

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D072900 – «Строительство»

Дуйсенбеков Болат Камбарович

Исследование напряженно-деформированного состояния пологих оболочек покрытия на основе нелинейных уравнений ползучести

Актуальность темы исследования. На современном этапе развития строительной отрасли РК большое внимание уделяется перспективным объемно-пространственным решениям современных зданий и сооружений, надежности их конструктивных решений и архитектурной выразительности. В настоящее время, как в РК, так и в развитых странах всего мира, большое распространение получает строительство большепролетных объектов (аэропортов, вокзалов, концертных залов, выставочных павильонов, стадионов, развлекательных комплексов, промышленных сооружений разного назначения и т.д.), которые являются олицетворением технического прогресса. При возведении таких объектов, наиболее ответственным элементом является конструкция покрытия и ее сопряжение с несущими элементами.

Как показывают последние научные исследования эта задача успешно решается посредством использования тонкостенных пространственных оболочек разных конструктивных форм и материалов. Эффективные пологие оболочечные конструкции такие как длинные цилиндрические оболочки, панели-оболочки, оболочки положительной гауссовой кривизны и т.д. обладают исключительно богатыми возможностями, как с точки зрения надежности их долгосрочной эксплуатации, так и по созданию новых выразительных архитектурных форм. Среди перечисленных конструкций покрытия наиболее функциональными и перспективными, на наш взгляд, являются оболочки положительной Гауссовой кривизны, посредством применения которых в Европе построено 1,5 млн. м², а в России 1,0 млн. м² полезной площади.

Наиболее часто применяемыми материалами для их конструирования являются: железобетон, листовая и прокатная сталь, пластмасса, дерево, полимерные и композитные материалы. Но доминирующее значения при изготовлении пологих оболочек имеет железобетон. Этот композитный неоднородный материал относительно дешев, огнестоек, хорошо сопротивляется внешним воздействиям (атмосферным осадкам, агрессивным химическим элементам, температурным перепадам и т.д.). Благодаря возможности широкого варьирования класса и состава цемента, добавки пластификаторов, использования разной арматуры и конструирования арматурного каркаса, можно добиваться требуемых проектных качеств изготавливаемых тонкостенных пространственных оболочек. Этот материал

имеет ряд специфических особенностей, к которым можно отнести линейность и нелинейность деформирования в зависимости от стадии нагружения, ползучесть, раскрытие трещин, без полной потери несущей способности и т.д. Если эти свойства, достаточно изученные при расчете и конструировании часто употребляемых железобетонных элементов (колонн, ригелей, плит, балок и т.д.), не использовать при внедрении тонкостенных пространственных оболочек, то будут иметь место излишние запасы, уменьшающие экономическую эффективность и финансовую привлекательность большепролетных систем покрытия. Как известно, повышение эффективности капитальных вложений, достигаемая в основном из-за снижения материалоемкости сооружений, уменьшения трудовых затрат и сокращения сроков строительства, играет огромную роль в развитии экономики. По данным зарубежных исследований применение сложных большепролетных пространственных систем покрытия с учетом реальных условий их работы и свойств материалов, позволяет снизить себестоимость несущих конструкций до 7% и сооружений в целом до 4%.

Несмотря на очевидные преимущества большепролетных тонкостенных конструкций покрытий и непрерывное их совершенствование, они реализуются в строительной практике достаточно редко. По мнению специалистов, занимающихся научными исследованиями в этой области, сдерживающими факторами являются: отсутствие достоверных систем расчета, в силу сложности и многофакторности физических процессов, происходящих при работе тонкостенных пространственных конструкции, в частности оболочек положительной Гауссовой кривизны; недостаточное количество натуральных экспериментальных исследований; нет единого мнения о результатах численного моделирования исследований с разными подходами к решению данной задачи; неполная верификация расчетных программных комплексов; невозможность проведения полного аналитического сравнения расчетных и экспериментальных полученных данных по напряженно-деформированному состоянию (НДС) и т.д.

При длительном воздействии нагрузки в них может проявиться свойство ползучести материала, т.е. изменение во времени деформаций и напряжений при неизменной нагрузке, что может привести к потере прочности или даже к потере устойчивости. Так как теория ползучести сравнительно молодая наука, то решения задач устойчивости и определения напряженно-деформированного состояния для пологих оболочек с учетом ползучести материала является актуальным.

В этой работе представлен обширный материал по экспериментальному исследованию пологих оболочек и обзор работ при исследовании конструкций с учетом ползучести материала. Но автор основывается только на экспериментальные результаты других авторов, а сам разрабатывает численно-экспериментальную часть. В итоге сопоставляет свои данные с результатами других натуральных экспериментальных решений.

Недостаточная изученность и несовершенная расчетная база являются причиной деформаций и аварий рассматриваемых конструкций покрытия. Наиболее известной является авария развлекательного комплекса

«Трансвааль-парка» (РФ, г. Яснев, 2004г.), по результатам исследования которой экспертной комиссией сделано заключение: «Следует продолжить работы по разработке расчетного аппарата и программ для анализа нелинейного деформирования ползучести, трещинообразования и разрушения, железобетонных статически неопределимых конструктивных систем».

Используемые в настоящее время в Республике Казахстан программные комплексы ЛираСАПР-2015, ROBOT, SCAD, ANSYS, COSMOS-M актуализированы и хорошо согласуются с требованиями Еврокодов. В них учтены международные требования, что способствует исследованию монолитных не только сложных конструкций, но и сборных элементов и даже целых строительных объектов. Все наиболее известные расчетные комплексы базируются на методе конечных элементов (МКЭ), что позволяет их использовать, учитывая физическую и геометрическую нелинейность, ползучесть материала и еще ряд очень важных факторов.

Но, несмотря на указанные достоинства вышеперечисленных компьютерных программ, они охватывают не все специфические особенности расчета пространственных большепролетных систем покрытия и, в частности, оболочек положительной Гауссовой кривизны.

Поэтому данная научное исследование направлено на разработку новой компьютерной программы, позволяющей наиболее точно, по сравнению с существующими программами, определять НДС, деформации тонких пологих оболочек на основе нелинейных уравнений ползучести, а также их верификацию и доказательство достоверности получаемых результатов, путем сопоставления с реальными натурными данными, являются актуальными и востребованными на современном этапе развития строительного производства.

Целью настоящей работы является разработка новой методики расчета пологих железобетонных оболочек положительной Гауссовой кривизны на основе уточнения НДС путем учета физической, геометрической нелинейности и деформаций ползучести материала и использования численных методов расчета.

Были решены следующие задачи для достижения поставленной цели:

- разработан алгоритм расчета пологих железобетонных оболочек, позволяющий решить задачу определения параметров НДС с учетом физической, геометрической нелинейности и деформаций ползучести материала;

- выведены конечно-разностные уравнения пологих оболочек с учетом деформаций ползучести, геометрической и физической нелинейности;

- исследовано НДС пологих оболочек на основе нелинейных уравнений ползучести материала при длительных нагрузках;

- проведен анализ НДС пологих оболочек и влияние физической и геометрической нелинейности.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является пологие оболочки положительной Гауссовой кривизны. Предметом

исследований является НДС, устойчивость пологих оболочек с учетом физической, геометрической нелинейности и процесса изменения деформации ползучести.

Научная новизна работы:

- разработан алгоритм решения геометрически и физически нелинейных задач и задач деформирования ползучести материала на основе метода конечных разностей (метод сеток);

- разработана математическая модель деформирования пологих оболочек с учетом физической, геометрической нелинейности и ползучести материала;

- разработана программа на базе «DELPHI-7», которая во времени рассчитывает параметры НДС полой оболочки с учетом нелинейных уравнений ползучести;

- показано, что при длительном нагружении, процесс роста прогибов увеличивается, и может привести к потере устойчивости полой оболочки;

- установлено что, учет геометрической и физической нелинейности позволяет более точно рассчитать параметры НДС оболочки, приводящие к потере устойчивости при длительных нагрузках;

- выявлено, что разработанная программа при расчете пологих оболочек учитывает реальные свойства материала и показывает результаты более близкие к экспериментальным данным, чем современная программа ЛираСАПР-2015. Это обусловлено учетом более близких к реальным свойствам физических уравнений ползучести бетона.

Практическая значимость:

- разработанная на базе «DELPHI-7» программа и методика исследования пологих оболочек может быть применена в проектно-конструкторских организациях, в учебном процессе, научных исследовательских институтах и государственных экспертизах;

- расчет пологих оболочек с учетом реальных свойств материалов позволит обеспечить экономию несущих конструкций до 7% и снизить стоимость сооружений на 4-6%, за счет учета физической и геометрической нелинейности и ползучести материала;

- разработанная методика и на ее основе программа позволяют быстро выполнять оценочный расчет с учетом нелинейной ползучести.

Методы исследования. Теоретические и численно-аналитические исследования с применением ассоциированных методов современных ЭВМ по определению устойчивости пологих оболочек.

Расчет напряженно-деформированного состояния производилась с использованием метода сеток на основе конечных разностных уравнений, с применением программного комплекса на базе «DELPHI-7», с учетом нормативно-технических документации, обусловленной переходом на Еврокоды.

Алгоритм по расчету пологих оболочек с учетом нелинейной ползучести материала и сравнения результатов с экспериментальными данными.

Реализация работы. Научные результаты были внедрены в учебный процесс ЮКГУ им. М.Ауэзова в лекционный комплекс по дисциплине «Специальный курс по строительным конструкциям».

Программа по расчету пологих оболочек с учетом нелинейной ползучести материала, была внедрена в АО «Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры», в проектную организацию ТОО «Отау строй» и в Управления строительством Туркестанской области. А также автором получено положительное заключение о выдаче патента на полезную модель (регистрационный номер 2020/0983.2 от 04.11.2020г.).

Достоверность результатов исследований подтверждается численно апробированным методом исследования НДС, сравнениями полученных данных с теоретическими и экспериментальными данными других научных исследователей, а также применением достоверных соотношений теории ползучести и пластичности при деформировании пологой оболочки.

Основные положения, выносимые на защиту:

- разработанная на базе «DELPHI-7» программа для расчета пологих оболочек с учетом ползучести материала;
- методика исследования ползучести материала, на основе метода конечных разностей и расчетная программа на ПК напряженно-деформированного состояния пологих оболочек;
- выявление допустимой нагрузки на пологие оболочки из условия обеспечения устойчивости;
- исследование потери устойчивости пологих оболочек с учетом ползучести материала и напряженно-деформированное состояние оболочки при длительном нагружении;
- анализ физических и геометрических параметров НДС пологих оболочек, приводящих к потере устойчивости пологих оболочек.

Связь с планом научно-исследовательских работ и общегосударственными программами. Работа выполнена в соответствии с планом НИР Южно-Казахстанского государственного университета имени М. Ауэзова Б-16-04-13 «Исследование работы гражданских зданий различной конструктивной схемы при различных нагрузках и воздействий».

Работа была выполнена согласно Государственной программе инфраструктурного развития «Нурлы жол» на 2015-2019 годы «Задача 2. Развитие индустриальной инфраструктуры и туристской инфраструктуры. Совершенствование архитектурной, градостроительной и строительной деятельности» (Постановление Правительства Республики Казахстан от 6 апреля 2015 года № 1030).

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на Международных научных конференциях «V International Scientific practical conference «Industrial technologies and engineering»» (Шымкент, Республика Казахстан), «XIV Международная научно-практическая конференция «Бъдещето въпроси от света на науката - 2018»» (София, Болгария), Международная научно-практическая конференция «Ауэзовские чтения – 16: Четвертая промышленная революция» (Шымкент, Республика Казахстан), Международная научно-практическая конференция «Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве-2018» (Екибастуз, Республика Казахстан).

Личный вклад автора состоит в:

- выводе конечно-разностной системы уравнений в *смешанной форме* для расчета шарнирно-опираемых пологих железобетонных оболочек на кратковременное действие нагрузки с учетом физической и геометрической нелинейности, а также трещинообразования, позволяющая учитывать изменение жесткостных параметров в зависимости от уровня нагружения.

- выводе конечно-разностной системы уравнений в *перемещениях* для расчета пологих железобетонных оболочек с жесткими кромками на кратковременное действие нагрузки с учетом физической и геометрической нелинейности, а также трещинообразования, позволяющая учитывать изменение жесткостных параметров в зависимости от уровня нагружения.

- разработке программы для численной реализации разработанных уравнений на компьютерах.

- составлении алгоритма и разработке программы расчета напряжений, деформаций, перемещений, схем распределения трещин, а также для определения длительной критической нагрузки или критического времени железобетонных оболочек.

Публикации. Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 9 научных работах, в том числе 1 статья в журнале, входящего в базу данных Scopus / Web of Science (Thomson Reuters), 4-х статьях в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю с сфере образования и науки Министерства образования и науки РК, 4-х тезисах в материалах международных конференции, в том числе 1 в материалах зарубежной конференции.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из основных пяти разделов, основных выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Основное содержание данной работы изложено на 177 страниц и включает 33 рисунков и 7 таблиц.