

## УТВЕРЖДАЮ

«Центральный научно-исследовательский  
и проектно-экспериментальный институт  
промышленных зданий и сооружений (АО  
ЦНИИПромзданий)»

Генеральный директор, к.т.н.

Келасьев Н.Г.



09 2023 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Цацулина Ильи Владимировича** на тему:  
**«Несущая способность изгибаемых железобетонных элементов при  
малоцикловых нагрузках типа сейсмических с учетом пластических  
деформаций арматуры»**, представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 2.1.1 – Строительные  
конструкции, здания и сооружения

### 1. Актуальность темы исследования

Значительная часть территорий РФ расположена в сейсмоопасных зонах, поэтому обеспечение сейсмостойкости зданий на сегодняшний день является приоритетной задачей. В процессе эксплуатации здания и сооружения подвергаются высокоинтенсивным динамическим нагрузкам, в частности сейсмическим.

В действующих нормативных документах РФ по сейсмостойкому строительству предполагается развитие пластических деформаций в элементах конструкций, остаточных деформаций и локальных повреждений в местах концентрации напряжений. В основном влияние пластических

деформаций учитывается на этапе определения сейсмических нагрузок путем введения коэффициента допускаемых повреждений, который во многом зависит от конструктивных особенностей здания. Во время землетрясений в конструкциях железобетонных зданий возникают значительные знакопеременные усилия, которые приводят к развитию пластических деформаций в арматуре. Вследствие этого в изгибаемых элементах раскрываются трещины, которые не смыкаются при смене знака усилия.

Наличие пластических деформаций в арматуре должно существенным образом сказываться на напряженно-деформированном состоянии, механизме разрушения и несущей способности изгибаемых железобетонных элементов при смене знака усилия. В связи с этим, тема диссертационной работы, посвященной несущей способности изгибаемых железобетонных элементов при смене знака усилий, безусловно, является актуальной.

## **2. Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (количество источников использованной литературы – 169, в том числе 14 зарубежных источника) и одного приложения. Работа изложена на 271 странице, включающей 134 рисунка и 29 таблиц.

**Во введении** характеризуется состав и содержание диссертационной работы, аргументирована ее актуальность, научная новизна, цель и задачи. Сформулирована научно-техническая гипотеза, определена область, предмет и объект исследований, теоретическая и практическая значимость научных результатов, а также положения, выносимые автором на защиту.

**В первой главе** диссертации приведен обзор последствий сильных землетрясений и характер разрушений железобетонных конструкций при сейсмических воздействиях. Представлены основные этапы развития теории сейсмостойкости зданий и сооружений. Отдельное внимание уделено коэффициенту пластичности конструкций, выражаемому для хрупких материалов через отношение полных деформаций к упругим. Описана работа бетона и железобетона, а также арматуры при малоцикловых нагрузках типа



сейсмических. Проанализированы экспериментальные исследования работы изгибаемых железобетонных элементов при малоцикловом знакопеременном нагружении. Отмечается, что количество циклов нагружения и уровень нагрузки, воспринимаемые элементами, во многом зависят от величины пластических деформаций, возникших на первом полупериоде нагружения. На основе проведенного анализа выбрано направление и задачи дальнейших исследований.

**Во второй главе** представлены результаты экспериментальных исследований изгибаемых железобетонных элементов при действии знакопеременной нагрузки. Сформулированы цель и задачи экспериментальных исследований, приведено описание методики проведения экспериментальных исследований. По результатам проведенного эксперимента исследовано напряженно-деформированное состояние опытных образцов, их несущая способность и механизм разрушения при смене знака усилия.

Выявлено снижение до 25% несущей способности изгибаемых железобетонных элементов при смене знака усилия при увеличении максимального коэффициента пластичности в первом полупериоде до величины 5,51. При достижении коэффициента пластичности на первом полупериоде величины 5,51 происходит снижение в три раза величины предельного коэффициента пластичности при смене знака усилия. Отмечается, что в процессе деформирования опытных образцов распределение деформаций по высоте сечения, как при нагружении, так и при разгрузке, не соответствует гипотезе плоских сечений, автором предложено аппроксимировать деформации по высоте сечения билинейной зависимостью. При выполнении расчетов на сейсмические воздействия автор рекомендует учитывать снижение несущей способности изгибаемых железобетонных элементов вследствие развития пластических деформаций и ограничивать величины максимальных пластических деформаций, а также учитывать мгновенное изменение расчетной схемы из-за наличия сквозных трещин. В качестве

рекомендуемой следует принять величину коэффициента пластичности по деформациям арматуры 1,4, а в качестве предельной – 2,14.

**В третьей главе** представлена основная научная гипотеза, приведены основные расчетные предпосылки и допущения, представлены расчетные уравнения для определения несущей способности изгибаемых железобетонных элементов при смене знака усилия с учетом пластических деформаций арматуры. В методике расчета автором рассматривается три стадии напряженно-деформированного состояния: напряженно-деформированное состояние сечения в момент достижения заданного коэффициента пластичности на первом полупериоде нагружения; напряженно-деформированное состояние сечения в момент разгрузки; напряженно-деформированное состояние в момент разрушения бетона сжатой зоны при смене знака усилия. Предложенный автором инженерный метод расчета проиллюстрирован на конкретных примерах и дает удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными.

**В четвертой главе** на основе метода конечных элементов выполнен численный анализ изгибаемых железобетонных элементов при действии знакопеременной нагрузки в вычислительном комплексе Abaqus. Приведены методологические принципы моделирования, принятые в рамках расчетного анализа. Представлен сопоставительный анализ опытных данных с результатами численного расчета.

**В заключении** представлены общие выводы и сформулированы направления для дальнейших исследований.

### **3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность результатов исследований подтверждается использованием общепринятых положений строительной механики, сопротивления материалов и современных достижений в области численных расчетов с применением вычислительных комплексов.

### **4. Научная новизна**



Научной новизной обладают следующие результаты исследований:

1. Экспериментально получена относительная несущая способность изгибаемых железобетонных элементов при смене знака усилия в зависимости от коэффициента пластичности по деформациям арматуры в первом полупериоде нагружения;
2. Экспериментально получены значения предельного коэффициента пластичности по деформациям арматуры, соответствующего разрушению при смене знака усилия в зависимости от коэффициента пластичности по деформациям арматуры в первом полупериоде нагружения;
3. Получены данные о напряженно-деформированном состоянии и механизме разрушения нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов в процессе прямого нагружения при смене знака усилия;
4. Экспериментально подтверждена гипотеза билинейных сечений; определен эмпирический коэффициент  $A$  данной гипотезы в зависимости от величины пластических деформаций;
5. Разработан инженерный метод расчета несущей способности изгибаемых железобетонных элементов с учетом наличия остаточных деформаций бетона и арматуры.

## **5. Научная и практическая ценность диссертации**

Научная ценность работы заключается в том, что полученные результаты исследования напряженно-деформированного состояния, несущей способности и механизма разрушения при смене знака усилия в зависимости от максимальной величины пластических деформаций позволяют дополнить и уточнить методы расчета сейсмостойких железобетонных конструкций.

Разработан подход, связанный с ограничением пластических деформаций арматуры, что позволяет повысить прочность и надежность конструкций при сейсмических воздействиях.

С практической точки зрения ценность работы заключается в использовании предложенного метода расчета и результатов экспериментальных исследований при проектировании сейсмостойких зданий

и сооружений и в разработке практических рекомендаций по расчету изгибаемых элементов на сейсмические воздействия.

## **6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Исследование вносит вклад в развитие теории и практики сейсмостойкости зданий и сооружений.

Получены результаты исследования напряженно-деформированного состояния, несущей способности и механизма разрушения при смене знака усилия в зависимости от максимальной величины пластических деформаций арматуры.

Решена задача повышения прочности и надежности конструкций при сейсмических воздействиях за счет ограничения величин максимальных пластических деформаций арматуры.

Предложен практический метод расчета несущей способности изгибаемых железобетонных элементов при смене знака усилия с учетом пластических деформаций арматуры.

Основные положения диссертационной работы в достаточном объеме отражены в 8 научных публикациях, из которых 5 в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ.

## **7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты и выводы диссертационного исследования рекомендуются к использованию в проектных, конструкторских и научно-исследовательских организациях, занимающихся расчетом и проектированием зданий и сооружений, расположенных в сейсмоопасных районах.

## **8. Замечания**

1. Согласно схеме расположения тензодатчиков на арматуре возникает вопрос: для статически определимой балки, загруженной в третях пролета, наибольшие деформации в арматуре возникают в середине, в зоне чистого изгиба. При этом деформации оценивались по тензометрическим датчикам,



расположенным под местом приложения нагрузки. Почему выбрана именно такая схема расположения тензодатчиков?

2. В работе, как в экспериментальных исследованиях, так и в предложенном инженерном методе, автор рассматривает только 2 полуцикла знакопеременного нагружения. Однако, если мы говорим о сейсмических воздействиях, что следует из названия диссертации, не совсем уместно ограничиваться двумя полуциклами.

3. В работе рассматривается статическое нагружение балок, однако, как характеристики материалов, так и работа конструкции в целом при динамических воздействиях отличается от статической. В диссертационной работе нет информации о поведении балок при аналогичном динамическом нагружении, ведь речь идет о сейсмических воздействиях.

4. Редакционное замечание: сейсмические зоны на территории Российской Федерации составляют не менее 25%; Нужно уточнить сроки действия нормативных документов: так ГОСТ 19903-74 был актуализирован в 2015 году.

5. В качестве пожелания, при продолжении данной работы, целесообразно отработать установку датчиков напряжения твердых тел внутри сечения балки в зоне нейтральной оси, а балку желательно принимать соотношением высоты к длине  $1/10-1/12$  прямоугольного, а не квадратного сечения.

## **9. Заключение**

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации в целом и могут быть полезны автору при дальнейшей разработке темы.

Таким образом, диссертация Цацулина Ильи Владимировича на тему «Несущая способность изгибаемых железобетонных элементов при малоцикловых нагрузках типа сейсмических с учетом пластических деформаций арматуры» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной,

теоретической и практической значимостью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют достаточно большое значение для развития соответствующих направлений в науке.

Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Цацулин Илья Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1. Строительные конструкции здания и сооружения.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на расширенном заседании отдела конструктивных систем №1 АО ЦНИИПромзданий. Протокол заседания №7-23 от 05.09.2023 г.

Главный научный сотрудник  
АО «ЦНИИПромзданий», заслуженный  
деятель науки РФ, доктор технических  
наук (05.23.01 – Строительные  
конструкции, здания и сооружения),  
профессор


  
Кодыш Эмиль  
Наумович

« 07 » 09 2023 г.

Наименование ведущей организации в соответствии с уставом:  
Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий».

Почтовый адрес: РФ, 127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 46, корп. 2.  
Телефон: +7 495 482-45-06  
E-mail: [cniipz@cniipz.ru](mailto:cniipz@cniipz.ru).

Подпись Кодыша Эмиля Наумовича удостоверяю:

  
2023 г.

Начальник отдела кадров  
Куприна О.Г.

