

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный университет»
институт Математики и информационных технологий
кафедра Информационных систем и компьютерного моделирования

Допустить работу к защите

Зав. каф. ИСКМ

_____ А. В. Хоперсков

«___» _____ 2021 г.

Губенко Иван Борисович

**Программный комплекс для расчета остаточных напряжений и де-
формаций металлоконструкций**

Выпускная квалификационная работа

по направлению

09.03.04 Программная инженерия

Студент	Губенко И.Б.	_____ (подпись)
Научный руководитель	Храпов С.С. к.ф.-м.н., доцент каф ИСКМ	_____ (подпись)
Нормоконтролер	Бутенко М.А. к.ф.-м.н., доцент	_____ (подпись)
Рецензент	Еремин М.А. к.ф.-м.н., доцент каф. ТФиВП	_____ (подпись)

Волгоград 2021

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный университет»
институт Математики и информационных технологий
кафедра Информационных систем и компьютерного моделирования

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель направления
09.03.04 Программная инженерия

_____ Н.Н. Конобеева
« » _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Губенко Ивану Борисовичу (группа ПРИ-171)

- 1) Тема: Программный комплекс для расчета остаточных напряжений и деформаций металлоконструкций.
- 2) Цель: Разработать программный комплекс для расчета остаточных напряжений и деформаций металлоконструкций, производимых методом селективной лазерной плавки; освоить компетенции УК-1; УК-2; УК-3; УК-4; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7; ОПК-8; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5 в соответствии с учебным планом.
- 3) Основные задачи:
 - а) Совместно с научным руководителем составить график выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР), обсуждать и корректировать основные этапы выполнения проекта, формировать навыки самостоятельной организации и выполнения работы в соответствии с заданием.
 - б) Выбрать метод управления своим проектом по созданию программного комплекса для расчета остаточных напряжений и деформаций металлоконструк-

ций, производимых методом селективной лазерной плавкой. Определить целевые этапы и основные направления работ в рамках выполнения выпускной квалификационной работы. Разработать календарный график выполнения ВКР на основе диаграммы Ганта для планирования и управления задачами.

в) Написать обзор по предметной области исследования выпускной квалификационной работы с использованием компьютерных и сетевых технологий, основываясь на научной, учебной и учебно-методической литературе, как на русском, так и на английском языках. Необходимо использовать современную литературу на английском и русском языках по тематике ВКР, поиск которой можно осуществлять по библиографическим базам Scopus, WoS, elibrary, ResearchGate, ADS, ЭБС Znanium, Юрайт, Лань, Book.ru, IPRBooks.ru и др. Научно-исследовательский обзор должен включать описания технологии аддитивного производства SLM, методологии разработки программного обеспечения.

г) Подробно изучить свою предметную область, связанную с технологиями селективного лазерного плавления (SLM, Selective Laser Melting), принципами работы, особенностями 3D-печати металлом, последующей обработкой поверхности изделия.

д) Выявить и провести критический анализ проблемных ситуаций, связанных с реализацией программного комплекса для расчета остаточных напряжений и деформаций металлоконструкций. Проводить консультации с главным инженером ООО «Теленово» Радченко В.П., ст. препод. Титовым А.В. по вопросам предметной области.

е) Составить подробный план отчета по проекту (расширенное содержание) и согласовать его с научным руководителем, как с экспертом.

ж) Изучить математическое и программное обеспечение для автоматизированного проектирования.

з) Построить информационную модель программного комплекса для расчета остаточных напряжений и деформаций металлоконструкций.

и) Описать математические модели, лежащие в основе физических явлений, определяющих технологические процессы.

- к) Участвовать совместно с руководителем в анализе предметной области, выборе программных средств, результатов математического моделирования и тестирования работы программного комплекса для расчета остаточных напряжений и деформаций металлоконструкций.
- л) Провести анализ выбора инструментальных сред проектирования и разработки программного и аппаратного обеспечения, необходимых для выполнения ВКР.
- м) Инсталлировать программное и аппаратное обеспечение, используемое при выполнении выпускной квалификационной работы. Настроить программно-аппаратные комплексы и пакеты программ, необходимые для выполнения ВКР, в том числе отечественного производства.
- н) Разработать или модифицировать алгоритмы, необходимые для реализации программного комплекса с использованием современных методов и технологий информатики и программирования.
- о) Провести этап проектирования модулей, лежащих в основе программного комплекса для расчета остаточных напряжений и деформаций металлоконструкций, разработав соответствующие концептуальную, функциональную и логическую модели. Учитывать требования информационной безопасности.
- п) Провести интеграцию программных модулей и компонентов, проверить их работоспособность.
- р) Разработать план тестирования, провести тестирование отдельных компонент программного обеспечения и цифрового двойника в целом.
- с) Разработать план проведения вычислительных экспериментов физических процессов, определяющих работу установки и провести их с последующей обработкой результатов моделирования.
- т) Подготовить графический материал для отчета по ВКР.
- у) Предложить план последующей модификации программного комплекса для расчета остаточных напряжений и деформаций металлоконструкций.

ф) Написать текст отчета в соответствии с заданием. Отчет по ВКР должен быть подготовлен с использованием кроссплатформенного свободно распространяемого офисного пакета LibreOffice с открытым исходным кодом, для компьютерной верстки документа. Текст в целом и его отдельные элементы (графические схемы, фрагменты коды, диаграммы информационных моделей) должны быть оформлены в соответствии с требованиями ГОСТов.

х) Подготовить презентацию и доклад по результатам выполнения выпускной квалификационной работы.

ц) При выполнении ВКР должны быть сформированы следующие компетенции:

УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;

УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений;

УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде;

УК-4 Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах);

УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни;

ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;

ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства, в том числе отечественного производства, при решении задач профессиональной деятельности;

ОПК-3 Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;

ОПК-4 Способен участвовать в разработке стандартов, норм и правил, а также технической документации, связанной с профессиональной деятельностью;

ОПК-5 Способен устанавливать программное и аппаратное обеспечение для информационных и автоматизированных систем;

ОПК-6 Способен разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического использования, применять основы информатики и программирования к проектированию, конструированию и тестированию программных продуктов;

ОПК-7 Способен применять в практической деятельности основные концепции, принципы, теории и факты, связанные с информатикой;

ОПК-8 Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;

ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки;

ПК-2 Способен проводить интеграцию программных модулей и компонент;

ПК-3 Способен разрабатывать тестовые случаи, проводить тестирование и исследовать результаты;

ПК-4 Способен создавать и анализировать требования на разработку программно-информационных систем и подсистем;

ПК-5 Способен осуществлять концептуальное, функциональное и логическое проектирование программно-информационных систем.

ВВЕДЕНИЕ	10
1 ИЗУЧЕНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РАСЧЕТА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	13
1.1 МЕТОДЫ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА	13
1.1.1 СЕЛЕКТИВНАЯ ЛАЗЕРНОЕ СПЕКАНИЕ, ОБЗОР МЕТОДА АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	13
1.1.2 ОБЗОР МЕТОДА АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ПЛАВКА	16
1.1.3 ОБЗОР МЕТОДА АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА. ПРЯМОЕ ЛАЗЕРНОЕ СПЕКАНИЕ	18
1.2 КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ МЕТОДАМИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА. ОСТАТОЧНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ	18
1.2.1 ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	19
1.2.2 СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	20
1.2.3 МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ(ДОБАВИТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ АНСИС)	22
1.3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ	23
1.3.1 ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	24
1.3.2 ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	26
2 РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	28
2.1 НАЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	28

2.2 ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	29
2.3 ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	34
2.4 СОЗДАНИЕ ДИАГРАММЫ ПОТОКОВ ДАННЫХ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	38
2.6 СОЗДАНИЕ ДИАГРАММЫ КЛАССОВ UML ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	40
2.7 СОЗДАНИЕ ДИАГРАММЫ ВАРИАНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ UML ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	44
3 РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	46
3.1 СОЗДАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	46
3.2 СОЗДАНИЕ МОДУЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВХОДНОЙ МОДЕЛИ В ВОКСЕЛЬНОМ ФОРМАТЕ	47
3.2.1 СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ VISUALVOXELLIBRARY ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ КАМЕРОЙ СЦЕНЫ	48
3.2.2 СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ VOXELLIBRARY ДЛЯ ОПИСАНИЯ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ВОКСЕЛЯ	49
3.3 СОЗДАНИЕ МОДУЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	49
3.3.1 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	50
3.3.2 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	51
3.4 СОЗДАНИЕ МОДУЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВЫХОДНОЙ МОДЕЛИ В ВОКСЕЛЬНОМ ФОРМАТЕ С ГРАФИЧЕСКИМ ОТОБРАЖЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ	51

3.4 ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИЙ	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
ЛИТЕРАТУРА	53
ПРИЛОЖЕНИЕ А (ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ) ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ КОМПЕТЕНЦИИ	58