

## **Отзыв**

Доктора технических наук, профессора Смоляго Геннадия Алексеевича 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.

Представленная на отзыв диссертационная работа Цацулина И.В. состоит из введения, 4-х глав, заключения, 1-го приложения и изложена на 271 странице машинописного текста с иллюстрациями в виде 29 –и таблиц, 134-х рисунков, списка использованной литературы из 169-и наименований, в том числе 14-и зарубежных источников.

На основании рассмотренных материалов можно отметить, что диссертационная работа Цацулина И.В. на тему: «Несущая способность изгибаемых железобетонных элементов при малоцикловых нагрузках типа сейсмических с учетом пластических деформаций арматуры» соответствует пунктам 1 и 3 паспорта специальности 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения.

### **1. Актуальность избранной темы**

Диссертационная работа Цацулина И.В. посвящена рассмотрению напряженно-деформированного состояния и оценке несущей способности изгибаемых железобетонных элементов при малоцикловых нагрузках с учетом влияния пластических деформаций арматуры. Такой вид напряженного состояния встречается при сейсмических воздействиях. Проблема безопасности строительных конструкций зданий и сооружений непосредственно связана с живучестью конструктивных систем. Необходимость обеспечения живучести конструктивных систем предусматривает снижение рисков возможного прогрессирующего обрушения, что в свою очередь связано с проведением как экспериментальных, так и теоретических исследований с использованием положений метода предельных состояний, включая рассмотрение влияния пластических деформаций арматуры при знакопеременных воздействиях.

В связи с этим представляется, что развитие теоретических положений оценки напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов при малоцикловых нагрузках является несомненно актуальным.

## **2. Структура и объем работы**

Первая глава содержит обзор исследований по сформулированной теме. Автором проведен анализ исследований землетрясений и характера разрушений железобетонных конструкций при сейсмических воздействиях. При этом отмечается недостаточный объем экспериментальных исследований изгибаемых железобетонных элементов в условиях знакопеременных нагрузок и влияния пластических деформаций арматуры на НДС конструкций.

По результатам первой главы определены задачи диссертационного исследования.

Во второй главе изложена программа, методика и результаты экспериментальных исследований железобетонных балок при малоцикловом нагружении. Автором выполнены испытания 15-ти железобетонных балок двумя циклами нагружения. В результате проведенных исследований установлено снижение несущей способности железобетонных изгибаемых элементов при развитии пластических деформаций арматуры.

Третья глава посвящена построению расчетных зависимостей по определению несущей способности изгибаемых железобетонных элементов при малоцикловых нагружениях при смене знака усилия с учетом пластических деформаций арматуры.

В четвертой главе приведены результаты численных исследований по определению несущей способности при прямом монотонном нагружении максимальных значений пластических деформаций арматуры, соответствующих разрушению бетона сжатой зоны и их влиянию на несущую способность при смене знака усилий.

В заключении диссертации перечислены основные выводы по работе, приведены рекомендации и перспективы дальнейшего исследования.

## **3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.**

В рецензируемой работе представлены разработки базовых положений расчета несущей способности железобетонных изгибаемых элементов при малоцикловых нагрузках с учетом физической нелинейности материалов, в том числе с учетом пластических деформаций арматуры применительно к их расчету по предельным состояниям.

Ограничения двумя полуциклами нагружения объясняется ссылками на работу В.И. Жарницкого, Ю.Л. Голды, С.О. Курнавиной [39], согласно которой как показали расчеты железобетонных рам на сейсмическое



воздействие, максимальные перемещения наблюдались в течение первых двух циклов нагружения, а затем уменьшались. Предложенная автором расчетная модель по определению несущей способности железобетонных изгибаемых элементов построена на решении системы разрешающих уравнений, включающих уравнения равновесия и гипотезу билинейных сечений. Применение разработанной методики позволяет в зависимости от уровня нагружения вычислить значения напряжений и деформаций согласно принятой диаграммы деформирования бетона и арматуры.

В качестве доказательной базы также использованы проведенные автором численные исследования несущей способности железобетонных изгибаемых элементов при 1-ом, 10-ти и 50-ти циклов нагружения, показавшие, что балки, рассчитанные на 10-ть и 50-т циклов знакопеременного нагружения, имеют удовлетворительную сходимость с балками, рассчитанными на один цикл по предельному коэффициенту пластичности  $M_{pl.fate}$ . Тем не менее достоверность данного обоснования нуждается в дополнительных исследованиях.

К достоинствам работы и соответственно обоснованности ее результатов следует отнести проведенные экспериментальные исследования железобетонных изгибаемых элементов при малоцикловом нагружении, а также сопоставительный анализ опытных и теоретических значений.

Заслуживают внимания предложенные рекомендации по ограничению пластических деформаций арматуры в проектной практике.

Обоснованность положений и выводов основана на использовании при построении расчетных зависимостей базовых положений теории железобетона и строительной механики, апробации результатов исследований на научно-технических конференциях.

#### **4. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций.**

К научной новизне результатов исследований можно отнести:

- результаты экспериментальных исследований несущей способности изгибаемых железобетонных элементов при смене знака усилия в первом полупериоде нагружения;
- установленные опытным путем закономерности изменения НДС и механизма разрушения изгибаемых железобетонных элементов в процессе прямого нагружения при смене знака усилия;
- экспериментальная проверка гипотезы билинейных сечений;
- экспериментальная оценка предельных величин коэффициентов пластичности по деформациям арматуры, соответствующих разрушению при

смене знака усилия в зависимости от коэффициента пластичности по деформациям арматуры в первом полупериоде нагружения;

- инженерную методику расчета несущей способности изгибаемых железобетонных элементов с учетом накопления остаточных деформаций бетона и арматуры.

## **5. Практическая значимость результатов исследований**

Практическая ценность исследований заключается в разработке положений расчета несущей способности железобетонных изгибаемых элементов при малоцикловых нагрузках и использование результатов экспериментальных исследований в практике проектирования сейсмостойких зданий и сооружений.

## **6. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность результатов исследований подтверждается использованием общепринятых положений теории железобетона, удовлетворительной сходимостью результатов физических экспериментов и численных исследований. Экспериментальные исследования проводились с использованием традиционных и современных методов и оборудования, а также соблюдением требований нормативных документов при подготовке и выполнении экспериментальных исследований.

## **7. Выводы и рекомендации**

Диссертационная работа Цацулина И.В. является законченным научно-исследовательским трудом, в котором на основе выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований решена научная задача, посвященная разработке методов расчета несущей способности изгибаемых железобетонных элементов при малоцикловых нагрузках.

Диссертация выполнена на современном научном уровне и представляет собой завершенную самостоятельную научно-исследовательскую работу.

Автореферат отражает содержание диссертационной работы и оформлен в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Основные положения диссертационного исследования достаточно полно изложены в опубликованных статьях.

Результаты диссертационной работы апробированы на Всероссийских и международных научных конференциях.

## **Замечания по диссертационной работе**

1. Отступление от общепринятых критериев наступления предельного состояния по прочности нормальных сечений привело к их некорректной



трактовке вследствие разночтений по разрушающей нагрузке. В качестве критерия наступления предельного состояния был принят деформационный критерий, при этом в таблице 3.3 разрушающая экспериментальная нагрузка определялась в соответствии с нормативной предельной сжимаемостью бетона равной 0,002. В таблицах 4.6-4.11 приведены значения экспериментальной разрушающей нагрузки для балок подверженных воздействию знакопеременных нагрузок при максимальных относительных деформациях сжатого бетона в момент разрушения, а не при достижении деформациями сжатого бетона предельных значений, принятых соискателем больше на 40 % применительно к нормативной предельной сжимаемости бетона, а именно 0,0028. Принятое значение нуждается как в теоретическом, так и экспериментальном обосновании.

2. При анализе проведенных экспериментальных исследований отмечено, что при больших значениях коэффициента пластичности разрушающая нагрузка для балок VI, VII серий на 12% превысила разрушающую нагрузку эталонных балок 1-й серии, что объясняется выходом работы арматуры на ветвь временного сопротивления. Учитывая, что предельное состояние по прочности нормальных сечений балками уже было пройдено, возникает вопрос о информативности данных результатов.

3. Приведенные экспериментальные данные и теоретические значения прогибов малоинформативны с точки зрения предельного состояния по деформативности, так как данное предельное состояние устанавливается при нормативных нагрузках. Экспериментальные прогибы при нормативной нагрузке за исключением балок II и III серий, где они были близки к предельным значениям, превысили предельно допустимое значение, что связано со снижением изгибной жесткости вследствие принятого квадратного сечения 200x200 мм экспериментальных балок. Строительные нормы допускают эксплуатацию железобетонных конструкций при достижении предельного состояния по деформативности, однако это допущение оговаривается рядом условий.

4. В таблицах 4.5-4.11 приведено сопоставление теоретических и экспериментальных значений разрушающей нагрузки железобетонных балок. Желательно было привести сопоставление с этими экспериментальными значениями теоретических величин, полученных по другим методикам.

5. В диссертационной работе присутствует ряд допущенных неточностей и опечаток, а именно: практически полное отсутствие знаков препинания в конце всех расчетных зависимостей; с. 86 - деформации арматуры на крайнем растянутом волокне; с. 99 - деформации арматуры достигли предела текучести; с. 161 шифр балок ВО.. вместо БО; с. 64  $C_0 = 450$  мм, а не 400 мм; с. 151 таблица 3.1 следует читать  $\varepsilon_{S,max} \cdot 10^{-3}$ , а не  $\varepsilon_{S,max} \cdot 10^{-4}$ .

