

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Шевчук Оксаны Александровны на тему: «Математическое моделирование деформированного состояния тонкостенных оболочек с помощью геометрических интерполянтов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки)

### 1. Актуальность темы диссертации

Тонкостенные оболочечные конструкции нашли широкое применение во многих отраслях народного хозяйства. В процессе эксплуатации оболочки подвергаются воздействию внутренних и внешних силовых факторов, поэтому расчеты на прочность являются важной составляющей оценки их технического состояния и возможности дальнейшей безопасной эксплуатации. Для решения такого рода задач активно применяются численные методы, реализованные посредством программных комплексов конечно-элементного анализа. Вместе с тем, существует класс задач, где заложенная в вычислительных комплексах универсальность теряет свою эффективность, а решение становится затруднительным и весьма затратным по временным показателям.

Наиболее эффективным направлением решения данной проблемы является применение математического моделирования с использованием современных моделей и компьютерных технологий, основанных на использовании многомерной интерполяции и аппроксимации, в том числе с применением геометрических интерполянтов.

В этой связи развитие методов многомерной интерполяции и аппроксимации с последующим их применением для компьютерного моделирования деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений является актуальной научно-технической задачей, имеющей отраслевое значение.

**2. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается:**

*Вх №3  
25.04.2023г*

- корректным использованием математического аппарата точечного исчисления, который основан на инвариантах аффинной геометрии и позволяет определять геометрические объекты многомерного пространства с заданными дифференциальными характеристиками в узловых точках интерполяции;
- эффективным применением результатов моделирования при усовершенствовании инженерной методики оценки технического состояния резервуаров для хранения нефтепродуктов;
- корректным использованием результатов исследований, имеющих широкий спектр применения для численного анализа деформированного состояния цилиндрического резервуара с несовершенствами геометрической формы;
- достаточным количеством примеров и вычислительных экспериментов, выполненных в программном пакете Maple;
- положительными результатами сравнения решений дифференциальных уравнений с результатами моделирования, полученными другими методами, а также с помощью программного пакета конечно-элементного анализа SCAD.

### **3. Анализ содержания диссертации**

В первом разделе проведен анализ существующих подходов к моделированию тонкостенных оболочек инженерных сооружений. В результате установлено, что основным недостатком численного решения дифференциальных уравнений, которые используются для моделирования напряжённо-деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений является большая их продолжительность по времени.

Обоснован выбор математического аппарата точечного исчисления для создания вычислительных алгоритмов и программных средств моделирования деформированного состояния тонкостенных оболочек, который позволяет предложить новые и усовершенствовать существующие методы многомерной интерполяции и аппроксимации.

Результаты проведенного анализа позволили сформулировать научную проблему, цель и задачи исследований.

Во **втором разделе** рассмотрен метод численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов, который легко обобщается на многомерное пространство и позволяет использовать его для решения дифференциальных уравнений со сколь угодно большим количеством переменных. Автором предложена классификация дифференциальных уравнений в зависимости от размерности лапласиана, которая позволяет выбрать геометрический интерполянт для аппроксимации численного решения дифференциальных уравнений.

Кроме того, разработан базовый вычислительный алгоритм численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов на регулярных и нерегулярных сетях, который позволяет получить аналитические зависимости в виде точечных уравнений, что обеспечивает эффективное моделирование в многомерном аффинном пространстве.

Вместе с тем, автором предложен способ числовой оценки точности результатов моделирования с помощью многомерных геометрических интерполянтов, который дает возможность получить числовую оценку степени сходства численного и эталонного решений дифференциальных уравнений.

В **третьем разделе** приводится апробация метода численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов. В результате установлено совпадение с высокой степенью точности на уровне полиномиальных коэффициентов решений уравнений предложенным методом с точными решениями, что доказывает достоверность результатов численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов.

В **четвертом разделе** на примере расчета деформированного состояния резервуара для хранения нефтепродуктов со стенками постоянной толщины, которые подвергаются действию внутреннего давления жидкости, выполнена аппроксимация численного решения дифференциального уравнения методами геометрического моделирования.

Проведен численный анализ деформированного состояния эксплуатируемых тонкостенных оболочек инженерных сооружений. Сравнение полученных результатов с эталонным решением осуществлено с помощью графической визуализации и методом сравнения многомерных геометрических объектов с помощью коэффициента детерминации  $\tilde{R}^2$  и демонстрирует высокую степень достоверности предложенного метода.

Кроме того, предложена усовершенствованная инженерная методика оценки технического состояния резервуара для хранения нефтепродуктов с учётом несовершенств геометрической формы от действия гидростатической нагрузки путем применения комплекса программ компьютерного моделирования деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений на основе численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов.

#### **4. Научная новизна работы**

Новизна разработанных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций состоит в следующем.

1. Разработан базовый вычислительный алгоритм численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов на регулярных и нерегулярных сетях.

2. Предложен способ числовой оценки точности результатов моделирования с помощью многомерных геометрических интерполянтов, отличительной особенностью которого является дискретизация численного и эталонного решений с последующим сравнением полученных точечных множеств с помощью коэффициента детерминации.

3. Усовершенствовано дифференциальное уравнение моделирования деформированного состояния упругой цилиндрической оболочки при осесимметричном нагружении для численного анализа деформированного состояния цилиндрического резервуара с несовершенствами геометрической формы.

4. Предложен новый способ учета начальных условий дифференциальных уравнений, который заключается в параллельном переносе численного решения в нужную точку, координаты которой соответствуют начальным условиям.

5. Усовершенствована методика оценки технического состояния резервуаров для хранения нефтепродуктов с учетом несовершенств геометрической формы путем применения комплекса программ компьютерного моделирования деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений на основе численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов.

### **5. Ценность для науки и практики полученных автором результатов**

**Научное значение** работы состоит в развитии методов многомерной интерполяции и аппроксимации как универсальных инструментов математического и компьютерного моделирования, которые применимы в любых отраслях науки и техники.

**Практическое значение** результатов работы заключается в разработке инженерной методики оценки технического состояния эксплуатируемых резервуаров для хранения нефтепродуктов с учётом несовершенств геометрической формы и комплекса программ компьютерного моделирования деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений на основе численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов, который включает в себя следующие модули:

- определение точечных и явных уравнений геометрических интерполянтов;
- моделирование поверхности оболочки инженерных сооружений с несовершенствами геометрической формы методами интерполяции и аппроксимации;
- численное решение дифференциальных уравнений с учётом начальных условий;
- числовая оценка точности результатов моделирования с помощью геометрических интерполянтов;

– построение, визуализация и поиск экстремумов поверхности отклика деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений.

#### **6. Степень полноты опубликования полученных результатов**

Основные научные и практические результаты достаточно полно опубликованы автором самостоятельно и в соавторстве в 11 научных изданиях, в том числе 7 – в рецензируемых научных журналах (6 – по специальности 1.2.2), в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук в Российской Федерации и Донецкой Народной Республике; 4 – по материалам научных конференций, среди которых 3 – в изданиях, индексируемых в международной наукометрической базе Scopus.

#### **7. Реализация результатов диссертации в промышленности и предложения по их дальнейшему использованию**

##### **Реализация выводов и рекомендаций работы подтверждается:**

– внедрением результатов исследований при оценке деформированного состояния танка энергоаккумулятора (справка о внедрении №367 от 18.06.2021 г. выдана ООО Фирма «Промстройремонт»);

– внедрением в учебный процесс ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ» (справка о внедрении №11 от 18.06.2021 г. о применении при проведении лабораторных занятий для подготовки бакалавров по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» при изучении дисциплины «Информационные технологии»).

#### **8. Соответствие содержания диссертации научной специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки)**

Содержание рецензируемой диссертационной работы, выдвинутые научные положения, полученные выводы и рекомендации дают основание сделать заключение о том, что диссертация Шевчук О.А., представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует паспорту научной

специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки), а именно: п.2 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»; п.3 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»; п.5 «Разработка новых математических методов и алгоритмов валидации математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента или на основе анализа математических моделей»; п.8 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента».

### **9. Соответствие автореферата содержанию диссертации**

В автореферате в достаточном объеме изложены основные результаты исследований, приведенных в диссертации. В нем представлены научные положения, новизна и практическая значимость, основные выводы по 4 разделам диссертации, заключение, реализация результатов работы в промышленности и предложения по их дальнейшему использованию.

### **10. Структура, стиль и язык диссертации**

Структурное построение диссертации соответствует цели и задачам исследований. Стиль изложения содержания исследований и подача материала вполне логичны, последовательны и связаны единой идеей. Язык диссертации достаточно ясен и доступен для восприятия.

### **11. Замечания по диссертации:**

11.1 В разделе 1 приводятся некоторые излишне подробные сведения, например, общеизвестная классификация дифференциальных уравнений.

11.2 В работе отсутствует корректное определение такого существенного понятия, как «поверхность отклика».

11.3 В работе не приводится информация об экономической эффективности внедрения полученных результатов моделирования.

11.4 Соискателем разработан базовый вычислительный алгоритм численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов на регулярных и нерегулярных сетях, но вычислительные эксперименты по численному решению дифференциальных уравнений проведены исключительно на регулярных сетях. Очевидно, в работе следовало бы привести пример численного решения дифференциальных уравнений с помощью геометрических интерполянтов на нерегулярной сети точек.

11.5 В 4 разделе проведено сравнение точности результатов моделирования для 12-и линий, характеризующих перемещения по окружности резервуара. Вместе с тем, отсутствует сравнение построенной на их основе итоговой поверхности отклика с результатами, полученными другими авторами.

### **Заключение**

В целом диссертационная работа Шевчук О.А. «Математическое моделирование деформированного состояния тонкостенных оболочек с помощью геометрических интерполянтов» является законченной научно-исследовательской работой, посвященной разработке актуальной тематики, отличается научной новизной, имеет практическое значение и достаточную реализацию в отрасли, выполнена на достаточно высоком уровне, соответствует паспорту научной специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки) и отвечает требованиям п. 2.2 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым ВАК ДНР к кандидатским диссертациям.

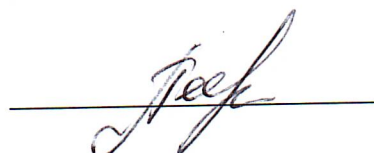
За получение новых научно-обоснованных результатов в области математического моделирования деформированного состояния тонкостенных оболочек инженерных сооружений, заключающихся в развитии методов многомерной интерполяции и аппроксимации как инструментов исследования, дающих возможность повысить эффективность решения инженерных задач, Шевчук Оксана Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (технические науки).



**Официальный оппонент:**

доцент кафедры «Прикладная математика и  
искусственный интеллект»

ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», канд. техн. наук



Е.В. Перинская

Адрес: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 131, 11-й корпус, 11.419

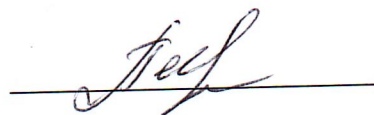
Тел./ факс: +7(856) 301-09-51

e-mail: elenaperinskaya@mail.ru

« 21 » 04 2023г.

Я, Перинская Елена Владимировна, согласна на автоматизированную обработку  
моих персональных данных, приведенных в документе.

Кандидат технических наук



Е.В. Перинская

Подпись Перинской Е.В. удостоверяю

Начальник отдела кадров  
ГОУВПО «ДОННТУ»



К.М. Садлова