

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук Янковского Андрея Петровича на диссертацию Самошкина Антона Сергеевича «Исследование взаимодействия арматуры с бетоном расчетно-экспериментальными методами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»

1. Оценка объема и структуры диссертации

Диссертация А.С. Самошкина на соискание ученой степени кандидата технических наук состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 122 наименования используемых публикаций отечественных и зарубежных авторов, и приложения. Основное содержание изложено на 119 страницах, включает 7 таблиц и 63 рисунка. Объем приложения 3 страницы.

2. Актуальность избранной темы

Основным материалом, используемым современной строительной индустрией, является бетон, усиленный стальной и неметаллической арматурой. Применение железобетона, как и всякого композиционного материала, становится эффективным лишь тогда, когда элемент строительной конструкции удастся спроектировать так, чтобы основные внешние нагрузки воспринимались арматурой, а связующий материал – бетон – играл в основном роль, обеспечивающую монолитность изделия и передачу внешнего воздействия на арматуру, особенно в областях, где материал конструкции подвергается растяжению, так как сам бетон плохо сопротивляется растягивающим усилиям. Такая эффективная передача внешних нагрузок от бетона к армирующим элементам возможна только при их надежной совместной работе, что обеспечивается, в значительной мере, степенью их сцепления, т.е. свойством сопротивления бетона продольным смещениям арматуры относительно него. Сцепление определяется комплексом сложных физико-механических процессов, протекающих в окрестности зоны контакта арматуры и бетона: образованием и накоплением повреждений, возникновением трещин, проскальзыванием арматуры относительно бетона. Все это осложняется неупругим деформированием (пластичностью и ползучестью) компонентов композиции в условиях сложного напряженного состояния, реализующегося в окрестности зоны контакта армирующего элемента с бетоном. В силу важности этой проблемы ее исследования проводятся с момента начала использования железобетона в строительной отрасли и до настоящего времени.

Несмотря на важность учета сцепления арматуры с бетоном, современные нормативные документы регламентируют проводить расчеты железобетонных конструкций, практически полностью не учитывая взаимодействия компонентов композиции. Объясняется это тем, что до сих пор не разработаны практически реализуемые и приемлемые для

проектировщиков математические модели сцепления, которые позволяли бы комплексно, но достаточно просто учитывать все особенности деформирования структурных элементов железобетона и их взаимодействие.

В силу указанных значительных трудностей, возникающих при изучении проблемы сцепления, на сегодняшний день наиболее перспективным представляется подход, основанный на рациональном сочетании экспериментальных и расчетных методов исследования взаимодействия бетона с арматурой, что и определяет **актуальность** темы диссертации.

3. Соответствие содержания диссертационной работы заявленной специальности

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»:

- п. 2: «Теория моделей деформируемых тел с простой и сложной структурой»;
- п. 8: «Математические модели и численные методы анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования»;
- п. 9: «Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях».

4. Степень разработанности темы, обоснованность научных положений и рекомендаций

На основе проведенного критического анализа проблемы сцепления арматуры с бетоном в диссертации обосновано несовершенство существующих на сегодняшний день математических моделей, описывающих это взаимодействие: технические теории существенно упрощают реальные процессы деформирования материалов арматуры и бетона в окрестности зоны их контакта, а для численных методов решения этой проблемы не разработаны надежные алгоритмы идентификации параметров моделей. Поэтому в диссертации выполнено комплексное исследование взаимодействия арматуры с бетоном, которое включает в себя: 1) проведение натурных экспериментов по вытягиванию арматуры из бетонных образцов, что позволило определить реальные характеристики сцепления; 2) математическое моделирование процессов механического взаимодействия компонентов такой композиции. При этом к математической модели предъявлены следующие требования: 1) простота численной реализации в рамках существующих пакетов прикладных программ; 2) учет геометрической и физической нелинейности поведения материалов компонентов композиции; 3) простота и надежность идентификации параметров сцепления.

Все расчетные результаты, полученные соискателем на базе разработанной им математической модели, сопоставлены с результатами известных натурных экспериментов. Сформулированная в диссертации цель

достигнута, поставленные в связи этим задачи решены полностью. Научные положения, рекомендации и сделанные выводы обоснованы в достаточной мере.

5. Новизна и достоверность полученных результатов

Новые научные результаты, полученные в диссертации, заключаются в следующем:

1. Проведены испытания арматуры, бетона и трех серий армированных цилиндрических образцов, различающихся длиной анкеровки; по результатам этих экспериментов построены диаграммы деформирования компонентов композиции железобетона и кривые податливости вытягивания стальной арматуры из бетонной обоймы, по которым определены параметры сцепления арматуры с бетоном, входящие в формулу нормального закона сцепления М.М. Холмянского; на основе результатов испытаний коротких образцов установлено, что длина эффективной заделки для выбранных в экспериментах арматуры и бетона имеет порядок 10 диаметров арматуры, что почти в пять раз меньше требований действующих норм проектирования.
2. Разработана новая математическая модель деформирования железобетона, ориентированная на использование стандартных пакетов прикладных программ, в рамках которой в окрестности зоны контакта арматуры со связующим вводится контактный слой ненулевой толщины с фиктивными механическими характеристиками в предположении о его упругопластическом деформировании по теории Прандтля – Рейсса; реальная арматура со сложной топологией контактной поверхности заменяется гладким стержнем с той же площадью поперечного сечения, что и у арматуры; проведено сравнение нескольких теорий пластического деформирования бетона и на основе критического их анализа в случаях напряженного состояния, близкого к одноосному, обосновано применение достаточно простой теории пластичности Друккера – Прагера, для использования которой требуется проведение минимального количества простейших испытаний бетона – только на растяжение и сжатие.
3. Разработан алгоритм идентификации упругопластических характеристик фиктивного материала контактного слоя (модуля Юнга и предела текучести) на основе экспериментально полученных для формулы М.М. Холмянского параметров сцепления арматуры с бетоном; определены верхние и нижние границы толщины контактного слоя и размеров конечных элементов, используемых для дискретизации задачи в области контактного слоя.
4. На основе конечно-элементного моделирования проведены исследования различных железобетонных элементов и конструкций с разными типами армирования. На основе этих исследований установлено, что в тех случаях, когда в окрестности армирующего элемента напряженное состояние близко к одноосному, предложенная модель адекватно описывает взаимодействие бетона с профилированной арматурой,

включая неупругую стадию ее деформирования. Продемонстрировано, что математическая модель хорошо описывает деформирование железобетонных элементов конструкций как при сжатии, так и при растяжении. Обоснован выбор критерия разрушения бетона по предельной деформации при простом растяжении железобетонного элемента. Обоснована методика определения протяженности зоны неидеального взаимодействия арматуры с бетоном на концевых участках анкеровки по эпюре продольных деформаций, измеренных экспериментально на поверхности бетонной облоймы. Установлено, что расчетное напряженно-деформированное состояние в структурных элементах железобетона удовлетворительно согласуется с известными экспериментальными данными в областях, удаленных от зоны контакта арматуры с бетоном. На примере балки сложной геометрии продемонстрировано, что разработанная математическая модель вполне приемлема для адекватного описания механического поведения достаточно сложных железобетонных конструкций, армированных системой стержней.

Достоверность результатов, полученных соискателем, рекомендаций и выводов, сделанных в диссертации, обеспечивается корректным использованием положений механики деформируемого твердого тела и математической статистики, необходимым объемом экспериментальных измерений, проведенных с применением поверенных в сертификационном испытательном центре «Стройэксперт» приборов и оборудования, а также хорошим совпадением расчетных результатов, полученных на основе использования стандартного пакета прикладных программ COSMOS/M, с экспериментальными данными для всех задач, рассмотренных в обсуждаемой работе.

6. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций

Полученные в диссертации научные результаты способствуют совершенствованию моделей математического описания механического взаимодействия армирующих элементов и связующего материала, что позволяет повысить точность расчетов напряженно-деформированного состояния не только в железобетоне, но и в других типах композиционных материалов, например волокнистых, которые находят все более широкое применение в инженерно-конструкторской практике. Разработанные в диссертации алгоритмы и методики, а также сделанные рекомендации могут быть использованы в расчетной практике проектных строительных организаций, что подтверждено актом их внедрения при проведении проектных расчетов в Новосибирском проектно-изыскательском институте «Сибжелдорпроект». Кроме того, основные положения и результаты диссертации нашли применение в курсе лекций и практических занятий дисциплины Б1.В.ОД.10 «Железобетонные и каменные конструкции», в разделе «Основы теории сопротивления железобетона», что подтверждено Справкой о внедрении результатов диссертационной работы в учебный

процесс ФГБОУ ВО Сибирского государственного университета путей сообщения.

7. Достоинства и недостатки по содержанию и оформлению диссертации и автореферата

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание. Список литературы из 122 наименований, в том числе и 56 зарубежных публикаций, свидетельствует о глубоком изучении соискателем исследуемой проблемы.

Основные результаты диссертации изложены в 11 научных работах, при этом 4 статьи опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий рекомендованных ВАК при Минобрнауке РФ, а одна статья опубликована в журнале, входящем в международные реферативные базы данных и системы цитирования. Результаты диссертационной работы достаточно хорошо апробированы на Всероссийских и Международных научных конференциях.

К достоинствам диссертации следует отнести: 1) подробный и глубокий критический анализ теоретических и численных подходов к моделированию сцепления арматуры с бетоном, а также экспериментальных методик исследования их взаимодействия; 2) корректную обработку методами математической статистики результатов натурных экспериментов по вытягиванию стальной арматуры из бетонных обойм разной длины, проведенных лично соискателем; 3) разработку достаточно простой и эффективной методики идентификации механических характеристик фиктивного материала контактного слоя в зоне взаимодействия арматуры со связующим по параметрам нормального закона сцепления; 4) направленную ориентацию разработанной математической модели на использование стандартных пакетов прикладных программ; 5) верификацию всех расчетных результатов, которая выполнена путем сравнения с экспериментальными данными, полученными либо самим соискателем, либо другими исследователями, в том числе и зарубежными, причем сравнение с экспериментом, как правило, показывает не просто удовлетворительное, а хорошее согласование.

К замечаниям и вопросам по содержанию диссертации и автореферата относится следующее:

1. В работе строго не определены границы применимости разработанной математической модели взаимодействия арматуры с бетоном. Так как модель не учитывает деградацию фиктивного материала контактного слоя, соответствующую ниспадающей ветви нормального закона сцепления М.М. Холмянского, следовало бы указать при каких уровнях сдвиговых деформаций или интенсивности деформаций в контактном слое расчет, выполненный по предлагаемой модели, можно считать приемлемым с практической точки зрения.

2. Предложенная математическая модель не учитывает явления распора, который наблюдается в экспериментах по вытягиванию арматуры из бетона. Это обстоятельство не позволяет в рамках данной модели оценить минимально допустимое расстояние между армирующими элементами в железобетоне.

3. В формулах (3.22) и (3.23) при определении модуля Юнга фиктивного материала контактного слоя по параметрам нормального закона сцепления коэффициент Пуассона этого материала назначается равным коэффициенту Пуассона бетона без всякого на то обоснования. В действительности, коэффициент Пуассона фиктивного материала контактного слоя является свободным параметром модели и может быть использован в качестве параметра ее настройки. Так, задание отрицательного коэффициента Пуассона (что теоретически допустимо для изотропных материалов, каковым и предполагается материал контактного слоя) позволило бы соискателю в какой-то мере смоделировать явление распора.

4. Для моделирования механического поведения фиктивного материала контактного слоя используется теория пластичности Прандтля – Рейсса (идеальная пластичность), поведение же арматуры описывается соотношениями теории Прандтля – Рейсса – Хилла (учитывается изотропное упрочнение). Не ясно, почему соискатель не использовал теорию Прандтля – Рейсса – Хилла и для описания механического поведения материала контактного слоя. Это позволило бы более точно смоделировать процесс взаимодействия арматуры с бетоном на начальной стадии деформирования контактного слоя, соответствующей восходящей ветви в нормальном законе сцепления.

5. Имеется ряд редакционных замечаний по тексту диссертации:

- отсутствует расшифровка аббревиатуры НДС;
- по всему тексту диссертации и автореферата используется неудачный термин «нелинейное деформирование», под которым понимается «неупругое деформирование»;
- в заголовке табл. 2.1 использован неудачный термин «модуль деформации», под которым понимается касательный модуль;
- в главе 3 неоднократно использован неудачный термин «поверхность пластичности», под которой понимается поверхность текучести;
- на рис. 3.13 и в формуле на стр. 81 не указан смысл параметра γ_0 и его значения, что не позволяет оценить по абсолютной величине деформацию сдвига в контактном слое;
- в формуле (4.1) не определен параметр p ; судя по всему, это – периметр поперечного сечения арматуры.

Обнаружен ряд досадных опечаток:

- в формуле (2.9) вместо величины S_x должно быть $S_{\bar{x}}$;
- на рис. 3.3, *a* вместо величины ξ' должно быть ξ_1 ;
- опечатка допущена в подписи оси абсцисс на рис. 4.1;
- ряд опечаток допущен при оформлении списка цитируемой литературы.

Однако указанные замечания и недостатки принципиально не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

Заключение

На основе критического анализа материалов диссертации и автореферата, а также замечаний, приведенных выше, можно сделать следующий вывод: диссертационная работа Самошкина Антона Сергеевича «Исследование взаимодействия арматуры с бетоном расчетно-экспериментальными методами» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решения ряда научных задач, имеющих важное значение для усовершенствования методик расчетов железобетонных конструкций.

Диссертация Самошкина А.С. соответствует критериям, приведенным в пунктах 9–11 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями на 2 августа 2016 г.), а ее автор, Самошкин Антон Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Ведущий научный сотрудник
ФГБУН Института теоретической
и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН,
д-р физико-математических наук



Янковский Андрей
Петрович

6.02.2018

Научная специальность: 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Подпись Янковского Андрея Петровича заверю

Зав. канцелярией Я. П. Крамаров

Почтовый адрес: Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, д. 4/1.

Раб. тел.: 8(383)3303804

E-mail: yankovsky_ap@rambler.ru