**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра теоретической и прикладной механики**

Зубков

Валерий Владимирович

**Метод сжимаемых частиц для расчета сильно нелинейных движений жидкости со свободной границей**

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук,

доцент Б. Е. Протопопов

Допущен к защите

«**\_\_**» **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** 2016 г.

Зав. кафедрой теоретической и прикладной механики

доктор физико-математических наук, профессор М.А. Журавков

Минск, 2016

# **РЕФЕРАТ**

Метод сжимаемых частиц для расчета сильно нелинейных движений жидкости со свободной границей / Зубков Валерий Владимирович; Механико-математический факультет, Кафедра теоретической и прикладной механики; науч. рук. Б. Е. Протопопов.

Дипломная работа содержит

* 44 страницы,
* 16 иллюстраций,
* 1 приложение,
* 12 использованных источников.

Ключевые слова: нелинейное движение жидкости, уравнения Навье-Стокса, БЕССЕТОЧНЫЕ МЕТОДЫ, МЕТОД СГЛАЖЕННЫх (СЖИМАЕМЫХ) ЧАСТИЦ, поток жидкости.

В дипломной работе изучается задача о сильно нелинейном движении жидкости со свободной границей с помощью бессеточного метода моделирования течений.

Целью дипломной работы является анализ и изучение бессеточного метода сглаженных (сжимаемых) частиц, построение алгоритма данного метода изучение специфики и модификаций метода, сравнение результатов решения с аналитическими решениями, сравнение полученных результатов с некоторыми численными методами.

Для достижения поставленной цели использовались:

* Модель вязкой слабосжимаемой жидкости со
свободными границами.
* Разработанный алгоритм моделирования течений в среде программирования Microsoft Visual Studio.

В дипломной работе получены следующие результаты:

* Сформулированы основные этапы моделирования течения жидкости с помощью метода SPH. Рассмотрены некоторые типичные задачи для проверки отдельных компонент алгоритма.
* Проведен анализ и сравнение полученных результатов с аналитическими решениями известных задач, изучены и внедрены некоторые модификации алгоритма.
* Смоделирована задача об обрушении столба жидкости, с несколькими способами вывода результата на интерфейс пользователя.

Дипломная работа носит практический и аналитический характер. Компоненты и модификации алгоритма могут быть применены в других программах моделирования течения жидкости с помощью бессеточных методов, а также некоторые из компонентов могут быть применены в моделировании астрономические явлений.

Дипломная работа выполнена автором самостоятельно.

## **THESIS**

Smoothing Particle Method for calculation of strongly nonlinear fluid flows with a free boundary/ Zubkov Valeriy; Faculty of Mechanics and Mathematics, Department of Theoretical and Applied Mechanics; supervisor B. E. Protopopov.

Research contains:

* 44 pages,
* 16 images,
* 1 appendix,
* 12 used sources.

Keywords:, NONLINEAR FLUID MOTION, Smoothing Particle Method , Navier-Stokes equations, Meshfree method, FLIUD FLOW.

The research paper is studied the problem of the highly nonlinear motion of a fluid with a free boundary using gridless method during the simulation .

The aim of the thesis is to analyze and study the gridless method smoothed ( compressed ) of the particles , the construction algorithm of this method to study specific features and modifications of the method , the comparison decision results with analytical solutions , comparison of the results with some numerical methods.

To achieve this goal have been used :

• viscous weakly compressible fluid model with

free boundaries .

• The algorithm simulation of flows in Microsoft Visual Studio programming environment .

In the thesis work the following results :

• The basic steps of fluid flow simulations using the SPH method. Certain common tasks to test individual components of the algorithm .

• The analysis and comparison of the results with analytical solutions of known problems , studied and introduced some modifications of the algorithm .

• modeled the problem of the collapse of the liquid column , with multiple ways to output the result to the user interface .

Degree work is practical and analytical. Components and modifications of the algorithm may be applied to other applications of fluid flow simulations using meshfree methods , as well as some of the components may be used in modeling of astronomical events.

The diploma work is done by the author alone .

## **РЭФЕРАТ**

Метад cціскала часціц для разліку моцна нелінейных рухаў вадкасці са свабоднай мяжой / Зубкоў Валерый Уладзіміравіч; Механіка-матэматычны факультэт, Кафедра тэарэтычнай і прыкладной механікі; навуковы кіраўнік Б. Е. Пратапопов.

 Дыпломная праца ўтрымлівае

* 44 старонкі,
* 16 ілюстрацый,
* 1 дадатак,
* 12 выкарыстаных крыніц.

Ключавыя словы: нелінейных рух вадкасці, вязкая вадкасць, ўраўненні Наўе-Стокса, БЕССЕТОЧНЫЕ МЕТАДЫ, МЕТАД згладжанымі (Сціскала) часціц, струмень вадкасці..

У дыпломнай працы вывучаецца задача аб моцна нелінейнай руху вадкасці са свабоднай мяжой з дапамогай бессеточного метаду мадэлявання плыняў.

Мэтай дыпломнай працы з'яўляецца аналіз і вывучэнне бессеточного метаду сгладжаных часціц, пабудова алгарытму дадзенага метаду вывучэнне спецыфікі і мадыфікацый метаду, параўнанне вынікаў рашэння з аналітычнымі рашэннямі, параўнанне атрыманых вынікаў з некаторымі лікавымі метадамі.

Для дасягнення пастаўленай мэты выкарыстоўваліся:

• Мадэль вязкай слабосжимаемой вадкасці са

свабоднымі межамі.

• Распрацаваны алгарытм мадэлявання плыняў у асяроддзі праграмавання Microsoft Visual Studio.

У дыпломнай працы атрыманы наступныя вынікі:

• Сфармуляваны асноўныя этапы мадэлявання плыні вадкасці з дапамогай метаду SPH. Разгледжаны некаторыя тыповыя задачы для праверкі асобных кампанент алгарытму.

• Праведзены аналіз і параўнанне атрыманых вынікаў з аналітычнымі рашэннямі вядомых задач, вывучаны і ўкаранёны некаторыя мадыфікацыі алгарытму.

• змадэляваць задача аб абрушэнні слупа вадкасці, з некалькімі спосабамі вываду выніку на інтэрфейс карыстальніка.

Дыпломная праца носіць практычны і аналітычны характар. Кампаненты і мадыфікацыі алгарытму могуць быць ужытыя ў іншых праграмах мадэлявання плыні вадкасці з дапамогай бессеточных метадаў, а таксама некаторыя з кампанентаў могуць быць ужытыя ў мадэляванні астранамічныя з'яў.

Дыпломная праца выканана аўтарам самастойна.