

**ОТЗЫВ**  
официального оппонента на диссертацию  
Теличко Виктора Григорьевича  
на тему «ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ  
КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЁТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СРЕД И ПОВРЕЖДАЕМОСТИ»,  
представленную на соискание учёной степени доктора технических наук  
по специальности 2.1.9. Строительная механика

Представленная на отзыв диссертационная работа Теличко В.Г. состоит из введения, 5-и глав, заключения, списка литературы и 5-и приложений. Полный объем работы составляет 393 страниц, в том числе 317 страниц основного текста, который иллюстрируется 187 рисунками и 15 таблицами. Список литературы содержит 334 источника.

**Актуальность темы.** Актуальность проблемы исследований в области разработки теории деформирования и прочности пространственных конструкций и их отдельных элементов из начально-изотропных материалов, чьи физико-механические характеристики зависят от вида и характеристик напряжённого состояния, в том числе с учётом воздействия агрессивных сред и температуры, обусловлена необходимостью достоверного прогнозирования характеристик напряжённо-деформированного состояния конструкций в рамках современных нормативных требований.

К текущему времени накоплен значительный теоретический багаж знаний в направлении проведения исследований, связанных с получением уточнённых теорий поведения современных материалов в строительных конструкциях. Одним из главных направлений развития строительной механики, является развитие существующих и создание новых расчётных моделей, применимых в реальной практической деятельности. В частности, возникла очевидная потребность в корректном моделировании работы материалов, проявляющих чувствительность своих физико-механических свойств к напряжённому состоянию. Причем добиться удовлетворительных результатов для ряда актуальных задач не удалось, несмотря на наличие отдельных успехов.

Между тем потребность в достоверных расчётных моделях, построенных для таких дилатирующих материалов, как конструкционные графиты, бетон, керамика, стеклопластики и другие композитные материалы, становится всё более актуальной. Этому способствует их растущая распространённость в строительной отрасли, а также отсутствие обобщённых подходов к математическому моделированию конструкций, особенно с учётом влияния внешних эксплуатационных сред, а также совместной работы с основаниями различных типов.

Действующая нормативная документация в области расчётного моделирования в строительстве требует учёта всех вышеперечисленных особенностей, определяющих возможность повышения точности прогнозной оцен-

ки напряжённо-деформированного состояния строительных конструкций. Откуда и возникает потребность в новых механико-математических моделях, а также средствах их использования в расчётной практике.

**Анализ содержания работы.** Целью диссертационной работы является разработка в рамках единого подхода теории деформирования и прочности, а также практического исследовательского инструментария для изучения напряжённо-деформируемого состояния конструкций, формирующегося при использовании материалов, обладающих зависимостью физико-механических характеристик от напряжённого состояния, с учётом повреждаемости, воздействия агрессивных эксплуатационных сред и температуры.

Во введении обоснована актуальность проблемы и выбор направления исследований, сформулированы цели и задачи, основные положения, приведена краткая аннотация всех глав работы.

Первая глава состоит из шести подразделов. Здесь приведён обзор литературы по теориям деформирования и прочности, а также вопросам создания практического инструментария для расчётного моделирования пространственных комбинированных конструкций, включающих несущие элементы из физически нелинейных материалов, свойства которых зависят от напряжённого состояния, с учётом потери прочности от воздействия эксплуатационной внешней среды или повреждаемости в форме трещинообразования.

Во второй главе анализируется возможность применения различных форм потенциала деформаций Матченко-Трещёва для получения определяющих соотношений, которые описывают поведение начально-изотропного нелинейного разносопротивляющегося материала. Обоснован выбор потенциала деформаций, построенного в рамках методики нормированных пространств напряжений. Формулируются две формы термодинамического потенциала Гиббса для существенно нелинейных разносопротивляющихся материалов.

В третьей главе формулируется методика решения задач механики разрушения элементов конструкций из материалов, свойства которых зависят от компонентного состава тензора напряжений и имеющих различные значения механических характеристик при разных видах напряженного состояния. Решены две практически востребованные задачи по деформированию полубесконечных пластин с дефектами в виде трещины разрыва или сдвига.

В четвертой главе диссертации приведена процедура вывода уравнений метода конечных элементов для треугольного плоского гибридного многослойного конечного элемента с тремя узлами и пятью степенями свободы в узле, применяемого для моделирования элементов конструкций, допускающих их представление в виде совокупности плоских элементов. Рассмотрены дополнительные технические гипотезы и способы моделирования фиктивных слоёв в конечном элементе для учёта механической неоднородности по толщине. Получена матрица жёсткости объёмного изопараметрического конечного элемента, который имеет форму тетраэдра, с тремя линейными степеня-

ми свободы в узле. Этот конечный элемент используется для моделирования массивных объектов, таких как деформируемое грунтовое основание и оболочки средней толщины.

Решены некоторые задачи по деформированию оболочек различной геометрической конфигурации из разносопротивляющихся материалов в условиях только механического нагружения, задача расчётного моделирования давления штампа на многослойное деформируемое полупространство, задача об определении напряжённо-деформированного состояния здания, работающего совместно с деформируемым многослойным основанием.

*В пятой главе* анализируются возможности решения связанных задач термоупругости на базе применения метода конечных элементов для материалов, проявляющих зависимость механических свойств от напряжённого состояния. Строятся соответствующие уравнения, прием внимание акцентируется на матрицах, описывающих нелинейную разносопротивляемость и зависимость коэффициентов линейного температурного расширения от компонентов тензора напряжений. Рассматриваются варианты граничных и начальных условий, которые могут быть использованы для получения вычислительных моделей. Здесь же рассматривается новая математическая модель для определения напряжённо-деформированного состояния армированных слоистых плит с учётом разносопротивляемости, повреждаемости и комплексного воздействия агрессивной хлоридсодержащей среды на защитный неармированный слой двойного назначения из эпоксидного полимербетона. Численное моделирование механической работы плит, представленных примерами из экспериментов Г. Баха и О. Графа, В. Гелера и Х. Амоса, показало корректность и адекватность предлагаемой в исследовании теоретической модели.

*В заключении* обобщены важнейшие результаты и сформулированы выводы, полученные на основе проведённых исследований.

*В приложениях* приведены дополнительные материалы, иллюстрирующие особенности решения задач, а также документы, подтверждающие вклад автора в практическую реализацию разработанных им теоретических положений и программ, в том числе свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, а также справка о внедрении результатов диссертационной работы.

*В целом* автором получены результаты исследования по проблеме деформирования комбинированных конструкций, системы здание-основание и их отдельных компонентов в условиях воздействия агрессивной внешней среды или температурного нагружения, с учётом зависимости механических свойств грунтов и материалов от параметров напряжённого состояния и повреждаемости в результате деградации или образования трещин в конструкциях.

### **Научная новизна исследований и наиболее важные результаты:**

1. Предложен новый подход к моделированию напряжённо-деформированного состояния пространственных конструкций из существен-

но нелинейных начально-изотропных материалов, чьи механические характеристики проявляют чувствительность к виду напряжённого состояния.

2. Впервые, в рамках применения методики нормированных пространств напряжений, решена задача механики разрушения для полубесконечной пластины из нелинейного изотропного материала, чувствительного к виду напряжённого состояния, с трещинами различных типов.

3. Разработана новая математическая модель связанной термоупругости для существенно нелинейных изотропных материалов, свойства которых зависят от вида реализуемого в точке напряжённого состояния, и на базе предложенного подхода выполнена её программная реализация с использованием метода конечных элементов.

4. Сформулирована новая модель деформирования армированных слоистых плит из нелинейных разносопротивляющихся материалов с учётом деградации слоя защитного материала под воздействием агрессивной среды и повреждаемости несущих слоёв в форме трещинообразования на основе применения новой модификации плоских гибридных конечных элементов.

5. В рамках предложенного подхода к численному моделированию механического поведения строительных конструкций предложена новая достаточно эффективная модель упругопластического деформирования здания на многослойном деформируемом основании с учётом повреждаемости материала несущих конструкций.

6. Получены новые результаты расчётов, демонстрирующие существенные количественные и качественные эффекты, проявляющиеся при численном моделировании конструкций и их элементов из физически нелинейных начально-изотропных материалов, в том числе с учётом воздействия агрессивных эксплуатационных сред и температурных воздействий.

**Научная и практическая ценность работы.** Значимость полученных результатов для науки и практики заключается в том, что разработанные модели и методы позволяют определять:

а) параметры напряжённо-деформированного состояния для систем, состоящих из здания и деформируемого основания, с учётом повреждаемости в форме трещинообразования, чувствительности материалов к виду напряжённого состояния и пластических деформаций в армирующих элементах с помощью новой эффективной реализации концепции гибридных конечных элементов;

б) решения задач связанный термоупругости для элементов конструкций из композиционных материалов, физико-механические характеристики которых зависят от вида напряжённого состояния, с применением объёмных конечных элементов;

в) решения задач механики разрушения для разносопротивляющихся материалов;

г) напряжённо-деформированное состояние элементов строительных конструкций, подвергающихся воздействию некоторых агрессивных сред.

Полученные в диссертационной работе результаты и разработанный программный комплекс повышают обоснованность принимаемых инженерных решений, способствуют более рациональному проектированию, как отдельных элементов, так и конструкций в целом, позволяют оптимизировать экономическую составляющую проектных работ.

Диссертационное исследование открывает перспективы реализации единого по форме и содержанию подхода для математического моделирования сложных пространственных конструкций с учётом воздействия некоторых эксплуатационных сред и повреждаемости.

Считаю, что результаты диссертационной работы могут найти своё применение в учебном процессе при преподавании различных дисциплин в магистратуре по направлению 08.04.01 «Строительство».

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, результатов и выводов.** Достоверность результатов подтверждается использованием фундаментальных положений строительной механики, строгой и конкретной постановкой задач, строгостью математических формулировок, применением известных многократно апробированных численных методов решения краевых задач. Основные результаты работы автора прошли апробацию на ряде российских и международных конференций.

**Публикации и апробация результатов работы. Автореферат.** Основное содержание диссертации в полной мере отражено в 65 публикациях диссертанта, в том числе в центральных научных журналах. 25 печатных работ опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. 5 статей опубликованы в изданиях, индексируемых в научных базах данных SCOPUS и WEB OF SCIENCE. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Опубликована 1 монография по теме исследования. Основные результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на следующих российских и международных конференциях: XXXII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы современного строительства» (2003 г., г. Пенза); Всероссийской научной конференции «Математическое моделирование и краевые задачи» (2004 г., г. Самара); международной научно-технической конференции «Композиционные строительные материалы. Теория и практика» (2007 г., г. Пенза); международной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики» (2009 г., г. Воронеж); на VII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (2012 г., г. Пенза); международной научно-методической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения В.Н. Байкова «Железобетонные конструкции: Исследования, проектирование, методика преподавания» (2012 г., г. Москва); международной конференции «Фундаментальные проблемы механики деформируемого твёрдого тела, математического моделирования и информационных технологий» (2013 г., г. Чебоксары); международной научной конференции «Современные проблемы математики, механики, информатики» (2008, 2013, 2014 гг., г. Тула); международной конференции «Современные проблемы расчёта железобе-

тонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия» (2016 г., г. Москва); всероссийской научно-практической конференции «Роль опорного вуза в развитии транспортно-энергетического комплекса Саратовской области (ТРАНСЭНЕРГОКОМ-2018)» (2018 г., г. Саратов); международной научно-практической конференции, посвящённой 150-летию со дня рождения профессора, автора методики расчёта железобетонных конструкций по стадии разрушения, основоположника советской научной школы теории железобетона, основателя и первого заведующего кафедрой железобетонных конструкций Московского инженерно-строительного института (МИСИ) А.Ф. Лолейта (Лолейтовские чтения-150) «Современные методы расчёта железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям» (2018 г., г. Москва); 5-й Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта (2018 г., г. Тамбов); научно-технической конференции с иностранным участием «Нелинейная механика грунтов и численные методы расчетов в геотехнике и фундаментостроении» (2019 г., г. Воронеж); конференции с международным участием «Современные вопросы механики сплошных сред - 2019» (2019 г., г. Чебоксары); на международной НТК «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии» (2001-2022 гг., Тула); 11-й, 13-16-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (2015, 2017-2020 гг., г. Тула); XVIII Международной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения профессоров Б.М. Бредихина, В.И. Нечаева и С.Б. Стечкина «Алгебра, теория чисел и дискретная геометрия: современные проблемы, приложения и проблемы истории» (2020 г., г. Тула).

Автор принимал участие в работах по выполнению ряда госбюджетных тем на базе Тульского государственного университета. Методики расчёта конструкций, предложенные в диссертационном исследовании, внедрены в проектную и расчётную практику ООО «Строительное проектирование» (г. Тула). В тексте диссертации есть справка о внедрении результатов диссертационного исследования.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

**Язык, стиль и оформление диссертации.** Диссертация Теличко В.Г. написана общепринятым в научной литературе языком, с использованием известной терминологии, оформлена в компьютерном наборе в соответствии с требованиями ВАК и действующими стандартами.

**По содержанию диссертации и автореферата есть ряд замечаний:**

1. Автор использует понятие **значимо нелинейных** начально изотропных материалов, не поясняя, что же вкладывается в это понятие.

2. В работе не совсем корректно классифицируются агрессивные среды по их воздействию. В частности, автор пишет о химически активных средах, не поясняя, что же это означает. В то же время в тексте работы анализируется

влияние хлоридсодержащей среды, которая с нашей точки зрения относится к физически активным средам.

3. При расчёте здания на деформируемом основании автор использует плоские конечные элементы с пятью степенями свободы в узлах для надземной части здания и объёмные конечные элементы с тремя линейными степенями свободы для моделирования грунта. Из текста диссертации или автореферата не совсем понятно, как автор избежал проблем с геометрической изменяемостью расчётной схемы.

4. Задачи механики разрушения решены частью аналитическими методами, а частично с помощью метода конечных разностей. Не поясняется, чем обусловлен такой выбор решений, и как это согласуется с заявленной концепцией однородности и единства исследований.

5. Описанная в п. 5.4.3 схема воспроизведения эффектов, связанных с моделированием шарнирного опирания, для модели, построенной в рамках трёхмерной теории упругости, представлена как один из многих вариантов задания подобных граничных условий. Обоснование такой позиции не приводится. На стр. 266 автор не аргументирует также утверждение, что выбранный вариант «шарнирного» опирания не вносит существенной погрешности,

6. Диссертация ориентирована на расчёт тонкостенных оболочечных конструкций в части термомеханического нагружения, связанной термоупругости. В связи с этим возникает логичный вопрос о целесообразности использования именно объёмных конечных элементов. Применение плоских конечных элементов значительно сократило бы размерность разрешающей системы уравнений и упростило граничные условия в случае шарнирного опирания, как это сделано в других задачах исследования.

7. Рассматриваемые в разделе 4.5 грунты вряд ли можно отнести к традиционным, широко встречающимся в реальной проектной практике на территории Российской Федерации, тогда как следует из текста диссертации автор ограничен в выборе только наличием простейших экспериментальных данных. При этом автор никак не обосновывает данный выбор.

8. Рисунки 4.55–4.59 содержат избыточные данные, которые нигде в работе не используются, так как согласно п. 2.2.1 для расчёта констант в рамках возможностей используемого потенциала деформаций нужны только одноосные испытания.

9. При решении задач деформирования плит с защитным слоем из полимербетона автор ограничивается только рассмотрением диффузии агрессивной среды в полимербетон, останавливая процесс расчёта. С практической точки зрения это ограничивает спектр рассматриваемых задач, так как задачи, когда диффузия осуществляется напрямую в бетонные/железобетонные слои, весьма распространены.

10. По нашим данным интенсивность воздействия агрессивных сред на свойства материалов и поведение конструкций довольно сильно зависит от вида и уровня напряженно-деформированного состояния. Будем полагать,

что учет такого эффекта будет проводиться в дальнейших исследованиях соискателя.

Перечисленные замечания не затрагивают существа результатов и не изменяют общей положительной оценки диссертации.

**Заключение.** Диссертация Теличко Виктора Григорьевича на соискание учёной степени доктора технических наук представляет собой научно-квалификационную работу, содержащую оригинальное исследование проблемы деформирования и прочности строительных конструкций из материалов, проявляющих чувствительность к виду напряжённого состояния, с учётом повреждаемости и влияния внешних эксплуатационных сред, что важно для современной строительной механики. Диссертация, судя по представленному материалу, выполнена автором самостоятельно и на высоком научно-техническом уровне.

Считаю, что представленная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», а ее автор Теличко Виктор Григорьевич заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Официальный оппонент  
Заслуженный деятель науки РФ, доктор  
технических наук (2.1.9 - 01.02.03 – Строительная  
механика), профессор кафедры «Транспортное  
строительство» Федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Саратовский государственный  
технический университет  
имени Гагарина Ю.А.», профессор

И.Г. Овчинников

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, СГТУ  
имени Гагарина Ю.А., корпб.кабю35.

Тел: \_\_\_\_\_

e-mail: bridgesar@mail.ru

Подпись Овчинникова Игоря Георгиевича  
Ученый секретарь Ученого совета  
имени Гагарина Ю.А.

Н.В. Тищенко

15.03.2023