# Облікова картка НДДКР

**Державний обліковий номер:** 0223U003887

**Державний реєстраційний номер:** 0122U201304

**Відкрита**

**Дата реєстрації:** 18-07-2023

## 1. Етапи виконання

**Номер етапу:** 1

**Назва етапу:** Сучасні методи математичного моделювання в теоретичних, технічних та природничих задачах. Актуальні проблеми вивчення математики у вищій школі.

**Початок етапу:** 09-2022

**Закінчення етапу:** 09-2023

**Вид звітного документа:** Остаточний звіт

## 2. Виконавець

**Назва організації:** Державний вищий навчальний заклад "Приазовський державний технічний університет"

**Код ЄДРПОУ/ІПН:** 02070812

**Підпорядкованість:** Міністерство освіти і науки України

**Адреса:** вул. Університетська, буд. 7, м. Маріуполь, Донецька обл., 87555, Україна

**Телефон:** 380629333416

**Телефон:** 380629529924

**E-mail:** office@pstu.edu

**WWW:** http://pstu.edu

## 3. Власник результатів НДДКР (продукції)

**Назва організації:** Державний вищий навчальний заклад "Приазовський державний технічний університет"

**Код ЄДРПОУ/ІПН:** 02070812

**Адреса:** вул. Університетська, буд. 7, м. Маріуполь, Донецька обл., 87555, Україна

**Підпорядкованість:** Міністерство освіти і науки України

**Телефон:** 380629333416

**Телефон:** 380629529924

**E-mail:** office@pstu.edu

**WWW:** http://pstu.edu

## 4. Джерела та напрями фінансування

**Підстава для проведення робіт:** 43 - власна ініціатива (якщо робота виконується з власної ініціативи за кошти виконавця НДР або безкоштовно)

**КПКВК:**

**Напрям фінансування:** 2.1 - фундаментальні дослідження

### Джерела фінансування

**Джерело фінансування:** 7706 - безплатно (договір про науково-технічне співробітництво, тощо)

**Фактичний обсяг фінансування за звітний етап:** 0.000 тис. грн.

## 5. Науково-технічна робота

### Назва роботи (укр)

Сучасні методи математичного моделювання в теоретичних, технічних та природничих задачах. Актуальні проблеми вивчення математики у вищій школі

### Назва роботи (англ)

Modern methods of mathematical modeling in theoretical, technical and natural problems. Actual problems of studying mathematics in higher education

### Реферат (укр)

Об'єкт дослідження – математичне та комп'ютерне моделювання абстрактних, технічних та економічних об'єктів, методи викладання математики в технічному університеті. Мета роботи – дослідження процесів у різних галузях природознавства, економіки і техніки за допомогою створення математичних моделей, їх аналіз за допомогою математичних методів та комп'ютерного моделювання. Розроблення нових методик навчання математики. Метод дослідження – аналітичне та чисельне моделювання. Методичні розробки, такі як тестування студентів за допомогою інформаційно-комп'ютерних технологій. Результати досліджень: Досліджено застосування симплектичного методу інтегрування системи точкових вихорів в ідеальній рідині. Застосовується метод Тао подвоєння фазового простору. Дослідження вказують на те, що симплектичний метод зберігає енергію (гамільтоніан) вихорів, тоді як метод Рунге-Кутти 2-го порядку дає зниження енергії. Встановлено зв'язок поміж осциляційними властивостями розв'язку крайової задачі та рівнями в лакуні граничного спектру для диференціального рівняння довільного порядку. Розглянуті альтернативні методи симетричної регресії, зокрема: ортогональна регресія та регресія середнього геометричного. Виведення кожного методу стає ефективним завдяки використанню формули Еренберга для звичайної помилки найменших квадратів і шляхом виділення вагової функції, яка характеризує регресію. Розглянуто функціонування багатоканальної системи масового обслуговування у стаціонарному режимі: побудовано напівмарковський робочий прилад, проаналізовано асимптотичну поведінку ймовірностей групових відмов на одному інтервалі відновлення контролюючого пристрою. Проведено чисельний аналіз визначення резонансних частот та характеристик хвильового поля для задачі про гармонійні коливання кусочно-неоднорідної області, що складається з трьох з'єднаних один з одним прямокутників з різними пружними властивостями. Описана двовимірна дев'ятишвидкістна модель методу LBM (D2Q9) з інтегралом зіткнення частин

### Реферат (англ)

The object of research is mathematical and computer modeling for abstract, technical and economic objects, methods of teaching mathematics at a technical university. The purpose of the work is to study processes in various fields of natural science, economics, and technology using the creation of mathematical models, their analysis using mathematical methods and computer modeling. Development of new methods of teaching mathematics. The research method is analytical and numerical modeling. Methodological developments, such as testing students using information and computer technologies. Research results: The application of the symplectic integration method to the system of point vortices in an ideal fluid was investigated. The Tao method of doubling the phase space is used. Research indicates that the symplectic method conserves the energy (Hamiltonian) of the vortices, while the 2nd-order Runge-Kutta method yields energy reduction. The relationship between the oscillatory properties of the solution of the boundary value problem and the levels in the gap of the boundary spectrum for a differential equation of arbitrary order is established. Considered alternative methods of symmetric regression, in particular: orthogonal regression and regression of the geometric mean. The derivation of each method is made efficient by using Ehrenberg's formula for the ordinary least squares error and by extracting a weight function that characterizes the regression.

The operation of the multi-channel mass service system in stationary mode is considered: a semi-Markov operating device is constructed, the asymptotic behavior of the probabilities of group failures at one recovery interval of the control device is analyzed. Numerical analysis of the determination of resonant frequencies and characteristics of the wave field for the problem of harmonic oscillations of a piecewise inhomogeneous region consisting of three interconnected rectangles with different elastic properties was

**Індекс УДК:** 373.1.02:372.8, 378.02:372.8, 519.711.3 , 378.14 (047.31); 51.001.575(047.31)

**Коди тематичних рубрик НТІ:** 14.25.09, 14.35.09, 28.17.19

## 6. Науково-технічна продукція (НТП)

### НТП 1

**Назва продукції (укр):** Методи, моделі і алгоритми розв'язання задач математичного моделювання технічних та природничих процесів

**Назва продукції (англ):** Methods, models and algorithms for solving problems of mathematical modeling of technical and natural processes

**Очікувані результати:** Методи, теорії

**Галузь застосування:** 11 - Математика та статистика

**Опис продукції (укр):** Розроблено методику інтегрування системи руху точкових вихрів симплектичним методом, що дозволяє забезпечити збереження гамільтоніана. Встановлено зв’язок поміж осциляційними властивостями розв’язку крайової задачі та рівнями в лакуні граничного спектру для диференціального рівняння довільного порядку. Розроблено методику визначення резонансних частот та характеристик хвильового поля для задачі про гармонійні коливання кусочно-неоднорідної області._ Досліджено альтернативні методи симетричної регресії, зокрема: ортогональна регресія та регресія середнього геометричного. _ Розроблена методика моделювання течії Пуазейля у плоскому каналі та обтікання кругового циліндра у плоскому каналі методом граткових рівнянь Больцмана. _Досліджено функціонування багатоканальної системи масового обслуговування у стаціонарному режимі: побудовано напівмарковський робочий прилад, проаналізовано асимптотичну поведінку ймовірностей групових відмов на одному інтервалі відновлення контролюючого пристрою

**Соціально-економічна спрямованість НТП:** Підвищення автоматизації виробничих процесів

**Стадія завершеності НТП:** Звіт по НДДКР

**Впровадження НТП:** Впроваджено

**Строки впровадження:** 09.202209.2023

**Виробник продукції:** ДВНЗ "ПДТУ"

**Споживачі продукції:** вчителі, викладачі, студенти, науковці

**Перспективні ринки:** Україна

**Права інтелектуальної власності:** немає

**Форми та умови передачі продукції:** Продаж ліцензії, Продаж «Ноу-хау»

## 7. Бібліографічний опис

1. К. Фен, Про симплектичну геометрію// Матеріали Пекінського симпозіуму 1984р., Диференціальна геометрія та диференціальні рівняння-Розрахунок диференціальних рівнянь у частинних похідних (ред. К. Фенг), Science Press, Пекін, 1985, - С. 42-58.

2. К. Фенг та М.З. Кін, Симплектичні методи обчислення гамільтонових рівнянь, 1987, - С. 1-37.

3. І. Пуллін, П.Г. Саффман, Довгочасне симплектичне інтегрування: Приклад чотиривихрового руху, 1991, - 481- 494 с.

4. Molei Tao Explicit symplectic approximation of nonseparable Hamiltonians: Algorithm and long time performance//Physical

Review E, 94(4). doi:10.1103/physreve.94.043303 – 2016.

5. Pullin D. I, Saffman P. G., Long-Time Symplectic Integration: The Example of Four-Vortex Motion, Proceedings: Mathematical and Physical Sciences, 432(1886), 481-494(1991)

6. Mei-Qing Zhang and Meng-Zhao Qin. Explicit Symplectic Schemes to Solve Vortex Systems. Computers Math. Applic., 26(5), 51-56(1993), https://doi.org/10.1016/0898-1221(93)90073-5

7. San Miguel, A., Adaptive geometric numerical integration for point vortex dynamics, Phys. Rev. E, 74(4), 046706(2006), doi:10.1103/PhysRevE.74.046706.

8. Рофе-Бекетов Ф.С. Константы типа Кнезера и эффективные массы для зонных потенциалов / Ф.С. Рофе-Бекетов // Докл. АН СССР. – 1984. – 276, № 2 – с. 356-359.

9. Холькин А.М. Самосопряженные краевые условия на бесконечности для квазирегулярной системы дифференциальных уравнений четного порядка / А.М. Холькин // В кн.: Теория операторов в функциональных пространствах и ее приложения: Сб. науч. тр. – К.: Наук. Думка. – 1981. – С. 174 – 183.

10. Gesztesy F. Zeros of the Wronskian and renormalized oscillation theory / F.Gesztesy, B. Simon and G. Teschl // Am. J. Math. – 1996. – 118. – P. 571-594.

11. Рофе-Бекетов Ф. С. О самосопряженных расширениях дифференциальных операторов в пространстве вектор - функций / Ф. С. Рофе-Бекетов // Теория функций, функц. анализ и их приложения.– 1969.– вып. 8.– С. 3-24.

12. Холькин А. М. Описание самосопряженных расширений дифференциальных операторов произвольного порядка на бесконечном интервале в абсолютно неопределенном случае // А. М. Холькин // Теория функций, функциональный анализ и их приложения.- Харьков,1985.- вып. 44.-С. 112-122.

13. Наконечний С. І. Математичне програмування: [навч. посіб.] / С. І. Наконечний, С. С. Савіна. – К.: КНЕУ, 2003. – 198 с.

14. Эконометрика. Начальный курс: [учеб.] / Я. Р. Магнус, П. К. Катышев, А. А. Пересецкий. – М. : Дело, 2005.- 576 с.

15. Літвін Н.В. Напівмарківський прилад для багатоканальної системи обслуговування. [Текст]: Материалы XII междунар. заочной науч.-практ. конф. «Развитие науки в XXI веке», 16 апреля 2016г. Харьков / сборник со статьями, 1часть (уровень стандарта, академический уровень). – Х. научно-информационный центр «Знание», 2016. – С. 44 – 50.

16. Гринченко В.Т. Гармонические колебания и волны в упругих полях / В.Т. Гринченко, В.В. Мелешко. – Киев: Наук. Думка, 1981. – 283с.

17. Лупаренко Е.В. Асимптотический метод исследования волновых полей в анизотропной прамоугольной области / Л.П. Вовк, Е.В. Лупаренко, Б.В. Соболь // Вестник Донского гос. техн. ун-та. – 2001. – Т. 1. – №2(8) – С. 57-65.

18. Лупаренко Е.В. Про один метод исследования вибрационных характеристик кусочно-неоднородных элементов конструкций прямоугольной формы / / Л.П. Вовк, Е.В. Лупаренко // Вибрация в технике и технологиях. – 2002. – Т. 24. - №3. – С. 22-25.

19. Wolf-Gladrow D. Lattice-Gas Cellular Automata and Lattice Boltzmann Models - An Introduction / D. Wolf-Gladrow. – Bremerhaven: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine, 2005. – 311 p.

20. Succi S. The lattice Boltzmann equation: a new tool for computational fluid-dynamics / S. Succi, R. Benzi, F. Higuera // Physica D. – 1991. – 47. – P. 219-230

21. Succi S. The lattice Boltzmann equation for fluids and beyond / S. Succi. – Oxford : Oxford University Press, 2001. – 290 p.

22. Белоцерковский О. М. Метод крупных частиц в газовой динамике / О. М. Белоцерковский, Ю. М. Давыдов. – М. : Наука, 1982. – 392 с.

23. Бандман О. Л. Клеточно-автоматные модели естественных процессов и их реализация на современных компьютерах / О. Л. Бандман // Прикладная дискретная математика. – 2017. – № 35. – С. 102-121.

24. Guo Z. Lattice Boltzmann model for incompressible flows through porous media / Z. Guo, TS Zhao // Phys. Rev. E Stat.

Nonlinear Soft Matter Phys. – 2002. – Vol. 66. – P. 036304-1 - 036304-9

25. Derksen J. J. The lattice-Boltzmann method for multiphase fluid flow simulations and Euler-Lagrange large-eddy simulations / J.J. Derksen // Multiphase Reacting Flows: Modelling and Simulation. – 2006. – Vol. 492. – P. 181-228.

26. Куперштох А. Л. Метод решеточных уравнений Больцмана для моделирования двухфазных систем типа жидкость-пар / А. Л. Куперштох // Современная наука. – 2010. – Т. 4, № 2. – С. 56-63.

27. Моделирование микротечений методом решеток Больцмана / А. И. Тыринов, А. А. Авраменко, Б. И. Басок, Б. В. Давиденко // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 2. – С. 11-18.

28. Li W., Wei X., Kaufman A. Implementation lattice Boltzmann computation on graphic hardware // Visual Computer, 2003. – 19. – 444-456.

29. The Lattice-Boltzmann Method for Simulation Gaseous Phenomena / X. Wei, K. Muller, W. Li, A. Kaufman // IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2004. – V. 10, no. 2. – 164 – 176.

30. Реализация метода решеточных уравнений Больцмана для расчетов на GPU-кластере / Д. А. Бикулов, Д. С. Сенин, Д. С. Демин, А. В. Дмитриев, Н. Е. Грачев // Вычислительные методы и программирование. – 2012. – Т. 13. – С. 13-19.

31. Куперштох А. Л. Реализация метода решеточных уравнений Больцмана на многопроцессорных графических ускорителях для 3d моделирования двухфазных систем типа жидкость-пар // Современная наука. – 2011. – Т. 7, № 2. – С. 112-118.

32. Multi-GPU implementation of the lattice Boltzmann method / C. Obrecht, F. Kuznik, B. Tourancheau, J. Roux // Computers and Mathematics with Applications, 2013. – 65. – 252-261.

33. The TheLMA project: a thermal lattice Boltzmann solver for the GPU / C. Obrecht, F. Kuznik, B. Tourancheau, J. Roux // Computers and Fluids, 2012. – 55. – pp. 118-126.

34. Sucop M. C. Lattice Boltzmann modeling. An introduction for geophysics and engineeres / M.C. Sucop, D.T. Thorne. – Miama: Springer, 2006. – 173 p.

35. Водзянский В.В. Характер износа валков холодной прокатки и метод повышения их стойкости / Водзянский В.В., А.В. Радионенко. – Захист металургійних машин від поломок. – №12. – 2010. – С. 96 – 99.

36. Таиров В. П. Повышение производительности вибрационного выглаживания при использовании инструментальных блоков / В. П. Таиров, Д. А. Шевченко. – Университетская наука.– 2013. – С. 283 – 285.

37. Крилова Т.В. Професійно орієнтоване навчання математики в технічному вузі – першочергова задача сьогодення / Т.В.Крилова, П.О.Стеблянко // Вісник Черкаського університету. Серія: педагогічні науки. – Вип. 127. – Черкаси: вид. від. ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2008. – С. 98-102.

38. Главатських І.М. Професійна спрямованість математичної підготовки майбутніх інженерів-педагогів [Текст] : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / Главатських Ірина Михайлівна ; Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. - К., 2010. - 287, [5] арк. : рис. - Бібліогр.: арк. С.190-217.

39. Кислова, М. А. Професійна спрямованість навчання вищої математики майбутніх інженерів-електромеханіків.// Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології, 2016, № 2 (56). – С. 278-285.

40. Кусій М.І. Етапи викладання вищої математики для майбутніх фахівців служби цивільного захисту. Вісник ЛДУБЖД, №18, 2018, - С. 168-172.

## 8. Звітна документація

**Кількість сторінок в звіті:** 79

**Мова звіту:** Українська

**Кількість файлів у звіті:** 1

## 9. Заключні відомості

## Перелік осіб-виконавців

Буланчук Галина Григорівна (к. ф.-м. н., доц.)

Графов Віктор В'ячеславович (старший науковий співробітник)

Десятський Сергій Петрович (к. ф.-м. н., доц.)

Кіркіна Тетяна Юріївна (старший науковий співробітник)

Літвін Наталія Василівна (к. ф.-м. н., доц.)

Лупаренко Олена Валентинівна (к. т. н., доц.)

Носовська Світлана Євгенівна (ст. наук .співр.)

Остапенко Артем Олексійович (к. т. н.)

Холькін Олександр Михайлович (д. ф.-м. н., професор)

**Керівник організації:**

Ленцов Ігор Альбертович (к. т. н., доц.)

**Керівники роботи:**

Холькін Олександр Михайлович (д. ф.-м. н., професор)

**Керівник відділу реєстрації наукової діяльності УкрІНТЕІ**

Юрченко Т.А.