

Совместный выпуск

ВЕСТНИК

**Восточно–Казахстанского государственного
технического университета
им. Д. Серикбаева**

Главный редактор
ректор, профессор

Н.М. Темирбеков



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Институт вычислительных технологий
Сибирского отделения РАН**

Главный редактор
академик

Ю.И. Шокин



Вычислительные технологии

Часть 1

г. Усть-Каменогорск, 2013 г.

Редакционная коллегия журнала:

ВЕСТНИК ВКГУ:

Зам. главного редактора:

д-р техн. н., профессор Ж.О. Кульсеитов,
канд. геол.-мин. наук О.Д. Гавриленко

Отв. секретарь - *О.Н. Николаенко*

А.К. Адрышев, д-р техн. н.,

А.Н. Алексеенко, д-р ист. н.,

Ю.В. Баталов, д-р экон.н.,

Ю.А. Веригин, д-р техн. н.,

Б.А. Дьячков, д-р геол.-мин. н.,

М.В. Дудкин, д-р техн. н.,

Т.Т. Ипалаков, д-р техн. н.,

А.И. Квасов, д-р техн. н.,

Е.А. Колос, д-р экон. н.,

В.П. Колпакова, д-р техн. н.,

В.Х. Кумыков, д-р техн. н.,

Н.П. Малышев, канд. экон. н.,

Ж.Д. Назбиев, д-р. филол. н.,

С.В. Плотников, д-р физ.-мат. н.,

А.Д. Погребняк, д-р физ.-мат. н.,

М.С. Рафаилович, д-р геол.-мин. н.,

М.К. Скаков, д-р физ.-мат. н.,

Б.В. Сырнев, д-р техн. н.,

Г.О. Тлеукенова, Dr. Ing.,

А.К. Томилин, д-р физ.-мат. н.,

Е.М. Турганбаев, канд. физ.-мат. н., Dr. PhD.,

С.Д. Тыныбекова, д-р пед. н.,

Н.Г. Хисамиев, д-р физ.-мат. н.,

Ю.Н. Шапошник, д-р техн. н.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:

Заместитель главного редактора –

чл.-кор. РАН А.М. Федотов

Отв. секретарь - *канд. физ.-мат. наук*
А.В. Юрченко

У. Абдибеков, Казахстан

К. Е. Афанасьев, Россия

С. П. Баутин, Россия

акад. И. В. Бычков, Россия

чл.-кор. В. А. Гуцин, Россия

Н. Т. Данаев, Казахстан

Л. Жайнаков, Киргизия

Б. Т. Жумагулов, Казахстан

А. Канантай, Таиланд

М. Ковеня, Россия

акад. Н. А. Колчанов, Россия

Е. Краузе, Германия

В. Крейнович, США

Д. Крёнер, Германия

В. Ф. Куропатенко, Россия

Л. Лерэ, Франция

Х. Милошевич, Сербия

акад. Б. Г. Михайленко, Россия

В. В. Москвичев, Россия

акад. В. Я. Панченко, Россия

В. П. Потапов, Россия

К. Рознер, Германия

Б. Ру, Франция

М. Рэш, Германия

Н. Сатофука, Япония

чл.-кор. С. И. Смагин, Россия

чл.-кор. В.А. Сойфер, Россия

акад. А. Л. Стемпковский, Россия

М. Фрёнер, Германия

В. Ж. Хабаши, Канада

Джи-Хуан Хе, Китай

Ч. Хириш, Бельгия

акад. Б. Н. Четверушкин, Россия

Л. Б. Чубаров, Россия

чл.-кор. В. В. Шайдулов, Россия

Б. Эйнарссон, Швеция

З. Х. Юлдашев, Узбекистан

Программный комитет Международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании – 2013 (ВИТ-2013)»:

Жумагулов Б.Т.	академик НАН РК, председатель, Казахстан,
Шокин Ю.И.	академик РАН, сопредседатель, Россия,
Темирбеков Н.М.	чл.-кор. НАН РК, сопредседатель оргкомитета, Казахстан,
Данаев Н.Т.	чл.-кор. НАН РК, сопредседатель оргкомитета, Казахстан,
Орунханов М.К.	академик НИА РК, Казахстан,
Бычков И.В.	академик РАН, Россия,
Стемповский А.Л.	академик РАН, Россия,
Мамбетказиев Е.А.	академик НАН РК, Казахстан,
Кальменов Т.Ш.	академик НАН РК, Казахстан,
Харин С.Н.	академик НАН РК, Казахстан,
Жайнаков А.Ж.	академик НАН КР, Кыргызстан,
Шаршеналиев Ж.Ш.	академик НАН КР, Кыргызстан,
Алиев Ф.А.	академик НАН Азербайджана, Азербайджан,
Алшанов Р.А.	академик МАИН, Казахстан,
Омирбаев С.М.	академик МАИН, Казахстан,
Бияшев Р.Г.	академик МАИН, Казахстан,
Искаков К.Т.	академик МАИН, Казахстан,
Шарипбаев А.А.	академик МАИН, Казахстан,
Ускенбаева Р.К.	академик МАИН, Казахстан,
Кабанихин С.И.	чл.-кор. РАН, Россия,
Смагин С.И.	чл.-кор. РАН, Россия,
Федотов А.М.	чл.-кор. РАН, Россия,
Шайдуров В.В.	чл.-кор. РАН, Россия,
Сойфер В.А.	чл.-кор. РАН, Россия,
Тулохонов А.К.	чл.-кор. РАН, Россия,
Калимолдаев М.Н.	чл.-кор. НАН РК, Казахстан,
Бектемесов М.А.	чл.-кор. НИА РК, Казахстан,
Чубаров Л.Б.	профессор, Россия,
Москвичев В.В.	профессор, Россия,
Потапов В.П.	профессор, Россия,
Потатуркин О.И.	профессор, Россия,
Жижимов О.Л.	профессор, Россия,
Голушко С.К.	профессор, Россия,
Бобров Л.К.	профессор, Россия,
Абдибеков У.С.	профессор, Казахстан,
Кувандыков А.У.	профессор, Казахстан,
Амирбеков Ш.А.	профессор, Казахстан,
Тукеев У.А.	профессор, Казахстан,
Габбасов М.Б.	профессор, Казахстан,
Крёнер Д.	профессор, Германия,
Рознер К.	профессор, Германия,
Рэш М.	профессор, Германия,
Шокина Н.Ю.	доктор PhD, Германия,
Панахов Е.	профессор, Турция,
Юлдашев З.Х.	профессор, Узбекистан,
Айнарсон Б.	профессор, Швеция,
Милошевич Х.	профессор, Сербия

Содержание

Вычислительные технологии	8
Абдибеков А.У., Акпан Д.Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИКИ С ПОМОЩЬЮ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА	8
Абдибеков У.С., Жакебаев Д.Б., Каруна О.Л. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫРОЖДЕНИЯ ИЗОТРОПНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В СРЕДЕ С ПАССИВНОЙ ПРИМЕСЬЮ	14
Абдибеков А.У., Каржаубаев К.К. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОГО ОБТЕКАНИЯ КВАДРАТНОГО ЦИЛИНДРА НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	16
Abduraimov A. E., Drakunov Y. M., Zmeikova T. A. KINEMATIC AND KINETOSTATIC RESEARCH THE MECHANISM OF THE 4th CLASS IN THE MAPLE	22
Адамов А.А., Тапаева Н.К. ЖҰМЫСЫ СЕНІМСІЗ ЭЛЕМЕНТТІ ЖАЛПЫҒА ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ЖҰЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ	27
Айсағалиев С.А., Кабидолданова А.А. КРИТЕРИЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ	33
Алдабергенов Н.А. ПОЗИТИВНЫЕ И НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ГЛОБАЛИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА НАЦИОНАЛЬНУЮ МАКРОСИСТЕМУ	38
Алонцева Д.Л., Красавин А.Л., Прохоренкова Н.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ В ДВУХСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ НАГРЕВЕ ДВИЖУЩИМСЯ ИСТОЧНИКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ	42
Арипов М.М., Рахмонов З.Р. К АСИМПТОТИКЕ АВТОМОДЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ПОЛИТРОПИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ С НЕЛИНЕЙНЫМ ГРАНИЧНЫМ УСЛОВИЕМ	50
Ахмед-Заки Д.Ж., Айдаров К.А. РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ МРІ С ИНТЕРФЕЙСОМ WEB 2.0	56
Бакланова О.Е., Узденбаев Ж.Ш. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОД В ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	60
Балова Т.Г., Мокеров В.О. МЕТОДЫ СИНТЕЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В СИСТЕМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ	66
Bekibaev T.T., Assilbekov B.K., Zhabbasbayev U.K. PARALLEL COMPUTING OF TWO PHASE FLOW IN POROUS MEDIUM ON GPU	71
Бельгибаев Б.А., Букесова А.М., Коржаспаев А.Е. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОСБРОСОВ ПЛОТИНЫ МЕДЕО В ТЕХНОЛОГИИ FLOWVISION	79
Бельгинова С.А., Рахметуллина С.Ж., Денисова А.В. ВАРИАЦИОННОЕ УСВОЕНИЕ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	83
Бельдеубаева Ж.Т., Бельгинова С.А., Берекенова А.М. ЛАГРАНЖ МОДЕЛІН ҚОЛДАНЫП АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАНЫҢ ЛАСТАНУЫН МОДЕЛЬДЕУ	89
Belyayev Ye., Naimanova A., Kaltayev A. NUMERICAL STUDY OF PLANAR TURBULENT SUPERSONIC FREE SHEAR LAYER USING ENO SCHEMES	94

Блеутаева К.Б., Алдабергенова А.А. КОММЕРЦИАЛЫҚ БАНКТЕРДІҢ ДЕПОЗИТ- ТІК ОПЕРАЦИЯЛАРЫНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗІ	97
Bokeyev N., Mukanov Zh. ON THE INTEGRABILITY WITH WEIGHT OF MULTIPLE MULTIPLICATIVE TRANSFORMS	101
Ван Е.Ю., Касперская А.А., Нурбаева Н.А., Карибаева М.К., Чурсин А.П. ИМИТАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В СРЕДЕ EXCEL НА ПРИМЕРЕ ОБЕЗВРЕ- ЖИВАНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ МЫШЬЯКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ	102
Варавин Е.В., Козлова М.В. АДАПТИРУЕМАЯ СИСТЕМА РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕН- КИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТА- ВА ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ	109
Гуркин А.А. ШАГИ НА ПУТИ К ПОЛУЧЕНИЮ ПРЕСТИЖНОЙ РАБОТЫ В ПРО- ЕКТНОЙ КОМПАНИИ 1С	118
Дракунов Ю.М., Шахворостова А.В., Абдураимов А.Е. СИНТЕЗ ПЛОСКОГО РЫ- ЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА 3-ГО КЛАССА С ВЫСТОЕМ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА	122
Емельянова М.Г., Зарубин Н.П. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛКНО- ВЕНИЙ	127
Жайнаков А.Ж., Курбаналиев А.Ы. ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРУПНО- МАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ НАВОДНЕНИЯ МЕТОДАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬ- НОЙ ГИДРОДИНАМИКИ	131
Жайнаков А., Усенканов Дж.О. РАЗВИТИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ВЫ- ЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФИЗИКЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ	133
Жапбасбаев У.К., Рамазанова Г.И., Pinho F. ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУР- БУЛЕНТНОГО ПОТОКА НЕФТЕСМЕСИ С ПОЛИМЕРНОЙ ПРИСАДКОЙ	139
Жумагулов Б.Т., Данаев Н.Т., Ахмед-Заки Д.Ж. МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИ- ОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖ- ДЕНИЙ - ИСАР-II	149
Жумагулов Б.Т., Данаев Н.Т., Турар О.Н. УРАВНЕНИЕ ПУАССОНА НА АДАПТИВ- НОЙ СЕТКЕ, ПОСТРОЕННОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ	156
Жумагулов Б.Т., Жакебаев Д.Б., Асылбекұлы А. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МНОГОКОМПОН- ЕНТНУЮ ЖИДКОСТЬ	165
Zhumagulov B., Issakhov A. MATHEMATICAL MODELLING OF THERMAL PROCESS TO THE AQUATIC ENVIRONMENT BY USING PARALLEL TECHNOLOGIES	169
Жумагулов Б.Т., Исахов А.А., Хикметов А.К. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВА- РИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА КАСПИЙСКОМ МОРЕ С НЕСТАЦИОНАР- НОГО ИСТОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТЕХНО- ЛОГИИ	175
Жумагулов Б.Т., Масанов Ж.К., Ажиханов Н.Т. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ПЛОСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДЕ	180
Иманкулов Т.С., Мухамбетжанов С.Т., Ахмед-Заки Д.Ж. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕ- ЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ПОЛИМЕРОМ	183
Искаков К.Т. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АРХЕОЛОГИЧЕ- СКИХ ОБЪЕКТОВ И ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ПОКРЫТИЙ	191

Казыкенов А.Ж., Бельдеубаева Ж.Т. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РИСК-МЕНЕДЖМЕНТЕ	197
Карибаева М.К., Нурбаева Н.А., Ван Е.Ю., Касперская А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ ПРИРОДНЫМИ ЦЕОЛИТАМИ	207
Kumukova T., Kumukov V. ENERGY SAVING TECHNOLOGIES FOR STABILIZING PRESSURE IN PNEUMATIC GEAR MINING MACHINERY	210
Mammadova G.H. THE RELATIONSHIP BETWEEN SIMILARITY AND EQUIVALENCE OF BILINEAR SEQUENTIAL MACHINES	214
Масанов Ж.К., Ажиханов Н.Т., Турымбетов Т.А., Жунисов Н.М. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЕ РАЗНООРИЕНТИРОВАННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ТРАНСТРОПНОМ МАССИВЕ	215
Mataibayeva I., Frolova O., Mirosnikova A. GEOLOGY AND EXPLORATION MODEL OF THE WORLD-CLASS BAKYRCHIK GOLD DEPOSIT, EAST KAZAKHSTAN	220
Миргородский С.И. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОМПРЕССОРА ДЛЯ ТНУ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА COP	224
Mirosnikova A., Rafailovich M., Frolova O., Mataibayeva I. GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF THE GIANT BAKYRCHIK GOLD DEPOSIT, EAST KAZAKHSTAN	229
Отелбаев М., Тулеуов Б., Жусупова Д. ОДИН МЕТОД РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ СИСТЕМ	233
Сегеда Т.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ХЛАДАГЕНТА ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ	237
Сегеда Т.А. РАСЧЕТ ТЕПЛОЕМКОСТИ МОЛЕКУЛЯРНО-КЛАСТЕРНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ	243
Shakenov K. SOLUTION OF THE PROBLEM FOR ONE MODEL OF RELAXATIONAL FILTRATION BY PROBABILITY DIFFERENCE AND MONTE CARLO METHODS	250
Yuldashev Z.Kh., Kalkhanov P.J. RESEARCH IN INTERVAL METHODS OF MODEL OF INTERBRANCH BALANCE WITH NONDETERMINATED DATA	256
Ахмедов Д., Елубаев С., Абдолдина Ф., Бопеев Т., Муратов Д., Поветкин Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА КЛАСТЕРНОЙ ГИБРИДНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ GPU-ПРОЦЕССОРОВ ОТ АРХИТЕКТУРЫ УЗЛА КЛАСТЕРА. II ЧАСТЬ: ГИБРИДНЫЙ КЛАСТЕР ИЗ ТРЕХ УЗЛОВ	263
Габбасов М.Б. АРХИТЕКТУРА И ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТОФИ	270
Досанова Л.М., Исмагулова Ф.Е., Теллы А.М. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕБЕСТОИМОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ТОФИ	277
Дурмагамбетов А.А., Фазылова Л.С. ГЛОБАЛЬНЫЕ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ФУРЬЕ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА	285

Мейрамбекова Л.Б., Фишер Н.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ТОФИ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНОМ	289
Оспанов К.Н. КОМПАКТНОСТЬ РЕЗОЛЬВЕНТЫ ОБЩЕЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДВУХ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА НА ПЛОСКОСТИ	293
Пустовойтенко В.В., Габбасов М.Б. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЦЕН НА СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫЕ ТОВАРЫ РЕАЛИЗОВАННАЯ ПЛАТФОРМЕ ТОФИ	296
Федяев П.А., Шейшенов Ж.О. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЫБОРОЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	299

УДК 519.633

МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИКИ С ПОМОЩЬЮ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА

А.У. Абдибеков, Д.Б. Акпан

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби

Abstract. Work is devoted to numerical model operation of an advance of waves in the homogeneous plane. In present work the parallel algorithm for calculation of dynamics of an advance of waves is investigated. Numerical model operation is carried out on the basis of a finite-difference method with absorbing borders. Are offered algorithm of a parallelizing of numerical calculations, based on the MPI technology. Analyzed dependence of parallel algorithm on number of knots of a grid and processes.

Keywords: acoustic, MPI.

Аңдатпа. Бұл жұмыс біртекті жазықтықта толқындардың таралуын сандық әдіспен пішіндеуге арналған. Жұмыста толқындардың таралу динамикасын есептеуге параллельдік алгоритмі зерттелген. Сандық пішіндеу шекті айырымды әдіспен пен шағылмайтын шекаралармен негізделген. MPI технологиясы негізінде сандық есептеулерді параллельдеу алгоритмі ұсынылады. Бұл жұмысында параллельді алгоритмнің тордың өлшемі мен процесстердің санына тәуелділігі зерттелген.

Кілттік сөздер: акустика, MPI.

Аннотация. Работа посвящена численному моделированию распространения волн в одномерной плоскости. В работе исследуется параллельный алгоритм для вычисления динамики распространения волн. Численное моделирование проводится на основе конечно-разностного метода с поглощающими границами. Предлагаются алгоритм распараллеливания численных расчетов, на основе технологии MPI. В работе исследованы зависимость параллельного алгоритма от количества узлов сетки и процессов.

Ключевые слова: акустика, MPI.

Введение

Настоящая работа посвящена исследованию методами численного моделирования процессов распространения звуковых волн в однородных пространствах. В качестве базовой системы уравнений, описывающих процесс распространения звуковых волн взято волновое уравнение, хорошо описывающее распространение волн в среде. Полученные гиперболические уравнения решаются численно с применением параллельных вычислительных комплексов. Разработанная параллельная программа предназначена для численного моделирования распространения волн в двумерно однородных моделях сред, используя конечно разностный метод. Основными целями данной работы является разработка комплекса программ для численного моделирования распространения звуковых волн ограниченном пространстве, а также в детальном изучении процессов развития волновой картины в однородных случаях. В модели реализованы точечные источники начального возмущения.

Математическая модель

Математическая модель распространения звуковых колебаний в двумерном случае однородной среде может быть представлена в виде гиперболической системы уравнений в частных производных второго порядка в форме [1]

$$\frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + f \quad (1)$$

где a —это скорость распространения звука в однородной среде. Функция $f(t, x, y)$ в правой части уравнения описывает возмущение, побуждающие акустические колебания в однородной среде. Для описания динамики распространения волн в некоторой среде, используем неотражающие граничные условия. Граничные условия на границах должны обладать "поглощающими" свойствами, т.е. такими, чтобы решение граничной задачи было точным решением начальной задачи.[2] В полной мере данный подход изложен в работах [1]-[2]

$$\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial t} = 0, x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial t} = 0, y = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} = 0, x = 1 \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial t} = 0, y = 1 \quad (5)$$

В начальный момент система находится в не возмущенном состоянии, т.е. начальное поле будет равно нулю.

$$u(x, y, 0) = 0, u_t(x, y, 0) = 0 \quad (6)$$

Численный алгоритм

В численном решении (1) дифференциального уравнения используется метод конечных разностей с использованием явной схемы. Конечно-разностный метод с явной схемой для волнового уравнения имеет следующий вид[4]

$$\frac{u_{ij}^{n+1} - 2u_{ij}^n + u_{ij}^{n-1}}{\Delta t^2} = c^2 \left(\frac{u_{i+1j}^n - 2u_{ij}^n + u_{i-1j}^n}{\Delta x^2} + \frac{u_{ij+1}^n - 2u_{ij}^n + u_{ij-1}^n}{\Delta y^2} + f \right) \quad (7)$$

Решив это уравнение относительно u_{ij}^{n+1} , получим

$$u_{ij}^{n+1} = 2u_{ij}^n - u_{ij}^{n-1} + c^2 \Delta t^2 \left(\frac{u_{i+1j}^n - 2u_{ij}^n + u_{i-1j}^n}{\Delta x^2} + \frac{u_{ij+1}^n - 2u_{ij}^n + u_{ij-1}^n}{\Delta y^2} + f \right) \quad (8)$$

здесь $n = \overline{1, T-1}$; $i, j = \overline{1, N-1}$

Аппроксимация граничных условий

$$\begin{aligned} u_{Nj}^{n+1} &= u_{Nj}^n - \Delta t \left(\frac{u_{Nj}^n - u_{N-1j}^n}{\Delta x} \right), u_{0j}^{n+1} = u_{0j}^n - \Delta t \left(\frac{u_{1j}^n - u_{0j}^n}{\Delta x} \right); u_{iN}^{n+1} = \\ &= u_{iN}^n - \Delta t \left(\frac{u_{iN}^n - u_{iN-1}^n}{\Delta x} \right), u_{i0}^{n+1} = u_{i0}^n - \Delta t \left(\frac{u_{i1}^n - u_{i0}^n}{\Delta x} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

Поскольку используется явная схема необходимо удовлетворение условие устойчивости

$$c \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad (10)$$

При параллельном вычислении данной задачи каждый процессор проверяет сходимость уравнения следующим образом

$$\|u^{n+1} - u^n\| \leq \varepsilon \quad (11)$$

Методика распараллеливания

Поставленная задача ресурсоемкой, поэтому логично проводить столь массивные вычисления на современных суперкомпьютерах. Для реализации описанного конечноразностного метода был разработан параллельный алгоритм, способ распараллеливания который будет изложен далее. Для создания параллельного варианта алгоритма рассматривался подход декомпозиции области.[5] Данный подход заключается в том, что исходная область расчетов дробится на мелкие подобласти в количестве равном количеству вычислительных узлов, имеющемуся в распоряжении пользователя. Каждая подобласть закрепляется за отдельным процессором многопроцессорной системы. Вычисление динамики волнового поля включает в себя независимые вычисления внутри подобластей и обмен данными между соседними подобластями на границах их соприкосновения.

Разбиение области вычислений должно обеспечивать равномерную загрузку независимых процессоров и минимизировать объем передаваемой между ними информации.[6] Для этого область вычислений разрезается линиями по двум направления на меньшие четырехугольники таким образом, чтобы полученные подобласти имели близкие друг другу размеры, а по форме были бы близки к квадрату. При таком подходе, каждый процессор обменивается информацией с 3-4 соседями.

На рис. 1 представлен способ декомпозиции, где зеленым цветом обозначены теневые границы, красным цветом импортированные элементы.

Результаты

Были произведены численные расчеты моделирования акустических колебаний в однородной среде с различным положением источника. На рис 2. отображены динамика распространения акустических колебаний источником, расположенным на границе.

Распространение волн, когда источник находится на середине плоскости, отображены на рис. 3. На рисунке отображено как равномерно распространяются волны во всех направлениях и поглощаются на границах.

Распространение волн при нескольких возмущающих сил отображены на рис. 4. На данных картинках показана динамика распространения волн при возмущении плоскости двумя источниками.

Ниже представлены значения времени затраченные на расчет задачи с разными размерами сетки.

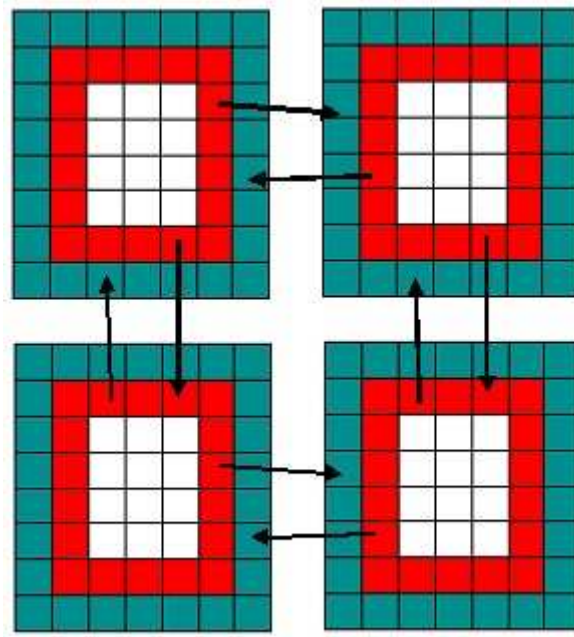


Рисунок 1 Схема организации обменов для 2D декомпозиции

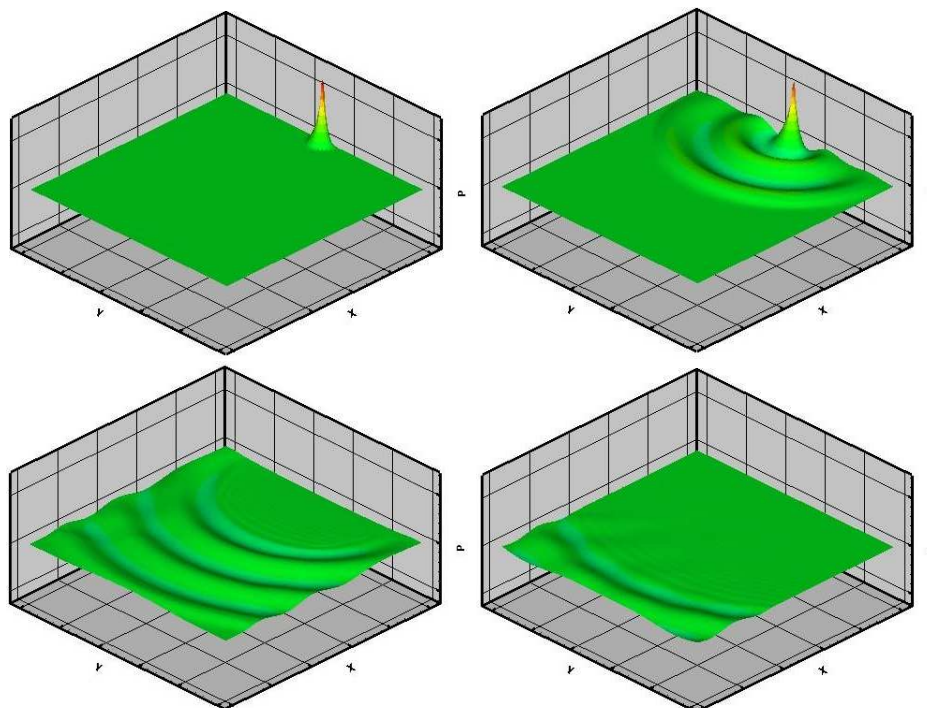


Рисунок 2 Распространение волн с одним источником

Заключение

Разработан алгоритм и создана параллельная программа для численного моделирования распространения звуковых колебаний в двумерных моделях однородных сред. С помощью созданной программы моделирования, проведены расчеты на многопроцессорных вычислительных системах. Разработанный параллельный алгоритм для моделирования волновых полей в двумерном однородной среде дает возможность детально исследовать акустические свойства пространства.

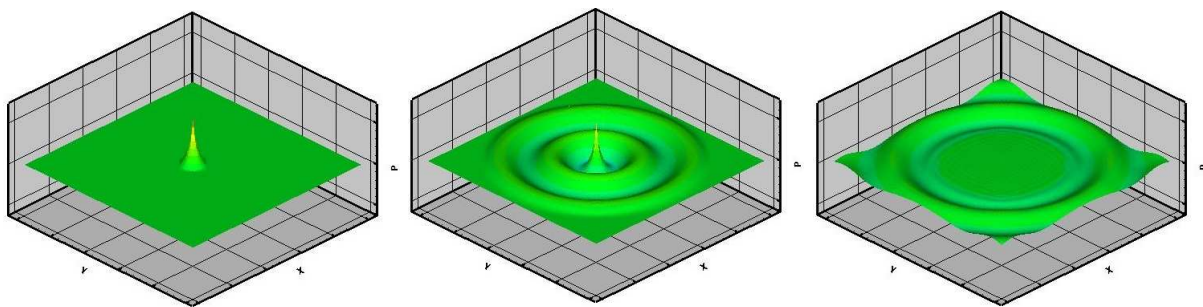


Рисунок 3 Распространение волн с одним источником, расположенным посередине

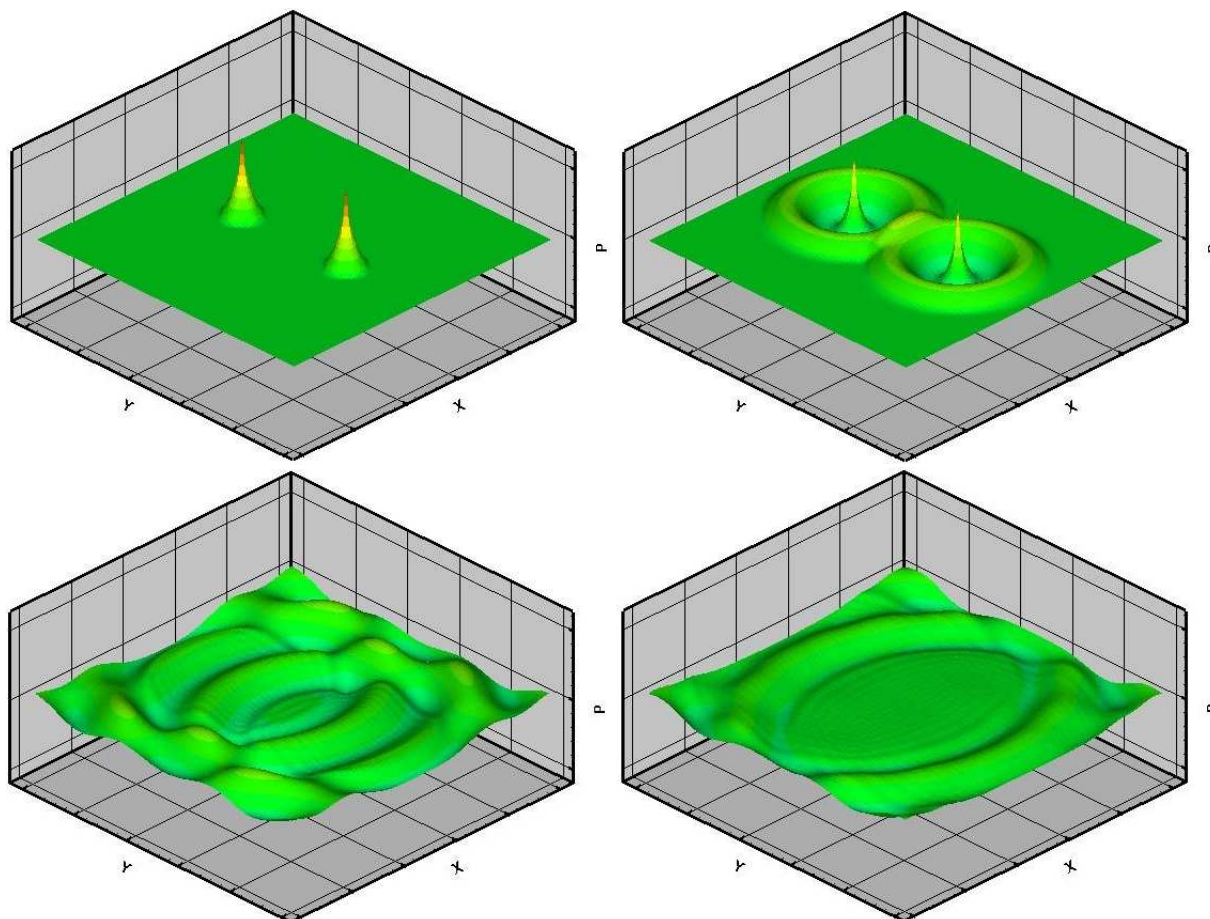


Рисунок 4 Распространение волн с двумя источниками

Таблица 1 Скорость выполнения параллельной программы для двумерного волнового уравнения

Nproc / N	100*100	200*200	500*500	1000*1000
1	0.000814	0.001997	0.00639	0.022109
2	0.0012485	0.001159	0.003691	0.008838
4	0.000502	0.001121	0.004688	0.009023
8	0.000587	0.0009	0.003828	0.010067
16	0.000237	0.000916	0.003222	0.007542
25	0.000410	0.000339	0.002291	0.004459

При анализе параллельного алгоритма было заключено следующие что, с течением увеличении количества процесса увеличивается ускорение. Было наблюдено что не всегда увеличение коли-

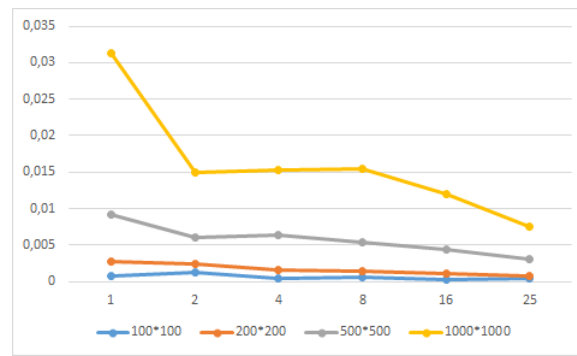


Рисунок 5 График скорости

Таблица 2 Показатели ускорение процессоров

Нпроц / N	100*100	200*200	500*500	1000*1000
1	1	2.453316953	7.85012285	27.16093366
2	1	0.928313977	2.956347617	7.078894674
4	1	2.233067729	9.338645418	17.97410359
8	1	1.533219761	6.521294719	17.14991482
16	1	3.864978903	13.59493671	31.82278481
25	1	0.826829268	5.587804878	10.87560976

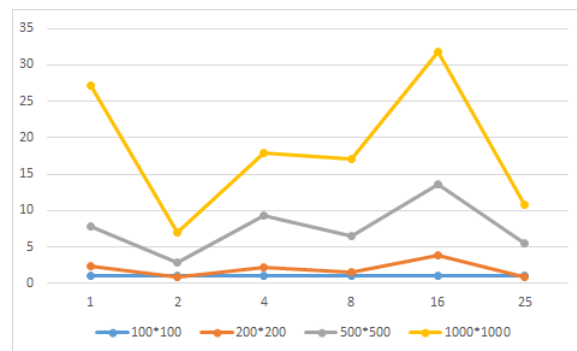


Рисунок 6 График ускорения

Таблица 3 Показатели эффективности

Нпроц / N	100*100	200*200	500*500	1000*1000
1	1	0.07611417	0.127386541	0.036817586
2	0.5	0.538610871	0.169127608	0.070632496
4	0.25	0.111953613	0.026770478	0.013908899
8	0.125	0.081527778	0.019167973	0.007288666
16	0.0625	0.016170852	0.0045973	0.001964002
25	0.04	0.048377581	0.007158446	0.003677955

чества процесса дает эффективность. Самым оптимальным количеством процессов оказалось 16, поскольку при таком заданном количестве процессов наблюдалось максимальное значение ускорения. При равномерном распределении области на подобласти вычисления получились более эффективными по времени, чем при не равномерном распределении.

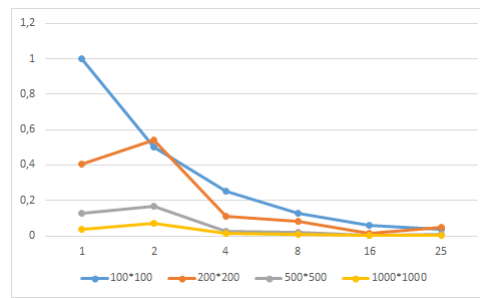


Рисунок 7 График эффективности

Список литературы

- [1] Уравнения математической физики./Тихонов А.Н., Самарский А.А. М., 1977. – 735 с.
- [2] Неотражающие условия на границах расчетной области./Ильгамов М.А., Гильманов А.Н. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 240 с.
- [3] D. Appelo Absorbing Layers and Non-Reflecting Boundary Conditions for Wave Propagation Problems - Stockholm, Sweden, 2005
- [4] Методы решения сеточных уравнений./Самарский А.А., Николаев Е.С. – М.: Наука. 1978. – 592 с.
- [5] ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДЕКОМПОЗИЦИИ В ПРОСТРАНСТВАХ СЛЕДОВ. В. П. Ильин, Д. В. Кныш // М.: МГУ имени М.В.Ломоносова, 2011. – 110-119 с.
- [6] Параллельные алгоритмы декомпозиции области для решения параболических задач./Вабищевич П.Н., Захаров П.Е. М., 2013

УДК 519.6; 532.517

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫРОЖДЕНИЯ ИЗОТРОПНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В СРЕДЕ С ПАССИВНОЙ ПРИМЕСЬЮ

У.С. Абдибеков, Д.Б. Жакебаев, О.Л. Каруна

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Abstract. In this paper we investigated the process of degeneration of isotropic turbulence with passive scalar field. Turbulent process is modeled with filtered Navier-Stokes equations and passive scalar transport equation. Transport equations closed with turbulent viscosity model.

Keywords: isotropic turbulence, turbulent viscosity model.

Андатпа. Осы жұмыста пассив қоспасы бар ортада изотропты турбуленттіліктің өшу процесі зерттелген. Турбулентті процесс филтрленген Навье Стокс тендеулері арқылы және пассив қоспа таралу тендеуі арқылы пішінделген. Тендеулерді тұйықтау үшін турбулентті тұтқырлық пішіні қолданылған.

Кілттік сөздер: изотропты турбуленттілік, турбулентті тұтқырлық моделі.

Аннотация. В настоящей работе исследуется процесс вырождения изотропной турбулентности в среде с пассивной примесью. Моделирование турбулентного процесса проводится на основе отфильтрованного нестационарного трехмерного уравнения Навье-Стокса и уравнения для переноса пассивной примеси. Для замыкания основных уравнений используется вязкостная модель турбулентности.

Ключевые слова: изотропная турбулентность, вязкостная модель турбулентности.

Исследование процесса вырождения изотропной турбулентности в среде с пассивной примесью имеет большое прикладное значение. Недостаточное понимание эволюции поля скоростей и структуры вырождения турбулентности в целом существенно затрудняет процесс математического моделирования и численную реализацию указанного процесса. Значительные теоретические экспериментальные исследования посвящены изучению поведения пассивной примеси в однородной изотропной турбулентности [1].

Основной ряд экспериментов по изучению движения пассивной примеси в турбулентном потоке были осуществлены такими учеными как Лин (Lin, 1973), Миллс (Mills, 1958), Серпи (Serpi, 1978), а также Вархавт (Warhaft, 1978), Люмлей (Lumley, 1978) и др. Все они рассматривали достаточно маленькую амплитуду пульсаций, что дало возможность пренебречь выталкивающей силой и изменение температуры, с точки зрения математики, рассматривлось как движение пассивной примеси. Условия, в которых проводились экспериментальные исследования, были близкими к однородной изотропной турбулентности [2].

На основе прямого численного моделирования С.Г. Чумаков в работе [3] проводил изучение однородной изотропной турбулентности при наличии пассивной примеси. Им были построены модели подсеточного масштаба, получено приближенное уравнение переноса для подсеточного масштаба, проанализированы предлагаемые модели.

Много внимания турбулентному переносу в среде с пассивной примесью уделено в работе [4]. Им предложено неявное моделирование подсеточного масштаба (SGS), как адаптивный метод локальной свертки.

Использованием и обоснованием различных гипотез подобия для моделирования турбулентного перемешивания в среде с пассивной примесью исследовал Ванг. Им также проведен подробный анализ различных статистических данных для случая однородной изотропной турбулентности в среде с пассивной примесью [5].

Настоящее исследование посвящено численному моделированию процесса турбулентного перемешивания в среде с пассивной примесью. Реализован идеализированный случай, когда однородная изотропная турбулентность имеет место в среде с пассивной примесью. Изучен процесс вырождения изотропной турбулентности в результате конвекции примеси. Показан процесс вырождения турбулентных структур при больших и малых числах Re , а также выявлены закономерности влияния примеси в большом диапазоне изменения числа Re . Показана динамика процесса при разных числах Fg и Re , что тоже определяет новизну настоящего исследования.

На всех границах рассматриваемой области для компонентов скорости и концентрации пассивной примеси выбраны периодические граничные условия. Начальные значения для каждого компонента скорости и концентрации задаются в виде функций, зависящих от волновых чисел в фазовом пространстве. Начальные условия для изотропной турбулентности рассмотрены в работе [6].

В результате решения описанной выше задачи, определены характеристики изменения кинетической энергии однородной турбулентности, компоненты скорости потока жидкости с пассивной примесью и продольно-поперечные корреляционные функций по времени.

Список литературы

- [1] Иевлев В.М. Численное моделирование турбулентных течений. – М.: Наука, 1990. 216 с.
- [2] Antonopoulos-domis M. Large-eddy simulation of a passive scalar in isotropic turbulence // Journal of Fluid Mechanics, 1981, V. 104, p. 55-79.
- [3] Chumakov, S.G. A priori study of subgrid-scale flux of a passive scalar in isotropic homogeneous turbulence // Physical Review E., 2008, V. 78, Issue 3, Article number 036313.
- [4] Hickel, S.A , Adams, N.A., Mansour, N.N. Implicit subgrid-scale modeling for large-eddy simulation of passive-scalar mixing // Physics of Fluids, 2007, V. 19, Issue 9, Article number 095102.
- [5] Wang, L.-P., Chen, S., Brasseur, J.G. Examination of hypotheses in the Kolmogorov refined turbulence theory through high-resolution simulations. Part 2. Passive scalar field // Journal of Fluid Mechanics, 1999, V. 40, p. 163-197.
- [6] Abdibekov U.S., Zhakebaev D.B. Modelling of the decay of isotropic turbulence by the LES // Journal of Physics: Conference Series, 2011, V. 318, doi:10.1088/1742-6596/318/4/042042

УДК 519.684;519.63

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОГО ОБТЕКАНИЯ КВАДРАТНОГО ЦИЛИНДРА НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

А.У. Абдибеков, К.К. Каржаубаев

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Abstract. A parallel algorithm for simulation of fluid dynamics was developed. Numerical solution of the complete Navier-Stokes equations for a multiprocessor system was investigated. The results of the research on the effectiveness of the parallel algorithm on an example calculation of viscous flow around a square cylinder are presented.

Keywords: Parallel algorithm, Navier-Stokes equations.

Аңдатпа. Гидродинамика есептерін параллельдеу алгоритмі құрылды. Көпроцессорлы есептеу жүйесінде толық Навье-Стокс теңдеулер жүйесін сандық шешімі қарастырылды. Тұтқырлы сұйықтың квадрат цилиндрін орғып өту сандық шешу мысалы арқасында параллельді алгоритмнің тиімділігі зерттелді.

Кілттік сөздер: Параллельді алгоритм, Навье-Стокс теңдеулер жүйесі.

Аннотация. Разработан параллельный алгоритм моделирования задач гидродинамики. Рассматривается численное решение полной системы уравнений Навье-Стокса для многопроцессорной вычислительной системы. Представлены результаты исследования эффективности параллельного алгоритма на примере расчетов вязкого обтекания квадратного цилиндра.

Ключевые слова: параллельный алгоритм, уравнения Навье-Стокса.

Введение

Быстрый рост производительности многопроцессорных вычислительных систем привел к новому этапу развития вычислительного эксперимента, а также к проблеме перехода на многопроцессорные системы. Этот переход связан с адаптацией существующих алгоритмов и последовательных комплексов программ, рассчитанных на однопроцессорный режим работы, к параллельным вычислениям, что является достаточно сложной задачей для многопроцессорных систем в целом, а для систем с распределенной памятью в особенности [1, 2]. К примеру, одной из проблем является балансировка загрузки, то есть обеспечение равномерной загрузки процессоров при параллельных вычислениях [3], а также минимизация межпроцессорного обмена данными, что особенно сложно в случае использования неструктурированных сеток и обширных пространственных шаблонов [4]. Метод геометрического параллелизма, наиболее широко применяемый в задачах параллельной вычислительной динамики жидкости, предполагает разбиение расчетной области на множество подобластей, соответствующих процессорам. Каждый процессор производит вычисления для получения решения на узлах своей подобласти. В этом случае требуется минимизировать объем обмена данными и в тоже время как можно более равномерно распределить вычисления между процессорами, чтобы максимально сократить время вычислений. Существует множество последовательных комплексов программ, основанных на явных численных методах и реализующих эффективные численные алгоритмы, прошедших верификацию, но устаревших и неприменимых к актуальным современным задачам из-за ограничений производительности одного процессора. При этом, на разработку подобных комплексов программ в свое время было затрачено множество ресурсов, и было бы нерационально просто отказываться от их использования. Таким образом, возникает проблема эффективного распараллеливания существующего последовательного кода, разработанного без учета специфики параллельных вычислений. При этом, под эффективностью распараллеливания понимается не только эффективность вычислений, но и минимизация трудозатрат на разработку параллельной версии.

Постановка задачи

Исследование вязкого обтекания прямоугольного цилиндра осуществляется в прямоугольной области изображенной на рис. 1. В качестве начального распределения поля скорости взято не возмущенное состояние, где компоненты скорости равны нулю. Моделирование нестационарного движения несжимаемой среды осуществляется на основе системы безразмерных уравнений Навье-Стокса, записанных в декартовой системе координат:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \quad (1)$$

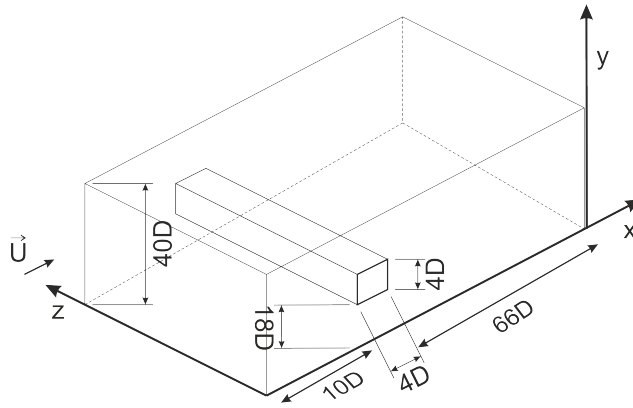


Рисунок 1 Схема расчетной области

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

где используются правило суммирования по повторяющимся индексам.

На стенках параллельных направлению оси OX используется условия прилипания для компонент скорости. Движения потока параллельно направлению оси OX. Скорость на входе задана и равна u_0 . На выходе для скорости ставятся условия Неймана. Аппроксимация производится на равномерной, разнесенной сетке, состоящей из кубических ячеек.

Алгоритм решения

Для численного решения системы (1)-(2) используется схема расщепления по физическим параметрам:

$$\frac{u^* - u^n}{\tau} = -(u^n \nabla) u^* + \nu \Delta u^* \quad (3)$$

$$\Delta p = \frac{\nabla u^*}{\tau} \quad (4)$$

$$\frac{u^{n+1} - u^*}{\tau} = -\nabla p \quad (5)$$

Предлагается следующая физическая интерпретация приведенной схемы расщепления. На первом этапе (6) предполагается, что перенос количества движения осуществляется только за счет конвекции и диффузии. Промежуточное поле скорости находится с использованием метода дробных шагов[5]:

$$\frac{f^{n+\frac{1}{3}} - f^n}{\tau} = \frac{1}{2} \Lambda_1 f^{n+\frac{1}{3}} + \frac{1}{2} \Lambda_1 f^n + \Lambda_2 f^n + \Lambda_3 f^n \quad (6)$$

$$\frac{f^{n+\frac{2}{3}} - f^{n+\frac{1}{3}}}{\tau} = \frac{1}{2} \Lambda_2 f^{n+\frac{2}{3}} - \frac{1}{2} \Lambda_2 f^n \quad (7)$$

$$\frac{f^* - f^{n+\frac{2}{3}}}{\tau} = \frac{1}{2} \Lambda_3 f^* - \frac{1}{2} \Lambda_3 f^n \quad (8)$$

где операторы записываются в следующем виде:

$$\Lambda_1 f = -u_1^n \frac{\partial f}{\partial x_1} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} \quad (9)$$

$$\Lambda_2 f = -u_2^n \frac{\partial f}{\partial x_2} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} \quad (10)$$

$$\Lambda_3 f = -u_3^n \frac{\partial f}{\partial x_3} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 f}{\partial x_3^2} \quad (11)$$

где $f = u_i, i = 1, 2, 3$.

На следующем этапе полученное промежуточное поле скорости используется для нахождения поля давления. И на последнем этапе точное выражение для нового поля скоростей получаем за счет добавления к промежуточному полю члена, соответствующего градиенту давления:

$$u_i^{n+1} = u_i^* - \tau \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (12)$$

где $i = 1, 2, 3$.

Подставляя данные замены в уравнения неразрывности и проведя преобразования, получим уравнение Пуассона для поля давления.

$$\frac{\partial^2 p}{\partial^2 x_1} + \frac{\partial^2 p}{\partial^2 x_2} + \frac{\partial^2 p}{\partial^2 x_3} = \frac{1}{\tau} \left(\frac{\partial u_1^*}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2^*}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3^*}{\partial x_3} \right) \quad (13)$$

Поскольку расчетная взята сетка равномерная, и ячейки представляют собой куб $\Delta x = \Delta y = \Delta z = h$, можно (13) записать в виде разреженной системы линейных алгебраических уравнений:

$$Ap = \Delta h^2 F \quad (14)$$

где

$$A = (B \otimes I \otimes I + I \otimes B \otimes I + I \otimes I \otimes B) \quad (15)$$

$$B = \begin{pmatrix} -2 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & -2 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 1 & -2 & 1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}$$

I – единичная матрица.

Параллельный алгоритм

Для нахождения промежуточного поля скорости, каждый компонент скорости по сечениям перпендикулярно оси z разбивается на разные процессоры. При нахождении компонента скорости $u^{\frac{1}{3}}, v^{\frac{1}{3}}, w^{\frac{1}{3}}$ производится прогонка вдоль направления оси OX . При нахождении компонента скорости $u^{\frac{2}{3}}, v^{\frac{2}{3}}, w^{\frac{2}{3}}$ производится прогонка вдоль направления оси OY . При нахождении компонента скорости u^*, v^*, w^* , как показано на рис. 2 разбиваем каждое сечение вдоль оси OX на блоки равные количеству процессоров и пересылаем соответствующему процессору. В результате каждый процессор получает сечения вдоль направления оси OZ , что дает нам возможность применить прогонку.

Для решения системы (14) используем LU разложение:

$$Ap = \Delta h^2 F = LUp = \Delta h^2 F \quad (16)$$

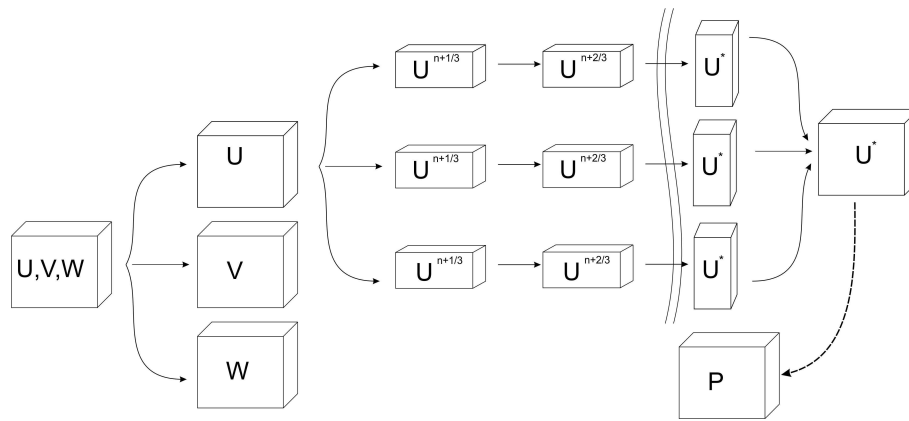


Рисунок 2 Схема алгоритма распараллеливания

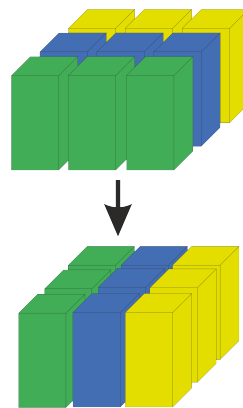


Рисунок 3 Схема пересылки блоков

$$Ly = \Delta h^2 F \quad (17)$$

$$Ux = y \quad (18)$$

Прежде всего, в самом начале итерации необходимо выбрать ведущую строку, которая при использовании метода главных элементов определяется поиском строки с наибольшим по абсолютной величине значением среди элементов столбца i , соответствующего исключаемой переменной x_i . Зная ведущую строку, подзадачи выполняют вычитание строк, обеспечивая тем самым исключение соответствующей неизвестной x_i . При выполнении обратного хода метода Lu подзадачи выполняют необходимые вычисления для нахождения значения неизвестных. Как только какая-либо подзадача i , $1 < i < n$, определяет значение своей переменной x_i , это значение должно быть использовано всеми подзадачами с номерами k , $k < i$: подзадачи подставляют полученное значение новой неизвестной и выполняют корректировку значений для элементов вектора стоящей в правой части.

Выделенные базовые подзадачи характеризуются одинаковой вычислительной трудоемкостью. Однако размер матрицы, описывающей систему линейных уравнений, является существенно большим, чем число потоков в программе (т.е., $n \ll p$), и базовые подзадачи можно укрупнить, объединив в рамках одной подзадачи несколько строк матрицы. При этом применение последовательной схемы разделения данных для параллельного решения систем линейных уравнений приведет к неравномерной вычислительной нагрузке между потоками: по мере исключения (на

прямом ходе) или определения (на обратном ходе) неизвестных в методе LU факторизации для большей части потоков все необходимые вычисления будут завершены и они окажутся простаивающими. Возможное решение проблемы балансировки вычислений может состоять в использовании ленточной циклической схемы для распределения данных между укрупненными подзадачами. В этом случае матрица A делится на наборы (полосы) строк.

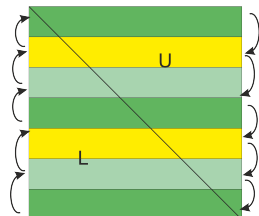


Рисунок 4 Схема параллельного алгоритма LU факторизации

Результаты

В результате использования параллельного алгоритма численного решения системы уравнений Навье-Стокса получены динамика поля скорости при числе Рейнольдса равном 500 (рис. 5).

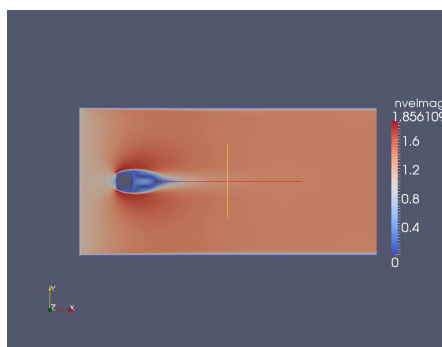


Рисунок 5 Модуль скорости в плоскости ХоУ в момент времени $t=1.029$

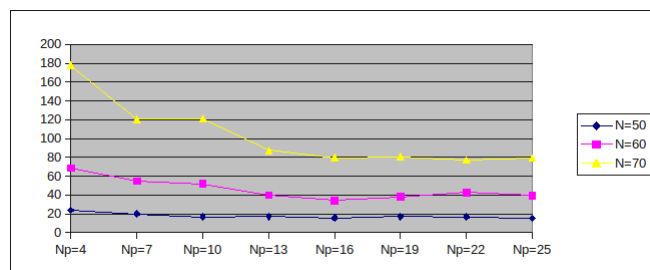


Рисунок 6 Скорость вычисления в зависимости от используемых процессоров для различных размерностей

Как видно из рис. 6 скорости вычисления, с увеличением расчетных точек, время расчета значительно увеличивается. Но с увеличением количества используемых процессоров, время

Таблица 1 Скорость вычисления в зависимости от используемых процессоров для различных размерностей

N / Nproc	Np=4	Np=7	Np=10	Np=13	Np=16	Np=19	Np=22	Np=25
N=50	23,82	20,10	16,76	16,95	15,53	17,15	16,82	15,39
N=60	68,63	54,94	51,87	39,72	34,09	37,98	42,87	39,61
N=70	177,80	120,43	121,43	87,46	79,66	80,78	77,18	79,39

затрачиваемое на вычисления сокращается. Для размерности 70x70x70 достаточно использования 16 процессоров. В дальнейшем с увеличением используемых процессоров время расчета не уменьшается. Это связано увеличением нагрузки на сеть, и большую часть времени процессоры ожидают.

Список литературы

- [1] Параллелизм в алгоритмах и программах. В.В. Воеводин // Вычислительные процессы и системы. Выпуск 10. / Под ред. Г.И. Марчука. М.: Физматлит., 1993.
- [2] Программирование на параллельных вычислительных системах: Пер. с англ. Акселрод Т., Беккерман М. и др./ Под ред. Р. Бэбба II. М.: Мир, 1991.
- [3] Проблемы эффективного использования многопроцессорных вычислительных систем. Б.Н. Четверушкин // Информационные технологии и вычислительные системы. - №2 с. 22–34, 2000.
- [4] Mesh Partitioning and Load Balancing for Distributed Memory Parallel Systems. / C. Walshaw, M. Cross, M.G. Everett. In B.H.V. Topping, editor, Advances in Computational Mechanics for Parallel and Distributed Processing, pp.97-104. Saxe-Coburg Publications, Edinburgh, 1997.
- [5] Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики./Н.Н. Яненко. Новосибирск: Наука, 1967. – 196 с.

УДК 621.01

KINEMATIC AND KINETOSTATIC RESEARCH THE MECHANISM OF THE 4th CLASS IN THE MAPLE

A. E. Abduraimov, Y. M. Drakunov, T. A. Zmeikova

Al-Farabi Kazakh National university

Abstract. In this paper we consider the vector method of solving one of the most important tasks of the dynamic analysis of the mechanism 4th class - kinetostatic analysis, which is to determine the reactions in the kinematic pairs and the balancing point. We also consider the kinematic analysis of the given mechanism by vector method. The solution of the given problem in the system is fully automated by analytical computations Maple.

Keywords: kinematic, kinetostatic, mechanism, Maple.

Аннотация. В данной работе рассмотрен векторный метод решения одной из важных задач динамического анализа механизма 4-го класса – кинетостатического анализа, который заключается в определении реакций в кинематических парах и уравновешивающего момента. Также рассматривается кинематический анализ механизма 4-го класса векторным методом. Решение данной задачи полностью автоматизировано в системе аналитических вычислений Maple.

Ключевые слова: кинематика, кинетостатика, механизм, Maple.

The kinematic research of the mechanism allows you to find the kinematic parameters of the desired mechanism, in this case we consider the mechanism of high class, the mechanism of the 4th class [1].

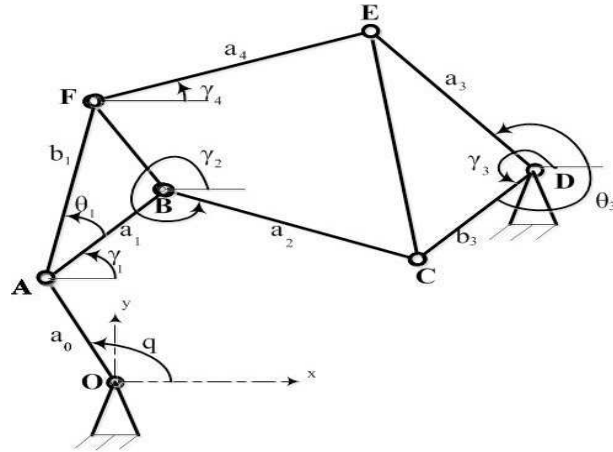


Figure 1 The mechanism of 4th class

Projecting the two vector equations of the closed contours:

$$\begin{cases} \vec{a}_0 + \vec{a}_1 + \vec{a}_2 = \vec{r}_D + \vec{b}_3 \\ \vec{a}_0 + \vec{b}_1 + \vec{a}_4 = \vec{r}_D + \vec{a}_3 \end{cases} \quad (1)$$

on axis x and y , obtain four scalar equations:

$$\begin{cases} a_0 \cos q + a_1 \cos \gamma_1 + a_4 \cos \gamma_4 = X_B + a_2 \cos \gamma_2 \\ a_0 \sin q + a_1 \sin \gamma_1 + a_4 \sin \gamma_4 = Y_B + a_2 \sin \gamma_2 \\ a_0 \cos q + a_1 \cos \gamma_1 + b_4 \cos(\gamma_4 + \alpha_4) = X_C + a_3 \cos \gamma_3 \\ a_0 \sin q + a_1 \sin \gamma_1 + b_4 \sin(\gamma_4 + \alpha_4) = Y_C + a_3 \sin \gamma_3 \end{cases} \quad (2)$$

Maple software package allows you to automatically obtain a system of equations for the analogs of velocities, thus using the diff (), we obtain:

$$\begin{cases} -a_0 \sin q - a_1 \sin \gamma_1 \cdot \gamma_1' - a_4 \sin \gamma_4 \cdot \gamma_4' = -a_2 \sin \gamma_2 \cdot \gamma_2' \\ a_0 \cos q + a_1 \cos \gamma_1 \cdot \gamma_1' + a_4 \cos \gamma_4 \cdot \gamma_4' = a_2 \cos \gamma_2 \cdot \gamma_2' \\ -a_0 \sin q - a_1 \sin \gamma_1 \cdot \gamma_1' - b_4 \sin(\gamma_4 + \alpha_4) \cdot \gamma_4' = -a_3 \sin \gamma_3 \cdot \gamma_3' \\ a_0 \cos q + a_1 \cos \gamma_1 \cdot \gamma_1' + b_4 \cos(\gamma_4 + \alpha_4) \cdot \gamma_4' = a_3 \cos \gamma_3 \cdot \gamma_3' \end{cases} \quad (3)$$

We differentiate again the previous system using by resources of Maple, we obtain a linear a system is relatively analogs of acceleration (4):

$$\left\{ \begin{array}{l} -a_0 \cos q - a_1(\sin \gamma_1 \cdot \gamma_1'' + \cos \gamma_1 \cdot \gamma_1'^2) - a_4(\sin \gamma_4 \cdot \gamma_4'' + \cos \gamma_4 \cdot \gamma_4'^2) = -a_2(\sin \gamma_2 \cdot \gamma_2'' + \cos \gamma_2 \cdot \gamma_2'^2) \\ -a_0 \sin q + a_1(\cos \gamma_1 \cdot \gamma_1'' - \sin \gamma_1 \cdot \gamma_1'^2) + a_4(\cos \gamma_4 \cdot \gamma_4'' - \sin \gamma_4 \cdot \gamma_4'^2) = a_2(\cos \gamma_2 \cdot \gamma_2'' - \sin \gamma_2 \cdot \gamma_2'^2) \\ -a_0 \cos q - a_1(\sin \gamma_1 \cdot \gamma_1'' + \cos \gamma_1 \cdot \gamma_1'^2) - b_4(\sin(\gamma_4 + \alpha_4) \cdot \gamma_4'' + \cos(\gamma_4 + \alpha_4) \cdot \gamma_4'^2) = \\ = -a_3(\sin \gamma_3 \cdot \gamma_3'' + \cos \gamma_3 \cdot \gamma_3'^2) \\ -a_0 \sin q + a_1(\cos \gamma_1 \cdot \gamma_1'' - \sin \gamma_1 \cdot \gamma_1'^2) + b_4(\cos(\gamma_4 + \alpha_4) \cdot \gamma_4'' - \sin(\gamma_4 + \alpha_4) \cdot \gamma_4'^2) = \\ = a_3(\cos \gamma_3 \cdot \gamma_3'' - \sin \gamma_3 \cdot \gamma_3'^2) \end{array} \right. \quad (4)$$

The solution of systems (2), (3) and (4) in the program Maple allows to define kinematic parameters and build their graphs.

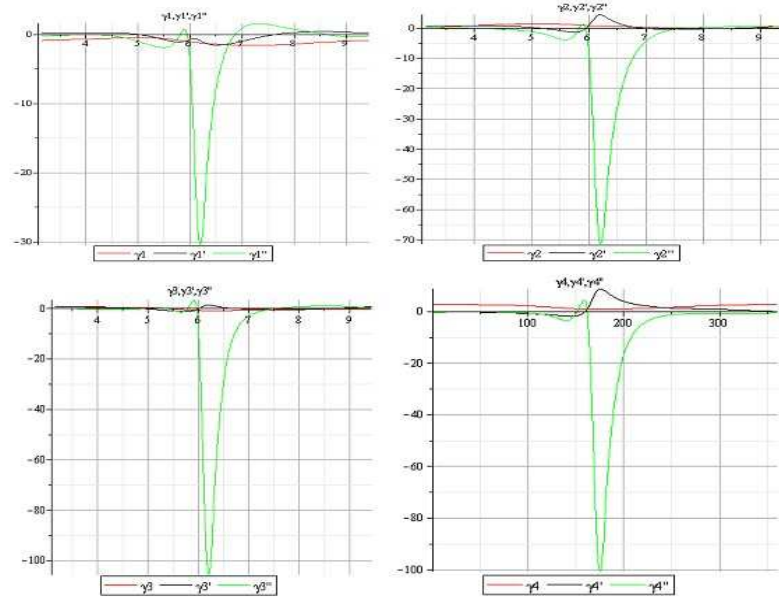


Figure 2 Graphs of the angular displacements, velocities and accelerations analogs of the mechanism links

Consider the vector method of solving one of the most important tasks of the dynamic analysis of mechanisms - kinetostatic analysis, which is to determine the reactions in the kinematic pairs and the balancing torque (power) on the drive link of a given law of movement the mechanism.

Denote by $\vec{R}_{ij} = -\vec{R}_{ji}$, $j = 0, 1, \dots, 7$ (reaction from i to j the link) the desired reaction in the kinematic pairs and M an unknown balancing moment on the leading link 1. Suppose given the mass of links m_i , the moments of inertia of links relative to the centers of mass J_{S_i} and the force of gravity of links \vec{G}_i (not shown in Fig. 1) and the moment of resistance on output link 5 \vec{M}_5 . Suppose that is known law of motion of the driving link $\varphi_1 = \varphi_1(t)$. From the solution of the kinematic analysis can determine the laws of motion of the other links of the mechanism [2]. Then it is possible to find the inertia forces of the centers of mass $-m_i \vec{W}_{S_i}$ and moments of inertia forces of the links $-J_{S_i} \varepsilon_i$.

The equilibrium equations for the five movable links of the mechanism by the principle of d'Alembert can be written in the form

$$\sum_j \vec{F}_{j,i} - m_i \vec{W}_{S_i} = 0, \quad \sum_j M_{S_i}(\vec{F}_{j,i}) - J_{S_i} \varepsilon_i \vec{k} = 0, \quad i = 1, \dots, 6 \quad (5)$$

here $\vec{F}_{j,i}$ - active and reactive forces, acting on the i link. We write (1) for each link, considering statically balanced leading link 1.