



Universitatea Tehnică a Moldovei

**Разработка алгоритма оптимальной
фрагментации зубчатой передачи для
последующих вычислений методом
конечных элементов**

**Elaborarea unui algoritm pentru fragmentarea
optimă a angrenajului pentru calcule ulterioare
prin metoda elementului finit**

**Development of an algorithm for optimal
fragmentation of gears for subsequent
calculations by the finite element method**

**Masterand:
Cvartin Maxim**

**Conducător:
lect. univ. Scorhodova Tatiana**


Chişinău – 2019

Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Calculatoare Informatică și Microelectronică
Departamentul Ingineria Software și Automatică

Admis la susținere

Șef de departament: conf. univ.,

dr. Dumitru Ciorbă


"12" decembrie 2019

**Разработка алгоритма оптимальной
фрагментации зубчатой передачи для
последующих вычислений методом
конечных элементов**

Teză de master în

Tehnologii informaționale
(programul de masterat)

Masterand: Cvarin Maxim ()

Conducător: lect. univ. Scorohodova Tatiana ()

Chisinau – 2019

Аннотация

Тема дипломного проекта: «Разработка алгоритма оптимальной фрагментации зубчатой передачи для последующих вычислений методом конечных элементов». Автор данной дипломной работы является Квартин Максим.

Объём дипломной работы составляет 70 страниц, на которых размещено 48 рисунков и 2 таблицы. При написании диплома использовалось 8 источников.

В дипломную работу входит введение, четыре главы и итоговое заключение к работе.

Во введении раскрывается актуальность разрабатываемого алгоритма, описывается проблема, формулируется задача.

В первой главе производится аналитический обзор предметной области, краткое описание метода конечных элементов, постановка задачи, описание существующих подходов к решению поставленной задачи и описание существующих инструментов для её решения.

Во второй главе производится описание необходимых теоретических основ метода конечных элементов. Данная глава включает в себя такие важные моменты как дискретизацию элементов и дискретизацию решения. Также во второй главе особое внимание уделяется критериям оптимальности конечно-элементной сети и влиянию качества элементов данной сети на результаты вычислений.

Третья глава посвящена созданию алгоритма построения оптимальной конечно-элементной сети зубчатого колеса. В данной главе дано краткое описание общей идеи работы разработанного алгоритма. Помимо этого, данная глава включает в себя описание процессов фрагментации зуба на макроэлементы, фрагментации макроэлементов на конечные элементы и создание трёхмерной конечно-элементной сети зуба. В главе особое внимание уделено определению ограничений геометрических параметров зубов.

Четвертая глава включает в себя сравнение результатов вычислений при использовании разных алгоритмов. В данной главе проведён обзор трёх созданных конечно-элементных сетей зубчатых колёс и сравнение полученных результатов вычислений. В конце главы приведено заключение по сравнению созданных конечно-элементных сетей зубчатого колеса.

Заключение посвящено основным выводам по проделанной работе. В заключении подведены итоги работы, а также представлены результаты работы. Итогом заключения служит перечисление полученных навыков и знаний в процессе работы над дипломным проектом.

Ключевые слова: зуб, зубчатое колесо, фрагментация, метод конечных элементов, узел, элемент, конечно-элементная сеть, трёхмерная модель.

Adnotarea

Tema tezei de masterat: "Elaborarea unui algoritm pentru fragmentarea optimă a angrenajului pentru calcule ulterioare prin metoda elementului finit".

Volumul tezei este de 70 de pagini, care conțin 48 imagini și 2 tabele. La scrierea tezei au fost folosite 8 surse.

Teza include o introducere, patru capitole și o concluzie finală a lucrării.

În introducere se arată relevanța algoritmului dezvoltat, se descrie problema și se formulează sarcina.

Primul capitol oferă o analiză a subiectului, o scurtă descriere a metodei elementului finit, formularea problemei, o descriere a abordărilor existente pentru rezolvarea problemei și o descriere a instrumentelor existente pentru rezolvarea ei.

Al doilea capitol descrie bazele teoretice necesare ale metodei elementului finit. Acest capitol include aspecte importante precum discretizarea elementelor și discretizarea soluției. Tot în capitolul al doilea se acordă o atenție deosebită criteriilor de optimizare ale unei rețele de elemente finite și influenței calității elementelor acestei rețele asupra rezultatelor calculelor.

Al treilea capitol este dedicat creării unui algoritm pentru construirea unei rețele optime de elemente finite a unei roți dințate. Acest capitol oferă o scurtă descriere a ideii generale a lucrării algoritmului dezvoltat. În plus, acest capitol include o descriere a proceselor de fragmentare a dinților în macroelemente, fragmentarea macroelementelor în elemente finite și crearea unei rețele tridimensionale de elemente finite a dintelui. În acest capitol, se acordă o atenție deosebită definirii limitelor parametrilor geometrici ai dinților.

Capitolul al patrulea cuprinde o comparație a rezultatelor calculelor folosind algoritmi diferiți. În acest capitol, se face o prezentare generală a celor trei rețele fixe de roți dințate cu elemente finite și compararea rezultatelor calculelor. La sfârșitul capitolului, se face o concluzie care compară rețelele create de elemente finite ale unei roți dințate.

Concluzia este dedicată principalelor ipoteze ale lucrării. În concluzie, sunt rezumate și prezentate rezultatele lucrării. În concluzie, rezultatul lucrului asupra tezei este transferul abilităților și cunoștințelor dobândite în procesul de cercetare asupra proiectului de teză.

Cuvinte-cheie: dinte, roată dințată, fragmentare, metoda elementului finit, nod, element, rețea cu elemente finite, model tridimensional.

Abstract

The theme of the master project is: “Development of an algorithm for optimal fragmentation of gears for subsequent calculations by the finite element method”.

The volume of the thesis is 70 pages, which contain 48 figures and 2 tables. In the process of writing master was used 8 sources.

The thesis includes an introduction, four chapters and a final conclusion to the work.

The introduction reveals the relevance of the developed algorithm, describes the problem, formulates the problem.

The first chapter provides an analytical review of the subject area, a brief description of the finite element method, the formulation of the problem, a description of existing approaches to solving the problem, and a description of the existing tools for solving it.

The second chapter describes the necessary theoretical foundations of the finite element method. This chapter includes such important points as the discretization of elements and the discretization of the solution. Also in the second chapter, special attention is paid to the criteria of optimality of a finite element network and the influence of the quality of the elements of this network on the results of calculations.

The third chapter is devoted to the creation of an algorithm for constructing an optimal finite-element network of a gear wheel. This chapter provides a brief description of the general idea of the work of the developed algorithm. In addition, this chapter includes a description of the processes of tooth fragmentation into macroelements, fragmentation of macroelements into finite elements and the creation of a three-dimensional finite-element network of the tooth. In the chapter, special attention is paid to the definition of the limitations of the geometrical parameters of teeth.

The fourth chapter includes a comparison of the results of calculations using different algorithms. In this chapter, a review of the three established finite-element networks of gear wheels and the comparison of the results of calculations. At the end of the chapter, a conclusion is given comparing the created finite-element networks of a gear wheel.

The conclusion is devoted to the main conclusions of the done work. In conclusion, the results of the work are summarized, and presented. The result of the conclusion is the transfer of the acquired skills and knowledge in the process of working on the thesis project.

Key words: tooth, gear wheel, fragmentation, finite element method, node, element, finite element network, three-dimensional model.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ	12
1.1 Краткое описание метода конечных элементов	12
1.2 Постановка задачи	13
1.3 Существующие подходы решения поставленной задачи	14
1.4 Описание существующих инструментов для решения поставленной задачи	16
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МКЭ	21
2.1 Дискретизация геометрии	21
2.2 Дискретизация решения	24
2.3 Критерии оптимальности сети	27
2.4 Влияние качества элементов сети на результаты вычислений	30
3 СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕТИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА	35
3.1 Краткое описание общей идеи работы алгоритма	35
3.2 Фрагментация зуба на макроэлементы	37
3.3 Фрагментация макроэлементов на конечные элементы	41
3.4 Определение ограничений геометрических параметров зубов	48
3.5 Создание трехмерной конечно-элементной сети зуба	51
3.6 Создание трёхмерной конечно-элементной сети зубчатого колеса	52
4 СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗНЫХ АЛГОРИТМОВ	54
4.1 Обзор созданных конечно-элементных сетей зубчатых колёс	54
4.2 Сравнение полученных результатов вычислений	60
4.3 Заключение по сравнению созданных конечно-элементных сетей зубчатого колеса	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	70