

**Кыргызский государственный университет
строительства, транспорта и архитектуры**

Диссертационный совет Д-05.01.127

На правах рукописи

Ясер Мухамед Али

**Оценка несущей способности
усиливаемых железобетонных колонн**

Специальность 05.23.01 – Строительные конструкции,
здания и сооружения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек 2001

Работа выполнена на кафедре «Строительные конструкции»
Ташкентского архитектурно-строительного института

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
П.Т. Мирзаев

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Ж.Т. Айменов

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
А.А. Беспаяев (г. Алматы)
кандидат технических наук,
доцент
К. Темикеев (г. Бишкек)

Ведущая организация: **Кыргызский научно-исследовательский
и проектный институт строительства**

Защита состоится «19» сентября 2001 г. в «14» часов на заседании диссертационного Совета Д05.01.127 Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры, по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34 б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.

Автореферат разослан «11» июля 2001 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета, к.т.н., доцент

Т.И. Белинская

Актуальность темы. Реконструкция и техническое перевооружение промышленных предприятий (и не только промышленных) одна из проблем, оказывающих решающее влияние на темпы перестройки хозяйственного механизма и повышение эффективности использования производственного потенциала республики за счет ускорения внедрения достижений науки и техники. За последнее десятилетие практически для всех стран мира характерно увеличение объемов работ, связанных с реконструкцией, необходимостью восстановления и поддержания эксплуатационной пригодности конструкций зданий и сооружений.

Центральная Азия относится к региону с сухим и жарким климатом, высокой сейсмической активностью, просадочностью грунтов, значительным пылепереносам, нередко рассредоточенностью населенных пунктов и промышленных центров. Все это существенно влияет на долговечность зданий и сооружений, и естественно, это специфические условия региона должны быть учтены при их реконструкции.

Сложность и специфичность работ, связанных с реконструкцией, определяется тем, что помимо всех компонентов, свойственных новому строительству, они требуют проведения ряда дополнительных мероприятий. Основными являются оценка несущей способностью существующих конструкций с учетом наличия дефектов и повреждений, а также проектирование усиления таких конструкций. Аналогичные работы свойственны также восстановлению конструкций, пострадавших от землетрясений, просадочностью грунтов, пожаров и других неэксплуатационных воздействий.

Несмотря на то, что разработкам и методам усиления железобетонных конструкций посвящено достаточное число работ, целенаправленных исследований в области усиления не велось. Все основные приемы усиления рождались практикой проектировщиков. Отсутствие целенаправленных исследований и соответствующей нормативной базы в этой области затрудняет проектирование усиления и приводит к существенному перерасходу материалов, а в ряде случаев – к появлению малонадежных решений.

Анализ последствий сильных землетрясений происшедших на территории стран разных континентов за последние 35 лет показывает, что наиболее поврежденными элементами каркасных зданий из железобетона становятся колонны, которые при сейсмических воздействиях подвергаются совместному действию как продольных сжимающих и поперечных сил, так и изгибающих моментов. Вследствие этого колонны каркаса становятся неработоспособными, а в ряде случаев разрушаются.

Работа выполнена на кафедре «Строительные конструкции»
Ташкентского архитектурно-строительного института

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
П.Т. Мирзаев

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Ж.Т. Айменов

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
А.А. Беспаяев (г. Алматы)
кандидат технических наук,
доцент
К. Темикеев (г.Бишкек)

Ведущая организация: **Кыргызский научно-исследовательский
и проектный институт строительства**

Защита состоится «29» сентября 2001 г. в «14» часов на заседании диссертационного Совета Д05.01.127 Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры, по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34 б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.

Автореферат разослан «11» июля 2001 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета, к.т.н., доцент

Т.И. Белинская

Актуальность темы. Реконструкция и техническое перевооружение промышленных предприятий (и не только промышленных) одна из проблем, оказывающих решающее влияние на темпы перестройки хозяйственного механизма и повышение эффективности использования производственного потенциала республики за счет ускорения внедрения достижений науки и техники. За последнее десятилетие практически для всех стран мира характерно увеличение объемов работ, связанных с реконструкцией, необходимостью восстановления и поддержания эксплуатационной пригодности конструкций зданий и сооружений.

Центральная Азия относится к региону с сухим и жарким климатом, высокой сейсмической активностью, просадочностью грунтов, значительным пылепереносам, нередко рассредоточенностью населенных пунктов и промышленных центров. Все это существенно влияет на долговечность зданий и сооружений, и естественно, это специфические условия региона должны быть учтены при их реконструкции.

Сложность и специфичность работ, связанных с реконструкцией, определяется тем, что помимо всех компонентов, свойственных новому строительству, они требуют проведения ряда дополнительных мероприятий. Основными являются оценка несущей способностью существующих конструкций с учетом наличия дефектов и повреждений, а также проектирование усиления таких конструкций. Аналогичные работы свойственны также восстановлению конструкций, пострадавших от землетрясений, просадочностью грунтов, пожаров и других неэксплуатационных воздействий.

Несмотря на то, что разработкам и методам усиления железобетонных конструкций посвящено достаточное число работ, целенаправленных исследований в области усиления не велось. Все основные приемы усиления рождались практикой проектировщиков. Отсутствие целенаправленных исследований и соответствующей нормативной базы в этой области затрудняет проектирование усиления и приводит к существенному перерасходу материалов, а в ряде случаев – к появлению малонадежных решений.

Анализ последствий сильных землетрясений происшедших на территории стран разных континентов за последние 35 лет показывает, что наиболее поврежденными элементами каркасных зданий из железобетона становятся колонны, которые при сейсмических воздействиях подвергаются совместно му действию как продольных сжимающих и поперечных сил, так и изгибающих моментов. Вследствие этого колонны каркаса становятся неработоспособными, а в ряде случаев разрушаются.

В результате сильных землетрясений потеря устойчивости сооружения наступает только тогда, когда большинство несущих элементов и узлов их сопряжений почти утратило несущую способность. Поэтому вопрос о восстановлении пространственной жесткости каркасных зданий в целом ставится не часто, т.к. в большинстве случаев это экономически нецелесообразно и равноценно возведению нового здания. В связи с этим основной задачей восстановления каркасных зданий является усиление отдельных деформированных элементов каркаса (колонн, ригелей). Аналогичная задача возникновения при поврежденных каркасных зданий в результате других воздействий.

Работа выполнялась в соответствии с программой 3.7 ГКНТ РУз по теме 3.7.1.11 «Разработка комплекса эффективных методов оценки состояния, усиления и расчета конструкций зданий и сооружений с учетом сложных эксплуатационных и неэксплуатационных воздействий, в том числе сейсмических», № гос. регистрации 01.200009622.

Целью диссертационной работы является разработка теоретических положений и практической методики расчета несущей способности усиливаемых железобетонных колонн с учетом особенностей несущей способности, устойчивости и нелинейности деформирования материалов.

Объект и предмет исследования: железобетонные сжатые элементы (колонны) с малыми эксцентриситетами, испытанных при кратковременном нагружении.

Задачи исследований:

- разработка теоретических положений расчета прочности сжатых элементов с малыми эксцентриситетами, учитывающие характер диаграммы деформирования бетона (арматуры) и все нормируемые показатели, имеющиеся в соответствующих действующих нормах республик СНГ и рекомендациях ЕКБ-ФИП, а также учитывающие изменчивость деформации бетона при максимальном напряжении в зависимости от класса бетона;
- разработка методики расчета прочности сжатых элементов с рассмотрением этапов напряженного состояния нормальных сечений в зависимости от величины эксцентриситета, позволяющая оценить характер напряженно-деформированного состояния элементов с малыми эксцентриситетами и определить границы эксцентриситетов приложения продольной силы;
- оценка несущей способности усиливаемых железобетонных колонн, позволяющих определить остаточный ресурс несущей способности их, а также учитывать нелинейность деформирования материалов конструкций.

Автор защищает:

- систематизацию способов усиления железобетонных конструкций по принципу конструктивного включения в работу элементов усиления, предлагаемую по результатам обобщения и анализа существующих способов усиления железобетонных конструкций;
- результаты исследований по разработке теоретических положений расчета прочности сжатых элементов с малыми эксцентриситетами с учетом нелинейности деформирования бетона и арматуры;
- практическую методику расчета прочности сжатых элементов с рассмотрением этапов напряженного состояния нормальных сечений в зависимости от величины эксцентриситета;
- результаты исследований по разработке методики оценки несущей способности железобетонных колонн до и после усиления.

Метод исследования: В работе использовался метод сопоставления предлагаемых теоретических и нормативных зависимостей. Для этого теоретически обработаны опытные данные по несущей способности 38 колонн с малыми эксцентриситетами, испытанных К.Э.Талем и Е.А.Чистяковым, С.С.Мамедовым, К.И.Вилковым с различными значениями призменной прочности, имеющие разнообразные гибкости, проценты армирования и эксцентриситеты. А также сделан анализ теоретических основ нормативной методики расчета несущей способности сжатых элементов.

Научную новизну работы составляют:

- предлагаемая система существующих способов усиления, которая отличается от существующих других установлением взаимозависимости различных групп и подгрупп способов усиления;
- теоретические положения расчета прочности сжатых элементов с малыми эксцентриситетами, учитывающие характер диаграммы деформирования бетона (арматуры) и все нормирующие показатели бетона, имеющиеся в соответствующих действующих нормах республик СНГ, рекомендациях ЕКБ-ФИП, а также учитывающие изменчивость деформаций бетона при максимальном напряжении а зависимости от класса бетона;
- методика расчета прочности сжатых элементов с рассмотрением этапов напряженного состояния нормальных сечений в зависимости от величины эксцентриситета, позволяющая оценить характер напряженно-деформированного состояния элементов с определением границы эксцентриситетов приложения продольной силы и сравнительно просто решать задачи оценки прочности сжатых элементов в диапазоне любых малых эксцентриситетов;

- методика оценки несущей способности усиливаемых железобетонных колонн, позволяющая определить остаточный ресурс несущей способности их, а также учитывающая нелинейность деформирования материалов конструкций.

Достоверность предложенная в диссертации теоретических положений и предложений по расчету железобетонных сжатых элементов подтверждается близостью «теоретических результатов расчета» с опытными данными других авторов.

Практическое значение работы. Результаты исследования метода использованы при разработке следующих республиканских кадастровых нормативных документов:

1. Правила проведения технической паспортизации и инвентаризации зданий (сооружений) для введения кадастра недвижимости / Узгеодезкадастр – Ташкент, 2000 – 34 с.

2. Методика определения физического и функционального износа зданий и сооружений / Узгеодезкадастр – Ташкент, 2000 – 51 с.

Эти документы утверждены Главным управлением геодезии, картографии и государственного кадастра при Кабинете министров Республики Узбекистан и обязательны для всех предприятий, организаций, учреждений, выполняющих кадастровые съемки зданий и сооружений не зависимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности.

Апробация работы. Основные результаты исследований автора доложены на:

- международной конференции «Актуальные проблемы жидкостей, многофазовых смесей и распространения волн в сплошных средах», Ташкент, 1999 г.
- на научно-технической конференции «Актуальные проблемы архитектурно-строительной науки» в Ташкентском архитектурно-строительном институте, Ташкент, 1999 г.

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы периодическими и тематическими научными изданиями в виде 8 статей.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, основных выводов и приложений; содержит 130 страниц машинописного текста, 28 рисунков, 8 таблиц и 101 позиция использованных литературных источников.

Выражаю благодарность академику А.Н. Узбекской Республики Я.Н. Муборакову за консультацию, оказанные мне при выполнении диссертационной работы, инженеру Алмамари Т.В.

Основное содержание работы

В первой главе диссертации приведены результаты анализа и обобщения материалов по существующим способам усиления железобетонных конструкций с выявлением причин, вызывающих необходимость их усиления. Предлагается систематизация существующих способов усиления железобетонных конструкций. Отличие предлагаемой систематизации от известных других заключается в объединении различных способов в группы и подгруппы, а также устанавливается и указывается взаимозависимость различных групп и подгрупп между собой.

Результаты обобщения материалов и анализа существующих способов усиления железобетонных колонн показывает, что наиболее распространенным способом их усиления является железобетонные обоймы. Преимуществами этого метода усиления являются экономичность, незначительное уменьшение габаритов помещений, повышенное сопротивление агрессивным воздействиям. При усадке бетона обойма плотно обжимает элемент и увеличивает надежность связи нового и старого бетонов.

Связь продольной арматуры обоймы с арматурой усиливаемого элемента не нужна, так как, в этом случае, эффект от усиления незначителен. Железобетонную обойму следует считать одним из наиболее надежных и простых способов усиления колонн. Металлические обоймы по сравнению с железобетонными являются менее эффективными (пониженная несущая способность, сложность изготовления, повышенный расход стали, а также недостаточная совместная работа с усиливаемой конструкцией в случае отсутствия специальных мероприятий по включению их в работу).

Анализ немногочисленных работ, которые относятся к проблеме расчета усиливаемых железобетонных колонн, показывает, что существующие методики расчета усиленных железобетонных сжатых элементов не учитывают особенностей несущей способности и деформативности элементов, усиленных под нагрузкой (Начальная нагрузка в усиливаемом элементе оказывает значительное влияние на несущую способность усиленного элемента при учете физической и геометрической нелинейности).

Таким образом, анализ состояния проблемы очертил круг задач исследований, решение которых заключается в разработке теоретических положений и практической методики оценки несущей способности усиливаемых обоймами железобетонных колонн. В этом направлении весьма важны исследования В.Н. Байкова, В.Я. Бачинского, В.А. Беликова, В.М. Бондаренко, К.И. Вилкова, А.Б. Голышева, В.Т. Гроздова, П.Ф. Дроздова, С.С. Мамедова, И.М. Онуфриева, С.В. Полякова, В.Д. Потапова, Е.А. Рабиновича, К.Э. Таля, И.А. Узун, Е.Р. Хило, А.А. Ходжаева, Е.А. Чистякова и др.

Во второй главе сделан анализ состояния теории сопротивления железобетона применительно к расчету прочности сжатых элементов и представляется перспективное направление развития теории сопротивления железобетона на основе комплексного учета реальных упругих и неупругих свойств бетона и арматуры. Такой учет реальных свойств материалов обеспечивается применением диаграмм состояния (деформирования) бетона и арматуры, связывающих напряжения и деформации во всем диапазоне деформирования материала вплоть до предельных значений деформаций, характеризующих его разрушение.

Предлагается для расчета прочности железобетонных сжатых элементов использовать диаграмму σ - ϵ для бетона с нисходящей ветвью, предложенную В.Н. Байковым. Диаграмма строится на зависимости между напряжениями и деформациями бетона при сжатии и отвечает следующим условиям, нормируемым соответствующими показателями:

1. При определенном значении ϵ_b - ϵ_R напряжение бетона принимает максимальное значение $\sigma_b = R_b$.

2. Первая производная (тангенс угла наклона касательной к кривой)

$$\sigma_b = f(\epsilon_b) \frac{d\sigma}{d\epsilon} \frac{b}{b}$$

при $\epsilon_b = 0$ должна быть равна начальному модулю упругости бетона E_b .

3. Первая производная $d\sigma_b/d\epsilon_b$ при $\epsilon_b = \epsilon_R$ должна быть равна нулю.

4. Учитывая, что кривая зависимости $\sigma_b = f(\epsilon_b)$ на участке от ϵ_R до ϵ_{bu} по очертанию близка к дуге окружности, можно кривизны этой кривой в точках М и N принять одинаковыми.

$$(d^2\sigma_b/d\epsilon_b^2)_M = (d^2\sigma_b/d\epsilon_b^2)_N$$

5. При значении $\epsilon_b = \epsilon_{bu}$ напряжение бетона составляет некоторую долю максимального напряжения $\sigma_b = a R_b$, где можно принять $a = 0,85$ (рис .2.9).

Чтобы удовлетворить всем перечисленным условиям, зависимость $\sigma_b = f(\epsilon_b)$ представляется в виде полинома пятой степени.

$$\sigma_b = A_0 \epsilon_b + B_0 \epsilon_b^2 + C_0 \epsilon_b^3 + D_0 \epsilon_b^4 + F_0 \epsilon_b^5,$$

где A_0, B_0, C_0, D_0, F_0 - постоянные параметры. Их число соответствует числу условий, характеризующих материал.

Использование зависимости σ - ϵ для бетона с нисходящей ветвью позволяет оценить прочность и деформации сжатых элементов.

На восходящем участке диаграммы нелинейные деформации характеризуются накоплением повреждением структуры бетона и упруго-пластической работой продольной арматуры, возрастанием неравномерности деформаций в сжатой зоне бетона, перераспределением напряжений в сечении. В стадии снижения несущей способности элемента на нисходящем участке происходит снижение напряжений при интенсивной разгрузке растянутой продольной арматуры в сечении. Последняя стадия характеризуется раздроблением бетона в сжатой зоне, что характеризует разрушение элемента. Известно, что надежная работа железобетонных каркасов зданий и сооружений, их сейсмостойкость, обеспечивается прежде всего за счет деформирования в упруго-пластической стадии.

В третьей главе рассматривается концепция расчета прочности железобетонных сжатых элементов с малыми эксцентриситетами (рис. 1)

Форма эпюры напряжений бетона сжатой зоны в стадии, близкой к разрушению описывается диаграммой σ - ϵ бетона при кратковременном нагружении. Аналитически такая диаграмма описывается полиномом пятой степени (предложение В.Н. Байкова).

$$\sigma_b = A (\epsilon_{bu}/\epsilon_R) + B (\epsilon_{bu}/\epsilon_R)^2 + C (\epsilon_{bu}/\epsilon_R)^3 + D (\epsilon_{bu}/\epsilon_R)^4 + F (\epsilon_{bu}/\epsilon_R)^5, \quad (1)$$

где A, B, C, D, F - постоянные коэффициенты, характеризующие бетон, соответствующего класса.

Зависимость (1) позволяет описать деформирование бетона для всего цикла нагружения: от начальных стадий приложения нагрузки до максимального напряжения R_b и последующего постепенного снижения напряжения вплоть до предельного значения относительных деформаций $0,85 R_b - \epsilon_{bu}$.

Рассмотрим предельное напряженно-деформированное состояние весьма малого участка внецентренно-сжатого элемента единичной длины. На схемах деформаций и напряжений сжатой зоны фиксированы для бетона краевые значения $\sigma_b = 0,85 R_b$ и $\epsilon_b = \epsilon_{bu}$.

Равнодействующая напряжений сжатой зоны бетона

$$N_b = b \int_0^z \sigma_b(\epsilon_b) dz = b z_1 \gamma_1 \quad (2)$$

где

$$\gamma_1 = A/2 (\epsilon_{bu}/\epsilon_R) + B/3 (\epsilon_{bu}/\epsilon_R)^2 + C/4 (\epsilon_{bu}/\epsilon_R)^3 + D/5 (\epsilon_{bu}/\epsilon_R)^4 + F/6 (\epsilon_{bu}/\epsilon_R)^5 \quad (3)$$

Условия равенства проекций внешней силы и внутренних усилий в бетоне и арматуре на продольную ось элемента

Уравнение (8) содержит неизвестное напряжение σ_s в арматуре S и неизвестную высоту сжатой зоны бетона z. Используем эмпирическую зависимость (39) норм СНиП 2.03.01 «Бетонные и железобетонные конструкции» стран СНГ для обозначения σ_s в формуле (8)

$$N + A_s (2(1 - \xi)/(1 - \xi_R) - 1) \sigma_y - \sigma'_y A'_s = \gamma_1 b z. \quad (9)$$

Известно, что расположение продольной арматуры в сечении элемента может быть симметричным ($A_s = A'_s$) относительно центра тяжести сечения и несимметричным ($A_s \neq A'_s$). Симметричное армирование предпочтительнее (простота изготовления элемента), чем несимметричное. В элементах с малыми эксцентриситетами, в основном, применяют симметричное армирование.

Разделим все члены уравнения (9) на $\gamma_1 b h_0$ с введением следующих обозначений:

$$\alpha_s = \sigma_y A_s / \gamma_1 b h_0 = \sigma'_y A'_s / \gamma_1 b h_0 \text{ (при симметричном армировании);}$$

$$\varphi_n = N / \gamma_1 b h_0.$$

Уравнение (9) примет вид

$$\varphi_n + ((2(1 - \xi)/(1 - \xi_R) - 1) \alpha_s - \alpha_s) = \xi. \quad (10)$$

Отсюда

$$\xi = (\varphi_n (1 - \xi_R) + 2 \alpha_s - \xi_R) / (1 - \xi_R + 2 \alpha_s). \quad (11)$$

Произведена проверка вышеизложенного подхода оценки несущей способности сжатых элементов. Для этого теоретически обработаны опытные данные по несущей способности 38 колонн, испытанных К.Э. Талем, Е.А. Чистяковым, С.С. Мамедовым и К.И. Вилковым с различными значениями призмной прочности и гибкости, имеющие разные проценты армирования и эксцентриситеты. Армирование колонн симметричное. Эти опыты выбраны потому, что они выполнены с особой тщательностью и достоверностью.

При теоретической обработке опытных данных вводятся следующие обозначения:

N_u - прочность центрально-сжатого короткого стержня (колонны);

$N_{u,exc}$ - прочность внецентренно-сжатого короткого стержня;

N_{cr} - критическая сила (несущая способность) центрально - сжатого гибкого стержня;

$N_{cr,exc}$ - критическая сила внецентренно - сжатого гибкого стержня.

Зависимость между этими величинами представлялась в таком виде:

$$N_{cr,exc} = c \varphi N_u,$$

где c - коэффициент, учитывающий снижение критической силы внецентренно-сжатого стержня, в сравнении с критической силой центрально сжатого стержня;

φ -коэффициент продольного изгиба центрально сжатого стержня.

В этом случае: $N_{cr} = \varphi N_u$; $N_{u,exc} = N_{cr,exc} / \varphi$.

Коэффициент продольного изгиба при внецентренном сжатии, зависящий от гибкости и эксцентриситета обозначался через $\varphi_{exc} = c \varphi$.

Для возможности сопоставления результатов определения коэффициентов продольного изгиба опытных колонн, зависящих от эксцентриситета и гибкости значения критических внецентренно-сжатых опытных колонн $N_{cr,exc}$ умножали на коэффициент приведения k - корректор

между жесткостными параметрами внецентренно-сжатых и центрально-сжатых колонн.

N_u - прочность коротких центрально-нагруженных колонн вычислялись по геометрическим и прочностным характеристикам соответствующих внецентренно-сжатых гибких колонн.

Расхождение результатов расчетов по рассмотренной методике с опытными данными составляют +4,8 %, а расхождение методики норм + 13 %. Известно, что расчет сжатых элементов с малыми эксцентриситетами по СНиП 2.03.01 затруднителен из-за сложности используемых зависимостей и неопределенности границ эксцентриситета продольной силы, описывающих характер напряженного состояния таких элементов. Этот случай объединяет два варианта напряженного состояния элемента: когда все сечение сжато или когда часть сечения слабо растянута. В обоих вариантах разрушение элемента наступает вследствие исчерпания несущей способности бетона сжатой зоны и сжатой арматуры. При этом напряжения в арматуре наиболее удаленной от продольной силы всегда меньше σ_y .

Можно определять прочность сжатых элементов с малыми эксцентриситетами методом, основанным на предлагаемой концепции расчета прочности сжатых элементов и некоторых зависимостей, позволяющих описать напряженно-деформированное состояние при разных эксцентриситетах, а также сравнительно просто производить проверку прочности сечений сжатых элементов до усиления. Для этого рассматриваются следующие характерные этапы напряженного состояния нормальных сечений сжатых элементов в зависимости от величины эксцентриситета.

Состояние 1 соответствует эксцентриситету $e_0 = 0$ (рис.2,а), расчетная высота сжатой зоны сечения $z = h$, сжимающие напряжения в арматуре S и S' равны соответственно пределу текучести σ_y и σ_y' .

Состояние 2 соответствует эксцентриситету $e_0 = e_{02}$ (рис.2,б), где e_{02} - эксцентриситет, при котором расчетная высота сжатой зоны $z = z_0$, для такого эксцентриситета и соответствующей ему высоте сжатой зоны напряжения в арматуре S, наиболее удаленной от продольной силы, равны нулю.

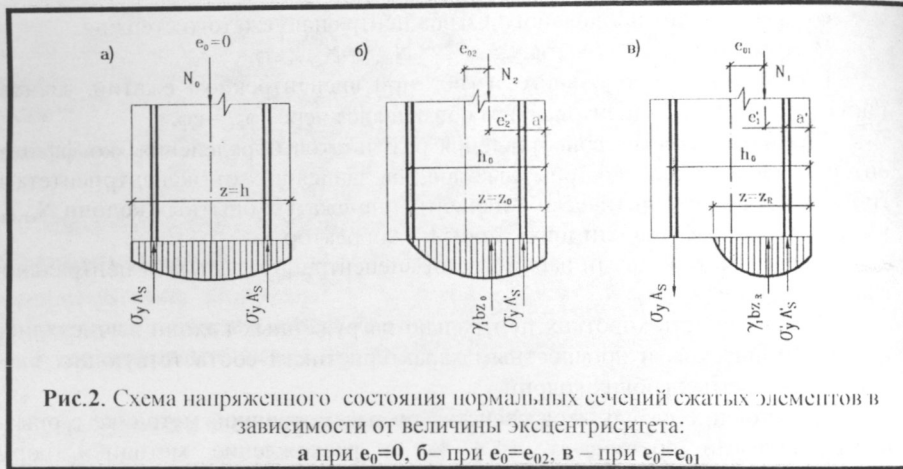


Рис.2. Схема напряженного состояния нормальных сечений сжатых элементов в зависимости от величины эксцентриситета:
а при $e_0=0$, б – при $e_0=e_{02}$, в – при $e_0=e_{01}$

Состояние 3 соответствует эксцентриситету $e_0=e_{01}$ (рис. 2,в), где e_{01} - эксцентриситет, при котором расчетная высота сжатой зоны $z=z_R$, при таком эксцентриситете и соответствующей ему высоте сжатой зоны растягивающие напряжения в арматуре S достигают предела текучести σ_y .

Продольные силы N_2 и N_1 , моменты сил, а также e'_2 и e'_1 определяются из уравнений равновесия для состояний 2 и 3. Высота сжатой зоны z определяется при решении уравнений (8, 9), но при этом получается квадратное уравнение. Эти формулы характеризуют зависимость высоты сжатой зоны z и эксцентриситета e_0 , а также коэффициентов армирования сечения μ и μ^1 , прочностных характеристик бетона и арматуры. На графике характер этой зависимости описывается кривыми на участках $0 < e_0 \leq e_{02}$ и $e_{02} < e_0 \leq e_{01}$ (рис.3.).

Анализ величин z_0 , e_{02} , e_{01} , z_R и z для вышеотмеченных опытных колонн показал, что графики описываемых зависимостей на этих участках с небольшой погрешностью можно заменить линейными функциями (рис.3. 1,2). Погрешность между значениями высоты сжатой зоны z для опытных колонн составляет 1,5...4,2%, а между значениями теоретической прочности колонн 1, 1... 2, 9%.

Замена криволинейной зависимости на линейную функцию допустима, так как на каждом графике соответствующего семейства кривых криволинейной зависимости можно достоверно определить три характерные точки: 1) $z=z_0$, $e_0=e_{02}$; 2) $z=z_0$, $e_0=e_{02}$; 3) $z=z_R$, $e_0=e_{01}$. Используя эти координаты, аналитическое выражение линейных функций можно представить:

на участке $0 < e_0 \leq e_{02}$

$$z = h - e_0(h - z_0)/e_{02}; \tag{12}$$

на участке $e_{02} < e_0 \leq e_{01}$

$$z = (z_R(e_0 - e_{02}) - z_0(e_0 - e_{01})) / (e_{01} - e_{02}). \tag{13}$$

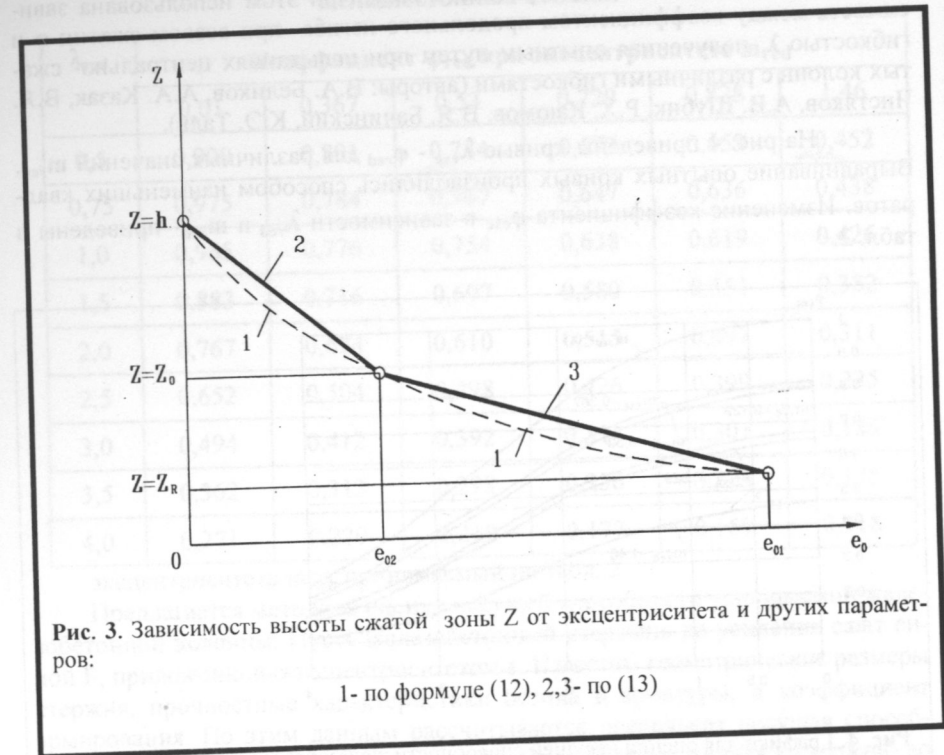


Рис. 3. Зависимость высоты сжатой зоны Z от эксцентриситета и других параметров:

1 - по формуле (12), 2,3 - по (13)

Величины, полученные при теоретической обработке экспериментальных данных по колоннам использованы для определения критических зависимостей «длина - эксцентриситет-сила» с целью построения графиков $\Phi_{exc} - \lambda_{red}$. Для устойчивости этих критических зависимостей к случайным колебаниям исходных величин, использованы следующие приведенные характеристики рассматриваемых опытных колонн:

- A_{red} - приведенная площадь сечения;
- W_{red} - приведенный момент сопротивления сечения;
- J_{red} - приведенный момент инерции;
- r_{red} - приведенный радиус инерции;
- m_{red} - приведенный эксцентриситет.

На основе полученных данных и их анализа получены коэффициенты φ_{exc} , зависящие от λ_{red} и m_{red} и построены кривые $\varphi_{exc} - \lambda_{red}$ для различных значений проведенного эксцентриситета m_{red} . При этом использована зависимость между коэффициентом продольного изгиба при осевом сжатии φ и гибкостью λ , полученная опытным путем при испытаниях центрально-сжатых колонн с различными гибкостями (авторы: В.А. Беликов, А.А. Казак, В.Я. Чистяков, А.В. Шубик, Р.Х. Каюмов, В.Я. Бачинский, К.Э. Таль).

На рис. 4 приведены кривые $\lambda_{exc} - \varphi_{red}$ для различных значений m_{red} . Выравнивание опытных кривых производилось способом наименьших квадратов. Изменение коэффициента φ_{exc} в зависимости λ_{red} и m_{red} приведены в табл. 2.

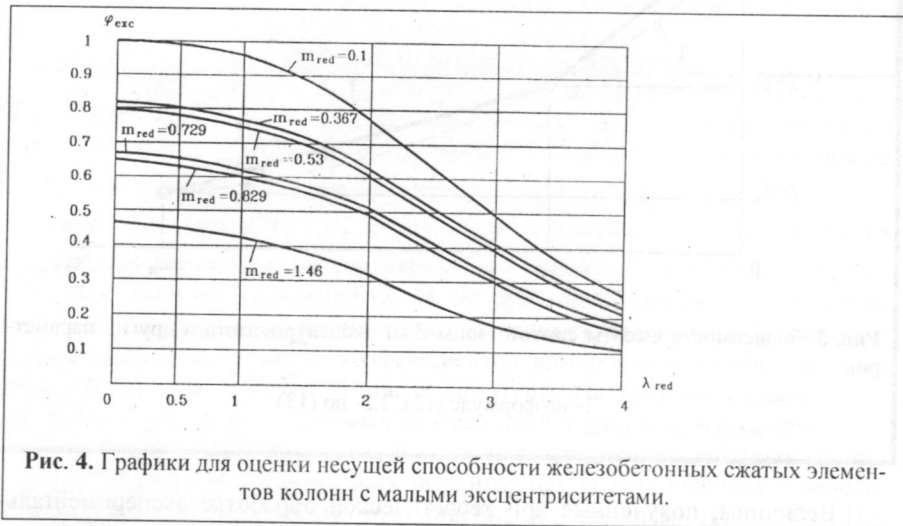


Рис. 4. Графики для оценки несущей способности железобетонных сжатых элементов колонн с малыми эксцентриситетами.

Данные таблицы 2 можно использовать для проверки несущей способности колонн.

Проверка несущей способности колонны производится по формуле:

$$N \leq N_u = \varphi_{exc} A_{red} R_b, \quad (14)$$

где N - продольная сила, действующая на колонну;

N_u - величина несущей способности сечения;

A_{red} - приведенная площадь сечения колонны;

R_b - расчетное сопротивление бетона;

φ_{exc} - коэффициент продольного изгиба при внецентренном сжатии, зависящий от условной приведенной гибкости λ_{red} и приведенного

Коэффициенты φ_{exc} для проверки несущей способности железобетонных колонн.

λ_{red}	Коэффициент φ_{red} при эксцентриситете m_{red}					
	0,01	0,367	0,53	0,729	0,828	1,46
0,5	0,990	0,801	0,784	0,672	0,659	0,452
0,75	0,975	0,784	0,767	0,647	0,636	0,438
1,0	0,965	0,776	0,754	0,638	0,619	0,426
1,5	0,883	0,716	0,697	0,580	0,554	0,382
2,0	0,767	0,624	0,610	0,515	0,497	0,311
2,5	0,652	0,504	0,498	0,426	0,399	0,225
3,0	0,494	0,412	0,392	0,311	0,301	0,186
3,5	0,362	0,313	0,298	0,236	0,223	0,135
4,0	0,271	0,229	0,218	0,177	0,169	0,118

эксцентриситета m_{red} , принимаемый по табл. 2.

Предлагается методика оценки несущей способности усиливаемой железобетонной колонны. Пусть железобетонный стержень до усиления сжат силой F , приложенной с эксцентриситетом e . Известны геометрические размеры стержня, прочностные характеристики бетона и арматуры, и коэффициент армирования. По этим данным рассчитывается предельная несущая способность стержня, т.е. определяется сила N_u . Сила F , приложенная к стержню до усиления, должна составлять примерно $0,6N_u$, т.к. в п.28 СНиП 2.03.01-84* предусматривается, что «при проектировании усиливаемых конструкций следует, как правило, предусматривать, чтобы нагрузка во время усиления не превышала 65% расчетной величины».

Если $F > 0,6N_u$, необходима частичная разгрузка конструкции до усиления.

Зная силу F , эксцентриситет e , а также геометрические и прочностные характеристики усиливаемой колонны, необходимо определить прогиб f сечения посередине длины стержня. Линейное дифференциальное уравнение для такого стержня имеет вид

$$(E_b J_b + E_s J_s) d^2 y / dx^2 = -F(e + y).$$

Принимается уравнение упругой линии в виде синусоиды и составляется

$$\text{уравнение} \quad \int_0^l [(E_b J_b + E_s J_s) d^2 y / dx^2 + F(e + y)] \sin \pi x / l dx = 0.$$

Подставляя в него уравнение упругой линии, получается

$$f = \frac{4}{\pi} \frac{eF}{N_{cr} - F}, \quad (15)$$

где N_{cr} - критическая сила Эйлера

$$N_{cr} = \pi^2 E_b J_b / l_0^2 + \pi^2 E_s J_s / l_0^2 \quad (16)$$

Из статического расчета усиленной колонны определяется F_{ad} и M_{ad} - сила и изгибающий момент усиленной колонны. Находится эксцентриситет приложения силы F_{ad} :

$$e_{ad} = M_{ad} / F_{ad}$$

и расчетный эксцентриситет:

$$e = e_{ad} + f,$$

где f - определяется по формуле (15).

Проверка несущей способности усиленной колонны в плоскости действия момента производится по формуле

$$N \leq \varphi_{exc,ad} \cdot A_{red,ad} \cdot R_b, \quad (17)$$

где $A_{red,ad}$ - приведенная площадь усиленного сечения;

$$A_{red,ad} = A_{red} + R_{b,ad} A_{ad} / R_b + \alpha_1 (A_{s,ad} + A'_{s,ad}),$$

где A_{red} - приведенная площадь колонны до усиления

$$A_{red} = bh + \alpha (A_s + A'_s);$$

A_{ad} - площадь сечения бетона усиления;

$R_{b,ad}$ - расчетное сопротивление бетона усиления;

$\alpha_1 = E_{s,ad} / E_{b,ad}$ - коэффициент приведения арматуры усиления к бетону усиления

$\varphi_{exc,ad}$ - коэффициент продольного изгиба усиленной колонны, принимаемый по табл. 2.

По предлагаемой методике можно рассчитывать не только усиленные обоймами внецентренно-сжатые элементы, но и сжатые элементы с малыми эксцентриситетами, усиленные односторонним наращиванием (имеется ввиду увеличение высоты сечения наращиванием железобетоном с одной стороны или с двух противоположных сторон колонны).

В четвертой главе даны рекомендации по оценке несущей способности эксплуатируемых железобетонных колонн (усиливаемых и неусиливаемых) в составе зданий и сооружений.

Дается методика установления фактической прочности бетона колонн. Рекомендуется оценивать прочность бетона обследуемых колонн наряду с имеющимися методами как единственно возможный метод контроля.

Определение прочности бетона методом отрыва со скалыванием - наиболее точный из существующих неразрушающих методов определения прочности бетона. предлагаются рекомендации по оценке влияния дефектов и повреждений на несущую способность железобетонных колонн.

Основные выводы

1. Наличие значительного объема научно-технической литературы по тематике нуждается в особых способах систематизации существующих методов усиления железобетонных конструкций за счет элементов усиления. отличительной особенностью предлагаемой систематизации является установление взаимозависимости различных групп и подгрупп способов усиления и попытка охвата в большинстве своем известных способов усиления обязательной последующей оценкой несущей способности усиливаемых, в частности железобетонных колонн.

2. Следует согласиться, что характер повреждений железобетонных колонн каркасных зданий (сооружений) при сейсмических воздействиях, в основном, аналогичен с повреждением при других видах воздействий. Следует также отметить отсутствие в необходимом объеме нормативно-инструктивной литературы для проектирования усиления железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий (сооружений).

3. Предлагаемая автором методика расчета сжатых элементов с малыми эксцентриситетами учитывает действительную диаграмму деформирования бетона и арматуры, все нормируемые показатели бетона, имеющиеся в нормах [34,77] и рекомендациях ЕКБ - ФИП. В отличии от всех других существующих методик здесь учитываются результаты исследований последних лет - зависимость деформаций бетона при максимальном напряжении (ϵ_R) от класса бетона в диапазоне В15... В60 (в других методиках и рекомендациях ЕКБ - ФИП показатель ϵ_R принимается постоянным для всех классов бетона).

В табличной форме (табл. 3.1) определены (выделены) постоянные параметры γ_1 (выражает площадь бетона сжатой зоны элемента) и γ_2 (определяет момент площади бетона сжатой зоны относительно оси координат σ_b), характеризующие бетон соответствующего класса.

4. Результатами исследований подтверждается более высокая точность предлагаемой методики расчета прочности сжатых элементов с малыми эксцентриситетами по сравнению с нормативной. Расхождение результатов расчета по предлагаемой методике с данными опытов [16, 81, 87] составило +4,18%, а расхождение методики норм- +13,0%. Нормативная методика недооценивает несущую способность опытных колонн, т. е. наблюдается заметный резерв прочностных характеристик материалов сжатых элементов, который не используется в полной мере.

5. Методика расчета прочности сжатых элементов с учетом нелинейности деформирования материалов позволяет получить об элементе достаточно полную информацию: предельную несущую способность, границы эксцентриситетов приложения продольной силы, предельную сжимаемость бетона на внешней грани бетона сжатой зоны, напряжения сжатой и растянутой арматуры. Поэтому эту методику можно использовать при усилении колонн реконструируемых зданий и сооружений, когда необходимо установить «полную картину несущей способности» конструкции в стадии эксплуатации.

6. При расчете по предлагаемой методике сжатых элементов при использовании арматуры с повышенным пределом текучести (учитывая возможность, ближайшего по времени, перехода Республики Узбекистан на методика более достоверно отражает физические явления, происходящие в материалах конструкций и позволяет сблизить действительные и расчетные значения несущей способности сжатых элементов, тогда как нормативная методика эти значения отдаляет.

7. Разработанная автором методика расчета прочности сжатых элементов с рассмотрением этапов напряженного состояния нормальных сечений в зависимости от величины эксцентриситета позволяет оценить характер напряженно-деформированного состояния элементов, определить границы эксцентриситетов приложения продольной силы, и сравнительно просто решать задачи оценки прочности сжатых элементов в диапазоне любых малых эксцентриситетов.

8. Учет действительной диаграммы деформирования бетона в предлагаемой методике расчета сжатых элементов позволяет в расчетах колонн каркасных зданий (сооружений) получить картину предельного состояния (разрушения) конструкции – это особенно важно при проектировании сейсмостойких конструкций. В результате сильных землетрясений при деформировании каркаса здания элемент (колонна) может получить деформацию, соответствующую точке на ниспадающей ветви кривой деформирования бетона.

9. Предлагается сравнительно простая методика оценки несущей способности железобетонных колонн (до и после усиления), основанная на зависимости «гибкость- эксцентриситет- продольная сила». Определяющим моментом расчета по этой методике является нахождение табличного коэффициента продольного

изгиба Φ_{ex} при внецентренном сжатии, зависящий от условной приведенной гибкости λ_{red} и приведенного эксцентриситета m_{red} .

10. Предлагаемая разработка по оценке несущей способности усиливаемых железобетонных колонн позволяет в инженерном проектировании ответить на вопросы о несущей способности, устойчивости и сопротивлении деформированию сжатых железобетонных элементов конструкций до и после усиления для основных случаев, встречающихся в строительной практике.

11. Предлагаемая методика оценки несущей способности усиливаемых железобетонных колонн дает возможность оценить остаточный ресурс сопротивления сжатых железобетонных элементов конструкций после просадок основания, аварий, землетрясений, других разрушений зданий и сооружений, что, как известно, является решающим моментом при функциональной оценке таких зданий и для принятия решений о дальнейшем их использовании или восстановлении.

12. Возможность определения остаточного ресурса сопротивления сжатых элементов конструкций по предлагаемой методике, дает возможность достоверно оценивать физический износ этих конструкций, что очень важно при паспортизации и инвентаризации зданий (сооружений) различного назначения с целью ведения в республике кадастра недвижимости, а также при технической и экономической оценке (оценка стоимости) объектов недвижимости.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих научных изданиях:

1. Айменов Ж.Т., Мирзаев П.Т., Ясер М.А. Оценка несущей способности усиленных железобетонных колонн при кратковременном нагружении// Вестник МКТУ. – Туркестан. 2000. №6 – с.58-60.

2. Айменов Ж.Т., Алдияров Ж., Ясер М.А. Некоторые вопросы проектирования усиления железобетонных конструкций// Труды 2-й Региональной научно-методической конференции «Проблемы науки и образования». – Тараз. 2000. №20 – с.226-228.

3. Мирзаев П.Т., Ясер М. А. Определение предельной несущей способности железобетонных внецентренно - сжатых элементов с малыми эксцентриситетами при учете пластических свойств бетона// Актуальные проблемы архитектурно-строительной науки – Ташкент: ТАСИ, 1999. – с.54 – 57.

4. Мирзаев П.Т., Ясер М.А. Оценка несущей способности железобетонных сжатых элементов с малыми эксцентриситетами, подлежащих усилению// проблемы развития тракторных и инженерных коммуникаций (проектирование, строительство, эксплуатация). – Москва. 2001. . № 1.-с.41-43.

5. Мирзаев П.Т., Ясер М.А. Перспективное направление развития теории сопротивления железобетона применительно к расчету прочности сжатых элементов //Сборник «Проблема строительства и архитектуры на пороге XXI века – Бишкек, КГУСТА, 2001, часть 3.-с.25.

6. Мубораков Я. Н., Ходжаев А. А., Мирзаев П. Т., Ясер М. А. Вопросы реконструкции зданий и сооружений// Архитектура и строительство Узбекистана. - 1999. - №1 - 2. - с. 23 - 24.

7. Мубораков Я. Н., Мирзаев П. Т., Ясер М. А. Определение предельного состояния железобетонных сжатых элементов (колонн) с малыми эксцентриситетами при кратковременном нагружении, подлежащих усилению// Проблемы механики. - Ташкент 2000. - №2 - с. 31 - 37.

8. Ясер М.А. Вопросы проектирования усиления железобетонных конструкций// Вестник МКТУ. – Туркестан. 2000. №6 – с.76-78.

9. Ясер М. А., Мирзаев П. Т. Систематизация существующих способов усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений// Актуальные проблемы жидкостей, многофазовых смесей и распространение волн в сплошных средах. - Ташкент, 1999. - с. 27 - 630.

АННОТАЦИЯ

Диссертация имараттардын жана курулуштардын күчөтмө темирбетон колонналарынын түркүк касиетин баалоого арналган. Бетондун жана арматуранын деформацияларынын иш жүзүндөгү диаграммаларын эске алуу менен колонналардын түркүк касиетин баалоонун теоретикалык жоболору жана практикалык усулдары иштелип чыккан. Эксцентриситеттин чоңдугуна жараша нормалдуу кесилиштердин чыңалган абалын карап чыгуу менен кысылган элементтердин бекемдигин эсептөөнүн практикалык усулдары сунуш кылынат, аз эксцентриситеттери бар элементтердин чыңалып-деформацияланган абалына баа берүүгө жана узата күчтү пайдалануунун эксцентриситеттеринин чектерин аныктоого мүмкүнчүлүк берет.

Изилдөөлөрдүн мында келтирилген жыйынтыктары инженердик долбоорлоо учурундагы кысылган темирбетон элементтеринин күчөтүүгө чейинки жана андан кийинки чоңдуктары жана күчөтүүнү бөлүштүрүүсү, түркүк касиети, туруктуулугу жана деформацияга каршылык көрсөтүшү тууралуу суроолорго жооп берүүгө, ошондой эле кыйроодон, жер титирөөлөрдөн, түбү түшүп кетүүдөн жана имараттарга, курулуштарга башка таасирлердин натыйжасын көрсөтөт.

АННОТАЦИЯ

Диссертация посвящена оценке несущей способности усиливаемых железобетонных колонн зданий и сооружений. Разработаны теоретические положения и практические методы оценки несущей способности колонн (до и после усиления) с учетом действительных диаграмм деформирования бетона и арматуры. Предлагается практическая методика расчета прочности сжатых элементов с рассмотрением этапов напряженного состояния нормальных сечений в зависимости от величины эксцентриситета, позволяющая оценить характер напряженно-деформированного состояния элементов с малыми эксцентриситетами и определить границы эксцентриситетов приложения продольной силы.

Приведенные результаты исследований позволяют в инженерном проектировании ответить на вопросы о величинах и распределении усилий, несущей способности, устойчивости и сопротивления деформированию сжатых железобетонных элементов (колонн) до и после усиления, а также дают возможность оценить остаточные ресурсы сопротивления колонн после аварий, землетрясений, просадок оснований и других воздействий на здания и сооружения.

ANNOTATION

The dissertation thesis is devoted to the assessment of the bearing capacity of the reinforced iron-concrete columns of buildings and structures. This work includes the developed theoretical and practical methods of assessment of the columns bearing capacity before and after reinforcement with regard of real diagrams of concrete and reinforcement deformation. It proposes the practical methods of compressed elements strength calculation with the examination of the stages of the stressed state of normal sections, depending on the eccentricity value. It allows to estimate the character of the stressed-deformed state with small eccentricities and to determine the limits of the eccentricities of longitudinal force application.

The given results of investigation allow in the engineering design to give the answer to the questions about the values and the distribution of forces, bearing capacity, stability, resistance to deformation of the compressed iron concrete elements (columns) before and after reinforcement, and they also give the possibility to estimate the remanding resources of the column resistance after accidents, earthquakes, basement subsidence and other exposures to buildings and structures.

Подписано в печать 10.07.2001 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.
Бумага офс. Печать офс. Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 216.
Бишкек 720044, Сухомлинова 20, ИЦ "Текник", т.: 42-14-55