

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.94

Васильев
Артем Евгеньевич

Разработка программного обеспечения для решения задач теории упругости с
использованием метода конечных элементов

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-40 80 04 «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ»

Научный руководитель
Жвакина Анна Васильевна
Кандидат технических наук, доцент

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный
руководитель:

Жвакина Анна Васильевна,
Кандидат технических наук, доцент
кафедры информатики учреждения
образования «Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники»

Рецензент:

Макареня Сергей Николаевич
Кандидат технических наук, доцент.
Директор Центра образовательных
технологий НИИ ТПУ Академии
Управления при Президенте Республики
Беларусь

Защита диссертации состоится «18» января 2018 г. года в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, тел.: 293-89-92, e-mail: kafei@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, в виду постоянно растущей численности населения, как никогда ранее необходимо современное и ресурсоэффективное строительство. Такое строительство невозможно без точных компьютерных расчетов, которые поднимают проектную работу на новый уровень, повышая скорость и качество решения многих сложных инженерных задач, многие из которых ранее рассматривались лишь упрощенно. Чаще всего в основе программных продуктов для расчетов строительных конструкций используется метод конечных элементов.

Метод конечных элементов (МКЭ) это численный метод для решения задач математической физики и инженерии. Первоначально МКЭ появился в строительной механике на заре пятидесятих годов двадцатого века, но в последующее десятилетие метод получил широкое распространение, развился и начал применяться не только для расчета конструкций, но и для решения широкого ряда других инженерных задач.

На данный момент все программные комплексы для расчета строительных конструкций, существующие на рынке являются зарубежными разработками, причем очень дорогими, требовательными к ресурсам ЭВМ. Соответственно существует необходимость в отечественной разработке, которая позволит улучшить эффективность строительства за счет повышения скорости и качества необходимых инженерных расчетов, сокращения издержек.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Степень разработанности проблемы

Изучением предметной области данной магистерской диссертации занимаются следующие отечественные и зарубежные исследователи: А. Г. Щербо, А. О. Шимановский, А. В. Путято, О. Л. Вербицкая, Л. И. Шевчук, С. И. Зиневич, К. С. Курочка, Тен Ен Со, А. Г. Овский, В. А. Толоч, В. Б. Пеньков, Л. В. Саталкина, Н. А. Роганова, Г. З. Шарафутдинов, В. Г. Зубчанинов и другие.

Целью диссертационного исследования является разработка программного обеспечения для расчета плоских конструкций с помощью МКЭ.

Для достижения данной цели выполнен ряд задач:

- изучены теоретические аспекты решения задач теории упругости;
- обоснована необходимость разработки программного обеспечения для решения задач теории упругости с помощью метода конечных элементов;

– проанализировано использование метода конечных элементов в решении задач теории упругости;

– разработано программное обеспечение для расчета плоских конструкций с помощью метода конечных элементов.

Объектом исследования являются задачи теории упругости.

Предметом исследования является решение задачи теории упругости с использованием метода конечных элементов.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-40 80 04 “Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ”.

Теоретическая основа диссертации строится на результатах исследований отечественных и зарубежных ученых, специализирующихся на МКЭ и применении его в инженерии. Для получения теоретических и практических результатов использовались пакеты прикладного программного обеспечения.

Информационная база для проведения анализов по данной теме сформирована на основе более других разработок и исследований в этой области, а также с использованием ресурсов Интернет.

Новизна полученных результатов.

В реализованной программе для решения плоской задачи теории упругости усовершенствованы текущие наработки, существующие на рынке, за счет использования новейших программных модулей для работы с линейной алгеброй, которые позволили добиться высокой производительности.

Апробация результатов диссертации.

Результаты исследования были представлены на 53-ей научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в опубликованной работе объемом 1,0 стр.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 77 страниц. Работа содержит 4 таблицы, 27 рисунков. Библиографический список включает 26 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы.

В **первой главе** диссертационного исследования осуществлено изучение теоретических аспектов решения задач теории упругости.

Во **второй главе** проведен анализ использования метода конечных элементов в решении задач теории упругости.

В рамках **третьей главы** осуществлена разработка программного обеспечения, позволяющего рассчитывать плоские конструкции на основе МКЭ и эффективно анализировать проекты строительства

В **приложении** приведен листинг разработанной программы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рост объемов строительных работ в Республике Беларусь определяет повышение требований к их качеству. Одним из факторов, обеспечивающих долговечность и безопасность строительных объектов, является надежность строительных конструкций. Оптимальные характеристики данных систем можно получить с помощью решения задач теории упругости.

В рамках выполнения диссертационного исследования исследованы теоретические аспекты решения данных задач. Анализ предметной области показал, что решение задач теории упругости подразумевает решение основных трех групп ее уравнений: статической, геометрической и физической. Также выделены три общих вида решения задач теории упругости: прямой, обратный и полуобратный Сен-Венана.

Результаты исследования подтвердили, что на современном этапе развития и научной проработанности теории упругости для решения практических инженерных задач особо важное значение имеют приближенные методы. Данные методы могут быть разделены на две группы, к первой из которых был отнесен метод МКР, ко второй – МКЭ.

Проведенная оценка наиболее конкурентоспособных программных продуктов для анализа проектов строительства посредством МКЭ – RFEM и SOFiSTiK выявила определенные преимущества и недостатки.

В качестве преимуществ данных программ были выявлены:

- достаточно широкие функциональные возможности в разрезе решения задач теории упругости посредством МКЭ;
- высокая степень эффективности и практической применимости;
- проектирование с помощью программного продукта SOFiSTiK носит комплексный характер.

Однако, несмотря на выявленные достоинства, существенным недостатком программы SOFiSTiK является ее высокая цена, которую могут себе позволить не все компании строительной, инжиниринговой и других сфер.

В то же время стоимость программного продукта RFEM значительно ниже, однако она не предоставляет такого комплексного подхода к проектированию зданий.

Решение задач теории упругости с помощью МКЭ обеспечивает большую точность, но выявленная трудоемкость данного метода, не позволяет осуществлять необходимые расчеты вручную.

Таким образом, проведенные исследования доказывают необходимость разработки программного обеспечения для решения задач теории упругости методом конечных элементов.

В результате анализа использования метода конечных элементов в решении задач теории упругости было определено, что МКЭ представляет собой метод приближенного прямого отыскания неизвестных функций на основе какого-либо вариационного принципа. Зародившись в строительной механике, он получил широкое распространение в решении различных проблем математической физики – в задачах теплопроводности, гидро- и аэродинамики, фильтрации и других задачах физики сплошных сред и имеет достаточно широкую математическую трактовку. В рамках диссертационного исследования МКЭ был изучен с позиций, наиболее близких к строительной механике.

В процессе исследования общей процедуры решения задач теории упругости посредством МКЭ рассмотрены методы моделирования нелинейного деформирования твердых тел с использованием МКЭ, среди которых были выделены: метод переменной жесткости, метод начальных напряжений и метод начальных деформаций. Также было осуществлено решение задачи с плоским четырехугольным элементом на примере четырехугольной пластины посредством МКЭ.

Впервые в Беларуси, для инженерных расчетов в разработанном программном продукте была применена новейшая версия библиотеки Eigen, которая написана на C++, имеет открытый исходный код, удобное API и производительность которой сопоставима с INTEL Math Kernel Library, которая является проприетарной.

Так же несомненным плюсом разработанного решения является возможность задействования сразу нескольких ядер процессора для распараллеливания математических расчетов. Для разреженных матриц были использованы специальные структуры данных, что позволило сильно сократить объем используемой оперативной памяти. Для решения систем линейных алгебраических уравнений было использовано разложение Холецкого.

Предлагаемое программное обеспечение для решения задачи теории упругости является компактным (около 190 строк кода), эффективным, результаты согласуются с теоретическими значениями и со значениями, полученными программами-конкурентами.

В дальнейшем программное обеспечение может быть расширено для расчета трехмерных конструкций. Также ввод, вывод и анализ исходных данных может быть улучшен для более удобной работы с точки зрения конечного пользователя.

Результаты диссертационного исследования представлены на 53-ей научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, а в Белорусском Государственном Университете Информатики и Радиоэлектроники. По результатам конференции был опубликован сборник материалов, в который вошли тезисы [26].

Таким образом, осуществлена разработка программного обеспечения, в основе которого лежит МКЭ, позволяющего быстро и эффективно рассчитывать плоские строительные конструкции, что повысит качество и скорость выполнения проектных работ.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Васильев, А.Е. Применение метода конечных элементов для решения плоской задачи теории упругости. / А.Е. Васильев // материалы 53-ей научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, Респ. Беларусь, 2-6 мая 2017 г. / УО “БГУИР”. – Минск, 2017. – 173 с.

Библиотека БГУИР