

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВО «УрФУ имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

А.В. Германенко



« 24 » декабря 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (УрФУ)
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

Диссертация «Разработка модели пластичного деформирования и разрушения бетона с учётом повреждаемости и её применение для оценки сопротивляемости плоских плит перекрытий продавливанию» выполнена на кафедре систем автоматизированного проектирования объектов строительства Института Строительства и Архитектуры (ИСА).

В период подготовки диссертации соискатель, Бударин Александр Михайлович, работал в ООО «ПБ Р1» в должностях инженера инженера-конструктора (с февраля 2018 года по февраль 2019 года), ведущего инженера-конструктора (с марта 2019 года по сентябрь 2020 года, руководителя группы конструкторов (с октября 2020 года по июнь 2021 года), в АО «Институт Гидропроект» в должностях ведущего инженера (с июля 2021 года по сентябрь 2022 года), руководителя группы (с августа 2022 года по май 2023 года), главного специалиста (с июня 2023 г. по настоящее время). Обучался в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 08.06.01 – Техника и технологии строительства (Строительные конструкции, здания и сооружения) с 01.09.2018 г. по 31.08.2022 г.

В 2018 г. окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности 08.05.01 – «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент, советник РААСН, Алехин Владимир Николаевич, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования объектов строительства Института Строительства и Архитектуры ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

ВЫПИСКА

из протокола № 3

заседания кафедры систем автоматизированного проектирования объектов строительства Института Строительства и Архитектуры ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» от «10» декабря 2025 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ: заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования объектов строительства – кандидат технических наук, доцент, советник РААСН, Алехин Владимир Николаевич; члены кафедры: Антипин Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры; Балуев Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры; Бушинская Анна Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры; Городилов Сергей Николаевич, старший преподаватель кафедры; Макаркин Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры; Плетнев Максим Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры; Полуян Людмила Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры; Тимашев Святослав Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры; Ушаков Олег Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры.

ПРИГЛАШЕНЫ: Беляева Зоя Владимировна, кандидат технических наук, заведующая кафедры строительных конструкций и механики грунтов УрФУ, заместитель директора по науке и инновациям Института Строительства и Архитектуры УрФУ; Пастухова Лилия Германовна, кандидат технических наук, заведующая кафедрой гидравлики; Пыхтеева Надежда Филипповна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций и механики грунтов УрФУ.

Председатель заседания: старший преподаватель, ученый секретарь кафедры систем автоматизированного проектирования объектов строительства Городилов С. Н.

Продолжительность выступления Бударина Александра Михайловича – 20 минут. По окончании выступления были заданы в устной форме 10 вопросов:

1. Почему для разработанной модели бетона использовалась комбинация теории пластического течения и механики разрушения?
2. Каким образом выполняется подбор параметров модели бетона?
3. Какая прочность используется в модели в качестве прочности на одноосное сжатие – цилиндрическая или призмная?
4. Почему в качестве основы для предельной поверхности была использована поверхность Менетри-Виллама?
5. Какие новые данные были получены в результате численного исследования?
6. На основании каких критериев выбирался алгоритм для регрессионного анализа?
7. Как можно подтвердить надежность разработанной расчетной методики?
8. Какой экономический эффект может быть получен от использования представленной расчетной методики при проектировании строительных объектов?

9. Как определить величину коэффициента, зависящего от типа поперечного армирования?

10. Можно ли упростить полученную расчетную методику?

На заданные вопросы были даны аргументированные ответы и пояснения.

По итогам обсуждения диссертационной работы «Разработка модели пластичного деформирования и разрушения бетона с учётом повреждаемости и её применение для оценки сопротивляемости плоских плит перекрытий продавливанию» было принято следующее заключение:

Целью исследования является разработка модели пластичного деформирования и разрушения бетона с учётом повреждаемости, а также методики расчета плит на продавливание.

Личный вклад автора.

- Разработка и реализация нелинейной модели бетона;
- Выполнение 4х серий численных испытаний, посвященных изучению влияния различных параметров на механизм разрушения плоских железобетонных плит при продавливании;
- Разработка методики расчёта плит на продавливание с помощью регрессионного анализа методом наименьших квадратов с использованием алгоритма Левенберга-Марквардта.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационного исследования были доложены и получили одобрение на следующих конференциях: International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (Владивосток, 2018); 7th International Symposium «Actual Problems of Computational Simulation in Civil Engineering» (Новосибирск, 2018); International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (Челябинск, 2019); 10th International Scientific Conference on Building Defects (Ceske Budejovice, Чехия, 2018); 4th International Scientific and Practical Conference on New Information Technologies in the Architecture and

Construction (Екатеринбург, 2021); VII International Conference «Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures» (Екатеринбург, 2021), III Международный научно-практический симпозиум «Будущее строительной отрасли: Вызовы и перспективы развития» (Москва, 2025).

Научная новизна работы:

1. Разработана новая нелинейная модель бетона на базе теории пластического течения (основные положения которой описаны в работах D.C. Drucker и W. Prager) и механизма разрушения. Для учета эффектов контракции и дилатации в модели используется двойное независимое упрочнение предельной поверхности. Механизм упрочнения зависит от нормы тензора пластических деформаций и вида напряженного состояния. Для описания процесса разупрочнения в модели используется два независимых параметра поврежденности: параметры сжатия и растяжения. Использование независимых параметров позволяет учитывать изменение жесткости бетона при циклическом и знакопеременном нагружениях. Для решения проблемы локализации необратимых деформаций также учета масштабного эффекта используется энергетический подход. На основании результатов валидации можно заключить, что представленная модель позволяет с хорошей точностью моделировать поведение бетонных и железобетонных конструкций в рамках разных видов НДС.

2. Выполнены испытания 107 численных образцов на продавливание с конструктивными параметрами, характерными для реальных строительных объектов, но отсутствующими в базе лабораторных и численных испытаний. Численные испытания были разделены на 4 серии. В первой серии испытаний изучено влияние масштабного эффекта, во второй – влияние пролета среза плиты, в третьей – относительного размера опоры, в четвертой – процента продольного армирования растянутой зоны плиты. Для каждой серии были получены данные о зависимости несущей способности конструкции от исследуемого конструктивного параметра.

3. С помощью регрессионного анализа методом наименьших квадратов, на основании результатов лабораторных испытаний 590 плит, представленных в исследованиях различных авторов, разработана новая методика расчета плит на продавливание. На основании результатов численных испытаний выполнена валидация методики. Разработанная методика расчета плит на продавливание отражает влияние основных механических и конструктивных параметров и имеет более высокую степень соответствия результатам лабораторных испытаний по сравнению с расчетными методиками, представленными в СП 63.13330.2018, Eurocode 2, ACI 318-25, Model Code 2020.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методики расчета плоских железобетонных плит на продавливание. В рамках работы получены данные о несущей способности и деформациях железобетонных плит различной конфигурации.

Практическая значимость работы:

1. Дана оценка точности нормативных методик расчета плит на продавливание на основании сравнения с результатами опытных данных.

2. Разработанная модель бетона позволяет выполнять численное моделирование бетонных и железобетонных конструкций в рамках статического кратковременного нагружения и может быть использована для решения широкого спектра задач.

3. Разработанная методика расчета плит на продавливание может быть использована для проверки несущей способности на продавливание плитных конструкций с различными механическими и конструктивными параметрами.

Достоверность результатов достигается за счет:

1. Использования апробированных математических и статистических методов анализа результатов.

2. Согласованности результатов численных исследований и экспериментальных данных.

3. Использование программного комплекса ANSYS, верифицированного в системе RAACH для проведения численных исследований.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности

2.1.9. Строительная механика (технические науки), а именно пунктам:

п. 2. Линейная и нелинейная механика конструкций, зданий и сооружений, разработка физико-математических моделей их расчета.

п. 3. Аналитические методы расчета зданий, сооружений и их элементов на прочность, жесткость, устойчивость, при статических, динамических, температурных нагрузках и других воздействиях.

п. 4. Численные и численно-аналитические методы расчета зданий, сооружений и их элементов на прочность, жесткость, устойчивость при статических, динамических, температурных нагрузках и других воздействиях.

Ценность научных работ соискателя подтверждается публикацией их результатов в 8 печатных работах, из которых: 6 опубликованы в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ и 2 работы были опубликована в сборниках трудов конференций, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science.

Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Статьи, опубликованные в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий ВАК по специальности 2.1.9:

1. Бударин А. М. Деформационно-прочностная модель бетона с двойным независимым упрочнением / А. М. Бударин, Г. И. Ремпель, А. А. Камзолкин, В. Н. Алехин // Вестник МГСУ. - 2023. - №18. - С. 517–532.

2. Бударин А. М. Деформационно-прочностная модель бетона с двойным независимым упрочнением и повреждением / **А. М. Бударин**, Г. И. Ремпель, А. А. Камзолкин, В. Н. Алехин // Вестник МГСУ. - 2024. - №19. - С. 527–543.

3. Ремпель Г. И. Обзор и сравнительный анализ критериев прочности для моделирования нелинейного поведения бетона / Г. И. Ремпель, **А. М. Бударин**, А. П. Долгих, А. А. Камзолкин, В. Н. Алехин // Вестник МГСУ. - 2024. - №4. - С. 857-877.

4. Бударин А. М. Методика расчета плит на продавливание, построенная с использованием регрессионного анализа / **А. М. Бударин**, О. Ю. Ушаков, Л. С. Сабитов, Л. Р. Маилян, С. С. Сосновских // Вестник МГСУ. - 2025. - №6. - С. 867–887.

Статьи, опубликованные в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий ВАК по смежной специальности 2.1.1:

5. Бударин А. М. Численное исследование влияния масштабного эффекта на продавливание толстых железобетонных плит / **А. М. Бударин**, О. Ю. Ушаков, Л. С. Сабитов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2025. - №1 - С. 26–33.

6. Бударин А. М. Численное моделирование изгибаемых железобетонных элементов с использованием критерия прочности Друкера—Прагера / **А. М. Бударин**, В. Н. Алехин М. В. Плетнев // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2018. - №3 - С. 74–77.

Статьи, опубликованные в сборниках трудов конференций, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science и др.:

7. Budarin A. M. Numerical modelling of the reinforced concrete beam shear failure / **A. M. Budarin**, V. N. Alekhin, L. I. Avdonina // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering – 2019. - №687.

8. Alekhin V. N. Investigation of longitudinal reinforcement contribution in shear punching of reinforced concrete flat slabs without transverse reinforcement / V. N. Alekhin, **A. M. Budarin**, M. V. Pletnev, L. I. Avdonina // MATEC Web of Conferences. - 2019. - №279.

Диссертация «Разработка модели пластичного деформирования и разрушения бетона с учётом повреждаемости и её применение для оценки сопротивляемости плоских плит перекрытий продавливанию» Бударина Александра Михайловича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

В голосовании приняли участие 10 человек. Результаты голосования: за – 10 чел., против – нет, воздержалось – нет.

Председатель заседания

С.Н. Городилов

Подпись Городилова С. Н. заверяю

Ученый секретарь Урфу



В.А. Морозова