволит предотвратить возможные аварии и повысить срок службы конструкций.

Методология и методы исследования.

Исследование железобетонных конструкций с учетом повреждений базируется на методе моделирования. Полученные при моделировании в ПК ЛИРА результаты, анализируются методом сравнения. Одновременно дается качественная и количественная оценка, основанная на характере повреждения и его объеме.

Апробация и внедрение результатов исследования.

Результаты исследования были доложены и обсуждены на научно-практической конференции «Студенческие дни науки ТГУ» в 2015 и 2016 гг, а также на научно-исследовательских семинарах кафедры «Городское строительство и хозяйство», проводимые в каждом семестре.

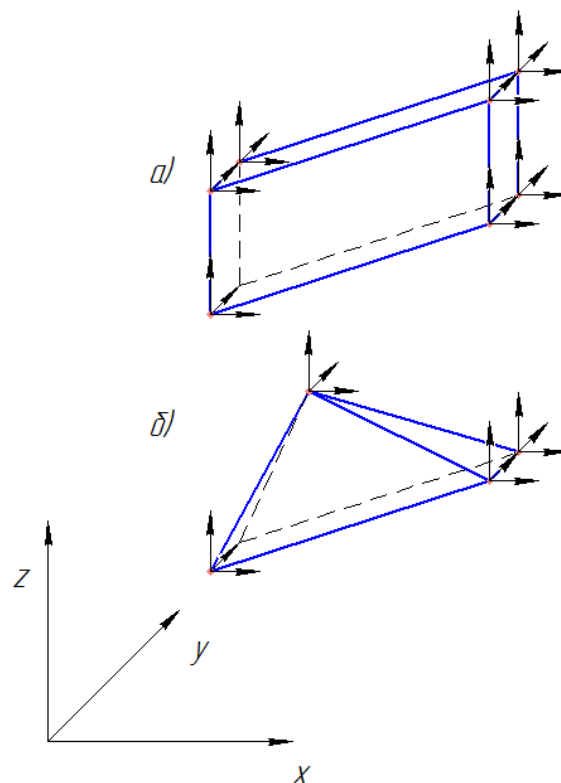
Структура и объем диссертации.

Диссертация включает введение, три главы, заключение, список используемой литературы, двух приложений. Основной текст изложен на 89 страницах. Работа иллюстрирована 15 таблицами и 37 рисунками.

ГЛАВА 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1.1 Применение метода конечных элементов в расчетах строительных конструкций

Разрабатываемая методика учета повреждений основана на конечно-элементном моделировании. Суть данного метода заключается в разбиении объекта исследования на конечное количество подобластей [6]. Конечные элементы формируют задачи для решения как двумерной, так и трехмерной постановки. Связь элементов осуществляется через узел, грань и наложение запретов перемещений. Трехмерные задачи как правило используются для расчета пространственных тел с трехосным напряженным состоянием. Простейшими элементами такого типа являются гексаэдр с восьмью узлами и тетраэдр с шестью (рисунок 1).



а) – гексаэдр; б) - тетраэдр

Рисунок 1 – Простейший конечный элемент

Каждому элементу присваивается определенная аппроксимирующая функция с последующим составлением матриц жесткости. На матрицы накладываются пределы. Далее составляется система линейных уравнений и решается одним из методов.

Возникновение идеи метода конечных элементов датируется 1936 г. в СССР, но в силу технической неподготовленности, реализован лишь в 1944 г. Иоаннисом Агририсом. Существенное развитие метод получил в 1963г, после доказательства возможности его применения в строительной механике. Значительный вклад в развитие метода конечных элементов внесли такие российские ученые: А.В. Александров, А.М. Белостоцкий, З. И. Бурман, Д.В. Вайнберг, А.С. Городецкий, В.Н. Сидоров, И.Я. Хархурим, Р.А. Хечумов, И. Альтенбах, В.А. Баженов, И.Ф. Образцов. Из западных ученых можно назвать такие фамилии как К. Бате, И. Ченга, Дж. Фикса, Дж. Одена, Е. Вилсона, Л. Сегерлинда. Развитию конечно-элементных комплексов поспособствовали В.В. Болотина, С.Н. Кривошапко, Н.А. Алфутова и др. авторы.

Компьютерная модель служит получению данных об объекте или для оценки моделируемой системы. Она представляет объект или систему объектов, приближенных к реальной, с присущими ей свойствами. Для приближения модели к реальной необходимо перенести на нее как можно большее количество значимых свойств, присущих реальному объекту.

После моделирования следует серия вычислительных экспериментов с целью дальнейшего анализа и интерпретации полученных данных.

Существует два вида моделирования: аналитическое и имитационное. Аналитическое моделирование изучает абстрактные модели, а имитационное – реальные конструкции.

Непрерывное совершенствование техники позволяет расширить спектр возможностей конечно-элементного метода, а также повысить

уровень решаемых задач [7]. Адаптация к новым операционным системам и графическим возможностям позволяет выводить метод конечно-элементного моделирования на совершенно новый уровень.

В работе Силантьева А.С.[8] производился расчет конечно-элементной модели однопролетной балки с последующим сравнением полученных данных с результатами натурного эксперимента. Целью являлось определение разрушающей нагрузки, расчет напряжений и деформаций с последующим сравнительным анализом.

Модели присуще пластическое поведение, в ней учитывалось образование и накопление повреждений.

Расчеты выполнены с разными шагами и методами разбиения, что и позволило установить зависимость поведения модели от сетки конечных элементов. Моделирование опор осуществлялось путем запрета перемещений. Нагрузка задавалась как сосредоточенная, описывая давление испытательной машины на изгибаемый элемент.

Результаты расчета установили сходимость по разрушающим усилиям и деформациям сдвига, которые являются определяющими критериями разрушения наклонных сечений.

Опираясь на данные, полученные в ходе расчета в Abaqus, можно сделать вывод, что разрушающая нагрузка близка с полученной опытным путем.

Расчет модели в Ansys определил продольные деформации близкие к опытным результатам.

Метод конечных элементов имеет существенные отличия между идентичными методами в представленных расчетных комплексах. В Ansys материалам присваиваются физико-механические свойства материала, в Abaqus задается универсальный конечный элемент.

Автор считает, что применение метода конечных элементов дает хорошее приближение несущей способности к опытной, тем не менее является методом, дающим идеальную сходимость с экспериментальными

данными по всем параметрам, причиной тому являются особенности моделирования того или иного случая НДС элемента, а также стадии его работы. Также для получения корректных результатов требуются существенные вычислительные мощности, поэтому применение методов конечно-элементного анализа даже для отдельных конструкций и узлов можно рекомендовать только для случаев уникальных конструктивных решений.

Основываясь на работе А.С. Силантьева в 2012 г. проектно-конструкторским бюро «Перспектива»[9] был заработан проект на тему «Поверочный расчет конструкций методом конечных элементов в объемной постановке с учетом физической и геометрической нелинейности».

Объектом исследования выступала часть реконструируемого здания. В существующий производственный корпус встраивались железобетонная плита перекрытия с опорой на стальные капители и стальная обойма с капителью. Антресоли в уровне 1-го и 2-го этажа с последующим размещением офисных помещений. Целью являлась проверка решений, принятых по проекту и достаточность вариантов усиления. Для существующего проектного решения выполнялась проверка по первой и второй группе предельных состояний. Усиливающие конструкции рассчитывали на невыполнение условий предельных состояний первой и второй группы. Расчет выполнялся в ПК Abaqus 6.11 в объемной постановке с учетом физической и геометрической нелинейности в работе материалов и конструкции в целом. Для повышения скорости расчета итерацией, производилось масштабирование массы в схеме, т.е. вводился коэффициент, увеличивающий плотность модели. Количество шагов при этом уменьшалось. Связь между элементами задавалась при помощи алгоритма невязки.

Тело бетона формировалось из гексаэдральной сетки с упрощенным

интегрированием. Стальные конструкции так же задавались объемными конечными элементами. В качестве примера из проектной документации взято изображение железобетонной модели и изображено на рисунке 2.

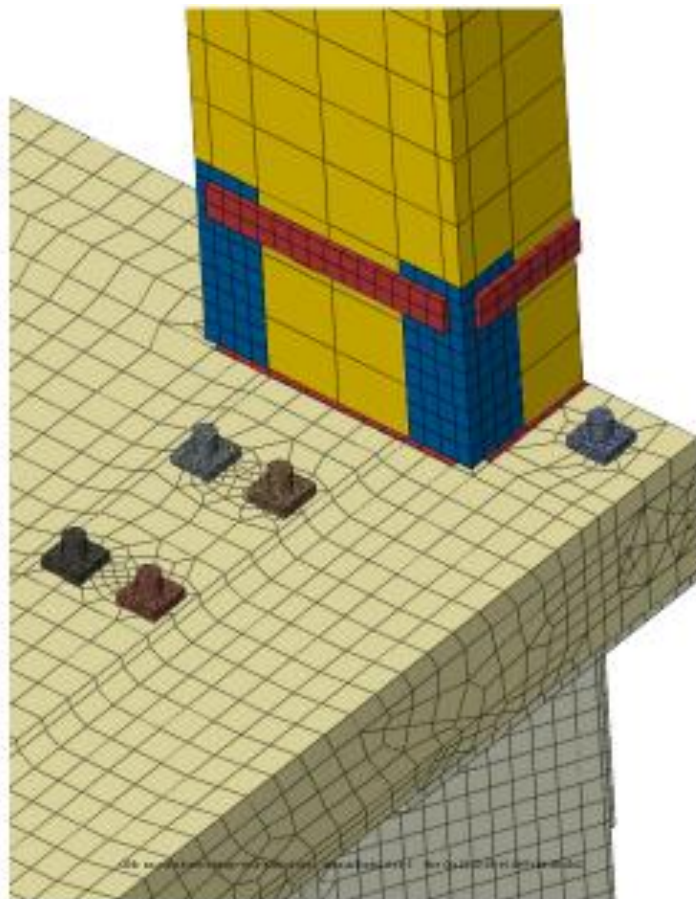


Рисунок 2 – Пример моделирования железобетонной конструкции

При моделировании материалов были использованы нормативные и расчетные характеристики бетона и арматуры. Модель являлась континуальной, основанной на пластическом поведении и учитывала образование и накопление повреждений. Рассматривалось два основных механизма разрушения - образование трещин в растянутом бетоне и раздавливание сжатого бетона.

Анализ напряженно-деформированного состояния проводился по предельным состояниям конструкций. В проекте приведены изображения изополей с критериями разрушения при разрушающей нагрузке.

В качестве примера на рисунке 3 и 4 приведены изображения изополей.

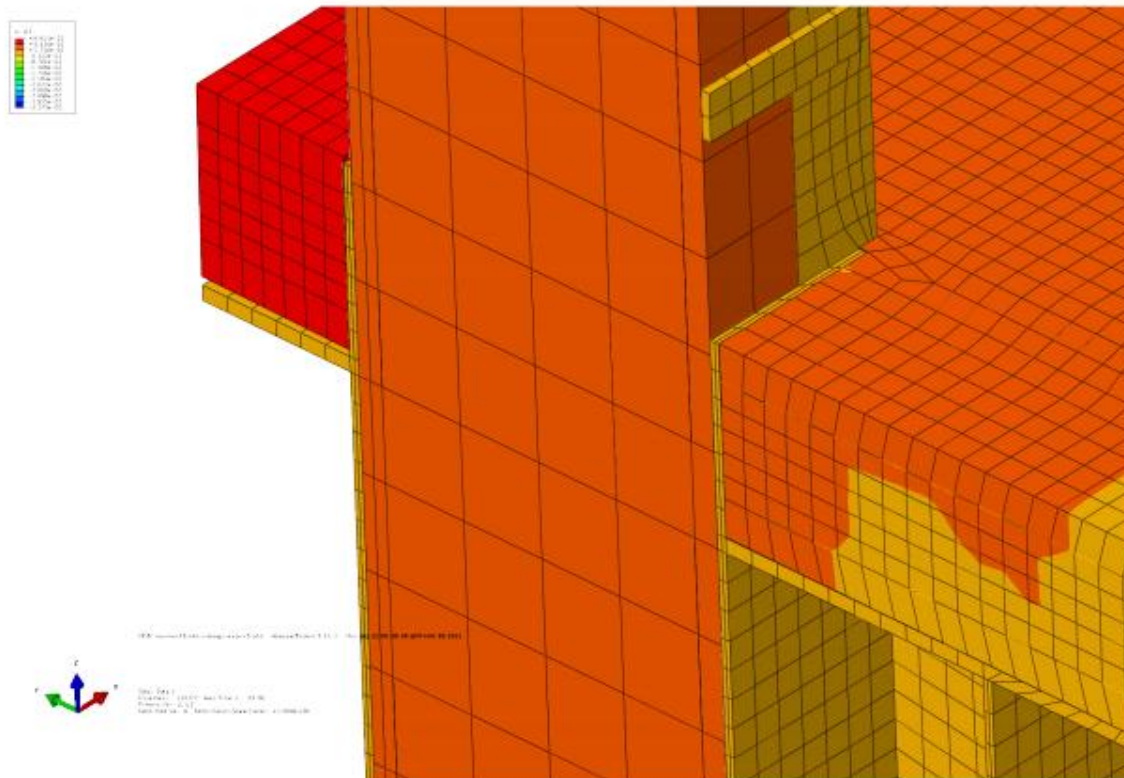


Рисунок 3—Пример изополя вертикальных перемещений на конечно-элементной модели каркасного здания [9]

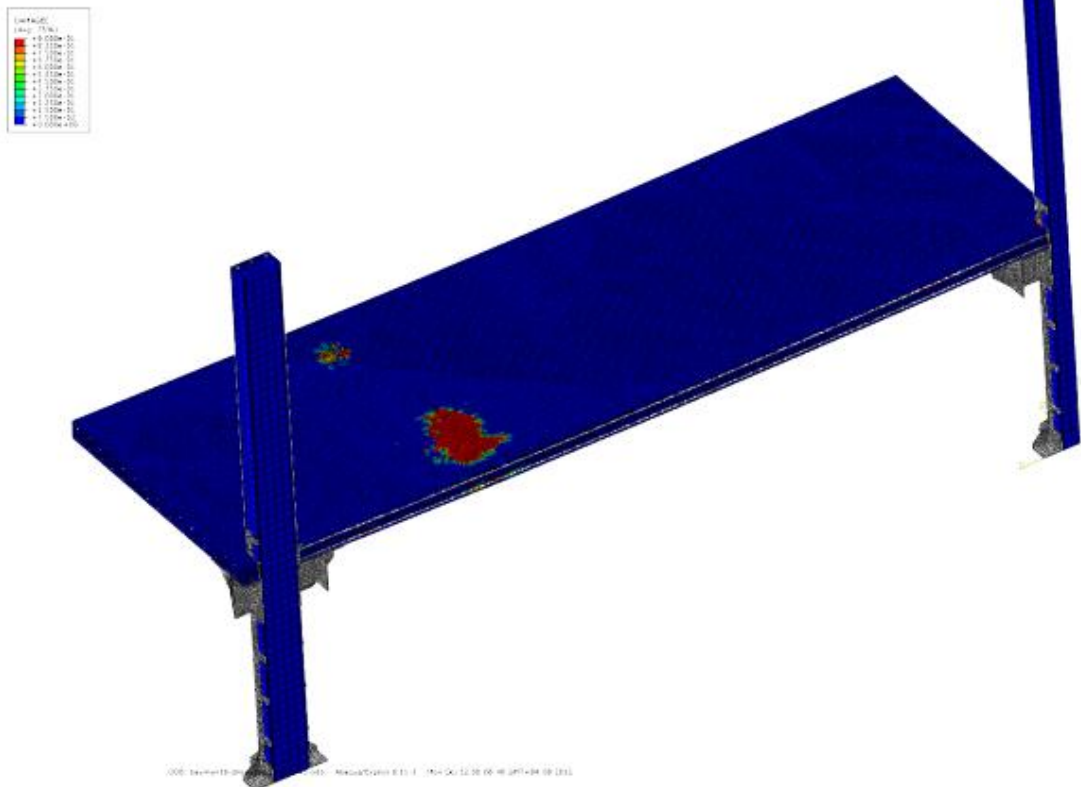


Рисунок 4—Пример изополя критерия разрушения на конечно-элементной модели каркасного здания [9]

А.С. Силантьев не единственный автор, работавший в данном направлении. А. Мухин и О. Блиновым начиная с 1998 г. написан ряд статей [10, 11], посвященных компьютерному моделированию с применением конечно-элементного метода. Все модельные эксперименты рассчитаны в ПК ИСПА. В июне 2010 г. на официальном сайте программы ИСПА А.Мухиным была опубликована статья [12] о моделировании массивом объемно-конечных элементов тонкостенной конструкции.

Тестирование производилось на 4-х, 10-ти и 20-ти узловом тетраэдре, а также 8-ми и 20-ти узловой гексаэдре. Все расчеты произведены в система ИСПА. Объектом исследования выступала тонкая пластина, жестко закрепленная по краям. По площади приложена постоянная нагрузка, представленная как постоянное давление.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что для моделирования именно тонкостенных конструкций, требуется большая детализация и необходимо применять 10-ти и 20-ти узловые тетраэдры.

Однако авторы предлагали способы моделирования идеализированных конструкций. Для приближения модели к реальным прототипам, необходимо производить учет возникающих в процессе эксплуатации повреждений.

Так Бенин А.В., Семёнов А.С., Семёнов С.Г. и Мельников Б.Е. в своей работе [13] описали моделирование фрагмента автодорожного моста с повреждением в виде коррозии оголенного участка арматуры. В статье приводится изображение натурального исследуемого сооружения (рисунок 5).

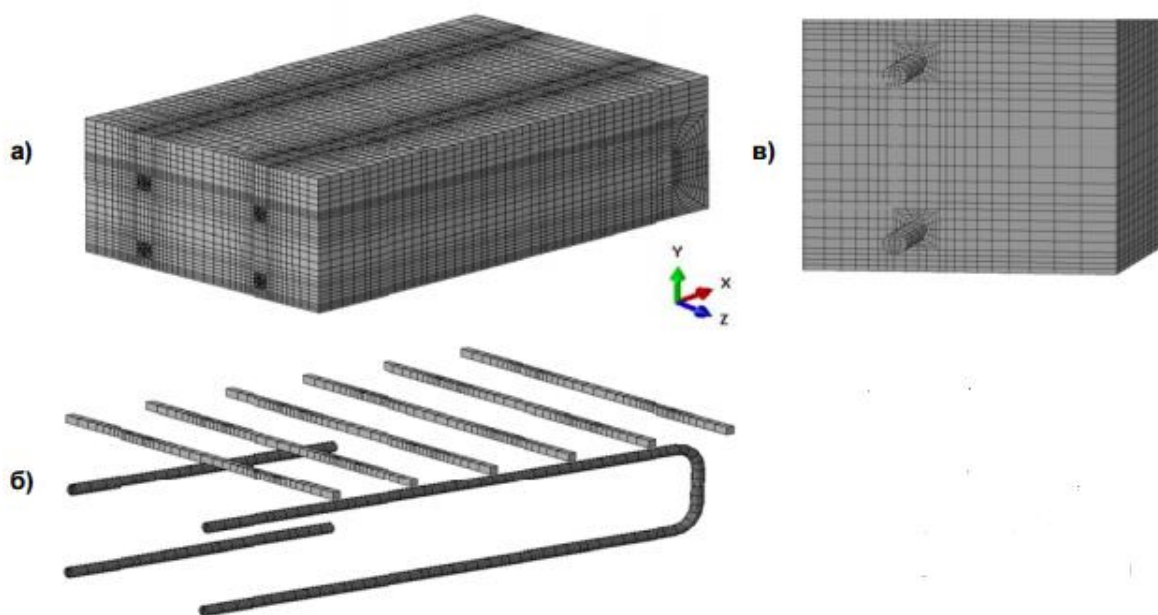


Рисунок 5 – Автодорожный мост с повреждением в виде скола бетона и коррозией оголенной арматуры

В качестве основной цели выступает моделирование коррозии арматурных стержней с последующим разрушением бетона и оценка остаточного ресурса конструкции.

Конечно-элементная модель запроектирована в ПК Abaqus. Тело бетона задано восьмиузловыми линейными конечными элементами. Арматурные стержни так же моделировались объемными конечными элементами и в сечении имели форму квадрата с эквивалентной

жесткостью, участки коррозии в поперечном сечении имели круглую форму (рисунок 6). К конструкции прикладывалась равномерно распределенная нагрузка и собственный вес. На часть конечных элементов наложен запрет перемещений, описывающих заделку внутренней поверхности, нижняя и боковая поверхности оставались свободными от действия нагрузок.

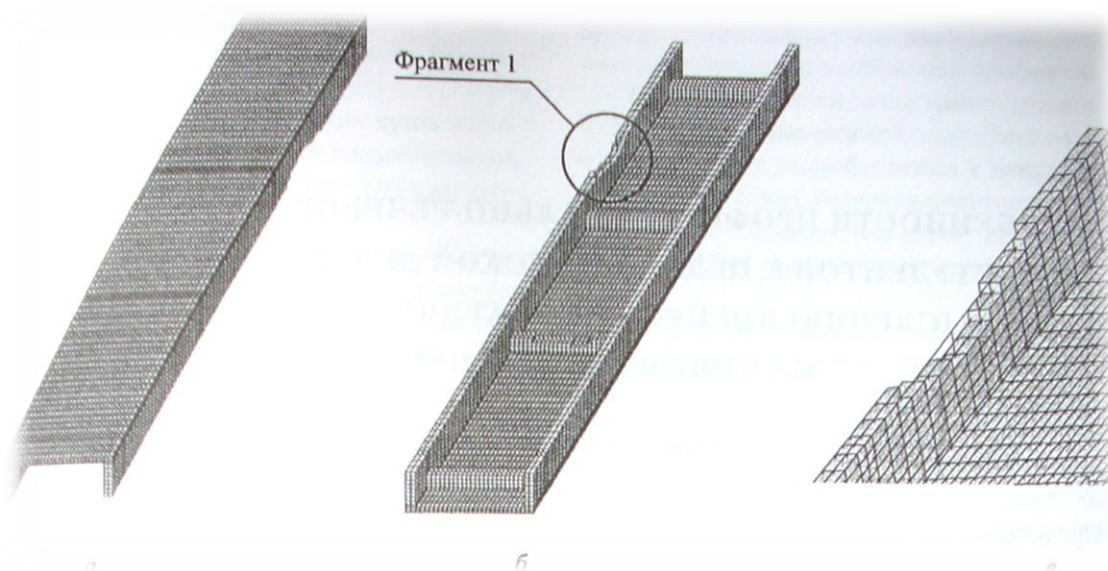


а) – модель в целом; б) – арматура; в) – фрагмент сетки в области корродирующей (поперечной) арматуры

Рисунок 6 – Конечно-элементная модель автодорожного моста с повреждением

По результатам моделирования установлено, что после разрушения защитного слоя бетона максимальные прогибы увеличились, интенсивность в арматуре возросла, но не смотря на значительное изменение показателей, значения их все же ниже критических. Однако при моделировании прогрессирующего разрушения и увеличения коррозионных участков, относительные показатели вплотную приблизились к критическим значениям, но не достигли их.

В 2003 г. Тошиным Д.С. и Подпорным В.А. было предложено моделирование ребристых железобетонных плит со сколом [14]. Расчет производился в ПК ЛИРА. Расчетная модель представляла собой совокупность объемных и стержневых конечных элементов, моделирующих тело бетона и арматуру соответственно. Скол бетона осуществлялся путем выборки ряда объемных конечных элементов, количество задавалось исходя из объема повреждения реальной конструкции. В качестве примера приводится изображение из статьи (рисунок 7).



а) – в проектном положении; б) – изображение а) повернуто для наглядного отображения; в) – фрагмент смоделированного выкола бетона

Рисунок 7 – Расчетная модель железобетонной плиты с выколом бетона

Далее производился расчет в программном комплексе ЛИРА и давалась оценка напряженно-деформированного состояния конструкции.

Позднее в 2014 г. Тошин Д.С. опубликовал еще одну статью [15], где предложил к рассмотрению укрупненную классификацию повреждений, а также внес предложения по моделированию каждого из видов,

представленных в классификации. В качестве примера в статье приводится конечно-элементная модель железобетонной балки прямоугольного сечения, в работе представлена на рисунке 8.

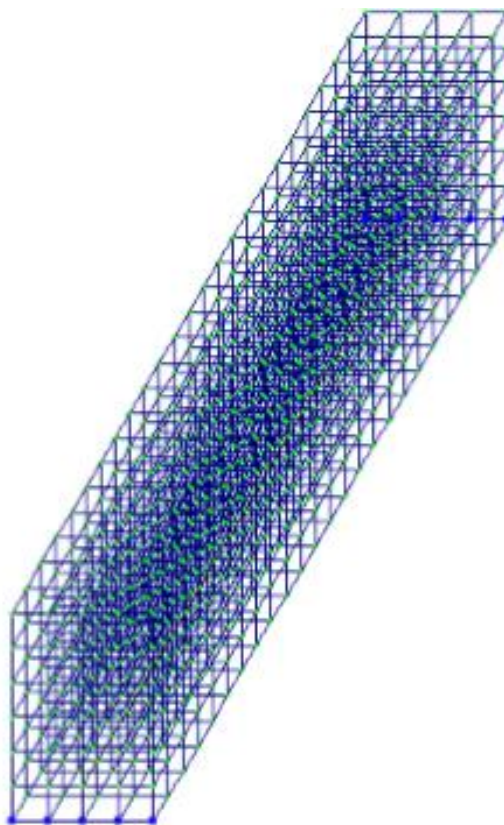


Рисунок 8 – Конечно-элементная модель железобетонной балки прямоугольного сечения

В целом можно отметить, что метод конечных элементов является универсальным, так как позволяет реализовать модели различных форм в программных комплексах САПР.

1.2 Подбор и изучение компьютерных программ для моделирования железобетонных элементов с повреждениями

Современные компьютеры и операционные системы позволяют пользователям практически безграничные возможности для решения задач проектирования и их расчета.

Встречаются случаи, когда компьютерное моделирование приходит на смену натурным испытаниям или, служат в качестве подсказки испытателю.

Модельный эксперимент имеет ряд достоинств, по сравнению с другими экспериментально-теоретическими методами:

- Отсутствие необходимости прибегать к натурным испытаниям объекта, это актуально для зданий и конструкций, в которых испытание невозможно по объективным причинам;
- Возможность моделирования перспективы развития объекта исследования;
- Визуализация объекта, численные и графические характеристики объекта;
- Многократность испытания модели, при этом возможность возвращения в исходное состояние;
- Возможность поиска оптимального решения конструкции, не прибегая к изготовлению пробных экземпляров;
- Отсутствие риска для здоровья человека в процессе экспериментального исследования.

Существует ряд программ, позволяющих моделировать строительные конструкции. В обзоре литературы уже были приведены такие программные комплексы как Abaqus, Ansys, ИСПА, ЛИРА, Stark. Далее приводится более подробное описание некоторых из них.

ABAQUS – программный комплекс мирового уровня для расчета прочности конструкций с применением конечно-элементного метода. Позволяет осуществить решение линейных и нелинейных инженерных задач. Позволяет моделировать конструкции, находящиеся в эксплуатации. С применением данного комплекса необходимость проведения натурных экспериментов снижается. Считается инновацией в сфере проектирования и инженерных расчетов.

STARK - программный комплекс[16, 17] используется при проектировании несущих конструкций зданий и сооружений. Возможно создание таких конечных элементов как фермы, рамы, элементы толстых и тонких плит, стержневые конечные элементы (в том числе и специальные - ребра жесткости и канаты), многослойные стержневые и пластические элементы. Программа дает возможность решать, как плоские, так и пространственные задачи. При расчете методом конечных элементов учитывается линейность и нелинейность элемента.

ANSYS- универсальная программная система[18, 19] конечно-элементного анализа, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов и конечно-элементные решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций).

ИСПА – Интегрированная Система Прочностного Анализа. программный комплекс конечно-элементных систем моделирования отечественной разработки. Создание конечно-элементной модели производится заданием граничных условий и назначение свойств материала. Программа позволяет задать три основные группы конечных элементов: одномерные, двумерные и трехмерные (сплошные) элементы.

ПК ЛИРА - многофункциональный программный комплекс[20] для проектирования и расчета строительных и машиностроительных конструкций различного назначения. Реализованный метод расчета — метод конечных элементов. Выполняется расчет на статические (силовые и деформационные) и динамические воздействия. Программный комплекс позволяет проектировать такие элементы как рамы, колонны, фермы и т.д. Конечные элементы моделирования возможно задавать и плоскими, и объемными.

В литературных источниках [21] подробно описываются преимущества и недостатки существующих программных комплексов, ориентированных именно на строительную область и возможность массового применения. Для наглядности и возможности сравнения, характеристики этих комплексов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение программных комплексов

Наименование программного комплекса	Полнога базы конечных	Суперэлементы	Физическая нелинейность	Геометрическая нелинейность	Конструирующая система		Монтаж
					Железо-бетон	Металл	
Abaqus	+	-	+	+	+	+	-
Ansys	+	+	+	+	-	-	+
ИСПА	+	+	+	+	+	+	-
ЛИРА	+	+	+	+	+	+	+
Stark	+	+	-	+	+	+	-

При равных преимуществах, предпочтение отдано ПК Лира, как доступная к применению.

1.3 Классификация повреждений

Классификация повреждений подробно представлена в нормативной литературе [22]. Укрупненно классификацию видов повреждений можно представить:

Таблица 2 – Классификация повреждений в конструкциях

Вид повреждения	Причины возникновения	Примечание
Повреждение защитного слоя с оголением рабочей арматуры; без оголения	В результате механического воздействия, перегрузка конструкций	См. рисунок 9

рабочей арматуры; с обрывом рабочей арматуры;		См. рисунок 10
Нарушение сцепления рабочей арматуры с бетоном;	Несоблюдения правил при изготовлении, последствия пожара, коррозия арматуры	
Снижение прочности бетона поверхностных слоев конструкции, вызванное коррозией бетона, замазыванием	Нарушение условий эксплуатации, перегрузка конструкций	См. рисунок 11
Уменьшение площади поперечного сечения рабочей арматуры в следствии коррозии	Нарушение условий эксплуатации, повреждения защитного слоя	См. рисунок 12
Нормальные и наклонные к продольной оси элемента трещины	Перегрузка конструкций, нарушения при изготовлении, нарушения условий эксплуатации, несоблюдение правил монтажа	См. рисунок 13
Прогибы элемента	Перегрузка конструкций	См. рисунок 14



Рисунок 9 – Скол бетона с оголением арматуры

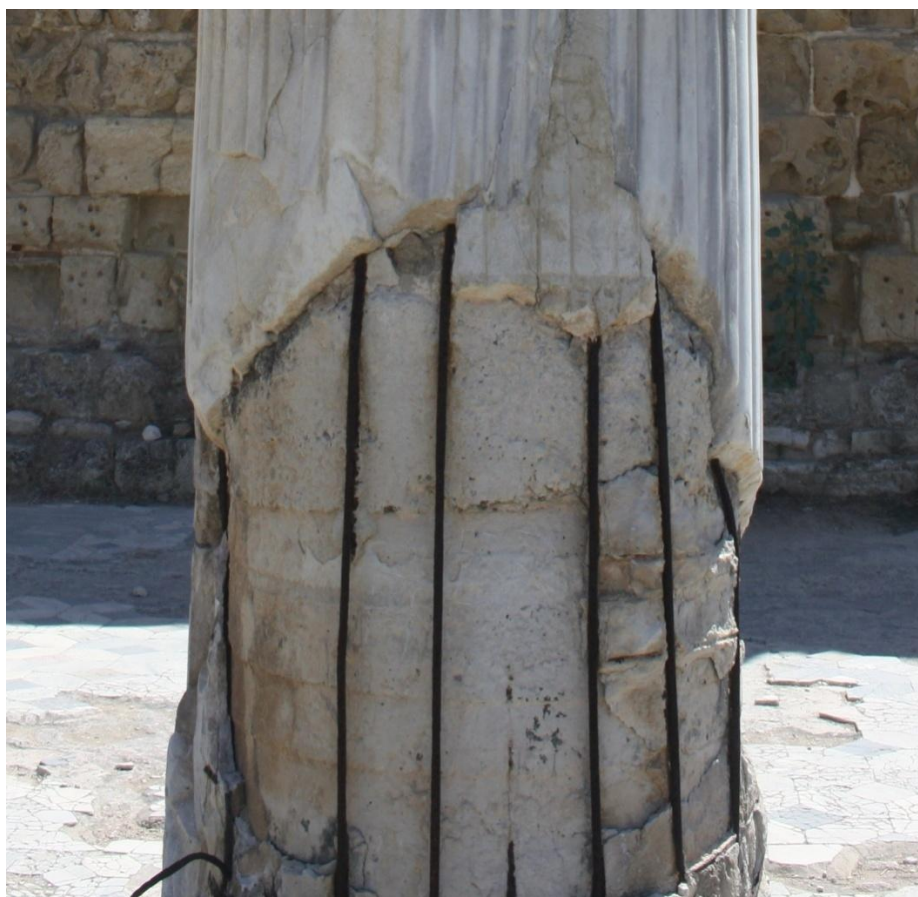


Рисунок 10 – Скол бетона с обрывом арматуры



Рисунок 11 – Конструкция с промасливанием верхних слоев бетона



Рисунок 12 – Коррозия арматуры

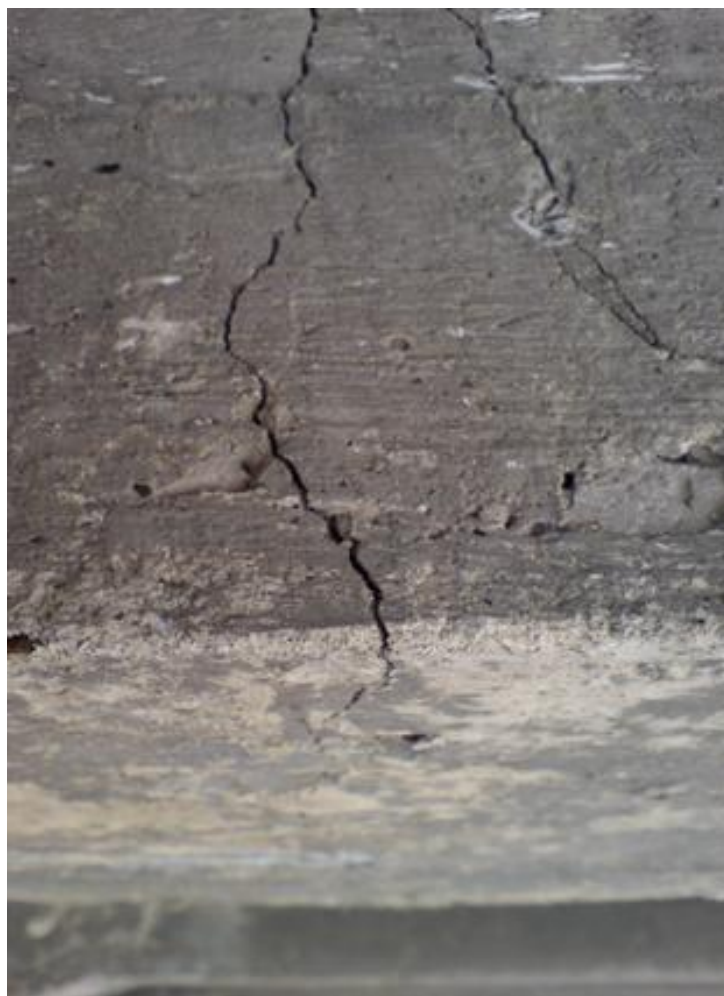


Рисунок 13 – Трещины конструкции



Рисунок 14 – Прогиб плиты покрытия

1.4 Средства установления повреждений

Регулярное обследование [23] дает объективную оценку эксплуатируемого здания в целом. Своевременное обследование здания и сооружения помогает избежать проявления отрицательных процессов в нем, а также дает возможность сделать прогноз о предполагаемом развитии повреждений строительных конструкций и составить мероприятия по их устранению или стабилизации.

Возникшие повреждения ведут за собой снижение несущей способности конструкций, а также ухудшение условий эксплуатации.

Обследование здания выполняется с целью установления его пригодности к нормальной эксплуатации или необходимости ремонта, восстановления, усиления или ограничений в эксплуатации, как отдельных конструкций, так и здания в целом.

Основная функция обследования - выявление определенных параметров и их сравнение с требуемыми проектными данными. Как правило, работы проводятся в 3 этапа: подготовительные работы, визуальное и инструментальное обследование.

Как показывает накопленный практический опыт, при правильной и своевременной технической диагностике эксплуатируемого здания, информация о действительных запасах прочности конструкций с повреждениями, остается не полной.

1.5 Выводы по ГЛАВЕ 1

Метод конечных элементов достаточно широко используется в проектной и исследовательской деятельности. Имеется опыт моделирования повреждений, обеспечивающий оценку напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых элементов. Однако анализу имеющихся подходов в использовании метода конечных элементов в расчетах конструкций с повреждениями не позволяет

произвести обобщение и разработать универсальную методику расчета конструкций после обследования.

Таким образом теоретическая основа расчета конструкций с повреждениями может базироваться на методе конечных элементов, но требует дальнейшего развития, обобщения и совершенствования.

ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

2.1 Моделирование объемно-конечной модели

В общем виде алгоритм формирования расчетной модели железобетонной конструкции с повреждением предлагается осуществлять в следующей последовательности:

- 1) Формирование тела бетона массивом объемных конечных элементов (рисунок 15);

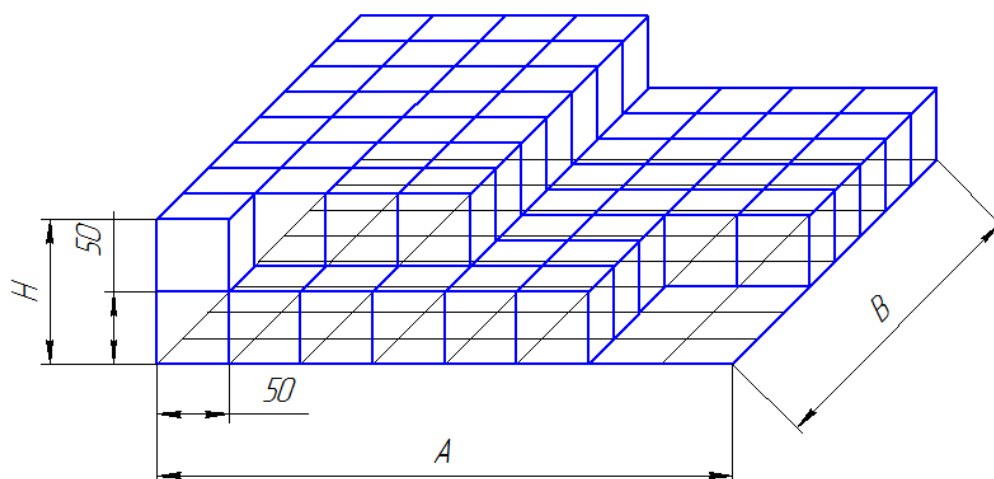


Рисунок 15 – Формирование тела бетона объемными конечными элементами

- 2) Присвоение жесткости эквивалентной бетону моделируемой конструкции;
- 3) Задание рабочей арматуры в виде стержневых конечных элементов (рисунок 16);

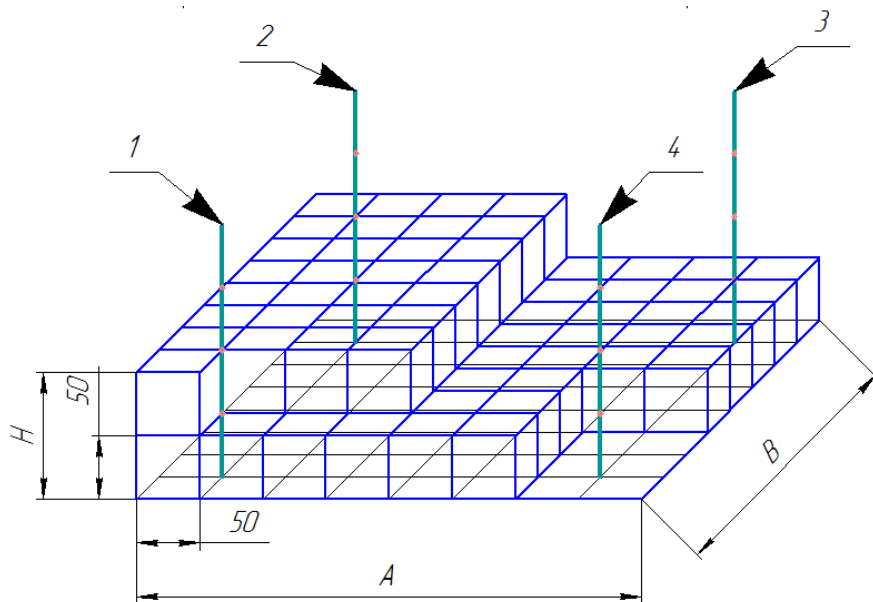


Рисунок 16 – Формирование рабочей арматуры стержневыми конечными элементами

- 4) Выбор и назначение арматурного профиля;
- 5) Наложение связей на нижние узлы модели (рисунок 17);

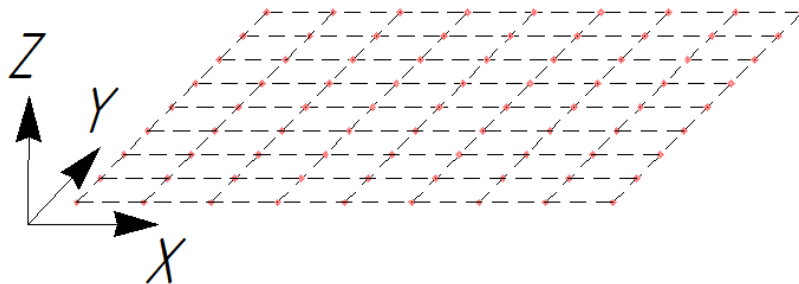


Рисунок 17 – Наложение связей на нижние узлы модели

- 6) Приложение нагрузки (рисунок 18);

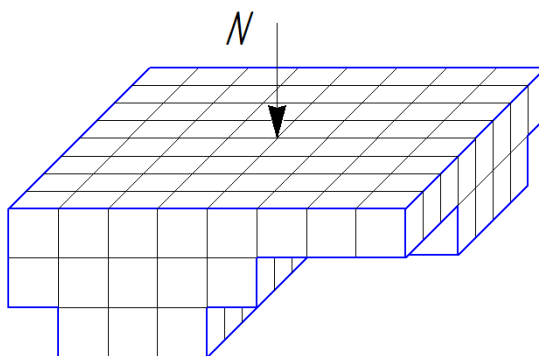


Рисунок 18 – Приложение нагрузки

- 7) Моделирование повреждения;
- 8) Расчет полученной модели;
- 9) Анализ результатов компьютерного моделирования.

Рассмотрим алгоритм формирования модели конструкции на примере железобетонной колонны [24] со параметрами: сечение 400x400 мм, высота 3000 мм (рисунок 19).

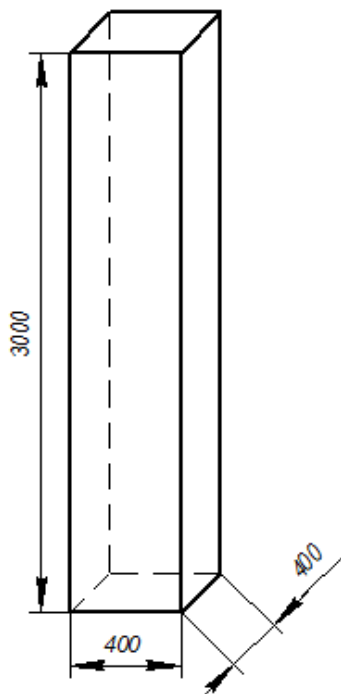


Рисунок 19 – Железобетонная колонна

Колонна армирована четырьмя продольными арматурными стержнями $\varnothing 16$ мм. Рабочая арматура выполнена из горячекатаной стали класса А 400 (рисунок 20).

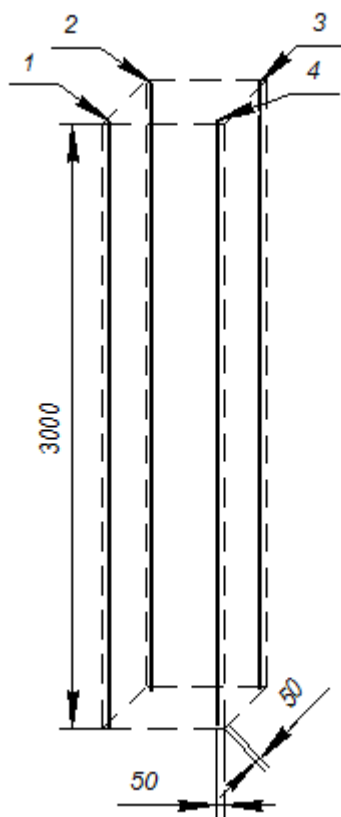


Рисунок 20 – Схема расположения продольной арматуры

Физическая характеристика тела бетона: тяжелый бетон марки В30.

На поставленную задачу влияют модуль упругости, $E=3e+006$ и коэффициент Пуассона, $\nu=0,2$.

Разработка методики расчетной модели заключается в представлении ее в виде конечного количества элементов. Совокупность объемных конечных элементов, формирует тело бетона, а стержневых - арматурный каркас. Универсальность метода заключается в возможности формирования произвольной обрабатываемой области.

Алгоритм формирования расчетной модели железобетонной колонны:

- 1) Из плоских конечных элементов генерируется поперечное сечение колонны. Размеры плоских конечных назначаются с учетом размеров и особенностей конструкции. Степень детализации задается исходя из требуемой точности расчета. Для моделируемой, принята степень детализация 50x50 мм. Степень детализации может варьироваться в зависимости от необходимой точности модели (рисунок 21).

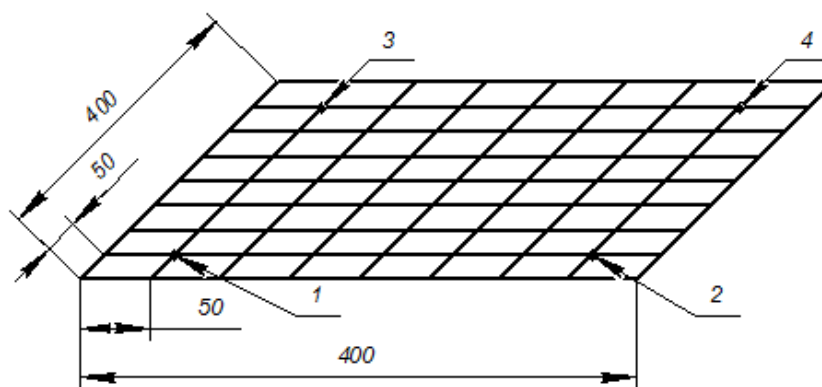


Рисунок 21-Поперечное сечение конструкции

- 2) Тело конструкции создается при формировании объемных конечных элементов путем перемещения по образующей заданного поперечного сечения колонны, ортогонально к ней.
- 3) Армирование задается в виде стержневых элементов, которые разбиты на конечные элементы с шагом, установленным при формировании объемной модели. Узлы стержневых и объемных конечных элементов должны быть связаны между собой, тем самым обеспечивая совместную работу составных частей конструкции.
- 4) На нижнее сечение наложены связи, моделируя опирание колонны (рисунок 22).

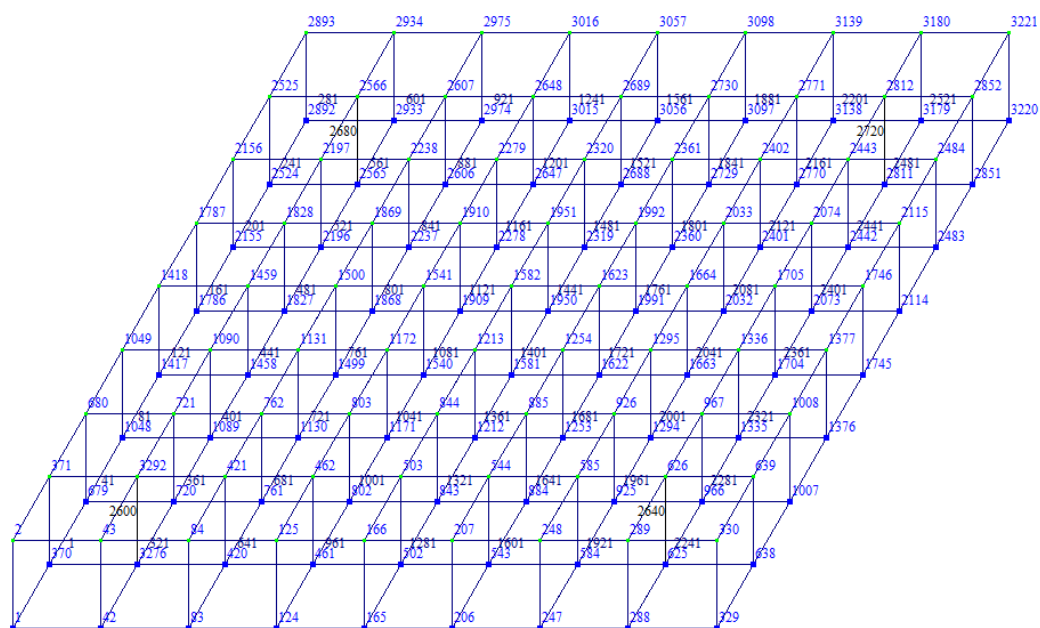


Рисунок 22 – Нижний пояс конструкции

Таблица 3 - Связи узлов нижнего пояса

№ узла	Тип связи
1	X, Y, Z
2892	X, Z
3220	Z
329	Y, Z
370-2524	X, Z
2933-3179	Z
638-2851	Z
42-288	Y, Z
Центр. узлы	Z

5) Конечным элементам присвоена жесткость. Для стержневых элементов принята горячекатаная круглая сталь диаметром 16 мм,

а объемным конечным элементам присвоена жесткость, эквивалентная тяжелому бетону марки В30.

- б) Конструкция воспринимает собственный вес с коэффициентом надежности для железобетонного элемента 1,1, согласно СП [25]. Кроме собственного веса конструкция воспринимает равномерно распределенную нагрузку в 250 т, которая составляет 50% от несущей способности.

На основании описанного выше алгоритма, получена модель для расчета конструкции центрально сжатой колонны без повреждений.

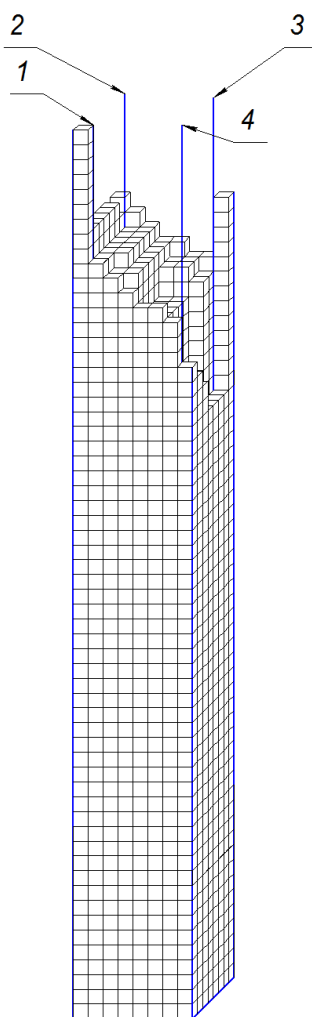


Рисунок 23 – Конечно-элементная модель колонны

В действительности, в связи с погрешностями при проектировании и изготовлении, а также ряда других причин, центральное сжатие не наблюдается, а происходит внецентренное сжатие. Из этого добавляется еще один пункт к алгоритму, описанному выше:

- 7) приложение момента к верхним узлам, который соответствует действующей равномерно распределенной силе с эксцентриситетом $0,75h_0$, где $h_0=400\text{мм}$.

2.2 Моделирование повреждения

Для приближения модели к реальной конструкции, зададим в ней повреждения[26], полученные в ходе ее эксплуатации. Повреждения соответствуют классификации, представленной выше в таблице 2. Влияние повреждения на колонну, рассматриваются относительно трех сечений А-А, Б-Б и В-В.

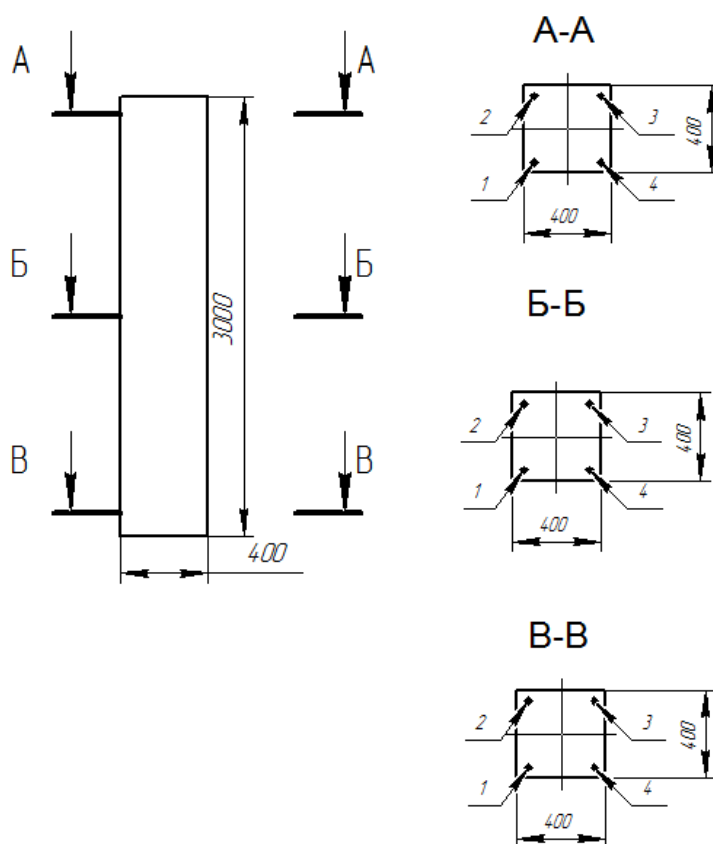


Рисунок 24–Схема колонны без повреждений

Моделирование скола бетона.

Скол бетона представляет собой отколотый участок в теле конструкции, вызванный механическим воздействием.

Данный вид повреждения условно разделим на четыре вида:

- 1) Скол бетона без оголения рабочей арматуры;
- 2) Скол бетона с оголением рабочей арматуры;
- 3) Скол бетона с оголением рабочей арматуры и ее коррозией;
- 4) Скол бетона с обрывом рабочей арматуры.

Перенос на расчетную схему участков с разрушением бетона осуществляется путем удаления нескольких объемных конечных элементов из полной колонны. В зависимости от величины реального повреждения, размер моделируемого скола может варьировать. На рисунке 21 в качестве примера представлен скол с геометрическими размерами 50x150x400 мм (рисунок 25, 26).

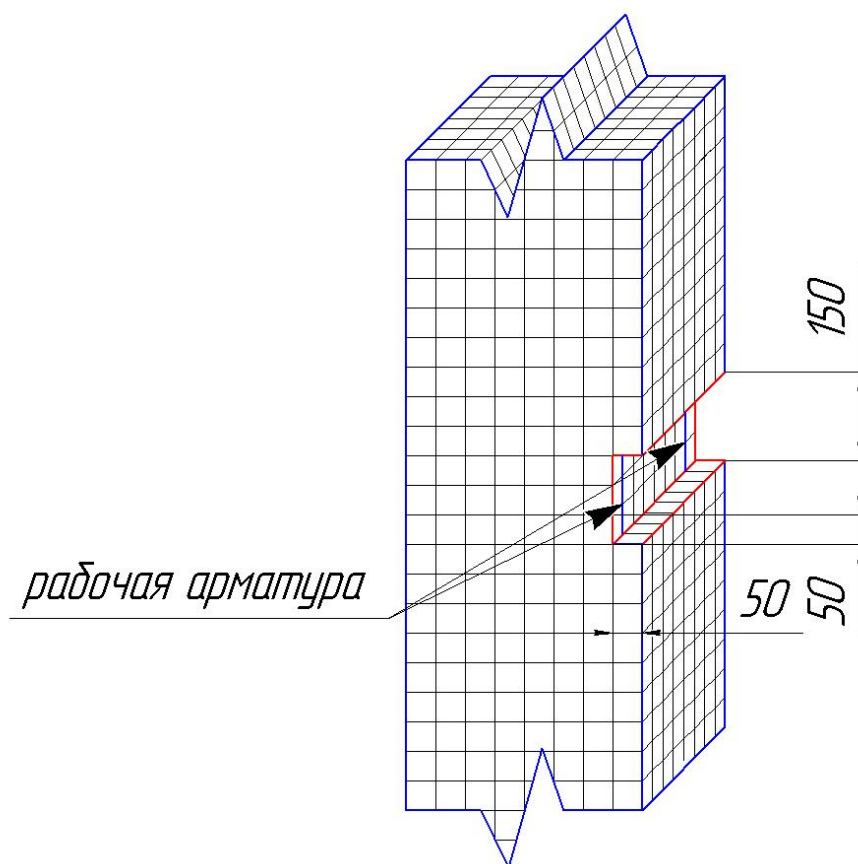


Рисунок 25 – Моделирование скола бетона

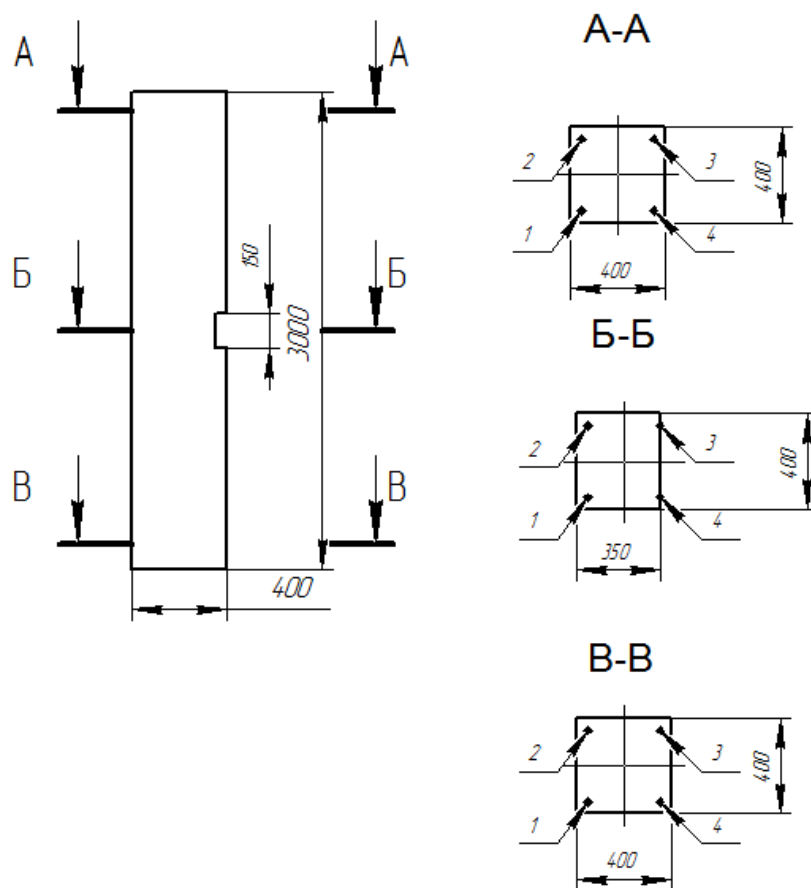


Рисунок 26–Схема конструкции, поврежденной сколом бетона.

Для моделирования скола с оголением рабочей арматуры, применяется метод описанный выше. Толщина защитного слоя- 50 мм, что соответствует размеру одного объемного конечного элемента.

Построение модели со сколом бетона и арматурой, подвергшейся коррозии, выполняются операции, описанные выше, но уменьшается диаметр арматуры с коррозией. В результате коррозии нарушается сцепление арматуры с бетоном, поэтому часть стержневых элементов удаляется и заменяется одним целым стержнем. За счет отсутствия связей между узлами объемных конечных элементов и стержневых, нарушается совместная работа конечных элементов.

Полученная таким образом расчетная модель железобетонной колонны отображает работу конструкции с учетом повреждения.

Моделирование промасливания бетона.

Работа железобетонной конструкции как единого целого достигается за счет сцепления арматуры с бетоном. Уменьшение связей сцепления ведет к снижению прочности и несущей способности конструкции. Нарушения сцепления возникают в результате воздействия агрессивной внешней среды на конструкцию. К такому виду повреждения относят – промасливания[27]. В результате влияния производственных масел на бетон, возникают деструктивные изменения. Помимо нарушения сцепления арматуры с бетоном, снижается прочность бетона, в некоторых случаях до 50%.

Прочность бетона при промасливании определяется по формуле:

$$R_t^m = R_0 \times (1 - 0.1t), (1)$$

где t - продолжительность пропитки маслом (1-8 лет), г;

R_0 - первоначальная прочность бетона, МПа.

Пусть моделируемая конструкция подвергалась пропитке маслом в течении 7,5 лет.

Тогда прочность бетона, в месте повреждения, из формулы (1) равна 9,8 МПа, что соответствует бетону класса/марки В7,5/М100, при первоначальной 39,2 МПа.

Моделирование промасливания бетона с последующим нарушением его сцепления с арматурой осуществляется следующим образом. Объемным конечным элементам в месте повреждения присваивается модуль упругости, $E=1,5e+006$ и коэффициент Пуассона, $\nu=0,2$. Что касается проскальзывания арматуры, часть стержневых элементов удаляется и заменяется одним целым стержнем. Количество удаляемых элементов зависит от величины исследуемого повреждения. За счет

отсутствия связей между узлами объемных конечных элементов и стержневых, нарушается совместная работа конечных элементов.

На рисунке 27 изображена колонна с повреждением в виде промасливания. Красным цветом отмечен участок бетона с прочностью ниже, чем остальные объемные элементы, арматурные стержни так же выделены другим цветом.

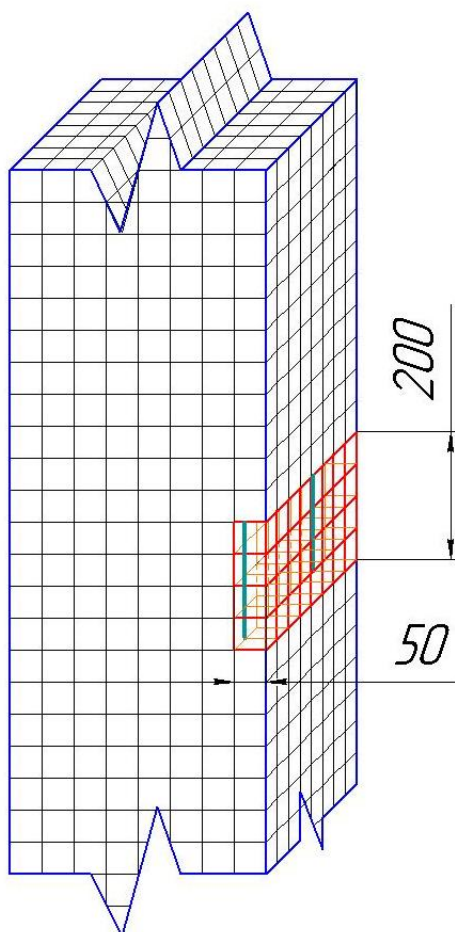


Рисунок 27 – Моделирование промасливания бетона

Моделирование коррозии арматуры.

Коррозия арматуры развивается по двум схемам: в связи с наличием повреждений в конструкции; происходит в результате агрессивной окружающей среды[28, 29]. Первая схема процесса корродирования, рассмотрена выше при сколе бетона с оголением арматуры и ее коррозией.

Развитие коррозии по второй схеме вызвано воздействием на железобетонную конструкцию влажного воздуха или периодическим увлажнением, загрязнением атмосферы агрессивными газами. В результате воздействий внешней среды, на арматурных стержнях образуется ржавчина, давление воздействует на защитный слой бетона и происходит механическое разрушение.

Рассмотрим повреждение в виде коррозии арматуры, до разрушения защитного слоя бетона.

Моделирование происходит, как и ранее формированием объемно-конечной модели, приложением к ней нагрузок и заданием связей, но арматурные стержни с коррозией, уменьшаются в диаметре до $\varnothing 14$ мм, к тому же, коррозия сопровождается нарушением сцепления арматуры с бетоном. Часть стержневых элементов удаляется и заменяется одним целым стержнем.

После задания исследуемого повреждения на конструкции, проводится модельный эксперимент.

2.3 Выводы по ГЛАВЕ 2

Предложен алгоритм моделирования железобетонной конструкции на основе метода конечных элементов, позволяющий единообразно задавать различные повреждения. Данный алгоритм универсальностью применений и может быть использован при расчете изгибаемых, сжатых, растянутых элементов.

Подробно рассмотрен порядок формирования расчетной модели на примере железобетонной колонны. Приведена последовательность в задании таких повреждений как скол бетона, скол бетона с коррозией оголенной арматуры, промасливание локального участка железобетонной конструкции, коррозия арматуры под защитным слоем бетона.

Предложено задание сжатой конструкции как в центрально-сжатой постановке, так и внецентренно-сжатой.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА НА МОДЕЛЯХ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ

На основании полученных в результате эксперимента данных, проводится анализ[30] напряженно-деформированного состояния конструкции. Сравнение ведется по трем параметрам:

- изменение средних и максимальных, в месте повреждения, деформаций арматурных стержней;
- влияние повреждения на изменение эксцентриситета конструкции;
- определение коэффициента ψ

Средние и максимальные деформации стальной арматуры определяются по формуле:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}, (2)$$

где σ_s - напряжение, возникающее в стержне,

E_s - модуль упругости арматуры, 2×10^5 , Мпа.

Напряжение, в свою очередь находится из формулы:

$$\sigma = \frac{N}{A_s}, (3)$$

где N - условная продольная сила в арматуре, принимаемая по результатам расчета в ПК ЛИРА как для стержневых элементов т;

A_s -площадь сечения арматуры, задаваемой при формировании модели, мм^2 .

Далее рассматривается влияние характера повреждения и его размер, на эксцентриситет конструкции. Интересны те случаи, где его величина превышает случайный эксцентриситет.

Значения случайного эксцентриситета определяется согласно СП [24]:

- 1/600 длины элемента ($3000/600=5$ мм);
- 1/30 высоты сечения ($400/30=13,3$ мм);
- 10 мм

Значение случайного эксцентриситета принимают большим из полученных значений. В нашем случае $e_a=13.3$ мм.

Для нахождения эксцентриситета, составлено уравнение моментов (4), относительно арматуры 1, из которого находится его величина (рисунок 28).

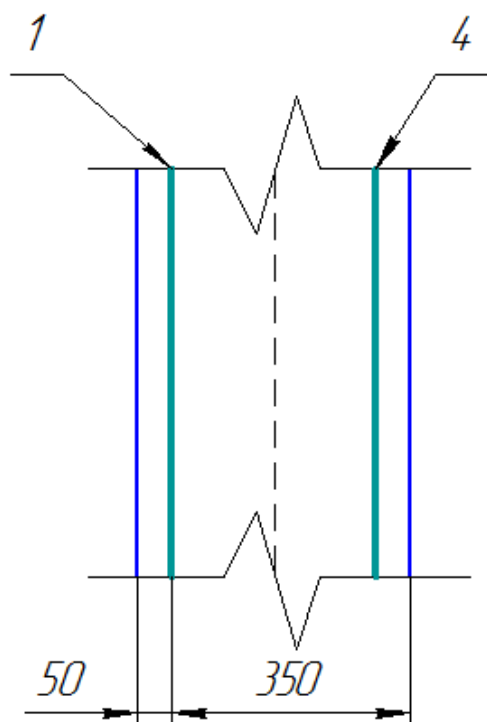


Рисунок 28 – Сечение колонны

$$N \times e - \varepsilon_s' \times E_s \times 2A_s h_0 - a - \frac{\varepsilon_s + \varepsilon_s'}{2} E_b A_b \frac{b}{2} - a = 0, \quad (4)$$

где, N – нагрузка, действующая на колонну, кг;

e – искомый эксцентриситет, см;

ε_s и ε'_s - величина деформаций ε'_s для арматурного стержня 4, ε_s для арматурного стержня 1;

E_s и E_b - модуль упругости арматуры и бетона соответственно, кг/см²;

A_s и A_b - площадь сечения арматуры и бетона соответственно, см²;

h_0 - расстояние от арматуры до края колонны, см;

a - толщина защитного слоя, см;

b - ширина сечения колонны, см.

$E_s =$	2.06E+06	[кг/см ²]
$E_b =$	3.00E+05	[кг/см ²]
$A_s =$	2.01/ 1.54	[см ²]
$A_b =$	1600/1400	[см ²]
$N =$	2.50E+05	[кг]
$b =$	40	[см]
$h_0 =$	35	[см]
$a =$	5	[см]

Для случая с промасливанием в пределах защитного слоя части конструкции, нахождение эксцентриситета и его приращения, в случае внецентренного сжатия, рассчитывается по следующей формуле:

$$N \times e - \varepsilon'_s \times E_s \times 2A_s \left(h_0 - a + \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_s}{2} \times E_{b1} \times A_{b1} \times \frac{a}{2} - \frac{\varepsilon_s + \varepsilon'_s}{2} \times E_{b1} \times A_{b2} \times \frac{b}{2} - a - \frac{\varepsilon'_s + \varepsilon_2}{2} \times E_{b2} \times A_{b1} \times h_0 - \frac{a}{2} \right) = 0, \quad (5)$$

где, N - нагрузка, действующая на колонну, кг;

e - искомый эксцентриситет, см;

ε_s и ε'_s - величина деформаций ε'_s для арматурного стержня 4, ε_s для арматурного стержня 1;

ε_1 и ε_2 – величина деформаций, найденных по формуле (6);

E_s , E_{b1} и E_{b2} – модуль упругости арматуры и бетона соответственно 1 – для бетона В30, 2 – для бетона В7,5, кг/см²;

A_s и A_{b1} и A_{b2} – площадь сечения арматуры и бетона соответственно 1 – для бетона под защитным слоем, 2 – для бетона защитного слоя, см²;

h_0 – расстояние от арматуры до края колонны, см;

a – толщина защитного слоя, см;

b – ширина сечения колонны, см.

Для нахождения величин деформации ε_1 и ε_2 (рисунок 29) воспользуемся уравнением прямой, проходящей через две точки:

Для участка A_{b1} :

$$\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_s}{\varepsilon'_s - \varepsilon_s} = \frac{0 - 50}{350 - 50}, \quad (6)$$

Для участка A_{b2} :

$$\frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_s}{\varepsilon'_s - \varepsilon_s} = \frac{400 - 50}{350 - 50}, \quad (7)$$

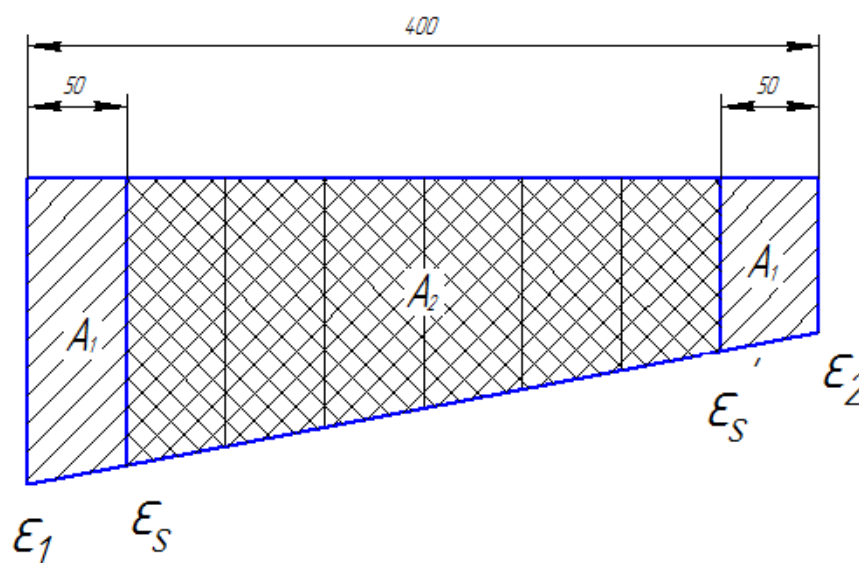


Рисунок 29–Эпюра деформаций в конструкции

$E_S=$	2.06E+06	[кг/см ²]
$E_{B1}=$	3.00E+05	[кг/см ²]
$E_{B1}=$	1.50E+05	[кг/см ²]
$A_s=$	2.01/ 1.54	[см ²]
$A_{B1}=$	1200	[см ²]
$A_{B1}=$	200	[см ²]
$N=$	2.50E+05	[кг]
$b =$	40	[см]
$h_0=$	35	[см]
$a =$	5	[см]

Третий параметр, обеспечивающий оценку напряженно-деформированного состояния испытуемых моделей – коэффициент, найденная по аналогии с коэффициентом ψ_s для железобетонных элементов с трещинами.

$$\psi_s = \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s}, \quad (8)$$

где ε_{sm} - средние деформации в стержне,

ε_s - деформации в месте повреждения.

3.1 Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом бетона и оголением рабочей арматуры

Таблица 4–Деформации сжатой колонны

Геометрич. размеры скола, мм	С наличием скола				Без повр. ε_{sm}	Увеличение средних деформаций , %	
	ε_s		ε_{sm}			ЦС	ВС
	ЦС	ВС	ЦС	ВС			
50x50x400	10,0E-04	10,0E-04	6,84E-04	6,71E-04	5,28E-04	89,4	90,0
50x100x400	9,52E-04	9,53E-04	7,10E-04	6,99E-04		80,3	80,6
50x150x400	9,15E-04	9,16E-04	7,22E-04	7,12E-04		73,3	73,4
50x200x400	8,94E-04	8,95E-04	7,28E-04	7,20E-04		69,4	69,5
50x250x400	8,83E-04	8,84E-04	7,31E-04	7,24E-04		67,1	67,3

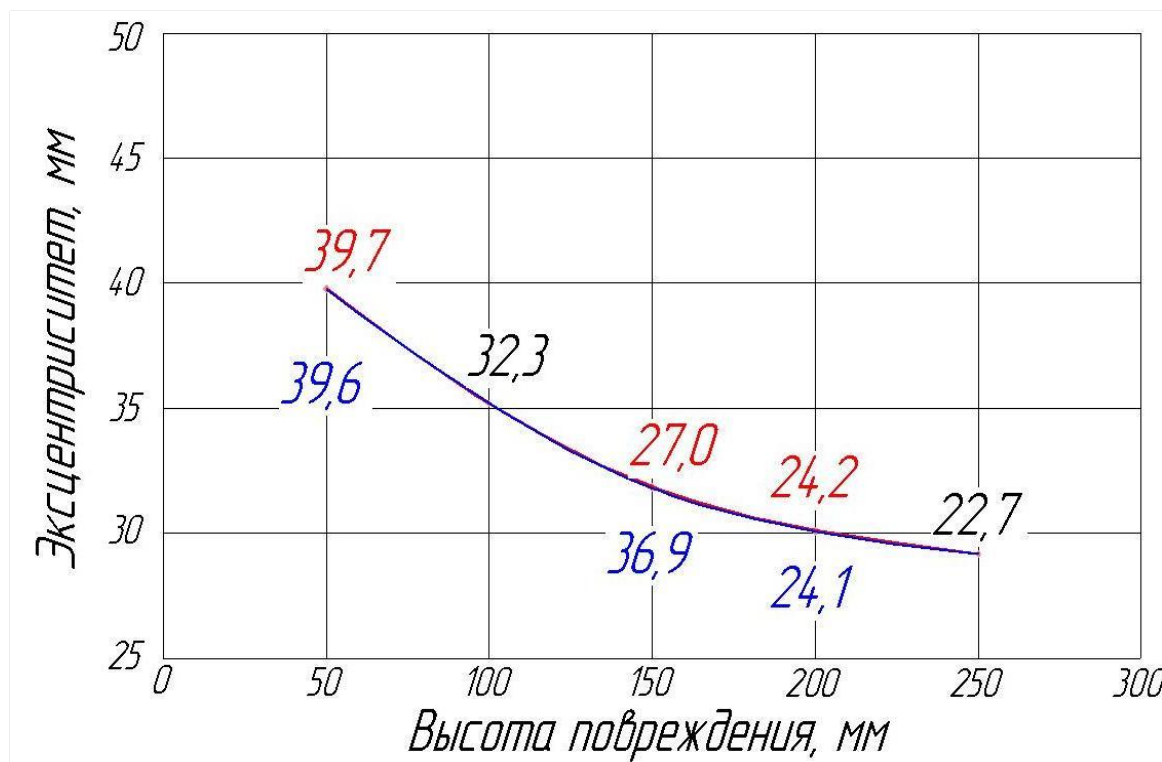
Полученные данные позволяют сделать вывод, что при повреждении железобетонной колонны сколом бетона, происходит увеличение средних деформаций на 67-90%. Однако, меньшее повреждение при других равных параметрах характеризуется большим ростом деформаций в арматуре. Предполагается, что чем меньше объем повреждения, тем выше концентрация напряжений в месте скола.

Таблица 5–Эксцентриситет в месте повреждения

Геометрические размеры скола, мм	e при ЦС, мм	Δe при ВС, мм
50x50x400	39,6	39,7
50x100x400	32,3	32,3
50x150x400	26,9	27,0
50x200x400	24,1	24,2
50x250x400	22,7	22,7

Повреждение сжатых элементов приводит к перераспределению напряжений по сечению, что может быть оценено эксцентриситетом (для ЦС) или величиной его изменения (для ВС). Численные значения оценочного параметра могут быть установлены из уравнения равновесия, записанного

для рассматриваемого сечения. График эксцентриситетов изображен на рисунке 30.



— Центрально сжатая колонна — Внецентренно сжатая колонна

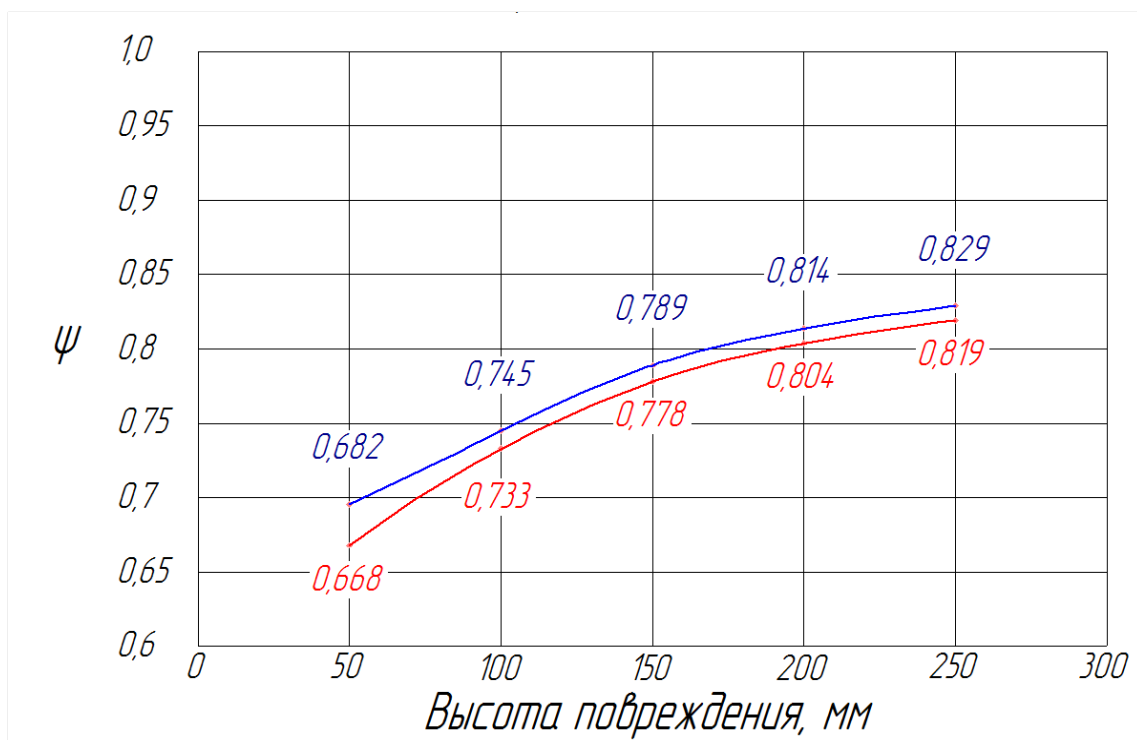
Рисунок 30- График зависимости эксцентриситета от объема повреждения (длина и глубина остается постоянной 400 и 50 мм соответственно)

По высоте колонны максимальный эксцентриситет (или его приращение) отмечается в пределах скола, что согласуется с полученными ранее данными по распределению деформаций. По сечению базы колонны установлено изменение эксцентриситета в пределах случайного. На рисунке 30 представлен график зависимости эксцентриситета приложения продольной силы от объема повреждения. Полученные данные показывают, что влияние повреждения на эксцентриситет определяется размером скола и практически не зависит от вида работы конструкции (ЦС или ВС).

В качестве оценочного параметра напряженно-деформированного состояния железобетонного элемента с повреждением, предлагается использовать также коэффициент ψ (рисунок 31), известным аналогом которого является коэффициент ψ_s , учитываемый при расчете железобетонных элементов с трещинами.

Таблица 6 – Коэффициент ψ

Геометрические размеры скола, мм	ψ при ЦС	ψ при ВС
50x50x400	0,682	0,668
50x100x400	0,745	0,733
50x150x400	0,789	0,778
50x200x400	0,814	0,804
50x250x400	0,829	0,819



— Центрально сжатая колонна — Внецентренно сжатая колонна

Рисунок 31 - График зависимости коэффициента ψ от объема повреждения (длина и глубина остается постоянной 400 и 50 мм соответственно)

3.2 Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом бетона и коррозией арматуры

Таблица 7 – Деформации сжатой колонны

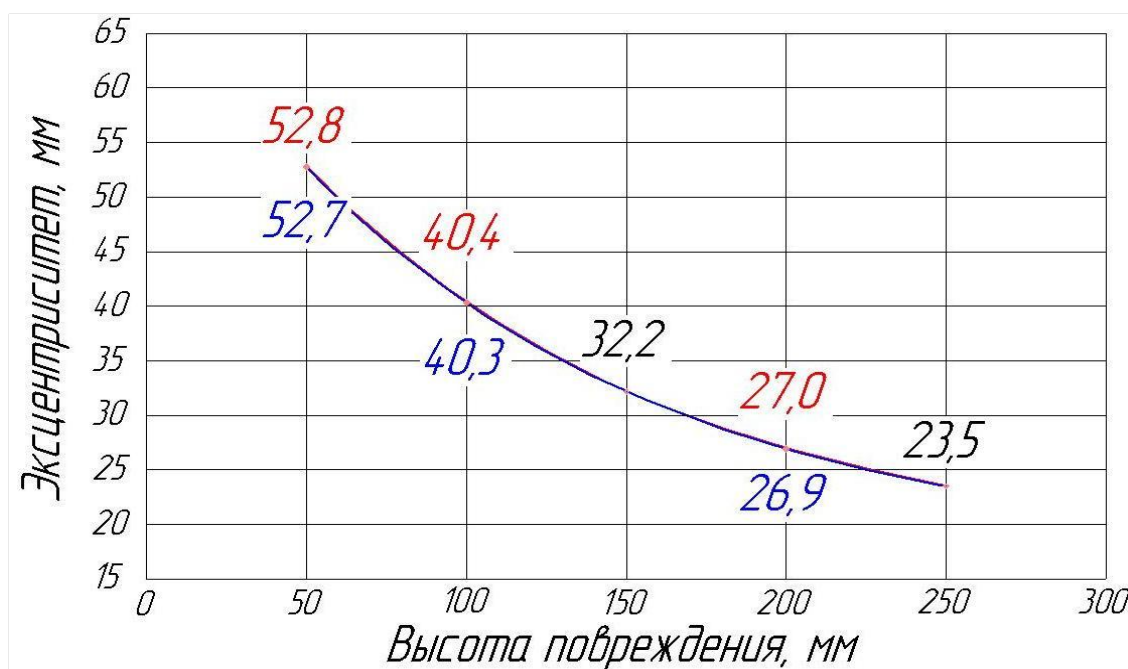
Геометрич. размеры скола, мм	С наличием скола				Без повр. ϵ_{sm}	Увеличение средних деформаций, %	
	ϵ_s		ϵ_{sm}				
	ЦС	ВС	ЦС	ВС	ЦС	ВС	
50x50x400	11,2E-04	11,2E-04	6,59E-04	6,82E-04	5,28E-04	112,7	112,9
50x100x400	10,3E-04	10,3E-04	7,23E-04	7,12E-04		95,6	95,8
50x150x400	9,73E-04	9,74E-04	7,35E-04	7,26E-04		84,3	84,5
50x200x400	9,33E-04	9,34E-04	7,42E-04	7,33E-04		76,7	76,9

50x250x400	9,05E-04	9,06E-04	7,45E-04	7,38E-04		71,4	71,6
------------	----------	----------	----------	----------	--	------	------

Также, как и при сколе бетона отмечается рост средних деформаций, но в большей степени – на 70-113%. Увеличение значения деформаций от меньшего по величине повреждения к большему.

Таблица 8 – Эксцентриситет в месте повреждения

Геометрические размеры скола, мм	e при ЦС, мм	Δe при ВС, мм
50x50x400	52,7	52,8
50x100x400	40,3	40,4
50x150x400	32,2	32,2
50x200x400	26,9	27,0
50x250x400	23,5	23,5



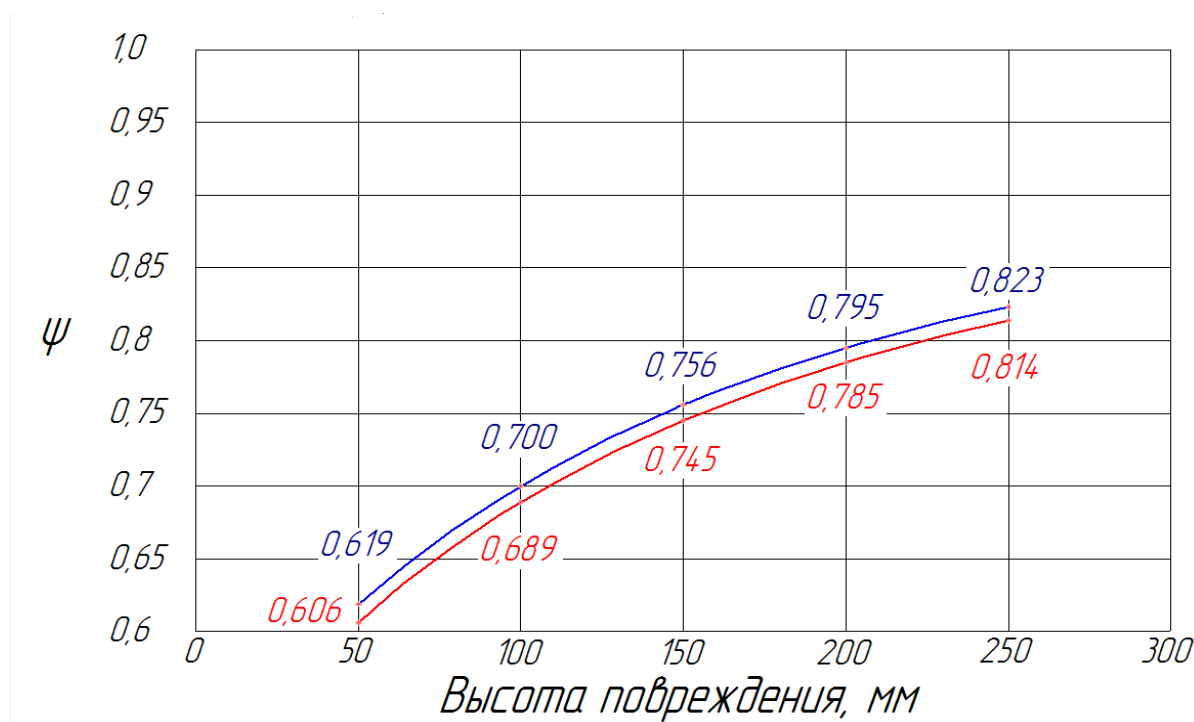
— Центрально сжатая колонна — Внецентренно сжатая колонна

Рисунок 32 - График зависимости эксцентриситета от объема повреждения (длина и глубина остается постоянной 400 и 50 мм соответственно), где синим цветом ЦС колонна, а красным- ВС колонна

Величина эксцентриситета, большего чем случайный эксцентриситет, наблюдается в месте скола и коррозии. Как и в предыдущем случае, вид работы конструкции существенно не влияет на его величину. Эксцентриситет имеет прямую зависимость с размером повреждения. Из графика, представленного на рисунке 32 видно, что чем меньше скол, тем больше эксцентриситет.

Таблица 9 – Коэффициент ψ

Геометрические размеры скола, мм	ψ при ЦС	ψ при ВС
50x50x400	0,619	0,606
50x100x400	0,700	0,689
50x150x400	0,756	0,745
50x200x400	0,795	0,785
50x250x400	0,823	0,814



— Центрально сжатая колонна — Внецентренно сжатая колонна

Рисунок 33 - График зависимости коэффициента ψ от объема повреждения (длина и глубина остается постоянной 400 и 50 мм соответственно)

3.3 Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием бетона

Таблица 10 – Деформации сжатой колонны

Длина ар-ры с проскальзыванием, мм	С наличием скола				Без повр.	Увеличение средних деформаций, %	
	ε_s		ε_{sm}		ε_{sm}	ЦС	ВС
	ЦС	ВС	ЦС	ВС			
100	6,44E-04	6,45E-04	5,73E-04	5,61E-04	5,28E-04	22,0	22,2
200	6,43E-04	6,44E-04	5,88E-04	5,80E-04		21,9	22,0
300	6,39E-04	6,39E-04	5,95E-04	5,88E-04		20,9	21,1
400	6,34E-04	6,35E-04	5,98E-04	5,93E-04		20,1	20,2
500	6,30E-04	6,31E-04	6,00E-04	5,96E-04		19,4	19,5

Полученные данные позволяют сделать вывод, что при повреждении железобетонной колонны промасливанием происходит увеличение средних деформаций на 19,5-22%.

Таблица 11 – Эксцентриситет в месте повреждения

Длина ар-ры с проскальзыванием, мм	e при ЦС, мм	Δe при ВС, мм
100	17,8	17,9
200	19,1	19,2
300	20,0	20,1
400	20,5	20,7
500	20,7	20,8

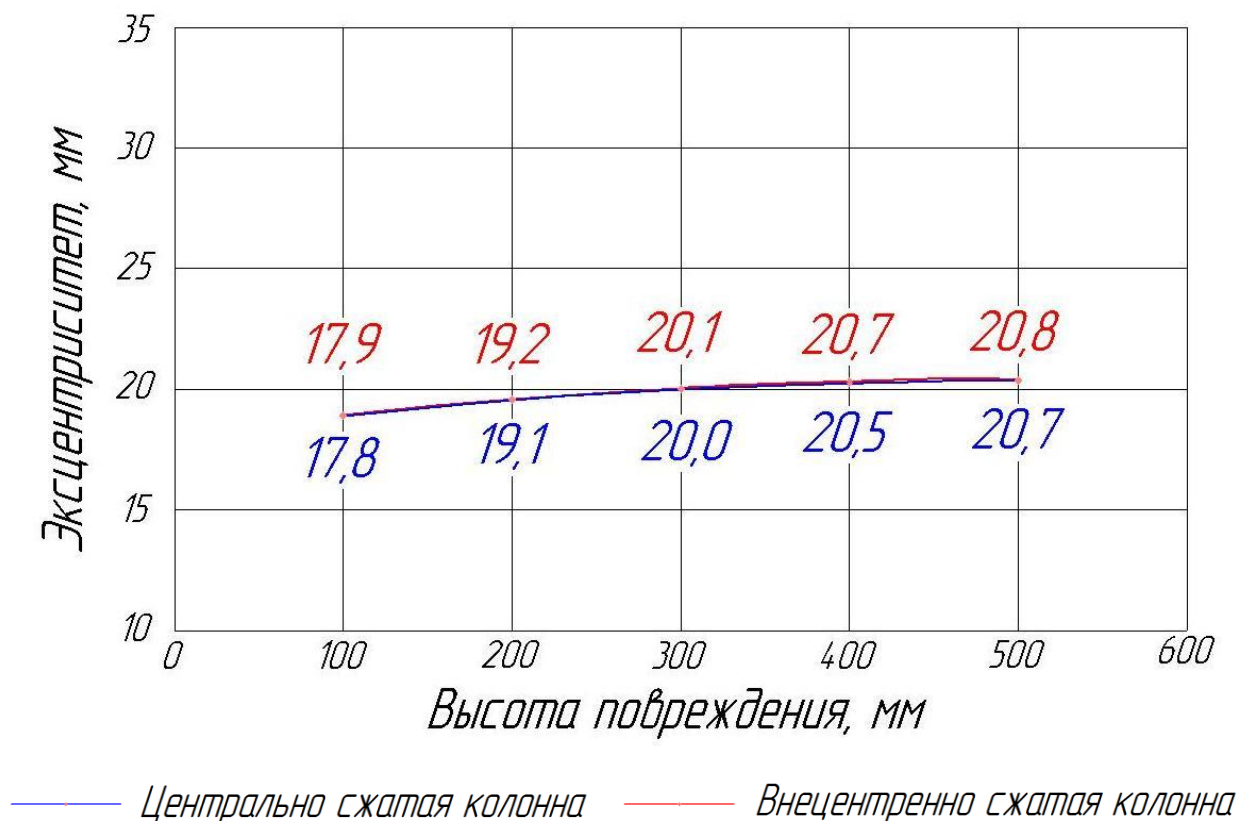
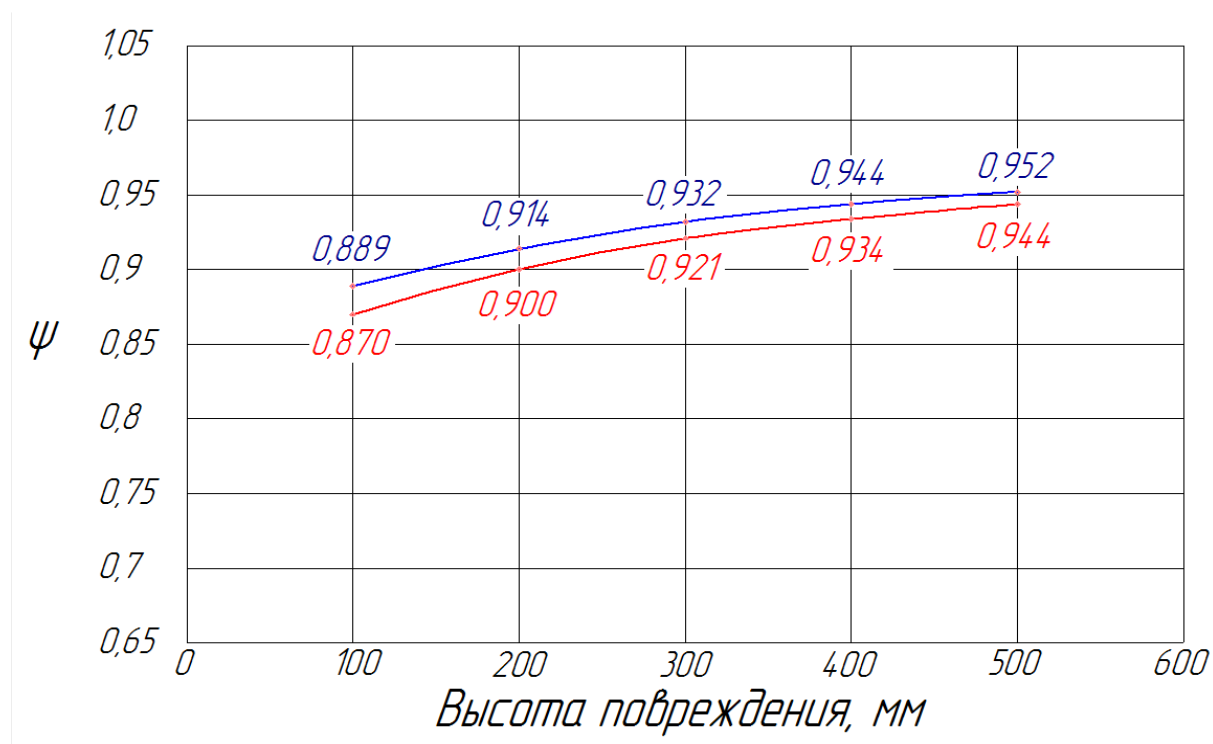


Рисунок 34 - График зависимости эксцентриситета от объема повреждения

На рисунке 34 представлен график зависимости эксцентриситета относительно продольной силы, от объема повреждения, при неизменной глубине и ширине участка промасливания, а также от длины арматуры с нарушением ее сцепления с бетоном. Из графика видно, что внецентренно или центрально сжатая постановка задачи незначительно влияет на возникающий эксцентриситет или его приращение. Также отметим, что с увеличением объема повреждения и длины арматуры с нарушением сцепления, увеличивается и значение эксцентриситета (или приращения эксцентриситета).

Таблица 12 – Коэффициент ψ

Длина ар-ры с промасливанием, мм	ψ при ЦС	ψ при ВС
100	0,889	0,870
200	0,914	0,900
300	0,932	0,921
400	0,944	0,934
500	0,952	0,944



— Центрально сжатая колонна — Внецентренно сжатая колонна

Рисунок 35 - График зависимости коэффициента ψ от величины промасливания

3.4 Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозии арматуры

Таблица 13 – Деформации сжатой колонны

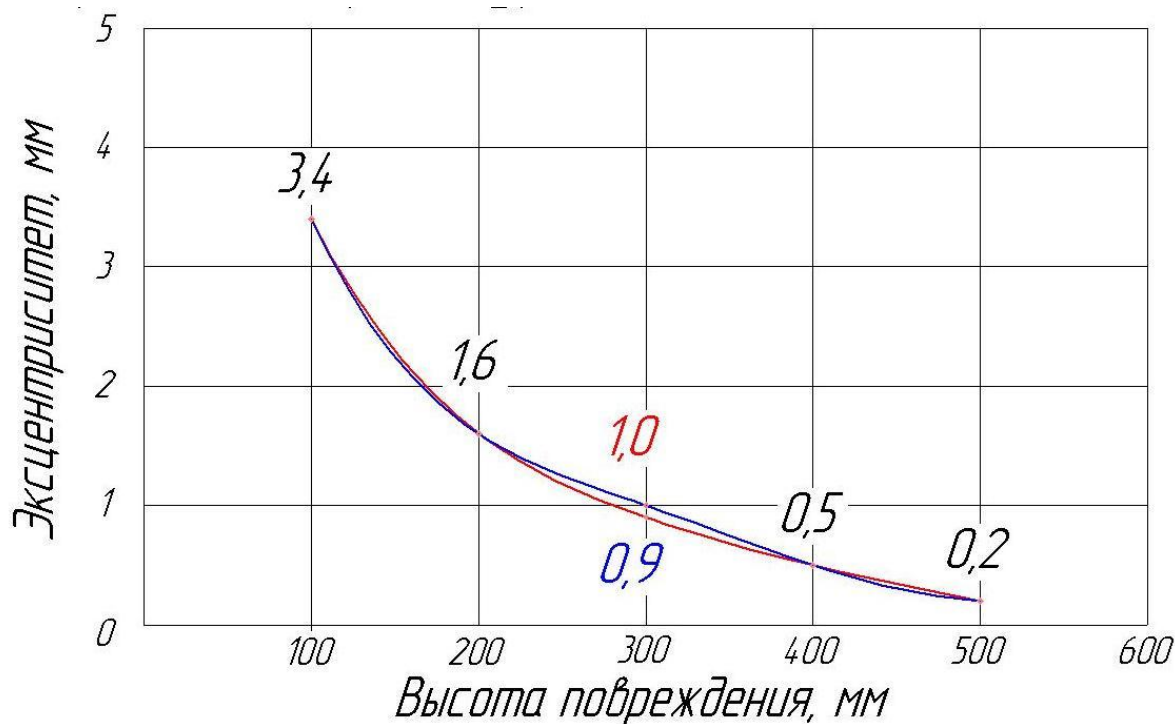
Длина ар-ры с проскальзыванием, мм	С наличием скола				Без повр.	Увеличение средних деформаций , %	
	ε_s		ε_{sm}		ε_{sm}	ЦС	ВС
	ЦС	ВС	ЦС	ВС			
100	5,62E-04	5,62E-04	5,32E-04	5,21E-04	5,28E-04	6,4	6,5
200	5,49E-04	5,50E-04	5,33E-04	5,24E-04		4,0	4,1
300	5,44E-04	5,45E-04	5,33E-04	5,26E-04		3,1	3,2
400	5,41E-04	5,42E-04	5,33E-04	5,27E-04		2,6	2,7
500	5,40E-04	5,40E-04	5,33E-04	5,28E-04		2,2	2,3

При прогрессировании процесса коррозии арматуры под защитным слоем конструкции, происходит незначительное увеличение средних деформаций на 2-6,5%, даже при существенной длине поврежденного участка. Значение и средних, и максимальных деформаций в меньшей степени зависит от работы конструкции (ЦС или ВС), основное влияние оказывает длина участка арматуры с коррозией. При меньшей длине отмечается больший концентрат напряжений и как следствие большие деформации.

Таблица 14 – Эксцентриситет в месте повреждения

Длина ар-ры с проскальзыва нием, мм	e при ЦС, мм	Δe при ВС, мм
100	3,4	3,4
200	1,6	1,6
300	1,0	0,9
400	0,5	0,5

500	0,2	0,2
-----	-----	-----



— Центрально сжатая колонна — Внецентренно сжатая колонна

Рисунок 36 - График зависимости эксцентриситета от объема повреждения

Таблица 15 – Коэффициент ψ

Длина ар-ры с проскальзыванием, мм	ψ при ЦС	ψ при ВС
100	0,948	0,927
200	0,970	0,954
300	0,979	0,966
400	0,984	0,973
500	0,987	0,978

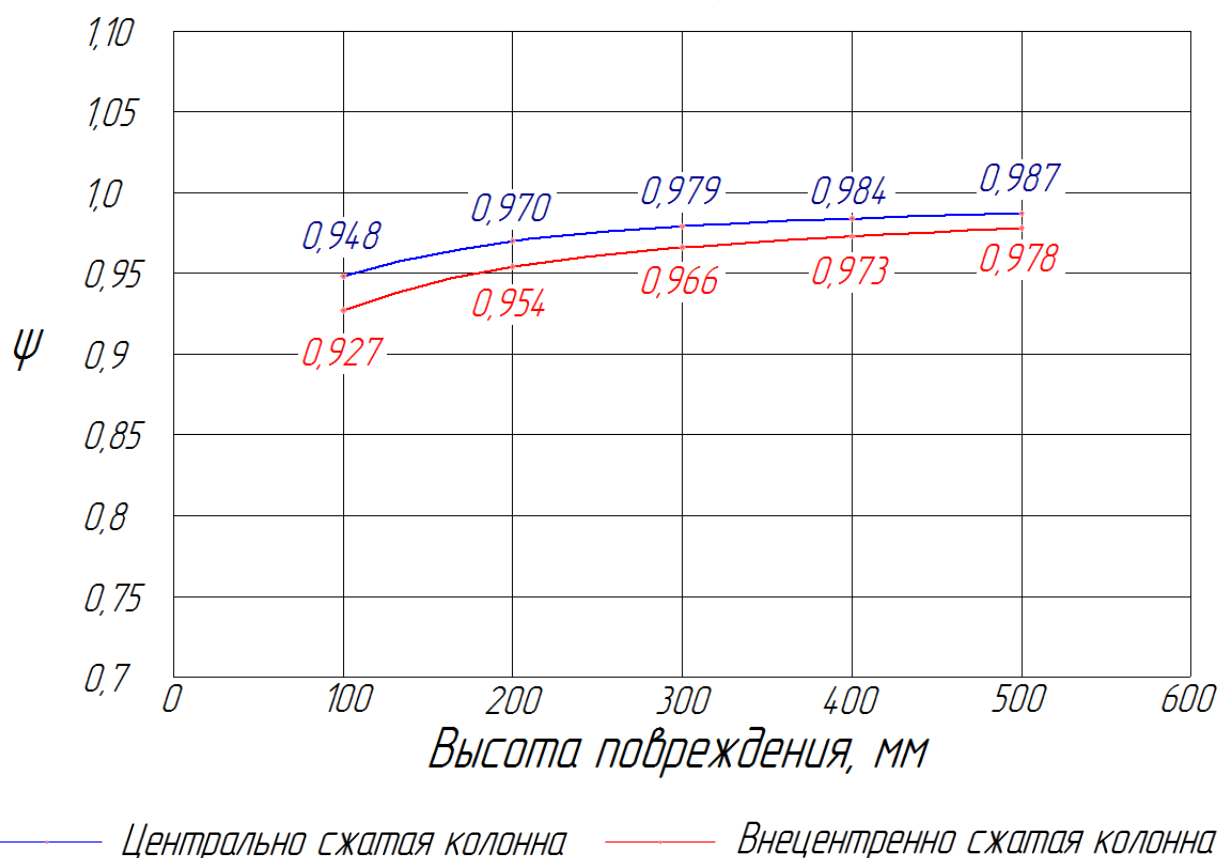


Рисунок 37 - График зависимости коэффициента ψ от величины коррозии арматуры под защитным слоем бетона

3.5 Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния конструкций с разными видами повреждений

Наиболее опасным повреждением из представленных в работе, является повреждение в виде скола бетона с оголением арматуры и ее коррозией. Это связано с тем, что данный вид неисправности конструкции представляет не отдельный фактор, а комплекс нескольких. В результате выражено усиление негативного воздействия на работу рассматриваемой колонны в целом. Проводя сравнительный анализ, было выяснено, что при данном повреждении значения деформации, возникающие в месте повреждения – максимальны и возрастают на 70-113% относительно деформаций в конструкции без повреждений. Так же максимальны и

значения эксцентриситета (приращения эксцентриситета), больше случайного эксцентриситета в 1,8-4 раза.

Характер изменения коэффициента ψ не зависит от начального эксцентриситета приложения продольной силы. Величина коэффициента определяется размером повреждения, с увеличением объема повреждения значение коэффициента асимптотически стремится к единице.

3.5 Выводы по ГЛАВЕ 3

В данной главе предложены критерии оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с повреждениями.

На основании предложенных оценочных параметров составлены численные результаты колонны с различными видами повреждений.

Наиболее существенные изменения деформаций и напряжений отмечены при повреждении в виде скола с коррозией оголенной арматуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации решены задачи и достигнута цель.

Разработана методика расчета железобетонных конструкций с повреждениями, базирующаяся на методе конечных элементов и обеспечивающая единообразие в задании расчетной модели. Методика позволяет производить учет повреждений и их произвольные комбинации.

Предложены оценочные параметры напряженно-деформированного состояния железобетонного элемента с повреждением, включая перераспределение деформаций, изменение эксцентриситета приложения продольной силы, коэффициента ψ аналогичный величине ψ_s . Проведена численная оценка влияния различных повреждений на значения оценочных параметров.

При сколе бетона, коррозии арматуры, сколе с коррозией арматуры и промасливании бетона наибольшее влияние на работоспособность конструкции оказывает скол бетона с коррозией арматуры при его моделировании на железобетонной колонне. Численная оценка показала рост деформаций в арматуре в месте повреждения на величину 113 %, увеличение эксцентриситета продольной силы в 1,4-4 раза, приближение коэффициента ψ к единице.

Разработанная методика расчета железобетонных конструкций рекомендуется при выполнении поверочных расчетов строительных конструкций с повреждениями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 А. С. Алипова, Д. А. Комаров, С. С. Коренченко Оценочные параметры влияния повреждений на работу железобетонных конструкций // Вестник магистратуры. – 2016. – Том 2. –С. 98-101.
- 2 Басов Ю.К. Железобетонные и каменные конструкции [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Басов Ю.К., Зайцева С.В. – М.: Российский университет дружбы народов, 2010. — 100 с.
- 3 Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам. ЦНИИП. – М., 1989г.
- 4 ГОСТ Р 53778 – 2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинг технического состояния» – М.: «Стандартинформ» – 2010, 65 с.
- 5 СП 13–102–2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» – М.: «Госстрой России» – 2004, 33 с.
- 6 Варвак П.М. и др. Метод конечных элементов, Киев «Вища школа», 1981 г. – 238 с.
- 7 Боровков А.И. и др. Компьютерный инжиниринг. Аналитический обзор – учебное пособие – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012–93 с.
- 8 Силантьев А.С. Расчет прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов методом конечных элементов в КЭ-комплексах Ansysи Abaqus// «Промышленной и гражданское строительство #2». – М.: 2012. – С. 49–52.
- 9 Рабочий проект. Поверочный расчет конструкций методом конечных элементов в объемной постановке с учетом физической и геометрической нелинейности. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.pkb-p.ru/files/PZ_abaqus_v1.0.pdf

- 10 ИСПА- конечно-элементный программный комплекс [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ispa-soft.ru/statxi/statxq1.htm> (дата обращения: март 1998 г.).
- 11 Метод конечных элементов для инженеров, конструкторов и технологов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ispa-soft.ru/statxi/statxq5.htm> (дата обращения: май 2003 г.).
- 12 Объемные конечные элементы для расчета тонкостенных конструкций [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ispa-soft.ru/statxi/statxq14.htm> (дата обращения: июнь 2010 г.).
- 13 Бенин А.В., Семёнов А.С., Семёнов С.Г., Мельников Б.Е. Конечно-элементное моделирование процессов разрушения и оценки ресурса элементов автодорожного моста с учётом коррозионных повреждений // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 7. – С. 23–29.
- 14 Тошин Д.С., Подпорин В.А. Расчет ребристых железобетонных плит покрытия с дефектами. // Объединенный научный журнал, 2003, №29. – М.: Изд. «ТЕЗАРИУС». – С. 46-47.
- 15 Тошин Д.С. Предложение к расчету железобетонных конструкций с повреждениями // «Евразийский Союз ученых (ЕСУ) #4». – М.: 2014. – С. 125–127.
- 16 Симбиркин В. Н., Курнавина С. О. Решение задач проектирования строительных конструкций с помощью программного комплекса STARK ES.. – М.: Высшая школа, 2009.
- 17 [Электронный ресурс]. – URL: <http://eurosoft.ru/files/publ/3lirastark.pdf> (дата обращения: январь 2016).
- 18 БасовК.А. AnsysiLMSVirtuallab. Геометрическое моделирование. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 240 с.
- 19 БасовК.А. Ansysдля конструкторов. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 248 с.
- 20 Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Боговис В.Е., Гензерский Ю.В. и др. Лири 9.4. Руководство пользователя. Основы. Учебное пособие. – Киев: «Факт», 2008.

- 21 Городецкий А.С., Узверов И.Д. Компьютерные модели конструкций. – Киев: «Факт», 2009.
- 22 ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.» – М.: «Стандартинформ» – 2010, 56 с.
- 23 Диагностика технического состояния железобетонных конструкций по характеру трещинообразования и других повреждений: методические указания— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013. — 32 с.
- 24 СП 63.13330.2012«Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» – М.: «Стандартинформ» – 2010, 68 с.
- 25 СП 13–102–2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений». – М.: «Стандартинформ» – 2010, 33 с.
- 26 Гроздов В.Т. Дефекты строительных конструкций и их последствия. – СПб., 2007 – 136 с.
- 27 Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций: Учебное пособие. – М.:Издательство АСВ, 2001 – 176 с.
- 28 Пухонто Л. М. «Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений» - М. - 2004
- 29 С.Н. Алексеев «Коррозия и защита арматуры в бетоне» Госстрой СССР Научно-исследовательский институт бетона и железобетона. Издание 2-е. Издательство литературы по строительству. Москва 1968
- 30 Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер – Киев, Изд-во «Сталь», 2002. – 600 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблицы напряженно-деформированного состояния колонны с повреждением в виде скола бетона

Таблицы напряженно-деформированного состояния колонны с повреждениями, где сечение А-А в оголовке колонны, сечение Б-Б в месте повреждения, В-В сечение в базе колонны, как показано на рисунке 20.

- Центрально-сжатой постановке

Таблица А.1 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50x50x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	107.44	101.8	5.37E-04	101.74
	2	107.43	101.7	5.37E-04	101.74
	3	103.64	98.20	5.18E-04	98.15
	4	103.64	98.20	5.18E-04	98.15
Б-Б (1)	1	99.9	94.65	4.99E-04	94.60
	2	99.9	94.65	4.99E-04	94.60
	3	200.42	189.9	1.00E-03	189.79
	4	200.42	189.9	1.00E-03	189.79
В-В	1	107.46	101.8	5.37E-04	101.76
	2	107.41	101.7	5.37E-04	101.71
	3	103.66	98.21	5.18E-04	98.16
	4	103.62	98.18	5.18E-04	98.13

Таблица А.2 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50x100x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
1	2	3	4	5	6
А-А	1	108.11	102.44	5.41E-04	102.38
	2	108.11	102.44	5.41E-04	102.38
	3	102.96	97.56	5.15E-04	97.50
	4	102.97	97.56	5.15E-04	97.51
Б-Б	1	98.40	93.23	4.92E-04	93.18
	2	98.40	93.23	4.92E-04	93.18

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6
	3	190.49	180.49	9.52E-04	180.39
	4	190.49	180.49	9.52E-04	180.39
В-В	1	108.15	102.47	5.41E-04	102.41
	2	108.08	102.40	5.40E-04	102.34
	3	102.98	97.58	5.15E-04	97.52
	4	102.94	97.53	5.15E-04	97.48

Таблица А.3 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50x150x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	108.74	103.04	5.44E-04	102.98
	2	108.74	103.04	5.44E-04	102.98
	3	102.33	96.96	5.12E-04	96.91
	4	102.33	96.96	5.12E-04	96.91
Б-Б (1)	1	97.00	91.91	4.85E-04	91.86
	2	97.00	91.91	4.85E-04	91.86
	3	181.36	171.84	9.07E-04	171.74
	4	181.36	171.84	9.07E-04	171.74
Б-Б (2)	1	97.58	92.45	4.88E-04	92.40
	2	97.58	92.45	4.88E-04	92.40
	3	182.94	173.34	9.15E-04	173.24
	4	182.94	173.34	9.15E-04	173.24
В-В	1	108.79	103.08	5.44E-04	103.02
	2	108.70	102.99	5.43E-04	102.93
	3	102.35	96.98	5.12E-04	96.93
	4	102.30	96.93	5.12E-04	96.88

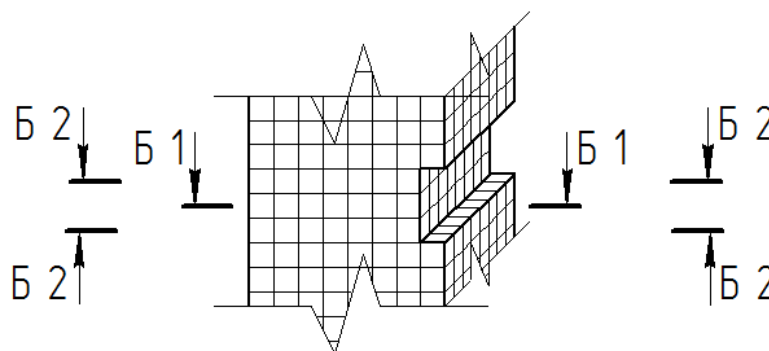


Рисунок А.1 – Сечения для места повреждения

Таблица А.4 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50х200х400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	109.36	103.62	5.47E-04	103.56
	2	109.36	103.62	5.47E-04	103.56
	3	101.72	96.38	5.09E-04	96.32
	4	101.72	96.38	5.09E-04	96.33
Б-Б (1)	1	96.21	91.16	4.81E-04	91.11
	2	96.21	91.16	4.81E-04	91.11
	3	174.31	165.16	8.72E-04	165.07
	4	174.31	165.16	8.72E-04	165.07
Б-Б (2)	1	97.33	92.22	4.87E-04	92.17
	2	97.33	92.22	4.87E-04	92.17
	3	178.84	169.46	8.94E-04	169.36
	4	178.85	169.46	8.94E-04	169.36
В-В	1	109.41	103.67	5.47E-04	103.61
	2	109.31	103.57	5.47E-04	103.51
	3	101.74	96.40	5.09E-04	96.35
	4	101.68	96.34	5.08E-04	96.29

Таблица А.5 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50х250х400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	109.96	104.19	5.50E-04	104.13
	2	109.96	104.19	5.50E-04	104.13
	3	101.11	95.81	5.06E-04	95.75
	4	101.12	95.81	5.06E-04	95.75
Б-Б (1)	1	95.43	90.42	4.77E-04	90.37
	2	95.43	90.42	4.77E-04	90.37
	3	167.45	158.66	8.37E-04	158.57
	4	167.45	158.66	8.37E-04	158.57
Б-Б (2)	1	95.98	90.94	4.80E-04	90.89
	2	95.97	90.94	4.80E-04	90.88
	3	170.42	161.47	8.52E-04	161.38
	4	170.42	161.48	8.52E-04	161.38
Б-Б (3)	1	97.50	92.39	4.88E-04	92.33
	2	97.50	92.38	4.88E-04	92.33
	3	176.50	167.24	8.83E-04	167.14
	4	176.51	167.24	8.83E-04	167.15

Продолжение таблицы А.5

1	2	3	4	5	6
В-В	1	110.02	104.25	5.50E-04	104.19
	2	109.90	104.13	5.50E-04	104.07
	3	101.14	95.83	5.06E-04	95.78
	4	101.07	95.76	5.05E-04	95.71

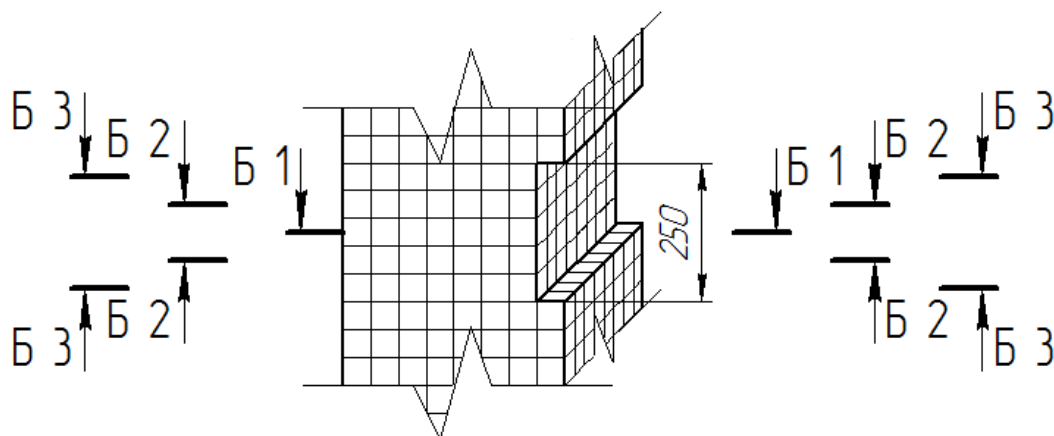


Рисунок А.2 – Сечения для места повреждения

- Внецентренно сжатой постановке

Таблица А.6 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50x50x400 мм.

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	121.79	115.52	6.09E-04	115.55
	2	121.79	115.52	6.09E-04	115.55
	3	89.29	84.51	4.46E-04	84.55
	4	89.29	84.51	4.46E-04	84.55
Б-Б (1)	1	99.78	94.64	4.99E-04	94.67
	2	99.78	94.64	4.99E-04	94.67
	3	200.64	189.91	1.00E-03	190.00
	4	200.65	189.91	1.00E-03	190.00
В-В	1	107.35	101.82	5.37E-04	101.85
	2	107.30	101.78	5.37E-04	101.80
	3	103.76	98.21	5.19E-04	98.26
	4	103.73	98.18	5.19E-04	98.23

Таблица А.7 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50x100x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	122.47	116.16	6.12E-04	116.20
	2	122.47	116.16	6.12E-04	116.20
	3	88.61	83.87	4.43E-04	83.91
	4	88.61	83.87	4.43E-04	83.91
Б-Б (1)	1	98.28	93.22	4.91E-04	93.24
	2	98.28	93.22	4.91E-04	93.24
	3	190.70	180.51	9.54E-04	180.59
	4	190.70	180.51	9.54E-04	180.59
Б-Б (2)	1	98.28	93.22	4.91E-04	93.24
	2	98.28	93.22	4.91E-04	93.24
	3	190.70	180.51	9.54E-04	180.59
	4	190.70	180.51	9.54E-04	180.59
В-В	1	108.04	102.47	5.40E-04	102.50
	2	108.04	102.47	5.40E-04	102.50
	3	103.05	97.54	5.15E-04	97.58
	4	103.05	97.54	5.15E-04	97.58

Таблица А.8 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50x150x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
1	2	3	4	5	6
А-А	1	123.10	116.76	6.16E-04	116.80
	2	123.10	116.76	6.16E-04	116.80
	3	87.98	83.27	4.40E-04	83.31
	4	87.98	83.27	4.40E-04	83.31
Б-Б (1)	1	96.88	91.89	4.84E-04	91.92
	2	96.88	91.89	4.84E-04	91.92
	3	181.56	171.85	9.08E-04	171.93
	4	181.56	171.85	9.08E-04	171.93
Б-Б (2)	1	97.46	92.44	4.87E-04	92.46
	2	97.46	92.44	4.87E-04	92.46
	3	183.15	173.35	9.16E-04	173.43
	4	183.15	173.35	9.16E-04	173.43
Б-Б (3)	1	97.46	92.44	4.87E-04	92.46
	2	97.46	92.44	4.87E-04	92.46
	3	183.15	173.35	9.16E-04	173.43
	4	183.15	173.35	9.16E-04	173.43

Продолжение таблицы А.8

1	2	3	4	5	6
В-В	1	108.68	103.08	5.43E-04	103.11
	2	108.68	103.08	5.43E-04	103.11
	3	102.41	96.93	5.12E-04	96.98
	4	102.41	96.93	5.12E-04	96.98

Таблица А.9 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50x200x400 мм

	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	123.72	117.35	6.19E-04	117.38
	2	123.72	117.35	6.19E-04	117.38
	3	87.36	82.69	4.37E-04	82.73
	4	87.36	82.69	4.37E-04	82.73
Б-Б (1)	1	96.09	91.14	4.80E-04	91.17
	2	96.09	91.14	4.80E-04	91.17
	3	174.51	165.17	8.73E-04	165.25
	4	174.51	165.17	8.73E-04	165.25
Б-Б (2)	1	96.09	91.14	4.80E-04	91.17
	2	96.09	91.14	4.80E-04	91.17
	3	174.51	165.17	8.73E-04	165.25
	4	174.51	165.17	8.73E-04	165.25
Б-Б (3)	1	97.21	92.20	4.86E-04	92.23
	2	97.21	92.20	4.86E-04	92.23
	3	179.04	169.47	8.95E-04	169.55
	4	179.04	169.47	8.95E-04	169.55
Б-Б (4)	1	97.21	92.20	4.86E-04	92.23
	2	97.21	92.20	4.86E-04	92.23
	3	179.04	169.47	8.95E-04	169.55
	4	179.04	169.47	8.95E-04	169.55
В-В	1	109.30	103.67	5.47E-04	103.70
	2	109.30	103.67	5.47E-04	103.70
	3	101.79	96.34	5.09E-04	96.39
	4	101.79	96.34	5.09E-04	96.39

Таблица А.10 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом 50x250x400 мм

	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	124.32	117.92	6.22E-04	117.95
	2	124.32	117.92	6.22E-04	117.95
	3	86.76	82.12	4.34E-04	82.15
	4	86.76	82.12	4.34E-04	82.15
Б-Б (1)	1	95.31	90.40	4.77E-04	90.43
	2	95.31	90.40	4.77E-04	90.43
	3	167.64	158.67	8.38E-04	158.75
	4	167.64	158.67	8.38E-04	158.75
Б-Б (2)	1	95.85	90.92	4.79E-04	90.94
	2	95.85	90.92	4.79E-04	90.94
	3	170.61	161.49	8.53E-04	161.56
	4	170.61	161.49	8.53E-04	161.56
Б-Б (3)	1	95.85	90.92	4.79E-04	90.94
	2	95.85	90.92	4.79E-04	90.94
	3	170.61	161.49	8.53E-04	161.56
	4	170.61	161.49	8.53E-04	161.56
Б-Б (4)	1	97.38	92.37	4.87E-04	92.39
	2	97.38	92.37	4.87E-04	92.39
	3	176.70	167.25	8.84E-04	167.33
	4	176.70	167.25	8.84E-04	167.33
Б-Б (5)	1	97.38	92.37	4.87E-04	92.39
	2	97.38	92.37	4.87E-04	92.39
	3	176.70	167.25	8.84E-04	167.33
	4	176.70	167.25	8.84E-04	167.33
В-В	1	109.92	104.26	5.50E-04	104.29
	2	109.92	104.26	5.50E-04	104.29
	3	101.17	95.76	5.06E-04	95.81
	4	101.17	95.76	5.06E-04	95.81

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблицы напряженно-деформированного состояния колонны с повреждением в виде скола бетона с оголением арматуры и ее коррозией

- Центрально-сжатой постановке

Таблица Б.1 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50х50х400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	107.49	101.84	5.37E-04	101.79
	2	107.48	101.84	5.37E-04	101.78
	3	103.59	98.15	5.18E-04	98.10
	4	103.59	98.16	5.18E-04	98.10
Б-Б (1)	1	130.32	123.48	6.52E-04	123.41
	2	130.32	123.48	6.52E-04	123.41
	3	224.58	212.79	1.12E-03	212.67
	4	224.58	212.79	1.12E-03	212.67
В-В	1	107.51	101.87	5.38E-04	101.81
	2	107.46	101.82	5.37E-04	101.76
	3	103.60	98.17	5.18E-04	98.11
	4	103.57	98.14	5.18E-04	98.08

Таблица Б.2– Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50х100х400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	108.20	102.52	5.41E-04	102.46
	2	108.20	102.52	5.41E-04	102.46
	3	102.88	97.48	5.14E-04	97.42
	4	102.88	97.48	5.14E-04	97.42
Б-Б (1)	1	128.25	121.52	6.41E-04	121.45
	2	128.25	121.52	6.41E-04	121.45
	3	206.56	195.72	1.03E-03	195.60
	4	206.56	195.72	1.03E-03	195.61
Б-Б (2)	1	128.25	121.52	6.41E-04	121.45
	2	128.25	121.52	6.41E-04	121.45
	3	206.56	195.72	1.03E-03	195.61
	4	206.56	195.72	1.03E-03	195.60
В-В	1	108.24	102.55	5.41E-04	102.50
	2	108.16	102.49	5.41E-04	102.43
	3	102.89	97.49	5.14E-04	97.44
	4	102.85	97.45	5.14E-04	97.40

Таблица Б.3 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50x150x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	108.86	103.15	5.44E-04	103.09
	2	108.86	103.15	5.44E-04	103.09
	3	102.21	96.85	5.11E-04	96.79
	4	102.22	96.85	5.11E-04	96.80
Б-Б (1)	1	126.35	119.72	6.32E-04	119.65
	2	126.35	119.72	6.32E-04	119.65
	3	194.58	184.36	9.73E-04	184.26
	4	194.58	184.37	9.73E-04	184.26
Б-Б (2)	1	127.13	120.45	6.36E-04	120.38
	2	127.12	120.45	6.36E-04	120.38
	3	194.58	184.36	9.73E-04	184.26
	4	194.58	184.37	9.73E-04	184.26
Б-Б (3)	1	127.13	120.45	6.36E-04	120.38
	2	127.12	120.45	6.36E-04	120.38
	3	194.58	184.36	9.73E-04	184.26
	4	194.58	184.37	9.73E-04	184.26
В-В	1	108.91	103.19	5.45E-04	103.13
	2	108.82	103.10	5.44E-04	103.05
	3	102.24	96.87	5.11E-04	96.81
	4	102.18	96.82	5.11E-04	96.76

Таблица Б.4 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50x200x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
1	2	3	4	5	6
А-А	1	109.51	103.76	5.48E-04	103.70
	2	109.50	103.76	5.48E-04	103.70
	3	101.57	96.24	5.08E-04	96.19
	4	101.57	96.24	5.08E-04	96.19
Б-Б (1)	1	125.27	118.69	6.26E-04	118.63
	2	125.27	118.69	6.26E-04	118.63
	3	186.63	176.83	9.33E-04	176.73
	4	186.63	176.83	9.33E-04	176.73
Б-Б (2)	1	125.27	118.69	6.26E-04	118.63
	2	125.27	118.69	6.26E-04	118.63

Продолжение таблицы Б.4

1	2	3	4	5	6
	3	186.63	176.83	9.33E-04	176.73
	4	186.63	176.83	9.33E-04	176.73
Б-Б (3)	1	126.78	120.13	6.34E-04	120.06
	2	126.78	120.13	6.34E-04	120.06
	3	186.63	176.83	9.33E-04	176.73
	4	186.63	176.83	9.33E-04	176.73
Б-Б (4)	1	126.78	120.13	6.34E-04	120.06
	2	126.78	120.13	6.34E-04	120.06
	3	186.63	176.83	9.33E-04	176.73
	4	186.63	176.83	9.33E-04	176.73
В-В	1	109.56	103.81	5.48E-04	103.75
	2	109.45	103.70	5.47E-04	103.65
	3	101.60	96.26	5.08E-04	96.21
	4	101.53	96.20	5.08E-04	96.15

Таблица Б.5 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50x250x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
1	2	3	4	5	6
А-А	1	110.14	104.36	5.51E-04	104.30
	2	110.14	104.35	5.51E-04	104.30
	3	100.94	95.64	5.05E-04	95.59
	4	100.94	95.64	5.05E-04	95.59
Б-Б (1)	1	124.22	117.70	6.21E-04	117.63
	2	124.22	117.70	6.21E-04	117.63
	3	181.01	171.51	9.05E-04	171.41
	4	181.01	171.51	9.05E-04	171.41
Б-Б (2)	1	124.95	118.39	6.25E-04	118.33
	2	124.95	118.39	6.25E-04	118.33
	3	181.01	171.51	9.05E-04	171.41
	4	181.01	171.51	9.05E-04	171.41
Б-Б (3)	1	124.95	118.39	6.25E-04	118.33
	2	124.95	118.39	6.25E-04	118.33
	3	181.01	171.51	9.05E-04	171.41
	4	181.01	171.51	9.05E-04	171.41
Б-Б (4)	1	127.02	120.35	6.35E-04	120.28
	2	127.02	120.35	6.35E-04	120.28
	3	181.01	171.51	9.05E-04	171.41
	4	181.01	171.51	9.05E-04	171.41

Продолжение таблиц Б.5

1	2	3	4	5	6
Б-Б (5)	1	127.02	120.35	6.35E-04	120.28
	2	127.02	120.35	6.35E-04	120.28
	3	181.01	171.51	9.05E-04	171.41
	4	181.01	171.51	9.05E-04	171.41
В-В	1	110.20	104.41	5.51E-04	104.35
	2	110.07	104.29	5.50E-04	104.23
	3	100.97	95.67	5.05E-04	95.62
	4	100.89	95.60	5.04E-04	95.54

- Внецентренно-сжатой постановке

Таблица Б.6 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50x50x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	121.84	115.45	6.09E-04	115.38
	2	121.84	115.45	6.09E-04	115.38
	3	89.24	84.55	4.46E-04	84.50
	4	89.24	84.55	4.46E-04	84.50
Б-Б (1)	1	130.16	123.33	6.51E-04	123.26
	2	130.16	123.33	6.51E-04	123.26
	3	224.83	213.03	1.12E-03	212.91
	4	224.83	213.03	1.12E-03	212.91
В-В	1	107.40	101.76	5.37E-04	101.71
	2	107.35	101.72	5.37E-04	101.66
	3	103.71	98.27	5.19E-04	98.21
	4	103.68	98.24	5.18E-04	98.18

Таблица Б.7 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50x100x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
1	2	3	4	5	6
А-А	1	122.56	116.13	6.13E-04	116.06
	2	122.56	116.12	6.13E-04	116.06
	3	88.52	83.87	4.43E-04	83.82
	4	88.52	83.87	4.43E-04	83.83

Продолжение таблицы Б.7

1	2	3	4	5	6
Б-Б (1)	1	128.10	121.38	6.40E-04	121.31
	2	128.10	121.37	6.40E-04	121.30
	3	206.79	195.93	1.03E-03	195.82
	4	206.79	195.93	1.03E-03	195.82
Б-Б (2)	1	128.10	121.38	6.40E-04	121.31
	2	128.10	121.37	6.40E-04	121.30
	3	206.79	195.93	1.03E-03	195.82
	4	206.79	195.93	1.03E-03	195.82
В-В	1	108.13	102.45	5.41E-04	102.39
	2	108.06	102.39	5.40E-04	102.33
	3	103.00	97.59	5.15E-04	97.54
	4	102.96	97.55	5.15E-04	97.50

Таблица Б.8 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50x150x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	123.22	116.75	6.16E-04	116.69
	2	123.22	116.75	6.16E-04	116.69
	3	87.86	83.24	4.39E-04	83.20
	4	87.86	83.25	4.39E-04	83.20
Б-Б (1)	1	126.19	119.57	6.31E-04	119.50
	2	126.19	119.57	6.31E-04	119.50
	3	194.79	184.57	9.74E-04	184.46
	4	194.80	184.57	9.74E-04	184.47
Б-Б (2)	1	126.97	120.30	6.35E-04	120.24
	2	126.97	120.30	6.35E-04	120.23
	3	194.79	184.57	9.74E-04	184.46
	4	194.80	184.57	9.74E-04	184.47
Б-Б (3)	1	126.97	120.30	6.35E-04	120.24
	2	126.97	120.30	6.35E-04	120.23
	3	194.79	184.57	9.74E-04	184.46
	4	194.80	184.57	9.74E-04	184.47
В-В	1	108.80	103.09	5.44E-04	103.03
	2	108.71	103.00	5.44E-04	102.95
	3	102.34	96.97	5.12E-04	96.91
	4	102.29	96.92	5.11E-04	96.86

Таблица Б.9 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50х200х400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	123.87	117.36	6.19E-04	117.30
	2	123.86	117.36	6.19E-04	117.30
	3	87.21	82.63	4.36E-04	82.59
	4	87.21	82.64	4.36E-04	82.59
Б-Б (1)	1	125.11	118.54	6.26E-04	118.48
	2	125.11	118.54	6.26E-04	118.47
	3	186.84	177.03	9.34E-04	176.93
	4	186.84	177.03	9.34E-04	176.93
Б-Б (2)	1	125.11	118.54	6.26E-04	118.48
	2	125.11	118.54	6.26E-04	118.47
	3	186.84	177.03	9.34E-04	176.93
	4	186.84	177.03	9.34E-04	176.93
Б-Б (3)	1	126.63	119.98	6.33E-04	119.91
	2	126.62	119.98	6.33E-04	119.91
	3	186.84	177.03	9.34E-04	176.93
	4	186.84	177.03	9.34E-04	176.93
Б-Б (4)	1	126.63	119.98	6.33E-04	119.91
	2	126.62	119.98	6.33E-04	119.91
	3	186.84	177.03	9.34E-04	176.93
	4	186.84	177.03	9.34E-04	176.93
В-В	1	109.45	103.71	5.47E-04	103.65
	2	109.35	103.61	5.47E-04	103.55
	3	101.70	96.36	5.09E-04	96.31
	4	101.64	96.30	5.08E-04	96.25

Таблица Б.10 – Напряженно-деформированное состояние колонны со сколом и коррозией арматуры 50x250x400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	124.50	117.96	6.22E-04	117.90
	2	124.50	117.96	6.22E-04	117.89
	3	86.58	82.04	4.33E-04	81.99
	4	86.58	82.04	4.33E-04	81.99
Б-Б (1)	1	124.06	117.55	6.20E-04	117.48
	2	124.06	117.54	6.20E-04	117.48
	3	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
	4	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
Б-Б (2)	1	124.79	118.24	6.24E-04	118.18
	2	124.79	118.24	6.24E-04	118.17
	3	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
	4	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
Б-Б (3)	1	124.79	118.24	6.24E-04	118.18
	2	124.79	118.24	6.24E-04	118.17
	3	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
	4	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
Б-Б (4)	1	126.86	120.20	6.34E-04	120.13
	2	126.86	120.20	6.34E-04	120.13
	3	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
	4	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
Б-Б (5)	1	126.86	120.20	6.34E-04	120.13
	2	126.86	120.20	6.34E-04	120.13
	3	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
	4	181.21	171.70	9.06E-04	171.60
В-В	1	110.09	104.31	5.50E-04	104.25
	2	109.97	104.20	5.50E-04	104.14
	3	101.07	95.77	5.05E-04	95.71
	4	101.00	95.70	5.05E-04	95.64

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблицы напряженно-деформированного состояния колонны с повреждением в виде промасливания участка конструкции

- Центрально-сжатой постановке

Таблица В.1 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 100 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	106.13	100.56	5.31E-04	100.51
	2	106.13	100.56	5.31E-04	100.51
	3	104.94	99.44	5.25E-04	99.38
	4	104.94	99.44	5.25E-04	99.38
Б-Б	1	103.90	98.44	5.19E-04	98.39
	2	103.90	98.44	5.19E-04	98.39
	3	128.86	122.10	6.44E-04	122.03
	4	128.86	122.10	6.44E-04	122.03
В-В	1	106.14	100.57	5.31E-04	100.51
	2	106.13	100.55	5.31E-04	100.50
	3	104.95	99.44	5.25E-04	99.38
	4	104.94	99.43	5.25E-04	99.37

Таблица В.2 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 200 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	106.65	101.05	5.33E-04	100.99
	2	106.65	101.05	5.33E-04	100.99
	3	104.43	98.95	5.22E-04	98.89
	4	104.43	98.95	5.22E-04	98.89
Б-Б	1	102.74	97.35	5.14E-04	97.29
	2	102.74	97.35	5.14E-04	97.29
	3	128.70	121.94	6.43E-04	121.87
	4	128.70	121.94	6.43E-04	121.87
В-В	1	106.66	101.06	5.33E-04	101.00
	2	106.63	101.03	5.33E-04	100.98
	3	104.44	98.96	5.22E-04	98.90
	4	104.42	98.94	5.22E-04	98.88

Таблица В.3 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 300 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	107.14	101.51	5.36E-04	101.46
	2	107.14	101.51	5.36E-04	101.46
	3	103.94	98.48	5.20E-04	98.43
	4	103.94	98.48	5.20E-04	98.43
Б-Б	1	102.00	96.65	5.10E-04	96.59
	2	102.00	96.65	5.10E-04	96.59
	3	127.70	121.00	6.39E-04	120.93
	4	127.70	121.00	6.39E-04	120.93
В-В	1	107.16	101.53	5.36E-04	101.48
	2	107.11	101.49	5.36E-04	101.43
	3	103.95	98.49	5.20E-04	98.44
	4	103.92	98.47	5.20E-04	98.41

Таблица В.4 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	107.62	101.97	5.38E-04	101.91
	2	107.62	101.97	5.38E-04	101.91
	3	103.46	98.03	5.17E-04	97.97
	4	103.46	98.03	5.17E-04	97.97
Б-Б	1	101.65	96.32	5.08E-04	96.26
	2	101.65	96.32	5.08E-04	96.26
	3	126.82	120.16	6.34E-04	120.09
	4	126.82	120.16	6.34E-04	120.09
В-В	1	107.65	102.00	5.38E-04	101.94
	2	107.59	101.94	5.38E-04	101.89
	3	103.47	98.04	5.17E-04	97.98
	4	103.43	98.00	5.17E-04	97.95

Таблица В.5 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 500 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	108.10	102.43	5.41E-04	102.37
	2	108.10	102.43	5.40E-04	102.37
	3	102.98	97.57	5.15E-04	97.52
	4	102.98	97.57	5.15E-04	97.52
Б-Б	1	101.63	96.30	5.08E-04	96.24
	2	101.63	96.30	5.08E-04	96.24
	3	126.04	119.43	6.30E-04	119.36
	4	126.05	119.43	6.30E-04	119.36
В-В	1	108.13	102.46	5.41E-04	102.40
	2	108.06	102.39	5.40E-04	102.33
	3	102.99	97.59	5.15E-04	97.53
	4	102.95	97.55	5.15E-04	97.49

- Внецентренно сжатой постановке

Таблица В.6 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 100 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	120.49	114.16	6.02E-04	114.10
	2	120.49	114.16	6.02E-04	114.10
	3	90.59	85.83	4.53E-04	85.78
	4	90.59	85.83	4.53E-04	85.78
Б-Б	1	103.79	98.34	5.19E-04	98.28
	2	103.79	98.34	5.19E-04	98.28
	3	129.00	122.23	6.45E-04	122.16
	4	129.00	122.23	6.45E-04	122.16
В-В	1	106.03	100.47	5.30E-04	100.41
	2	106.02	100.45	5.30E-04	100.40
	3	105.06	99.54	5.25E-04	99.49
	4	105.05	99.53	5.25E-04	99.48

Таблица В.7 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 200 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	121.00	114.65	6.05E-04	114.58
	2	121.00	114.65	6.05E-04	114.58
	3	90.08	85.35	4.50E-04	85.30
	4	90.08	85.35	4.50E-04	85.30
Б-Б	1	102.63	97.24	5.13E-04	97.19
	2	102.63	97.24	5.13E-04	97.19
	3	128.83	122.07	6.44E-04	122.00
	4	128.84	122.07	6.44E-04	122.00
В-В	1	106.55	100.96	5.33E-04	100.90
	2	106.52	100.93	5.33E-04	100.87
	3	104.55	99.06	5.23E-04	99.00
	4	104.53	99.04	5.23E-04	98.99

Таблица В.8 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 300 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	121.49	115.12	6.07E-04	115.05
	2	121.49	115.12	6.07E-04	115.05
	3	89.58	84.88	4.48E-04	84.83
	4	89.58	84.88	4.48E-04	84.83
Б-Б	1	101.89	96.54	5.09E-04	96.48
	2	101.89	96.54	5.09E-04	96.48
	3	127.84	121.13	6.39E-04	121.06
	4	127.84	121.13	6.39E-04	121.06
В-В	1	107.05	101.43	5.35E-04	101.37
	2	107.01	101.39	5.35E-04	101.33
	3	104.06	98.59	5.20E-04	98.54
	4	104.03	98.57	5.20E-04	98.52

Таблица В.9 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	121.98	115.58	6.10E-04	115.51
	2	121.98	115.58	6.10E-04	115.51
	3	89.10	84.42	4.45E-04	84.37
	4	89.10	84.42	4.45E-04	84.37
Б-Б	1	101.54	96.21	5.08E-04	96.15
	2	101.54	96.21	5.08E-04	96.15
	3	126.95	120.29	6.35E-04	120.22
	4	126.95	120.29	6.35E-04	120.22
В-В	1	107.54	101.90	5.38E-04	101.84
	2	107.49	101.84	5.37E-04	101.79
	3	103.58	98.14	5.18E-04	98.08
	4	103.54	98.11	5.18E-04	98.05

Таблица В.10 – Напряженно-деформированное состояние колонны с промасливанием и нарушением сцепления арматуры с бетоном длиной 500 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	122.46	116.03	6.12E-04	115.96
	2	122.46	116.03	6.12E-04	115.96
	3	88.62	83.97	4.43E-04	83.92
	4	88.62	83.97	4.43E-04	83.92
Б-Б	1	101.52	96.19	5.08E-04	96.13
	2	101.52	96.19	5.08E-04	96.13
	3	126.18	119.56	6.31E-04	119.49
	4	126.18	119.56	6.31E-04	119.49
В-В	1	108.03	102.36	5.40E-04	102.30
	2	107.96	102.29	5.40E-04	102.23
	3	103.10	97.69	5.15E-04	97.63
	4	103.06	97.65	5.15E-04	97.59

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблицы напряженно-деформированного состояния колонны с повреждением в виде коррозии арматуры под защитным слоем бетона

- Центрально-сжатой постановке

Таблица Г.1 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 100 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	105.56	100.02	5.28E-04	99.96
	2	105.56	100.02	5.28E-04	99.96
	3	105.51	99.98	5.28E-04	99.92
	4	105.51	99.98	5.28E-04	99.92
Б-Б	1	105.49	99.96	5.27E-04	99.90
	2	105.49	99.96	5.27E-04	99.90
	3	112.34	106.45	5.62E-04	106.39
	4	112.34	106.45	5.62E-04	106.39
В-В	1	105.56	100.02	5.28E-04	99.97
	2	105.56	100.02	5.28E-04	99.96
	3	105.51	99.98	5.28E-04	99.92
	4	105.51	99.98	5.28E-04	99.92

Таблица Г.2 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 200 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	105.59	100.04	5.28E-04	99.99
	2	105.59	100.04	5.28E-04	99.99
	3	105.49	99.95	5.27E-04	99.90
	4	105.49	99.95	5.27E-04	99.90
Б-Б	1	105.46	99.92	5.27E-04	99.87
	2	105.46	99.92	5.27E-04	99.87
	3	109.85	104.08	5.49E-04	104.03
	4	109.85	104.08	5.49E-04	104.03
В-В	1	105.59	100.04	5.28E-04	99.99
	2	105.59	100.04	5.28E-04	99.99
	3	105.49	99.95	5.27E-04	99.90
	4	105.49	99.95	5.27E-04	99.90

Таблица Г.3 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 300 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	105.61	100.07	5.28E-04	100.01
	2	105.61	100.07	5.28E-04	100.01
	3	105.47	99.93	5.27E-04	99.87
	4	105.47	99.93	5.27E-04	99.88
Б-Б	1	105.43	99.90	5.27E-04	99.84
	2	105.43	99.90	5.27E-04	99.84
	3	108.84	103.13	5.44E-04	103.07
	4	108.84	103.13	5.44E-04	103.07
В-В	1	105.61	100.07	5.28E-04	100.01
	2	105.61	100.07	5.28E-04	100.01
	3	105.47	99.93	5.27E-04	99.88
	4	105.47	99.93	5.27E-04	99.87

Таблица Г.4 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	105.63	100.09	5.28E-04	100.03
	2	105.63	100.09	5.28E-04	100.03
	3	105.44	99.91	5.27E-04	99.85
	4	105.44	99.91	5.27E-04	99.85
Б-Б	1	105.42	99.89	5.27E-04	99.83
	2	105.42	99.89	5.27E-04	99.83
	3	108.29	102.61	5.41E-04	102.55
	4	108.29	102.61	5.41E-04	102.55
В-В	1	105.63	100.09	5.28E-04	100.03
	2	105.63	100.09	5.28E-04	100.03
	3	105.45	99.91	5.27E-04	99.85
	4	105.44	99.91	5.27E-04	99.85

Таблица Г.5 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 500 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	105.66	100.11	5.28E-04	100.05
	2	105.66	100.11	5.28E-04	100.05
	3	105.42	99.89	5.27E-04	99.83
	4	105.42	99.89	5.27E-04	99.83
Б-Б	1	105.43	99.89	5.27E-04	99.83
	2	105.42	99.89	5.27E-04	99.83
	3	107.94	102.27	5.40E-04	102.21
	4	107.94	102.27	5.40E-04	102.21
В-В	1	105.66	100.11	5.28E-04	100.05
	2	105.65	100.11	5.28E-04	100.05
	3	105.42	99.89	5.27E-04	99.83
	4	105.42	99.89	5.27E-04	99.83

- Внецентренно сжатой постановке

Таблица Г.6 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 100 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	119.92	113.62	6.00E-04	113.56
	2	119.92	113.62	6.00E-04	113.56
	3	91.16	86.37	4.56E-04	86.33
	4	91.16	86.37	4.56E-04	86.33
Б-Б	1	105.38	99.85	5.27E-04	99.80
	2	105.38	99.85	5.27E-04	99.80
	3	112.46	106.56	5.62E-04	106.50
	4	112.46	106.56	5.62E-04	106.50
В-В	1	105.45	99.92	5.27E-04	99.86
	2	105.45	99.92	5.27E-04	99.86
	3	105.62	100.08	5.28E-04	100.02
	4	105.62	100.08	5.28E-04	100.02

Таблица Г.7 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 200 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	119.94	113.64	6.00E-04	113.58
	2	119.94	113.64	6.00E-04	113.58
	3	91.14	86.35	4.56E-04	86.30
	4	91.14	86.35	4.56E-04	86.30
Б-Б	1	105.35	99.82	5.27E-04	99.76
	2	105.35	99.82	5.27E-04	99.76
	3	109.96	104.19	5.50E-04	104.13
	4	109.96	104.19	5.50E-04	104.13
В-В	1	105.48	99.94	5.27E-04	99.88
	2	105.48	99.94	5.27E-04	99.88
	3	105.60	100.06	5.28E-04	100.00
	4	105.60	100.06	5.28E-04	100.00

Таблица Г.8 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 300 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	119.96	113.67	6.00E-04	113.60
	2	119.96	113.67	6.00E-04	113.60
	3	91.11	86.33	4.56E-04	86.28
	4	91.11	86.33	4.56E-04	86.28
Б-Б	1	105.32	99.80	5.27E-04	99.74
	2	105.32	99.80	5.27E-04	99.74
	3	108.96	103.24	5.45E-04	103.18
	4	108.96	103.24	5.45E-04	103.18
В-В	1	105.50	99.96	5.27E-04	99.91
	2	105.50	99.96	5.28E-04	99.91
	3	105.58	100.04	5.28E-04	99.98
	4	105.58	100.04	5.28E-04	99.98

Таблица Г.9 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 400 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	119.99	113.69	6.00E-04	113.62
	2	119.99	113.69	6.00E-04	113.62
	3	91.09	86.31	4.55E-04	86.26
	4	91.09	86.31	4.55E-04	86.26
Б-Б	1	105.31	99.79	5.27E-04	99.73
	2	105.31	99.79	5.27E-04	99.73
	3	108.40	102.71	5.42E-04	102.65
	4	108.40	102.71	5.42E-04	102.65
В-В	1	105.52	99.98	5.28E-04	99.93
	2	105.52	99.98	5.28E-04	99.93
	3	105.55	100.01	5.28E-04	99.96
	4	105.55	100.01	5.28E-04	99.96

Таблица Г.10 – Напряженно-деформированное состояние колонны с коррозией арматуры под защитным слоем бетона длиной 500 мм

Сечение	№ арм. стерж.	Напряжение, МПа	%	Деформации	%
А-А	1	120.01	113.71	6.00E-04	113.65
	2	120.01	113.71	6.00E-04	113.65
	3	91.07	86.29	4.55E-04	86.24
	4	91.07	86.29	4.55E-04	86.24
Б-Б	1	105.32	99.79	5.27E-04	99.73
	2	105.32	99.79	5.27E-04	99.73
	3	108.05	102.38	5.40E-04	102.32
	4	108.05	102.38	5.40E-04	102.32
В-В	1	105.55	100.01	5.28E-04	99.95
	2	105.55	100.01	5.28E-04	99.95
	3	105.53	99.99	5.28E-04	99.93
	4	105.53	99.99	5.28E-04	99.93

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Величина эксцентриситета или его приращения в колонне с повреждением в виде скола с оголением арматуры

- Центрально сжатой постановке

Таблица Д.1 – Эксцентриситет в колонне со сколом

Геометрические р-ры скола, мм	Величина эксцентриситета в сечении		
	А-А	Б-Б	В-В
50x50x400	0,4	39,6	0,4
50x100x400	0,4	32,3	0,4
50x150x400	0,4	26,9	0,5
50x200x400	0,5	24,1	0,5
50x250x400	0,5	22,7	0,5

- Внецентренно сжатой постановке

Таблица Д.2 – Приращение эксцентриситет в колонне со сколом

Геометрические р-ры скола, мм	Величина эксцентриситета в сечении		
	А-А	Б-Б	В-В
50x50x400	1,1	39,7	0,4
50x100x400	1,1	32,3	0,4
50x150x400	1,2	26,9	0,5
50x200x400	1,2	24,2	0,5
50x250x400	1,2	22,7	0,5

Величина эксцентриситета или его приращения в колонне с повреждением в виде скола с оголением арматуры и ее коррозией

- Центрально сжатой постановке

Таблица Д.3 – Эксцентриситет в колонне со сколом и коррозией оголенной арматуры

Геометрические р-ры скола, мм	Величина эксцентриситета в сечении		
	А-А	Б-Б	В-В
50x50x400	0,4	52,7	0,4
50x100x400	0,4	40,3	0,4
50x150x400	0,5	32,2	0,5
50x200x400	0,5	26,9	0,5
50x250x400	0,6	23,5	0,5

- Внецентренно сжатой постановке

Таблица Д.4 – Приращение эксцентриситета в колонне со сколом и коррозией оголенной арматуры

Геометрические р-ры скола, мм	Величина эксцентриситета в сечении		
	А-А	Б-Б	В-В
50x50x400	1,1	52,8	0,4
50x100x400	1,2	40,4	0,4
50x150x400	1,2	32,2	0,5
50x200x400	1,2	27,0	0,5
50x250x400	1,2	23,5	0,5

Величина эксцентриситета или его приращения в колонне с повреждением в виде промасливания

- Центрально сжатой постановке

Таблица Д.5 – Эксцентриситет в колонне с повреждением в виде промасливания

Длина арматуры с нарушением сцепления, мм	Величина эксцентриситета в сечении		
	А-А	Б-Б	В-В
100	0,4	17,8	0,4
200	0,4	19,1	0,4
300	0,4	20,0	0,4
400	0,4	20,6	0,4
500	0,4	20,7	0,4

- Внецентренно сжатой постановке

Таблица Д.6 – Приращение эксцентриситета в колонне с повреждением в виде промасливания

Длина арматуры с нарушением сцепления, мм	Величина эксцентриситета в сечении		
	А-А	Б-Б	В-В
100	1,0	17,9	0,3
200	1,0	19,2	0,4
300	1,1	20,1	0,4
400	1,1	20,7	0,4
500	1,1	20,8	0,4

Величина эксцентриситета или его приращения в колонне с повреждением в виде коррозии арматуры под защитным слоем бетона

- Центрально сжатой постановке

Таблица Д.7 - Приращение эксцентриситета в колонне с повреждением в виде коррозии арматуры под защитным слоем бетона

Длина арматуры с нарушением сцепления, мм	Величина эксцентриситета в сечении		
	А-А	Б-Б	В-В
100	0,3	3,4	0,3
200	0,3	1,6	0,3
300	0,3	0,9	0,3
400	0,4	0,4	0,3
500	0,4	0,2	0,3

Таблица Д.8 - Приращение эксцентриситета в колонне с повреждением в виде коррозии арматуры под защитным слоем бетона

Длина арматуры с нарушением сцепления, мм	Величина эксцентриситета в сечении		
	А-А	Б-Б	В-В
100	1,0	3,4	0,3
200	1,0	1,6	0,3
300	1,0	0,8	0,3
400	1,0	0,5	0,3
500	1,0	0,2	0,3