

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
директора по научной работе
АО «НИЦ «Строительство»,
доктор технических наук,
профессор

А.И. Звездов

28 2019г.



ОТЗЫВ

Ведущей организации

Акционерного общества «Научно-исследовательский центр «Строительство»,
на диссертационную работу Нагибовича Александра Игоревича
«Суперэлементное моделирование динамических характеристик
большеразмерных комбинированных систем «основание – железобетонные
конструкции – металлические конструкции», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 –
Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертационного исследования.

Суперэлементное моделирование сравнительно редко используется в области строительства в нашей стране при разработке расчетных схем. При этом суперэлементы являются мощным вычислительным инструментом. В настоящее время можно выявить два основных направления использования суперэлементов. Первое направление – это использование суперэлементов для моделирования локальных несовершенств, концентраторов и тому подобных объектов, в окрестности которых требуется резкое сгущение сетки конечных элементов. Это позволяет, не ухудшая свойств общей системы разрешающих уравнений, резко повысить точность вычислений. Второе направление использования суперэлементов – это сокращение вычислительных затрат за счет сведения общей задачи к решению группы

задач значительно меньшей размерности. Кроме того, суперэлементы позволяют осуществлять разработку расчетных схем нескольким группам разработчиков.

Этому второму направлению посвящена данная диссертационная работа.

Методы суперэлементного моделирования, реализованные в наиболее мощных программных комплексах (в частности, в ANSYS), как правило, вносят погрешности в граничные условия суперэлемента. Влияние этих погрешностей на результаты динамических расчётов мало исследовано. Особенно это актуально для ответственных и уникальных сооружений, таких, как стадионы, дворцы спорта, аквапарки, торгово-развлекательные комплексы.

Характеристика содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 161 странице, включает 31 рисунка и 42 таблиц. Список цитируемых источников составляет 129 пунктов, в том числе иностранные издания.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, описана степень ее разработанности, сформулирована цель работы – разработка, верификация и апробация эффективной методики суперэлементного моделирования динамических характеристик большеразмерных систем «основание – железобетонные конструкции – металлоконструкции покрытия». Для достижения цели поставлено четыре научных задачи. Указаны положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов, а также личный вклад автора.

В первой главе автором представлен аналитический обзор существующих подходов моделирования напряженно-деформированного состояния и динамических характеристик большеразмерных комбинированных систем «основание – железобетонные конструкции –

металлические конструкции». Подробно представлено описание различных вариантов суперэлементных методов для задач статики и динамики с указанием особенностей их применения. Приведен также обзор современных конечноэлементных программных комплексов. Показано, что суперэлементные подходы реализованы в универсальных и исследовательских программных комплексах, и не представлены в большинстве специализированных, широко применяющихся в российской строительной практике.

Во второй главе представлено описание и теоретическое обоснование суперэлементной методики моделирования динамических характеристик большеразмерных комбинированных систем «основание – железобетонные конструкции – металлические конструкции». Приведено подробное общее описание методики, разработанной автором, проиллюстрированное блок-схемой. Далее описаны вариационная постановка краевых задач трехмерной нестационарной динамики упругой среды, а также численная аппроксимация задач линейной теории упругости. В отдельном разделе описаны методы динамического синтеза подконструкций. Также изложены особенности численной реализации разработанной методики автора. При этом в качестве базового программного комплекса выбран ANSYS Mechanical. Описаны собственные программные разработки автора.

В третьей главе приведены результаты верификации разработанной суперэлементной методики. Верификация проведена на двух задачах. Первый пример выбран из верификационного раздела документации ПК ANSYS Mechanical, демонстрирующий применение и адекватность полученных результатов для различных вариантов метода динамического синтеза подконструкций, реализованных в базовом программном комплексе. В качестве второй верификационной задачи выбран реальный объект – входной блок ТЦ «Волгамолл» в г. Волжский, являющий примером комбинированной системы «основание – железобетонные конструкции – металлические конструкции» относительно малой вычислительной

размерности. Проведен ряд численных экспериментов. Исследовано влияние подробности разбивки модели на конечные элементы, влияние выбора количества и метода учета внутренних форм колебаний подконструкции. На данном примере продемонстрированы эффективность и особенности использования разработанной суперэлементной методики.

Четвертая глава посвящена апробации разработанной суперэлементной методики моделирования динамических характеристик большеразмерных комбинированных систем «основание – железобетонные конструкции – металлические конструкции». Апробация выполнена на двух реальных объектах: стадионах большой вместимости в Нижнем Новгороде и в Ростове-на-Дону. В первом разделе главы приведены описания, геометрические и физико-механические параметры основания и несущих конструкций стадионов. Далее – данные о параметрах расчетных моделей, количестве и типах используемых конечных элементов. Для обоих стадионов разработана «серия» конечноэлементных моделей, включающих в себя модели полной системы, подсистем без суперэлементов и подсистем с суперэлементами. Определены и сопоставлены собственные частоты и формы колебаний полной модели и моделей подсистем. В последнем разделе главы приведен анализ вычислительной эффективности разработанной методики.

Обоснованность и достоверность основных положений

Достоверность полученных результатов и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается:

- корректностью постановки задач в рамках теоретических предпосылок строительной механики, механики деформируемого твёрдого тела;
- обоснованностью алгоритмов расчёта с применением апробированных численных методов строительной механики, механики сплошной среды, реализованных в верифицированных программных комплексах;

- хорошим соответствием результатов расчётов тестовых задач с использованием суперэлементов с результатами расчётов, выполненных обычным методом конечных элементов;

- согласованностью полученных результатов с альтернативными численными данными, а также применением апробированных программных комплексов для численной реализации решений.

Соответствие содержания автореферата содержанию работы

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Автореферат содержит основные результаты и выводы, раскрывает основное содержание работы.

Публикации по теме диссертации

Результаты диссертации опубликованы в 9 научных работах, из которых две статьи – в журнале, входящем в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, две статьи – в иностранном журнале, индексируемом в международных базах цитирования Scopus.

Основные результаты и научная новизна

Научную новизну работы определяют:

- разработанная методика, позволяющая обоснованно разделить исходную систему на связанные подсистемы «основание», «железобетонные конструкции», «металлические конструкции» уникальных объектов строительства, а также снизить вычислительную размерность задач;

- полученные данные о точности и погрешностях при реализации разработанной методики; подтверждена эффективность разработанного подхода к исследованию динамических характеристик комбинированных большеразмерных систем схожего типа;

- решения с применением разработанной методики наукоёмких задач высокого уровня ответственности, сложности и вычислительной

размерности: расчетные исследования динамических характеристик футбольных стадионов в Санкт-Петербурге, Самаре, Волгограде, Нижнем Новгороде, Ростове-на-Дону, Екатеринбурге;

– исследованная специфика использования разработанной методики для рассмотренных стадионов, реализация и подтверждение на практике возможности «параллельной» работы групп разработчиков основных подсистем большеразмерных задач.

Значимость для науки и производства полученных результатов

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная, верифицированная и апробированная методика суперэлементного моделирования обеспечивает новый, востребованный современной практикой уровень расчетных исследований статике и динамики пространственных большеразмерных комбинированных систем «основание – железобетонные конструкции – металлоконструкции покрытия». Результаты диссертационного исследования использовались при расчетном обосновании напряжённо-деформированного состояния и прочности футбольных стадионов в Санкт-Петербурге, Самаре, Волгограде, Нижнем Новгороде, Ростове-на-Дону, Екатеринбурге. Разработанная методика может быть эффективно использована для широкого круга расчетных исследований комбинированных большеразмерных систем уникальных зданий и сооружений.

Замечания по диссертационной работе

По представленной работе имеются следующие замечания:

1. В конце Главы 1 при анализе возможностей применения суперэлементов в разных расчётных программах автор делает вывод, что в специализированных («строительных») программах, широко применяемых в нашей стране, такая возможность отсутствует. Здесь допущена неточность. В программах семейства «ЛИРА», например, такая возможность

предусмотрена.

2. В отношении широкого применения разработанной методики для разнообразных классов расчётных задач, следовало бы сделать более осторожный вывод. Данная методика и её конкретные реализации исследовались только на системах, в которых рассмотренные подконструкции обладают существенно различными жесткостями (как твёрдые тела). Для широкого применения необходимы дополнительные исследования на подконструкциях, обладающих близкими жесткостными свойствами. Возможно, что точность результатов при этом будет иной.

3. В работе имеются редакционные недочеты. В отдельных случаях автор использует не строгую терминологию. Так на стр. 34 автор говорит о расчёте «разреженным методом» вместо метода разреженных матриц.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными, не затрагивают защищаемых автором положений и не ставят под сомнение высокий уровень работы.

Заключение

Сделанные замечания не снижают высокой положительной оценки диссертационной работы А.И. Нагибовича. Сформулированная в работе цель исследования достигнута. Положения диссертации, выносимые на защиту, обоснованы, отличаются научной и практической значимостью. Основные научные результаты диссертации опубликованы и апробированы. Название работы отражает её содержание. Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации и основные результаты автора.

Диссертация Нагибовича Александр Игоревича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача разработки суперэлементной методики моделирования динамических характеристик большеразмерных систем «основание – железобетонные конструкции – металлоконструкции покрытия».

На основании изложенного можно заключить, что диссертация отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям,

соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (в редакции 01.10.2018), а её автор Нагибович Александр Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и одобрен на заседании Лаборатории механики железобетона №8 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» 30 мая 2019 г., протокол № 2/08.

Крылов Сергей Борисович
д.т.н., заведующий лабораторией
механики железобетона №8 НИИЖБ
им. А.А. Гвоздева
АО «НИЦ «Строительство»
+7 (499) 174-74-07, niizhb_lab8@mail.ru

Арленинов Пётр Дмитриевич
к.т.н., заместитель заведующего лабораторией
механики железобетона №8 НИИЖБ
им. А.А. Гвоздева
АО «НИЦ «Строительство»
+7 (499) 174-73-89, niizhb_lab8@mail.ru

Акционерное Общество «Научно-исследовательский центр «Строительство»
(АО «НИЦ «Строительство»),
109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д.6, к. 1, +7 (495) 602-00-70, inf@cstroy.ru.

Подпись Крылов
Арленинов Пётр
Главной специалист