

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 ВКГТУ:

Зам. главного редактора:

*д-р техн. н., профессор Ж.О. Кульсейтов,
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. Гущин, Россия
Н. Т. Даанаев, 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. Хирш, Бельгия
акад. Б. Н. Четверушкин, Россия
Л. Б. Чубаров, Россия
чл.-кор. В. В. Шайдуров, 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,
Стемпковский 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,
Алишанов 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,
Поматуркин 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,
Айнарsson 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 СЕҢІМСІЗ ЭЛЕМЕНТТЕ ЖАЛПЫҒА ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ	27
Айсагалиев 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 MPI 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
Bekibayev T.T., Assilbekov B.K., Zhapbasbayev 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. КОММЕРЦИЯЛЫҚ БАНКТЕРДІҢ ДЕПОЗИТ- ТИК ОПЕРАЦИЯЛАРЫНЫң ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗІ	97
Бокайев N., Муканов Zh. ON THE INTEGRABILITY WITH WEIGHT OF MULTIPLE MULTIPLICATIVE TRANSFORMS	101
Ван Е.Ю., Касперская А.А., Нурбаева Н.А., Карабаева 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., Danaev Н.Т., Ахмед-Заки д.Ж. МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИ- ОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖ- ДЕНИЙ - ИСАР-II	149
Жумагулов Б.Т., Danaev Н.Т., Turar O.N. УРАВНЕНИЕ ПУАССОНА НА АДАПТИВ- НОЙ СЕТКЕ, ПОСТРОЕННОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ	156
Жумагулов Б.Т., Жакебаев Д.Б., Асылбекұлы А. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МНОГОКОМПО- НЕНТНУЮ 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 ОБОВЩЕННОЙ 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
Кумукова Т., Кумуков В. ENERGY SAVING TECHNOLOGIES FOR STABILIZING PRESSURE IN PNEUMATIC GEAR MINING MACHINERY	210
Маммадова Г.Н. 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., Miroshnikova 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 СОР	224
Miroshnikova 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
Досanova 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 ИНФОРМАЦИОН- НОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНОМ	289
Оспанов К.Н. КОМПАКТНОСТЬ РЕЗОЛЬВЕНТЫ ОБЩЕЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ СИ- СТЕМЫ ДВУХ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА НА ПЛОСКОСТИ	293
Пустовойтенко В.В., Габбасов М.Б. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИ- ТОРИНГА ЦЕН НА СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫЕ ТОВАРЫ РЕАЛИЗОВАННАЯ ПЛАТФОРМЕ ТОФИ	296
Федяев П.А., Шейшенов Ж.О. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЫБОРОЧНЫХ НА- ПРАВЛЕНИЙ 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.

Андратпа. 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 однородной 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, побуждающее 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 равному 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 направлениям 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 силах 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.

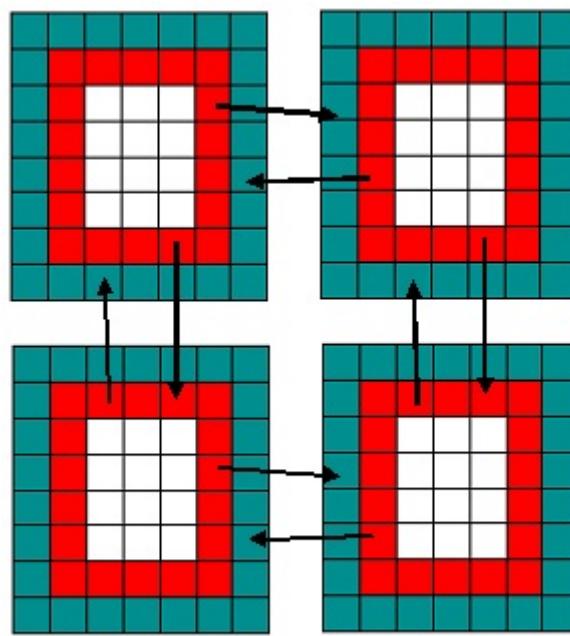


Рисунок 1 Схема организации обменов для 2D декомпозиции

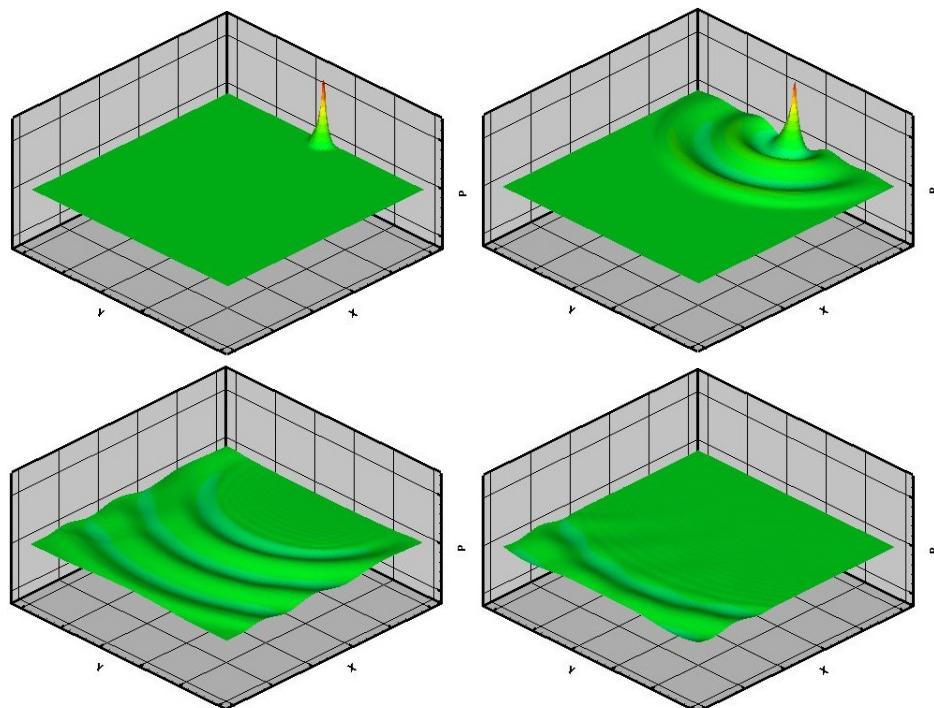


Рисунок 2 Распространение волн с одним источником

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.

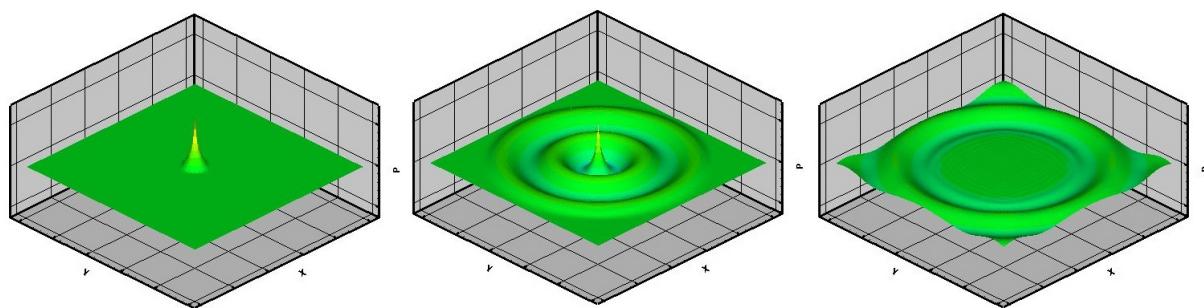


Рисунок 3 Распространение волн с одним источником, расположенным посередине

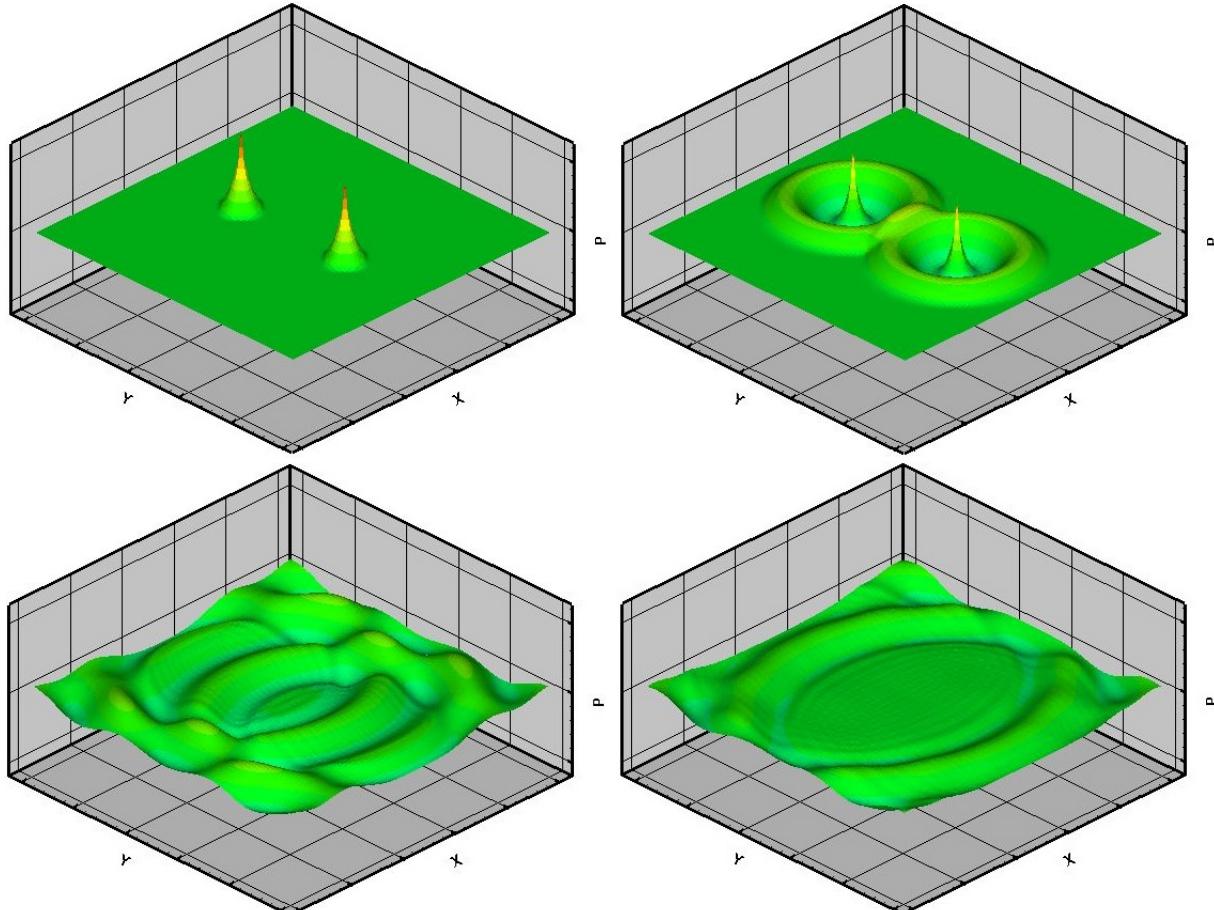


Рисунок 4 Распространение волн с двумя источниками

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 следующее что, с течением увеличении количества процесса увеличивается ускорение. Было наблюдено что не всегда увеличение коли-

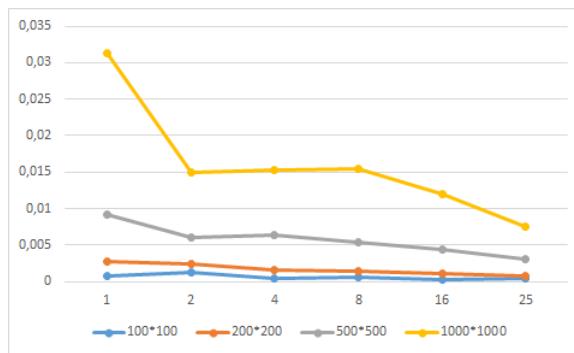


Рисунок 5 График скорости

Таблица 2 Показатели ускорение процессоров

Nproc / 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

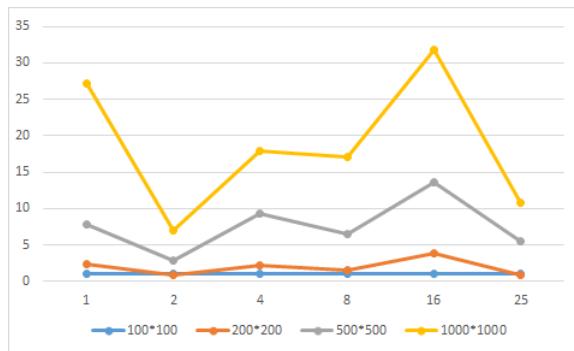


Рисунок 6 График ускорения

Таблица 3 Показатели эффективности

Nproc / 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

чество 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.

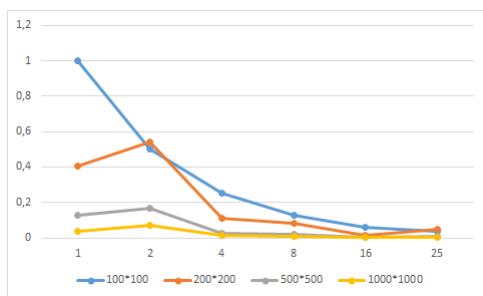


Рисунок 7 График эффективности

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 процесси зерттелген. Турбулентті процесс фильтрленген Навье Стокс теңдеулері арқылы және пассив қоспа таралу теңдеуі арқылы пішінделген. Теңдеулерді түйіктау 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 (Sepri, 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, рассматривалось как движение пассивной примеси. Условия, в который 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 удалено 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 Fr 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.

Андатпа. Гидродинамика есептерін параллельдеу алгоритмі құрылды. Көпроцессорлы есептеу жүйесінде толық Навье-Стокс теңдеулер жүйесін сандық шешімі қарастырылды. Тұтқырлы сүйкітың квадрат целиндірін 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 обезразмеренных уравнений Навье-Стокса, записанных в декартовой системе координат:

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

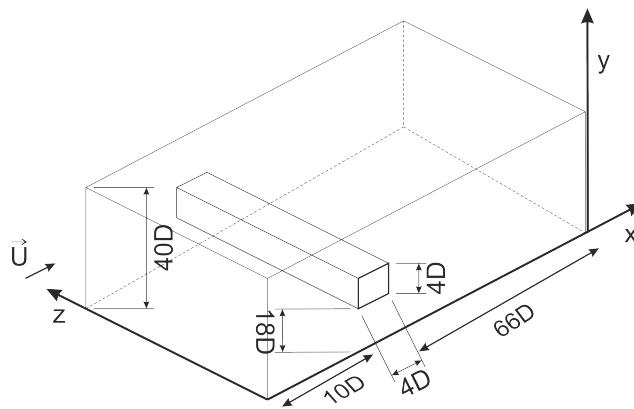


Рисунок 1 Схема расчетной области

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

где используется правило суммирования по повторяющимся индексам.

На стенках параллельных направлению оси ОХ используется условия прилипания для компонент скорости. Движения потока параллельно направлению оси ОХ. Скорость на входе задана и равна u_0 . На выходе для скорости ставятся условия Неймана. Апроксимация производится на раномерной, 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.

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

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 персылаем соответствующему процессору. В результате каждый процессор получит сечения вдоль направления оси OZ , что дает нам возможность применить прогонку.

Для решения системы (14) используем LU разложение:

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

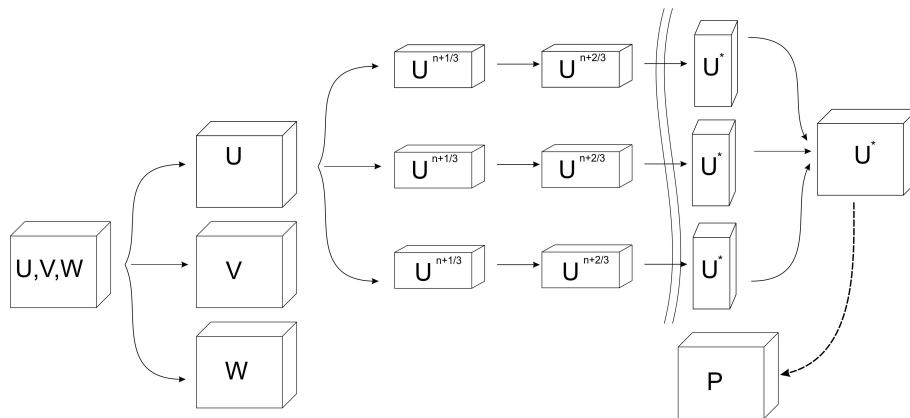


Рисунок 2 Схема алгоритма распараллеливания

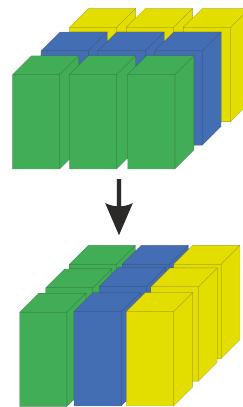


Рисунок 3 Схема пересылки блоков

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

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

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 подзадачам 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., $n < p$), 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 А делится на наборы (полосы) строк.

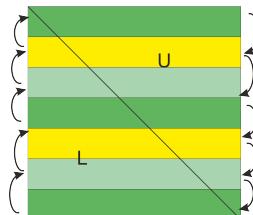


Рисунок 4 Схема параллельного алгоритма LU факторизации

Результаты

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

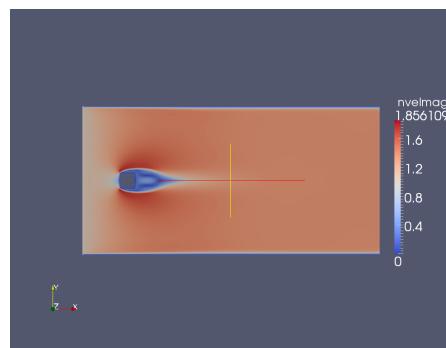


Рисунок 5 Модуль скорости в плоскости XoY в момент времени $t=1.029$

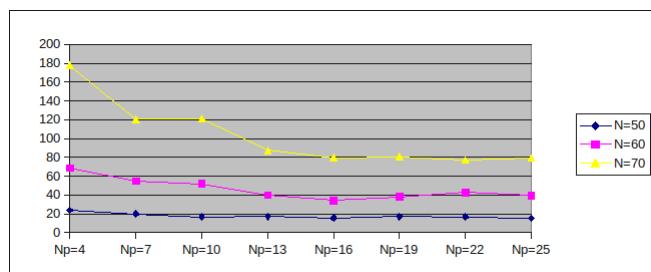


Рисунок 6 Скорость вычислений в зависимости от используемых процессоров для различных размерностей

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

Таблица 1 Скорость вычислений 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 $70 \times 70 \times 70$ 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].

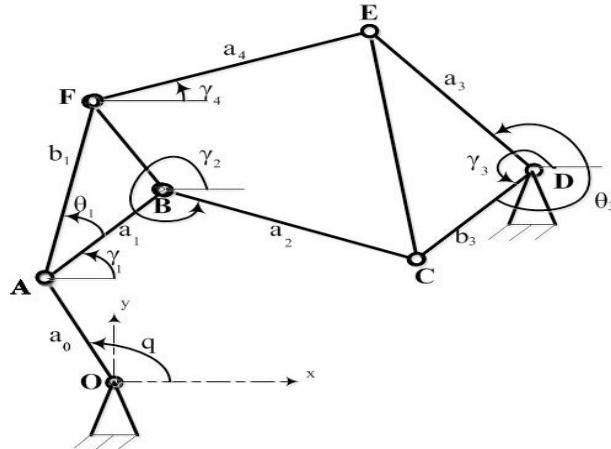


Figure 1 The mechanism of 4th class

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.

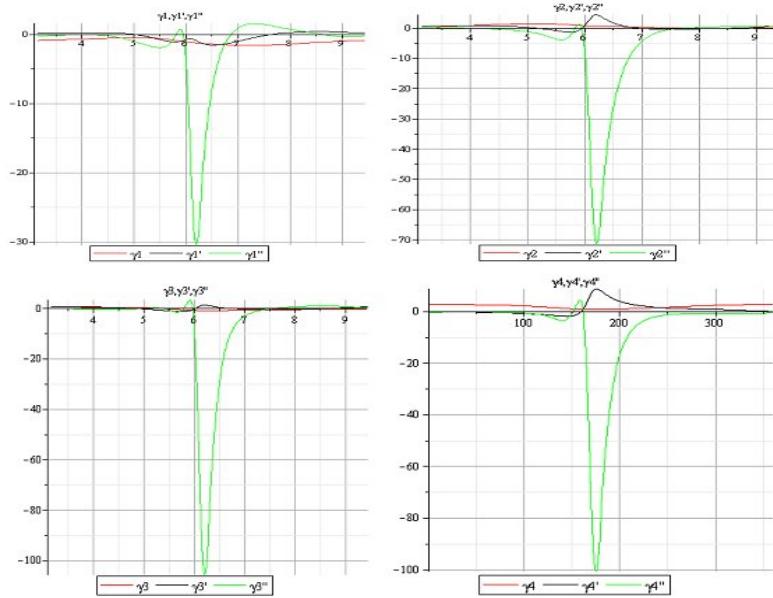


Figure 2 Graphs of the angular displacements, velocities and accelerations analogs of the mechanism links

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 $-J_{S_i} \vec{\varepsilon}_i$.

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

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

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.

$$\vec{R}_{01} + \vec{R}_{21} + \vec{G}_1 = 0, \quad \vec{l}_1 \times \vec{R}_{21} + M_y \vec{k} - J_{S_1} \varepsilon_1 \vec{k} = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \vec{R}_{12} + \vec{R}_{32} + \vec{R}_{42} + \vec{G}_2 - m_2 \vec{W}_{S_2} &= 0, \\ (\vec{l}_2 - \vec{r}_2) \times \vec{R}_{32} + (\vec{l}_2 - \vec{r}_2) \times \vec{R}_{42} - \vec{r}_2 \times \vec{R}_{12} - J_{S_2} \varepsilon_2 \vec{k} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\vec{R}_{23} + \vec{R}_{53} + \vec{G}_3 - m_3 \vec{W}_{S_3} = 0, \quad (\vec{l}_3 - \vec{r}_3) \times \vec{R}_{53} - \vec{r}_3 \times \vec{R}_{23} - J_{S_3} \varepsilon_3 \vec{k} = 0 \quad (8)$$

$$\vec{R}_{24} + \vec{R}_{54} + \vec{G}_4 - m_4 \vec{W}_{S_4} = 0, \quad (\vec{l}_4 - \vec{r}_4) \times \vec{R}_{54} - \vec{r}_4 \times \vec{R}_{24} - J_{S_4} \varepsilon_4 \vec{k} = 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \vec{R}_{35} + \vec{R}_{45} + \vec{R}_{05} + \vec{G}_5 - m_5 \vec{W}_{S_5} &= 0, \\ (\vec{l}_5 - \vec{r}_5) \times \vec{R}_{35} + (\vec{l}_5 - \vec{r}_5) \times \vec{R}_{45} - \vec{r}_5 \times \vec{R}_{05} - M_5 \vec{k} - J_{S_5} \varepsilon_5 \vec{k} &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

For simplicity, we introduce some notation

$$\vec{Q}_i = \vec{G}_i - m_i \vec{W}_{S_i}, \quad \vec{J}_i = J_{S_i} \varepsilon_i \vec{k}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Transforming equation (7) - (10), which can be written in the following simplified form:

$$\vec{a}_2 \times \vec{R}_{32} + \vec{a}'_2 \times \vec{R}_{42} + \vec{r}_2 \times \vec{Q}_2 - \vec{J}_2 = 0 \quad (11)$$

$$\vec{a}_3 \times \vec{R}_{53} + \vec{r}_3 \times \vec{Q}_3 - \vec{J}_3 = 0 \quad (12)$$

$$\vec{a}_4 \times \vec{R}_{54} + \vec{r}_4 \times \vec{Q}_4 - \vec{J}_4 = 0 \quad (13)$$

$$\vec{a}_5 \times \vec{R}_{35} + \vec{a}'_5 \times \vec{R}_{45} + \vec{r}_5 \times \vec{Q}_5 - \vec{J}_5 - M_5 \vec{k} = 0 \quad (14)$$

The last three equations (12) - (14) can be written as:

$$\vec{a}_3 \times \vec{R}_{35} = \vec{P}_3, \text{ where } \vec{P}_3 = \vec{r}_3 \times \vec{Q}_3 - \vec{J}_3$$

$$\vec{a}_4 \times \vec{R}_{45} = \vec{P}_4, \text{ where } \vec{P}_4 = \vec{r}_4 \times \vec{Q}_4 - \vec{J}_4$$

$$\vec{a}_5 \times \vec{R}_{35} + \vec{a}'_5 \times \vec{R}_{45} = \vec{P}_5, \text{ where } \vec{P}_5 = \vec{r}_5 \times \vec{Q}_5 - \vec{J}_5 - M_5 \vec{k}$$

Express $\vec{R}_{32} = \vec{R}_{53} + \vec{Q}_3$, $\vec{R}_{24} = \vec{R}_{54} + \vec{Q}_4$ from (11),

obtain respectively: $\vec{a}_2 \times \vec{R}_{32} + \vec{a}'_2 \times \vec{R}_{42} = \vec{P}_2$, where $\vec{P}_2 = \vec{r}_2 \times \vec{Q}_2 - \vec{J}_2$

Finally received vector equations, expressed through $\vec{P}_i (i = 1, 2, 3, 4)$:

$$\vec{a}_1 \times \vec{R}_{21} = \vec{P}_1 \quad (15)$$

$$\vec{a}_2 \times \vec{R}_{32} + \vec{a}'_2 \times \vec{R}_{42} = \vec{P}_2 \quad (16)$$

$$\vec{a}_3 \times \vec{R}_{35} = \vec{P}_3 \quad (17)$$

$$\vec{a}_4 \times \vec{R}_{45} = \vec{P}_4 \quad (18)$$

$$\vec{a}_5 \times \vec{R}_{35} + \vec{a}'_5 \times \vec{R}_{45} = \vec{P}_5 \quad (19)$$

Solving equations (17) and (18) may be written

$$\vec{R}_{35} = \lambda_1 \vec{a}_3 + 1/a_3^2 (\vec{P}_3 \times \vec{a}_3) \quad (20)$$

$$\vec{R}_{45} = \lambda_2 \vec{a}_4 + 1/a_4^2 (\vec{P}_4 \times \vec{a}_4) \quad (21)$$

where λ - arbitrary parameter

Substituting equation (20) - (21) into (16) and (19) we obtain the system of equations for the λ_1 , λ_2 :

$$\vec{a}_5 \times \vec{a}_3 \lambda_1 - \vec{a}'_5 \times \vec{a}_4 \lambda_2 = \vec{\sigma}_1 \quad (22)$$

$$\vec{a}_2 \times \vec{a}_3 \lambda_1 + \vec{a}'_2 \times \vec{a}_4 \lambda_2 = \vec{\sigma}_2 \quad (23)$$

where

$$\vec{\sigma}_1 = \vec{P}_2 + \vec{b}_2 \times \vec{R}_{42}, \quad \vec{\sigma}_2 = \vec{P}_5 + \vec{a}_2 \times \vec{Q}_0$$

Solving equations (22) – (23), we find λ_1, λ_2

$$\lambda_1 = \frac{D_1}{D}, \quad \lambda_2 = \frac{D_2}{D} \quad (24)$$

where

$$D = \begin{vmatrix} \vec{a}_5 \times \vec{a}_3 & \vec{a}'_5 \times \vec{a}_4 \\ \vec{a}_2 \times \vec{a}_3 & \vec{a}'_2 \times \vec{a}_4 \end{vmatrix}, \quad D_1 = \begin{vmatrix} \vec{\sigma}_1 & \vec{a}'_5 \times \vec{a}_4 \\ \vec{\sigma}_2 & \vec{a}'_2 \times \vec{a}_4 \end{vmatrix}, \quad D_2 = \begin{vmatrix} \vec{a}_5 \times \vec{a}_3 & \vec{\sigma}_1 \\ \vec{a}_2 \times \vec{a}_3 & \vec{\sigma}_2 \end{vmatrix}$$

Then from formulas (20) - (21) and (16) - (19) determine the remaining desired reaction.

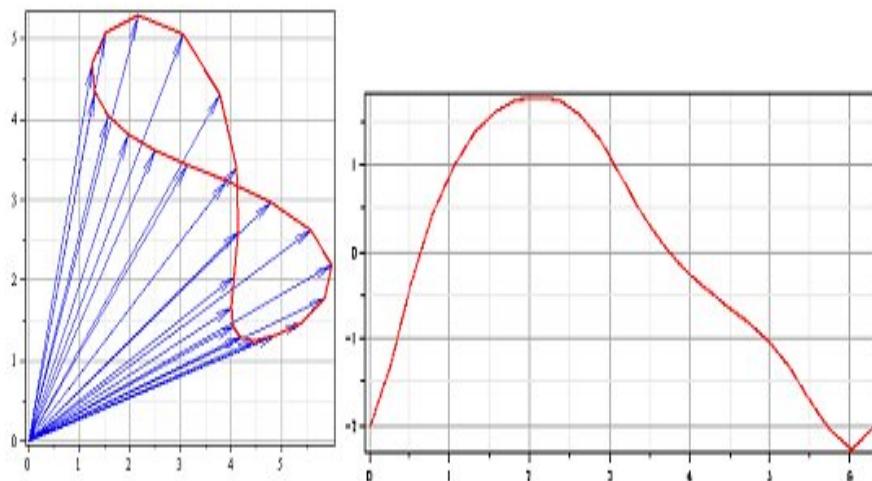


Figure 3 Hodograph reaction \vec{R}_{12} and equilibration moment M_y

Figure 3 shows the hodograph of the reaction \vec{R}_{12} and the graph of equilibration time M_y .

List of references

- [1] Materials of the V International Conference "Problems of modern machines," (April 25-30, 2012., Ulan-Ude). - Ulan-Ude: Publishing VSGUTU, 2012, "Determination of the number of assemblies of Assyria 3rd class in the system Maple".
- [2] Mechanics of Machines. Study Guide for Technical Schools / Edited by prof. G.A. Smirnov; Authors: I.I. Wulfson, M.Z.Kolovskiy, E.E.Pesisakh, etc. – Moscow, publishing house "High School 1996, 511 p.

УДК 514.764

ЖҰМЫСЫ СЕНИМСІЗ ЭЛЕМЕНТТИ ЖАЛПЫҒА ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

А.А. Адамов, Н.К. Тапаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана

Abstract. This paper is devoted to modelling and simulation of a Markov multi-server queuing system subject to breakdowns and with an ample repair capacity, the system do not form the queue of waiting customers. The degree project introduces a mathematical model of the studied system and a simulation model created by using software CPN Tools. At the end of the degree project the outcomes which were reached by both approaches will be shown and statistically evaluated.

Keywords: queuing system, breakdown.

Аннотация. Ұсынылып отырған мақалада Марковтық көпканалды, жұмысы сенімсіз элементті және қалпына келтірудің жеткілікті өткізу қабілетті бар жалпыға қызмет көрсету жүйесін модельдеу сипатталған. Жүйе клиенттердің кезекке тұруын қарастырмайды. Жұмыстың басында зерттелетін жүйенің математикалық моделі енгізіліп, CPN Tools программасының көмегімен имитациялық модельдеу іске асрылды. Нәтижесінде осы екі ұстаным бойынша алынған сандық нәтижелер талданып, олардың статистикалық байланыстарына бағалау жасалынды.

Кілттік сөздер: жалпыға қызмет көрсету жүйесі, істен шығу.

Аннотация. Данная статья посвящена моделированию Марковской многоканальной системы массового обслуживания с учетом выхода из строя и достаточной пропускной способностью восстановления. Система не образует очереди ожидания клиентов. В начале работы вводится математическая модель исследуемой системы и создается имитационная модель с помощью программы CPN Tools. В конце работы показаны результаты, которые были достигнуты в обоих подходах и статистическая оценка.

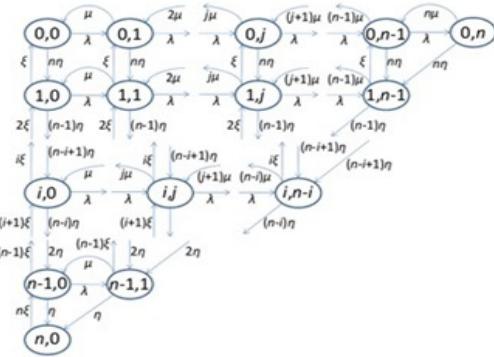
Ключевые слова: системы массового обслуживания, выход из строя.

Жалпыға қызмет көрсету жүйелерінде, өсіреле, қазіргі заманғы ақпараттық-телекоммуникациялық жүйелерде, құрылғылардың әртүрлі ақаулықтар мен жарамсыздықтарға душар болатын жағдайлары жиі кездеседі. Бұл қызмет көрсетудің тиімділігін төмендетумен бірге құрылғының толықтай істен шығуына алып келеді. Сол себепті ғылым мен техникиның әртүрлі салаларында жұмысы сенімсіз элементті жүйелерді зерттеуге көп көңіл бөлінеді. Зерттеу жұмыссы мына авторлардың [1-4] жұмыстарына негізделе отырып жасалынған.

ЖҰМЫСЫ СЕНИМСІЗ ЖАЛПЫҒА ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ЖҮЙЕСІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІНІҢ ҚҰРЫЛУЫ

Н біртекті каналдардан тұратын және каналдары параллель орналасқан Марковтық көпканалды жалпыға қызмет көрсету жүйесін қарастырайық. Жүйе клиенттердің кезекке тұруын қарастырмайды, сол себептен, жүйеде бос канал болмаса, клиенттер тапсырысы қабылданбайды.

Тапсырыс жүйеге λ параметрлі Пуассондық ағын арқылы кіреді, яғни, тапсырыстар түсінің арасындағы интервал экспоненциалды үлестірілген және оның орташа мәні $1/\lambda$ -ге тең. Клиент тапсырысына қызмет көрсету уақыты μ параметрлі экспоненциалды үлестіріліммен сипатталады және орташа қызмет көрсету уақыты $1/\mu$ -ға тең.



1 сурет Күйлер ауысуның диаграммасы

Жеке каналдардың істен шыгуын өзара тәуелсіз деп болжайық. Сонымен қатар, каналдың істен шыгуы кез келген уақыт мезетінде болуы мүмкін. Яғни, канал не тапсырысты орындау кезінде, не бос тұрған уақытта істен шыгуы мүмкін. Каналдың тоқтаусыз жұмыс жасау уақыты η параметрлі экспоненциалды кездейсоқ шама болып табылады және оның орташа мәні $1/\eta$ -ға тең. Каналды қалпына келтіру уақыты да экспоненциалды кездейсоқ шама, бірақ ξ параметрлі, сәйкесінше орташа қалпына келтіру уақыты $1/\xi$ -ға тең болады. Әрбір каналдың қалпына келтірілуі оның істен шыққан бойда басталады деп болжап, оны - қалпына келтірудің жеткілікті өткізу қабілеті деп алайық.

Жалпыға қызымет көрсету моделін екі өлшемді Марков тізбегі ретінде сипаттайық. Тізбектің күйін (i, j) жұбымен белгілейік, мұндағы $i \in \{0, 1, \dots, n\}$ - істен шыққан каналдар саны, ал $j \in \{0, \dots, n-1\}$ - каналдағы клиенттер саны. Жалпыға қызымет көрсету моделін графикалық түрде күйлер ауысуның диаграммасы арқылы сипаттайық (1-сурет). Төбелері жүйенің күйін, ал бағытталған қабыргалар мүмкін ауысуларды сәйкес салмақ коэффициенттерімен бірге көрсетеді.

Күйлер ауысуның диаграммасы көмегімен жүйе үшін белгілі Колмогоров теңдеуін, яғни, t уақытына байланысты әрбір күй үшін $P_{(i,j)}(t)$ ықтималдықтардың ақырғы дифференциалды тендеулер жүйесін құру арқылы жүйенің әрбір күйі үшін тұрақты күй ықтималдылықтарын табуга болады:

$$(\lambda + n\eta)P_{(0,0)} = \mu P_{(0,1)} + \xi P_{(1,0)}, \quad (1)$$

$$(\lambda + j\mu + n\eta)P_{(0,j)} = \lambda P_{(0,j-1)} + (j+1)\mu P_{(0,j+1)} + \xi P_{(1,j)}, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (2)$$

$$(n\mu + n\eta)P_{(0,n)} = \lambda P_{(0,n-1)}, \quad (3)$$

$$[(\lambda + (n-i)\eta + i\xi)P_{(i,0)} = \mu P_{(i,1)} + (n-i+1)\eta P_{(i-1,0)} + (i+1)\xi P_{(i+1,0)}, \quad i = 1, \dots, n-1, \quad (4)$$

$$(\lambda + j\mu + (n-i)\eta + i\xi)P_{(i,j)} = \lambda P_{(i,j-1)} + (j+1)\mu P_{(i,j+1)} + (n-i+1)\eta P_{(i-1,j)} + (i+1)\xi P_{(i+1,j)}, \quad i = 1, \dots, n-2; \quad j = 1, \dots, n-i-1, \quad (5)$$

$$[(n-i)\mu + (n-i)\eta + i\xi]P_{(i,n-i)} = \lambda P_{(i,n-i+1)} + (n-i+1)\eta P_{(i-1,n-i)} + (n-i+1)\eta P_{(i-1,n-i+1)}, \quad j = 1, \dots, n-1, \quad (6)$$

$$n\xi P_{(n,0)} = \eta P_{(n-1,0)} + \eta P_{(n-1,1)} \quad (7)$$

$P_{(i,j)}$ (t) ықтималдылықтары мына теңдікті қанағаттандыруы тиіс:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} P_{(i,j)} = 1 \quad (8)$$

Бұл ықтималдылықтар көмегімен зерттелетін жүйеге қатысты келесі тиімділік көрсеткіштері есептелінеді:

1.Қызмет көрсетілген клиенттердің орташа саны:

$$ES = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-i} j P_{(i,j)} \quad (9)$$

2.Каналдың пайдаланылуы:

$$\chi_s = \frac{ES}{n} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-i} j P_{(i,j)}}{n} \quad (10)$$

3.Істен шыққан каналдардың орташа саны:

$$EP = \sum_{i=1}^n i \sum_{j=0}^{n-i} P_{(i,j)} \quad (11)$$

4.Жалпына келтірудің жеткілікті өткізу қабілеті:

$$\chi_r = \frac{EP}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n i \sum_{j=0}^{n-i} P_{(i,j)}}{n} \quad (12)$$

ЖҰМЫСЫ СЕНИМСІЗ ЖАЛПЫҒА ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ЖҮЙЕСІНІҢ ИМИТАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛІНІҢ ҚҰРЫЛУЫ

Жоғарыда көрсетілген математикалық модель көмегімен алынған нәтижелерді растау үшін имитациялық модельдеуге қажетті қарастырылатын жалпыға қызмет көрсету жүйесінің Петри желісі моделін CPN Tools – Version 2.2.0 программасының көмегімен құрамыз.

CPN Tools программалық қамсыздандыруы түрлі түсті Петри желісін модельдеу, талдау және редакциялауга арналған. Имитациялық модельдеудің Петри желісінің құрылымы 2-суретте көрсетілген. Суреттегі сұлба жұмысы сенімсіз элементті M/M/3 (яғни n=3) жалпыға қызмет көрсету жүйесін 1-бөлімде көрсетілген шарттарға сәйкес модельдейді.

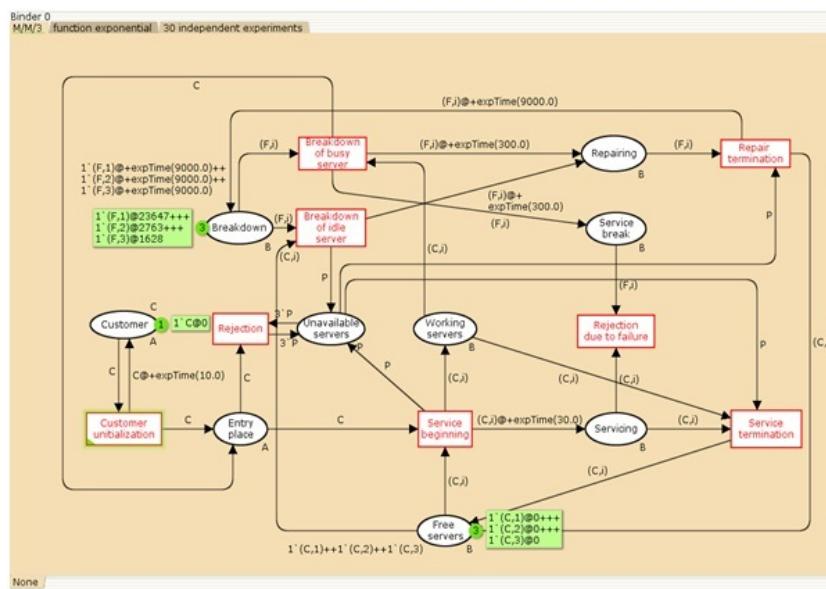
Жұмыста $\lambda = 6$ сағ $^{-1}$, $\mu = 2$ сағ $^{-1}$, $\eta = 150$ $^{-1}$ сағ $^{-1}$ және $\xi = 0,2$ сағ $^{-1}$ деп алынған. Кездейсоқ шамалардың нақты мәндері имитациялық модельдеу кезінде fun ET(EX)=round(exponential(1.0/EX)) функцияның көмегімен генерацияланады. Функцияның параметрін минуттық уақыт бірлігімен анықтайық:

$$1/\lambda = 10 \text{ мин}, 1/\mu = 30 \text{ мин}, 1/\eta = 9000 \text{ мин}, 1/\xi = 300 \text{ мин}.$$

ЖАСАЛҒАН ТӘЖКИРЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ БАҒАЛАУ

3 каналды жалпыға қызмет көрсету жүйесін ($n = 3$) қарастырайық. Кездейсоқ параметрлердің мәнін келесідей болсын:

$\lambda = 6$ сағ $^{-1}$, $\mu = 2$ сағ $^{-1}$, $\eta = \{ 150^{-1}, 125^{-1}, 100^{-1}, 75^{-1}, 50^{-1} \}$ сағ $^{-1}$ және $\xi = 0,2$ сағ $^{-1}$ яғни, біз бір-бірінен η параметрі бойынша ерекшеленетін 5 жүйелік конфигурацияны қарастырамыз.



2 сурет Петри желісінің M/M/3 жалпыға қызмет көрсету жүйесін модельдеуі

Колмогоров теңдеуінен алынған сзықты теңдеулер жүйесін MATLAB программасын қолдану арқылы шешілді (1-кесте) және табылған мәндер ES және EP тиімділік көрсеткіштерін есептеуде қолданылды.

1 кесте Күйлер ауысуының ықтималдылықтары

Күйлер	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(2,0)	(2,1)	(3,0)
P (ықт)	0,0700	0,2097	0,3138	0,3128	0,0105	0,0318	0,0483	0,0007	0,0023	0,000

Алынған нәтижелер:

1. Қызмет көрсетілген клиенттердің орташа саны:

$$ES = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-i} j P_{(i,j)} = P_{(0,1)} + 2P_{(0,2)} + 3P_{(0,3)} + P_{(1,1)} + 2P_{(1,2)} + P_{(2,1)} \quad (13)$$

2. Каналдың пайдаланылуы:

$$\chi_s = \frac{ES}{n} = \frac{P_{(0,1)} + 2P_{(0,2)} + 3P_{(0,3)} + P_{(1,1)} + 2P_{(1,2)} + P_{(2,1)}}{3} \quad (14)$$

3. Истен шықкан каналдардың орташа саны:

$$EP = \sum_{i=1}^n i \sum_{j=0}^{n-i} P_{(i,j)} = P_{(0,1)} + 2P_{(0,2)} + 3P_{(0,3)} + P_{(1,1)} + P_{(1,2)} + 2P_{(2,1)} \quad (15)$$

4. Қалына келтірудің жеткілікті өткізу қабілеті:

$$\chi_r = \frac{EP}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n i \sum_{j=0}^{n-i} P_{(i,j)}}{n} = \frac{P_{(0,1)} + 2P_{(0,2)} + 3P_{(0,3)} + P_{(1,1)} + P_{(1,2)} + 2P_{(2,1)}}{3} \quad (16)$$

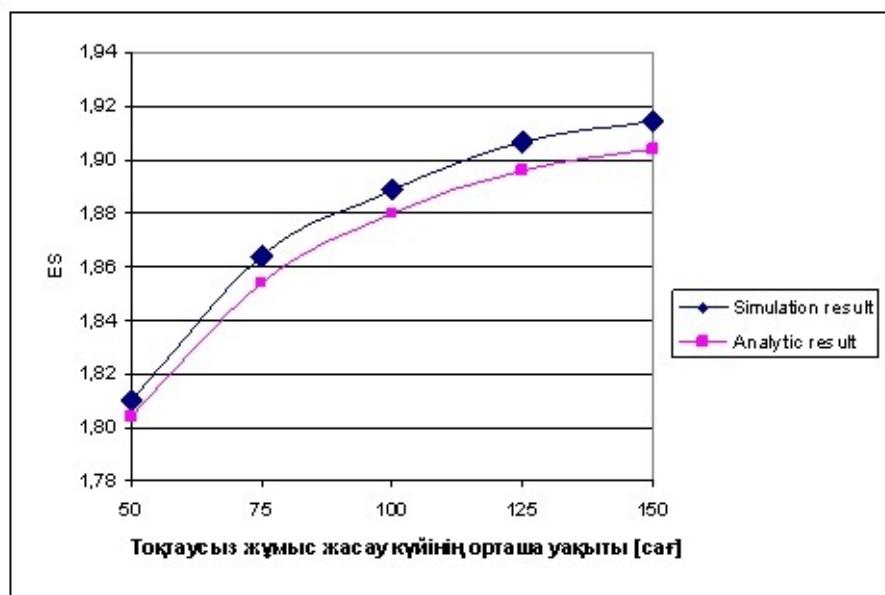
Әртурлі η бойынша алынған нәтижелік зерттеулер және 2-бөлімде көрсетілген түрлі түсті

Петри желісін имитациялық модельдеу арқылы алғынған тиімділік көрсеткіштері 2-кестеде келтірілді.

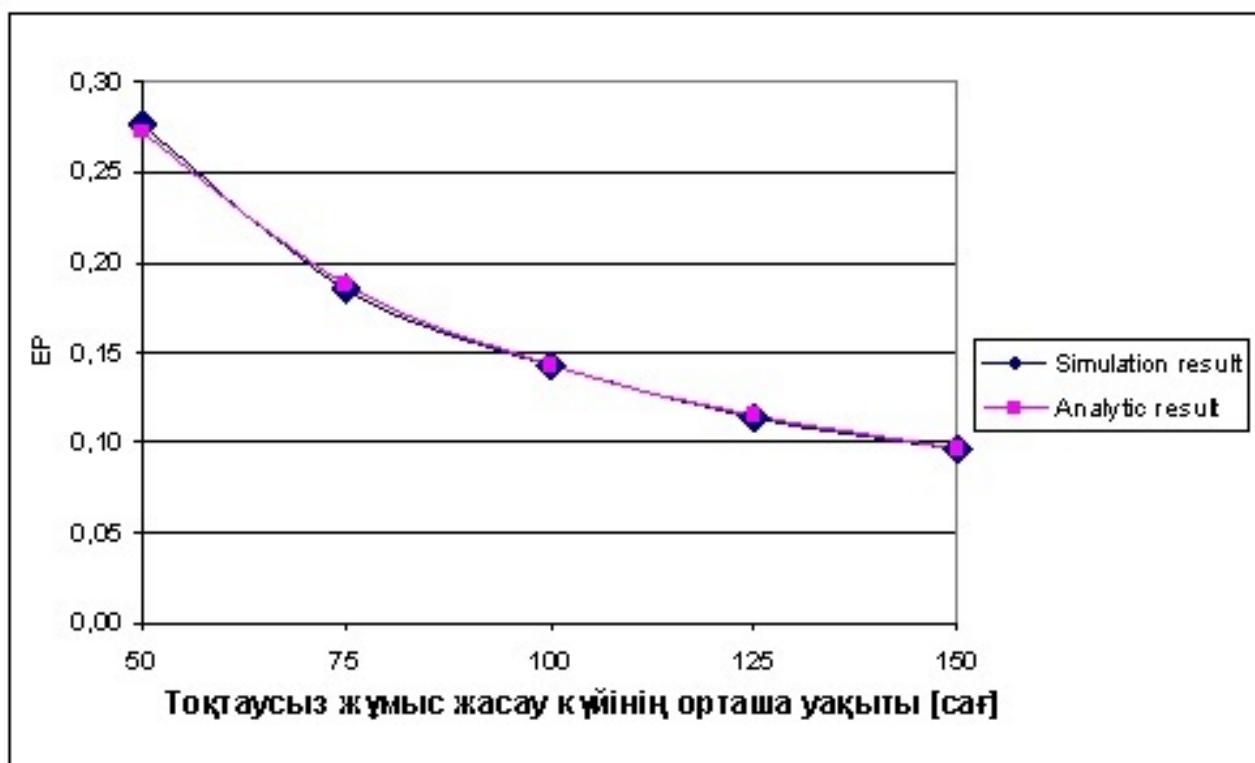
2 кесте Тәжірибелерден алғынған нәтижелер

η [1/cаг]	Тиімділік көрсет-рі	Имитациялық нәтиже	Теориялық нәтиже	Сенім интервалы 95%	Айырм-қ [%]
1/150	ES	1,91470	1,90637	(1,91299; 1,91641)	0,44
	EP	0,09613	0,09677	(0,09423; 0,09803)	-0,67
	χ (s)	0,63823	0,63546		0,44
	χ (r)	0,03204	0,03226		-0,67
1/125	ES	1,90641	1,89568	(1,90451; 1,90832)	0,56
	EP	0,11394	0,11538	(0,11157; 0,11631)	-1,26
	χ (s)	0,63547	0,63189		0,56
	χ (r)	0,03798	0,03846		-1,26
1/100	ES	1,88877	1,87985	(1,88696; 1,89058)	0,47
	EP	0,14255	0,14286	(0,13994; 0,14516)	-0,22
	χ (s)	0,62959	0,62662		0,47
	χ (r)	0,04752	0,04762		-0,22
1/75	ES	1,84642	1,85401	(1,86228; 1,86621)	-0,41
	EP	0,18555	0,18750	(0,18266; 0,18844)	-1,05
	χ (s)	0,61547	0,61800		-0,41
	χ (r)	0,06185	0,06250		-1,05
1/50	ES	1,81101	1,80426	(1,80778; 1,81240)	0,37
	EP	0,27627	0,27273	(0,27314; 0,27939)	1,28
	χ (s)	0,60367	0,60142		0,37
	χ (r)	0,09209	0,09091		1,28

Алғынған нәтижелерді графикалық түрде бейнелейік (3, 4-суреттер). Екі графикте де екі сызық жүргізілген. Бірінші сызық – «Analytic result» математикалық модель бойынша есептелген мәндерді бейнелейтін болса, ал екіншісі сызық – «Simulation result» имитациялық тәжірибелер негізінде алғынған мәндерді бейнелейді.



3 сурет ES және $1/\eta$ арасындағы тәуелділік графигі



4 сурет ЕР және $1/\eta$ арасындағы тәуелділік графигі

Алынған нәтижелер бойынша аналитикалық және имитациялық модельдеу нәтижелері арасында болмашы айырмашылықтар бар екенін кестенің соңғы бағанынан көруге болады және оларды талдау арқылы мынадай қорытынды жасауга болады:

1. ES каналдағы тапсырыстардың орташа саны мен каналдардың $1/\eta$ тоқтаусыз жұмыс күйінің орташа уақыты арасындағы тәуелділігінің байланысын, яғни, $1/\eta$ мәнінің өсуі ES мәнінің де өсуіне сәйкес келетінін көреміз.

2. ЕР іsten шыққан каналдардың орташа саны мен каналдардың $1/\eta$ тоқтаусыз жұмыс күйінің орташа уақыты арасындағы тәуелділігінің байланысын, яғни, $1/\eta$ мәнінің кемуі ЕР мәнінің де өсуіне сәйкес келетінін көреміз.

Колданылған әдебиеттер

- [1] Neuts M. F., Lucantoni D. M. A Markovian queue with N servers subject to breakdowns and repairs. Management Science, 1979.
- [2] Dorda M. Modeling and simulation of unreliable queuing system, 2010.
- [3] Wartenhorst P. N parallel queueing systems with server breakdown and repair. European Journal of Operational Research, 1995.
- [4] Гмурман В.Е. «Теория вероятностей и математическая статистика», Москва, 2003.
- [5] Кремер Н.Ш. «Исследование операций в экономике», Москва 1997, 407.

УДК 519.6

КРИТЕРИЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ

С.А. Айсагалиев, А.А .Кабидолданова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Abstract. Necessary and sufficient conditions of controllability for nonlinear systems with restrictions on initial and final states, control value, phase coordinates and integral restrictions are obtained by reducing to optimal control problem with free right end.

Keywords: controllable system, controllability criterio, phase restrictions, integral restrictions, optimal control problem with free right end.

Андатпа. Жүйенің бастапқы және соңғы күйлеріне, фазалық координаттарына, басқару мәніне және интегралдық шектеулер қойылған сызықты емес жүйенің басқарыдылығының қажетті және жеткілікті шарттары қойылған есепті тиімді басқарудың оң шеті еркін есебіне келтіру жолымен табылған.

Кілттік сөздер: басқарымды жүйе, басқарымдылық критерий, фазалық шектеулер, интегралдық шектеулер, траекториясының оң шеті еркін тиімді басқару есебі.

Аннотация. Получены необходимые и достаточные условия управляемости нелинейных систем с ограничениями на начальное и конечное состояния, фазовые координаты системы, на управление и с интегральными ограничениями путем сведения к оптимизационной задаче со свободным правым концом траектории.

Ключевые слова: управляемая система, критерий управляемости, фазовые ограничения, интегральные ограничения, оптимизационная задача со свободным правым концом траектории.

Постановка задачи

Рассматривается задача управляемости следующего вида

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)f(x, u, x_0, x_1, t), \quad t \in I = [t_0, t_1], \quad x(t_0) = x_0, \quad (1)$$

$$x(t_1) = x_1, \quad x_0 \in S_0, \quad x_1 \in S_1, \quad (2)$$

$$x(t) \in G(t) : \quad G(t) = \{x \in R^n | \omega(t) \leq F(x, t) \leq \varphi(t), \quad t \in I\}, \quad (3)$$

$$g_j(u, x_0, x_1) \leq c_j, \quad j = \overline{1, m_1}, \quad g_j(u, x_0, x_1) = c_j, \quad j = \overline{m_1 + 1, m_2}, \quad (4)$$

$$g_j(u, x_0, x_1) = \int_{t_0}^{t_1} f_{0j}(x, u, x_0, x_1, t) dt, \quad j = \overline{1, m_2}, \quad (5)$$

$$u(t) \in U(t) : \quad U(t) = \{u(\cdot) \in L_2(I, R^m) | u(t) \in \overline{V_1}(t) \subset R^m \text{ п. в. } t \in I\}. \quad (6)$$

где $A(t), B(t)$ – матрицы с кусочно-непрерывными элементами порядков $n \times n$, $n \times r$, соответственно, вектор-функция $f(x, u, x_0, x_1, t) = (f_1(x, u, x_0, x_1, t), \dots, f_r(x, u, x_0, x_1, t))$ непрерывна по совокупности переменных $(x, u, x_0, x_1, t) \in R^n \times R^m \times R^n \times R^n \times I$ и удовлетворяет условиям существования и единственности решения системы (1) при фиксированном управлении $u(\cdot) \in L_2(I, R^m)$ и заданном начальном условии, s – мерная вектор-функция $F(x, t)$ непрерывна по совокупности переменных $(x, t) \in R^n \times I$, а вектор-функции $\omega(t), \varphi(t)$, $t \in I$, имеют непрерывные элементы. Функция $f_0(x, u, x_0, x_1, t) = (f_{01}(x, u, x_0, x_1, t), \dots, f_{0m_2}(x, u, x_0, x_1, t))$ удовлетворяет условию

$$|f_0(x, u, x_0, x_1, t)| \leq c_2(|x| + |u|^2 + |x_0| + |x_1|) + c_3(t), \quad \forall (x, u, x_0, x_1, t) \in R^n \times R^m \times R^n \times R^n \times I,$$

где $c_2 = const \geq 0$, $c_3(t) \geq 0$, $c_3(\cdot) \in L_1(I, R^1)$.

$S_0, S_1 \subset R^n$, $U \subset L_2(I, R^m)$ – заданные ограниченные выпуклые замкнутые множества, моменты времени t_0, t_1 фиксированы.

Задача: Найти необходимые и достаточные условия управляемости системы (1) при условиях (2)–(6).

Отметим, что система (1) при условиях (2)–(6) называется управляемой, если существует тройка $(u(t), x_0, x_1) \in U(t) \times S_0 \times S_1$, при которой решение системы (1) удовлетворяет краевому условию (2), фазовому ограничению (3) и выполняются интегральные ограничения (4)–(5).

Критерий управляемости

Путем введения дополнительных переменных интегральные ограничения (4)–(5) могут быть заменены системой дифференциальных уравнений с краевыми условиями. После их объединения с исходной системой (1) и краевыми условиями (2) и выделения множества всех управлений, переводящих траекторию полученной системы из заданного начального состояния в любое желаемое состояние [1], задача управляемости (1)–(6) сводится к задаче оптимального управления со свободным правым концом траектории следующего вида:

$$J(\theta) = \int_{t_0}^{t_1} F_1(q(t), t) dt \rightarrow \inf \tag{7}$$

$$\dot{z} = A_1(t)z + B_1(t)v_1(t) + B_2(t)v_2(t), \quad t \in I, \quad z(t_0) = 0, \tag{8}$$

$$v_1(\cdot) \in L_2(I, R^r), \quad v_2(\cdot) \in L_2(I, R^{m_2}), \tag{9}$$

$$p(t) \in V(t), \quad u(t) \in U(t), \quad x_0 \in S_0, \quad x_1 \in S_1, \quad d \in \Gamma, \tag{10}$$

где $\theta = (u(t), p(t), v_1(t), v_2(t), x_0, x_1, d)$, $F_1(q(t), t) = |w_1(t) - f(P_1y(t), u(t), x_0, x_1, t)|^2 + |w_2(t) - f_0(P_1y(t), u(t), x_0, x_1, t)|^2 + |p(t) - F(P_1y(t), t)|^2$, $q(t) = (z(t), z(t_1), \theta(t))$, $w_1(t) \in W_1$, $w_2(t) \in W_2$, $W_1 \times W_2$ – множество всех управлений, переводящих траекторию системы из заданного начального состояния в любое желаемое состояние, определяется по исходным данным системы и по произвольно выбранным функциям $v_1(\cdot) \in L_2(I, R^r)$, $v_2(\cdot) \in L_2(I, R^{m_2})$:

$$W_1 = \left\{ w_1(\cdot) \in L_2(I, R^r) / w_1(t) = v_1(t) + B_1^*(t)\Phi^*(t_0, t)T^{-1}(t_0, t_1)a - B_1^*(t)\Phi^*(t_0, t)T^{-1}(t_0, t_1)\Phi(t_0, t_1)z(t_1, v), \quad t \in I \right\},$$

$$W_2 = \{w_2(\cdot) \in L_2(I, R^{m_2}) / w_2(t) = v_2(t) + B_2^*(t)\Phi^*(t_0, t)T^{-1}(t_0, t_1)a - \\ - B_2^*(t)\Phi^*(t_0, t)T^{-1}(t_0, t_1)\Phi(t_0, t_1)z(t_1, v), \quad t \in I\},$$

функция

$$y(t) = z(t) + \Phi(t, t_0)T(t, t_1)T^{-1}(t_0, t_1)\xi_0 + \Phi(t, t_0)T(t_0, t)T^{-1}(t_0, t_1)\Phi(t_0, t_1)\xi_1 - \\ - \Phi(t, t_0)T(t_0, t)T^{-1}(t_0, t_1)\Phi(t_0, t_1)z(t_1, v), \quad t \in I,$$

- решение системы без ограничений, соответствующее управлению из $W_1 \times W_2$,

$$V(t) = \{p(\cdot) \in L_2(I, R^s) | \omega(t) \leq p(t) \leq \varphi(t), \quad t \in I\}, \quad \Gamma = \{d \in R^{m_1} | d \geq 0\}, \quad t \in I,$$

$P_1 = (I_n, O_{n, m_2}), \quad A_1(t) = (A(t), O_{n, m_2}; O_{m_2, n}, O_{m_2, m_2}), \quad B_1(t) = (B(t), O_{m_2, r}), \quad B_2(t) = (O_{n, m_2}, I_{m_2}),$
 $\xi_0 = (x_0; O_{m_2, 1}), \quad \xi_1 = (x_1; \bar{c} - d; \bar{c}), \quad \bar{c} = (c_1, \dots, c_{m_1}), \quad \bar{c} = (c_{m_1+1}, \dots, c_{m_2}),$ матрица $\Phi(t, \tau) = \theta(t)\theta^{-1}(\tau)$, здесь $\theta(t)$ - фундаментальная матрица решений линейной однородной системы $\dot{x} = A_1(t)x, \quad t \in I$,

$$a = \Phi(t_0, t_1)\xi_1 - \xi_0, \quad T(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} \Phi(t_0, t)B_3(t)B_3^*(t)\Phi^*(t_0, t)dt, \quad B_3(t) = (B_1(t), B_2(t)).$$

Теорема 1. Пусть матрица $T(t_0, t_1)$ положительно определена. Для управляемости системы (1) при условиях (2)–(6) необходимо и достаточно, чтобы значение нижней грани функционала (7) при условиях (8)–(10) было равно нулю, т.е. $\inf J(\theta) = 0, \quad \theta \in X, \quad X = U \times V \times L_2(I, R^r) \times L_2(I, R^{m_2}) \times S_0 \times S_1 \times \Gamma$.

Доказательство теоремы следует из того, что $W_1 \times W_2$ - множество всех управлений, переводящих траекторию системы из заданного начального состояния в любое желаемое состояние, а функция $y(t), \quad t \in I$, - решение системы без ограничений, соответствующее управлению из $W_1 \times W_2$.

Таким образом, для установления управляемости системы (1) при условиях (2)–(6) необходимо решить оптимизационную задачу (7)–(10). В случае положительности значения нижней грани, система (1) при условиях (2)–(6) не управляема. Задача (7)–(10) решается путем построения минимизирующих последовательностей методом проекции градиента.

Проверка выполнения условия управляемости

Построение минимизирующих последовательностей для проверки необходимого и достаточного условия управляемости системы (1) при условиях (2)–(6) основано на вычислении градиента функционала. Ниже приведена теорема, определяющая формулы по которым вычисляется градиент функционала (7) при условиях (8)–(10).

Градиент функционала

Теорема 2. Пусть матрица $T(t_0, t_1)$ положительно определена, функции $f(x, u, t), f_0(x, u, x_0, x_1, t), F(x, t)$ непрерывно дифференцируемы по переменным (x, u, x_0, x_1) , частная производная $F_{1q}(q(t), t)$ удовлетворяет условию Липшица. Тогда функционал (7) при условиях (8)–

(10) непрерывно дифференцируем по Фреше, градиент

$$J'(\theta) = (J'_u(\theta), J'_p(\theta), J'_{v_1}(\theta), J'_{v_2}(\theta), J'_{x_0}(\theta), J'_{x_1}(\theta), J'_d(\theta))$$

в любой точке $\theta \in X$ вычисляется по формулам

$$\begin{aligned} J'_u(\theta) &= \frac{\partial F_1(q(t), t)}{\partial u}, \quad J'_p(\theta) = \frac{\partial F_1(q(t), t)}{\partial p}, \quad J'_{v_1}(\theta) = \frac{\partial F_1(q(t), t)}{\partial v_1} - B_1^*(t)\psi(t), \\ J'_{v_2}(\theta) &= \frac{\partial F_1(q(t), t)}{\partial v_2} - B_2^*(t)\psi(t), \\ J'_{x_0}(\theta) &= \int_{t_0}^{t_1} \frac{\partial F_1(q(t), t)}{\partial x_0} dt, \quad J'_{x_1}(\theta) = \int_{t_0}^{t_1} \frac{\partial F_1(q(t), t)}{\partial x_1} dt, \quad J'_d(\theta) = \int_{t_0}^{t_1} \frac{\partial F_1(q(t), t)}{\partial d} dt, \end{aligned} \quad (11)$$

где $z(t) = z(t, v) = z(t, v_1, v_2)$, $t \in I$, - решение дифференциального уравнения (8), $\psi(t)$, $t \in I$ – решение сопряженной системы

$$\dot{\psi} = \frac{\partial F_1(q(t), t)}{\partial z} - A_1^*(t)\psi, \quad \psi(t_1) = - \int_{t_0}^{t_1} \frac{\partial F_1(q(t), t)}{\partial z(t_1)} dt, \quad t \in I. \quad (12)$$

Кроме того, градиент $J'(\theta)$, $\theta \in X$, удовлетворяет условию Липшица

$$\|J'(\theta^1) - J'(\theta^2)\|_H \leq l\|\theta^1 - \theta^2\|_H, \quad \forall \theta^1, \theta^2 \in X, \quad l = const > 0, \quad (13)$$

здесь $H = L_2(I, R^m) \times R^s \times L_2(I, R^r) \times L_2(I, R^{m_2}) \times R^n \times R^n \times R^{m_1}$.

Минимизирующие последовательности

На основе формул (12)–(13) строится последовательность $\{\theta_n\} = \{(u_n(t), p_n(t), v_1^n(t), v_2^n(t), x_0^n, x_1^n, d_n)\} \subset X$ по следующему правилу:

$$\theta_{n+1} = P_X[\theta_n - \alpha_n J'(\theta_n)], \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad 0 < \varepsilon_0 \leq \alpha_n \leq \frac{2}{l + 2\varepsilon}, \quad \varepsilon > 0, \quad l = const > 0. \quad (14)$$

Теорема 3. Пусть выполнены условия теоремы 2, последовательность $\{\theta_n\} \subset X$ определяется по формуле (14), U, V, S_0, S_1, Γ – выпуклые замкнутые множества. Тогда:

1. числовая последовательность $J\{\theta_n\}$ строго убывает;
2. $\|\theta_n - \theta_{n+1}\| \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$;

Если, кроме того, выполнено неравенство

$$\langle F_1(q^1, t) - F_1(q^2, t), q^1 - q^2 \rangle_{R^{N_1}} \geq 0, \quad \forall q^1, q^2 \in R^{N_1}, \quad N_1 = m + s + r + m_2 + 2n + m_1, \quad (15)$$

множество $\Lambda_0 = \{\theta \in X / J(\theta) \leq J(\theta_0)\}$ ограничено, то

3. последовательность $\{\theta_n\} \subset X$ является минимизирующей;
4. последовательность $\{\theta_n\} \subset X$ слабо сходится к множеству X_* , $X_* = \left\{ \theta_* \in X / J(\theta_*) = \inf_{\theta \in X} J(\theta) = J_* \right\}$;

5. справедлива следующая оценка скорости сходимости:

$$0 \leq J_1(\theta_n) - J_1(\theta_*) \leq \frac{m_0}{n}, \quad m_0 = \text{const} > 0, n = 1, 2, \dots$$

Доказательство. Из необходимого и достаточного условия того, что θ_{n+1} является проекцией точки $\theta_n - \alpha_n J'(\theta_n)$ следует верность неравенства

$$\langle J'(\theta_n), \theta - \theta_{n+1} \rangle_{L_2} \geq \frac{1}{\alpha_n} \langle \theta_n - \theta_{n+1}, \theta - \theta_{n+1} \rangle, \quad \forall \theta \in X. \quad (16)$$

Так как функционал $J(\theta) \in C^{1,1}(X)$, то справедлива формула

$$J(\theta_n) - J(\theta_{n+1}) \geq \langle J'(\theta_n), \theta_n - \theta_{n+1} \rangle - \frac{l}{2} \|\theta_n - \theta_{n+1}\|^2, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (17)$$

Из соотношений (16)–(17), с учетом (14), не трудно получить

$$J(\theta_n) - J(\theta_{n+1}) \geq \left(\frac{1}{\alpha_n} - \frac{l}{2} \right) \|\theta_n - \theta_{n+1}\|^2 \geq \varepsilon_1 \|\theta_n - \theta_{n+1}\|^2, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (18)$$

Отсюда следуют утверждения 1)-2) теоремы.

Из неравенства (14) следует, что функционал $J(\theta)$ выпуклый. Тогда $J(\theta)$ слабополунепрерывен снизу в силу выпуклости и полунепрерывности снизу. Множество Λ_0 слабобикомпактно, следовательно, множество $X_* \subset \Lambda_0$ не пусто.

Из выпуклости функционала $J(\theta) \in C^{1,1}(X)$ следует, что

$$J(\theta_n) - J(\theta_*) \leq m_1 \|\theta_n - \theta_{n+1}\|, \quad m_1 = \text{const} > 0. \quad (19)$$

Отсюда имеем $\lim_{n \rightarrow \infty} J(\theta_n) = J(\theta_*) = J_* = \inf J_1(\theta), \quad \theta \in X$, т.е. последовательность $\{\theta_n\} \subset X$ является минимизирующей. Поскольку Λ_0 слабобикомпактно, то $\theta_n \xrightarrow{c\Lambda} \theta_*$ при $n \rightarrow \infty$. Оценка скорости сходимости следует из (18) и (19). Теорема доказана.

Таким образом, при выполнении условий теоремы 3 последовательность, построенная по правилу (14), позволяет найти значение нижней грани функционала для оптимизационной задачи (7)–(10) и ответить на вопрос об управляемости системы (1) при условиях (2)–(6).

Итак, для проверки выполнения условия управляемости необходимо

1. Свести краевую задачу управляемости (1)–(6) к начальной оптимизационной задаче вида (7)–(10) путем построения матриц и векторов $\Phi(t, \tau), T(t_0, t_1), a$ по исходным данным системы;
2. Решить оптимизационную задачу (7)–(10) путем построения минимизирующей последовательности $\{\theta_n\}$ по правилам (14) и определить значение нижней грани J_* ;
3. Установить управляемость системы по найденному значению нижней грани: Если $J_* > 0$, то система (1) при условиях (2)–(6) управляема, в противном случае, задача (1)–(6) не имеет решения.

Список литературы

- [1] Общее решение одного класса интегральных уравнений. С.А. Айсагалиев // Математический журнал. 2005. -№4. С. 3 – 10.

УДК 338 (574)

ПОЗИТИВНЫЕ И НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ГЛОБАЛИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА НАЦИОНАЛЬНУЮ МАКРОСИСТЕМУ

Н.А. Алдабергенов

КазНУ имени аль- Фараби

Аннотация. Сегодня мир переживает многочисленные глубокие преобразования, одним из которых является глобализация. Надо отметить, что глобализация – это явление, которое анализируется в современной литературе всесторонне, и это понятно, так как оно настолько многогранно и противоречиво, что вызывает неоднозначную реакцию в мире. Отмечая ее как положительные, так и отрицательные стороны, необходимо отметить главное – глобализация это объективный процесс, и задача мирового общества в целом, а нашего государства – в частности, адаптироваться в этих новых условиях, причем с наименьшими потерями для национальной экономики.

Ключевые слова: глобализация, мировая экономика, интеграция, национальная экономика

Благодаря развитию международных отношений Казахстана с другими государствами в рамках международных организаций неизмеримо умножаются возможности народа Казахстана, будут более полно учитываться все стороны его жизнедеятельности, создаваться условия для гармонизации социально-экономической жизни. Глобализация мировой экономики создает серьезную основу решения всеобщих проблем человечества и проблем Казахстана, в частности.

В качестве позитивных последствий глобализационных процессов можно назвать следующие:

1. Глобализация способствует углублению специализации и международного разделения труда. В этих условиях более эффективно распределяются средства и ресурсы, что, в конечном счете, способствует повышению среднего уровня жизни и расширению жизненных перспектив населения (при более низких для него затратах);
2. Важным преимуществом глобализационных процессов является экономия на масштабах производства, что потенциально может привести к сокращению издержек и снижению цен, а, следовательно, к устойчивому экономическому росту;
3. Преимущества глобализации связаны также с выигрышем от свободной торговли на взаимовыгодной основе, удовлетворяющей все стороны;
4. Глобализация, усиливая конкуренцию, простимулирует дальнейшее развитие новых технологий и распространение их среди стран. В ее условиях темпы роста прямых инвестиций

намного превосходят темпы роста мировой торговли, что является важнейшим фактором в трансферте промышленных технологий, образовании транснациональных компаний, что оказывает непосредственное воздействие на национальные экономики. Преимущества глобализации определяются теми экономическими выгодами, которые получаются от использования передового научно-технического, технологического и квалификационного уровня ведущих в соответствующих областях зарубежных стран в других странах, в этих случаях внедрение новых решений происходит в краткие сроки и при относительно меньших затратах;

5. Глобализация способствует обострению международной конкуренции. Подчас утверждается, что глобализация ведет к совершенной конкуренции. На деле речь скорее должна идти о новых конкурентных сферах и о более жестком соперничестве на традиционных рынках, которое становится не под силу отдельному государству или корпорации. Ведь к внутренним конкурентам присоединяются неограниченные в действиях сильные внешние конкуренты. Глобализационные процессы в мировой экономике выгодны, прежде всего, потребителям, так как конкуренция дает им возможность выбора и снижает цены;
6. Глобализация приведет к повышению производительности труда в результате рационализации производства на глобальном уровне и распространения передовых технологий, а также конкурентного давления в пользу непрерывного внедрения инноваций в мировом масштабе;
7. Глобализация дает Казахстану возможность мобилизовать более значительный объем финансовых ресурсов, поскольку инвесторы могут использовать более широкий финансовый инструментарий на возросшем количестве рынков;
8. Глобализация создает серьезную основу для решения всеобщих проблем человечества, в первую очередь, экологических, что обусловлено объединением усилий мирового сообщества, консолидацией ресурсов, координацией действий в различных сферах.

Конечным результатом глобализации, как надеются многие специалисты, должно стать всеобщее повышение благосостояния в мире [1].

Анализ процесса глобализации показывает, что в настоящее время в нем существует ряд проблем.

1) Во-первых, в нем наблюдается негативная тенденция к американству. Особенно наглядно об этом свидетельствует то, что:

- США навязывают свои стандарты практически во всех областях, от правил заимствования на финансовых рынках, до кинобизнеса и образования (дипломы американских университетов - главный критерий приема на работу в ТНК и международные организации);
- американцы игнорируют культурное наследие и мировосприятие других государств, отказываясь адаптировать свои идеи и свое мироощущение к данной конкретной обстановке, вместо этого они проводят плановую политику подмены традиционных идей государств на свои собственные (к примеру: экспорт демократии в Таджикистан привел к гражданской войне).

США в 90-х годах, по опросам Международного экономического форума, практически неизменно признаются наиболее конкурентоспособной страной из числа наиболее развитых стран

мира, уступив Финляндии, только совсем недавно с наступлением нового века. В тоже самое время, с 1992 по 1997 гг. Япония в этом рейтинге опустилась со второго на девятое место, Германия - с пятого на четырнадцатое, Франция с пятнадцатого на девятнадцатое. Казахстан сейчас занимает 61 место. Некоторое ослабление позиций ведущих Европейских стран и Японии в мировой экономике, и одновременно возрастание роли стран Юго-Восточной Азии и Латинской Америки, где американское влияние наиболее ощутимо, способствует американоцентризму. Очевидно, что в ближайшей перспективе эта тенденция сохранится, несмотря на то, что удельный вес США в мировой экономике относительно сокращается.

Таким образом, о полицентризме реально можно говорить лишь в отдаленной перспективе, когда новые центры, такие как страны Юго-Восточной Азии и Латинской Америки в экономическом и политическом отношении достигнут более высокого уровня, чтобы играть более самостоятельную роль как противовеса США. Значительное влияние на развитие полицентризма могут оказывать успехи европейской интеграции и повышение в будущем роли Китая в мировой экономике.

2) Во-вторых, с одной стороны, происходит "замыкание" постиндустриального мира, с другой – нарастающая неспособность других стран преобразовать свои хозяйствственные системы в соответствии с требованиями времени.

В связи с этим главным негативным последствием является формирование в рамках ведущих западных стран замкнутой хозяйственной системы. Этот процесс может быть прослежен по четырем направлениям концентрации в постиндустриальном мире большей части интеллектуального и технологического потенциалов человечества; сосредоточении основных торговых оборотов в пределах сообщества развитых государств; замыкании инвестиционных потоков и резком ограничении миграционных процессов из "третьего мира".

Как утверждалось выше, процессы глобализации уничтожают национальную традицию в государстве, его духовные и культурные идеалы и принципы и, следовательно, устанавливая монополию идей (вроде: все будет в шоколаде!), несут с собой явно выраженные негативные последствия, косвенно касающиеся экономики, но сильно от нее зависящие, и влияющие на нее в немалой степени. Этот негатив, имеющий свойство накапливаться в будущем, может проявиться в виде трех возможных сценариев развития глобального мирорядка:

- Первый сценарий предполагает перенос контроля с уровня национального государства на уровень международных организаций и союзов. Однако этот сценарий маловероятен, так как для дееспособности международных и транснациональных организаций необходим консенсус его национальных представителей. Из-за конфликта интересов большинство далеко идущих планов вязнет в минимальных компромиссах или в сохранении статус-кво;
- Второй сценарий заключается в том, что подрыв государственной монополии на насилие повышает опасность войны - войны не столько между национальными государствами, сколько внутри национальных государств. Вместо «цивилизованных» мировых войн насилие может принять форму «варварских» гражданских войн. Последние десятилетия богаты такими примерами, даже в «цивилизованной» Европе[8]. Другая линия потенциальных конфликтов - это, конечно, новые внешние границы региональных пространств. Именно здесь возникает потенциал торговых войн между экономическими блоками. Примером этого является экономико-политическое противостояние между США и Японией, другой пример - намерения ЕС создать таможни против неэкологичной дешевой продукции, поступающей из

развивающихся стран. Безусловно, существование ЕС - это также вызов для США. Эти регионы имеют разную экономическую структуру и их интересы расходятся (экономическое пространство ЕС, в отличие от экономического пространства США, сильно зависит от экспорта), что может привести к политике протекционизма со стороны США и торговой войне;

- Возможность восстания третьего мира против индустриальных стран.

Глобализованная экономика и общество характеризуются падением значения производящей промышленности и расширением области услуг, особенно финансовой и информационной сфер. Финансовый рынок, функции которого не ограничиваются посредничеством между спросом и предложением капитала, сегодня сам создает свой продукт. Правда, как и рынок труда, он является тем самым рынком, который не соответствует неоклассической основной модели. В последние два десятилетия обнаружились сильные процессы концентрации, рынок предрасположен к спекуляциям, и прогнозы содержат очень много ошибок. Биржа скорее отражает ожидания, чем реальное развитие.

Экономическая глобализация проходит с мощным нарастанием комплексности, незащищенности и риска. Исторически образование рыночной экономики, которое было тесно связано с процессами образования государства, означало увеличение экономических возможностей или альтернатив поведения на основании деперсонализации отношений обмена. Однако потерявшие свое значение традиционные механизмы управления индивидуальными действиями, как, например, нравственная экономика (доверие к партнеру по обмену, давно установленные отношения и опыт, общественное давление, личная угроза применения силы и т.д.) должны быть одновременно дополнены эффективными, рассчитанными институциональными условиями (правилами), особенно безопасностью правовой и в области планирования. Эта задача национальных государств приобрела в рамках глобализации новое измерение [2].

Продолженная в сторону глобализованной экономики трансформация означает новое расширение возможностей. Однако до сих пор отсутствуют эффективные, рассчитанные правила, установленные на международном уровне. Возможности применения санкций в глобализованной экономике малы и, прежде всего, требуют все больших затрат. Международное право хотя и существует, но оно сложное и громоздкое. Нам, однако, кажется спорным то, что отсутствующие институциональные правила возникнут как следствие глобализации, так как они находятся в отношениях конкуренции со структурами национального государства.

Рассматривая глобализованную экономику, мы хотим выдвинуть тезис о том, что наряду с процессами концентрации происходят также процессы обратного перехода от не зависимых от личности к зависимым от личности отношениям. В глобальной экономике существуют многочисленные хозяйствственные связи, которые базируются на личных отношениях. Глобализация и персонализация с этой точки зрения - одновременные процессы, и оба процесса ставят под вопрос национальное государство и государственное гражданство как значимый, создающий солидарность образец идентичности [3].

Список литературы

[1] Делягин М. Мировой кризис. Общая теория глобализации. ИНФРА-М, - 2003.

- [2] Осьмовой М.Н., Бойченко А.В. Глобализация мирового хозяйства. Уч. Пос – 2006.
- [3] Казахстан: вопросы выживания в эпоху глобализации. <http://mysl.kz/ip=90>
- [4] Навстречу глобализации. <http://customsunion.kz/infoprint/4451.html>

УДК 519.876.5

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ В ДВУХСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ НАГРЕВЕ ДВИЖУЩИМСЯ ИСТОЧНИКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

Д.Л. Алонцева, А.Л. Красавин, Н.В. Прохоренкова

Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева

Abstract. This paper discusses the problem of mathematical modeling of the formation of the temperature profiles in two-layer metallic materials when heated by a moving source of radiation. Simulation of the temperature distribution during irradiation of bilayer metal absorbers is necessary to justify the optimal selection of such exposure parameters of modifying irradiation of protective powder coatings on steel substrates as power density and the speed of the source. This paper describes the developed by us numerical method for solving the problem of heating a two-layer plate by a moving axially symmetric surface heat source used for implementation of the calculations program based on the development environment Microsoft Visual Studio Express.

Keywords: mathematical modeling, temperature profiles, bilayer metal absorbers.

Андратпа. Берілген мақаланың ішінде қозғалыс сәулелену кезінің қызыу кезінде Температуралық профильдің математикалық қалыптастыру процесстердің екіқабатты металды материалдардың ішіндегі үлгілеуы карастырылады. Екіқабатты металды сорғыштың сәулелену кезіндегі температураның бөлініс үлгілеуы, қажетті, осындай параметтерді түрлендіргіш сәулелену қоргайтын үнтақ тәрізді жабын болат үстінде үйлесімді таңдаудың негіздеуі, қуаттың тығыздығы және көз қозғалысының шапшандығы сияқты. Бізben құрастырылған қозғалыстық үстіңгі осиметриялық жылу көзімен екіқабатты тілім қызыу туралы санды әдісімен есептің шешуы сипаттанады, оның көмегімен Microsoft Visual Studio Express кеңіс өндөу пайдаланылып есептеу бағдарламасына қол жеткіздік.

Кілттік сөздер: математикалық қалыптастыру, температуралық профильдің, екіқабатты металды сорғыштың.

Аннотация. В данной статье рассматривается задача математического моделирования процессов формирования температурных профилей в двухслойных металлических материалах при нагреве движущимся источником излучения. Моделирование распределения температуры при облучении двухслойных металлических поглотителей, необходимо, чтобы обосновать оптимальный выбор таких параметров модифицирующего облучения защитных порошковых покрытий на стальных подложках, как плотность мощности и скорость движения источника. В статье описывается разработанный авторами численный метод решения задачи о нагревании двухслойной пластины движущимся поверхностным осесимметричным источником тепла, по которому реализована программа вычислений с использованием среды разработки Microsoft

Visual Studio Express.

Ключевые слова: математическое моделирование, температурные профили, двухслойные металлические поглотители.

Введение

Актуальность задачи нахождения температурного поля в двухслойных металлических материалах, нагреваемых движущимся плоским осесимметричным источником тепла, обусловлена проблемой выбора оптимальных режимов модифицирующего облучения защитных порошковых покрытий, нанесенных высокоскоростной плазменной струей на стальные подложки. На основе целого ряда экспериментальных исследований структуры и свойств таких покрытий до и после дополнительного облучения электронным пучком или плазменной струей [1], мы пришли к выводу, что необходимо моделировать распределение температуры при облучении, чтобы обосновать выбор таких параметров облучения, как плотность мощности и скорость движения источника. Значения и распределение температуры по глубине от поверхности, нагреваемой источником, играют решающую роль в выделении частиц упрочняющих фаз из твердого раствора, ускорении диффузационных процессов между покрытием и подложкой. Сопоставляя данные эксперимента с расчетами температурного профиля, мы можем предложить оптимальные режимы облучения, не приводящие к чрезмерному нагреву покрытия, но, в то же время приводящие к изменению фазового состава (к формированию упрочняющих частиц) и к улучшению адгезии покрытий к подложке за счет ускорения диффузационных процессов между покрытием и подложкой.

В процессе радиационной обработки покрытий достигаются высокие температуры поверхности покрытия (оплавление поверхности покрытия – часто возникающее явление), причем температура подложки на сравнительно небольшой глубине повышается незначительно. Так как теплофизические характеристики металлов, такие, как коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость, существенно зависят от температуры, адекватное моделирование процессов теплопереноса при обработке покрытий излучением приводит к решению нестационарной задачи теории нелинейной теплопроводности. Задачи нелинейной теории теплопроводности решаются почти исключительно численными методами, ввиду крайней сложности нахождения аналитического решения возникающих задач [2, 3]. С практической точки зрения крайне важно учитывать следующее обстоятельство: математически строгое обоснование корректности приближенных методов, применяемых для решения задач нелинейной теплопроводности, в большинстве случаев отсутствует, и потому до настоящего времени основным критерием пригодности того или иного приближенного метода является его проверка на модельных задачах, решенных классическими методами линейной теории теплопроводности. Разумеется, проверка на модельных задачах необходима также в процессе разработки программного обеспечения, предназначенного для моделирования процессов теплопереноса. Таким образом, решение задачи линейной теплопроводности о нагревании двухслойной пластины движущимся поверхностным источником тепла является необходимым для решения значительно более сложных задач моделирования процессов теплопереноса при радиационной обработке покрытий. Кроме того, решение этой задачи полезно для выбора «первых ориентиров» при выборе технологических параметров процесса облучения (мощности и скорости движения пучка), а потому представляет самостоятельный интерес.

Физико-математическая постановка задачи

Поскольку толщина слоя покрытия, в котором происходит выделение тепла при радиационной обработке покрытий весьма мала по сравнению с толщиной покрытия, мы используем модель плоского источника тепла. Так как в большинстве практических случаев геометрические размеры зоны интенсивного нагрева малы в сравнении с размерами образца, мы моделируем подложку полубесконечным телом, а покрытие неограниченной пластиной, толщиной h . Введем декартовы координаты как показано на рис.1 (оси X и Y лежат в плоскости поверхности покрытия, ось Z направлена вглубь образца). Пусть в начальный момент времени t_0 включается плоский осесимметричный источник тепла, движущийся со скоростью V , направленной по оси X , причем в момент времени t_0 ось пучка проходит через точку $(x_0, 0, 0)$, где $x_0 = Vt_0$.

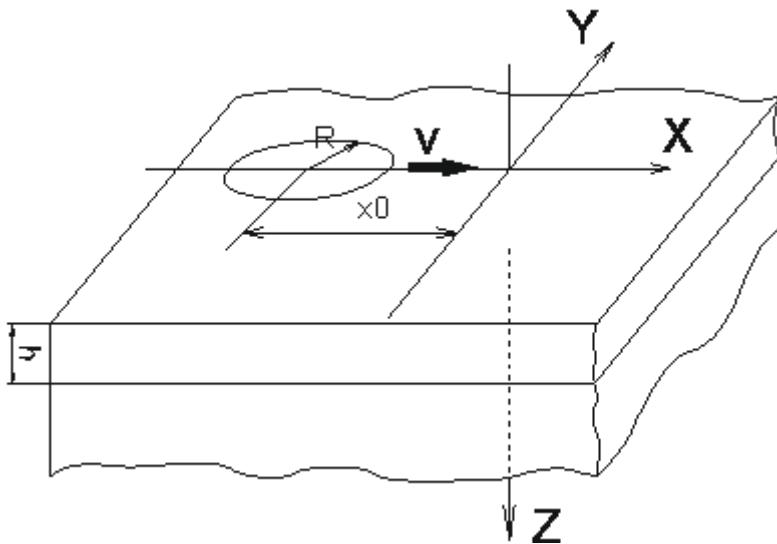


Рисунок 1 Схематическое изображение двуслойной пластины, нагреваемой движущимся плоским источником тепла, с указанием выбора системы координат

Тогда мы приходим к краевой задаче теории теплопроводности, задаваемой системой дифференциальных уравнений и краевых условий

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} = \frac{1}{a_i} \cdot \frac{\partial T_i}{\partial t} \\ T_i(x, y, z, t_0) = 0 \\ \left(\frac{\partial T_1}{\partial z} \right)_{z=0} = f(x, y, t) \\ k_1 \cdot \left(\frac{\partial T_1}{\partial z} \right)_{z=h} = k_2 \cdot \left(\frac{\partial T_2}{\partial z} \right)_{z=h} \\ T_1(x, y, h, t) = T_2(x, y, h, t) \end{array} \right\} \quad (1)$$

где $T_1(x, y, z, t)$ и $T_2(x, y, z, t)$ — тепловые поля в покрытии и подложке, a_1 и k_1 — коэффициенты температуропроводности и теплопроводности материала покрытия, a_2 и k_2 — коэффициенты температуропроводности и теплопроводности материала подложки, а поверхностный источник тепла описывается уравнением:

$$f(x, y, t) = Q(r(x, y, t)) \cdot \varphi(t - t_0) \quad (2)$$

в котором $r(x, y, t) = \sqrt{(x - x_0 - V \cdot (t - t_0))^2 + y^2}$, $Q(r)$ — функция, описывающая распределение поверхностной плотности мощности источника (аргумент r задает расстояние до оси источ-

ника), а функция $\varphi(t)$ задается системой:

$$\varphi(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 0 \\ 1, & \text{если } t > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Метод решения

Пусть на поверхности вышеописанного составного твердого тела действует неподвижный плоский источник тепла, с плотностью мощности

$$N(r, t) = Q(r) \cdot \varphi(t - t_0) \quad (4)$$

Если мы можем рассчитать температурное поле $T^*(r, z, t)$ (в цилиндрической системе координат, ось Z которой совпадает с осью источника и направлена вглубь пластины), создаваемое этим источником, мы сможем найти поле движущегося источника с помощью вычисления квадратур. Действительно, температура T_A в точке $A(x, y, z)$ образца, нагреваемого подвижным источником, в момент времени t определяется равенством [3]:

$$T_A = \int_{t_0}^t \left(\frac{\partial T^* \left(\sqrt{(x - x_0 - u \cdot (\tau - t_0))^2 + y^2}, z, \tau \right)}{\partial \tau} \right) d\tau \quad (5)$$

Для нахождения поля $T^*(r, z, t)$ рассмотрим следующую задачу теплопроводности: имеется составное твердое тело, представляющее собой полубесконечный цилиндр радиуса R (область пространства определяемая неравенствами $r \leq R, z > h$), материал которого обладает коэффициентом теплопроводности k_2 и коэффициентом температуропроводности a_2 , контактирующий с цилиндром радиуса R и высоты h , изготовленным из материала с коэффициентами теплопроводности и температуропроводности k_1 и a_1 , соответственно. В начальный момент времени на поверхности тела начинает действовать плоский осесимметричный источник тепла с поверхностной плотностью мощности, задаваемой функцией $N(r, t) = Q(r) \cdot \varphi(t)$, причем температура боковой поверхности составного цилиндра поддерживается равной нулю. Температура тела в начальный момент времени равна нулю. Найти поле температур верхнего цилиндра, задаваемое функцией $T_1(r, z, t)$ и температурное поле в полубесконечном цилиндре — функцию $T_1(r, z, t)$.

Мы вправе предположить, что если функция $Q(r)$ финитна, т.е. существует такое r_{max} , что $Q(r) = 0$ при $r > r_{max}$ и $r \ll R$, то решение этой задачи будет хорошим приближением к полю $T^*(r, z, t - t_0)$. Аппроксимируем функцию первыми членами ее разложения в ряд Фурье-Бесселя по функциям Бесселя $J_0(r)$:

$$Q(r) \approx \sum_{k=0}^N a_k J_0(\zeta_k r) \quad (6)$$

где $\zeta_k = \frac{\lambda_k}{R}$ (λ_k — k -ый корень функции $J_0()$). Решение задачи будет иметь вид $T_1 = \sum_{k=0}^N a_k T_{1k}$,

$T_2 = \sum_{k=0}^N a_k T_{2k}$, где функции T_{1k} и T_{2k} удовлетворяют дифференциальному уравнению теплопро-

водности $\Delta T_{ik} = \frac{1}{a_i} \cdot \frac{\partial T_i}{\partial t}$, краевым условиям

$$k_1 \cdot \left(\frac{\partial T_{1k}}{\partial z} \right)_{z=0} = -\varphi(t) J_0(\zeta_k r), \quad k_1 \cdot \left(\frac{\partial T_{1k}}{\partial z} \right)_{z=h} = k_2 \cdot \left(\frac{\partial T_{2k}}{\partial z} \right)_{z=h}, \quad T_{1k}(r, h, t) = T_{2k}(r, h, t), \quad (7)$$

а также условию $T_{2k}(r, \infty, t) = 0$ и начальным условиям $T_{1k}(r, h, 0) = 0$ и $T_{2k}(r, h, 0) = 0$.

Выполним преобразование Лапласа по переменной t , обозначив $\widehat{T}_{ik}(s, r, z) = \int_0^\infty T_{ik}(r, z, t) e^{-st} dt$.

В дальнейшем мы будем обозначать соответствие оригинала изображению при преобразовании Лапласа значком « \leftrightarrow », так, например, $T_{1k} \leftrightarrow \widehat{T}_{1k}$. Дифференциальные уравнения теплопроводности для оригиналов переходят в уравнения собственных функций оператора Лапласа $\Delta T_{ik} = \frac{s}{a_i} \Delta \widehat{T}_{ik}$. Заметим, что функция $f(s, r, z) = J_0(\zeta_k r) \exp(\eta z)$ и $g(s, r, z) = J_0(\zeta_k r) \exp(-\eta z)$, где $\eta_i = \sqrt{\zeta_k^2 + \frac{s}{a_i}}$ будут собственными функциями оператора Лапласа с собственным значением $\frac{s}{a_i}$. Будем искать \widehat{T}_{1k} и \widehat{T}_{2k} в виде [6]:

$$\widehat{T}_{1k} = J_0(\zeta_k r)(f_1 \exp(\eta_1 z) + f_2 \exp(-\eta_1 z)) \quad \widehat{T}_{2k} = J_0(\zeta_k r)(f_3 \exp(-\eta_2(z-h))). \quad (8)$$

С учетом того, что $\varphi(t) \mapsto \frac{1}{s}$ [4], краевые условия дают систему уравнений для определения f_1, f_2, f_3

$$\begin{cases} k_1 \eta_1 f_1 - k_1 \eta_1 f_2 = -\frac{1}{s} \\ \exp(h\eta_1) f_1 + \exp(-h\eta_1) f_2 = f_3 \\ k_1 \eta \exp(h\eta_1) f_1 - k_1 \eta \exp(-h\eta_1) f_2 = -k_2 \eta_2 f_3 \end{cases} \quad (9)$$

Решая которую получим:

$$f_3 = \frac{1}{s(k_1 \eta_1 \operatorname{sh}(h\eta_1) + k_2 \eta_2 \operatorname{ch}(h\eta_1))} \quad (10)$$

$$f_1 = \frac{(k_1 \eta_1 - k_2 \eta_2)}{2k_1 \eta_1} \exp(-h\eta_1) f_3 \quad (11)$$

$$f_2 = \frac{(k_1 \eta_1 + k_2 \eta_2)}{2k_1 \eta_1} \exp(h\eta_1) f_3 \quad (12)$$

Поскольку для расчета температурного поля движущегося источника нам необходимы не температурные поля $T_1(r, z, t)$ и $T_2(r, z, t)$ как таковые, а их производные по времени, воспользуемся свойством преобразования Лапласа: если $f(t) \mapsto F(s)$, то $\frac{df(t)}{dt} \mapsto s \cdot F(s) - f(0)$. С учетом начальных условий (11) и (12) получаем представление

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_{k=0}^N a_k \cdot J_0(\zeta_k r) \cdot y_i(t) \quad (13)$$

где

$$y_1 \mapsto F_1 \exp(\eta_1 z) + F_2 \exp(-\eta_1 z) \quad y_2 \mapsto Y \exp(-\eta_2(z-h)) \quad (14)$$

а Y, F_1 и F_2 определяются равенствами

$$Y = \frac{1}{k_1\eta_1 \operatorname{sh}(h\eta_1) + k_2\eta_2 \operatorname{ch}(h\eta_1)} \quad (15)$$

$$F_1 = \frac{(k_1\eta_1 - k_2\eta_2)}{2k_1\eta_1} \exp(-h\eta_1)Y \quad (16)$$

$$F_2 = \frac{(k_1\eta_1 + k_2\eta_2)}{2k_1\eta_1} \exp(h\eta_1)Y \quad (17)$$

Как известно, при решении задач теплопроводности с применением преобразования Лапласа по времени наибольшую сложность представляет обращение преобразования [4-6]. В нашем случае ключевую роль играет задача нахождения оригинала функции (15). Действительно, зная оригинал этого изображения $y(t)$, легко найти y_2 , как свертку функций $y(t)$ и оригинала изображения.

$$G(s) = \exp(-\eta_2(z - h)) \quad g(z, t) \mapsto \exp(-\eta_2(z - h)) \quad (18)$$

Для нахождения оригинала $Y(s)$ был использован следующий метод: запишем $Y(s)$ в виде:

$$Y(s) = \frac{1}{\alpha \cdot \theta_1 \cdot \operatorname{sh}(\gamma \cdot \theta_1) + \beta \theta_2 \operatorname{ch}(\gamma \cdot \theta_1)} \quad (19)$$

где $\alpha = \frac{k_1}{\sqrt{a_1}}$, $\beta = \frac{k_2}{\sqrt{a_2}}$, $\gamma = \frac{h}{\sqrt{a_1}}$, $\theta_i = \sqrt{\zeta_k^2 a_i + s}$. Введем в рассмотрение функцию

$$Y^*(s) = \frac{1}{\alpha \cdot \theta_1 \cdot \operatorname{sh}(\gamma \cdot \theta_1) + \beta \theta_2 \operatorname{ch}(\gamma \cdot \theta_1)} \quad (20)$$

Представим $Y(s)$ в виде $Y(s) = Y^*(s) + D(s)$.

Можно доказать, что функция $D(it)$ вещественного аргумента t интегрируема с квадратом, и в силу этого, ее можно рассматривать как Фурье-спектр некоторой функции $d(t)$. В таком случае, оригинал изображения $Y(s)$ можно найти как

$$y(t) = y^*(t) + d(t), \quad (21)$$

где $y^*(t)$ оригинал изображения $Y^*(s)$. Необходимо отметить, что при близких друг к другу значениях коэффициентов температуропроводности материалов покрытия и подложки, функция $Y^*(s)$ с высокой точностью аппроксимирует функцию $Y(t)$ в правой полуплоскости, и мы можем считать, что $y(t) \approx y^*(t)$.

Оригинал изображения $Y^*(s)$ можно найти аналитически. Для этого представим $Y^*(s)$ в виде

$$Y^*(s) = \frac{1}{\nu \cdot \theta_1 \cdot \exp(\gamma \cdot \theta_1)(1 + \varepsilon \cdot \exp(2\gamma \cdot \theta_1))} \quad (22)$$

где $\varepsilon = \mu/\nu$, и представим выражение $1/(1 + \varepsilon \cdot \exp(2\gamma \cdot \theta_1))$ в виде суммы геометрической прогрессии. Тогда

$$Y^*(s) = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\exp(-\gamma \cdot \theta_1)}{\theta_1} + \sum_{k=1}^N \frac{(-\varepsilon)^k \cdot \exp(-(2k+1) \cdot \gamma \cdot \theta_1)}{\theta_1} \right) \quad (23)$$

Откуда получим

$$y(t) = \frac{1}{\nu} \sum_{k=0}^N \frac{(-\varepsilon)^k \cdot \exp\left(-\frac{(2k+1)\cdot\gamma}{4t} - (2k+1) \cdot \zeta_k \cdot a_1 \cdot t\right)}{\sqrt{4\pi \cdot t}} \quad (24)$$

Таким образом, оригинал $Y(s)$ находится как сумма вида (21), где функция $d(t)$ рассчитывается с помощью численного обращения преобразования Фурье функции $D(i \cdot t)$.

Реализация метода и практическое применение

Метод реализован в программе для ПК, написанной на языке программирования C++ в среде разработки Microsoft Visual Studio Express.

На рис. 2 и рис. 3 приводятся скриншоты, сделанные во время работы программы, реализующей описанный выше метод расчета теплового поля движущегося источника при следующих входных данных: источник тепла — Гауссовское распределение поверхностной плотности мощности, эффективный диаметр пучка — 10мм, мощность источника — 500Вт, скорость движения - 4мм/с. Покрытие: толщина 300мкм, материал — никель, плотность 8900 кг/м³, коэффициент теплопроводности 90.4 Вт/мК, удельная теплоемкость 443 Дж/кгК. Подложка: материал-железо, плотность 7870 кг/м³, коэффициент теплопроводности 79.9 Вт/мК, удельная теплоемкость 447.0 Дж/кгК.

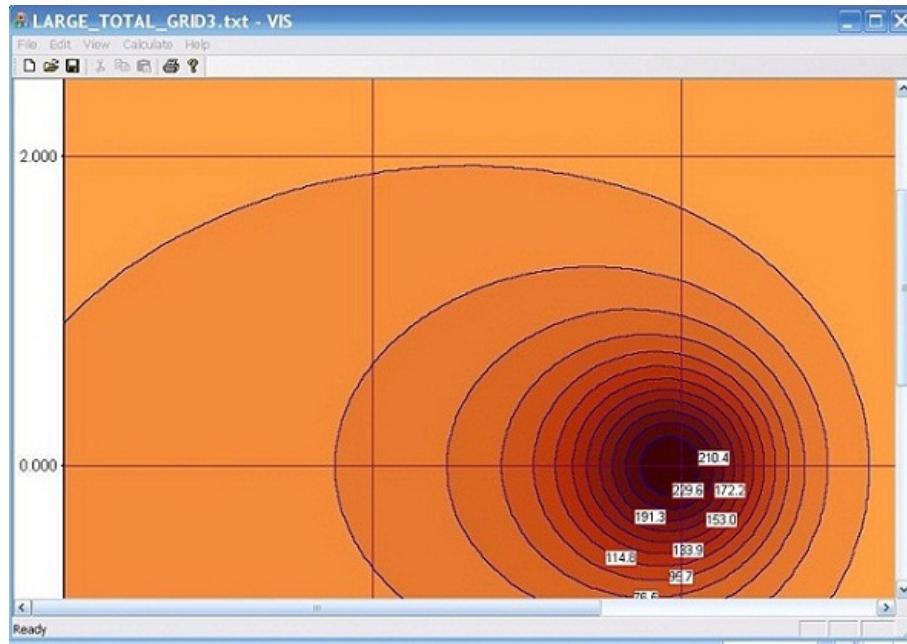


Рисунок 2 Карта изолиний температурного поля на границе покрытия и подложки (горизонтальный срез)

На основании расчетов температурных профилей для двухслойных поглотителей, где слой покрытия интерпретировался как никель или кобальт, а подложка - как железо, нами были предложены определенные режимы модификации защитных порошковых покрытий на основе Ni и на основе Co, нанесенных высокоскоростной плазменной струей на стальные подложки. Обоснование интерпретации многокомпонентных покрытий на стальной подложке двухслойными поглотите-

лями Ni-Fe и Co-Fe основано на данных экспериментальных исследований структурно-фазового состава данных покрытий и разработанной нами модели их строения [1]. Выбирались режимы дополнительной обработки плазменной струей, приводящие к оплавлению поверхностного слоя покрытия, без проплавления покрытия на всю его глубину. Улучшение стойкости модифицированных покрытий к износу достигалось за счет уменьшения шероховатости поверхности при оплавлении и улучшения адгезии покрытия к подложке за счет ускорения диффузационных процессов при облучении [1,7].

Полученные экспериментальные результаты исследования структуры и свойств модифицированных по расчетным режимам покрытий подтверждены двумя актами производственных испытаний в Сумском институте модификации поверхности (г. Сумы, Украина) и находятся в хорошем согласии с данными других исследователей. В частности, в работе [8] экспериментально установлено формирование упрочняющих интерметаллидов при облучении покрытий, а в монографии [9] подтверждается возникновение радиационно-стимулированной диффузии в материалах с ГЦК-решеткой при облучении, приводящем к нагреву до рассчитанных нами температур.

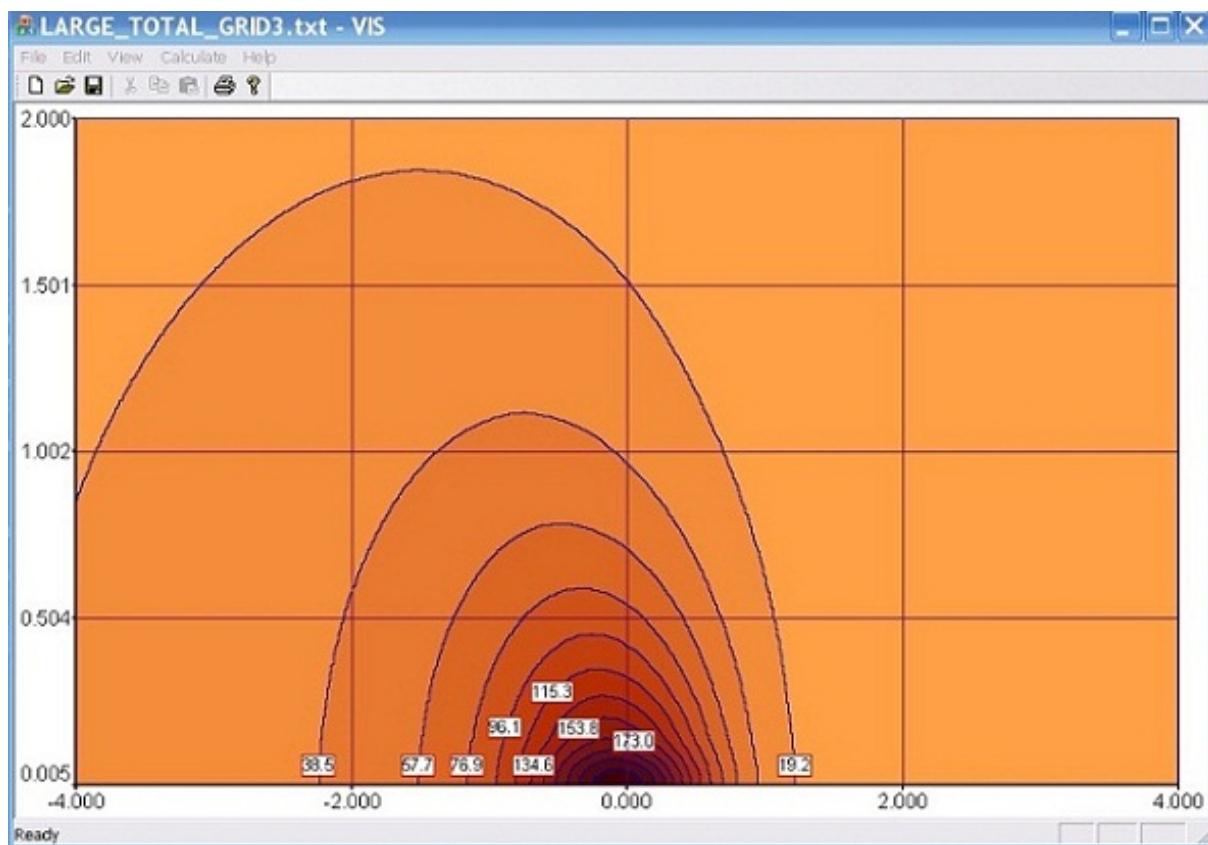


Рисунок 3 Карта изолиний температурного поля (срез плоскостью перпендикулярной поверхности образца, вектор скорости перемещения пучка параллелен плоскости среза)

Благодарности

Проведение исследований финансировалось за счет средств гранта АО НАТР (договор №389 (188-418-11) от 10.02.2012) по теме «Разработка технологии получения многофункциональныхnanoструктурированных защитных покрытий с повышенными эксплуатационными свойствами».

Авторы также благодарят Латкина И.В. за большую помощь в подготовке материалов в печать в издательской системе L^AT_EX.

Список литературы

- [1] Модификация облучением защитных покрытий и сплавов на основе Ni и Co. / Алонцева Д.Л./ монография, Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. -- 334с.
- [2] Теплопроводность твердых тел / Карслу Г. Егер Д., М: "Наука": 1964. – 448с.
- [3] Интегральные преобразования и специальные функции в задачах теплопроводности / Галицын А.С., Жуковский А.Н., Киев: "Наукова думка". 1976. – 625 с.
- [4] Методы теории функций комплексного переменного. / Лаврентьев М.А., Шабат Б.В., М: "Наука", 1987. – 749с.
- [5] Уравнения математической физики. / Тихонов А.Н., Самарский А.А., М: "Наука", 1977. – 735с.
- [6] Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. / Блейхут Р., М: "Мир", 1989. – 448с.
- [7] Modification of Ni-Based Plasma Detonation Coatings by a Low-Energy DC E-beam. // Alontseva D., Krasavin A., Pogrebnyak A., Russakova A., Acta Physica Polonica A, 2013, Vol. 123, No 5, P. 867–870.
- [8] Structure and properties of coatings created by plasma deposition technique and treated by electron-beam. /Ivanov Yu.F. Nadeikin E.V., Russian Physics J., 2009, No 8/2, P. 402–404.
- [9] Фазовые превращения при облучении. /Нолфи Е.В., Челябинск: Металлургия, 1989. – 311с.

УДК 517.957

К АСИМПТОТИКЕ АВТОМОДЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ПОЛИТРОПИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ С НЕЛИНЕЙНЫМ ГРАНИЧНЫМ УСЛОВИЕМ

М.М. Арипов, З.Р. Рахмонов

Национальный Университет Узбекистана

Abstract. In this paper we study the asymptotic behavior of self-similar solutions of the nonlinear problem polytrophic filtration with nonlinear boundary and initial conditions. We obtain the critical global exponent by constructing various self-similar super solutions and sub solutions. The main member of asymptotic of the self similar solutions are established.

Keywords: polytropic filtration, critical global exponent, supersolution, subsolution, asymptotic .

Аннотация. В данной работе изучены асимптотически поведение автомодельных решений одной нелинейной задачи политропической фильтрации с нелинейным граничным и начальным условием. Получаем критически значения путем построения различных автомодельному верхних и нижних решений. Получены главный член асимптотики решений в зависимости от значение числовых параметров.

Ключевые слова: политропической фильтрации, критически значения, верхних решения,

нижних решения, асимптотика.

В данной работе изучается асимптотическое поведение автомодельных решений следующего квазилинейного параболического уравнения

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\left| \frac{\partial u^m}{\partial x} \right|^{p-2} \frac{\partial u^k}{\partial x} \right), \quad (x, t) \in R \times (0, +\infty), \quad (1)$$

с нелинейным граничным

$$-\left| \frac{\partial u^m}{\partial x} \right|^{p-2} \frac{\partial u^k}{\partial x} (0, t) = u^\beta (0, t), \quad t \in (0, +\infty), \quad (2)$$

и начальным условием

$$u(x, 0) = u_0(x) \geq 0, \quad x \in R, \quad (3)$$

где m, k, β, p - заданные числовые параметры, $u = u(t, x) \geq 0$ - искомое решение.

Уравнения (1) описывает многие физические процессы, так при $m > 1, p > 1, k > 1$ - уравнение Ньютона-Политропической фильтрации, при $m = k = 1$ - Ньютона-Политропическую фильтрацию [9]. Кроме того, уравнение (1) известно при $p = 2$ как уравнение пористой среды, нелинейной теплопроводности или нелинейной диффузии [1, 3].

Исследованию задачи (1) - (3) в случае $m = k = 1$ посвящено большое количество работ [3, 5] (подробно см. библиографию в [3, 4, 8]). В работе [7] получены условие глобальной разрешимости и неразрешимости в целом задачи (1) - (3) в случае быстрой диффузии при $m = k > 0$, а в работе [6] также получены условие глобальной разрешимости при $m = k > 1, p > 2$. Как доказано в [6-7], при $(m+1)(p-1)/p < \beta < (m+1)(p-1)$, $k = m$, всякое нетривиальное решение $u \neq 0$ является неограниченным, а при $\beta > (m+1)(p-1)$ задача (1) - (3) имеет глобальное решение $u \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$ в R , если u_0 достаточно мала. В работе [6] доказана, что при критическим значением $\beta_* = (m+1)(p-1)$ задача (1) - (3) при $k = m$ имеет неограниченное решение. В качестве критического для задачи (1) - (3) служит значение

$$\beta_* = m(p-2) + k + p - 1.$$

В настоящей работе на основе автомодельного анализа и метода эталонных уравнений [1] получены асимптотики финитных и исчезающих на бесконечности решения задачи (1) - (3).

Уравнение (1) допускает в области $Q_T = \{(t, x) : 0 < t < T, x \in R\}$ автомодельное решение вида

$$u = (T-t)^{-\gamma} f(\xi), \quad \xi = x(T-t)^{-q} \quad (4)$$

где

$$\gamma = \frac{p-1}{\beta p - m(p-2) - p - k + 1}, \quad q = \frac{\beta - m(p-2) - k}{\beta p - m(p-2) - p - k + 1},$$

а функция $f(\xi)$ является решением задачи

$$\frac{d}{d\xi} \left(\left| \frac{df^m}{d\xi} \right|^{p-2} \frac{df^k}{d\xi} \right) + q\xi \frac{df}{d\xi} + \gamma f = 0 \quad (5)$$

$$f'(0) = 0, f(0) = M > 0 \quad (6)$$

Оценка решений

Применяя метод [1] для решения задачи (5), (6) получим следующие оценки решения задачи (1)-(3):

Случай $m(p-2) + k - 1 > 0$ (**медленная диффузия**). Отметим, что функция

$$\theta(\xi) = \left(a - b |\xi|^{\frac{p}{p-1}} \right)_+^{\frac{p-1}{m(p-2)+k-1}}$$

где $b = \frac{m(p-2)+k-1}{p} \left(\frac{q}{m^{p-2}k} \right)^{1/(p-1)}$, $a = M^{\frac{m(p-2)+k-1}{p-1}}$, $y_+ = \max(y, 0)$ при $\xi < (a/b)^{(p-1)/p}$ удовлетворяет условию (6).

Теорема 1. Пусть $\beta > m(p-2)+k+p-1$, $u_0(x) \leq u_+(0, x)$, $\gamma < 0$, $x \in R$. Тогда задача (1) - (3) существует глобальное решение в Q_T и для него справедливо следующая оценка $u(t, x) \leq u_+(t, x)$, где

$$u_+(t, x) = (T-t)^{-\gamma} \theta(\xi) \quad (7)$$

Доказательство. Теорема 1 доказывается методом сравнения решений. В качестве сравниваемой возьмем функцию $u_+(t, x)$, определенную формулой (7). Тогда в силу (5) имеем

$$Au_+ = \theta(-q + \gamma)$$

Из этого выражения следует, что для выполнение условия $Au_+ \leq 0$, достаточно выполнения условия

$$-\frac{\beta - m(p-2) - k}{\beta p - m(p-2) - p - k + 1} + \frac{p-1}{\beta p - m(p-2) - p - k + 1} \leq 0.$$

Оно в силу условия теоремы выполнено. Тогда теорема сравнение решений даёт нужный результат.

Теорема 2. Пусть $(m(p-2) + k + p - 1)/p < \beta < m(p-2)+k+p-1$, $u_0(x) \geq u_+(0, x)$, $x \in R$, $\gamma > 0$. Тогда задача (1) - (3) существует неограниченное решение в Q_T и для него справедливо следующая оценка $u(t, x) \geq u_+(t, x)$, где

$$u_+(t, x) = (T-t)^{-\gamma} \theta(\xi).$$

Теорема доказывается аналогично доказательства теоремы 1.

Асимптотика автомодельных задач

Теорема 3. Финитные решения задачи (5), (6) при $\xi \rightarrow (a/b)_-^{(p-1)/p}$ имеет асимптотику $f(\xi) \sim \theta(\xi)$.

Доказательство. Ищем решение уравнения (5) в следующем виде

$$f = \theta(\xi) w(\eta) \quad (8)$$

где $\eta = -\ln \left(a - b |\xi|^{\frac{p}{p-1}} \right)$, причем $\eta \rightarrow +\infty$ при $\xi \rightarrow (a/b)_-^{(p-1)/p}$, что позволяет исследовать

асимптотическую устойчивость решения задачу (5), (6) при $\eta \rightarrow +\infty$. Введем обозначения $s = m(p-2) + k - 1$. После подстановки (8) в (5) для $w(\eta)$ получим следующее уравнение

$$\begin{aligned} & \frac{d}{d\eta} w^s \left| \frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right|^{p-2} \left(\frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right) + \left(\frac{\phi_1(\eta)}{\phi_2(\eta)} \frac{p-1}{bp} - \frac{p-1}{s} \right) w^s \left| \frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right|^{p-2} \left(\frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right) + \\ & + \frac{p-1}{(b^m p)^{p-2} b p k} \left(\frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right) - \frac{\gamma w}{(b^m p)^{p-2} b^2 p^2 k} \frac{\phi_1(\eta)}{\phi_2(\eta)} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

здесь

$$\phi_1(\eta) = e^{-\eta},$$

$$\phi_2(\eta) = (a - e^{-\eta}) / b,$$

где η определено выше.

Изучение решения последних уравнений является равносильным изучению тех решений уравнения (1), каждое из которых в некотором промежутке $[\eta_0, +\infty)$ удовлетворяет неравенству:

$$w(\eta) > 0, \frac{w(\eta)}{s} - \frac{w'(\eta)}{p-1} \neq 0$$

Покажем, прежде всего, что решения $w(\eta)$ уравнения (9) имеют конечный предел w_0 при $\eta \rightarrow +\infty$. Введем обозначения

$$\nu(\eta) = w^s \left| \frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right|^{p-2} \left(\frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right).$$

Тогда для уравнения (9) имеем вид

$$v' = - \left(\frac{\phi_1(\eta)}{\phi_2(\eta)} \frac{p-1}{bp} - \frac{p-1}{s} \right) v - \frac{p-1}{(b^m p)^{p-2} b p k} \left(\frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right) + \frac{\gamma w}{(b^m p)^{p-2} b^2 p^2 k} \frac{\phi_1(\eta)}{\phi_2(\eta)}$$

Рассмотрим вспомогательную функцию

$$\vartheta(\tau, \eta) = - \left(\frac{\phi_1(\eta)}{\phi_2(\eta)} \frac{p-1}{bp} - \frac{p-1}{s} \right) \tau - \frac{p-1}{(b^m p)^{p-2} b p k} \left(\frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right) + \frac{\gamma w}{(b^m p)^{p-2} b^2 p^2 k} \frac{\phi_1(\eta)}{\phi_2(\eta)}$$

где τ - вещественное число. Отсюда следует, что при каждом значении τ функция $\vartheta(\tau, \eta)$ сохраняет знак на некотором промежутке $[\eta_1, +\infty) \subset [\eta_0, +\infty)$ и при всех $\eta \in [\eta_1, +\infty)$ выполняется одно из неравенств

$$\nu'(\eta) > 0, \nu'(\eta) < 0.$$

Поэтому для функции $\nu(\eta)$ существует предел при $\eta \in [\eta_1, +\infty)$. Из выражения для $\nu(\eta)$ следует, что

$$\begin{aligned} & \lim_{\eta \rightarrow +\infty} \nu'(\eta) = \\ & = \lim_{\eta \rightarrow +\infty} \left\{ - \left(\frac{\phi_1(\eta)}{\phi_2(\eta)} \frac{p-1}{bp} - \frac{p-1}{s} \right) v - \frac{p-1}{(b^m p)^{p-2} b p k} \left(\frac{w}{s} - \frac{w'}{p-1} \right) + \frac{\gamma w}{(b^m p)^{p-2} b^2 p^2 k} \frac{\phi_1(\eta)}{\phi_2(\eta)} \right\} = 0 \end{aligned}$$

Отсюда, учитывая, что

$$\lim_{\eta \rightarrow +\infty} \phi_1(\eta) \rightarrow 0, \lim_{\eta \rightarrow +\infty} \phi_2(\eta) \rightarrow -\frac{1}{b}, w' = 0$$

при $\xi \rightarrow (a/b)_-^{(p-1)/p}$, получим следующего алгебраического уравнения

$$\frac{p-1}{s} w^{(m-1)(p-2)+k-1} \left(\frac{w}{s}\right)^{p-1} - \frac{p-1}{(b m p)^{p-2} b p k s} w = 0. \quad (10)$$

Вычисление последнего уравнения дает $w = 1$ и в силу (8) $f(\xi) \sim \theta(\xi)$.

Теорема 3 доказана.

Следствие 1. При $\beta > m(p-2) + k$ решение задачи (1) - (3) пространственно локализовано, причем для свободной границы $L(t)$ имеет место асимптотика

$$L(t) \sim \left(\frac{a}{b}\right)^{(p-1)/p} (T - t)^{\frac{\beta-m(p-2)}{\beta p - m(p-2) - p - k + 1}} \rightarrow 0$$

при $t \rightarrow T$.

Случай $m(p-2) + k - 1 < 0$ (быстрая диффузия)

Легко проверить, что функция

$$\psi(\xi) = \left(a + b |\xi|^{\frac{p}{p-1}}\right)^{-\frac{p-1}{1-k-m(p-2)}}$$

где $b = \frac{1-k-m(p-2)}{p} \left(\frac{q}{m^{p-2}k}\right)^{1/(p-1)}$, $a = M^{-\frac{1-k-m(p-2)}{p-1}}$ при $\xi \rightarrow +\infty$ удовлетворяет условию задачи (5), (6).

Теорема 4. Пусть $1 < p < 2 - \frac{k+1}{m+1}$, $q > 0$ или $\gamma > qp(m(p-2) + k - 1)$, $q < 0$, $1 < p < 2 - \frac{k+1}{m+1}$. Тогда при $\xi \rightarrow +\infty$ классическое решение задачи (5), (6) имеет асимптотику $f(\xi) \sim C\psi(\xi)$, где

$$C = \left(-\frac{qp(1-k-m(p-2)) + \gamma}{q(1-k-m(p-2))(1-k-m(p-2)-p)}\right)^{-\frac{1}{1-k-m(p-2)}}.$$

Теорема доказывается аналогично доказательству теоремы 3.

Критический случай $m(p-2) + k - 1 = 0$

Заметим, что функция

$$\bar{f}(\xi) = e^{-d|\xi|^{\frac{p}{p-1}}}$$

где $d = \frac{p-1}{p} \left(\frac{q}{m^{p-2}k}\right)^{1/(p-1)}$, удовлетворяет условию задачи (5), (6).

Теорема 5. Пусть $m(p-2) + k - 1 = 0$. Тогда решение задачи (5), (6) при $\xi \rightarrow +\infty$ имеет асимптотику $f(\xi) \sim C\bar{f}(\xi)$, где C - произвольное положительное число.

Теорема доказывается аналогично доказательству теоремы 3.

Случай $m(p-2) + k - 1 < 0$ (**быстрая диффузия**) . Проверкой легко убедиться, что функция

$$g(\xi) = (A + B\xi)^{-\frac{p}{1-k-m(p-2)}}$$

где $B = \frac{1-k-m(p-2)}{p} \left(\frac{\gamma}{m^{p-2}k} \right)^{1/p}$, $A = M^{-\frac{1-k-m(p-2)}{p}}$ удовлетворяет задачи (5), (6).

Теорема 6. Пусть $1 < p < 2 - \frac{k+1}{m+1}$. Тогда при $\xi \rightarrow +\infty$ исчезающие на бесконечности решение задачи (5), (6) имеет асимптотику $f(\xi) \sim Cg(\xi)$, где

$$C = \left(\frac{m(p-2) + k - 1}{(m+1)(p-2) + k + 1} \right)^{-\frac{1}{1-k-m(p-2)}}.$$

Теорема доказывается аналогично доказательство теоремы 3.

На основе этих теорем были произведены численные расчеты. Для этого в качестве начального приближения брались построенные выше функции. Во всех случаях результаты вычислительных экспериментов показали достаточно быструю сходимость к точному решению.

Список литературы

- [1] М. Арипов. Методы эталонных уравнений для решения нелинейных краевых задач. Ташкент. Фан. 1988. 137 с.
- [2] Juan L. Vazquez. The Porous medium equation. Mathematical theory, Oxford Mathematical Monographs, Oxford University Press, 2007. 183.
- [3] Галактионов В.А. Об условиях несуществования в целом и локализация решений задачи Коши для одного класса нелинейных параболических уравнений. - Журн. вычисл. математики и мат. физики, 1983, т. 23, №6. 1341-1354.
- [4] Victor A. Galaktionov and Juan L. Vazquez. The problem of blow-up in nonlinear parabolic equations. Discrete and continuous dynamical systems, vol. 8, №2, April 2002. 399-433.
- [5] Галактионов В.А., Курдюмов С.П., Посашков С.А., Самарский А. А. Квазилинейное параболическое уравнение со сложным спектром неограниченных автомодельных решений. Мат. моделирование. Процессы в нелинейных средах. М.: Наука, 1986, 142-182.
- [6] Z.Li, Ch.Mu. Critical exponents for a fast diffusive polytropic filtration equation with nonlinear boundary flux. J. Math. Anal. Appl. 346 (2008) 55-64.
- [7] W.Zejia, Y.Jingxue, W.Chunpeng. Critical exponents of the non-Newtonian polytropic filtration equation with nonlinear boundary condition. Appl. Math. Lett. 20 (2007) 142-147.
- [8] P.Zheng, Ch.Mu, D.Liu, X.Yao and Sh.Zhou. Blow-up analysis for a quasilinear degenerate parabolic equation with strongly nonlinear source. Abstract and Appl. Anal. vol 2012. Article ID 109546. 19 pages.
- [9] Калашников А.С. Некоторые вопросы качественной теории нелинейных вырождающихся параболических уравнений второго порядка. УМН. 1987. Т.42 Вып. 2 (254). 135-176.

УДК 681.5.015

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ МРІ С ИНТЕРФЕЙСОМ WEB 2.0

Д.Ж. Ахмед-Заки, К.А. Айдаров

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби

Abstract. A distributed informational and computational system for analysis of oil and gas fields has been developed. Computational part of the system is based on modern mathematical models of multiphase filtration and highly productive computational algorithms. System combines heterogeneous computational resources into computational cluster with a single access point which embedded into Web 2.0 interface.

Keywords: ISAR-II, distributed computing, parallel computing technologies, analysis of oil and gas fields.

Андатпа. Мұнай-газ кен орындарын саралаудың үлестірілген ақпараттық-есептеуіш жүйесі құрастырылды. Жүйенің есептеуіш бөлігі көнфазалық фильтрацияның заманауи математикалық модельдері мен жоғары өнімді есептеуіш алгоритмдерге негізделген. Жүйе гетерогенді есептеуіш ресурстарын, Web 2.0 интерфейсіне негізделген, жалғыз қатынау нүктесі бар, есептеуіш кластеріне біріктіреді.

Кілттік сөздер: ИСАР-II, үлестірілген есептеулер, есептеулерді параллельдеу технологиялары, мұнай-газ кен орындарын саралау.

Аннотация. Разработана распределенная информационно-вычислительная система анализа разработки нефтегазовых месторождений (ИСАР-II) при различных воздействиях на продуктивный пласт для повышения нефтеотдачи. Вычислительная часть системы основана на базе современных математических моделей многофазной фильтрации и высокопроизводительных вычислительных алгоритмов. Система объединяет гетерогенные вычислительные ресурсы в вычислительный кластер, с единой точкой доступа, которая встроена в интерфейс Web 2.0.

Ключевые слова: ИСАР-II, распределенные вычисления, грид, технологии параллелизации вычислений, анализ нефтегазовых месторождений.

Данная разработка является прототипом информационно-вычислительной системы пред назначенной для выполнения распределенных расчетов с использованием нескольких рабочих станций. Также есть возможность развертки системы на вычислительном кластере организации/института. Каждый вычислительный узел системы является автономным элементом. С другой стороны, программная составляющая данной распределенной вычислительной системы обеспечивает пользователям видимость работы с единой вычислительной системой.

На данный момент поддерживается локальная сеть компьютеров работающих под операционными системами семейства MS Windows и Linux. В дальнейшем планируется, реализация масштабирования до размеров гетерогенной сети, кластера, виртуального суперкомпьютера или облака.

Система реализована в виде веб-сайта. Существует только одна точка входа в распределенную вычислительную систему с выделенным IP-адресом. Взаимодействие между узлами всегда происходит только через центральный сервер на котором развернуто веб-приложение.

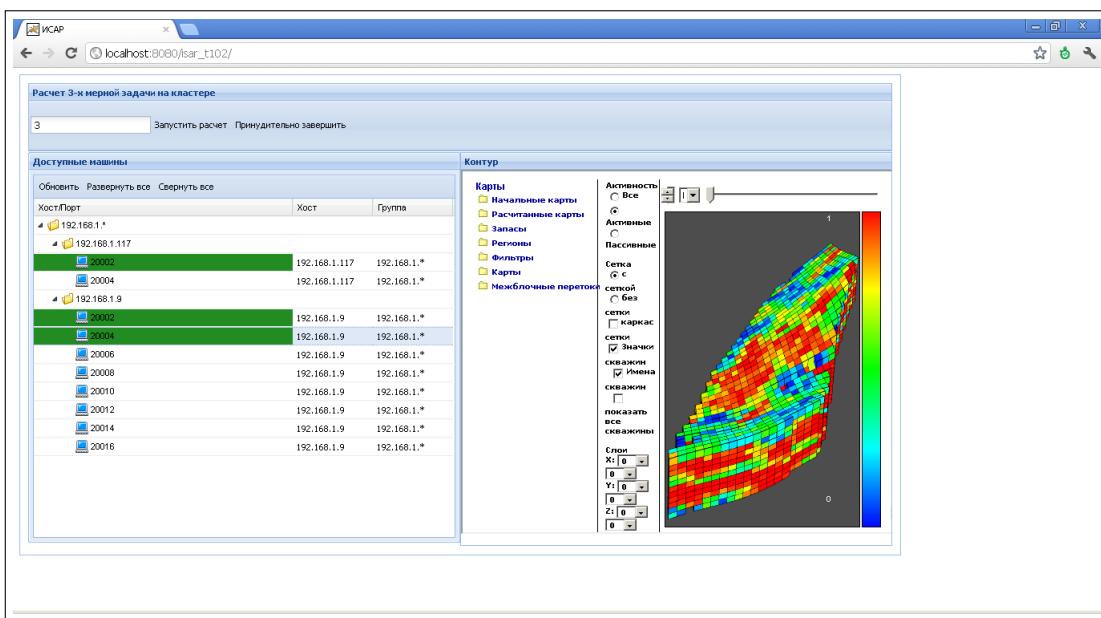


Рисунок 1 Результат запуска расчета с 3-мя ядрами

На каждом из узлов участвующих в расчете устанавливается программное обеспечение, состоящее из системной службы и специального архива задачи которую необходимо выполнить.

Служба при запуске соединяется с центральным сервером и записывает свои вычислительные параметры: ip-адрес удаленного узла и список доступных портов. При расчете к каждому из ядер данного узла сопоставляется один из портов.

Пользователь, указав в поле верхнего левого угла веб-интерфейса приложения количество задействуемых ядер, выбирает необходимые порты, каждый из которых соответствует ядру выбранного узла. Каждое из ядер создает собственный процесс, который начинает выполняться независимо от других, что и создает параллельное выполнение расчета задачи.

Количество используемых ядер (процессов) строго регламентировано исполняемой задачей. В нашей задаче максимальное количество процессов при которых задача могла быть корректно подсчитана было 9.

Требования к задаче следующие: код задачи написан на языке программирования Java с использованием библиотек параллелизации MPJ Express или MPI Java. Запакована в исполняемый Java архив с расширением .jar.

На рисунке (1) – интерфейс приложения распределенного расчета. Слева: список найденных активных машин в сети с доступными на них ядрами (портами). Здесь, сначала отмечаются нужные нам ядра на произвольных машинах. Максимальное их количество указано в поле верхнего левого угла. В данной картинке представлен результат запуска расчета с 3-мя ядрами: на 1-й машине задействовано 1 ядро, на 2-й 2 ядра. Справа показан 3-х мерный контур песчанистости активной части месторождения с сеткой. На фрагменте рассчитанной карты 3-х мерного контура месторождения показаны несколько добывающих и одна нагнетательная скважина.

На рисунке (2) представлен результат запуска расчета с 9-ю ядрами: на 1-й машине задействовано 1 ядро, на 2-й 8 ядер. Справа показан 3-х мерный контур пористости активной части месторождения с сеткой. На фрагменте рассчитанной карты 3-х мерного контура месторождения показаны несколько добывающих и одна нагнетательная скважина.

На рисунке (3) показан пример архитектуры модели локальной сети. Здесь на головной рабочей станции с выходом в Интернет (на примере это 192.168.1.117) устанавливается веб-сервер. На этой рабочей станции размещается веб-приложение и клиентская часть планиров-

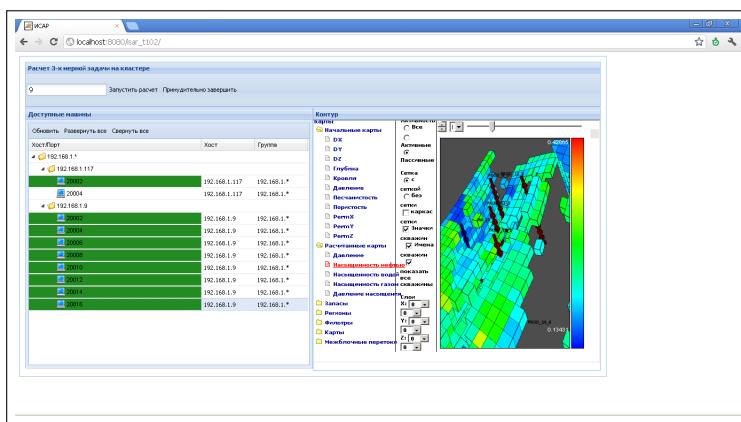


Рисунок 2 Архитектура распределенной вычислительной системы в кластерной модели

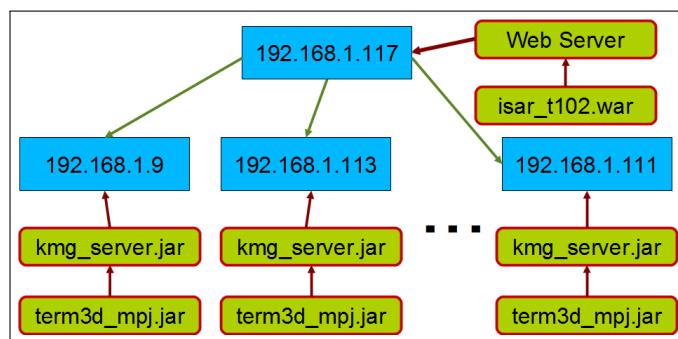


Рисунок 3 Архитектура распределенной вычислительной системы в кластерной модели

щика распределенной вычислительной системы. На остальных рабочих станциях локальной сети (на примере это 192.168.1.9, 192.168.1.113 и т.д.) устанавливается серверная часть планировщика (kmg_server.jar) в виде системной службы или отдельного приложения, а также исполняемый архив программы самой вычислительной задачи (term3d_mpj.jar). После активации, каждая из серверных частей планировщика сообщает клиентской части свои вычислительные параметры. Клиентская часть регистрирует каждую рабочую станцию в информационной подсистеме, затем эти рабочие станции становятся доступными для запуска на них задачи и отображаются в веб-приложении. По окончании, результаты расчета могут быть собраны на любой из участвовавших в расчете рабочих станций в виде набора файлов, записаны в базу данных информационной подсистемы, либо переданы на веб-сервер для дальнейшей обработки.

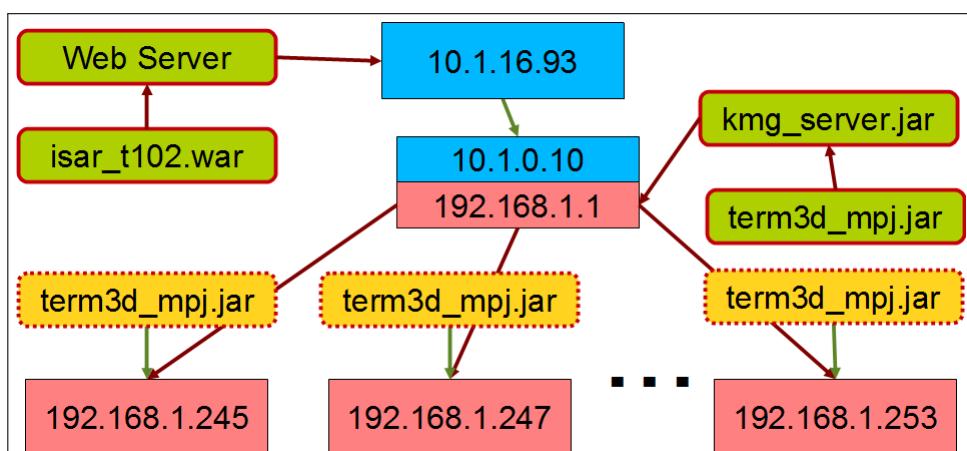


Рисунок 4 Архитектура распределенной вычислительной системы в кластерной модели

На рисунке (4) показан пример архитектуры модели кластера. Здесь также есть компьютер, являющийся веб-сервером (на примере это 10.1.16.93) на котором развернуто веб-приложение и клиентская часть планировщика. На головном узле кластера который имеет два адреса, один для взаимодействия с другими машинами локальной сети (внешний адрес), а другой для обращения к вычислительным узлам кластера (внутренний адрес), устанавливается единственная копия серверной части планировщика (kmg_server.jar). Также, на головном узле кластера размещается непосредственно файл с исполняемым архивом задачи (term3d_mpj.jar), который, в отличие от модели локальной сети, физически также представлен в одном экземпляре. При активации, серверная часть планировщика передает на веб-сервер, на котором работает клиентская часть планировщика, данные об узлах кластера, которые затем попадают в хранилище информационной подсистемы. Оттуда данные попадают на страницу веб-приложения, которое отображает список всех узлов кластера, в древовидном представлении. При запуске задачи, копия исполняемого архива виртуально исполняется на каждом из, выбранных для расчета, узлов кластера (т.е. файла задачи копируется в оперативную память каждого из исполняющих узлов, и затем исполняется со своей порцией входных данных). Как и в случае с моделью локальной сети, по окончании, результаты расчета могут быть собраны на любой из участвовавших в расчете рабочих станций в виде набора файлов, записаны в базу данных информационной подсистемы, либо переданы на веб-сервер для дальнейшей обработки.

В этой работе была коротко описана работа разработанного в НИИ ММ МОН РК прототипа распределенной информационно-вычислительной системы для расчета задач нефтегазовой отрасли. Пробные расчеты проводились на тестовых задачах построенных на методах теории фильтрации. Результаты расчетов показали ожидаемое ускорение протестированных задач по сравнению с их последовательными аналогами. Также, в качестве графической оболочки был разработан веб-интерфейс позволяющий пользователю управлять узлами для расчета перед запуском самой задачи на исполнение. Представленная система видится комплексным и целостным решением, требующей дальнейшей доработки, в плане добавления новых возможностей, связанных как с вычислительной подсистемой, так и с интерфейсом.

Список литературы

- [1] Распределенные вычислительные системы. Учебное пособие / Г.И.Радченко. Челябинск:: Фотохудожник, 2012. – 184 с.
- [2] MPI: A Message-Passing Interface Standard, Version 3.0 / Message Passing Interface Forum. Stuttgart:: High Performance Computing Center Stuttgart (HLRS), September 21, 2012. – 852 p.
- [3] The Grid. Blueprint for a new computing infrastructure / I. Foster, C. Kesselman. San Francisco:: Morgan Kaufman, 1999. – 677 p.
- [4] Объединение вычислительных кластеров для крупномасштабного численного моделирования в проекте NumGRID / М.А. Городничев. Новосибирск:: Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. Том 10, Выпуск 4, 2012. – сс. 63-73.

- [5] MPI and Java-MPI: Contrasts and Comparisons of Low-Level Communication Performance / V. Getov, P. Gray, V. Sunderam. Supercomputing, New Orleans::ACM/IEEE 1999 Conference, Nov. 1999 – 21 pp.
- [6] MPI Library and Low-Level Communication on the K computer / N. Shida, S. Sumimoto, A. Uno. Tokyo:: FUJITSU Sci. Tech. Japan, Vol. 48, No. 3, July 2012 – pp. 324-330.
- [7] The Java Native Interface: Programmer's Guide and Specification / S. Liang. Addison Wesley, 1999.
- [8] Build an Ajax application using Google Web Toolkit, Apache Derby, and Eclipse, Part 1: The fancy front end / N. Rappin. IBM Developer Works. Technical Library (ibm.com/developerworks), December 05, 2006.

УДК 681.5.015

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОД В ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О.Е. Бакланова, Ж.Ш. Узденбаев

Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева

Abstract. With the expansion and deepening of knowledge about minerals are gaining the technical means to investigate their microstructure. This work is proposed to develop automated processing system micrographs. These are included the development of new methods and algorithms for raster image processing, resulting microscopy to tackle problems of "machine" for evaluation of the quality of the mineral species in the mining industry, and an investigation of pattern recognition in the analysis of rocks, and the development of pattern recognition techniques to assess the quality of the mineral species in the mining industry and testing of the pilot application of the technology, the analysis of the samples treated by the proposed algorithm.

Keywords: image recognition, pattern recognition, image processing, machine vision, program implementation of intellectual systems.

Аннотация. Минералогиялық саралтау әдісі ретіндегі микроскопияның ағымдағы даму кезеңінде үрдістің барлық операцияларында лаборанттың тікелей қатысуын талап ететін автоматты емес зерттеулер әдісі басым. Кен өндіру өнеркәсібіндегі минералды жыныстардың сапалық құрамын бағалау үшін «машина» көзі есептерінің шешілуін қамтамасыз ететін микроскопия нәтижесінде алынған растрлық суреттерді өңдеудің жаңа әдістемелерін және алгоритмдарын жасау. Тау жыныстарын саралтауда суретті айырып тану мәселелерін зерттеу. Растрлық суреттерге қатысты белгілі нысандар ажырату (іздестіру) алгоритмдарын, олардың қасиеттері мен кемшіліктерін талдау. Кен өндіру өнеркәсібіндегі минералды жыныстардың сапалық құрамды бағалау үшін суретті айырып тану әдістемесін жасау. **Жасалған технологияның эксперименталді қолдану нәтижелерін сынап көру, ұсынылған алгоритмдар бойынша өндөлген үлгілер саралтаусы.**

Кілттік сөздер: түрлерді айырып тану, суреттерді өңдеу, машина көзі, интеллектуалдық жүйелерді бағдарламалық жолмен іске асыру.

Аннотация. По мере расширения и углубления знаний о минералах все большее значение приобретают технические средства, позволяющие исследовать их микроструктуру. В данной работе предлагается разработка автоматизированной системы обработки микроснимков, в том числе разработка новых методик и алгоритмов обработки растровых изображений, полученных в результате микроскопии, обеспечивающих решение задач «машинного» зрения для оценки качественного состава минеральных пород в горнодобывающей промышленности, исследование вопроса распознавания изображений при анализе горных пород, разработка методики распознавания изображений для оценки качественного состава минеральных пород в горнодобывающей промышленности, а также апробация результатов экспериментального применения разработанной технологии, анализ образцов, обработанных по предложенным алгоритмам.

Ключевые слова: распознавание изображений, машинное зрение, программная реализация интеллектуальных систем.

Введение

На текущем этапе развития микроскопии как метода минералогического анализа преобладает неавтоматизированный метод исследования, требующий непосредственного участия лаборанта во всех операциях, определенных стадиями процесса [3]. Современные исследовательские комплексы автоматизированной микроскопии включают в себя программные и аппаратные средства для управления сканированием образцов, предобработки изображения, выделения объектов, представляющих интерес и их последующей классификации. На текущем этапе развития системы подобного типа предполагают ряд существенных ограничений, такие как неизменность цвето-яркостных характеристик микроснимков, недостаточная функциональность, в частности, проявляющаяся в отсутствие функции взаимодействия с системой автоматизации предприятия, что препятствует интеграции систем автоматизированной микроскопии в общую систему управления технологическим процессом предприятия. Недостатки систем автоматизированной микроскопии как инструментария для решения задач в данной предметной области минералогии могут быть устранены за счет разработки методов и алгоритмов обработки микроснимков образцов минеральных пород, в конечном счете, с учетом требований интеграции в систему управления технологическим процессом предприятия.

Методы микроскопического анализа горных пород

Существует множество методов обработки растровых изображений, которые описаны в работах В.А. Сойфера, Р. Вудса, У. Прэтта и других авторов. Сущность этих методов заключается в общих алгоритмах, результат работы которых не зависит от специфики обрабатываемых изображений. Однако решение задач, обусловленных предметной областью микроскопии в минералогии, должно учитывать особенности изображений и цели исследований. С этой точки зрения необходимо выявить возможные пути автоматизации общих и частных задач микроскопии как анализа горнорудного сырья. Отдельное изучение требуется рассмотрению непосредственно автоматизации минералогического анализа, разбитого по этапам.

Микроскопический анализ минеральных пород предполагает следующие этапы: подготовка образца, изучение его при помощи микроскопа, фиксация результатов анализа. Объектом исследования микроскопии в горнорудной промышленности является серия подготовленных для

оптико-микроскопического анализа образцов руды. В большинстве случаев подготовка образцов в общем виде представляется следующей:

- разрезание образца;
- шлифовка;
- полировка.

После того, как образец подготовлен, он анализируется при помощи микроскопа. Увиденная лаборантом микроскопическая картина, отражающая особенности строения объектов (цвет, структура, площадь и так далее), определяет результаты минералогического анализа.

Теоретически возможность определения минералов руд по объектам на микроскопическом изображении обоснована автором Исаенко М.П. [4]. Методы микроскопического исследования включают две группы методов – планиметрические и стереометрические [3]. Планиметрические методы предполагают, что объемное содержание компонента в минеральной породе принимается равным процентному содержанию на микроснимке. Одним из стереометрических методов является линейный метод Делесса-Розиваля в трех модификациях. [3, 5] Для получения высокой достоверности оценки качественного состава пла-ниметрическим методом минеральных пород требуется проанализировать более одного образца породы. Это связано с тем, что при оптико-микроскопическом анализе исследуется только поверхность образца, при этом процентное содержание фаз минералов под поверхностью физически не может быть учтено. Стереометрический метод Делесса-Розиваля заключается в том, что виртуально шлиф пересекается некоторым количеством плоскостей, спроектированных на поверхность шлифа в виде линий (индикатрис), взаимное расположение которых может быть параллельным, пилообразным или хаотическим. Затем измеряется длина индикатрисы, приходящейся на каждый минерал, соотнесенная на общую длину индикатрис. При параллельном расположении индикатрис расстояние между ними принимается равным самому большому поперечному сечению объектов изображения. Требованием метода является достаточная суммарная длина индикатрис, которая вычисляется по следующей формуле (1):

$$L = \frac{D}{\frac{p}{100}} \quad (1)$$

где D – наибольший диаметр объекта,

p – требуемая погрешность, выражаемая в процентах.

В случае если суммарная длина индикатрис недостаточна, тогда предполагается обработка еще нескольких снимков шлифов, суммарная длина индикатрис нескольких снимков должна быть достаточной.

Качество минеральной породы определяется как процентное содержание химических соединений, из которых экономически целесообразно извлекать представляющие технологический интерес компоненты. Список минералов, представляющих технологическую ценность, зависит от типа руды и технологии горнорудного предприятия и определяется технологами предприятия.

В дальнейшем полученная информация может использоваться для ведения технологического процесса, для которого сырьем является добываемая руда. Например, при обогащении некоторые

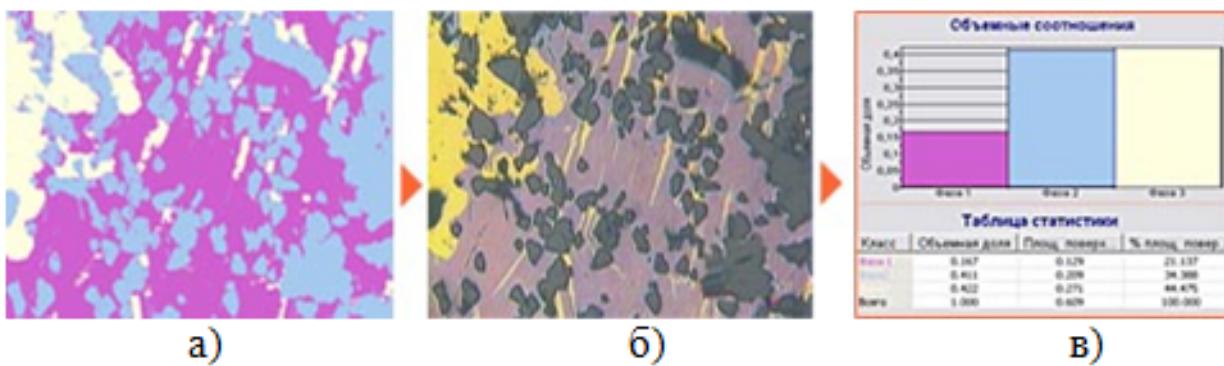


Рисунок 1 Пример методики, определяющей соотношение фаз минералов, а) исходное изображение 3-фазного материала, б) Выделенные и цвет окодированные фазы, в) диаграмма площадей различных фаз (методика программных продуктов «ВидеоТесТ»)

предприятия смешивают руду нескольких месторождений для получения входного сырья определенного качества, а это предполагает, что будет оценено качество смешиаемого минерального сырья с каждого месторождения. Основными методами являются количественные.

Задача количественных методов состоит в том, чтобы выявить процентное соотношение объектов, принадлежащих разным классам. На рисунке 1, представлен пример количественной методики определения соотношения площадей (рисунок 1в) различных фаз исследуемого образца (см. рисунок 1а).

Количественные параметры для микроизображений с большим количеством объектов небольшой площади невозможно рассчитать на «глаз» с высокой точностью. Специальные вспомогательные устройства помогают снизить ошибку, но не могут ее полностью устраниТЬ. Среди таких устройств известна планиметрическая сетка.

Конечной целью исследования, с точки зрения прикладных задач, является создание системы анализа, позволяющей определять качество минеральных пород, понимаемое как процентное содержание определенных минералов, путем определения фаз каждого минерала на микроснимках на основе образцов, организованные в серии.

Методика микроскопического анализа предполагает наличие этапов, содержащего многократные элементарные «неинтеллектуальные» операции. Эти операции в подавляющем большинстве однотипны, их выполнение человеком приводит к большим расходам времени и значительно снижает концентрацию внимания, соответственно, ухудшая точность результата. Кроме того, для проведения анализа требуется большой объем экспертных знаний.

Основные задачи автоматизации микроскопии горно-металлургического производства

Нижеприведённый перечень задач основан на анализе этапов микроскопии как метода исследования качества минеральных пород. Задачи указаны в порядке возрастания сложности их автоматизации:

Автоматизированное ведение документооборота:

- учет выполненных анализов;

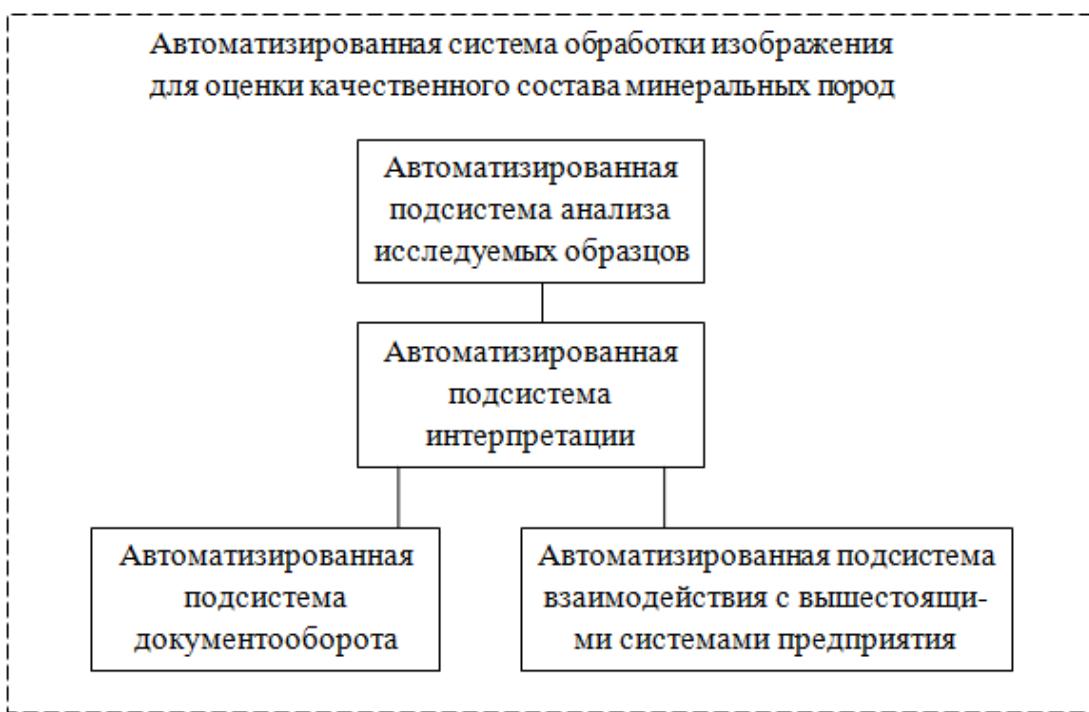


Рисунок 2 Структура автоматизированной системы обработки изображения для оценки качественного состава минеральных пород в горнодобывающей промышленности

- вывод статистических сводок по результатам проведённых анализов за определенный период;
- формирование отчётов о проделанной работе;
- ведение архива микроснимков.

Автоматизация взаимодействия с вышестоящими системами автоматизации предприятия - автоматизированная передача результатов анализа вышестоящим системам путем реализации протоколов обмена данными. Автоматизация анализа исследуемых образцов: - ввод изображения, полученного при микроскопическом исследовании образца, посредством специализированного устройства ввода; - поиск и выделение на микроизображении представляющих технологический интерес объектов; - классификация найденных объектов и сведение их в галереи классов, что позволяет подсчитывать количество объектов в каждом из них; Обзор перечисленных задач позволяет сделать вывод, что они в значительной степени концентрированы на этапе анализа исследуемых образцов. В тоже время вышеназванный этап можно выделить как ключевой.

Результаты

Таким образом, комплексная автоматизация оптико - микроскопического анализа минеральных пород с учётом вышеперечисленных задач, основана на разработке автоматизированных подсистем, реализующих функции автоматизации перечисленных задач. Структура автоматизированной системы обработки изображения для оценки качественного состава минеральных пород в горнодобывающей промышленности представлена на рисунке 2.

На сегодняшний день задача автоматизированного документооборота в существующих системах решена полностью. Дальнейшая исследовательская работа должна быть ориентирована на

разработку методов и алгоритмов, с помощью которых возможна автоматизация решения задач этапа анализа образцов минеральных пород. Для того чтобы определить класс алгоритмов и методы требуется сформировать перечень функций «универсальной» системы, позволяющей автоматизировать основные задачи микроскопии. Также в системе должен быть реализован модуль передачи данных вышестоящим системам.

Выводы

Выполнен обзор задач горно-металлургической микроскопии. Выделены особенности методик микроскопического анализа, факторы, влияющие на качество наблюдаемой микроскопической картины и адекватность результатов исследования. Описаны недостатки систем автоматизированной микроскопии как инструментария для решения задач в данной предметной области. Сформированы основные задачи и направления дальнейшей исследовательской работы микроскопии горно-металлургического производства, возможные пути их автоматизации.

Список литературы

- [1] Бакланова О.Е. Пакет программ для обработки изображений быстрым преобразованием свертки на многопроцессорном вычислительном комплексе. - В сб. Комплексы программ математической физики, Красноярск, 1989. - С.51-60.
- [2] Бакланова О.Е., Рыбина А.В. Разработка информационной системы для визуальной оценки запасов полезных ископаемых. - Республика Казахстан в рамках международного партнерства: современные тенденции интеграции, перспективы развития и результаты: Материалы 3-й Межвузовской студенческой научно-практической конференции, 26 февраля 2010 г. – Усть-Каменогорск: ВКРУ, 2010. – С.119-121.
- [3] Войтеховский Ю.Л. Модальный анализ горных пород по Делессу-Розивалю - Глаголеву: исторический аспект // «Тиетта». – 2009 - №3(9). - С. 8-12
- [4] Исаенко М.П. Определитель текстур и структур руд. – М.: «Недра», 1975. – 316 с.
- [5] Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – Москва: «Металлургия», 1976. - 269 с.
- [6] Узденбаев Ж.Ж. Автоматизированная обработка микроснимков для определения качества минеральных пород в горнорудной промышленности //Молодой ученый. – 2010. – т.1, №12(23). – С. 39-43.
- [7] Baklanova O.E. Development of algorithms for image recognition needed to assess the quality of the mineral species in the mining industry //Abstracts of International Conference «Mathematical and Informational Technologies, MIT 2013», (X Conference «Computational and Informational Technologies for Science, Engineering and Education»), VrnjackaBanja and Budva, September 5-September 14, 2013.

УДК 681.3.068

МЕТОДЫ СИНТЕЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В СИСТЕМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Т.Г. Балова, В.О. Мокеров

Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева

Abstract. The paper proposes the models and the methods of architecting the services of distributed service-oriented architecture of the information system, which works in real-time.

Keywords: information system, service-oriented architecture, real-time system, dataflow graph.

Аннотация. Нақтылы уақыт жүйесінде қызмет ететін ақпараттық жүйелердің ажыратылған қызметтік-бағдарлы сәuletі бар қызметтерін қалыптастыру әдістері және үлгілері ұсынылады.

Кілттік сөздер: ақпараттық жүйелер, қызметтік-бағдарлы сәulet, нақтылы уақыт жүйесі, деректер ағындар графы.

Аннотация. Предлагаются методы и модели формирования сервисов распределённой сервисно-ориентированной архитектуры информационных систем, функционирующих в системе реального времени.

Ключевые слова: информационная система, сервисно-ориентированная архитектура, система реального времени, граф потока данных.

В крупных информационных системах реализация бизнес-процессов непосредственно связана с использованием единой распределённой базы данных, в которой хранятся данные, обеспечивающие управление производственным процессом, кадрами, материальными и денежными потоками, электронным документооборотом и другими процессами. Система обеспечивает актуальность, целостность, безопасность и защиту данных, используемых в различных подсистемах, и предоставляет возможность обмена данными между этими подсистемами в системе реального времени. Функции бизнес-процессов обрабатывают входные данные и формируют выходные либо циклически по директивно утверждённым срокам, либо асинхронно по мере готовности. Сроки формирования выходных данных соответствуют планам и календарным графикам бизнес-процессов.

На этапе проектирования информационной системы в соответствии с технологией сервисно-ориентированной архитектуры формирование сервисов должно осуществляться с учётом факто-ра времени и синхронизации работы входящих в их состав функций. Распределённая сервисно-ориентированная архитектура предоставляет возможность распараллеливания процессов, связанных с сервисами системы.

Формально решение задачи формирования сервисов, работающих в системе реального времени, и синтеза сервисно-ориентированной информационной системы может быть представлено следующим образом.

Пусть $BP = \{BP_i\}, i \in I$ – множество бизнес-процессов информационной системы, элементу BP_i которого соответствует множество функций F_i . Время реализации бизнес-процесса задаётся величиной τ_i . Для множества функций $\{F_i\}, i \in I$ всех бизнес-процессов определено множество

входных данных $X^0 = \{x_1, x_2, \dots, x_L\}$ и множество выходных данных $Y^0 = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$. Функции осуществляют обработку данных из X^0 и формируют данные Y^0 , причём время реализации функций не должно превышать некоторой заданной величины θ . Допустим, что задано k циклов выдачи выходных данных Y^0 по временному плану $\theta_1^* \leq \theta_2^* \leq \dots \leq \theta_{j-1}^* \leq \theta_j^* \leq \theta_{j+1}^* \leq \dots \leq \theta_k^*$. Время поступления входных данных X^0 не синхронизировано с циклами θ_j^* и задано величинами $\delta_l, \forall x_l \in X^0$. Последовательность обработки входных данных функциями $F = \{F_i\}, i \in I$ задаётся графом потока данных $R = (Z, V)$ на множестве вершин Z и дуг V . Множество вершин $Z = X \cup Y = [\bigcup_{F_i \in F} X(F_i)] \cup [\bigcup_{F_i \in F} Y(F_i)]$, где $X(F_i)$ и $Y(F_i)$ – множества входных и выходных данных функции F_i , включающие как данные из множеств X^0 и Y^0 , так и данные, сформированные самой функцией F_i , то есть $X^0 \subseteq X$ и $Y^0 \subseteq Y$. Дуга графа $(z_i, z_j) \in V$, если $z_i \in X(F)$, а $z_j \in Y(F)$ для всех $F_i \in F$.

Задача формирования сервисов архитектурного проекта и синтеза информационной системы сводится к разбиению информационного графа R , а в соответствии с ним и F , на подмножества функций сервиса, обеспечивающие обработку актуальных входных данных X^0 при заданных ограничениях на сроки формирования выходных данных Y^0 . Множество выходных данных бизнес-процессов можно разбить на $k + 2$ подмножества $Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_k, Y_{k+1}, Y_{k+2}$.

Для этих подмножеств выполняются следующие условия:

1. $Y_j \cap Y_{j+1} = \emptyset$ для $j = 1, 2, \dots, k + 1$;
2. $\bigcup_{j=1,2,\dots,k+2} Y_j = Y^0$, где в подмножества Y_j входят входные данные с обновлением в цикле θ_j^* ;
3. в подмножество Y_{k+1} входят выходные данные, которые могут формироваться ациклически, но при условии минимизации времени формирования выходных данных;
4. в подмножество Y_{k+2} входят выходные данные, которые аналогично данным из Y_{k+1} должны формироваться ациклически, но на время их формирования не накладываются никаких ограничений;
5. времена формирования Y_{k+1} и Y_{k+2} обозначаются как θ_{k+1}^* и θ_{k+2}^* соответственно.

Подмножествам Y_j определённым образом поставим в соответствие подмножества Z_j вершин графа R , очевидно, что $Z_j \supseteq Y_j$. Подмножества вершин Z_j и подмножества дуг V_j , связывающих вершины в Z_j , образуют разбиение графа R на подграфы $R_j = (Z_j, V_j), Z_j \cup Z_s \neq \emptyset, \bigcup_{j \in J} Z_j, j, s \in J = \{1, 2, \dots, k+2\}$. Для каждого информационного подграфа R_j двойственный функциональный подграф имеет множество вершин F_j , в которые входят функции, обрабатывающие данные из Z_j за цикл θ_j^* . Суммарное время реализации функций F_j должно удовлетворять ограничению:

$$\sum_{f_i \in F_j} \tau_i = \theta_j \leq \theta_j^*, j = 1, 2, \dots, k. \quad (1)$$

Для времени реализации функций всех циклов должно выполняться следующее условие:

$$\sum_{j=1}^k m_j \theta_j = T \leq \theta_k^*, \quad (2)$$

где m_j – количество реализаций цикла θ_j^* за период θ_k^* ; T – время периода планирования, в качестве которого может выступать, например, финансовый год. Локальные функции $f_i \in F_j$

будут удовлетворять временным ограничениям на Y^0 тогда и только тогда, когда выполняются условия реализуемости F_j :

$$T < \theta_k^*, F_{k+1} \neq \emptyset, T \leq \theta_k^*, F_{k+1} = \emptyset. \quad (3)$$

То есть за цикл k со временем θ_k^* должны быть реализованы функции всех циклов $j = 1, 2, \dots, k$. Время реализации функций подмножества F_{k+1} зависит от T и определяется по формуле:

$$\theta_{k+1} = \theta_k^* \left[\frac{\sum_{f_i \in F_{k+1}} \tau_i}{\theta_k^* - T} \right] - d(\theta_k^* - T) \quad (4)$$

где $\sum_{f_i \in F_{k+1}} \tau_i$ - действие округления до наибольшего целого, $d = 0$, если остаток от деления $\Delta = \sum_{f_i \in F_{k+1}} \tau_i = 0$, и $d = [\Delta] - \Delta$ в противном случае.

Для функций подмножеств F_{k+2} время реализации определяется аналогично F_{k+1} по выражению (4).

В качестве оценки эффективности сервисно-ориентированной архитектуры информационной системы можно принять потери от задержки обработки входных данных, поступающих не синхронно с циклами θ_j^* . В общем случае задержка при обработке входного данного x_l равна $\max_j \theta_j$, где максимум берётся по всем $F_j, j = 1, 2, \dots, k + 1$, у которых множество входных данных $X(F_j)$ содержит x_l .

Задача формирования множества сервисов и их машинной реализации в виде процессов вычислительной среды при минимизации потерь от задержки обработки входных данных формулируется следующим образом:

$$\sum_{l \in L^*} \max_{j \in J_l} \theta_j \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $L^* = \{l \in L | \delta_l \leq \max_{J_l} \theta_j\}$; множество $J_l = \{j \in J | x_l \in X(F_j)\}$; L – множество индексов элементов X^0 . Ограничениями выступают (2), (3), а также:

$$F_j \bigcap_{j \neq s} F_s = \emptyset; \bigcup_{j \text{ in } J} F_j = F; j, s \in J = \{1, 2, \dots, k + 2\}. \quad (6)$$

Решение задачи (5) при ограничениях (2), (3) и (6) можно разбить на три этапа:

- декомпозиция множества локальных функций бизнес-процессов $\{f\}$ по подмножествам F_j в соответствии с разбиением информационного графа R , обеспечивающего обработку входных данных, но без учёта ограничения (3);

- распределение F_j по процессам вычислительной среды с учётом возможности их параллельной реализации с целью минимизации времени реализации и выполнения условия реализуемости (3);

- расчёт значения целевой функции задачи (5) и повторение предыдущего этапа, если эффективность реализации сформированных сервисов не удовлетворительна и есть возможность улучшения критерия (5) за счёт выполнения требований по формированию выходных данных Y^0 .

Этап I. Осуществляется разбиение графа $R = (Z, V)$ на заданное число подграфов $R_j = (Z_j, V_j), j \in J = \{1, 2, \dots, k + 2\}$ с учётом того, что локальные функции бизнес-процессов $\{f\}$ обязательно пересекаются по множествам входных и выходных данных, а также используют $\delta_l \in X^0, Z_j \bigcap_{j \neq s} Z_s \neq \emptyset; j, s \in J$. Возможное решение задачи разбиения графа при данном условии включает, во-первых, формирование расширенного множества подграфов $R_j, j \in J'$ - множе-

ство индексов всех построенных на графе R подграфов, и, во-вторых, решение задачи покрытия вершин графа Z подмножествами $Z_j, j = \{1, 2, \dots, k+2\}$ при минимизации мощности их пересечения.

Определим булеву переменную b_{tj} через соотношения: $b_{tj} = 1$, если $z_t \in Z_j$, и $b_{tj} = 0$ в противном случае, $t = 1, 2, \dots, |Z|, j \in J$.

С учётом введённых обозначений задача разбиения графа R сводится к задаче покрытия следующего вида:

$$\text{минимизировать } \left| \bigcup_{j \in J} (Z_j \cap \bigcap_{s \in J, j \neq s} Z_s) \right| \quad (7)$$

при ограничениях

$$\sum_{j \in J} b_{tj} \geq 1, t = 1, 2, \dots, |Z|; b_{tj} \in \{0, 1\}. \quad (8)$$

Задача (7)-(8) относится к классу задач целочисленного программирования с ярко выраженным комбинаторным характером. Для решения таких задач используются известные методы, например, метод отсечений и его реализованные алгоритмы Гомори или Балаша.

Этап II. Определение времени τ_{ip} реализации функций $f_i \in F_j, i = 1, 2, \dots, N_j$ при использовании распределённой сервисно-ориентированной архитектуры и возможности распараллеливания процессов, связанных с сервисами системы.

Для всех подграфов $R_j = (Z_j, V_j)$ решается задача распараллеливания и рассчитывается T_j^Π - время выполнения в соответствии с выражением:

$$T_j^\Pi = \sum_{j=1}^{k+1} m_j \sum_{f_i \in F_j^\Pi} \tau_{ip}, \quad (9)$$

где $F_j^\Pi \subset F_j$ – подмножества локальных функций, выполняющихся в контексте процесса p , который имеет наибольшее время завершения обработки в цикле $theta_j^*$; τ_{ip} – оценка времени выполнения функции $f_i \in F_j^\Pi$ в контексте процесса p .

В дальнейшем под параллельной реализацией функций сервиса понимается одновременная реализация более чем одного процесса, связанного с сервисом.

Пусть в распределённой вычислительной среде допустимо параллельное выполнение P процессов. Функции F_j могут быть независимо реализованы в контексте процессов системы и известны τ_{jp} оценки времени выполнения функции F_j в контексте процесса p .

Присутствие множества исходных данных X^0 , доступных всем локальным функциям сервисов, предполагает наличие общей памяти в архитектуре информационной системы. Введём булеву переменную $b_{jp} = 1$, если функция F_j связана с контекстом процесса p и $b_{jp} = 0$ в противном случае, $p = 1, 2, \dots, P, j \in J$.

Время выполнения процесса p рассчитывается по формуле $T_p = \sum_{i=1}^{N_j} b_{ip} \tau_{ip}$, при ограничении:

$$\sum_{p=1}^P b_{ip} = 1, b_{ip} \in \{0, 1\}. \quad (10)$$

В качестве критерия оптимального распределения функций по процессам может быть принят минимум реализации всех локальных функций сервиса, то есть:

$$\text{минимизировать } \max_p T_p. \quad (11)$$

Критерий (11) непосредственно связан с ограничениями (2)-(3) и способствует решению задачи (5).

В результате решения задачи (10)-(11) при выполнении ограничений на максимальное время реализации параллельно выполняющихся процессов для всех j (кроме $j = k + 1$ и $j = k + 2$) будут сформированы множества распределённых сервисов F_j^Π , $j = 1, 2, \dots, k$.

Этап III. Этап связан с анализом эффективности реализации полученного множества распределённых сервисов.

Ожидаемое время выполнения всей совокупности функций $F_i \in F$ при их реализации в системе реального времени можно вычислить как:

$$T^\Pi = \sum_{j=1}^k m_j \theta_j^\Pi. \quad (12)$$

Заменив в (3) T на T^Π и θ_j на θ_j^Π , проверяем условия реализуемость для сформированного множества $\{F_j^\Pi\}$.

Если условие (3) не выполняется, то либо делается попытка улучшить T^Π , повторив этап II для $j \in J$, чтобы ликвидировать перегрузку распределённой вычислительной среды; либо делается вывод о невозможности реализации данного множества функций бизнес-процессов в контексте заданного множества процессов.

Если условие (3) выполняется, то осуществляется расчёт θ_{k+1}^Π и θ_{k+2}^Π по формуле:

$$\theta_{k+1}^\Pi = \theta_k^* \left[\frac{\max_{p \in P} \bar{t}_{k+1}^p}{(\theta_k^* - T^\Pi)} \right] - d(\theta_k^* - T^\Pi), \quad (13)$$

где действия $\max_{p \in P} \bar{t}_{k+1}^p$ и d аналогичны действиям в (4), а величина \bar{t}_{k+1}^p определяет время завершения сервиса F_{k+1}^p в контексте процесса p .

Наличие укладки времени $\theta_1^\Pi, \theta_2^\Pi, \dots, \theta_j^\Pi, \dots, \theta_{k+1}^\Pi$ позволяет определить задержки при обработке входных данных из X^0 , циклы поступления которых не синхронны с θ_j^Π , по выражению:

$$= \sum_{l \in L^*} \max_{j \in J_l} \theta_j^\Pi \quad (14)$$

где L и J_l определены в выражении (5).

Если известна зависимость потерь реализации функций от величины задержки, то величина может выступать в качестве оценки эффективности реализации множества сервисов в контексте P процессов распределённой сервис-ориентированной архитектуры информационной системы, функционирующей в системе реального времени.

UDC 532.546

PARALLEL COMPUTING OF TWO PHASE FLOW IN POROUS MEDIUM ON GPU

T.T. Bekibayev, B.K. Assilbekov, U.K. Zhabasbayev

Kazakh-British Technical University, Almaty, 050000, Kazakhstan

Abstract. This paper reviews the parallel computing of hydrodynamics calculations on GPU using CUDA. Most time-consuming parts of code, especially solution of Poisson's equation by SOR method were adapted for GPU implementation. The factors affecting speed-up on GPU were described. Results of calculation accelerations on video card GeForce GTX 560 Ti are presented. The maximum achieved acceleration is about 90 times.

Keywords: parallel computing, calculations on GPU, CUDA.

Аннотация. Мақалада графикалық картада CUDA-ны пайдаланып гидродинамикалық есептегердің параллельдеуі қарастырылған. Кодтың ұзақ есептелінетін бөліктері, атап айтқанда Пуассон теңдеуін жоғарғы релаксация әдісімен шешу GPU-да жүзеге асырылуға бейімделген. Жылдамдатуға әсер ететін факторлар сипатталған. GTX560 Ti видеокартасын қолдану арқылы 90 есе үдету алынған.

Кілттік сөздер: параллельдік есептеулер, GPU, CUDA.

Аннотация. В данной статье рассматривается распараллизование гидродинамических расчетов на графической карте с использованием CUDA. Были адаптированы под реализацию на GPU наиболее время-затратные участки кода, в частности решение уравнения Пуассона методом верхней релаксации. Описаны факторы, влияющие на ускорение. Максимальное ускорение, которое удалось достигнуть с использованием видеокарты GTX560 Ti, составляет около в 90 раз.

Ключевые слова: параллельные вычисления, GPU, CUDA.

Introduction

The role of graphics processors (GPU) in the various resource-intensive tasks solution increases day by day [1-4]. This is because the GPU performance is being rapidly raised by increasing the number of compute cores in comparison with the performance of CPU. One of the applications areas where high performance of the GPU can be used to speed up the calculations is fluids flow in porous media (reservoir simulation). In the known commercial simulators like Eclipse, VIP, tNavigator and so on, the parallel calculation is based on using the computing cores clusters of high performance, or personal computers with OpenMP and MPI. OpenMP assumes the simultaneous functioning of several processors while using a common memory. In the case of MPI-programming, several processors work by using the own memory for each processor, and communicate between each other by sending and receiving messages. In both cases, the used memory is the operating memory of the CPU. The principal difference suggested in the present paper is the use of the core memory of the GPU for parallel calculations. The first experience of using GPU for calculations in various research areas [1-4] proved

its efficiency. This experience is still very modest in the theory of flow through geological reservoirs. In this paper a wide range of possibilities of GPU use for mathematical calculations was tested on the example of 3D model of two-phase flow in an oil reservoir.

Problem formulation

Mathematical model

Let us consider the two-phase immiscible isothermal flow of two low-compressible liquids (oil and water) in a low deformable porous medium which is described by the following system of mass conservation equations [5, 6]:

$$\nabla \cdot \left[\frac{k_{ro}K}{\mu_o} (\nabla p - \gamma_o \nabla z) \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\phi(1-S_w)}{B_o} \right] + q_o, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \left[\frac{k_{rw}K}{\mu_w} (\nabla p - \gamma_w \nabla z - \nabla p_{ow}) \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\phi S_w}{B_w} \right] + q_w, \quad (2)$$

where K is the absolute permeability; k_{ro} , k_{rw} are the relative permeabilities of oil and water, ϕ porosity, S_w is the water saturation; p is the oil pressure; q_o , q_w are the rates of sink/sources; B_o , B_w are the formation volume factors; z is the vertical coordinate; μ_o , μ_w are the dynamic viscosities; t is the time; p_{ow} is the capillary pressure; γ_o , γ_w are the specific weights; indexes w and o refer to water and oil respectively.

We consider the displacement of oil by water injected through a given system of wells. Another well system produces oil. The reservoir is isolated, such that the non-flow Neumann boundary condition is set at the domain boundary. The injection rates q_w are given, while the oil and water production rates are the results of the problem solution.

System (1) and (2) can be reduced to the dissymmetric form by algebraic transformations:

$$\nabla \cdot (\lambda \nabla p) = f_p(x, t, S_w, p), \quad (3)$$

$$a \frac{\partial S_w}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla F = \nabla \cdot (D_c(S_w) \nabla S_w) + f_S(x, t, S_w, p), \quad (4)$$

where

$$\lambda_\alpha = \frac{K k_{r,a}}{\mu_\alpha}, \quad F = \frac{\lambda_o}{\lambda_o + \lambda_w}, \quad \lambda = \lambda_o + \lambda_w, \quad a \equiv \phi \left(\frac{F}{B_w} - \frac{1-F}{B_o} \right), \quad D_c(S_w) \equiv -\lambda_w F \frac{dp_{ow}}{dS_w},$$

$$f_p(x, t, S_w, p) \equiv \frac{\partial}{\partial t} \left(\phi \left(\frac{S_w}{B_w} + \frac{1-S_w}{B_o} \right) \right) + \nabla \cdot (\lambda_o \nabla p_{ow}) + \nabla \cdot ((\lambda_o \gamma_o + \lambda_w \gamma_w) \nabla z) + q_o + q_w,$$

$$f_S(x, t, S_w, p) \equiv \nabla \cdot ((\lambda_o \gamma_o (1-F) - \lambda_w \gamma_w F) \nabla z) + S_w F \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi}{B_w} \right) + (1-S_w)(1-F) \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi}{B_o} \right) + q_o(1-F) - q_w F, \quad \vec{U} \equiv \left(\frac{\lambda_o}{F} \nabla p - (\lambda_o \gamma_o + \lambda_w \gamma_w) \nabla z - \nabla p_{ow} \right).$$

For the case when both fluids are incompressible and the medium is non-deformable the porosity and volume factors $B_o = B_w = 1$ are constant, then coefficient $a = 1$ and the time derivatives in f_p and f_S are zero.

Equation (3) is interpreted as “the equation for pressure” and represents the diffusion equation if the saturation is given, or the Poisson’s equation for incompressible liquids and non-deformable porous

medium. The second equation is interpreted as the equation for saturation; it is the convection-diffusion equation if pressure is given or the equation of nonlinear convection if the capillary forces are zero.

Domain, closure relationships and initial data

The flow domain is shown in fig. 1, a. The capillary pressure was neglected, the relative permeabilities are shown in fig. 1, b. Other data is shown in table 1.

Table 1 Input data

Variable	Value	Variable	Value
Permeability tensor, mD	2900; 2900; 2900	Oil viscosity, cP	1,0
Porosity, %	33	Water viscosity, cP	0,1
Initial pressure, бар	100	Oil density, kg/m ³	870
Initial water saturation, %	20	Water density, kg/m ³	1001

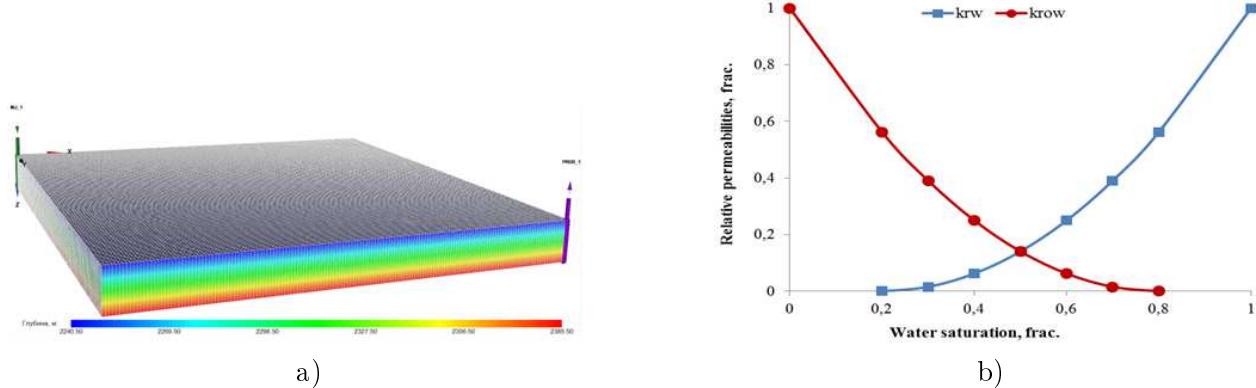


Figure 1 Flow domain (a) and relative permeabilities (b)

Numerical discretization

The system of equations (3)-(4) is sampled by time and space by the use of IMPES method and control volume approach respectively. At first, the equation (3) is solved, by SOR method with known data, and then water saturation values for each grid cell are calculated with the use of the pressure field found from the equation (4). Thereafter the value of the functions depending on the pressure and water saturation is updated, from here on move to the next new layer in time.

Program realization on GPU with CUDA

In our code, the largest time of calculation is spent on the treatment of huge 3D matrixes of pressure which correspond to the solution of the Poisson equation (3)-(4). Exactly these operations with various 3D matrixes were parallelized by using GPU.

Input data of calculation were divided into various classes of CUDA memory, in dependence of their volume, frequency and need of use. For example, large arrays of cells data are stored in global

memory, PVT and saturation function tables occupies a small volume and stored in constant memory for quick access [7].

Decomposition onto threads and blocks

Let us introduce the following notations: NX , NY , NZ values – amount of computational cells among X , Y and Z axis severally, (i, j, k) – index of computational cells, where $i = 1, 2, \dots, NX$, $j = 1, 2, \dots, NY$, $k = 1, 2, \dots, NZ$.

First of all, all the data onto independent cell blocks was decomposed. Each cell block is treated by the block of threads, which are executed in parallel and absolutely independently of each other. Each thread block is treated by its “own” stream processor of GPU. Then, each thread block is divided into many threads which need minimal system of data. The threads within a block are executed in parallel by using the shared memory in GPU and are not totally independent of each other, but can use the shared data and can be synchronized between them.

In our case, we associate a thread to a vertical column of numerical cells in k -direction that correspond to a fixed (i, j) -coordinate. Each thread calculate cells with indexes from $(i, j, 1)$ to (i, j, NZ) . Thus, we obtain a 2D grid of blocks, as shown in fig. 2.

2D grid of thread blocks showed up more effectively as against 3D grid of thread blocks. It was found that the optimum size of thread blocks for acceleration – 32×16 , however the 16×16 tiling is better scaled under the various sizes of model grid and only slightly inferiors in performance [7]. Therefore for further calculations the thread block 16×16 was used.

The kernel is associated to the set of operations that treat the discrete Poisson’s equation consecutively for all cells of a thread starting from the bottom. These operations are described in the next section.

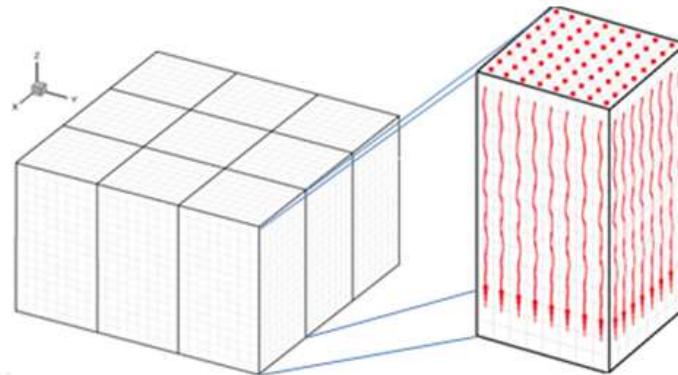


Figure 2 Splitting of data into thread blocks

Parallelization of solution of Poisson’s equation

In order to find value of pressure in each cells of the hydrodynamic model, it is necessary to solve Poisson’s equation for the each time step. The system of equations (3)-(4) was discretized using IMPES method. SOR method was chosen for calculation of pressure values, because it is well known fact that its convergence is considerably faster in comparison with Jacoby or native Gauss-Seidel methods. The

following computing scheme was used for the sequential algorithm for equation (3):

$$p_{i,j,k}^{l+1} = \frac{\omega}{2(h_x^{-2} + h_y^{-2} + h_z^{-2})} \left[\begin{pmatrix} h_x^{-2} (\lambda_{i-\frac{1}{2},j,k} p_{i-1,j,k}^{l+1} + \lambda_{i+\frac{1}{2},j,k} p_{i+1,j,k}^l) + \\ h_y^{-2} (\lambda_{i,j-\frac{1}{2},k} p_{i,j-1,k}^{l+1} + \lambda_{i,j+\frac{1}{2},k} p_{i,j+1,k}^l) + \\ h_z^{-2} (\lambda_{i,j,k-\frac{1}{2}} p_{i,j,k-1}^{l+1} + \lambda_{i,j,k+\frac{1}{2}} p_{i,j,k+1}^l) + \end{pmatrix} - f_p \right] + (1 - \omega) p_{i,j,k}^l, \quad (5)$$

where constant ω is the relaxation factor, h_x , h_y , h_z are the lengths of cells along X , Y , Z axes, respectively, f_p – right-hand-side of equation (3).

The iterative formula (5) is not suitable for parallel computing of values $p_{i,j,k}^{l+1}$, therefore it was adopted for GPU implementation. The adaptation was carried in following way: in K-direction formula (5) has no changes (because each thread calculates values $p_{i,j,k}^{l+1}$ in K-direction sequentially), in i and j directions well-known red-black scheme was applied. Compute cells were colored as follows: red cells neighbor with black ones in i and j directions and with red ones in k -direction. That is why formula (5) will have 2 steps at each l -iteration:

- 1) Computing of pressure value in red cells using following formula:

$$p_{R,i,j,k}^{l+1} = \frac{\omega}{2(h_x^{-2} + h_y^{-2} + h_z^{-2})} \left[\begin{pmatrix} h_x^{-2} (C_1 p_{B,i-1,j,k}^l + C_2 p_{B,i+1,j,k}^l) + \\ h_y^{-2} (C_3 p_{B,i,j-1,k}^l + C_4 p_{B,i,j+1,k}^l) + \\ h_z^{-2} (C_5 p_{R,i,j,k-1}^{l+1} + C_6 p_{R,i,j,k+1}^l) + \end{pmatrix} - f_p \right] + (1 - \omega) p_{R,i,j,k}^l$$

- 2) Computing of pressure value in black cells using following formula:

$$p_{B,i,j,k}^{l+1} = \frac{\omega}{2(h_x^{-2} + h_y^{-2} + h_z^{-2})} \left[\begin{pmatrix} h_x^{-2} (C_1 p_{R,i-1,j,k}^{l+1} + C_2 p_{R,i+1,j,k}^{l+1}) + \\ h_y^{-2} (C_3 p_{R,i,j-1,k}^{l+1} + C_4 p_{R,i,j+1,k}^{l+1}) + \\ h_z^{-2} (C_5 p_{B,i,j,k-1}^{l+1} + C_6 p_{B,i,j,k+1}^l) + \end{pmatrix} - f_p \right] + (1 - \omega) p_{B,i,j,k}^l$$

For brevity sake coefficients $\lambda_{i-\frac{1}{2},j,k}$, $\lambda_{i+\frac{1}{2},j,k}$, $\lambda_{i,j-\frac{1}{2},k}$, $\lambda_{i,j+\frac{1}{2},k}$, $\lambda_{i,j,k-\frac{1}{2}}$, $\lambda_{i,j,k+\frac{1}{2}}$ are denoted as C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 , C_6 respectively.

Figure 3 shows execution steps of red-black SOR realization at $(l+1)$ -iteration on cell's block, which calculated by one thread block. Non-computed red/black cells are displayed as pink/grey colored cells, i.e. cells of previous iteration ($p_{R,i,j,k}^l$ / $p_{B,i,j,k}^l$), computed red/black cells on current $(l+1)$ -iteration ($p_{R,i,j,k}^{l+1}$ / $p_{B,i,j,k}^{l+1}$) are displayed as red/black colored cells. Each thread of thread block calculates cell's column independently from each other. Because black (or red) cells can be computed only after that red (or black) cells has been computed, red-black iteration is implemented as two separate GPU kernels: at first «red» kernel is executed (fig. 3, b), only after it is finished (fig. 3, c) “black” kernel will run (fig. 3, d).

Due to this compute scheme of red-black iteration by L thread block with size $(tx + 1, ty + 1)$ must perform cell's block with size $(2 * (tx + 1), ty + 1)$ on each iteration by k (fig. 4, a). To fit condition of access coalescing to GPU global memory for all type of compute capabilities 16 4-byte words of warp requests must lie in the one 64-byte segment. For it, each arrays of data for red-black iteration was divided onto red/black arrays (fig. 4 b, c), which contains data of red/black cells. Figure 4 shows the

data regrouping onto two separate red/black arrays. For example, if $tx + 1$ equals 16, then group of thread with index by $x = 0 \dots 15$, which computes red cells, sequentially requests to data in «red» float array (fig. 4 b), located in 64-byte segment.

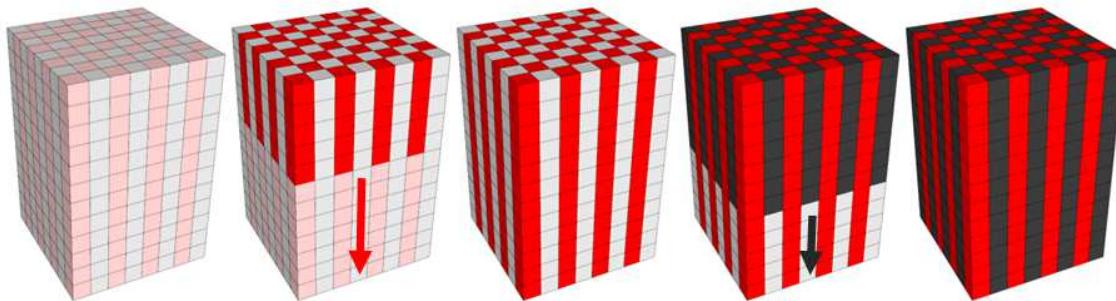


Figure 3 Execution steps of red-black SOR realization at $(l + 1)$ -iteration

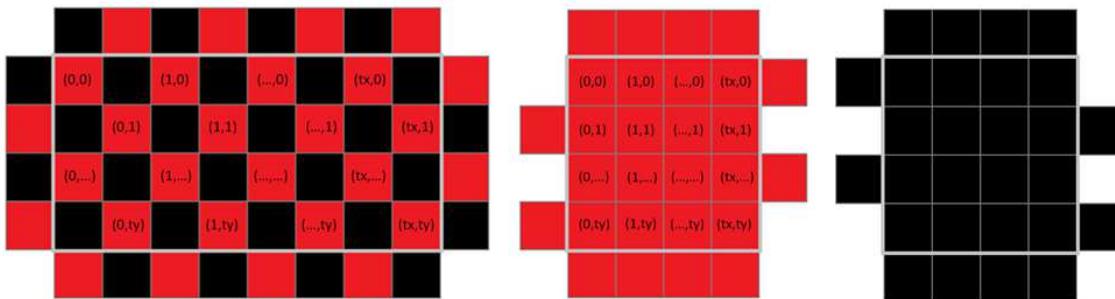


Figure 4 Data regrouping onto red and black arrays

Numerical experiments. Results and discussions

In this section series of calculations with various parameters were carried out. Acceleration results by using GPU were found. Some factors affecting on speed-up (size of tread block, usage of streaming multiprocessors, number of wells on model, etc.) were described and discussed in [7].

Parallel computations were compared with sequential computations. Central processor IntelCorei7 2600 was used for the sequential calculation. GPU and CPU characteristics used for calculations are shown in table 2.

Table 2 Parameters of GPU and CPU used for computations

Device type/name	GPU/ GeForce GTX 560 Ti	CPU/ Intel Core i7 2600
Streaming multiprocessors	8	-
Cores	384	8
Core clock rate, MHz	822	3400
Processor clock rate, MHz	1645	-
Memory clock rate,MHz	4008	667
Memory bandwidth, Gb/s	128	21

Influence of cell proportions on computational acceleration

Let NX , NY , NZ be the total size of the domain along the corresponding axes. Let $NX = NY$. The objective of our numerical experiments was to detect the influence of the ratio NX/NZ on the acceleration of computations for a fixed total number of cells: $NX \times NY \times NZ = 921600$, NZ varied between 1 and 3600. Figure below (fig. 5) shows the dependence of the calculation acceleration on the proportion between NX and NZ . A thread block was 16×16 .

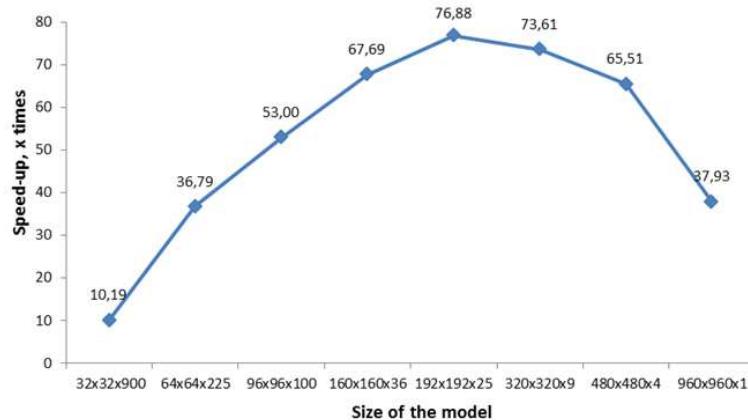


Figure 5 Dependence of the acceleration on the proportion $NX \times NY \times NZ = 921600$

Influence of the cell's total number on the acceleration

The influence of the total number of cells on the computational acceleration was tested. The total number of computational cells varied in the range of 96000-8177664. Figure 6 shows the dependence of the acceleration on the total number of computational cells. It is stabilized for the domains having more than two million cells. The stabilized maximum acceleration is about 90 times. Thus, parallel computing on GPU of recovery simulation is more efficient for sufficiently large domains.

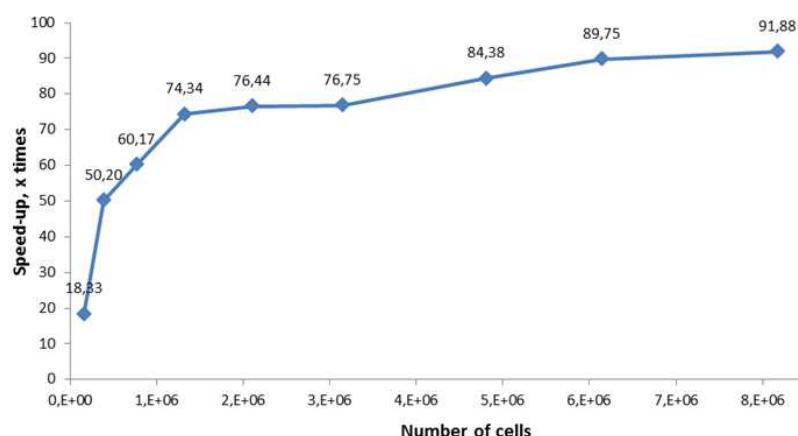


Figure 6 Dependence of the acceleration on total number of cells

Conclusions

In this work transposition and optimization of the program of hydrodynamic modeling from the consecutive version to parallel version on GPU using CUDA technology is carried out. For parallel calculations video card GeForce GTX 560 Ti was used, consecutive calculations were spent on the central processor Intel Core i7-2600.

Computation of cells values (values of pressure, water/oil saturations, coefficients for Poisson's equation) in a three-dimensional grid of model and solution of Poisson's equation occupies the main part of time in the consecutive program, especially at the big sized model. This part of code was rewritten for execution on GPU using CUDA. All model cells have been split into two-dimensional regions of thread blocks, each thread processes cells with indexes from $(i, j, 1)$ to (i, j, NZ) . Iterative formula of SOR method was adapted for this scheme of threads organization.

A series of calculations on the test model (with different ratios NX , NY , NZ relative to each other and the total number of cells) were executed. Analyzing the results of the calculations, identifying the main factors affecting the performance, it is possible to predict the acceleration value of the model in its size (Figures 5, 6). Calculations show that the highest speed-up on GPU is reached on models with large grid size (2 million cells and more). The maximum achieved speed-up with GeForce GTX 560 Ti is 90 times.

Thus, it is found out, that algorithm of the Poisson's equation for incompressible liquids and non-deformable porous medium using red-black SOR method is perfectly suitable for CUDA architecture. Considerable acceleration was achieved on big model. Recovery simulation on big model using GPU can be competitive alternative of use of high-performance clusters based of CPU.

List of references

- [1] Zverev Ye., Novozhilov Yu., Mikhalyuk D. Acceleration of engineering calculations with GPU NVIDIA Tesla in ANSYS Mechanical. Engineering Technical Journal. 2011. – pp. 33-38.
- [2] Tahmasebi P., Sahimi M., Mariethoz G., Hezarkhani A. Accelerating Geostatistical simulations using graphics processing units (GPU). Elsevier: Computers & Geosciences. Vol. 46, 2012. – pp. 51-59.
- [3] Alfred J. Kalyanapu, Siddharth Shankar, Eric R. Pardyjak, David R. Judi, Steven J. Burian. Assessment of GPU computational enhancement to a 2D flood model. Elsevier: Environmental Modelling & Software. Vol. 26, 2011. – pp. 1009-1016.
- [4] Liu H., Yu S., Chen Zh., Hsieh B., Shao L. Parallel Preconditioners for Reservoir Simulation on GPU. SPE 152811-PP. 2012.
- [5] Aziz K., Settari A. Petroleum Reservoir Simulation. New York: Elsevier, 1979. – 406 p.
- [6] Chen Zh., Huan G., Ma Yu. Computational Methods for Multiphase Flows in Porous Media. Philadelphia: SIAM, 2006. – 549 p.
- [7] Beisembetov I.K., Bekibaev T.T., Assilbekov B.K., Zhapbasbaev U.K., Kenzhaliiev B.K. High-performance computing in oil recovery simulation based on CUDA. Proceedings of 10th World Congress on Computational Mechanics. Sao-Paulo, Brazil. 2012.

УДК 371.03

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОСБРОСОВ ПЛОТИНЫ МЕДЕО В ТЕХНОЛОГИИ FLOWVISION

Б.А. Бельгибаев, А.М. Букесова, А.Е. Коржаспаев

Международная академия бизнеса, г. Алматы

Abstract. The aim of the report is to develop a computer system for monitoring of vortex shaft outlets structures technical condition with advanced three-dimensional animation and real design of the flow pattern, for which data will be obtained with using 3D laser scanner and deterministic simulation based on Rossby equation.

Keywords: vortex shaft outlets, three-dimensional scan, deterministic computing simulation.

Аннотация. Деректері 3D лазерлік сканерінің және Россби тендеуі негізінде анықталған компьютерлік моделдеудің көмегімен алынатын су ағысының нақты және есептік көрінісінің үшөлшемдік анимациясының кеңейтілген мүмкіндіктері бар су қашыртқы ғимаратының техникалық жағдайының мониторингінің компьютерлік жүйесін дайындау болып табылады.

Кілттік сөздер: қашыртқы ғимаратының техника, 3D лазерлік сканерлық, компьютерлік моделдеу.

Аннотация. В докладе представлены этапы разработки компьютерной системы мониторинга технического состояния водосбросных сооружений с расширенными возможностями трехмерной визуализации реальной и расчетной картин течений, данные для которых получены с помощью 3D лазерного сканера и детерминированного компьютерного моделирования на основе уравнения Россби.

Ключевые слова: шахтные водосбросы, 3D лазерное сканирование, детерминированное компьютерное моделирование.

Анализ литературных и патентных исследований показывает, что на современном этапе развития гидротехнического строительства аналогов водосбросным сооружениям противоселевой плотины Медео нет.

Созданные казахстанской научной школой гидравликов справочные схемы расчета основных параметров водосбросов плотины Медео позволили значительно их усовершенствовать и создали предпосылки для создания на современном этапе развития КТ инновационных программных продуктов инженерного расчета гидравлики подобных гидротехнических сооружений.

Известно, что потоки воды в шахтном водосбросе могут быть описаны уравнениями Навье-Стокса. Данные системы уравнений являются нелинейными, двухфазность потока (вода+камни), сложность постановки граничного условия для давления на железобетонных стенах шахты, связанные с возникновением эффекта "кавитации" приводят к математическим проблемам по моделированию расчетных параметров потока на внутренней поверхности шахты, что требует поиска современных подходов к решению этих задач.

Известные экспериментальные данные позволяют создать полуэмпирические математические модели, основанные на поиске автомодельности течения в водосбросе, учете шероховатости поверхности шахты, турбулентности потока, гидравлических эффектов, связанных с уникальной конструкцией завихрителей водосбросов плотины Медео [1].

Дальнейшее развитие теоретических основ технической гидродинамики водосбросов и создание инновационных программных продуктов расчета и контроля параметров в вихревых шахтных водосбросах является актуальной задачей современной технической гидродинамики [2].

Селезащитная плотина Медео первоначально имела 90-метровую высоту гребня, емкость селехранилища составляла 6 миллионов кубических метров, однако, как показала практика, селевой поток 1973 года имел объем около 5 миллионов кубических метров, причем из-за завала водоприемников водосброса в критические моменты катастрофы хранилище начало переполняться и до гребня плотины оставалось всего пять метров. Аварийные водосбросы первой очереди плотины находятся в левой части плотины, общая длина туннеля составляет 540 метров с площадью сечения в 16 квадратных метров, подводящие туннели квадратного сечения, вертикальная шахта водосброса цилиндрической формы с диаметром в 3,5 метра.

Тангенциальные завихрители имеют уникальную конструкцию, разработанную и экспериментально исследованную С.М. Слисским и Т.Х. Ахметовым [3]. Пропускная способность водосбросных сооружений составляет 30 метров кубических в секунду.

После катастрофического селя 1973 года во второй очереди плотины построены дублирующие водосбросные сооружения, общая длина туннелей которых составляет 460 метров, площадь сечения подводящих туннелей, диаметр шахты и завихритель выбраны аналогично первой очереди. Отличительной особенностью второй очереди являются водоприемники, которые расположены от дна селехранилища до гребня плотины.

В настоящее время селезащитная плотина Медео надежный щит города Алматы от грозной силы природы, емкость селехранилища составляет 12,6 млн. кубических метров при сейсмоустойчивости до 10 баллов по шкале Рихтера (рисунок 1).



Рисунок 1 Селезащитная плотина Медео и водосбросные сооружения

Надо отметить, что все экспериментальные данные, полученные в лаборатории ГТС КазНИИ Энергетики коллективом под руководством профессора Т.Х. Ахметова, были собраны на пластигласовых моделях разного масштаба, работающих на "чистой" воде.

Левый водосброс работает в эксплуатационном режиме с перепадом в 20 метров для пропуска расхода реки Малая алматинка, это сооружение за почти 40-летний период эксплуатации работает надежно и в расчетном режиме. После ввода в эксплуатацию водосбросов плотины Медео гидравлических исследований сооружения и режимов течения в шахте не проводилось.

Учитывая актуальность и практическую ценность мониторинга водосбросов плотины Медео на базе научно-исследовательского института математики и механики КазНУ им. аль-Фараби создан научный коллектив для выполнения финансируемого научного проекта "Компьютерное моделирование водосбросных сооружений" (162/ГФЗ грант МОН РК на 2013-2015 гг.), в котором на основе данных 3D лазерного сканирования требуется создать адекватные математические и компьютерные модели режимов работы водосбросов плотины Медео с использованием современных возможностей компьютеров для анимации и визуализации процессов в водосбросных сооружениях плотины Медео.

Ранее проведенные работы [4] позволили на основе уравнений Россби рассчитывать и строить графическими средствами Turbo Pascal, 3D Max, MatLab 6.5 трехмерные картины течения в конструктивных элементах водосброса плотины Медео и Бес-Тюбинского гидроузла.

Например, для перепада Бес-Тюбинского гидроузла был разработан графический интерфейс, позволивший в интерактивном режиме рассчитать и построить трехмерную картину течения в спиральном завихрителе, эти данные получили свое практическое внедрение и реализованы в виде элемента ГТС Бес-Тюбинского гидроузла (рисунок 2).

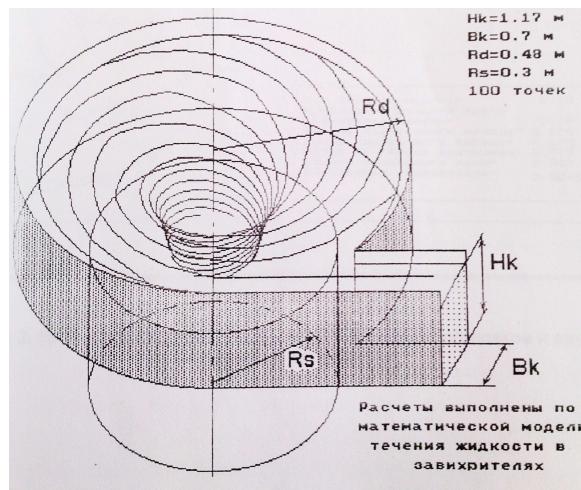


Рисунок 2 Картина течения в спиральном завихрителе

Перспективным направлением развития трехмерного графической визуализации в РК является применение программный комплекс FlowVision (Россия), область применения которого распространяется также на моделирование и визуализации методами компьютерной графики трехмерных течений жидкости в гидротехнических сооружениях с определением коэффициентов сопротивления с учетом влияния шероховатости. Модельной задачей является расчет и визуализация по технологии FlowVision [5] гидравлических процессов торобразного завихрителя (рисунок 3).

Широкому использованию этого программного комплекса в РК препятствует отсутствие лицензии для коллективного пользования программным комплексом FlowVision без ограничения количества точек на суперкомпьютерах РК на правах аренды. На первом этапе освоения программы FlowVision осуществляется по специальной программе фирмы Тасис для студентов и аспирантов «Учись студент». Участие в этой программе позволило получить МАБ четыре бесплатных 2-хмсячных лицензий на программный комплекс FlowVision без ограничения числа точек для выполнения проектов в рамках НИРС студентов и магистрантов МАБ, однако, по правилам фирмы Тасис, были переданы им права на публикацию материалов в открытой пе-

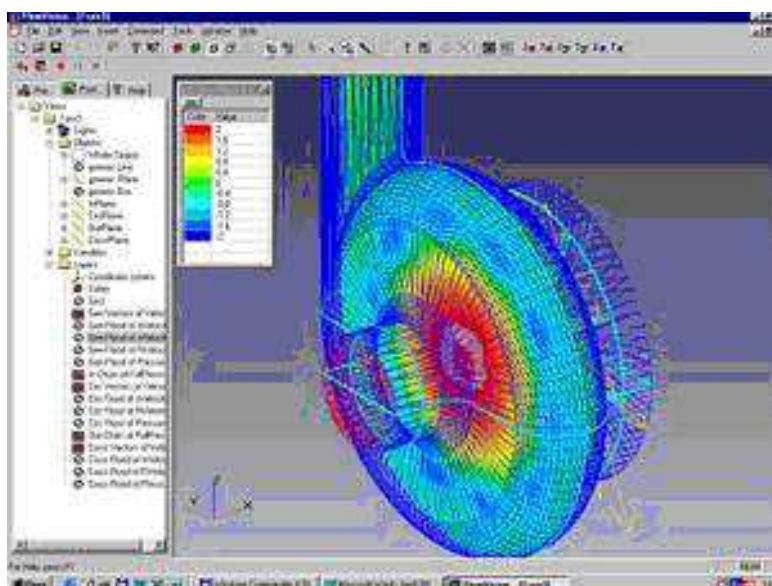


Рисунок 3 Картинка течения в торобразном завихритеle

чати. В настоящее время в рамках выполнения этих проектов осуществляются вычислительные эксперименты с моделированием шероховатости, турбулентности поток.

Итак, создана математическая и программная база в области визуализации и анимации гидравлических процессов в ГТС, которая позволяет в сочетании с 3D лазерным сканированием проводить на современном уровне комплексные работы по мониторингу ГТС РК методами неразрушающего контроля качества бетонного покрытия плотин, гидравлических процессов в плотинах, шлюзах, водосбросах, прогнозировать и оценивать сроки безаварийной эксплуатации ГТС, тем самым повысив гидротехническую безопасность ГТС в случае ЧС.

Список литературы

- [1] Ахметов Т.Х., Квасов А.И., Садуов Р.Г. Исследование шахтного водосброса селезащитной плотины Медео. В кн.: Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. — Алма-Ата: Наука, 1976. вып.13. — С. 185-192.
- [2] Бельгибаев Б.А., Рахимжанова Г.Б. Компьютерная анимация вихревого течения вязкой жидкости в пространстве // В кн. Труды международной конференции Молодые ученые – 10-летию независимости Казахстана, Ч.3. – Алматы, КазНТУ, 2001 г. – С. 599-602.
- [3] Слисский С.М., Кузнецов Е.Б., Ахметов Т.Х. Многоярусные вихревые шахтные водосбросы // Гидротехническое строительство, 1980, №9. – С. 10-12.
- [4] Бельгибаев Б.А., Даирбаев А.М.-М., Рамазанов Е.Т., Коржаспаев А.Е. Расчетная схема компьютерного моделирования водосбросных сооружений плотины Медео // Труды III-ей международной научно-практической конференции «ИКТ: образование, наука, инновации». – Алматы, МУИТ, 2013. – С. 503-506.
- [5] <http://www.tasis.com.ru/software/flowvision>

УДК 519.6

ВАРИАЦИОННОЕ УСВОЕНИЕ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

С.А. Бельгинова, С.Ж. Рахметуллина, А.В. Денисова

Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева

Abstract. An important task of the system of ecological monitoring is the modelling of the spread of pollutants in the atmosphere to assess and forecast pollution in conditions of uncertainty, when there is no data on location and parameters of emission sources. One of the effective methods for solving this problem is to use the monitoring system data assimilation algorithms, the basic idea of which is to: the functional minimization of summary measures of uncertainty models of processes and models observations; decomposition of the regions and the functional; the introduction of local conjugate problems in the Windows of the data assimilation.

Keywords: data assimilation, ecological monitoring.

Аннотация. Экологиялық мониторинг жүйесінің маңызды мәселелерінің бірі белгісіздік жағдайларда, яғни таралу орны мен эмиссия көздерінің параметрлері жөнінде деректер болмағанда, ластану дәрежесін бағалау мен болжау мақсатында заттардың атмосферада таралуын ұлғілеу. Осы мәселені шешудің тиімді тәсілдерінің бірі мониторинг жүйесінде деректерді игеру алгоритмін қолдану. Оның негізгі идеясы: үдерістер үлгісінің белгісіздері мен бақылау үлгілерінің арасындағы қосынды өлшемдерінің функционалдарын минималдау; аумақтар мен функционалдардың декомпозициясы; деректерді игеру терезелерінде локалды қарама-қарсы есептерді кірістіру.

Кілттік сөздер: деректерді игеру, экологиялық мониторинг.

Аннотация. Важной задачей системы экологического мониторинга является моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере с целью оценки и прогноза загрязнения в условиях неопределенности, когда нет данных о локализации и параметрах источников эмиссий. Одним из эффективных методов решения такой задачи является использование в системе мониторинга алгоритмов усвоения данных, основная идея которого заключается в: минимизации функционала суммарной меры неопределенностей модели процессов и моделей наблюдений; декомпозиции областей и функционалов; введении локальных сопряженных задач в окнах усвоения данных.

Ключевые слова: усвоение данных, экологический мониторинг.

Введение. В последнее время, во всем мире ученые сходятся во мнении, что основной наиболее существенной проблемой экологии нашей планеты является загрязнение, и в последствий, увеличение концентраций загрязняющих веществ в атмосфере. Поэтому изучение пространственно-временного распределения вредных для окружающей среды примесей и газов в атмосфере Земли является важной актуальной задачей в современном мире. Одной из основных задач прогнозирования состояния атмосферного воздуха является моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере с целью оценки и прогноза загрязнения в условиях неопределенности, когда нет данных о локализации и параметрах источников эмиссий. Одним из подходов решения этой задачи является использование в системе мониторинга алгоритмов усвоения данных.

Усвоением данных (в иностранной литературе «data assimilation») называется задача совместного учета данных наблюдений и прогностической модели для наиболее точного описания искомых полей. Под системой усвоения данных следует понимать комплекс программ, реализующий алгоритм решения задачи усвоения данных. Основной задачей рассматриваемого метода усвоения данных является наилучшим образом совместить результаты численного и аналитического моделирования и полученные независимо от модели данные наблюдений.

В середине прошлого века существовали два основных подхода к задаче усвоения данных: вариационный (4DVAR - 4-Dimensional Variational) и динамико-стохастический (фильтры Калмана).

Алгоритм фильтра Калмана был предложен Р.Е.Калманом в 1960 г. для дискретного случая и Р.Е.Калманом и Р.С.Бьюси в 1961 г. для непрерывного по времени случая. Алгоритм усвоения, основанный на фильтре Калмана естественным образом обобщает системы усвоения, представляющие собой цикл прогноз-анализ. По-существу к этому циклу добавляется процедура расчета ковариаций ошибок оцениваемых полей. В то же время, этот алгоритм требует больших машинных ресурсов и в своей полной постановке не может быть реализован в настоящее время даже на супер ЭВМ, так как для современных глобальных моделей порядок ковариационных матриц составляет сотни тысяч. Кроме того, при определенных условиях фильтр Калмана может расходиться со временем. Тем не менее, применимость теории фильтра Калмана к задаче усвоения данных исследуется многими авторами: Kalnay E., Park S.K., Pu Z., Gao J., Lorenc A.C., Bell R.S., Macpherson B., Rabier F., Mitchel H.L., Houtekamer P.L., Evensen G., Leeuwen P.J., Heemink A.W., Segers A.J., Jazwinski A.H., Menard R., Cohn S.E., Chang L., Lyster P.M., Dee D.P., Leeuwen P.J., Янковской Л.К., Климовой Е.Г., Килановой Н.В., Шаарийбуу Г., Покровского М., Розановой Ю.Б.

Одним из эффективных подходов решения задач мониторинга является подход, основанный на вариационном усвоении данных, позволяющий использовать в комплексе данные мониторинга в режиме реального времени и математические модели. Этот подход впервые был предложен в 1976 году в работе В.В.Пененко и Н.Н.Образцова [1]. Дальнейшее развитие вариационного метода усвоения данных освещено в его трудах [2-6]. Из зарубежных авторов в исследовании теоретических проблем задачи усвоения данных можно отметить А.Лоренка (A.Lorenc, Англия). Полученные им формулы при определенных предположениях могут быть сведены к вариационной постановке задач усвоения, а также динамико-стохастической [8,9]. Немалый вклад в исследование задач усвоения данных в вариационной постановке внесли Courtier P., Talagrand O., Derber J.C., Smedstad O.M., O'Brien J.J. Zou X., Navon I.M., LeDimet F.X., Rabier F., Ghil M, Le Dimet F.X., Lewis J.

Современное состояние исследований в данном направлении обобщено в монографиях, обзорах и оригинальных работах таких авторов как: Марчук Г.И., Уваров Н.В., Агошков В.И., Ипатова В.М., Русаков А.С., Мадияров М.Н., Богословский Н.Н., Шутяев В.П., Пармузин Е.И. Применение метода множителей Лагранжа к задачам усвоения данных рассматриваются в работах Bates J.R., Ritchie H., Temperton C., Simmons A.J., Hortal M, Davies T, Dent D., Hamrud M., Нечаева Д.А., Яремчука М.И. [10,11]. Исследования выполняются с помощью комплекса моделей типа конвекции - диффузии - реакции, описывающих процессы переноса и трансформации газо-аэрозольных примесей.

Вариационная формулировка задачи усвоения данных может быть сформулирована так: вводится некоторая функция, которая измеряет расхождение между данными наблюдения и резуль-

татами моделирования, находятся неизвестные входные параметры модели, для которых данная функция принимает наименьшее значение, что в конечном счете позволяет производить уточнения и самих данных наблюдений.

Система экологического мониторинга. В системе экологического мониторинга атмосферного воздуха г.Усть-Каменогорска функционирует автоматизированная система наблюдений за качеством воздуха, метеопараметрами, радиационным фоном, уровнем воды.

Сотрудниками ВКГТУ им. Д. Серикбаева разработана информационная система «ЭКО прогноз» архитектура системы состоит из

- серверной части, физически размещенной на центральном сервере и состоящей из веб-сервера и сервиса математической обработки;

- клиентской части, организованной по технологии «тонкий клиент».

Система создана с использованием технологии ASP.NET в версии WebForms.

Система отображает результаты мониторинга из пунктов наблюдения, визуализирует информацию в виде динамических графиков. Сейчас идет работа по внедрению в систему программного модуля локализации источников загрязнения по данным измерений. Планируется расширить функциональные возможности информационной системы в направлении реализации алгоритма усвоения данные в режиме реального времени.

Алгоритм усвоения данных. Исследования выполняются с применением комплекса моделей гидротермодинамики атмосферы различных пространственно-временных масштабов и моделей типа конвекции - диффузии - реакции, описывающих процессы переноса и трансформации газо-аэрозольных примесей. За основу взята оригинальная методика вариационного усвоения данных с использованием методов теории чувствительности и сопряженных задач предложенная ученым лаборатории Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН В.В.Пененко [3].

Для описания процессов переноса и турбулентной диффузии загрязняющих веществ рассмотрим следующую модель, которая непосредственно связана с процессами распространения тепла, влаги, излучения, переноса и трансформации оптически и химически активных примесей в атмосфере:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + A\phi = f + r \quad (1)$$

Здесь A - «пространственный» нелинейный матричный дифференциальный оператор, основными элементами которого являются операторы типа конвекции-диффузии, действующие на различные компоненты функций состояния; $f = \{f_i(x, t), i = \overline{1, n}\}$ - функции источников тепла, влаги и примесей; r – функции, описывающие неопределенности моделей и ошибки моделей, которые играют существенную роль в достижении минимума целевого функционала, а с точки зрения вычислительной математики они дают эффекты регуляризации для решения обратных задач в рамках системы; $\phi = \{\phi_i(x, t), i = \overline{1, n} \in Q(D_t)\}$ – вектор-функция состояния, ее компоненты ϕ_i описывают потенциальную температуру, отношения смеси для характеристик влажности в атмосфере (водяной пар, облачная вода, дождевая вода, снег и ледовые кристаллы), концентрации загрязняющих примесей в газовом и аэрозольном состоянии; $D_t = D \times [0, \bar{t}]$, D – область изменения пространственных координат $t \in [0, \bar{t}]$; – интервал изменения времени; Y - вектор параметров модели, принадлежащих области допустимых значений.

Кроме моделей процессов рассматриваем еще один важный элемент исследований окружающей среды – это данные наблюдений ψ .

Как мы знаем, задачи оценки состояния окружающей среды и природоохранного прогнозирования имеют многоцелевой характер. Поэтому, могут быть различные постановки задач и критерии. Для того, чтобы адаптировать их к таким условиям, в систему, кроме математических моделей, вводится набор обобщенных характеристик. Такие характеристики будем задавать в виде функционалов.

Данные наблюдений для усвоения можно включить в систему моделирования с помощью функционала «качества»:

$$\Phi(\phi) = \int_{D_t} (\psi - \phi)^T W (\psi - \phi) \chi(\bar{x}, t) dDdt \quad (2)$$

Здесь $W = \{diag(\sigma_i^2)^{-1}, i = \overline{1, i+1}\}$ - матрица масштабирования данных наблюдений; $\chi(\bar{x}, t) \geq 0$; $\chi(\bar{x}, t)dDdt$ – неотрицательные весовые функции и соответствующие им меры Радона или Дирака.

В соответствии с вариационным принципом, с учетом данных наблюдений требуется минимизировать функционал $\Phi(\phi)$.

Т.к. на всем пространстве минимизировать этот функционал сложно, дадим ограничение и рассмотрим только те решения, которые удовлетворяют (1).

Определим расширенный функционал, с привлечением сопряженной функции, которая определена спецификой вариационного принципа и принадлежащая пространству, сопряженному по отношению к пространству функций состояния:

$$\tilde{\Phi}(\phi) = \Phi(\phi) + \int_{D_t} \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} + A\phi - f - r \right) \phi^* dDdt \quad (3)$$

Запишем функционал в виде:

$$\int \frac{1}{2} \sum (\psi - \phi)_i^2 d_i^2 dDdt + \int \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} + A\phi - f - r \right) \phi^* dDdt + \frac{1}{2} \int r^2 d_2 dDdt \quad (4)$$

где d_1 и d_2 - весовые коэффициенты.

Ищем вариации функционала $\tilde{\Phi}(\phi, \phi^*, Y, r)$ по схеме $\frac{\partial \tilde{\Phi}}{\partial s} = 0, (s = \phi, \phi^*, r)$

1. Дифференцируем по ϕ^*

$$\frac{\partial \tilde{\Phi}}{\partial \phi^*} = 0;$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + A\phi - f - r = 0;$$

$$\frac{\phi^{j+1} - \phi^j}{\Delta t} A\phi^{j+1} - f^j - r^{j+1} = 0.$$

2. Дифференцируем по ϕ

$$-\frac{\partial \tilde{\Phi}}{\partial \phi} = 0;$$

$$-\frac{\partial \phi^*}{\partial t} + A^T \phi^* - W(\psi - \phi)\chi = 0;$$

$$-\frac{\phi^{*j+1} - \phi^{*j+2}}{\Delta t} + A^T \phi^{*j+1} + W(\psi^{j+1} - \phi^{j+1})\chi = 0.$$

Здесь полагаем, что $\phi^{*j+2} = 0$, поэтому:

$$\frac{\phi^{*j+1}}{\Delta t} + A^T \phi^{*j+1} + W(\psi^{j+1} - \phi^{j+1})\chi = 0;$$

3. Дифференцируем по r

$$\begin{aligned}\frac{\partial \tilde{\Phi}}{\partial r} &= 0; \\ -\phi^* + rd_2 &= 0; \\ r^{j+1} &= \frac{\phi^{*j+1}}{d_2}.\end{aligned}$$

В результате получили систему:

$$\begin{cases} \frac{\phi^{j+1} - \phi^j}{\Delta t} + A\phi^{j+1} - f^j - r^{j+1} = 0 \\ -\frac{\phi^{*j+1} - \phi^{*j+2}}{\Delta t} + A^T \phi^{*j+1} + W(\psi^{j+1} - \phi^{j+1})\chi = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Здесь можно предположить, что $\phi^{*j+1} = 0$

Преобразовав систему (5), запишем ее в виде:

$$\begin{cases} (E + \Delta t A)\phi^{j+1} - \frac{\Delta t^2}{d_2} \phi^{*j+1} = f^j + \phi^j \\ (E + \Delta t A^T)\phi^{*j+1} + W\chi\phi^{j+1} = W\chi\psi^{j+1} \end{cases} \quad (6)$$

где

$$A_x \phi = \begin{cases} \mu_x \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0; & x = 0 \\ u \frac{\partial \phi}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \right); & x \in (0, L_x) \\ \mu_x \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0; & x = L_x \end{cases} \quad (7)$$

Подставив (7) в систему (6) и аппроксимируя схему отдельно внутри области, на левой и правой границах получаем систему линейных уравнений, которая реализуется методом прогонки:

$$\begin{cases} \phi_i^{j+1} \left(1 + \tau \left(\frac{\mu_{1/2}^{j+1}}{\partial x_0 h} + \frac{u_{1/2}^-}{\partial x_0} \right) \right) - \phi_{i+1}^{j+1} \left(\tau \left(\frac{\mu_{1/2}^{j+1}}{\partial x_0 h} + \frac{u_{1/2}^-}{\partial x_0} \right) \right) = 0; & i = 0 \\ -\phi_{i+1}^{j+1} \left(\tau \left(\frac{\mu_{i+1/2}^{j+1}}{\partial x_i h_i} + \frac{u_{i+1/2}^-}{\partial x_i} \right) \right) + \phi_i^{j+1} \left(1 + \tau \left(\frac{u_{i+1/2}^- + u_{i-1/2}^+}{\partial x_i} - \frac{\mu_{i-1/2}^{j+1}}{h_{i-1}} - \frac{\mu_{i+1/2}^{j+1}}{h_i} \right) \right) - \phi_{i-1}^{j+1} \left(\tau \left(\frac{\mu_{i-1}^{j+1}}{\partial x_i h_{i-1}} + \frac{u_{i-1/2}^+}{\partial x_i} \right) \right) = \phi_i^{j+1}; & i = 1 \dots N-1 \\ \phi_i^{j+1} \left(1 + \tau \left(\frac{\mu_{i-1/2}^{j+1}}{\partial x_i h_{i-1}} + \frac{u_{i-1/2}^+}{\partial x_i} \right) \right) - \phi_{i-1}^{j+1} \left(\tau \left(\frac{\mu_{i-1/2}^{j+1}}{\partial x_i h_{i-1}} + \frac{u_{i-1/2}^+}{\partial x_i} \right) \right) = 0; & i = N \end{cases} \quad (8)$$

Визуализация решения данной системы для различных значений временных данных, выполненная в программе для создания двух- и трехмерных графиков Gnuplot показана на рисунке 1.



Рисунок 1 Визуализация решения системы для различных временных данных

Новизна данного исследования заключается в расширении аналитической составляющей информационной системы экологического мониторинга г. Усть-Каменогорска с использованием современных алгоритмов усвоения данных. На данный момент проводятся численные эксперименты, показывающие эффективность этого алгоритма. Численный алгоритм усвоения данных в стадии программной реализации.

Внедрение алгоритма усвоения данных для моделирования и прогнозирования загрязнения атмосферы позволит оценивать состояние атмосферного воздуха в режиме реального времени, моделировать состояние атмосферного воздуха в каждой точке г. Усть-Каменогорска, определять зоны повышенного экологического риска. Анализ этих результатов позволит своевременно подготавливать предложения для принятия управленческих решений природоохранного характера для предотвращения отрицательных последствий неблагоприятных и, особенно, чрезвычайных ситуаций.

Список литературы

- [1] Пененко В.В., Образцов Н.Н. Вариационный метод согласования полей метеорологических элементов // Метеорология и гидрология, 1976, №11
- [2] Пененко В.В. Вариационные методы усвоения данных и обратные задачи для изучения атмосферы, океана и окружающей среды // Сиб. журн. вычисл. математики / РАН. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 2009. – Т.12, № 4. – С. 421-434.
- [3] Пененко В.В. Теоретические основы совместного использования данных наблюдений и моделей для исследования процессов гидротермодинамики и переноса примесей в атмосфере // Оптика атмосферы и океана, 1999, т. 12
- [4] Пененко В.В. Вариационные принципы и оптимизация во взаимосвязанных задачах экологии и климата. Вычислительная математика, 2000
- [5] Пененко В.В. Математические модели природоохранного прогнозирования. Новосибирск, 1987
- [6] Рахметуллина С.Ж., Пененко А.В. Разработка математического обеспечения автоматизированной системы экологического мониторинга на основе решения обратной задачи локализации источника атмосферного воздуха // Тезисы IV международной молодежной научной школы-конференции "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач". Новосибирск, Академгородок, 5-15 августа 2012. С 103.

- [7] Корешков Г.Л. Центр экологической безопасности: ответственность за решение проблем / Экосфера.- 2012.- №12.- С.25-29
- [8] Lorenc A.C., Bell R.S., Macpherson B. The Meteorological office analysis correction data assimilation scheme. Optimal nonlinear objective analyses. - Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1991
- [9] Lorenc A., Rutherford I., Larsen G. The ECMEF analysis and data assimilation scheme analysis of mass and wind fields. Technical Report №6
- [10] Bates J.R. Finite-difference semi-Lagrangian techniques for integrating the shallow water equations on the sphere // Techniques for horizontal discretization in numerical weather prediction models. Proceedings of a workshop held at ECMWF, 1987.
- [11] Ritchie H., Temperton C., Simmons A.J., Hortal M, Davies T, Dent D., Hamrud M. Implementation of the semi-Lagrangian method in a high-resolution version of the ECMWF forecast model // Mon. Wea. Rev., 1995.

УДК 004.942

ЛАГРАНЖ МОДЕЛИН ҚОЛДАНЫП АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАНЫН ЛАСТАНУЫН МОДЕЛЬДЕУ

Ж.Т. Бельдеубаева, С.А. Бельгинова, А.М. Берекенова

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті

Abstract. Paper is devoted to the actual problem of development of analytical support environmental monitoring system. In this paper the mathematical model describing the process of air pollution on the basis of the Lagrangian model. The results of computer simulations.

Андатпа. Статья экологиялық мониторинг жүйесінің аналитикалық қолдамасын әзірлеудің өзекті мәселесіне арналған. Жұмыста атмосфералық ауаның ластану үдерісінің математикалық үлгісі Лагранж үлгісінің негізінде қарастырылады. Компьютерлік үлгінің нәтижесі келтірілген.

Аннотация. Статья посвящена актуальному вопросу разработки аналитической поддержки системы экологического мониторинга. В работе рассмотрена математическая модель описывающая процесс загрязнения атмосферного воздух на основе модели Лагранжа. Приведены результаты компьютерного моделирования.

Кіріспе. Газ және аэрозоль күйіндегі қоспалардың турбуленттік алмасуын, диффузиясын және тасымалдау процесстін сипаттау үшін математикалық модельдер мен әдістерді зерттеу XX

гасырдың басынан бастап белсенді түрде жүргізілп келеді. Осы уақытқа дейін табиғи және антропогендік әсерлердің салдарынан пайда болған ауа сапасының өзгірісін жобалау және болжалау мақсатында модельдеудің детерминделген және стохастикалық әдістерін қолдануда айтарлықтай тәжірибе жинақталған. Осы класстың тапсырмаларын шешуге арналған негізгі тәсілдер [1-3] әдебиеттерде және онда жарияланған публикацияларда көрсетілген. Осы тәсілдерді қолданылатын модельдеріне байланысты шартты түрде екі санатқа жіктеуге болады. Олар: 1) Эйлер типті модельдер, яғни конвективті-диффузиянды түрдегі тендеулер берілген құрылымның (структурадағы) кеңістіктік-уақыттық торында интегралданады 2) Лагранж типті модельдер, қоспалар бөлшектерінің қозғалысын конвективті және диффузиянды құраушылар, өлі орта жағдайына тәуелсіз, уақыт пен кеңістікте эволюциялық түрде құрылатын, кейбір торсыз құрылымдарда әр түрлі әдістермен есептеледі.

Бұл тәсілдердің алтернативті емес екенін байқауға болады. Олар алгоритмдерінің жүйелік үйімдастырылуымен ерекшеленеді және бірін-бірі толықтырады. Олардың әр қайсының артықшылықтары және кемшіліктері, қолдану аумағы бар. Сондықтан екі тәсілдің өте жақсы тұстарын біріктіріп гибридті жүйелерге қызығушылықтар басым. Осы типті жүйелер СО РАН есентеуіш математика және математикалық геофизика институтында жасалады [4]. Ол қоспаларды трансформациялау және тасымалдаудың детерминделген және стохастикалық модельдері үшін сезгіштік теориясының тура және жанама тапсырмалары қолданатын вариациялық қағидаларға негізделеді [5-7].

Осы жұмыс экологиялық мониторингтің автоматтандырылған жүйесінің мәліметтерін пайдаланып атмосфералық ауаның ластануын модельдеу үшін вариациялық алгоритмдерді қолданумен байланысты зерттеулердің жалғасы болып табылады [8-9]. Өскемен қаласының атмосфералық ауасының экологиялық мониторингінің жүйесінде ауа сапасын, метеопараметрлерді, радиациялық фонды, судың деңгейін бақылайтын автоматтандырылғын жүйе жұмыс жасайды [10].

Осы мақалада ластанған заттардың таралу процесін модельдеуге арналған Лагранж моделін пайдаланып, экологиялық мониторинг жүйесінің аналитикалық құраушыларын кеңейту мәселесі қарастырылады.

Есептің қойылуы. Екі өлшемді $x \in 0, \dots, X$ және $y \in 0, \dots, Y$ облысын қарастырайық

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \nu \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \mu_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} \mu_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

мұнда:

$\varphi(x, y, t)$ - қоспалардың концентрациясы; t -уақыт; -декарттық координаталар; $\bar{u} = (u, \nu)$ -жылдамдық векторы; μ_x, μ_y - сәйкесінше бағытындағы турбуленттік диффузия коэффициенттері.

Бастапқы және шеттік шарттар:

$$\varphi(x, 0) = \varphi^0(x), t = 0; \frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0, x = 0, X; \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0, y = 0, Y; \quad (2)$$

Жеке бөлшектердің траекториясын және олардың ансамблеясын модельдеудің сандық схемасын құру үшін бастапқы тапсырма үш физикалық процесске бөлінеді: негізден қоспаның әмисисының есептеу, ауа массасының тракториясы бойынша тасымалдау, турбуленттік алмасу.

Адвективті тасымалдау. Бірінші кезеңде негіз орналасқан нуктеде жататын локальді зоналардағы қоспалардың концентрациялары есептеледі. Берілген жылдамдық өрісімен тасымалдау

кезеңінде аяу массасының қозғалыс траекториясының детерминделген элементтері есептеледі.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + u \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \nu \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0, t_j \leq t \leq t_{j+1} \quad (3)$$

Осы теңдеуден екі өлшемді теңделер жүйесіне өтуге болады:

$$\frac{dx}{dt} = u(x, t), \frac{dy}{dt} = \nu(x, t) \quad (4)$$

t_j моментінде берілген $x^j = (x, y)^j$ координата мәндері t_{j+1} уақыттың әрбір қадамында бөлшектердің орынын есептеуге мүмкіндік береді.

Сандық схема құру үшін нақтылығы екінші ретті аппроксимация қолданылды.

$$\begin{aligned} \Delta x^{j+1} &= u(x^j, t^j) \Delta t + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \Delta x^{j+1} + \frac{\partial u}{\partial y} \Delta y^{j+1} \right) \Delta t, \\ \Delta y^{j+1} &= \nu(x^j, t^j) \Delta t + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \nu}{\partial x} \Delta x^{j+1} + \frac{\partial \nu}{\partial y} \Delta y^{j+1} \right) \Delta t \end{aligned} \quad (5)$$

Аппроксимация және тұрақтылық шартынан бұл схеманың параметрлері просцесс қарқындылығынан адаптивті таңдалады:

$$\left(\frac{2\mu_s}{\Delta s_E^2} + \frac{|u_s|}{\Delta s_E} \right) \Delta \tau_s \leq 1, \Delta t \leq \min_{(s)} \{\Delta \tau_s\}, s = x, y, \quad (6)$$

Мұнда s_E - параллелепипед бөлшегінің кездесетін траекториясы шегінде D_t^h торының параметрі, $\Delta \tau_s - \Delta D_c$ аумақшасының шегінде s айнымалысы бойынша Курант, Фридрих, Леви [11] аппроксимациясының шарты орындалатын уақыт қадамы; $u_s \equiv \{u, v\}$ - жылдамдық векторының компонентінің мәні; $\mu_s - \Delta D_c$ төбесінде метеоөріс мәнінің көмегімен есептелген (x^j, t^j) траектория нүктесіндегі турбуленттілік коэффициентінің мәні. (5)-дегі туындыларда осы параллелепипедтің шегінде таратылатын қатынаспен есептеледі. (5) теңдеулер жүйесін $\Delta x = (\Delta x, \Delta)$ қатысты шешу нәтижесінде, (3), (4) өрнектерді ыдыратудың бірінші кезеңінде $x^{j+1/2}$ бөлшегінің координатасын аламыз.

$$x^{j+1/2} = x^j + \Delta x^{j+1} \quad (7)$$

Турбуленттік алмасу. Бөлшектердің турбулентті қозғалысы уақыттың әр қадамында стохастикалық процесс ретінде қарастырылады. Бұл процесстің есептеу алгоритмін құру үшін локальді аппроксимация әдісі колданылады [12, 13]. Мұндай тәсіл біртексіз анизотроптық турбуленттілікпен күрделі процессті координаталық бағыттардағы локальді қалыпты үлестірілген кездейсоқ процесстердің суперпозициясының көмегімен сипаттауға мүмкіндік береді.

Ыдыратудың осы кезеңінде келесі теңдеуді аламыз:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \mu_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} \mu_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0, t_j \leq t \leq t_{j+1} \quad (8)$$

Локальді аппроксимация әдісі шегіндегі айнымалы коэффициенттері бар (8) теңдеудегі турбуленттік алмасу моделінің операторы «мұздатылған коэффициенттер» [12, 13] қағидасы бойынша кесекті - тұрақты коэффициенттері бар операторлар жиынымен алмастырылады. Мұнда локальділік деп, кеңістікте турбуленттілік коэффициенттің мәні түсіндіріледі. Мұндай болжамдарда -ке қатысты әрбір локальді (8) теңдеу тұрақты коэффициенттер иеленеді және айнымалыларды ажыратуға рұқсат етеді. $t_j \leq t \leq t_{j+1} = t_j + \Delta t$ уақыттың әрбір қадамында үш өлшемді есеп ана-

литикалық шешілетін үш бір өлшемді есеп жиынымен аппроксимация-ланады. Осы жағдайда сонымен қоса тығыздық функциялары арасындағы байланысты қалыпты үлестіру ықтималдығы және диффузиялық теңдеулер жиыны үшін Грин функциялары координатасын ескере отырып, бөлшектердің таралуының турбуленттік процессін (7) теңдеудегі траектория нұктесінің координатасының шегіндегі Гаусс кездесең оқицессінің суперпозициясы сияқты модельдейміз. Әрбір нұкте үшін өз μ_s коэффициенті қолданылады. Δt қадамының өлшемі (6) теңдеу схемасы бойынша (7) теңдеуден $x^{j+1/2}$ нұктесінің шегінде локальді шарттарға адаптивті таңдалады. Ансамблейларды есептеуде алгоритм параметрлерінің адаптациясы әр бөлшек үшін жекелей жүзеге асырылады. Модельдеудің осындағы үйымдастырылуының нәтижесінде бөлшектердің координатасының өсімшесі турбуленттік орналастыру кезеңінде келесідей есептелінеді.

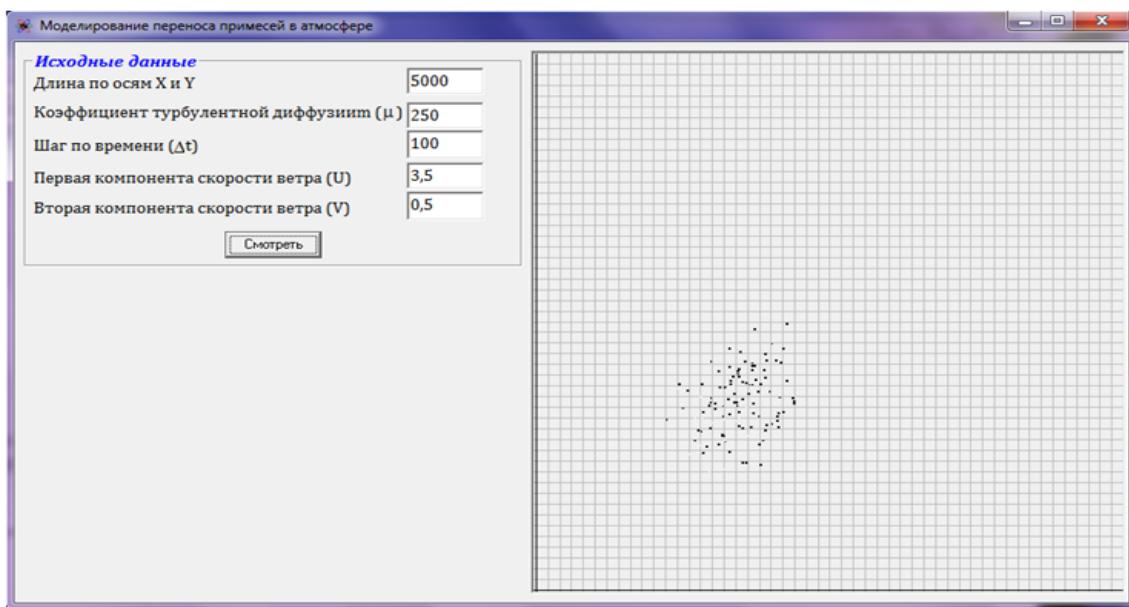
$$\zeta_x = q\sqrt{2\mu_x \Delta t}, \zeta_y = q\sqrt{2\mu_y \Delta t} \quad (9)$$

Мұнда - нөлдік орта мәнмен және бірлік дисперсиялық қалыпты үлестірілген кездесең шама. Бөлшектердің соңғы координаталары келесі формуламен есептеледі:

$$\Delta x^{j+1} = x^{j+1/2} + \xi, \xi \equiv (\xi_x, \xi_y) \quad (10)$$

(2)-дегі шеттік шарттар ТЛМ келесі түрде ескеріледі. ΔD_c облысының жоғарғы және бүйір шекараларында, бөлшектердің координатасы (5), (7) және (9), (10) формулалармен есептегеннен кейін облыстың шегінде болса, бөлшек өмір сүруін тоқтатты деп санаймыз, ал оның үлесі қоспалардың ағысын шекара арқылы бағалағанда ескеріледі. ΔD_t облысының төменгі шекарасында модельге аралас шеттік шарттар қойылады. Оны сандық схемада ескеру үшін жерлік қабатта төсөлген беттің біртексіздігін, температуралық стартификацияны және бетте шөгу ықтималдығын ескере отырып, бөлшектердің қозгалыс процессін сипаттауға арналған арнайы модификациялар енгізіледі . Осындағы модификацияның нәтижесінде аяға массасының параметрленген әсерлі төменгі шекарасы анықталады. Бөлшек осы шекараны қызып өткенші қозгалады.

Есептеу процедураларын автоматтандыру және бөлшектерді тасымалдау процесін визуализациялау үшін Visual Basic ортасында бағдарлама құрылды (1 сурет).



1 сурет Бөлшектер координатасын есептеу бағдарламасы

Корытынды. Қазіргі уақытта экология мәселелері бүкіл әлемде қызу талқылануда. Маңызды мәселелердің бірі атмосфералық ауаның сақталуы болып табылады. Осы мақалада Лагранж үлгісінің негізінде атмосфералық ауаның ластануын сипаттайтын математикалық үлгі қарастырылды. Компьютерлік үлгілеу нәтижесі келтірілді. Осы жұмыс «Нақты уақыт режимінде экологиялық мониторинг деректерін менгерудің ақпараттық технологиясын өндөу» тақырыбы бойынша ҚР білім және ғылым министрлігінің гранттық қаржыландыруының айналасында жүргізілді.

Колданылған әдебиеттер

- [1] Regional and mesoscale meteorological modeling as applied to air quality studies. Pielke R.A., Lyons W.A., MCNider R.T., Moran M.D., Moon D.A., Uliasz M. // Air Pollution Modelling and its Applications. 1991. V. VIII. P. 259-289.
- [2] An overview of the HYSPLIT 4 modelling system for trajectories, dispersion, and deposition. Draxler R.R., Hess G.D. // Austral. Meteorol. Magazine. 1998. N 47. P. 295-308.
- [3] Evaluation of source-receptor relationship for atmospheric pollutants using trajectory modelling and probability fields analysis. Mahura A., Baranov A. // Institute, 2003. 03-15.
- [4] Изучение процессов мезомасштабного переноса примеси с помощью моделей эйлерова и лагранжева типа. В.В. Пененко, Э.А. Пьянова, А.В. Чернова// Отика атмосферы и окена 2007. №6.
- [5] Моделирование процесса переноса примеси в прямых и обратных задачах климатоэкологического мониторинга и прогнозирования. Пененко В.В., Цветова Е.А. // Отика атмосферы и окена. 1999. Т. 12. №6. С. 482-487.
- [6] Некоторые аспекты решения взаимосвязанных задач экологии и климата. Пененко В.В., Цветова Е.А. // Прикл. мех. и техн. физ. 2000. Т. 41. №5. С. 161-170
- [7] Методика оценок роли индустриального региона в крупномасштабных процессах загрязнения атмосферы. Пененко В.В., Цветова Е.А. // Проблемы физики пограничного слоя атмосферы и загрязнения воздуха. СПб.: Гидрометеоиздат. 2002. С. 10-29.
- [8] Алгоритмы локализации источников загрязнения атмосферного воздуха в рамках автоматизированной системы экологического мониторинга. Пененко В.В., Рахметуллина С.Ж., Пененко А.В.//Тезисы симпозиума XIX Рабочая группа «Аэрозоли Сибири». 27-30 ноября 2012 г., Томск.
- [9] Разработка аналитической поддержки информационной системы экологического мониторинга на основе модели усвоения данных. Белгинова С.А., Бельдеубаева Ж.Т, Рахметтулина С.Ж, Солтан С.В. //Сборник КАЗНТУ
- [10] Центр экологической безопасности: ответственность за решение проблем. Корешков Г.Л. //Экосфера. 2012г., №12. С.25-29.
- [11] Разностные схемы. Годунов С.И., Рябенький В.С. //М.: Наука. 1973 г. 400 с.

- [12] Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. Рождественский Б.Л. //М.: Наука. 1968 г. 592 с.
- [13] Численные методы. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. //М.; СПб: Физматлит. 2000 г. 622 с.

УДК 533; 532.517.4; 536.46:533.6; 534.222.2

NUMERICAL STUDY OF PLANAR TURBULENT SUPERSONIC FREE SHEAR LAYER USING ENO SCHEMES

Ye. Belyayev, A. Naimanova, A. Kaltayev

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Abstract. Numerical simulations of the flowfield structures of planar turbulent shear layer are performed by solving the system of Favre averaged Navier-Stokes equations for compressible gas. The numerical code is based on the third-order essentially non-oscillatory (ENO) finite difference scheme. The turbulent viscosity coefficient is closed by using $k-\epsilon$ two-equation model that included a generalized formulation and compressibility correction. In order to produce the roll-up and pairing of vortex rings, an unsteady boundary condition is applied at the inlet plane. The obtained results are compared with the experimental and numerical results of other authors.

Keywords: supersonic shear layer, mixing layer, compressible gas, ENO scheme, $k-\epsilon$ model, Mach number.

Андатпа. Жазық турбулентті жылжу қабаты ағынының құрылымын сандық түрде сыйылатын газ үшін Фавр бойынша орташаланған Навье-Стокс теңдеулер жүйесі негізінде зерттелінді. Сандақ код едәуір осцилляцияланбайтын шекті-айырымды үшінші ретті дәлдікпен аппроксимациялайтын ENO сұлбасына негізделген. Турбулентті тұтқырлық коэффициенті екі-тендеулі $k-\epsilon$ моделінің жалпыланған түрі мен сыйылғыштықты анықтайтын мүшесімен анықталған. Айналмалы құйындар жүптарын алу үшін кіру шекарасында бейстационарлы шекаралық шарты қойылған. Алынған нәтижелер басқа авторлардың эксперименталды және сандық деректерлерімен салыстырлды.

Кілттік сөздер: дыбыс жылдамдығынан жоғары жылжу қабаты, араласу қабаты, сыйылатын газ, ENO сұлбасы, $k-\epsilon$ моделі, Max саны.

Аннотация. Численное исследование структуры течения плоского турбулентного сдвигового слоя представлена решением системы осредненных по Фавру уравнений Навье-Стокса для сжимаемого газа. Численный код основан на существенно неосциллирующей конечно-разностной ENO схеме третьего порядка точности. Коэффициент турбулентной вязкости замыкается с использованием двухпараметрической $k-\epsilon$ модели в общей формулировке и с включением корректировки на сжимаемость. Для получения пары закручивающихся вихрей на входе заданы нестационарные граничные условия. Полученные результаты сравниваются с экспериментальными и численными данными других авторов.

Ключевые слова: сверхзвуковой сдвиговый слой, слой смешения, сжимаемый газ, ENO схема, $k-\epsilon$ модель, число Маха.

Introduction. A large number of researches devoted to the influence of turbulence on the mixing and vorticity formation in shear layer problem. Oster and Wygnanski [1] showed the relationships of the rate at which shear layer grow to turbulent intensities and Reynolds stress. Samimy and Elliot [2,3] have experimentally investigated the compressibility effects according to the three convective Mach numbers ($M_c = 0.51, 0.64, 0.86$) and conducted mean flow, shear layer growth rates and turbulence properties measurements in shear layer on dual-stream tunnel facility, and found that shear layer growth rates and turbulence characteristics decrease with increasing convective Mach number.

In the present study the shear layer between two parallel supersonic-subsonic flows are considered. The inflow physical parameters profiles across the across the air-air flows are assumed to vary smoothly according to a hyperbolic-tangent function (Figure 1).

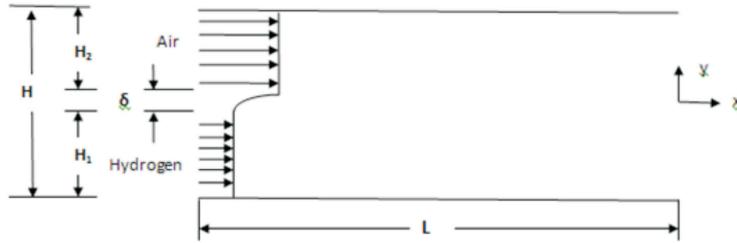


Figure 1 An illustration of the flow configuration

Mathematical model. Mathematical model based on the two-dimensional planar Favre-averaged Navier-Stokes equations in vectored form. The vector of source term for kinetic energy of turbulence and its dissipation has the production and dissipation terms with compressibility correction coefficient suggested by Sarkar [4]. The system of Favre-averaged Navier-Stokes equations is written in the conservative, dimensionless form. The air flow parameters are $\rho_\infty, u_\infty, w_\infty, T_\infty$, hydrogen jet parameters are ρ_0, u_0, w_0, T_0 . The governing parameters are the air flow parameters, the pressure and total energy are normalized by $\rho_\infty u_\infty^2$, the spatial distances by the splitter plate thickness δ . The coefficient of dynamic viscosity is represented in the form of the sum of - μ_l molecular viscosity and - μ_t turbulent viscosity coefficients:

$$\mu = \mu_l + \mu_t$$

The Wilke formula is used to determine the mixture viscosity coefficient [5]. Turbulent viscosity coefficient is defined by using k- ϵ turbulence model [5].

Initial and boundary conditions.

At the entrance:

$$u_1 = M_0 \sqrt{\gamma R T_0}, w_1 = 0, p_1 = p_0, T_1 = T_0, k = k_0, \epsilon = \epsilon_0 \quad \text{at} \quad x = 0, 0 \leq z < H_1$$

$$u_2 = M_\infty \sqrt{\gamma R T_\infty}, w_2 = 0, p_2 = p_\infty, T_2 = T_\infty, k = k_\infty, \epsilon = \epsilon_\infty \quad \text{at} \quad x = 0, H_1 + \delta \leq z \leq H_1$$

In the region of $H_1 \leq z \leq H_1 + \delta$ all physical variables are varied smoothly across air to air flow using a hyperbolic-tangent function of any variable φ , so the inflow profiles are defined by

$$\varphi(z) = 0.5(\varphi_2 + \varphi_1) + 0.5(\varphi_2 - \varphi_1)\tanh(0.5z/\theta) \quad \text{at} \quad x = 0, 0 \leq z \leq H$$

where $\varphi = (u, w, p, T, k, \epsilon)$, θ - is the momentum thickness. The pressure is assumed to be uniform across the shear layer. On the lower and upper boundary the condition of symmetry are imposed. At

the outflow, the non-reflecting boundary condition is used [6]. In order to produce the roll-up and pairing of vortex rings, an unsteady boundary condition is also applied at the inlet plane [7].

Method of solution. The numerical solution of the given system of equations is calculated using high-order finite difference scheme. The approximation of convection terms is performed by the ENO-scheme of third-order accuracy [5-6]. The ENO scheme is constructed on the basis of Godunov method, where piecewise polynomial function is defined by the Newton's formula of the third degree. In approximation of derivatives of diffusion terms, second-order central-difference operators are used. The system of the finite difference equations are solved by using matrix sweep method.

Results and discussion. The shear layer problem for monatomic (air) gas has been calculated by the following parameters: $M_0 = 0.51$, $T_0 = 285.07K$, $p_0 = 56088.91Pa$, $M_\infty = 1.80$, $T_\infty = 176.58K$, $p_\infty = 54648.65Pa$, $\gamma = 1.4$, $R = 287J/(kg \cdot K)$. The computational grid is $526x201$. The channel height and length were $8cm$ and $50cm$, respectively. The splitter plate thickness is $0.3175cm$, and at the trailing edge is $0.05cm$. The initial momentum thickness θ is $0.05cm$. The geometrical parameters above are taken from experimental work of Samimy and Elliot [2-3]. Experiment was conducted in tunnel, present calculation was made for planar channel to estimate the behavior of turbulence quantities. Figures 2 shows ($M_c = 0.51$) the comparison of the calculated distributions of axial variation of the momentum (θ) and vorticity (δ_w) thicknesses, with the experimental data [2-3].

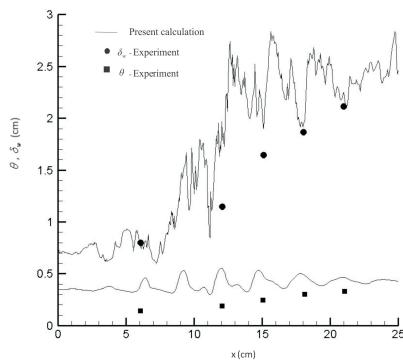


Figure 2 Comparison of present calculation with experimental data by the growth of momentum and vorticity thickness

The non-dimensional variables $u^* = \frac{u-u_0}{u_\infty-u_0}$, $z^* = \frac{z-z_c}{\delta_w}$, $\theta = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\rho}{\rho_\infty} u^*(1-u^*) dz$, $\delta_w = \frac{u_\infty-u_0}{(\partial u / \partial z)_{max}}$ are defined as in the experiments [2-3]. Figure 2 indicates that the shear layer growth in terms of momentum and vorticity thickness is predicted reasonably accurate by the present algorithm, as compared to experimental data.

Also, by the present calculation was made the comparison of axial mean velocity and turbulence quantities with experimental measurements [2-3]. The comparison of calculated transverse distribution of the normalized streamwise mean velocity at five axial positions with experimental measurements suggest that in the fully developed region for $x \geq 12cm$ the mean flow is self-similar. Turbulence quantities include Reynolds stress $-\overline{u'w'}/(u_\infty-u_0)^2$ and streamwise turbulence intensity $\sqrt{2/3k}/(u_\infty-u_0)$. The contribution of transverse velocity fluctuating component to turbulent kinetic energy was neglected. It was shown that calculated turbulence quantities appear to fail at $x \geq 15cm$, which indicates that the turbulence similarity is achieved further downstream than the mean flow similarity. In the present study it has been shown that the mean and turbulence quantities are in a good agreement with experimental data.

List of references

- [1] E.S. Oster and J.P. Wygnanski // The forced mixing layer between parallel streams. *J. Fluid Mech.* 123, p. 91-130, 1982.
- [2] G.S. Elliot, M. Samimy // Compressibility effects in free shear layer. *Phys. Fluids A* 2, p. 1231-1240, 1990.
- [3] M. Samimy, G.S. Elliot // Effects of compressibility on the characteristics of free shear layers. *AIAA J.* 28, p. 439-445, 1990.
- [4] S. Sarkar, G. Erlebacher, M. Y. Hussaini, H.O. Kreiss // The analysis and modelling of dilatational terms in compressible turbulence. *J. Fluid Mech.* 227, p. 473-493, 1991.
- [5] Ye. Belyayev, A. Naimanova // Two-Dimensional Supersonic Flow with Perpendicular Injection of the Gas. Book Advanced Methods for Practical Application in Fluid Mechanics, Chapter 2, p. 23-44, 2012.
- [6] P. Bruel, A. Zh. Naimanova // Computation of the normal injection of a hydrogen jet into a supersonic air flow. *J. Thermophysics and Aeromechanics*, Vol. 17, No. 4, p. 531-542, 2010.
- [7] Dale A. Hudson // Numerical simulation of a confined supersonic shear layer. PhD dissertation Pennsylvania State University, p. 1-179, 1996.

УДК 336.717.3

КОММЕРЦИЯЛЫҚ БАНКТЕРДІҢ ДЕПОЗИТТІК ОПЕРАЦИЯЛАРЫНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗІ

К.Б. Блеутаева, А.А. Алдабергенова

І. Жансүгіров атындағы Жетісү мемлекеттік университеті

Андатпа. Мақалада коммерциялық банктер басқа да шаруашылық субъектілері сияқты, өздерінің коммерциялық және шаруашылық қызметтерін қамтамасыз етіп отыру үшін, белгілі бір ақшалай қаражаттары, яғни ресурстарының болуы жөнінде.

Кілттік сөздер: депозит және депозиттік операциялар, депозиттік операцияларын жетілдіру жолдары, депозиттік операцияларын басқару.

Қазақстан Республикасының заң шыгарушысы депозит деп депозитордың қайтарымдылық шарттылығымен оның алғашқы талап етуі бойынша немесе белгіленген мерзім өткеннен кейін толық мөлшерде бірден не болмаса беліп-беліп банктік депозит шартында келісілген үстемесімен не ондай үстемесіз (процентсіз) қайтарылуға тиіс банкке беретін ақша қаражатын есептеген.

Демек, депозит банк клиентінің кез келген уақытта талап етуін және банктік депозит шартында көзделген мерзімнің аяқталуына орай толығымен немесе беліп-беліп, процентімен не процентсіз өзіне қайтару шартталығымен өз банкіне сақтауга беретін ақша қаражаты болып табылады.

Банктер капиталының 90 процентке жуығын әдетте, клиенттерден тартылған ақша қаражаттары қурайды. Нарықтық қатынастар аясындағы заңды немесе жеке тұлғалардың уақытша бос және өзге де қаражаттарын депозит (салымдар) ретінде банкке тарту депозиттік операциялар деп аталады.

Банктер үшін депозиттік операциялар олардың пассивті операцияларының басты түрі, ал осындай операциялардың нәтижесінде жұмылдырылған депозиттер (ақша қаражаттары) активті банктік операциялар жүргізудің негізгі ресурсы болып саналады. Банкке қолма-қол және қолма-қол емес нысанда, ұлттық немесе шетелдік валютада белгілі бір мән-жайлары көздел меншілк иесі (клиент) берген депозиттер «банктегі ақшалар» ретінде өзінің иесіне ақшасын қандай болмасын түрде жұмсауына әрі капитал ретінде проценттік табыс алуына мүмкігдік береді.

Банктік депозиттер:

- 1) талап етілгенге дейінгі (талап етілмелі) депозит;
- 2) мерзімді депозит;
- 3) шарттылы депозит болып бөлінеді.

Талап етілгенге дейінгі депозит депозитордың өз ақша қаражатын банктен бірінші талап етуі бойынша бірден (толығымен) немесе ішінара (бөліп-бөліп) қайтарылады.

Мерзімді депозит банктік депозит шартында көзделген мерзімге салынады және осы келісілген мерзім өткеннен (аяқталғаннан) кейін қайтарылады.

Шарттылы депозит банктік депозит шартында белгіленген мән-жайлары туындағанга дейін салынады. Талап етіліп алынатын депозит банкті алдын ала хабардар етпей (ескертпей) кез келген уақытта (сэтте) талап ету арқылы алынатын ақша қаражаттары болып табылады. Бұл ретте талап етіліп алынатын депозитке ағымдағы, есеп айырысу, бюджеттік және т.б. шоттардағы есеп айырысуға немесе белгіленген мақсатқа пайдалануға арналған қаражаттар жатады. Ағымдағы есеп айырысуға арналған талап етілмелі депозиттердің банктер арқылы қозғалысы қолма-қол ақшамен, чекпен, аудару жолымен және т.б. құжзаттармен рәсімделеді. Банктердің корреспонденттік шоттарындағы (Қазақстан Ұлттық Банкінің Есеп айырысу-кассалық орталығындағы немесе корреспондент (коммерциялық) банктегі) қаражаттар да талап етілмелі депозит болып табылады.

Дүниежүзілік банктік практикада пайдаланылатын контокорренттік (ағымдағы) шоттардағы қаражаттар да талап етілмелі депозитке жатады. Осы орайда көрініс табатын кредиттік сальдо банк клиентінің өз қаражатын, ал дебеттік сальдо банктік шот иесінің банкке қарыз екенін білдіреді. Талап етілмелі депозит банктік корреспонденттік шоттарда сақталатын, тұрақсыз (қалдық мөлшері әрдайым өзгеріп отыратын) сипаттағы депозит (салым) түрі болғандықтан атальмыш шот бойынша проценттік өсім төленбейді (тек сапалы әрі қосымша қызмет көрсетіледі). Депозиторлар (салымшылар) санатына орай заңды тұлғалардың депозиті мен жеке тұлғалар депозиті көрініс табады. Мерзімді депозит банк клиентінің табыс табу мақсатында нақтылы белгіленген мерзімге банкке салған (сақтауға, пайдалануға берген) өз меншігіндегі ақша қаражатын білдіреді. Белгілі мерзімге өз қарамағына берілген депозитке орай банк төлеуге тиіс проценттік ставка мөлшері салынған қаражат (депозит) шамасына (көлеміне) және оны сақтау (пайдалану) мерзіміне байланысты болады.

Мерзімді депозит (қаражаттары) депозиторға тек банктік депозит шартында көзделген мерзім аяқталған кезде гана қайтарылады. Мерзімді депозит белгілі бір негіздерге (себептерге) байланысты көзделген мерзімінен бұрын алынған жағдайда осы депозит түрі бойынша айқындалған проценттік өсім мөлшері айтарлықтай кемиді. Депозиторларды қызықтыру үшін мерзімді депо-

зит бойынша оларға күрделі процент түріндегі табыстар төлінеді. Мерзімді депозит тек мерзімі аяқталғанда ғана алынады және ол бойынша банктік депозит шартында белгіленген процент мөлшері депозит (салым) сомасына белгілі кезең сайын есептелініп, осы есептелінген табысқа келесі кезеңде тағы да тиіс процент есептелінеді. Депозиторларды қызықтыру үшін мерзімді депозит бойынша оларға күрделі процент түріндегі табыстар төлінеді. Мерзімді депозит тек мерзімі аяқталғанда ғана алынады және ол бойынша банктік депозит шартында белгіленген процент мөлшері депозит (салым) сомасына белгілі кезең сайын есептелініп, осы есептелінген табысқа келесі кезеңде тағы да тиіс процент есептелінеді. Мерзімді депозит бойынша белгіленген жай проценттердің табысы сақтаулы қарожаттың нақтылы мөлшеріне банктік депозит шартында көзделген процентті есептеу арқылы төленеді. Банктер үшін депозит ссудалық капитал болып табылады.

Банктік депозит шартында жазбаша нысанындағы, заттай (депозит сомасы), ақылы және біржақты міндеттеуші сипаттагы клиент пен банктің өзара келісімі, сондай-ақ тиісті заңнама-лық және заңға тәуелді нормативтік құқықтық актілер негізінде жасасылған құжатта банкке берілетін (салынатын) депозит сомасы, оның мерзімі, проценттері, оларды есептеу және төлеу тәртібі, депозитордың міндеттері мен құқықтары, банктің міндеттері мен құқықтары, таралтардың шартта белгіленген мән-жайларды сақтау жөніндегі жауапкершілігі, талас-тартыстарды шешу тәртібі көзделеді.

Банктік депозит шартының нысанын (әдетте жазбаша нысанда) депозит түрлеріне орай банктер дербес әзірлейді.

Банктік депозит шарты бойынша бір тарап – банк екінші таралтан депозитордан депозит алуға және оны пайдаланғаны үшін аталмыш шартта көзделген мөлшерде және белгіленген тәртіппен оған сыйақы төлеуге әрі депозит түріне қарай ақша қарожаттарын уақтылы қайтаруға міндеттенеді.

Банк тартылған депозиттердің түрлеріне орай клиенттің ақша қарожатын есепке алу мақсатында банктер өз клиентіне біріздендірілген жекелей код (БИК) береді.

Банктік депозит (салым) шарты жазбаша нысанда, сондай-ақ банктік заңнамада, Қазақстан Ұлттық Банкінің нормативтік құқықтық актілерінде және банктік тәжірибеде қолданылатын іскерлік айналым дағдыларында белгіленген талаптарға сай жасалады.

Депозитордың (салымшының) талабына сәйкес депозиттің салынганын қуәландыратын құжат депозитордың атына не болмаса көрсетілген үшінші тұлғаның атына рәсімделуі мүмкін.

Банктік депозит шарты келісілген депозит сомасының банктегі шотқа келіп түскен күнінен бастап жасалынды деп есептелінеді. Банк клиенттері (депозиторлар) депозиттерін қолма-қол ақшамен де, қолма-қол ақшасыз аудару арқылы да енгізе алады. Талап етілгенге дейін (талап етілмелі) депозит кез келген сомада және кез келген кезеңде жекелеген жарналар түрінде енгізіледі. Мерзімді депозиттер мен шарттылы депозиттер бір жолғы жарна түрінде бірден енгізіледі. Банк өз депозиторына банктік депозит шартында айқындалып көзделген мөлшерде және белгіленген тәртіппен депозит сомасына сыйақы төлейді. Депозитор талап етілмелі депозит бойынша өзіне тиесілі сыйақыны депозит сомасынан бөлек алуға құқылы. Талап етілмелі банктік депозит шарты мерзімсіз болып табылады.

Мерзімді депозит бойынша депозиторға тиесілі сыйақыны сақтау мерзімі аяқталғанда ғана берілетін депозит сомасынан бөлек алуға болады.

Мерзімді депозит бойынша белгіленген мерзімнің аяқталуына орай депозитор өзіне тиесілі сыйақыны да және депозит сомасын да толық мөлшерде алуға құқылы.

Депозитордың алгашқы талап етуі бойынша банк депозитті немесе оның бір бөлігін:

- 1) талап етілмелі депозит бойынша – депозитор талабының банкке келіп тусуіне орай;
- 2) мерзімді депозит бойынша – банктік депозит шартында көзделген мерзімнің басталуына байланысты;
- 3) шарттылы депозит бойынша – банктік депозит шартының басталуын және депозиттің қайтарылуын байланыстыратын мән-жайлар орын алған кезде беруге міндетті.

Шетел валютасымен салынған депозит тиісті заңнамада банктік депозит шартында немесе банк пен депозитордың қосымша келісімінде өзгеше көзделмесе, шетел валютасымен қайтарылуға тиіс. Депозитор банктердің депозиттік операциялары барысында өзіне көрсетілген банктік қызметтер үшін шартта белгіленген тәртіппен ақы төлеуге міндетті.

Сонымен, депозитор талап етілмелі депозитті тиісті банктік шотқа кез келген сомада және кез келген кезеңде (уақытта) жекелеген жарналармен енгізе алады. Ал банкке мерзімді депозит мен шарттылы депозит салу кезінде депозитор қажетті мөлшердегі ақша қаражаты сомасын бірден енгізеді.

Жеке тұлғалардың жинақ кітапшасында шот ашқан банктің немесе оның филиалының орналасқан орны және атауы; депозиттің түрі, мерзімі; депозит шотының нөмірі; депозитордың фамилиясы, аты-жөні; шотқа салынған депозиттің сомасы; шоттан шығарылған ақша қаражатының сомасы; есептелген процент шамасы; шоттағы ақша қаражатының қалдығы көрсетіледі.

Депозиттік операцияларды басқару - бұл жекелеген банктердің өтімділігін сақтап отыру мақсатында депозиттік нарықтан қаражаттарды тартуға бағытталатын қызметті білдіреді.

Депозиттік операцияларды басқару екі деңгейде жүзеге асырылады:

1. Макроденгейде басқару;
2. Микроденгейде басқару;

Макроденгейде басқаратын Қазақстан Республикасы Ұлттық банкі болып табылады. Ұлттық банк коммерциялық банктердің депозиттерін банктердің бос резервтерінің әр түрлі элементтеріне әсер ету арқылы жүзеге асырылады.

Ұлттық банк коммерциялық банктердің депозиттік операцияларын басқаруды басқаруда екі құралды қолданады. Бірінші құралдар тобына-Ұлттық банктің ақшалай операциялары жатады. Ұлттық банк бұл операцияларды ақша нарығының үш аумағында жүзеге асырады. Оларға: Депозит нарығы, Несие нарығы, Валюталық нарық жатады.

Қорыта айтқанда, депозиттер, коммерциялық банктердің еркін несиелік ресурстар нарығынан ресурстар сатып алудағы делдалдық қызметінің мазмұнын ашады. Депозиттер банктердің ресурстарының басты қалыптасы көздерін құрайды. Депозиттер банктер үшін ең арзан ресурс көзі болып табылады. Депозиттер банктердің ішкі және сыртқы міндеттемелерін құрайды. Соңдықтан да депозиттердің банк қызметінде көп болуы арнайы жасалған банктердің саясатына тікелей байланысты. Депозиттік саясаттың дұрыс болмауы банктердің ресурстарының қалыптастыруына кері ықпал етеді.

Қолданылған әдебиет тізімі

- [1] Қазақстан Республикасының Азаматтық кодексі. Алматы: ЮРИСТ № 2005.
- [2] Найманбаев С.М. Банктік құқық: Оқу құралы. – Алматы, Жеті жарғы, 2005.
- [3] Давыдова Л., Райманов Д. Банковское право Республики Казахстан. Алматы, Жеті жарғы, 2004 ж.

- [4] Қазақстан Республикасының Ұлттық Банкі туралы. 1995 ж. 30 наурыздағы Қазақстан Республикасының заңы (соңғы өзгерістері 2005 жылы 8 шілдедегі КР Заңымен енгізілген).

УДК 517.518.36

ON THE INTEGRABILITY WITH WEIGHT OF MULTIPLE MULTIPLICATIVE TRANSFORMS

N. Bokayev, Zh. Mukanov

L.N. Gumilyov Eurasian National University

Abstract. In this paper we study the conditions of integrability with weight of multiple multiplicative transforms of monotone functions from $L_r(R_+^n)$, $1 \leq r < 2$. It is proved that under certain conditions imposed on the weight of the exponent functions of integrable multiplicative conversion monotonic function implies integrability of the function. It is known that this transformation has application to signal processing tasks [1].

Keywords: multiplicative systems, integrability.

Аңдатпа. Осы жұмыста $L_r(R_+^n)$, $1 \leq r < 2$, класында жататын монотонды функцияларының еселі мультипликативті түрлендірулерінің салмақпен интегралдануы шарттары зерттеледі. Дәрежелі салмақты функцияның көрсеткіштеріне кейбір шарттар қойылған жағдайда монотонды функцияның мультипликативті түрлендірулерінің интегралдануынан функцияның өзі интегралданатыны дәлелденеді. Қарастырылып жатқан түрлендіру сигналдарды өңдеу есептерінде қолданатыны белгілі [1].

Кілттік сөздер: мультипликативті жүйелер, интегралдану.

Аннотация. В данной работе изучаются условия интегрируемости с весом кратных мультипликативных преобразований монотонных функций из $L_r(R_+^n)$, $1 \leq r < 2$. Доказывается, что при некоторых условиях, накладываемых на показатели степенной весовой функции, из интегрируемости мультипликативного преобразования монотонной функции следует интегрируемость самой функции. Известно, что рассматриваемое преобразование имеет применение в задачах обработки сигналов [1].

Ключевые слова: мультипликативные системы, интегрируемость.

In this paper we study the conditions of integrability with weight of multiple multiplicative transforms of monotone functions from $L_r(R_+^n)$, $1 \leq r < 2$.

Let $P = \{p_j\}_{|j| \in N}$, where $p_j \in N$, $2 \leq p_j \leq M$, $p_{-j} = p_j$ for all $j \in N$. Set $m_j = p_1 p_2 \dots p_j$ for $j \in N$, $m_0 = 1$ and $m_{-l} = 1/m_l$ for $l \in N$. Then for all $x \in R_+$ can be associated with the decomposition

$$x = \sum_{j=1}^{k(x)} x_{-j} m_{j-1} + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{x_j}{m_j}, \quad x_j \in Z_j = Z \cap [0, p_j), \quad |j| \in N. \quad (1)$$

This decomposition is uniquely determined, if for $x = k/m_n$, $k \in Z_+$, take the expansion with a finite number of nonzero x_i . If $x, y \in R_+ = [0, +\infty)$ written as (1), then by definition $z = x - y = \max(k(x), k(y))$

$$\sum_{j=1}^{\max(k(x), k(y))} z_{-j} m_{j-1} + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{z_j}{m_j}, \quad z_j = x_j - y_j \pmod{p_j}, \quad z_j \in Z_j.$$

Similarly, we define the operation

$x+y$. For $x, y \in [0, +\infty)$, written in the form (1), define the kernel $\chi(x, y)$ by equality

$$\chi(x, y) = \exp \left\{ 2\pi i \sum_{j=1}^{\infty} \frac{x_j y_{-j} + x_{-j} y_j}{p_j} \right\}.$$

We introduce multiple multiplicative systems with different generating sequences. Let the system $\chi(x_j, y_j)$, $j = \overline{1, n}$ constructed using sequence $\{p_k^{(j)}\}_{k=-\infty}^{\infty}$, $p_k^{(j)} \geq 2$, $k \in Z$, $m_0^{(j)} = 1$, $m_t^{(j)} = \prod_{s=1}^t p_s^{(j)}$, $t = 1, 2, \dots$. Then multiple multiplicative system is defined by $\chi(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n) = \chi(x_1, y_1)\chi(x_2, y_2)\dots\chi(x_n, y_n)$. We assume that the generating sequences bounded in total. For the function $f(x_1, \dots, x_n) \in L[0, \infty)^n$ multiplicative transformation define by

$$\hat{f}(x_1, \dots, x_n) = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty f(y_1, \dots, y_n) \overline{\chi(x_1, y_1)} \dots \overline{\chi(x_n, y_n)} dy_1 \dots dy_n,$$

and for functions $f(x_1, \dots, x_n) \in L_p[0, \infty)^n$, $1 < p \leq 2$ by the equality

$$\hat{f}(x_1, \dots, x_n) = \lim_{\substack{a_1 \rightarrow \infty \\ \dots \\ a_n \rightarrow \infty}} \int_0^{a_1} \dots \int_0^{a_n} f(y_1, \dots, y_n) \overline{\chi(x_1, y_1)} \dots \overline{\chi(x_n, y_n)} dy_1 \dots dy_n.$$

Theorem. Let the function $f(x_1, \dots, x_n)$ decreases in each variable on $[0, \infty)^n$, $\lim_{x_1 + \dots + x_n \rightarrow \infty} f(x_1, \dots, x_n) = 0$ and $f \in L_r(R_+^n)$, $1 \leq r < 2$. If $1 < p \leq q < \infty$, $\gamma > -\frac{1}{p}$ and $(x_1 \dots x_n)^{-\gamma} \hat{f}(x_1, \dots, x_n) \in L_p(R_+^n)$, then $(x_1 \dots x_n)^{1+\gamma-\frac{1}{p}-\frac{1}{q}} f(x_1, \dots, x_n) \in L_q(R_+^n)$.

List of references

- [1] Ряды и преобразования Уолша: Теория и применения./Голубов Б.И., Ефимов А.В., Скворцов В.А. М.: Наука, 1987. - 344 с.
- [2] Weighted integrability of multiplicative Fourier transforms. Volosivets S.S., Golubov B.I.// Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics. - 2010. - V.269. - P.71-81 [in Russian].

УДК 302.28

ИМИТАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В СРЕДЕ EXCEL НА ПРИМЕРЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ МЫШЬЯКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Е.Ю. Ван, А.А. Касперская, Н.А. Нурбаева, М.К. Карибаева, А.П. Чурсин

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова

Abstract. The problems of the use of information technologies with the application of means of conceptual and mathematical modeling of chemical phenomena and processes in chemistry teaching in high school are considered. Particular attention is given to the use of Delphi software package, which basic algorithm is setting of the variety of tasks, such as an identification of the form of

radial distribution of an atom wave function or the form of hybrid orbital.

Keywords: ecology, waste, modeling.

Аннотация. Қазіргі кезде ғылым мен техниканың даму кезеңінде экологиялық объектілерді басқару сапасын бағалау және алгоритмін іске асыру, әсіресе улы өнеркәсіптік қалдықтарды көдеге асыру және залалсыздандыру моделдерін көрсету үшін ақпараттық технология құралдарын қолдану маңызды.

Кілттік сөздер: экология, қалдықтар, модельдеу.

Аннотация. Для настоящего этапа развития науки и техники характерны широкое применение средств информационных технологий для реализации алгоритмов и оценки качества управления экологическими объектами, в частности представления моделей обезвреживания и утилизации токсичных промышленных отходов .

Ключевые слова: экология, отходы, моделирование.

Для настоящего этапа развития науки и техники управления характерны широкое применение средств вычислительной техники для реализации алгоритмов и оценки качества управления, создания систем управления, а также создания моделей сложных объектов, систем управления и ситуаций, систем автоматизированного проектирования, эксперимента и научных исследований [1].

Имитационное моделирование - инструмент прикладного системного анализа, т.е. совокупности методов исследования динамики сложных реальных систем в условиях неопределенности и целенаправленного воздействия.

Идея метода имитационного моделирования состоит в том, что вместо аналитического описания взаимосвязей между входами, состояниями и выходами строят алгоритм, отображающий последовательность развития процессов внутри исследуемого объекта.

Основой для создания имитационной системы анализа и прогнозирования развития ситуаций при принятии решений по реализации мероприятий, направленных на развитие экологически рациональных технологий обезвреживания и утилизации мышьяксодержащих отходов на предприятиях является структура и содержание совокупности используемых данных.

Содержательной основой для построения имитационной модели объекта является его концептуальная модель, под которой понимается совокупность качественных зависимостей критериев оптимальности и различного рода ограничений от факторов, существенных для отражения функционирования объекта [2]. Концептуальная модель отражает следующие основные моменты:

- условия функционирования объекта, определяемые характером взаимодействий между объектом и его окружением, между элементами объекта;
- цели исследования объекта и направления улучшения его функционирования;
- возможности управления объектом, определяющие состав управляемых переменных объекта.

Порядок построения имитационной модели и ее исследования в целом состоит из нескольких этапов [3]:

- определение объекта — установление границ, ограничений и измерителей эффективности объекта, подлежащего изучению;
- формулирование модели — переход от реального объекта к логической схеме;
- подготовка данных — отбор данных, необходимых для построения модели, и представление их в соответствующей форме;

- оценка адекватности — повышение уровня корректности выводов о реальном объекте, полученных на основании обращения к модели;
- стратегическое планирование — планирование эксперимента, который должен дать необходимую информацию;
- экспериментирование — процесс осуществления имитации с целью получения желаемых данных;
- интерпретация — построение выводов по данным, полученным путем имитации;
- реализация — практическое использование модели и результатов моделирования.

Система имитационного моделирования будет представлять собой схему структурных элементов, посредством которых отображается совокупность экономического механизма природопользования размещения мышьяксодержащих отходов. Структурная схема имитационного моделирования представлена на рисунке 1.

В разрабатываемой имитационной системе информация об объекте передается как от нижних уровней к верхним, где она анализируется и обобщается, так и от верхних уровней к нижним, где систематизированная информация детализируется.



Рисунок 1 Структурная схема имитационного моделирования

Определяющие компоненты имитационной модели составляют модели функционирования технологических процессов образования мышьяксодержащих отходов, а также модель управления экономическим механизмом природопользования.

В разрабатываемой имитационной системе информация об объекте передается как от нижних уровней к верхним, где она анализируется и обобщается, так и от верхних уровней к нижним, где систематизированная информация детализируется.

Каждый компонент имитационной системы представляет собой отдельную модель. Связь между компонентами системы должна обеспечиваться единообразием операционных данных, соединением всех подсистем между собой.

Таким образом, модель обезвреживания и утилизации высокотоксичных мышьяксодержащих отходов формируется следующим образом:

- 1) Определение целей, задач и возможностей имитации.

Цель исследования является внешней по отношению к объекту, имеет большое значение и определяется текущими и долговременными интересами по отношению к объекту.

Целью проведенного в данном разделе исследования является решение эколого-экономических проблем по обезвреживанию и утилизации высокотоксичных мышьяксодержащих отходов. Она базируется на двух основных устремлениях:

- утилизация мышьяксодержащих отходов для уменьшения экологического риска от распространения тяжелых металлов и других веществ в почве, грунтовых и поверхностных водах;
- экономия средств за счет сокращения выплаты размещения твердых отходов.

Чтобы данная проблема имела решение, выбранные цели не должны быть взаимоисключающими.

Цель исследования конкретизируется в виде множества задач, решение которых необходимо и достаточно для достижения цели. Множество задач имеет иерархическую структуру.

На рисунке 2 изображена предлагаемая иерархическая структура целей и задач решения эколого-экономической проблемы по обезвреживанию и утилизации высокотоксичных мышьяксодержащих отходов.

Дополнительными факторами при выборе цели являются возможности исследователя - теоретические, финансовые, временные и другие.

Теоретические возможности включают данные и методы, которые можно применить для решения проблемы имитационного моделирования.

Финансовые возможности ограничивают использование оборудования, объем работ и т.п.

Временной фактор ограничивает продолжительность исследования.

При этом предварительно оговариваются и фиксируются цели исследования, которые можно подразделить следующим образом: описание прогноз и оптимизация функционирования системы.

Описание функционирования является базой исследования и выполняется в рамках сформулированной проблемы, позволяя представить существующее состояние системы, а также изменение состояния со временем. Для имитационной модели обезвреживания и утилизации мышьяксодержащих отходов описание включает в себя характеристики технологического процесса, состав и свойства образующихся отходов.

Прогноз функционирования формулирует представление о состоянии системы в будущем при различных внутренних и внешних воздействиях. Их набор называется сценарием, который образует входные данные для прогноза. К внутренним воздействиям относятся решения по управлению системой - решения руководства о внедрении технологии получения мышьяксодержащих отходов, выделения средств, к внешним – деятельность служб по охране окружающей среды, действующие нормативные документы, состояние окружающей среды и др.

Оптимизация функционирования основывается на выборе критериев оптимальности. Для металлургического предприятия при решении проблемы обезвреживания и утилизации мышьяксодержащих отходов такими критериями могут быть: минимизация затрат на осуществление проекта, безопасность продукции для окружающей среды.

2) Анализ имитационной системы и построение ее концептуальной модели.

Анализ, на основе которого строится концептуальная модель включает в себя: установление границ системы, определение ее элементов, их характеристик и связей, выявление происходящих в системе процессов, описание внутренних и внешних воздействий.

На рисунке 3 приведена предлагаемая концептуальная модель для построения имитационной системы обезвреживания и утилизации мышьяксодержащих отходов.

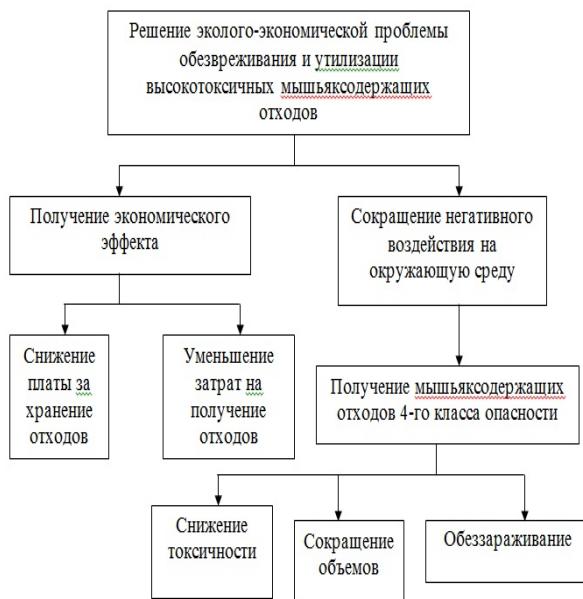


Рисунок 2 Иерархическая структура решения эколого-экономической проблемы обезвреживания и утилизации высокотоксичных мышьяксодержащих отходов



Рисунок 3 Концептуальная модель взаимосвязей элементов образования, накопления мышьяксодержащих отходов и направления их воздействия на окружающую среду

За пятьдесят лет с 1954 года на отвальной площадке УК МК АО «Казцинк» г. Усть-Каменогорска накоплено более 300 тыс. тонн мышьяксодержащих отходов. Зависимость изменения количества образования мышьяксодержащих отходов посчитана в программе Microsoft Excel. Анализ динамики накопления мышьяксодержащих отходов представлен в таблице 1.

Таблица 1 Прогноз увеличения количества мышьяксодержащих отходов без учета их переработки

№ п/п	год	$m(t)$	n	q	c	$h(t)$	h
Статистические значения							
1	1954	3364,0			19,3	0,0	0,0
2	1976	74000,0	70636,0	3210,7	15,0	3282,0	149,0
3	1980	128042,0	54042,0	13510,5	7,6	14981,0	576,0
4	1996	270000,0	141958,0	8872,4	2,9	44280,0	1030,0
Рассчитанные значения							
5	2000	315653,0	45653,0	11413,2	13,8	11699,0	1236,0
6	2004	361483,4	45830,4	11457,6	12,7	13397,6	1483,2
7	2008	407491,3	46007,9	11502,0	13,1	15102,8	1483,2
8	2012	453676,6	46185,3	11546,3	13,5	16814,6	1779,8

Где: $m(t)$ - количество мышьяксодержащих отходов накопленных в отвале за период времени (t), в тоннах; n - количество отходов поступивших в отвал, в тоннах; q - ежегодное поступление мышьяксодержащих отходов в отвал, в тоннах; c - исходное содержание мышьяка, %; $h(t)$ - общая потеря мышьяков в отвале за период времени (t), в тоннах; h - среднегодовая потеря мышьяка, в тоннах.

На основе статистических и расчетных данных построен график количества, образования, накопления и потери мышьяксодержащих отходов на отвальном поле УК МК АО 2 «Казцинк» (рисунок 4).

5) Проведение имитационных экспериментов.

Эксперименты, проведенные с имитационной моделью, может показать изменение системы при изменении сценария, то есть при изменении внутренних и внешних воздействий. Для модели обезвреживания и утилизации мышьяксодержащих отходов, изменение сценария может заключаться в замещении мышьяково – кальциевых отходов на отходы железо – мышьяковые аналога минерала скородит.

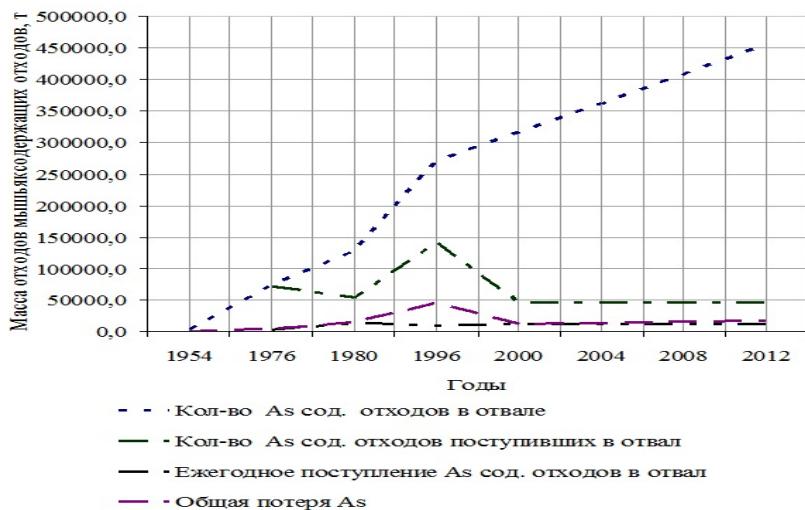


Рисунок 4 Динамика образования, накопления мышьяксодержащих отходов без учета их переработки

Зависимость изменения количества образования мышьяксодержащих отходов посчитана в программе Microsoft Excel. Анализ динамики накопления мышьяксодержащих отходов представлен в таблице 2.

На рисунке показано, что при данном сценарии количество мышьяксодержащих отходов заметно снижается. В этом случае, стимулировать предприятие для переоснащения технологии получения данных отходов с целью обеспечения экологической безопасности будет воздействие на него государственных природоохранных органов.

Таблица 2 - Прогноз увеличения количества мышьяксодержащих отходов с учетом переработки

№ п/п	год	m (t)	n	q	c	h(t)	h
Статистические значения							
1	1954	3364,0			19,3	0,0	0,0
2	1976	74000,0	70636,0	3210,7	15,0	3282,0	149,0
3	1980	128042,0	54042,0	13510,5	7,6	14981,0	576,0
4	1996	270000,0	141958,0	8872,4	2,9	44280,0	1030,0
Рассчитанные значения							
5	2000	279130,6	9130,6	2282,6			
6	2004	288296,7	9166,1	2291,5			
7	2008	297498,3	9201,6	2300,4			
8	2012	306735,3	9237,1	2309,3			

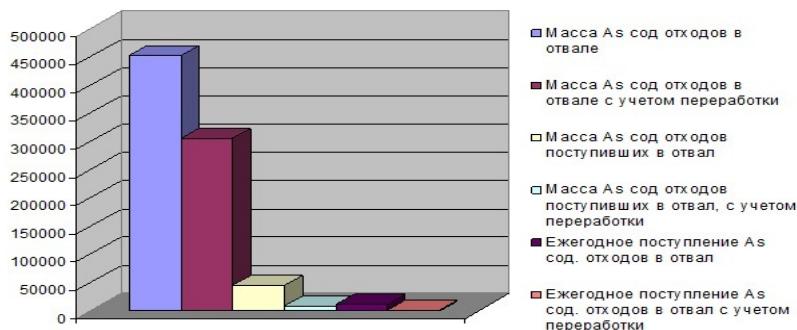


Рисунок 5 Сравнение количества мышьяксодержащих отходов с учетом переработки

Поэтому при решении эколого-экономической проблемы следует учитывать целенаправленное воздействие на предприятие государственных природоохранных органов с целью выполнения предприятием природоохранных мероприятий.

Таким образом, целью воздействия природоохранных органов на металлургическое предприятие является сокращение негативного влияния мышьяксодержащих отходов на окружающую среду, а целью предприятия под этим воздействием является сокращение объемов и снижение платы за хранение отходов, тем самым повышение рентабельности производства.

Для решения практических задач полученные результаты имитации могут быть использованы для решения, как поставленной задачи, так и для решения других проблем, связанных с данной системой, а так же могут быть применены для более широкого числа сходных систем.

Список литературы

- [1] Иозайтис В.С., Львов Ю.А. Экономико-Математическое моделирование производственных систем. М: ВШ, 1991.-192 с.
- [2] Угольницкий Г.А. Управление эколого-экономическими системами.-М.: Вузовская книга, 1999. – 132 с.
- [3] Коросов А.В. Имитация экологических объектов в среде Excel// Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Финноскандии/ Международная конф. и выездная научн. сессия Отделения общей биологии РАН. Петрозаводск, 6-10 сентября 1999 г. Петрозаводск: Изд-во КНЦ РАН, 1999. С. 83-84.

УДК 378.12

АДАПТИРУЕМАЯ СИСТЕМА РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ

Е.В. Варавин, М.В. Козлова

Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева

Abstract. The article deals with the university staff management by monetary incentives. There are given recommendations for building rating system for the faculty activity appraisal in terms of changes in the formation of the financial resources of the university to stimulate labor.

The proposed approach will improve the quality and effectiveness of the university, the implementation of the strategic objectives of its development.

Keywords: rating system, the evaluation of the faculty, staff motivation, university.

Аңдатпа. Мақалада материалдық ақшалай ынталандыруды қолдану арқылы ЖОО қызметкерлерін басқару мәселелері қарастырылады. Енбекті ынталандыруға бағытталған ЖОО қаржы ресурстарын қалыптастырудың өзгерістерді ескере отырып профессор-оқытушылар құрамының қызметін рейтингтік бағалау жүйесін құру бойынша ұсыныстар берілген.

Ұсынылып отырган тәсілдеме ЖОО қызметінің сапасы мен нәтижелілігін арттыруға, оның дамуының стратегиялық міндеттерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Кілттік сөздер: рейтинглік жүйе, профессор-оқытушылар құрамының қызметінің сарапшылығы, персоналдың қозғамдамасы, жогары оқу орны.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы управления персоналом ВУЗа с использованием материального денежного стимулирования. Предложены рекомендации по построению системы рейтинговой оценки деятельности профессорско-преподавательского состава с учетом изменений формирования финансовых ресурсов ВУЗа, направленных на стимулирование труда.

Предлагаемый подход будет способствовать повышению качества и результативности деятельности ВУЗа, реализации стратегических задач его развития.

Ключевые слова: рейтинговая система, оценка деятельности профессорско-преподавательского состава, мотивация персонала, высшее учебное заведение.

Одним из приоритетных направлений совершенствования казахстанской высшей школы является повышение качества образовательных услуг, которое, в свою очередь, невозможно без эффективной мотивации труда профессорско-преподавательского состава. В настоящее время в сфере образования накопилось значительное число проблем, связанных с кадровым обеспечением, недостаточным финансированием, ухудшением состояния материально-технической базы образования. Среди них центральное место занимает проблема поиска эффективных путей совершенствования системы мотивации труда преподавателей, так как человеческий фактор является определяющим в деятельности образовательного учреждения. Проблема мотивации трудовой деятельности в настоящее время является одной из наиболее сложных в системе управления любой организацией. Эффективное управление трудовой деятельностью зависит от того, насколько реализуются стратегические цели организации за счёт мотивированности работников.

В современных условиях необходимо обеспечить усиление мотивации трудовой деятельности на основе формирования и развития системы материального денежного стимулирования, поскольку в условиях экономических преобразований одним из значимых мотивов деятельности персонала являются материальные выгоды [1].

Существующая тарифно-квалификационная система оплаты труда профессорско-преподавательского состава высшей школы, основанная на учете стажа работы, занимаемой должности, доплатах за учёные степень и звание не в полной мере стимулирует преподавателей к постоянному самосовершенствованию.

В этой связи в качестве инструмента в решении вопросов улучшения качества образования можно выбрать сбалансированную систему показателей при организации системы стимулирования преподавательского персонала, основанную на целях и стратегии развития вуза.

Попытки разработать достаточно обоснованную систему оценки эффективности труда преподавателей предпринимаются уже давно, отдельные вузы накопили известный опыт оценки работы ППС. В настоящее время известно более 40 методик рейтинговых оценок деятельности профессорско-преподавательского состава вузов [2]. В этой связи становится очевидным, что не существует универсальной системы оценки качества труда работников вузов, поскольку вузы весьма существенно отличаются друг от друга по своему статусу, профилю подготовки, численности обучающихся, организационной структуре, масштабам научной работы, структуре и квалификации персонала и другим признакам. Однако, основу таких систем должны составлять общие методологические и методические подходы.

Многогранный характер работы, широкий перечень обязанностей требуют для оценки труда преподавателей вузов наличия такого подхода, который бы учитывал качество и результативность всех основных видов их деятельности. Система стимулирования труда ППС и учебно-вспомогательного персонала вуза должна удовлетворять следующим требованиям [3]:

1. охватывать все важнейшие виды деятельности преподавателей вуза и в этом смысле обеспечивать комплексный характер оценки;
2. обеспечивать «калиметрию» качества труда сотрудников кафедры;
3. быть объективной и, по возможности, сводить до минимума элемент субъективизма в оценке качества работы сотрудников кафедры, позволять формализовать процесс определения итоговой оценки;
4. при определении размера оплаты труда быть направленной не на снижение зарплаты менее результативно работающих преподавателей и лаборантов, а на стимулирование труда

- сотрудников, имеющих лучшие результаты в работе;
5. критерии качества работы преподавателей должны максимально приближаться к критериям качества работы вуза, требованиям предъявляемым к вузам и сотрудникам при аккредитации;
 6. быть достаточно гибкой, позволяющей на разных этапах развития вуза изменять акценты, устанавливать новые приоритеты за счет изменения количественной оценки различных видов деятельности ППС и учебно-вспомогательного персонала.

Формирование системы рейтинговой оценки ППС вуза должно базироваться на ряде законодательных актов Республики Казахстан и действующих в вузе нормативных документов. Среди них: Трудовой кодекс Республики Казахстан; Закон Республики Казахстан «Об образовании»; Порядок определения фонда оплаты труда, условий оплаты труда, премирования руководящих работников государственных предприятий на праве хозяйственного ведения, утвержденный Приказом Министра образования и науки РК от 8 ноября 2012 г. № 501; устав высшего учебного заведения; коллективный договор высшего учебного заведения; план стратегического развития высшего учебного заведения и т.п.

Чтобы построить систему рейтинговой оценки необходимо учесть методику формирования финансовых ресурсов, направленных на стимулирование труда [4]. Важным вопросом в данном случае является оценка и определение средств, направляемых на материальное стимулирование ППС, так называемого Рейтингового фонда. Большинство существующих методик предполагают установление такой надбавки в процентном выражении от получаемого оклада. Однако, в меняющихся условиях, вуз не всегда может финансово обеспечить данные обязательства, в силу самых различных факторов и в первую очередь в связи со снижением получаемых доходов. Большая хозяйственная самостоятельность вузов и, в то же время, определенные нормативные ограничения фонда оплаты труда, требуют от руководства университета повышения эффективности использования получаемых доходов, постоянного их анализа и мониторинга.

Поскольку величина Рейтингового фонда университета ежегодно может изменяться, важным вопросом в данном случае является выработка механизма распределения Рейтингового фонда университета и установления размера рейтинговых надбавок. В данной работе предлагается подход, основанный на определении условных рейтинговых единиц.

По итогам рейтинговой оценки ППС за учебный год определяется общая сумма условных рейтинговых единиц на предстоящий период, путем сложения условных рейтинговых единиц, полученных (присвоенных) каждому преподавателю, заведующему кафедрой, декану и его заместителям.

Цена одной условной рейтинговой единицы находится как отношение величины Рейтингового фонда к общей сумме условных рейтинговых единиц:

$$\Pi_{УРЕ} = РФУ / С_{УРЕ} \quad (1)$$

где $\Pi_{УРЕ}$ – цена условной рейтинговой единицы, тенге;

$РФУ$ – прогнозная величина Рейтингового фонда университета, тенге;

$С_{УРЕ}$ – общая сумма условных рейтинговых единиц.

Величина Рейтингового фонда университета корректируется два раза в год с учетом фактически полученных (подлежащих получению) доходов университета. Скорректированные значения

величины рейтингового фонда определяются на 1 февраля и 1 октября текущего года. Допускается дополнительная корректировка размера Рейтингового фонда университета в случае существенных изменений дохода университета. Соответственно, при корректировке, будет изменяться и цена условной рейтинговой единицы.

В конце года возможно образование фонда неиспользованной суммы рейтингового фонда, который по решению ректора, может быть использован для материального поощрения сотрудников университета.

Величина рейтинговой надбавки (РН) преподавателя устанавливается пропорционально набранным (присвоенным) условным рейтинговым единицам и цене условной рейтинговой единицы по формуле:

$$РН = Р * \Pi_{УРЕ}, \quad (2)$$

где РН – величина рейтинговой надбавки, тенге;

Р – сумма условных рейтинговых единиц, полученных (присвоенных) каждому преподавателю, заведующему кафедрой, декану и его заместителям;

$\Pi_{УРЕ}$ – цена одной условной рейтинговой единицы.

Рассмотрим, далее, методику начисления условных рейтинговых единиц преподавателям, заведующим кафедрами, деканам и их заместителям в зависимости от рейтинговой оценки их деятельности.

При формировании методики рейтинговой оценки деятельности преподавателя предлагается рассматривать оценку показателей деятельности ППС с точки зрения трудоемкости и стратегической ценности показателя для вуза в определенный учебный год [5].

Проведенный анализ рейтинговых систем оценки деятельности ППС в вузе позволяет выделить следующие общие закономерности:

- за основу расчета рейтинга принимается не планируемое время выполнения работ, а их фактические количественные и качественные результаты;
- в рейтинг включаются те виды работ, которые обеспечивают создание учебно-методической и лабораторной базы, внедрение инновационных технологий обучения, развитие научной инфраструктуры университета и повышение его имиджа;
- педагогическая нагрузка, оплачиваемая в соответствии с действующими нормативными документами, в рейтинге не учитывается;
- ранжируются не только виды работ, но и показатели, отражающие эти виды деятельности;
- сами показатели также ранжируются в зависимости от их значимости;
- за допущенные нарушения введены штрафные санкции, уменьшающие рейтинговые оценки.

Ранжирование по видам деятельности и по показателям позволяет определить их значимость и мотивирует преподавателей на деятельность, более весомую для вуза.

Рейтинговую оценку преподавателя целесообразно формировать из двух частей: постоянной, характеризующей квалификационный статус преподавателя, накопленный им за все время работы («П»), и текущей, учитывающей его профессиональную активность за истекший отчетный период – учебный год («Т»). Рейтинговая оценка осуществляется только среди штатных сотрудников университета, имеющих стаж работы не менее 1 года.

Постоянная часть рейтинговой оценки учитывает квалификационные характеристики (ученая степень, звание, членство в НАН РК или отраслевых академиях), работе в диссертационных советах, редколлегиях издательств и т.п. Значимость каждого частного показателя определяется в условных рейтинговых единицах. Информационной базой для данной части рейтинга является информация отдела кадров университета.

Таблица 1 Размер надбавки к заработной плате в соответствие с постоянной частью рейтинговой оценки преподавателя

Рейтинговый показатель	Условные рейтинговые единицы
Ученая степень доктор наук	240
Ученая степень кандидат наук, доктор PhD	120
Ученая степень кандидат наук и ученое звание доцент	140
Ученое звание доцент (без ученой степени)	200
Академическое звание профессор университета (без ученой степени)	130
Академическое звание доцент университета (без ученой степени)	60

Исходная информация для определения текущей части рейтинговой оценки преподавателя определяется путём анкетирования и формируется при заполнении анкеты (в бумажном или электронном виде), где указываются количественные характеристики достижений ППС.

Рейтинговая оценка отражает результаты работы за прошедший учебный год и осуществляется по трем основным видам деятельности преподавателя:

- учебная и методическая работа (У);
- научная работа, международное сотрудничество, инновационная деятельность (Н);
- воспитательная работа, общественная и имиджевая деятельность (В).

Все параметры имеют формальные показатели, выраженные в баллах.

По каждому виду деятельности проводится суммирование баллов и присвоение соответствующего весового коэффициента (например: $K_U = 0,45$; $K_H = 0,35$; $K_B = 0,20$), устанавливаемого, созданной в университете аттестационной комиссией, в соответствии со Стратегией развития университета и с учетом приоритетов на каждый учебный год.

Таким образом, индивидуальная рейтинговая оценка преподавателя определяется следующим образом:

$$T = U * K_U + H * K_H + B * K_B \quad (3)$$

где T – текущая часть рейтинговой оценки;

U , H , B – суммы баллов по учебной и методической работе, научной работе, международному сотрудничеству, инновационной деятельности, воспитательной работе, общественной и имиджевой деятельности, соответственно;

K_U , K_H , K_B – соответствующие весовые коэффициенты.

Для обеспечения сопоставимости результатов, расчет рейтинговой оценки рекомендуется производить отдельно по следующим квалификационным категориям профессорско-преподавательского состава:

- преподаватели;

- старшие преподаватели;
- доценты;
- профессора.

Для соответствующей квалификационной категории определяется уровень рейтинга преподавателя по отношению к «среднему рейтингу». Уровень рейтинга преподавателя может быть: высоким, выше среднего, ниже среднего, низким и устанавливается в соответствии с принятым интервалом значений, который рассчитывается относительно среднего значения по каждой статусной группе преподавателей (Таблица 1).

Таблица 2 Определение уровня рейтинга в статусной группе

Уровень	Положение относительно среднего	Интервал
Высокий	Выше среднего значения,	$1,5x < T$
Выше среднего		$x < T < 1,5x$
Ниже среднего	Ниже среднего значения,	$0,5x < T < x$
Низкий		$T < 0,5x$

Примечание: x – среднее значение рейтинга ППС в соответствующей группе; T – текущая рейтинговая оценка конкретного преподавателя (в баллах).

Для каждого уровня рейтинга (кроме низкого) устанавливается соответствующая надбавка к заработной плате, выраженная в условных рейтинговых единицах в соответствие с таблицей 2.

Таблица 3 Размер надбавки к заработной плате преподавателя в условных рейтинговых единицах

Группа	Уровень	Условные рейтинговые единицы
Преподаватели	Высокий	120
	Выше среднего	80
	Ниже среднего	50
Старшие преподаватели	Высокий	130
	Выше среднего	90
	Ниже среднего	60
Доценты	Высокий	150
	Выше среднего	100
	Ниже среднего	70
Профессора	Высокий	170
	Выше среднего	120
	Ниже среднего	100

На период действия дисциплинарного взыскания уменьшается установленная ежемесячная рейтинговая надбавка в размере:

- 25% при объявлении замечания;
- 50% при объявлении выговора;
- 100% при объявлении строгого выговора.

Анкета по текущей части рейтинговой оценки заполняется преподавателем самостоятельно, распечатывается и утверждается на заседании кафедры. Заведующий кафедрой представляет полный комплект рейтинговых листов по своей кафедре секретарю аттестационной комиссии факультета и несет персональную ответственность за представленную информацию.

В результате рассмотрения на заседании кафедры в отношении преподавателей выносится рекомендация аттестационной комиссии университета:

- аттестовать;
- аттестовать с повышением в должности;
- аттестовать с замечанием;
- аттестовать с понижением в должности;
- не аттестовать.

Исходная информация для определения рейтинговой оценки кафедры и факультета формируется путем анкетирования. Рейтинговая оценка отражает общие результаты работы за прошлый учебный год и учитывает: для кафедры – среднее значение рейтинговой оценки преподавателей соответствующей кафедры, для факультета – среднее значение рейтинговой оценки кафедр факультета.

Достоинством этой системы является то, что заведующий кафедрой заинтересован не только в повышении своего рейтинга как преподавателя и руководителя подразделения, но и в активном участии в рейтинге всего коллектива кафедры. Каждый преподаватель кафедры мотивирован не только на повышение своего личного рейтинга, но и на повышение результативности работы как кафедры, так и факультета в целом.

Для обеспечения сопоставимости результатов, расчет рейтинговой оценки кафедр производится по следующим группам:

- выпускающие кафедры;
- не выпускающие кафедры.

Кафедры (в пределах соответствующей группы) и факультеты ранжируются в порядке убывания рейтинговой оценки и определяются их места. В соответствие с занятым местом устанавливается надбавка к заработной плате заведующим кафедрами, заместителям заведующих кафедрами, деканам, заместителям деканов, выраженная в условных рейтинговых единицах в соответствие с таблицей 3.

Заместителям заведующих кафедрами устанавливается 50% от процента надбавки (премиальных) заведующего кафедрой, но не менее надбавки по собственному преподавательскому рейтингу.

Заместителям деканов факультетов:

- по учебной и методической работе устанавливается 85% надбавки (премиальных) соответствующих деканов факультета;
- по научной, воспитательной работе, по международным связям – 35% надбавки (премиальных) соответствующих деканов факультета.

Таблица 4 Размер надбавки к заработной плате зав. кафедрами и деканов в условных рейтинговых единицах

Группа	Место	Размер надбавки, условные рейтинговые единицы		
		Руководитель	Зам. руководителя (по УМР)	Зам. декана по научной, воспитательной работе, по международным связям
Выпускающая кафедра	1-5	360	180	
	6-10	330	165	
	11-15	290	145	
	16-20	240	120	
Не выпускающая кафедра	1-2	345	173	
	3-4	315	158	
	5-6	275	138	
	7-8	225	113	
Факультет	1	480	408	168
	2	450	383	158
	3	420	357	147
	4	400	340	140
	5	380	323	133
	за 10 студентов по привед. контингенту*	1	0,85	0,35

*Примечание: *Надбавка по приведенному контингенту предусмотрена только руководителям факультета*

«Рейтинг кафедры» заполняется заведующим кафедрой, утверждается на заседании деканата по принадлежности и передается секретарю университетской аттестационной комиссии (без подписей проректоров). Декан факультета несет персональную ответственность за представленную информацию.

В результате рассмотрения на совместном заседании деканата и комиссии факультета в отношении заведующих кафедрами выносится рекомендация аттестационной комиссии университета:

- аттестовать;
- аттестовать с замечанием;
- не аттестовать.

«Рейтинг факультета» заполняет декан факультета и передается секретарю аттестационной комиссии университета.

Аттестационная комиссия университета:

- подводит итоги по рейтингу ППС;
- рассматривает и утверждает рейтинг кафедр;
- рассматривает и утверждает рейтинг факультетов.

В результате рассмотрения аттестационная комиссия университета в отношении преподавателей, заведующих кафедрами и деканов рекомендует ректору:

- аттестовать;
- аттестовать с повышением в должности;
- аттестовать с замечанием;

- аттестовать с понижением в должности;
- не аттестовать.

На основании утвержденного протокола рейтинговой комиссии издается приказ по университету о рейтинговых надбавках к заработной плате.

Универсальность рейтинговой модели заключается в ее адаптации к любому вузу исходя из его размера, региональной принадлежности и других параметров. Это обусловлено тем, что рейтинговая оценка является видом количественного и качественного мониторинга деятельности преподавателя, кафедры, факультета, органично сочетающимся с другими методами оценки. К преимуществам рейтинговой оценки ППС можно отнести многокомпонентность процедуры оценки показателей качества квалификации и активности преподавателей по итогам года; возможность развивать у преподавателей навыки самооценки и анализа профессиональной деятельности. Недостатки такой системы кроются в ее сложности и непрозрачности.

Таким образом, рейтинговая система оценки труда профессорско-преподавательского состава позволяет путем выбора приоритетов направлять усилия, как отдельных работников, так и всего коллектива на скорейшее выполнение задач, наиболее актуальных для вуза. Система оценки труда стимулирует преподавателей к повышению личной квалификации в разных формах, к активному участию в учебно-методической и организационно-педагогической работе кафедры. Повышение «веса» того или иного вида деятельности сотрудников в системе оценки их работы может быть использовано в качестве мощного рычага в управлении деятельностью вуза, который позволяет обоснованно формировать выплаты стимулирующего характера по итогам работы за учебный год на основе показателей, отражающих аккредитационные требования по всем основным видам деятельности вуза, стратегические приоритеты вуза в данном учебном году.

Список литературы

- [1] Митина О.В., Бедрачук И.А. Разнообразие подходов к материальному стимулированию персонала с целью повышения результативности деятельности вуза // Университетское управление: практика и анализ.-2012. - №4. – С. 64-72.
- [2] Газалиев А.М., Егоров В.В., Брейдо И.В. Эффективность рейтинговой системы оценки деятельности преподавателей и подразделений вуза // Высшее образование сегодня. – 2010. – №4. – С. 11-15.
- [3] Шмидт Ю.Д., Купера А.В. Стимулирование труда профессорско-преподавательского и учебно-вспомогательного персонала вуза// Университетское управление: практика и анализ.- 2006. - №6. – С. 85-89.
- [4] Архипова Е.Н., Кононова О.В., Крюков В.В., Шахгельдян К.И. Автоматизация рейтинговой оценки деятельности преподавателей// Университетское управление.- 2010. - №5. - С. 51-62.
- [5] Крюков В.В., Шахгельдян К.И. Информационная система рейтинговой оценки деятельности преподавателя в вузе // Информатизация образования и науки. – 2009. – №4. – С. 54–65.

УДК 004.4

ШАГИ НА ПУТИ К ПОЛУЧЕНИЮ ПРЕСТИЖНОЙ РАБОТЫ В ПРОЕКТНОЙ КОМПАНИИ 1С"

А.А. Гуркин

ТОО «1С-Рейтинг»

Abstract. The issues in professionals' training for work in the project company are discussed. The common myths stated by students at interviews are provided and comments on them are given. Also recommendations on how to reduce the period of probation, to engage in work as quickly as possible, to start to benefit and improve your own financial condition are provided. Students may use this article as a guide to obtain the necessary knowledge in their educational institution, and to develop self-training with the use of this knowledge.

Keywords: 1C, project business, project implementation, job description, economic disciplines, accounting, management accounting, algorithmic foundations, subject area, software language.

Аннотация. Бұл мақалада жобалау компаниясында жұмыс істей алатын білікті мамандарды дайындау сұрақтары талқыланады. Сұхбаттасу кезінде студенттермен айтылатын көп таралған аңыздар көлтіріледі жене оларға түсініктеме беріледі. Сонымен катар сынақ мерзімін қысқарту, жұмысқа барынша тез кірісу, пайды әкеле бастау және өзінің қаржылық жағдайын жақсарту жайындағы ұсыныстар көлтірілген. Бұл мақаланы студенттер өзінің оқу орындауда қажетті білім алудағы нұсқаулық ретінде және оны қолдана отырып, өзбетінше дайындалу жұмыстарын бастай алады.

Кілттік сөздер: 1C, жобалау бизнесі, проекттік енгізу, лауазымдық қызмет нұсқаулығы, экономикалық дәрістер, бухгалтерлік есеп, басқармалы есеп, алгоритмизацияция негіздері, заттар саласы, бағдарламалау тілі.

Аннотация. В статье обсуждаются вопросы подготовки квалифицированных специалистов для работы в проектной компании. Приводятся распространенные мифы, высказываемые студентами на собеседованиях, и даются комментарии по ним. Также излагаются рекомендации, как снизить период испытательного срока, максимально быстро включиться в работу, начать приносить пользу и улучшить свое финансовое состояние. Студенты могут использовать данную статью как руководство по получению необходимых знаний в своем учебном заведении, и, используя их начать самостоятельную подготовку.

Ключевые слова: 1C, проектный бизнес, проектное внедрение, должностная инструкция, экономические дисциплины, бухгалтерский учет, управленческий учет, основы алгоритмизации, предметная область, язык программирования.

Цели и предпосылки. За время работы в проектном бизнесе определились четкие правила, касающиеся кадрового вопроса. Подготовка полноценного специалиста до состояния, когда он сам сможет выполнять достаточно сложные задачи, руководить небольшой проектной группой, выполнять роль бизнес-архитектора и постановщика задач, общаться с заказчиками на «их» языке, занимает в среднем 1,5 – 2 года. Чем короче этот временной промежуток, тем больше выгод получает сотрудник:

- меньше времени числится в «учениках»;

- расширяется круг задач;
- появляется возможность выполнять более сложные и интересные проекты;
- карьерный рост;
- улучшается финансовая составляющая – повышается оплата труда.

Постоянная работа с настоящими и только что закончившими учебными заведениями студентами, от оценки их ответов на собеседованиях, дальнейшей курсовой и преддипломной практики, до принятия решения о трудоустройстве, или отказе в оном, побудили обобщить соответствующий опыт.

Далее:

- рассмотрены распространенные мифы высказываемые студентами на собеседованиях, когда они приходят в нашу компанию;
- приведены комментарии по ним;
- а также даны рекомендации, как снизить период испытательного срока, максимально быстро включиться в работу, начать приносить пользу и соответственно улучшить свое финансовое состояние.

МИФ. Кодировать, кодировать и еще раз кодировать. Все остальное не важно. Каждый проект уникален, но большая часть из них проходит по проектному циклу (см. рис. 1):



Рисунок 1 Проектный цикл

По мере роста, специалисты, повышая свой уровень в области программирования, также участвуют во всех стадиях проекта. Ниже выдержка из процедуры ISO 9000 «Проектное внедрение» компании «1С-Рейтинг» (см. рис. 2):

И выдержка из должностной инструкции одной из должностей в карьерной лестнице (см. рис. 3):

Таким образом, сотрудникам с течением времени кроме программирования необходимо овладеть навыками (если таковых еще не получено) системного анализа бизнес-процессов и их реинжиниринга, проектирования, описания требований к системе, проверки разработанного функци-

Сотрудники 1С-Рейтинга	
Роль	Области ответственности
Внедренец	<ul style="list-style-type: none"> Вносит изменения в код существующего типового решения (см. документ 1СР-1-004) и/или создает его заново на основе спецификаций требований. Участвует в согласовании различных спецификаций требований. Участвует в согласовании архитектурных решений. Участвует в перекрестных рассмотрениях кода. Выполняет тестирование (см. документ 1СР-1-004) системы. Адаптирует существующие типовые учебные программы или разрабатывает новые в соответствии с потребностями проекта. Проводит обучение. Обеспечивает запуск системы в эксплуатацию: осуществляет начальные настройки системы, организует ввод начальных данных в систему, организует и осуществляет закачку данных из старых систем заказчика. Осуществляет наставничество (так называемое «обучение на месте») пользователей 1С: АС. Обеспечивает инициацию пользователями и инициирует (при объективной необходимости) запросы на изменения, сообщения о дефектах и несоответствиях, формы регистрации вопросов и проблем. Обеспечивает (в рамках проекта) консультации пользователей ИС в части использования 1С: АС, а также аппаратного и программного обеспечения, которое необходимо для нормального функционирования 1С: АС. Участвует (в рамках проекта) в разработке, разрабатывает, выполняет и совершенствует регламенты эксплуатации и обслуживания 1С: АС и ИС в целом.

Рисунок 2 Процедура ISO 9000 «Проектное внедрение» компании «1С-Рейтинг

II. Должностные обязанности	
1.	Реализация проектной деятельности. В зависимости от сложности проектов может выполнять самостоятельно, под руководством заместителя руководителя отдела проектов и/или руководителей проектных групп: <ol style="list-style-type: none"> Проводит обследование предприятий-заказчиков, осуществляет бизнес-анализ: разработку и анализ различных моделей процессов, функционирования предприятия, объекта автоматизации. Обеспечивает проект методическими материалами, которые необходимы для проведения различных исследований объекта автоматизации. Осуществляет концептуальное проектирование информационных систем. Разрабатывает спецификацию требований и архитектуру информационных систем. Участвует в обеспечении соответствия характеристик внедренных информационных систем потребностям заказчиков. Разрабатывает контрольные примеры и другие необходимые материалы для обеспечения тестирования информационных систем. Вносит изменения в код существующего типового решения и/или создает его заново на основе спецификаций требований. Участвует в согласовании различных спецификаций требований. Участвует в согласовании архитектурных решений. Участвует в перекрестных рассмотрениях кода. Обеспечивает запуск системы в эксплуатацию: осуществляет начальные настройки системы, организует ввод начальных данных в систему, организует и осуществляет закачку данных из старых систем заказчика. Выполняет тестирование информационных систем на предмет логических и модульных ошибок. Обеспечивает функционирование информационных систем. Обеспечивает консультации пользователей информационных систем. Участвует в разработке, разрабатывает, выполняет и совершенствует регламенты эксплуатации и обслуживания информационных систем. Адаптирует существующие типовые учебные программы или разрабатывает новые в соответствии с потребностями проектов. Проводит обучение. Организовывает и проводит переговоры (в рамках компетенции) с клиентами на проектах.

Рисунок 3 Должностная инструкция

онала, разработки инструкций. Часть из этих навыков можно приобрести уже в учебном заведении. Кроме вышеперечисленных также ценятся:

- желание вникать в новые предметные области;
- желание работать и зарабатывать.

Шаг № 1. Знание основ алгоритмизации.

МИФ. Есть «правильные» языки программирования, а есть 1С.

Проводя собеседования и тестирования, сталкиваемся с тем, что студенты зачастую не владеют банальными основами алгоритмизации, не говоря уже об объектно-ориентированном про-

граммировании. Если потенциальный кандидат умеет программировать в принципе, изучение любого «последующего» языка программирования – дело техники.

Шаг № 2. Знание предметной области.

МИФ. Предметная область ничто, кодинг – всё. Буду кодировать, а что кодировать, скажет кто-нибудь.

Решения на базе 1С являются решениями для бизнеса. Охват достаточно обширен (см. рис. 4):

- отрасли (промышленность, сфера услуг, медицина, полиграфия и т.д.);
- предметные области (производственный учет, бюджетирование, бухгалтерский учет, налоговый учет, управление закупками, управление финансами, управление основными средствами и т.п.);
- масштабы, измеряемые количеством пользователей системы (максимум по 1С на одном внедрении 7097 пользователей, «1С-Рейтинг» на одном внедрении – 567 пользователей).

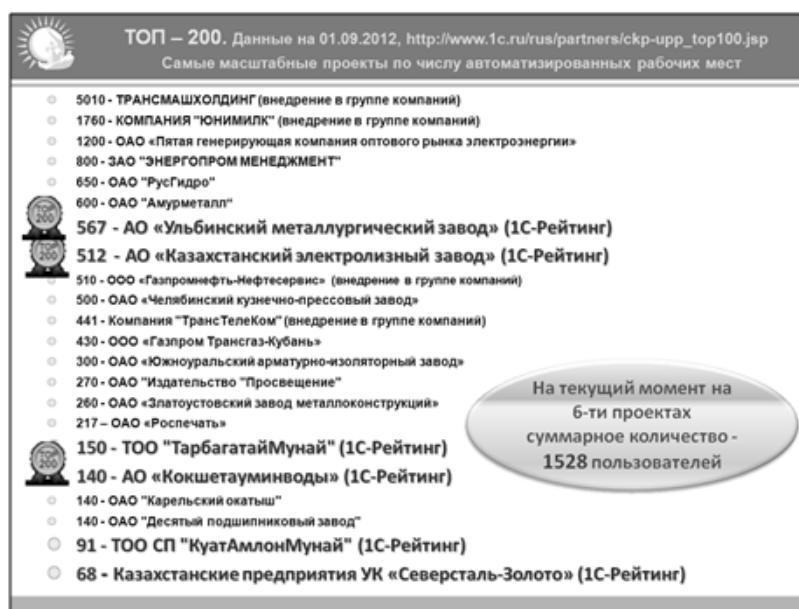


Рисунок 4 ТОП-200

По прошествии 12 лет в проектном бизнесе 1С мы постоянно утверждаемся во мнении, что не существует только программистов и только методистов. Первые не могут только программировать, не понимая что они делают, вторые не могут только знать учет без его применения в информационных системах.

Соответственно, сотрудникам необходимо оперировать большинством экономических терминов для того, чтобы максимально точно выражать свои мысли, общаться с клиентом на одном языке, проверять рабочий код и выполнять другие виды работ на проекте.

Процент экономических дисциплин в общем объеме достаточно небольшой. В основной своей массе студенты уделяют недостаточно внимания их изучению, не пытаются освоить дисциплины самостоятельно.

Сотрудники с определенными знаниями и навыками, могут иметь больший приоритет при приеме на работу. А также при дальнейшем распределении задач. Например:

- знание бухгалтерского и управленческого учета (проводки, разделы плана счетов, баланс, 4 основных отчета о фин.хоз.деятельности);
- принципы начисления зарплаты, расчета отчислений и налогов и т.п.;
- значение принципов расчета амортизации;
- и т.д.

Шаг №3. Другие области знаний.

МИФ. Программировать можно не выходя из дома и не общаясь. 21-й век на дворе. Можно в принципе не уметь разговаривать, все общение будет только в компьютере посредством написания текста.

Да действительно, технологии значительно помогают увеличить производительность труда, минимизировать командировки и в принципе проводить за компьютером больше времени не отрывая пятую точку от кресла. Но, поскольку работа на проектах – командная работа, ежедневно в течении дня в среднем проводятся 5-7 совещаний внутри отдела и столько же с представителями заказчиков. Наиболее частый формат – скайп, 2-3 участника с каждой стороны. Также постоянно идет большой поток деловой корреспонденции. Требуется соблюдать элементарные правила орфографии и синтаксиса. Если люди получают высшее образование, значит они по умолчанию должны говорить и писать правильно. Желательно владеть хотя бы минимальными навыками коммуникативности, уметь разговаривать, и, как это не странно, писать правильно. Большая часть переговоров с сотрудниками заказчиков осуществляется не с программистами, а с предметными специалистами (бухгалтера, производственники и технический персонал, финансисты, экономисты, снабженцы). Этому возможно и не учат в учебном заведении (все почем-то думают, что это привилегия гуманитарных специальностей), но мы в последнее время уделяем этому все большее внимания.

Настоящему или только что закончившему учебное заведение студенту после прочтения всего вышеописанного, может показаться, что пройдя все шаги, работать в серьезной и солидной компании может только какой-нибудь отличник (или на худой конец сверхчеловек), но никак не он сам. На самом деле, поставив перед собой цель овладеть всеми навыками, описанными в статье, можно не только получить необходимые знания в учебном заведении, но и начать самостоятельную подготовку, используя знания полученные на учебе как базу.

УДК 621.01

СИНТЕЗ ПЛОСКОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА 3-ГО КЛАССА С ВЫСТОЕМ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА

Ю.М. Дракунов, А.В. Шахворостова, А.Е. Абдураимов

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

Abstract. In this work we considered the problem of determining the optimal lengths of the link of planar mechanisms of third and fourth class with stop the output link. We used a general method of the synthesis of plane lever mechanisms specified by the laws of motion of input and output

elements, based on the use of initial kinematic chains with rotary pairs. This method provides a synthesis of all the possible structures of planar mechanisms, enables us to construct the objective function and the mechanism to synthesize the total number of parameters, given the constraints on these parameters. Developed computer programs discussed above the problems on the Maple system of analytical calculations.

Keywords: synthesis of mechanisms, stop the output link, the system Maple.

Аңдатпа. Берілген мақалада оптимальды буынның ұзындығының тегіс рычакты механизмін анықтау есебінің 3-ші класы қарастырылған. Жұмыста синтездің жалпы әдісі тегіс рычакты механизмі берілген қозғалыс заңы бойынша шығыс және кіріс буындарында қарастырылған, игеріушілік негізінде бастапқы кинематикалық цеп (ИКЦ) айналмалы қосалқымен қолданылады. Берілген синтез әдісінде барлық тегіс құрылымды механизмдерді алуға, шартты функция мен параметрлерің толық сандарын түргызуға механизмді синтездеуге болады. Бұның барлығы аналитикалық жүйеде Maple есептеледі.

Кілттік сөздер: механизм синтезі, шығыс буын, Maple жүйесі.

Аннотация. В данной статье рассматривается задача об определении оптимальных длин звеньев плоских рычажных механизмов 3-го класса с выстоем выходного звена. В работе был использован общий метод синтеза плоских рычажных механизмов по заданным законам движения входного и выходного звеньев, основанный на использовании исходных кинематических цепей (ИКЦ) с вращательными парами. Данный метод синтеза позволяет получить все возможные структуры плоских механизмов, позволяет построить целевую функцию и синтезировать механизм по полному числу параметров, учитывая ограничения на эти параметры. Все вычисления реализованы в системе аналитических вычислений Maple.

Ключевые слова: синтез механизмов, выстой выходного звена, система Maple.

Постановка задачи. Требуется синтезировать плоский рычажный механизм 3-го класса с выстоем выходного звена.

При проектировании машин большую роль играют механизмы с выстоем, у которых при непрерывном движении входных звеньев на некотором участке выходное звено остается неподвижным. Подобные механизмы необходимы, например, в текстильном, пищевом и полиграфическом производстве.

По определению выстой имеет место, когда одна или несколько последовательных производных функций положения выходного звена одновременно обращаются в нуль. Точная остановка достигается лишь в том случае, когда все последовательные производные от функции положения равны нулю. Поскольку в общем случае движение на выходе любого рычажного механизма является непрерывной функцией времени и фактически все производные являются непрерывными функциями, выстой, строго говоря, не может продолжаться конечное время. Точные остановки часто не являются необходимыми и на практике редко осуществляются из-за наличия ошибок. Поэтому чаще осуществляется приближенный выстой.

Пусть на неподвижной плоскости XOY задано движение двух подвижных плоскостей xO_iy и uD_iv , связанных с движением входного и выходного звеньев, т.е. заданы координаты и углы поворота для N положений подвижных плоскостей как функции времени t_i

$$X_{O_i} = X_{O_i}(t_i), \quad Y_{O_i} = Y_{O_i}(t_i), \quad \varphi_{1i} = \varphi_{1i}(t_i),$$

$$X_{D_i} = X_{D_i}(t_i), \quad Y_{D_i} = Y_{D_i}(t_i), \quad \varphi_{4i} = \varphi_{4i}(t_i), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Для того чтобы получить механизм, нужно на движение плоскостей наложить связи. Наложим связь в виде звена с вращательными кинематическими парами V класса [1].

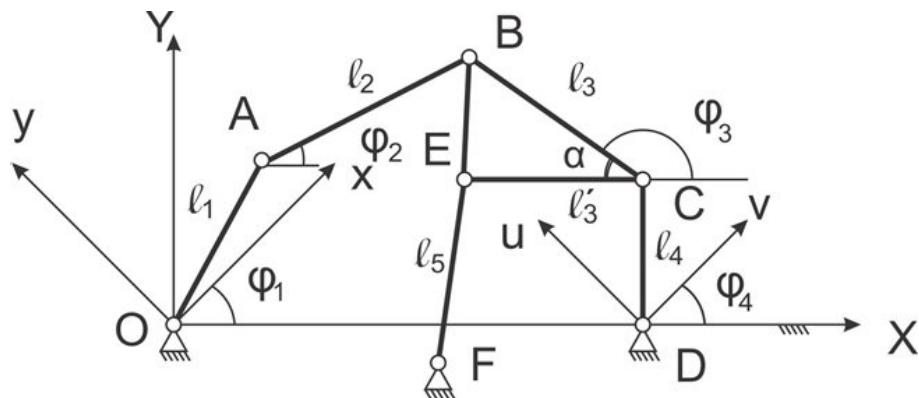


Рисунок 1 Механизм 3-го класса.

Для решения данной задачи составим следующую систему уравнений замкнутости

$$\begin{cases} l_1 \cos(\varphi_1 + \varphi_{10}) + l_2 \cos \varphi_2 = 1 + l_4 \cos(\varphi_4 + \varphi_{40}) + l_3 \cos \varphi_3 \\ l_1 \sin(\varphi_1 + \varphi_{10}) + l_2 \sin \varphi_2 = l_4 \sin(\varphi_4 + \varphi_{40}) + l_3 \sin \varphi_3 \end{cases} \quad (1)$$

Из уравнений (1) найдем φ_2 и φ_3 .

Полученная ИКЦ имеет лишнюю степень свободы, необходимо исключить ее путем наложения геометрических связей на относительные движения звеньев ИКЦ. Связь накладывается в виде звена EF. Точка E является круговой точкой [2].

Координаты точки E_i в неподвижной системе координат XOY выразим в виде:

$$\begin{cases} x_{E_i} = 1 + l_4 \cos(\varphi_4 + \varphi_{40}) + l'_3 \cos(\varphi_3 + \alpha) \\ y_{E_i} = l_4 \sin(\varphi_4 + \varphi_{40}) + l'_3 \sin(\varphi_3 + \alpha) \end{cases} \quad (2)$$

Расстояние между точками E_i и F_i должно быть неизменным, поэтому для целевой функции запишем выражение взвешенной разности (отклонения) [3]

$$\Delta_i = [(x_{E_i} - x_{F_i})^2 + (y_{E_i} - y_{F_i})^2 - l_5^2] \quad (3)$$

После подстановки (2) в (3) получим

$$\begin{aligned} \Delta_i = & 1 + 2l_4 \cos(\varphi_4 + \varphi_{40}) + 2l'_3 \cos(\varphi_3 + \alpha) - 2x_F + 2l_4 \cos(\varphi_4 + \varphi_{40})l'_3 \cos(\varphi_3 + \alpha) - \\ & 2l_4 x_F \cos(\varphi_4 + \varphi_{40}) + l'^2_3 \cos^2(\varphi_3 + \alpha) - 2l'_3 x_F \cos(\varphi_3 + \alpha) + x_F^2 + l_4^2 + \\ & 2l_4 \sin(\varphi_4 + \varphi_{40})l_3 \sin(\varphi_3 + \alpha) \end{aligned}$$

Составим целевую функцию видом суммы квадратов

$$S = \sum_{i=1}^N \Delta_i^2 \quad (4)$$

Далее минимизируем выражение (4) при помощи метода оптимизации CDOS. (Conjugate Direction with Orthogonal Shift), который использует сопряженные направления с ортогональным сдвигом (CHOC). Находим 11 параметров механизма $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, x_F, y_F, \varphi_{10}, \varphi_{40}, l'_3, \alpha$.

Данный метод имеет квадратичную сходимость для квадратичных и близких к ним функций, он не требует, чтобы целевая функция имела производные или была непрерывна. Для задач с ограничениями данный метод учитывает ограничения в виде неравенств напрямую и не требует,

чтобы ограничения имели производные и были непрерывны. Более того, метод не использует численные значения ограничений в виде неравенств, он использует только сам факт их нарушения или отсутствия нарушений.

Метод CDOS имеет следующие особенности [4]: он имеет квадратичную сходимость для квадратичных и близких к ним функций; он более надежен, чем метод Нелдера-Мида, при оптимизации недифференцируемых функций; он не требует, чтобы целевая функция была определена за границами ограничений; он использует ограничения в виде неравенств напрямую; он быстро проводит поиск вдоль границ ограничений и др.

CDOS метод, также как и методы Пауэлла и Брента, использует сопряженные линейные направления поиска. Два направления u_i и u_j являются сопряженными, если, $u_i^T H u_j = 0, i \neq j, u_i^T H u_j \geq 0, i = j$, где H - положительно определенная матрица Гессе: $H = \left| \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial}{\partial x_j} f(x) \right) \right|, i, j = 1..n$. Если функция $f(x_1, \dots, x_n)$ представляет собой n -мерную квадратичную функцию, то ее минимум (максимум) будет достигнут после одномерных поисков в различных взаимно-сопряженных направлениях. Поэтому точка экстремума n -мерной квадратичной функции будет достигнута после того как n сопряженных направлений будут построены в первый раз.

В процессе построения сопряженных направлений в CDOS методе используется ортогональный сдвиг от подмножества уже построенных сопряженных направлений. Этот ортогональный сдвиг значительно увеличивает надежность метода и придает ему новые уникальные свойства. Эти новые свойства принципиально отличают метод CDOS от других методов, имеющих квадратичную сходимость. Главные из этих свойств – это быстрое прохождение вдоль границ ограничений и резко возросшая надежность при оптимизации недифференцируемых функций.

Алгоритм минимизации состоит из трех стадий. На первой стадии первое направление поиска определяется как направление противоположное квазиградиенту целевой функции. На второй стадии конструируются первые n сопряженных направлений с использованием ортогонального сдвига. Третья стадия представляет собой основной итеративный цикл. В этом цикле происходит обновление уже построенных сопряженных направлений с использованием ортогонального сдвига. Ниже, мы рассмотрим эти три стадии более детально на примере минимизации n -мерной функции $f(x_1, \dots, x_n), n > 1$.

Решение данной задачи полностью автоматизировано в системе аналитических вычислений Maple. Была написана процедура, позволяющая решать системы уравнений вида $A \cos \varphi + B \cos \psi = C, A \sin \varphi + B \sin \psi = E$ и получить ее численное решение при помощи команды `evalf()`. При помощи данной процедуры решается система уравнений (1). Из данных уравнений были найдены φ_2 и φ_3 .

Также была реализована процедура `FindPar()` для составления суммы квадратов целевой функции (4) по 11 параметрам: $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, x_F, y_F, \varphi_{10}, \varphi_{40}, l'_3, \alpha$. В процедуре были задействованы выражения (2),(3),(4). Полученная процедура была минимизирована при помощи функции `Search()`. Команда `Search()` численно находит минимум (максимум) нелинейной функции многих переменных, реализует метод CDOS. При поиске были заданы ограничения на длины звеньев (все длины положительные) и количество вычислений целевой функции, начиная с заданной начальной точки. Так были найдены постоянные параметры механизма. Было задано движение выходного звена согласно следующего графика

Таким образом, был синтезирован плоский передаточный рычажный механизм 3-го класса по 11 параметрам с выстоем. Автоматизированным способом были найдены оптимальные длины звеньев в системе Maple, а также были разработаны программы для рисования примитивов (зве-

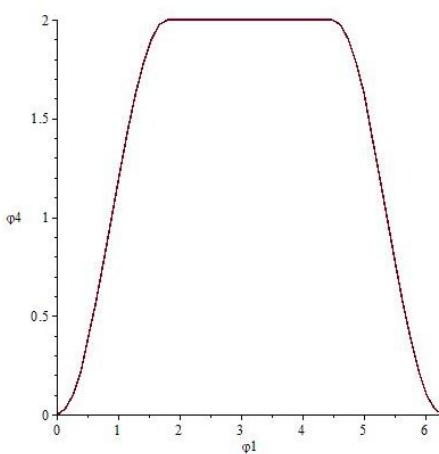


Рисунок 2 График движения выходного звена.

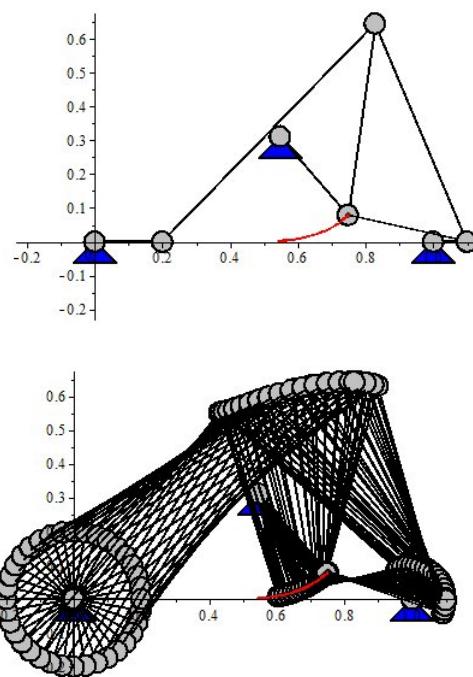


Рисунок 3 Анимационная картина движения

ния, стойки и т.д.), с помощью которых изображен данный механизм и построено анимационное движение механизма 3-го класса с учетом полученных оптимальных длин звеньев и с заданным выстоем выходного звена.

Список литературы

- [1] Саркисян Ю.Л. Аппроксимационный синтез механизмов. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982, - 304с.
- [2] Косболов С.Б. Разработка методов кинематического анализа и синтеза плоских рычажных механизмов на основе исходных кинематических цепей: диссертация канд. тех. наук. - Алматы, 1987, - 182 с.

- [3] Левитский Н.И. Теория механизмов и машин: учеб. пособие. -2-ое изд., перераб. и доп. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. -592 с.
- [4] Моисеев. С.Н. Универсальный метод оптимизации без использования производных с квадратичной сходимостью. - Россия, Воронеж, 2001, - 25с.

УДК 004.94

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ

М.Г. Емельянова, Н.П. Зарубин

Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева

Abstract. The paper gives examples of the use of computer modeling of the central elastic, inelastic and oblique shocks balls and calculations were made of the physical quantities using the laws of conservation of energy and momentum. The calculations were performed for different values of the masses and velocities of the interacting bodies. The results are shown in tables and graphs.

Keywords: computer modeling, laws of conservation of energy and momentum.

Аңдатпа. Мақалада энергия мен импульстың сақталу заңын пайдалана отырып, физикалық шамалар тәуелділіктерінің есептері мен шарлардың орталық серпімді, серпімсіз және қысық соққылардың компьютерлік үлгілеуін қолдану үлгілері көлтіріледі. Есептер өзара әрекеттесетін денелердің әртүрлі салмақ мәндері мен жылдамдықтары кезінде өткізілген. Қорытынды кестелер мен графиктер түрінде көрсетілген.

Кілттік сөздер: компьютерлік үлгілеуін, энергия мен импульстың сақталу заңын.

Аннотация. В статье приводятся примеры использования компьютерного моделирования центрального упругого, неупругого и косого ударов шаров и расчётов зависимостей физических величин с использованием законов сохранения энергии и импульса. Расчёты проведены при различных значениях масс и скоростей взаимодействующих тел. Результаты представлены в форме таблиц и графиков.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, законы сохранения энергии и импульса.

Специфика новой системы образования должна проявляться в её способности не только вооружать знаниями обучающегося, но и формировать потребность в непрерывном самостоятельном овладении ими, развивать умения и навыки самообразования, самостоятельного и систематического приобщения к научным способам познания. Речь идет о таких знаниях, которые, во-первых, способны формировать широкий, целостный, энциклопедический взгляд на современный мир и место человека в этом мире; во-вторых, позволяют преодолеть предметную разобщенность и изолированность.

Исследования психологов позволяют утверждать, что чем больше своего труда вкладывает обучающийся в познавание темы, тем лучше он в ней разбирается, лучше запоминает.

Физика – наука экспериментальная: всё физическое знание добыто в конечном итоге из опыта, а не путем чистых размышлений. Для того чтобы сформулировать самый простой физический закон, необходимо абстрагироваться от тех черт предмета или явления, которые несущественны

или кажутся таковыми исследователю, то есть создать физическую модель. Без модели невозможно ничего объяснить, обобщить, понять сущность чего бы то ни было. Формирование знаний лишь тогда оказывается плодотворным, когда осуществляется в неразрывной связи с выработкой учебно-познавательных умений. Большие возможности в развитии познавательных умений даёт компьютерное моделирование физических явлений.

Покажем это на примере исследования столкновений тел, закона сохранения импульса.

Историческая справка. Закон сохранения импульса у Декарта появился раньше, чем были сформулированы законы динамики Ньютона. Но Декарт считал постоянным сумму модулей импульсов тел. Когда Гюйгенс начал проводить опыты по соударению тел, движущихся в противоположных направлениях, он заметил ошибку Декарта и исправил её. У Ньютона закон сохранения импульса получен из законов динамики и рассматривается как одно из их следствий, а не универсальный закон природы.

Появление на сцене различных элементарных частиц и исследование их столкновений и превращений, а также разработка теории реактивного движения заставили учёных взглянуть на этот закон с иной точки зрения и сделать переоценку его значения в процессе познания. Сейчас он считается универсальным законом природы, не имеющим исключений. Закон широко применяется при расчётах столкновений элементарных частиц, макроскопических тел, отдачи при выстреле и реактивной силы, создаваемой ракетным двигателем.

В наших исследованиях моделируются простейшие взаимодействия – упругий, неупругий и косой центральные удары шаров.

Исследования соударений двух шаров массами m_1 и m_2 , движущихся по прямой со скоростями v_1 и v_2 основано на законе сохранения проекции импульсов и законе сохранения энергии. Скорости тел до удара v_1 , v_2 и после него u_1, u_2 направлены вдоль одной прямой – оси ох, проходящей через центры инерции тел. Проекции этих скоростей на ось ох связаны соотношениями:

$$u_1 = \frac{(m_1 - km_2)v_1 + m_2(1 + k)v_2}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

$$u_2 = \frac{m_1(1 + k)v_1 + (m_2 - km_1)v_2}{m_1 + m_2} \quad (2)$$

$$k = \frac{u_2 - u_1}{v_1 + v_2} \quad (3)$$

Величины v_1 , v_2 , u_1 и u_2 положительные или отрицательные в зависимости от того, как направлен соответствующий вектор скорости.

Величина k называется коэффициентом восстановления. Она равна отношению абсолютных значений относительных скоростей тел после и до удара и зависит только от упругих свойств соударяющихся тел.

В разработанной компьютерной программе моделируется процесс соударения шаров при абсолютно упругом, неупругом, косом центральных ударах. На рисунке 1 приведены некоторые экранные формы расчёта параметров абсолютно упругого удара двух тел.

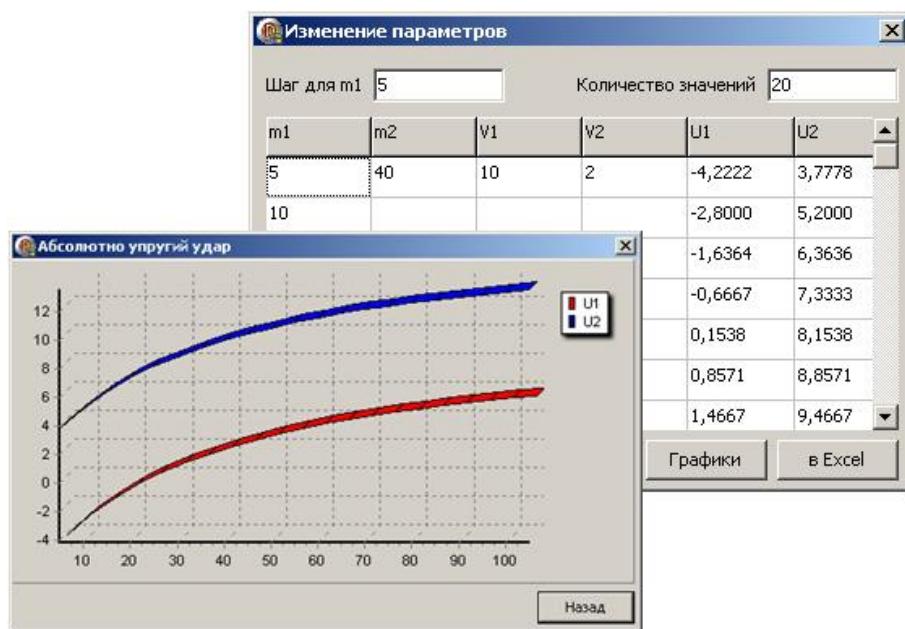


Рисунок 1 Результаты расчёта параметров абсолютно упругого удара двух тел

При абсолютно неупругом ударе между телами действуют непотенциальные силы, и после удара тела движутся как одно целое с общей скоростью.

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (4)$$

$$S = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2) \quad (5)$$

Величину S называют ударным импульсом.

Удар пластичных, неупругих тел сопровождается потерей их кинетической энергии.

Кинетическая энергия до удара:

$$E_0 = \frac{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}{2} \quad (6)$$

Кинетическая энергия после удара:

$$E_k = \frac{(m_1 + m_2) u^2}{2} \quad (7)$$

Уменьшение механической энергии системы сопровождается возрастанием внутренней энергии – выделяется тепло:

$$Q = E_0 - E_k \quad (8)$$

Соотношение выделенной энергии к начальной:

$$k = \frac{Q}{E_0} \quad (9)$$

На рисунке 2 приведены некоторые экранные формы расчёта параметров абсолютно неупругого удара двух тел.

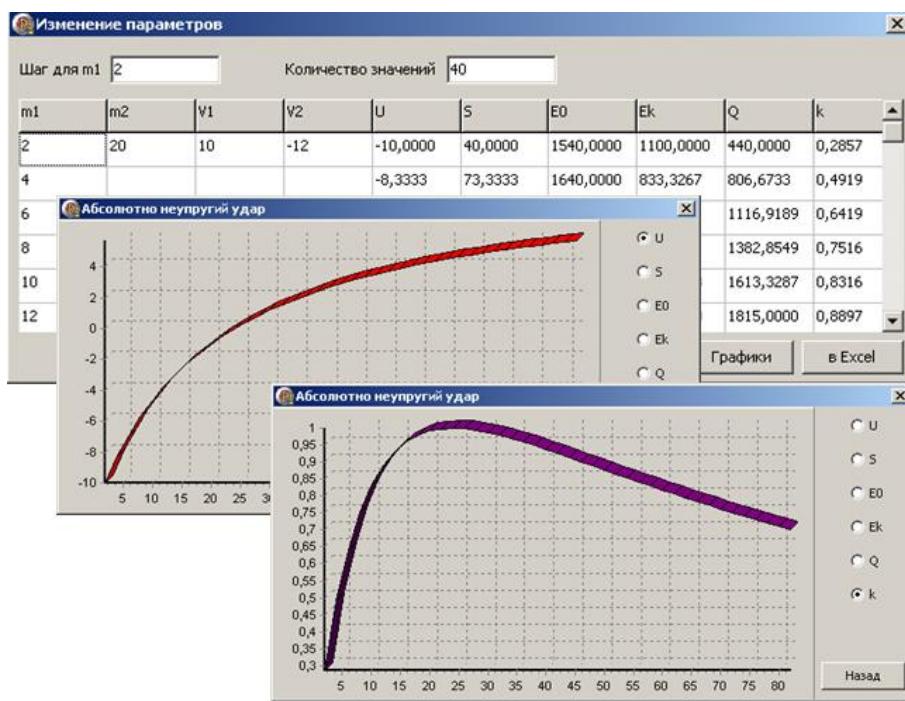


Рисунок 2 Результаты расчёта параметров абсолютно неупругого удара двух тел двух тел

При косом центральном ударе изменяются только нормальные составляющие скоростей тел, параллельные линии удара:

$$u_{1n} = \frac{(m_1 - km_2)v_{1n} + m_2(1 + k)v_{2n}}{m_1 + m_2} \quad (10)$$

$$u_{2n} = \frac{m_1(1 + k)v_{1n} + (m_2 - km_1)v_{2n}}{m_1 + m_2} \quad (11)$$

$$k = \frac{u_{2n} - u_{1n}}{v_{1n} + v_{2n}} \quad (12)$$

Изменяя значения масс шаров и их скоростей можно наблюдать за изменением всех параметров. В программе можно просмотреть результаты расчётов в табличной форме, вывести результаты в Excel, а также в графической форме. Графики строятся по всем параметрам расчётов. Реализация созданной программы осуществлялась в визуальной среде программирования Delphi.

Использование разработанной компьютерной программы, в которой зависимости представлены в виде таблиц и графиков способствует не только чёткому пониманию физических понятий и законов, но и вызывает интерес обучающегося и прочное запоминание, а также способствует глубокому изучению рассматриваемых физических явлений.

Список литературы

- [1] Исследование столкновений с помощью электронных таблиц. И.Н. Зарубина, Н.П. Зарубин // Информатика и образование. 2011. - №2
- [2] Курс общей физики. Механика: Учебное пособие. Павлов А.М. Усть-Каменогорск: Издательство ВКГУ, 1993.

- [3] Закон сохранения импульса. В.Чивилев// Квант. 2010. - №2
- [4] Соударение тел. В.Козлов// Квант. 1995. - №4
- [5] Справочник по физике: пер. с нем. Х. Кухлинг - М.; Мир. 1982.

УДК 532.517.4

ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ НАВОДНЕНИЯ МЕТОДАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

А.Ж. Жайнаков, А.Ы. Курбаналиев

Институт горного дела и горных технологий им. У.И. Асаналиева Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызстан,
Кызыл-Кийский гуманитарно-педагогический институт Баткенского государственного университета, Кызыл-Кия, Кыргызстан

Abstract. The results of the large-scale flooding flows numerical modeling on the complicated topographical terrain were presented in this paper. A modeling is based on the Reynolds-averaged 3D unsteady Navier-Stokes equations. The free surface tracking was performed by the volume of fluid method. General numerical solution of the governing equations is based on the open source package OpenFOAM 2.1.1 solver interFoam. The adequacy of the mathematical model is verified by comparison with the corresponding experimental data. The efficiency of used technology was illustrated in the examples of possible flooding flows modeling on the terrain near Osh town (Kyrgyzstan) and Snake Canyon River(USA).

Keywords: numerical simulation, volume of fluid, free surface, OpenFOAM.

Аннотация. В данной работе приведены результаты численного моделирования крупномасштабного наводнения в местностях со сложным рельефом. Моделирование основано на осредненных по Рейнольдсу трехмерных нестационарных уравнениях Навье-Стокса. Определение положения свободной границы проводилось методом объема жидкости. Общее численное решение уравнений основано решателем interFoam открытого пакета OpenFoam 2.1.1. Адекватность математической модели проверяется путем сравнения с соответствующими экспериментальными данными. Эффективность технологии иллюстрируется на примерах моделирования возможного наводнения местностей вблизи г. Ош (Кыргызстан) и Snake Canyon River (USA).

Ключевые слова: численное моделирование, метод объема жидкости, свободная граница, OpenFOAM.

Математическое моделирование с применением современных прикладных пакетов вычислительной гидродинамики является эффективным инструментом прогнозирования различных техногенных и природных явлений. По числу повторяемости, площади распространения и ежегодному материальному ущербу среди природных стихийных катаклизмов затопление водой местности и населенных пунктов занимает первое место.

В данной работе ставится задача прогнозирования последствий крупномасштабной техногенной ситуации, связанной с разрушением плотин водохранилищ вблизи г. Ош, Кыргызстан [1]

и наводнение территории Snake Canyon River [2] USA. Замыкание осредненных по Рейнольдсу нестационарных трехмерных уравнений Навье-Стокса, описывающих рассматриваемые движения несжимаемой вязкой жидкости, проводилось с помощью стандартной — модели турбулентности. Дискретизация расчетной области и дифференциальных уравнений в частных производных выполнена методом контрольного объема [3, с. 24].

Для вычисления объемных интегралов по контрольному объему использовалась общая процедура Гаусса, а значение функции на поверхности интерполируется из значений функций в центроидах соседних ячеек. В качестве схемы дискретизации производной по времени использовалась явная схема Эйлера первого порядка. Использование разностной схемы против потока для конвективных и Gauss linear схемы для диффузионных членов дает приемлемую точность численных расчетов. Для связанного расчета поля скорости и давления использовалась процедура PISO с числом корректоров 3 [4, стр. 178]. Для решения полученной системы линейных алгебраических уравнений использовались итерационные солверы PCG [4, стр. 107] и PBiCG метод (би-)сопряженных градиентов с предобусловливанием [4, стр. 110]. В качестве предобусловливателя были выбраны процедуры DIC предобусловливатель, основанный на упрощенной схеме неполной факторизации Холецкого и DILU предобусловливатель, основанный на упрощенной неполной LU факторизации.

Для проверки адекватности математической модели и достоверности полученных численных расчетов рассмотрена модельная задача обрушения столба жидкости в канале с плоским дном при отсутствии/наличии препятствия. Также моделируется задача перетекания жидкости через плотину трапециевидной формы. Сравнение численных результатов модельных задач с соответствующими экспериментальными данными показывает достаточно хорошее совпадение между ними.

В расчетах для моделирования наводнения местности вблизи г. Ош использовались топографические данные Digital Terrain Elevation Data [1], которые в последующем были преобразованы в стереолитографический формат (STL-файл) в виде текста(ASCII). А топографические данные местности Snake Canyon River входит в состав OpenFOAM. Далее, топографические данные в этом формате импортируются в OpenFOAM посредством встроенной утилиты snappyHexMesh.

В работе представлены результаты математического моделирования сложного гидродинамического явления на основе нестационарных трехмерных уравнений Навье-Стокса, описывающих динамику газожидкостной смеси со свободной границей. Адекватность применяемой модели проверена на примере классической задачи частичного прорыва дамбы. Особое внимание удалено на точность расчета уровня потока воды и давления в различных точках местности.

Список литературы

- [1] <http://data.geocomm.com/catalog/KG/group121.html>.
- [2] <http://www.visitidaho.org/attraction/natural-attractions/snake-river-canyon/>
- [3] Патанкар С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 152 с.
- [4] Ferziger J. H., Peric M. Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer Verlag, 2002. -423 p.

УДК 681.322:533.9

РАЗВИТИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФИЗИКЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ

А. Жайнаков, Дж.О. Усенканов

Широкое использование электродуговой плазмы в технике и науке с тридцатых годов двадцатого столетия привлекло к нему большое внимание инженеров и ученых всего мира. С развитием науки и техники область применения электродуговых плазменных устройств все более расширяется, и невозможно сегодня предсказать в каких технологических процессах она не найдет применения. И поэтому дальнейшее изучение теплофизических процессов и свойств электродуговой плазмы остается актуальной проблемой привлекающей внимание ученых.

С середины прошлого столетия, наряду с экспериментальными методами исследования, все большее значение приобретают теоретические методы исследования. Развитие теоретических методов позволило выявить основные закономерности физических процессов в электрической дуге, роль отдельных сил в процессе нагрева и ускорения плазмы. Наряду с этим исследования показали, что сложная взаимосвязь физических процессов в электродуговой плазме не позволяют на основе аналитических методов получать количественные соотношения для многообразных электродуговых устройств, отличающихся как техническим исполнением, так и применением.

Развитие вычислительной техники в семидесятых годах двадцатого столетия позволило решить численно ряд актуальных задач, которые не могли быть решены аналитически. Большой вклад в развитие вычислительных технологий и математического моделирование электродуговой плазмы внесли ученые Кыргызстана. Первыми численными исследованиями электрической дуги в Кыргызстане являются работы автора. Первоначально численные исследования электрической дуги проводились в рамках каналовых и интегральных моделей, а также в приближении пограничного слоя. Относительная простота математических моделей обусловлена тем, что уровень развития вычислительных технологий и численных методов решения МГД-уравнений не позволял решать задачи в более сложной постановке. Тем не менее, проведенные исследования позволили существенно расширить и углубить знания о протекающих физических процессах. Впервые был выполнен численный анализ характеристик дуги на начальном участке плазматрона с учетом электромагнитных сил дуги. Выявлены основные механизмы нагрева и течения газа, определены важные характеристики дуговой плазмы [1-3].

Новое поколение ЭВМ стимулировало дальнейшие численные исследования в области низкотемпературной плазмы. Группой ученых, под моим руководством, были развиты двумерные математические модели электродуговой плазмы как в приближении локального термодинамического равновесия [4], так и с учетом отклонения плазмы от термического и ионизационного равновесия [5]. Использование двумерных моделей позволило заметно расширить круг исследуемых задач. Проведены численные исследования открытых электрических дуг и плазматронов. Обнаружены качественно новые вихревые режимы течения плазмы, выявлены условия формирования «плазменных тарелок» как результат соударения катодных и анодных струй. Рассмотрено влияние закрутки газа на характеристики дугового потока [6].

Выполнены численные исследования сжатых электрических дуг [7]. Проведены расчеты стол-

ба электродугового разряда и взаимодействующего с ним жидкого металла сварочной ванны [8-9].

Результаты выполненных исследований позволили значительно расширить и углубить знания о протекающих теплофизических процессах в электродуговой плазме.

Наконец, появление в последние годы быстродействующих компьютеров с большим объемом оперативной памяти позволили приступить к решению более сложных задач в рамках трехмерной математической модели [10].

Дальнейшее развитие модели позволило проводить расчеты с учетом термической и ионизационной неравновесности плазмы, а также с учетом влияния магнитного поля электродов на столб дуги. В рамках трехмерной математической модели численно исследованы характеристики дуги во внешнем поперечном магнитном поле, а также в скрещенном магнитном и газодинамическом поле. Выявлены механизмы нагрева и течения плазмы, причины смещения и деформации дугового столба во внешнем магнитном поле [11-13]. Предложена математическая модель, в основу которой положена полная нестационарная система магнитогазодинамических уравнений. Исследовано получение стационарного режима течения и нагрева газа электрической дугой в канале методом установления.

В [14] на основе магнитогазодинамических (МГД) уравнений проведен численный анализ нестационарного течения полностью ионизованной плазмы в профицированном канале. В [15,16] проводится анализ стационарных электродуговых потоков плазмы на основе полной нестационарной системы МГД-уравнений методом установления. В отличие от [14] плазма инжектируется в длинный цилиндрический канал из электродного насадка [17] и стабилизируется коаксиальным потоком холодного газа.

В качестве примера рассмотрим задачу о влиянии граничных условий при совместном рассмотрении электрической дуги и сварочной ванны.

В случаях, когда требуется определить взаимное влияние физических процессов в электрической дуге и в обрабатываемом изделии возникает необходимость в учете физических процессов происходящих на границе «столб дуги – обрабатываемое изделие». При разработке технологий обработки материалов, понимание физических процессов именно на этой границе становится наиболее важными.

Поэтому, для дальнейшего развития теории электродугового разряда, необходимо исследовать взаимное влияние гидродинамических, тепловых и электромагнитных величин столба дуги и обрабатываемого изделия.

Математическая модель.

Электродуговой разряд.

Математическое моделирование физических процессов в электродуговой плазме осуществляется в основном на базе системы магнитогидродинамических (МГД) уравнений [22]. При записи системы МГД уравнений учитывается, что главной причиной протекания электрического тока в электродуговом разряде является внешнее электрическое поле. Роль индуцированного электрического поля незначительна. Нагрев электродуговой плазмы осуществляется в основном за счет джоулева тепла. Электродуговая плазма рассматривается как несжимаемая электропроводящая жидкость, которая в каждой точке пространства в любой момент времени t характеризуется определенной скоростью, давлением P и температурой T . Записанная с учетом вышесказанного система МГД уравнений называется системой уравнений электродуговой плазмы.

Электродинамика дугового разряда описывается уравнениями Максвелла

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = 0 \quad (1)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad (2)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = 0 \quad (3)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = j \quad (4)$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \epsilon_o \mathbf{E} \quad (5)$$

$$\mathbf{B} = \mu \mu_o \mathbf{H} \quad (6)$$

закон Ома в простой форме

$$j = \sigma \mathbf{E} \quad (7)$$

При записи уравнений гидродинамики предполагается, что течение электродуговой плазмы стационарное и ламинарное. Уравнением неразрывности

$$\operatorname{div}(\rho \nu) = 0 \quad (8)$$

Уравнениями движения являются уравнения Навье-Стокса дополненные электростатическими и электромагнитными слагаемыми [22]:

$$\rho(\mathbf{v} \cdot \operatorname{grad})\mathbf{v} = \mathbf{j} \times \mathbf{B} \operatorname{grad}(P + \frac{2}{3}\mu \operatorname{div} \mathbf{v}) + 2\operatorname{div}(\mu S') \quad (9)$$

где вязкий тензор напряжений для несжимаемой жидкости [46].

Диссилируемая энергия существенно меньше кинетической энергии потока, поэтому в дальнейшем его можно не учитывать. При этих предположениях, уравнение энергии запишется в виде:

$$\rho \nu \cdot \operatorname{grad}(h + \frac{\nu^2}{2}) = \mathbf{j} \cdot \mathbf{E} - \phi + \operatorname{div}(\frac{\lambda}{C_p} \operatorname{grad} h) \quad (10)$$

Таким образом, для описания процессов в столбе электрической дуги в дальнейшем будут использоваться система уравнений (1-10). Система уравнений дополняется соотношениями, которые описывают состояние среды и зависимость свойств среды от температуры и давления:

$$\rho = \rho(T, P), \sigma = \sigma(T, P), \lambda = \lambda(T, P), \mu = \mu(T, P), C_p = C_p(T, P), h = h(T, P), \psi = \psi(T, P) \quad (11)$$

Расплавленный металл

При электродуговой сварке под воздействием столба электрической дуги в теле изделия происходит плавление металла и образуется объем жидкого металла (сварочная ванна). Жидкий металл по существу представляет собой плотную плазму. Эти особенности строения и определяют методы исследования жидких металлов, опирающиеся на теорию классической однокомпонентной плазмы и теорию простых жидкостей [56].

Таким образом, математическое моделирование процессов в сварочной ванне проводится на основе системы МГД уравнений (1-10). Все допущения принятые для электродуговой плазмы,

кроме пункта об излучении, которое для жидкого металла не учитываются, верны и для жидкого металла.

Условия на границе «столб дуги – металл»

Вследствие отсутствия достаточно простой модели прианодных процессов на границе «столб дуги – металл» предполагается, что: обмен тепла между электрической дугой и металлом осуществляется за счет теплопроводности и за счет работы выхода электронов ϕ_0 , т.е. ставятся граничные условия:

$$\lambda_{cd} \frac{\partial T_{cd}}{\partial z} + j\phi_0 = \lambda_{jm} \frac{\partial T_{jm}}{\partial z} \quad (12)$$

Границу плазма - жидкий металл считаем горизонтальной линией раздела двух вязких несмешивающихся жидкостей.

Для аксиальной составляющей скорости на границе выполняется условие непроницаемости

$$U_{cd} = U_{jm} = 0.$$

Для радиальной составляющей скорости выполняется условие прилипания

$$\nu_{cd} = \nu_{jm},$$

Равенство касательных напряжений приводит к выполнению равенства

$$\mu_{cd} \frac{\partial \nu_{cd}}{\partial z} = \mu_{jm} \frac{\partial \nu_{jm}}{\partial z}$$

здесь μ - коэффициенты динамической вязкости контактирующих сред.

Результаты расчета.

Расчетная область включает в себя сопло плазматрона, с внутренним электродом, открытую область между срезом сопла и анодом, и анод, рабочая поверхность анода представляет собой плоскую пластину.

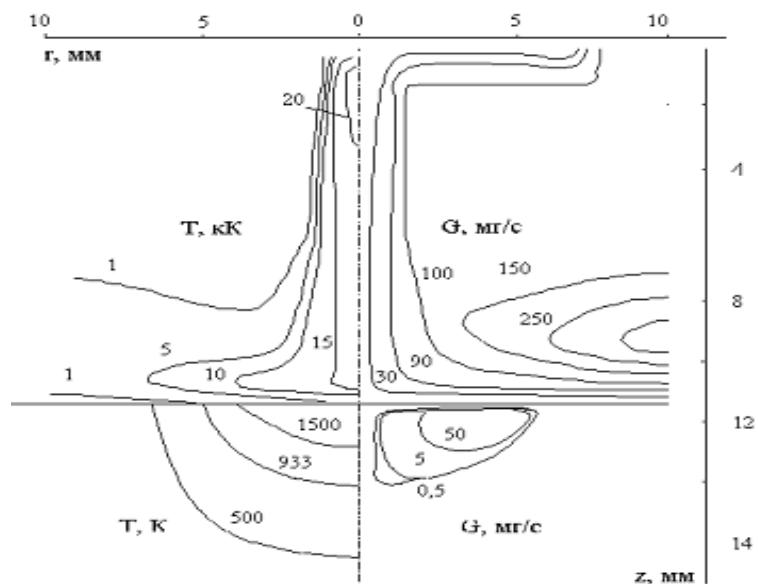


Рисунок 1 Поля температур и линии равных расходов в столбе дуги и в расплавленном металле анода

Для выяснения влияния режима работы анода на параметры столба дуги были проведены расчеты при разных граничных условиях на нижней границе анода. Расчет проводился для дуги в среде аргона, при расходе газа 100 мг/с, силе электрического тока 100 А.

На рис. 1 приведены поля расходов и изотермы в столбе дуги и в расплавленном металле при условии свободного теплообмена с окружающей средой на нижней границе анода, т.е. на нижней границе анода для энталпии задавалось условие

$$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Поля температур и изотерм при условии незначительного теплообмена с окружающей средой, т.е. когда по всей внешней границе анода задавалось условие

$$\frac{\partial h}{\partial z} = 0,$$

приведены на рис. 2.

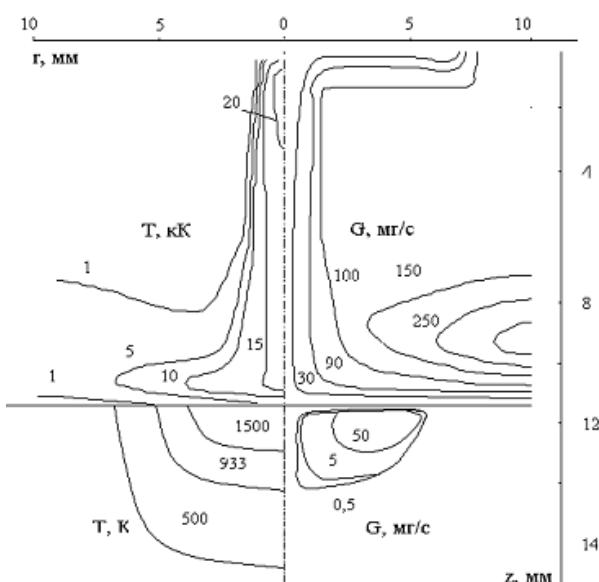


Рисунок 2 Поля температур и линии равных расходов в столбе дуги и в расплавленном металле анода

Как видно из этих рисунков, в области столба дуги, поля температур и газодинамического тока практически не отличаются для обоих случаев, отличие наблюдается только в области расплавленного металла. В случае незначительного обмена тепла с окружающей средой, в отличие от случая свободного обмена тепла, несколько увеличены размеры сварочной ванны и наблюдается больший прогрев металла анода. Отводимое, в первом случае, из анода теплопроводностью тепло, используется в этом случае на нагрев тела анода.

Подводя краткий итог, можно констатировать, что математическое моделирование электродуговой плазмы на основе новых вычислительных и компьютерных технологий позволяет заметно продвинуться в понимании сложного комплекса процессов электрической дуги.

Вместе с тем, широкий круг практически важных задач требует дальнейшего развития расчетно - теоретических моделей электрической дуги и проведения численных исследований.

Краткий обзор показывает, что развитие математического аппарата для численного исследования электродуговых потоков плазмы позволяет успешно решать важные научно-технические

проблемы.

Несмотря на определенные достижения в области численного моделирования электрической дуги, многие прикладные все еще ждут своего решения. Это относится к задачам, где необходим учет приэлектродных процессов, задачи с нестационарными процессами, турбулентными течениями плазмы, с учетом химических реакций в столбе дуги и ряд других задач.

Надеемся, решение подобного рода задач дело ближайшего будущего, когда будет развит соответствующий математический и новое поколение компьютеров.

Список литературы

- [1] Жайнаков А.Ж., Энгельшт В.С. К расчету плазматрона. В кн.: Применение плазма-трона в спектроскопии. Фрунзе: Илим, 1970, с.194.
- [2] Жайнаков А.Ж., Лелевкин В.М., Энгельшт В.С. Нагрев и течение проводящего газа // Изв.АН СССР, МЖГ. 1975, №5.с. 190-193.
- [3] Десятков Г.А., Жайнаков А.Ж., Козлов П.В. и др. Методы расчета и численный анализ течений проводящего газа в сильноточных электрических дугах // Изв.АН СССР, МЖГ. 1978, №5.с. 103-110.
- [4] Жайнаков А.Ж., Невелев Д.В., Слободянюк В.С., Энгельшт В.С. Магнитогазодинамические потоки в сильноточных электрических дугах // Изв.АН СССР, МЖГ. 1983, №5.с. 138-143.
- [5] Энгельшт В.С., Гурович В.Ц., Десятков Г.А. и др. Низкотемпературная плазма. Т.1. Теория столба электрической дуги. – Новосибирск: Наука, 1990.
- [6] Жайнаков А.Ж., Лелевкин В.М., Мечев В.С. и др. Электрическая дуга – генератор низкотемпературной плазмы. – Бишкек: Илим. – 1991. – 440с.
- [7] Жайнаков А.Ж., Усенканов Дж.О., Кыдыралиев С. Численный анализ характеристик сжатой дуги // XI Всесоюз.конф. ГНТП, - Новосибирск, 1989, т.1.
- [8] Жайнаков А.Ж., Султангазиева Р.Т., Усенканов Дж.О. Математическое моделирование течений жидкого металла при электродуговой сварке. Труды междунар. конфер. Проблемы мат.моделирования и информационных технологий. Бишкек, 2001, с.38-42.
- [9] Jainakov A., Usenkanov J.O., Valeeva A.A Mathematical modeling of fluid flow in welding pool at hight currents // Journal of hight temperature chemical processes. Paris, France, № 3, Vol 11, 1992, p.38-40.
- [10] Жайнаков А.Ж., Урусова Т.Э., Урусов Р.М. Трехмерная модель расчета электродуговых потоков // Наука и новые технологии. – 1999. - №2. – С.3-7
- [11] Жайнаков А.Ж., Урусов Р.М., Урусова Т.Э. Численный анализ неосесимметричных электрических дуг. Бишкек: Илим, 2001. 232с.
- [12] Жайнаков А.Ж., Урусов Р.М. Трехмерная математическая модель расчета электродуговых потоков плазмы // ТВТ, 2002, т.40, №1, с.13-18т.

- [13] Жайнаков А.Ж., Урусов Р.М., Урусова Т.Э. Численное моделирование газодинамических потоков, формируемых электрической дугой во внешнем поперечном магнитном поле // ТВТ, 2002, т.40, №2, с.199-203.
- [14] Брушлинский К.В., Морозов А.И. Расчет двумерных течений плазмы в каналах. – В кн.: Вопросы теории плазмы. М. 1974, вып.8, с. 88-163.
- [15] Валеева А.А., Жайнаков А., Лелевкин В.М., Энгельшт В.С. Расчет электрической дуги в канале методом установления. – В кн.: IX Всесоюзн. Конференция по генераторам низкотемпературной плазмы. Тезисы докладов, Фрунзе, 1983, с.44-45.
- [16] Jainakov A. Numerical analysis of electric arc by the relaxation method – SBORNIC RADOVA KONFERENCISE MIT 2009. BEOGRAD, 2010.
- [17] Лелевкин В.М., Пахомов Е.П., Энгельшт В.С Расчет развития ламинарного течения дуговой плазмы в цилиндрическом канале. – Теплофизика высоких температур, 1981, №2, с.253-256.
- [18] Энгельшт В.С, Жеенбаев Ж.Ж. Электрическая дуга в приближении ламинарного магнитогазодинамического пограничного слоя.- В кн.: Теория электрической дуги в условиях вынужденного теплообмена. Новосибирск, 1977, с.32.
- [19] Ковеня В.М., Яненко Н.Н. Метод расщепления в задачах газовой динамики. – Новосибирск.: Наука, 1981. -304 с.
- [20] Яненко Н.Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. – Новосибирск.: Наука, 1966. – 196 с.
- [21] Асиновский Э.И., Пахомов Е.П., Ярцев И.М. Исследование характеристик ламинарного потока плазмы аргона в электрической дуге. – В кн.: Химические реакции в низкотемпературной плазме / Под ред. Полака Л.С., М., 1977, с. 83-103.
- [22] Математическое моделирование электрической дуги. / Под ред. В.С. Энгельшта. Фрунзе: Илим, 1983, с.364.

УДК 536.84

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА НЕФТЕСМЕСИ С ПОЛИМЕРНОЙ ПРИСАДКОЙ

У.К. Жапбасбаев¹, Г.И. Рамазанова¹, F. Pinho²

¹Казахстанско-Британский технический университет, ²Университет Порту, Португалия

Abstract. The experimental data on the shear viscosity versus shear rate, the Darcy friction factor versus the Reynolds number for oil with the drag reduction polymeric additive FLO-XL, as well as parameters for the extensional viscosity were used to develop a semi-empirical turbulence model for oil mixture pipe flow with the polymer additive.

The results of prediction of the low Reynolds number $k - \varepsilon$ turbulent model for fully developed oil mixture pipe flow with the polymer additive are presented.

Keywords: turbulent flow of oil mixture, polymer additive.

Аңдатпа. FLO-XL қоспасы бар мұнай үшін ығысу тұтқырлығының ығысу жылдамдығына тәуелділігі, кедергі коэффициентінің Рейнольдс санына тәуелділігі және созылу тұтқырлығы бойынша эксперименттік мәліметтерді пайдала отырып полимер қоспасы бар мұнайдың құбырдағы ағысы үшін томенгі Рейнольдс сандары үшін жартылай әмпирикалық турбуленттік модель жасалды.

Осы модель бойынша алынған кедергіні азайтатын полимер қоспасы бар мұнайдың құбырдағы ағысын есептеу нәтижелері келтірілген.

Кілттік сөздер: мұнай қоспасының турбуленттік ағысы, полимер қоспасы.

Аннотация. Экспериментальные данные зависимостей сдвиговой вязкости от скорости сдвига, коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса, а так же данные вязкости растяжения для нефтесмеси с полимерной присадкой FLO-XL снижающей сопротивление были использованы для разработки полуэмпирической модели турбулентности для потока нефтесмеси в трубе.

Приводятся результаты прогнозирования разработанной $k - \varepsilon$ модели турбулентности при низких числах Рейнольдса для потока нефтесмеси в трубе с полимерной присадкой.

Ключевые слова: турбулентный поток нефтесмеси, полимерная присадка.

Введение. Ввод в турбулентный поток жидкости очень малых концентраций высокомолекулярных полимерных присадок приводит к резкому снижению гидродинамического сопротивления (эффект Томса [1]) и существенной перестройке его структуры [2 - 5].

Турбулентный поток жидкости с полимерной присадкой описывается обобщенной моделью реологии неньютоновской жидкости путем использования вязкостей сдвига и растяжения [6-8]. Показано существенное значение опытных данных коэффициента вязкостей сдвига и растяжения для описания развитого турбулентного течения жидкости с полимерной присадкой в трубе [8,9]. Известно, что вязкость сдвига выражает молекулярный механизм взаимодействия между частицами жидкости в турбулентном потоке. Тогда как вязкость растяжения характеризует появление упругих свойств жидкости и указывает на новый механизм неньютоновского типа взаимодействия между частицами из-за наличия полимерной присадки.

Первыми Escudier и др. экспериментально определили снижение сопротивления турбулентного потока при воздействии полимерной присадки и представили данные по вязкости растяжения и вязкости сдвига [5]. Эксперименты турбулентного потока водного раствора в трубе с различными типами полимеров показали уменьшение вязкости сдвига с увеличением скорости сдвига, и подтвердили увеличение вязкости растяжения с ростом скорости растяжения (коэффициент Трутона). Эти данные выражают реологические особенности турбулентного потока жидкости с полимерной присадкой.

Известное свойство сегрегации крупных макромолекул полимера в приственную область турбулентного потока жидкости приводит к формированию демпирующего слоя вблизи стенки трубы. Структуру турбулентных течений в приственной зоне стенки трубы с большой точностью описывает ($k - \varepsilon$) – модель турбулентности [7-11].

Следует отметить, что все известные теоретические и экспериментальные исследования турбулентного потока жидкости с полимерной присадкой проведены с водными растворами. В данной работе впервые обобщенная модель реологии неньютоновской жидкости совместно с двухпара-

метрической ($k - \varepsilon$) – моделью турбулентности используется для описания потока нефтесмеси с полимерной (противотурбулентной) присадкой в трубе.

Опытные данные.

Считается, что связь между тензором напряжения и тензором скорости деформации в потоке нефтесмеси с полимерной присадкой определяется общепринятым выражением:

$$\sigma_{ij} = 2\mu S_{ij} \quad (1)$$

где вязкость μ является функцией инвариантов $(\dot{\gamma}, \dot{\varepsilon})$ тензора скорости деформации S_{ij} , как в формуле [6,7]:

$$\mu = \eta_\nu K_e [\dot{\varepsilon}^2]^{\frac{p-1}{2}} = K_\nu (\dot{\gamma}^2)^{\frac{n-1}{2}} K_e [\dot{\varepsilon}^2]^{\frac{p-1}{2}} \quad (2)$$

Опытные данные сдвиговой вязкости с полимерной присадкой FLO-XL получены в [12]. Вязкость растяжения определяется по данным опытно-промышленных испытаний потока нефтесмеси с полимерной присадкой FLO-XL [12].

Первый множитель уравнения (2) (η_ν) представляет зависимость вязкости от скорости сдвига, с использованием степенной зависимости индекса консистенции Kv и показателя степени n . Второй множитель – зависимость от скорости растяжения, которая является безразмерной и представляет собой коэффициент Трутонса, подробно описанный в работах Pinho [6], Cruz и Pinho [7]. Инварианты тензора скорости деформации $\dot{\gamma} = \sqrt{3}\dot{\varepsilon}$ и $\dot{\varepsilon}$ определены в работе Pinho [6]. По существу $\dot{\gamma}$ определяет скорость деформации сдвига, а $\dot{\varepsilon}$ представляет собой скорость нормальной деформации, часто называемой скоростью растяжения. Параметры K_e и p – безразмерные подгоночные параметры для вариации коэффициента Трутонса по $\dot{\varepsilon}$.

Значения четырех реологических параметров Kv , n , K_e и p , используемые в (2) обычно определяются по опытным данным [8, 9].

Реологические параметры Kv , n находятся путем измерения сдвиговой вязкости. На рис. 1 представлена зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига нефтесмеси с противотурбулентной присадкой FLO-XL, полученная путем лабораторных измерений в [12].

Эмпирическая зависимость напряженности сдвига от скорости сдвига позволила определить значения индекса консистенции Kv и показателя степени n для нефтесмеси с противотурбулентной присадкой FLO-XL. При концентрации противотурбулентной присадки FLO-XL 15 ppm получены значения $Kv = 0.0066956$; $n = 1.1668$.

Опытные данные коэффициента эффективной вязкости от скорости сдвига имеют одинаковый характер, они монотонно возрастают с ростом скорости сдвига (рис. 2). Следует отметить, что опытные данные коэффициента сдвиговой вязкости для нефти с противотурбулентной присадкой (рис. 2) сильно отличаются от опытных данных для водного раствора с противотурбулентными присадками (рис. 3). Если для водного раствора с противотурбулентной присадкой опытные данные сдвиговой вязкости снижаются с ростом скорости сдвига (рис. 3), то для нефти с противотурбулентной присадкой, наоборот, возрастают с ростом скорости сдвига (рис. 2).

Отсюда следует существенная разница воздействия противотурбулентной присадки на распределение сдвиговой вязкости от скорости сдвига для нефтесмеси и водного раствора. По-видимому, такое различие воздействия в распределениях сдвиговой вязкости от скорости сдвига объясняется механизмами взаимодействия противотурбулентной присадки с водным раствором и нефтью.

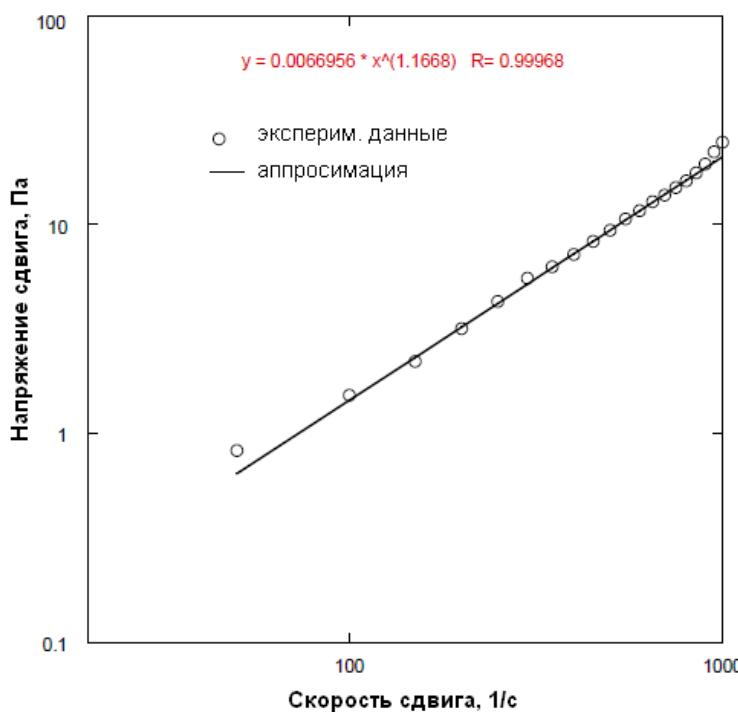


Рисунок 1 Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига при концентрации присадки FLO-XL 15 ppm

Этот факт требует дальнейшего тщательного исследования для выявления механизма взаимодействия противотурбулентной присадки с нефтью.

Реологические параметры Ke и p определяются путем измерения вязкости растяжения. Прямые измерения вязкости растяжения нефтесмеси с противотурбулентной присадкой FLO-XL не проводились. Поэтому значения этих параметров определялись косвенным методом на основе данных опытно-промышленных испытаний зависимости перепада давления от объема перекачки при вводе противотурбулентной присадки FLO-XL [12]. В опытно-промышленных испытаниях противотурбулентной присадки FLO-XL [12] были определены перепады давления при различных объемах перекачки на участке Индер – Сахарный - Большой Чаган магистрального нефтепровода Атырау – Самара. По данным опытно-промышленных испытаний были найдены коэффициент гидродинамического сопротивления от числа Рейнольдса.

На рис. 4 показано изменение коэффициента гидродинамического сопротивления от числа Рейнольдса при одном и том же значении 15 ppm концентрации противотурбулентной присадки FLO-XL.

Путем обобщения опытных данных зависимости коэффициента гидродинамического сопротивления от числа Рейнольдса были найдены параметры вязкости растяжения Ke и p . В результате получены следующие значения параметров для вязкости растяжения для нефти с полимерной присадкой FLO-XL: $Ke = 4.4$ и $p = 1.176$, а также показана опытная зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления от числа Рейнольдса (рис. 4).

Как видно из рисунка 4, опытная зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления от числа Рейнольдса для потока нефтесмеси с противотурбулентной присадкой FLO-XL проходит ниже зависимости закона Блазиуса и выше зависимости предельного закона Вирка [4].

Таким образом, в результате обобщения опытных данных получены параметры коэффициентов сдвиговой вязкости ($n = 1.1668$, $Kv = 0.0066956$) и вязкости растяжения ($p = 1.176$, $Ke=4.4$)

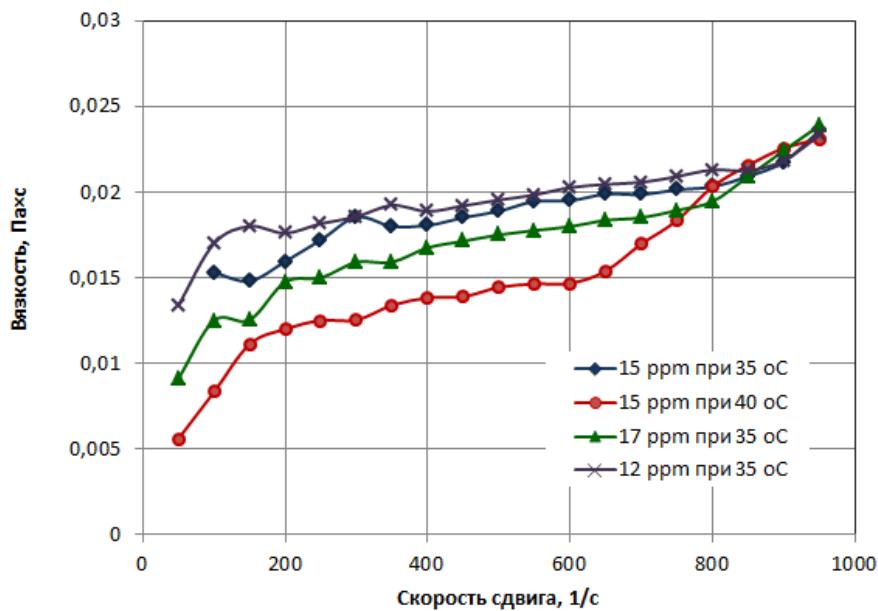


Рисунок 2 Зависимость эффективной вязкости от скорости сдвига для нефти при различных концентрациях присадки FLO-XL

нефтесмеси с противотурбулентной присадкой FLO-XL.

Полученные реологические параметры были использованы для разработки полуэмпирической теории турбулентности потока нефтесмеси с противотурбулентной присадкой в трубе.

Математическая модель.

Рассматривается стабилизированное турбулентное течение нефтесмеси с начальной температурой T_0 в трубе длиной L и радиусом Rw при вводе в пристенный слой полимерной присадки FLO-XL.

Поток нефтесмеси описывается системой уравнения Навье-Стокса, осредненной по Рейнольдсу [6 - 9]:

$$\frac{\partial u^2}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial r u v}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r \left(\frac{\bar{\mu}}{\rho} \frac{\partial u}{\partial r} - \bar{u} \bar{v} + \frac{2}{\rho} \bar{\mu}' s_{zr} \right) \right\} \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial r v}{\partial r} = 0. \quad (4)$$

Средняя молекулярная вязкость $\bar{\mu}$ в уравнении (3) можно представить как сумму сдвиговой вязкости η_v , определяемой измерением (2), и осредненной молекулярной вязкости $\bar{\mu}_h$ при высоких числах Рейнольдса [6]:

$$\bar{\mu} = f_v \bar{\mu}_h + (1 - f_v) \eta_v \quad (5)$$

$$\bar{\mu}_h = (C_\mu \rho)^{\frac{3m(m-1)A_2}{8+3m(m-1)A_2}} 2^{\frac{4m(m-1)A_2}{8+3m(m-1)A_2}} k^{\frac{6m(m-1)A_2}{8+3m(m-1)A_2}} \varepsilon^{\frac{[8-3(m-1)A_2]m}{8+3m(m-1)A_2}} B^{\frac{8}{8+3m(m-1)A_2}} \quad (6)$$

Рейнольдсовы напряжения уравнения (3) находятся из выражения [10, 11]:

$$\begin{aligned} -\bar{u}_i \bar{u}_j &= 2\nu_T S_{ij} - \frac{2}{3} k \delta_{ij} - k \left(\tilde{\beta}_2 f_{n,1} + C_w \tilde{\beta}_{2,wall} f_{n,3} \right) \left(S_{ik}^* S_{kj}^* - \frac{1}{6} S^{*2} \delta_{ij} \right) - \\ &- k \left(\tilde{\beta}_3 f_{n,2} + C_w \tilde{\beta}_{3,wall} f_{n,3} \right) \left(W_{ik}^* S_{kj}^* - S_{ik}^* W_{kj}^* \right) \end{aligned} \quad (7)$$

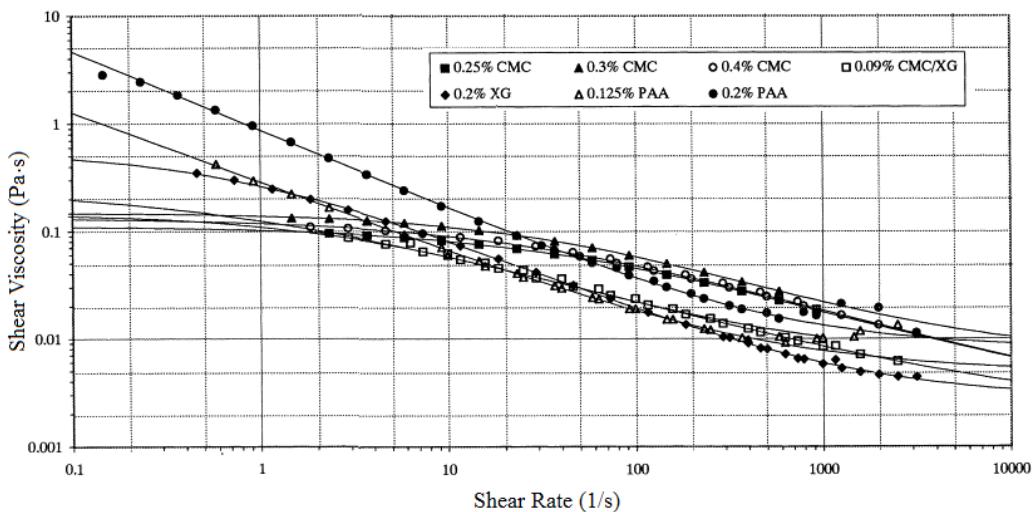


Рисунок 3 Опытные данные сдвиговой вязкости для водного раствора полимеров [5]

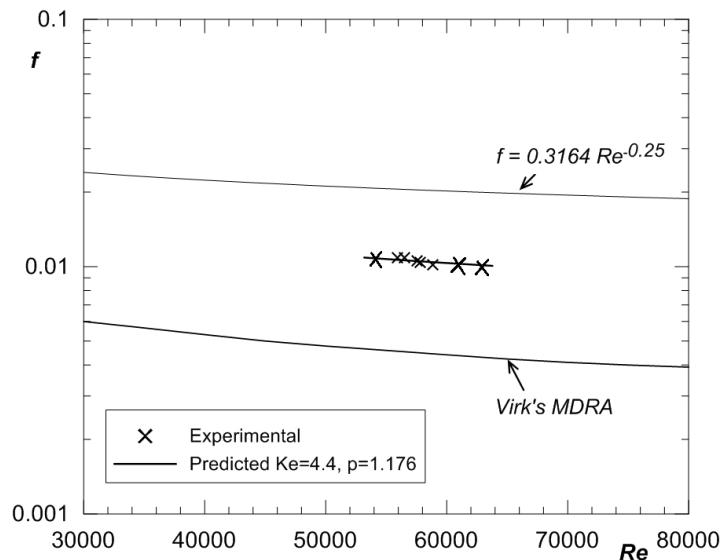


Рисунок 4 Обобщение опытных данных коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса

где тензоры скорости деформации S_{ij} и напряженности вихря W_{ij} :

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right), \quad W_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (8)$$

Звездочки в уравнениях показывают нормированные значения:

$$S_{ij}^* = S_{ij} k / \tilde{\varepsilon}, \quad W_{ij}^* = W_{ij} k / \tilde{\varepsilon} \quad \text{и} \quad S^* = \sqrt{2 S_{ij}^* S_{ij}^*}$$

В уравнениях (3) - (8): z, r - цилиндрические координаты; u, v - компоненты вектора скорости \vec{V} ; p, ρ - давление, плотность жидкости; v - коэффициент кинематической вязкости, v_t - коэффициент турбулентной вихревой вязкости.

Вихревая вязкость ν_T выражается формулой Прандтля – Колмогорова [6 - 9]:

$$\nu_T = C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\tilde{\varepsilon}} \quad (9)$$

Пристеночная функция f_μ определяется согласно [6-8]:

$$f_\mu = \left\{ 1 - \left[1 + \left| \frac{1-n}{1+n} \right| y^+ \right]^{-|1+n/1-n/A^+|} \right\} \times \left\{ 1 - \left[1 + \left| \frac{p-1}{3-p} \right| y^+ C^{\frac{1-p}{2-p}} \right]^{-|3-p/p-1/A^+|} \right\} \quad (10)$$

где y^+ – пристенная координата, нормированная пристенной вязкостью.

Дополнительное неильтоновское напряжение $2\mu' s_{xr}$ в уравнении (2) моделируется согласно Cruz и др. [8] по формуле:

$$2\overline{\mu' s_{xr}} = \tilde{C} \frac{K_\nu K_e}{A_\varepsilon^{p-1}} \left[\frac{\rho C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\tilde{\varepsilon}} \left(\frac{dU}{dr} \right)^2}{2\bar{\mu}} \right]^{\frac{p+n-2}{2}} \sqrt{C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\tilde{\varepsilon}}} \frac{1}{L_c} \frac{\frac{dU}{dr}}{\sqrt{|\frac{dU}{dr}|}} \quad (11)$$

где параметр \tilde{C} определяется как $\tilde{C} \equiv (1-C_s)^{p+n-2}-1$, $C_s = +3.0$, $L_c = u_R^3/\varepsilon$, а масштаб скорости u_R подбирается к внутреннему и внешнему масштабам скорости по формуле (10) использованием $B_1 = 4$.

$$u_R^2 = \frac{k}{\left[\left| e^{-(k/u_R^2)^{B_1}} - 1 \right| \right]^{1/B_1}} \quad (12)$$

Уравнение кинетической энергии турбулентности имеет вид [8]:

$$\frac{\partial u k}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial r v k}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \left(\frac{\bar{\mu}}{\rho} + f_t \frac{\nu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial r} \right] - \overline{u_i u_j} S_{ij} - \varepsilon - \frac{2}{\rho} \overline{\mu' s_{xr}} \frac{\partial U}{\partial r} \quad (13)$$

Для удобства постановки граничного условия на стенке уравнения для скорости диссипации кинетической энергии турбулентности записывается в виде [8]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u \tilde{\varepsilon}}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial r v \tilde{\varepsilon}}{\partial r} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \left(\frac{\bar{\mu}}{\rho} + f_t \frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial r} \right] - f_1 C_{\varepsilon 1} \frac{\tilde{\varepsilon}}{k} \overline{u_i u_j} S_{ij} - \\ &- f_2 C_{\varepsilon 2} \frac{\tilde{\varepsilon}^2}{k} + \frac{\bar{\mu}}{\rho} v_T (1 - f_\mu) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \right) + C_{\varepsilon 4} \frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon \bar{\mu}} \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial r} \frac{\partial \bar{\mu}}{\partial r} \end{aligned} \quad (14)$$

Пристеночная функция f_t имеет вид:

$$f_t = 1 + 3.5 \exp \left[- (R_T / 150)^2 \right], R_T \equiv \frac{k^2}{\bar{\nu} \tilde{\varepsilon}} \quad (15)$$

Другие пристеночные функции f_1 и f_2 – такие же, как в моделях для низких чисел Рейнольдса, а именно $f_1 = 1$, $f_2 = 1 - 0.3 \exp(-R_T^2)$.

Константы модели приведены в таблице.

Таблица 1 Константы модели

C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$C_{\varepsilon 4}$	σ_k	σ_ε	A^+
0.084	1.45	1.90	1.0	1.1	1.3	26.5

В уравнения (7) входят корректирующие функции, приведенные в [10, 11].

Уравнения движения решаются с граничными условиями прилипания на стенке и симметрии на оси трубы. Граничные условия для уравнения кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации имеют вид:

$$\text{при } r = 0 : \quad 0 \leq z \leq L; \quad \frac{\partial u}{\partial r} = v = \frac{\partial k}{\partial r} = \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial r} = 0; \quad (16)$$

$$\text{при } r = R_w : \quad 0 \leq z \leq L; \quad u = k = \tilde{\varepsilon} = 0; \quad (17)$$

На входном сечении ставятся стандартные условия для стабилизированного течения и теплообмена.

Численные расчеты системы уравнений (1) – (14) при граничных условиях (15), (16) проводились программным кодом по методу контрольных объемов, модифицированным для вязкоупругих жидкостей [7, 14].

Обсуждение расчетных данных.

На рисунках 5 - 7 приведены результаты тестовых расчетов для верификации разработанной модели турбулентности. Расчетные профили продольной скорости (рис. 5) показывают, что данные при воздействии противотурбулентной присадки FLO-XL вытянуты по сравнению с логарифмическим профилем продольной скорости развитого турбулентного течения в трубе. Это указывает, что в результате воздействие противотурбулентной присадки FLO-XL интенсивность турбулентного трения в потоке нефтесмеси снижается.

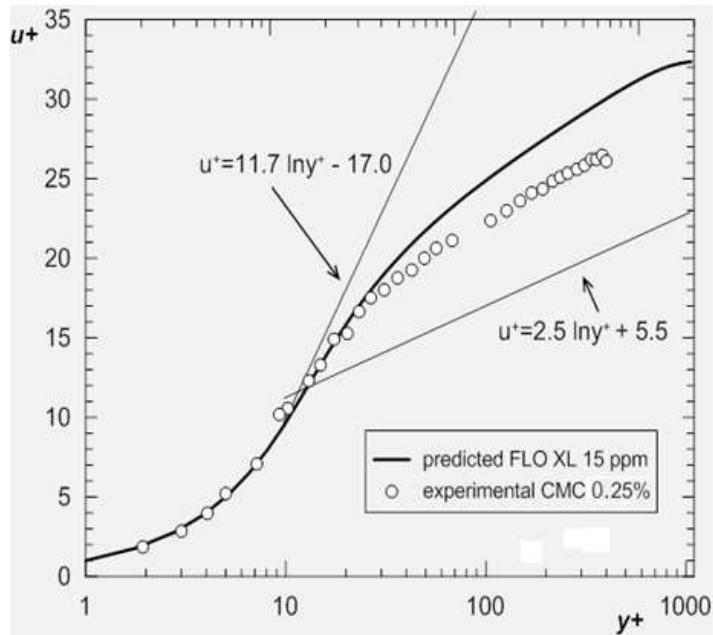


Рисунок 5 Распределение продольной скорости потока нефти с противотурбулентной присадкой FLO-XL с концентрацией 15 ppm при $Re=58530$

Вследствие отсутствия опытных данных по распределению продольной скорости и турбулентных характеристик потока нефтесмеси с противотурбулентной присадкой FLO-XL полученные расчетные данные полуэмпирической модели турбулентности сравниваются с опытными данными водных растворов с полимерной присадкой.

На рис. 5 приведены опытные данные турбулентного потока водного раствора в трубе при концентрации 0,25% полимерной присадки СМС [5]. Результаты расчетов продольной скорости полуэмпирической модели турбулентного потока нефтесмеси с противотурбулентной присадкой FLO-XL находятся в качественном согласии с известными опытными данными потока водного раствора с полимерной присадки СМС 0,25% (рис. 5).

Расчетные данные кинетической энергии турбулентности потока нефтесмеси с противотурбулентной присадкой FLO-XL приведены на рис. 6. Отношение величины кинетической энергии турбулентности на значения кинетической энергии осредненного движения выражает их соотношения в поле турбулентного потока нефтесмеси с полимерной присадкой. Как видно из рисунка 6, расчетные данные резко возрастают в пристенной зоне, достигнув максимального значения, монотонно снижаются к оси трубы. Здесь же представлены опытные данные потока водного раствора с полимерной присадки СМС 0,25%. В непосредственной близости стенки имеется удовлетворительное согласие расчета с опытными данными, а с удалением от стенки имеют место лишь качественное согласие.

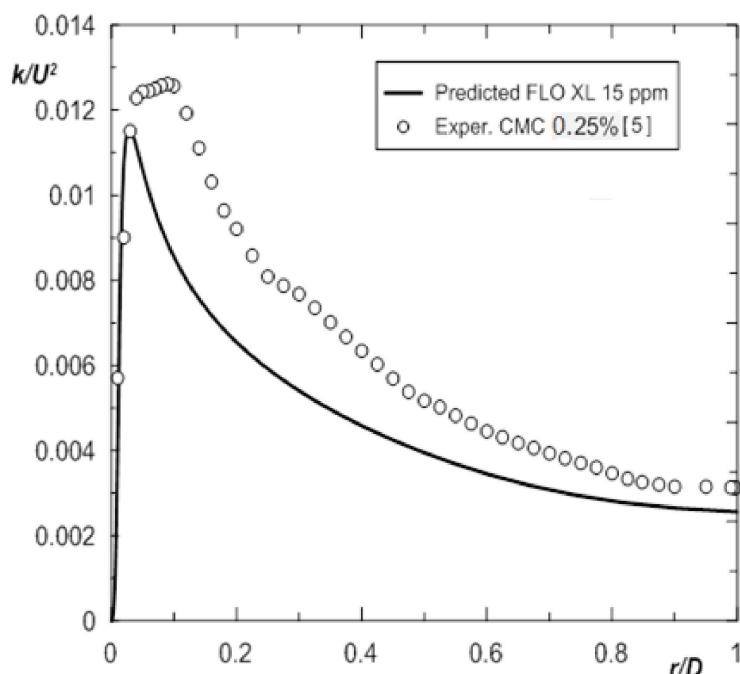


Рисунок 6 Распределение кинетической энергии турбулентности: линия – результаты расчета для потока нефти с противотурбулентной присадкой FLO-XL с концентрацией 15 ppm при $Re=58530$, - экспериментальные данные для водного раствора СМС 0,25% [5]

Расчетные данные показывают снижение кинетической энергии турбулентности по сравнению кинетической энергии осредненного движения потока нефтесмеси в трубе с полимерной присадкой (рис. 6).

На рис. 7 представлено распределение кинетической энергии турбулентности, построенное в логарифмических координатах стенки.

Расчетные данные показывают, что в ламинарном подслое величина кинетической энергии турбулентности равна нулю и резко возрастает на нижней границе переходной зоны, достигнув максимального значения на верхней границе переходной зоны, снижается во внутренней области турбулентного ядра течения (рис. 7). Здесь же представлены опытные данные турбулентного по-

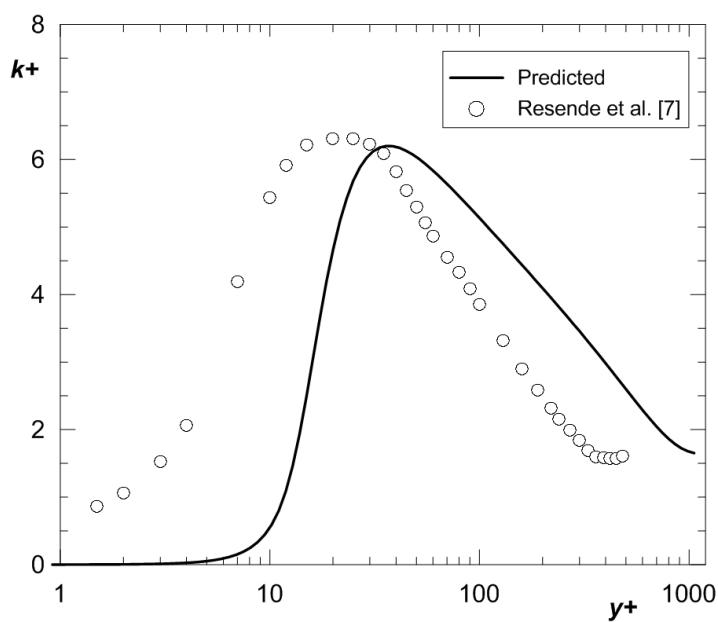


Рисунок 7 Распределение кинетической энергии турбулентности потока нефти с противотурбулентной присадкой FLO-XL с концентрацией 15 ppm при $Re=58530$

тока водного раствора с полимерной присадкой [7]. Имеет место качественное согласие расчетных данных с результатами экспериментов.

Можно отметить, что расчетные данные кинетической энергии турбулентности, построенные в логарифмических координатах стенки (рис. 7), более подробно характеризуют влияние полимерной присадки на структуру турбулентного потока нефтесмеси в трубе.

Для полного развития разработанной полуэмпирической модели требуются результаты экспериментальных исследований турбулентного потока нефтесмеси с противотурбулентной присадкой.

Список литературы

- [1] Toms, B.A. Some observations on the flow on linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers // Proc. Intern. Congr. On Reology. – Amsterdam, 1949. – V.11. – P.135.
- [2] Седов Л.И., Васецкая Н.Г., Иоселевич В.А., Пилипенко В.Н. О снижении гидродинамического сопротивления добавками полимеров / Механика турбулентных потоков.- М.: Наука, 1980. - С. 7-28.
- [3] Hoyt J.W. The effect of additives on fluid friction // Trans. ASME. J. Fluids Ing. -1972. - V. 94. № 2. - P. 73-91.
- [4] Virk P.S. Drag reduction fundamentals // AIChE Journal. - 1975. - V. 21, № 4.- P. 625-653.
- [5] Escudier M.P., Presti F., Smith S. Drag reduction in the turbulent pipe flow of polymers // J. Non-Newt. Fluid Mech. -1999. - Vol.81. -P.197–213.
- [6] Pinho F.T. A GNF framework for turbulent flow models of drag reducing fluids and proposal for a $(k - \varepsilon)$ type closure // Journal of Non-Newtonian Fluid Mech. - 2003. - Vol. 114. -P. 149-184.

- [7] Resende P.R., Escudier M.P., Presti F., Pinho F.T. and Cruz D.O.A. Numerical predictions and measurements of Reynolds normal stresses in turbulent pipe flow of polymers // Int. Journal of Heat and Fluid Flow. - 2006. - Vol.27. -P. 204-219.
- [8] Cruz D.O.A., Pinho F.T. Turbulent flow predictions with a low Reynolds number k-epsilon model for drag reducing fluids // J. Non-Newt. Fluid Mech. - 2003. - Vol.114. -P. 109–123.
- [9] Cruz D.O.A., Pinho F.T., Resende P.R. Modeling the new stress for improved drag reduction predictions of viscoelastic pipe flow // J. Non-Newt. Fluid Mech.- 2004. -Vol.121. -P. 127–141.
- [10] Park T.S., Sung H.J. A non-linear low Reynolds number k-e model for separated and reattaching flows. Flow field computations. // Int. J. Heat Mass Transfer. - 1995. - Vol.38. -P. 2657–2666.
- [11] Park T.S., Sung H.J., Suzuki K. Development of a nonlinear near-wall turbulence model for turbulent flow and heat transfer // Int. J. Heat Fluid Flow. - 2003. - Vol.24. -P. 29–40.
- [12] Саяхов Б.К., Закирова Р.С., Рзиев С.А., Алдыяров Т.К., Кожабеков С.С., Сигитов В.Б. Применение противотурбулентной присадки FLO-XL при транспорте западно-казахстанской нефти по нефтепроводу Узень-Атырау-Самара // Нефтяное хозяйство. - 2003.- №3. –С. 59-61.
- [13] Younis B.A. A computer program for two-dimensional turbulent boundary-layer flows. Internal report, Department of Civil Engineering, City University, London, UK. - 1987.

УДК 517.958:532.546

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ - ИСАР-II

Б.Т. Жумагулов, Н.Т. Данаев, Д.Ж. Ахмед-Заки

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби

Abstract. The article describes the main results on the modernization of the information system analysis of oil and gas deposits - ISAR-II. Created new mathematical and computer models of the processes. Developed serial and parallel computing algorithms with the construction of curvilinear grids to account for heterogeneity of the porous structures. Developed a software module for analyzing injection surfactants into the reservoir. A unified methodology for the design and verification of parallel numerical programs for solving the problems of oil production. The results of the application of CUDA technology for visualization and data processing.

Keywords: Heat and mass transfer, filtration in porous media, hybrid parallelization technologies, Model Driven architecture. CUDA technology, Model-checking.

Аннотация. Мақалада пластқа полимер айдау технологиясын пайдалану арқылы мұнайды ығыстыру үрдісінің математикалық моделі қарастырылды. Сандық эксперименттермен жүргіліп, қысым, мұнай қанықтылығы және концентрацияның тараптуды есептелді. Сонымен қатар, орташа қанықтылық, қазіргі уақыттағы мұнай берілуі, мұнай және су дебиттері, белгілі бір уақытта дейінгі алынған мұнай көлемі, алынған полимер мөлшері есептелінді. Алынған

нәтижелер айдағыш және сорғыш құңымалар жүйесімен жумыс істейтін мұнай-кен орында-рында эксплуатациялық жағдайларды жобалау және зерттеу үшін қолданыла алады.

Кілттік сөздер: Жылу алмасу, масса алмасу, кеуекті ортадағы фильтрация, параллельдеудің гибридтік технологиясы, Model Driven architecture, CUDA технологиясы, модельдік верификация.

Аннотация. В статье описываются основные результаты по модернизации информационной системы анализа разработки нефтегазовых месторождений - ИСАР-II. Созданы новые математические и компьютерные модели процессов. Разработаны последовательные и параллельные вычислительные алгоритмы с построением криволинейных сеток для учета неоднородности пористых структур. Разработаны программный модуль для анализа закачки поверхностно-активных веществ в продуктивный пласт. Предлагается единая методология проектирования и верификации численных параллельных программ для решения задач нефтедобычи. Представлены результаты применения CUDA технологии для визуализации и обработки данных.

Ключевые слова: Массообмен и теплообмен, фильтрация в пористой среде, гибридная параллельная технология, Model Driven architecture, технология CUDA, модельные верификации.

Математическая модель

Физическая модель. На средних стадиях разработки высоковязких нефтяных месторождений неизменно встает комплексная проблема снижения нефтеотдачи пласта. Основными причинами этой проблемы являются падение пластового давления и температуры, повышение обводнённости и т.д. Одним из подходов решения является закачка поверхностно-активных веществ (ПАВ) вместе с водой в виде активной примеси в продуктивный пласт для снижения вязкости нефти и поверхностных сил между фазами в системе «нефть-вода» [1, 2]. В потоке активная примесь может находиться в трех состояниях: растворенной в воде, растворенной в нефти и адсорбированной на стенках поровых каналов. Процесс проникновения в пласт активной примеси сопровождается её диффузией с пластовой жидкостью и массообменом с двухфазными (жидкими и твердыми) компонентами пористой структуры [3]. Особую практическую важность имеет исследование механизмов теплообмена между флюидами (закачиваемыми, внутрипластовыми) и скелетом пористой среды для оценки влияния тепловых методов воздействия на пласт [4]. По отдельности процессы теплопереноса и массопереноса в пористой среде изучены достаточно хорошо [1- 6]. В тоже время, задача построения адекватной математической модели, описывающей, совместный учет процессов тепло и массопереноса в анизотропной неоднородной пористой среде при применении «комбинированных» методов воздействия на пласт – закачка ПАВ при различных температурных режимах все еще остается сложной технологической проблемой и данная задача исследована в неполной мере. С другой стороны, большинство [5-7] моделей и постановок задач фильтрации ориентированы на долгосрочный прогноз процессов в масштабах всего месторождения, тогда как процессы, протекающие непосредственно в прискаажинной зоне пласта имеют краткосрочный характер и существенно влияют на структуру решения в целом. Подобные процессы адекватно описываются кинетическими соотношениями, включенные в математические модели [8]. Дополнительно, для анализа этой сложной задачи необходима разработка адекватной компьютерной модели с привлечением информационных ресурсов для «быстрого» расчета, оценки и прогнозирования показателей нефтедобычи. Последнее невозможно реализовать без использования технологий высокопроизводительных вычислений [9].

Целью наших исследований являлось построение, сперва, соответствующей математической модели процессов тепло и массопереноса в анизотропной пористой среде при закачке ПАВ для различных температурных режимов, а также разработка вычислительного параллельного алгоритма и интерактивной программы в виде Web распределенного приложения с визуализацией данных и оперативным расчетом на доступных высокопроизводительных ресурсах.

Математическая модель. Система уравнений двухфазной фильтрации, состоящей из уравнений баланса воды и нефти в потоке, закона фильтрации Дарси при рассмотрении течения несжимаемых жидкостей с активной примесью и учете теплопереноса без капиллярных и гравитационных сил в недеформируемой пористой среде-конечной области Ω с кусочно-гладкой границей $\partial\Omega$ и $Q_t = \Omega \times [0, \tilde{T}]$ имеет вид:

$$m \frac{\partial s_i}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{u}_i) = 0, \quad (i = 1, 2), \quad (1)$$

$$s_1 + s_2 = 1, \quad \vec{u}_1 + \vec{u}_2 = V(t) \quad (2)$$

$$\vec{u}_i = -K_0 \frac{f_i(s)}{\mu_i(c, T)} \nabla p, \quad (i = 1, 2), \quad p_2 = p_1, \quad (3)$$

где $m, s_i, u_i, p_i, \rho_i, \mu_i, f_i, K_0$ и $p_c(s_2, c, T)$ – соответственно пористость среды, насыщенности, скорости фильтрации, давления, плотности фаз, вязкости жидкостей, относительные фазовые проницаемости, абсолютная проницаемость среды и капиллярное давление, здесь индексы соответствуют 0 – скелету пористой среды, 1 – водной фазе, а 2 – нефтяной и 3 – горной породе кровли и подошве пласта. Уравнения для концентрации:

$$m \frac{\partial}{\partial t} (c s_1 \rho_1 + \varphi(c) \rho_2 (1 - s_1)) + \operatorname{div}(c \vec{u}_1 \rho_1 + \varphi(c) \vec{u}_2 \rho_2) = \operatorname{div}(D \nabla c), \quad (4)$$

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \frac{1}{\tau} (G(c) - a), \quad G(c) = \begin{cases} 1, & c > c^*, \\ [0, 1], & c = c^*, \\ c, & c < c^*. \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \alpha_t \frac{\partial T_p}{\partial t} &= \eta(T) - T_p, \quad \text{при } \alpha_t \rightarrow 0 \Rightarrow \eta(T) = T = T_p \\ \frac{\partial(\theta^* + 2\beta\sqrt{t})T}{\partial t} + \operatorname{div}(F_c V T) + (F_\varepsilon V) \cdot \nabla p &= \operatorname{div}(\bar{\lambda}_{sum} \nabla T) - \frac{\beta}{\sqrt{t}} T, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\theta^* = (1 - m) \rho_0 C_0 + m (\rho_1 C_1 s_1 + \rho_2 C_2 s_2),$$

$$F_{cc} = \rho_1 C_1 u_1 + \rho_2 C_2 u_2 = \rho_1 C_1 F V + \rho_2 C_2 (1 - F) V = (\rho_1 C_1 F + \rho_2 C_2 (1 - F)) V = F_c V,$$

$$F_{\varepsilon\varepsilon} = \rho_1 C_1 F V \varepsilon_1 + \rho_2 C_2 (1 - F) \varepsilon_2 = (\rho_1 C_1 F \varepsilon_1 + \rho_2 C_2 (1 - F) \varepsilon_2) V = F_\varepsilon V,$$

$$\bar{\lambda}_{sum} = (1 - m) \bar{\lambda}_0 + m (\bar{\lambda}_1 s_1 + \bar{\lambda}_2 (1 - s_1)), \quad \beta = \frac{1}{H} \sqrt{\frac{\lambda_3 c_3}{\pi}},$$

$$\vec{u}_1 + \vec{u}_2 = V(t), \quad F(s, \alpha) = \frac{f_1(s)}{f_1(s) + \alpha f_2(s)}, \quad \alpha = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

начальные условия:

$$s_1|_{t=0} = s^0(x), \quad c|_{t=0} = c^0(x), \quad a|_{t=0} = a^0(x), \quad T|_{t=0} = T^0(x) \quad (7)$$

граничные условия:

$$(P, s_1, T, c) = (P_0, s_{10}, T_0, c_0), \quad (x, t) \in \sum^1 = \partial\Omega^2 \times [0, T], \quad (8)$$

$$-D \frac{\partial c}{\partial n} + \vec{u}_{1n} c = q_n \tilde{c}, \quad (x, t) \in \sum^2 = \partial\Omega^2 \times [0, T], \quad (9)$$

где q_n – заданный расход на единицу площади, \tilde{c} – известное значение концентрации примеси. Здесь \vec{n} – единичный вектор внешней нормали к $\partial\Omega$, участки $\partial\Omega^1$ и $\partial\Omega^2$ моделируют участки нагнетания и контакт с окружающими средой. Здесь предполагается, что ПАВ, находящийся в растворе, влияет на его вязкость, а сорбированная пористой средой ПАВ изменяет относительную проницаемость и от температуры зависит только вязкость нефти [1].

Обозначим, через $R_p(t)$ – фронт вытеснения, $R_T(t)$ – тепловой фронт, $R_c(t)$ – фронт концентрации. Тогда в пористой среде с практической точки зрения представимы следующие случаи:

- 1) $R_T(t) \leq R_c(t) < R_p(t)$
 - 2) $R_c(t) \leq R_T(t) < R_p(t)$
 - 3) $R_c(t) \leq R_p(t) < R_T(t)$
- (10)

Третий вариант соответствуют случаю теплофизически неоднородных сред, степень влияния которых можно оценить, сравнив члены уравнения (6) отвечающие за конвективный теплоперенос и теплопроводность [6]

$$\begin{aligned} \frac{\operatorname{div}(\bar{\lambda}_{total1} \nabla T + \bar{\lambda}_{total2} \nabla T_p)}{\operatorname{div}((\rho_1 C_1 u_1 + \rho_2 C_2 u_2) T)} &\approx \frac{\operatorname{div}(\bar{\lambda}_{average} \nabla T_{average})}{\operatorname{div}((\rho_{mix} C_{mix} u_{mix} T_{average}))} \approx \frac{\bar{\lambda}_{average}}{\rho_{mix} C_{mix} u_{mix} L_h} \approx \\ &\approx \frac{\bar{\lambda}_{average} \mu_{mix}}{\rho_{mix} C_{mix} k_{average} \Delta p}, \end{aligned} \quad (11)$$

где представлены L_h – характерный размер, Δp – перепад давления и усредненные параметры скелета пласта и смеси флюидов. Из выражения можно заметить, что уменьшение скорости фильтрации смеси флюидов приводит к возрастанию роли теплопроводящих свойств системы «жидкость-пласт» и неоднородному распределению температурного поля. Последнее имеет особую практическую ценность при определении проницаемости слоев, подвергающихся тепловому воздействию до прохождения в них фронта вытеснения нефти водой [10].

Совокупность вышесказанного демонстрирует общую проблему адекватного моделирования всех трех случаев (10) процессов массо- и теплопереноса в неоднородном и анизотропном пласте с учетом «транзитных» переходов фронтов сопровождаемых фазовыми изменениями. Последние две характерные черты присущи общему классу задач, известных как задачи типа Стефана [11] и Веригина [3].

Вычислительный метод

Для численного решения задачи (1)–(9) построены разностные аддитивные сетки [12] уже учитывающих свойства пористых сред в виде сеточных структур согласованных с векторными полями, в частности, со значениями проницаемости пористой среды и учете градиентов давления, температуры и концентрации, через управляющие мониторные метрики. Обычно, при решении задач фильтрации используют методы раздельного определения полей давления и насыщенности (кон-

центрации и температуры), такие как IMPES, SS, SEQ [7,13,14] и т.д. Мы для решения исходной задачи использовали модифицированный вариант IMPES-метода. Общий алгоритм нахождения параметров задачи воздействия на пласт для системы уравнений имеет вид

$$\begin{cases} p_{ij}^{k+1} = p_{ij}^k + \tau_{it} L_h^p(s_{2ij}^n, p_{ij}^{k+1}, u_{ij}^n, v_{ij}^n, T_{ij}^n, c_{ij}^n), \\ T_{ij}^{n+1} = T_{ij}^n + \tau_t L_h^T(T_{ij}^n, p_{ij}^{l^*}, u_{ij}^{n+1}, v_{ij}^{n+1}, s_{2ij}^n, c_{ij}^n), \\ c_{ij}^{n+1} = c_{ij}^n + \tau_t L_h^c(T_{ij}^{n+1}, c_{ij}^n, p_{ij}^{l^*}, u_{ij}^{n+1}, v_{ij}^{n+1}, s_{2ij}^n), \\ s_{1ij}^{n+1} = s_{1ij}^n + \tau_t L_h^s(s_{2ij}^n, p_{ij}^{l^*}, u_{ij}^{n+1}, v_{ij}^{n+1}, T_{ij}^{n+1}, c_{ij}^{n+1}), \\ s_{2ij}^{n+1} = 1 - s_{1ij}^{n+1}. \end{cases} \quad (12)$$

которая решается неявным итерационным методом. Устойчивость и сходимость разностной схемы проверялось путем сравнения с тестовыми данными решений при заданной суммарной скорости. При разработке программы использована гибридная технология организации параллельных вычислений OpenMP и MPI [15].

Разработка гидродинамического симулятора

Для рационального проектирования численной параллельной программы-анализатора и в целом распределенной системы решения технологической задачи закачки ПАВ с различными температурными режимами в продуктивный пласт нами использована единая методология на основе технологий Model Driven architecture (MDA) [16] и Model checking [17], т.е. предварительное формальное описание всех компонент системы, используя UML 2.0 и следуя методологии MDA. Далее реализуется детализация свойств и специфики задачи и учет характеристик высокопроизводительного кластера URSA [18], в завершении формируется «полуавтоматическая» генерация программного кода реализующего параллельный численный алгоритм (11). Сконструированный параллельный код тестирулся и формально верифицировался с помощью построенной дискретной модели на основе анализатора SPIN [17], реализующего методологию Model checking.

На базе построенной математической и компьютерной модели движения жидкости в пористой среде с учетом процессов тепло и массопереноса предлагается прототип – Web гидродинамический симулятор – распределенная вычислительная система для анализа и разработки нефтегазовых месторождений – ИСАР II. Особенностью данной системы является то, что все расчеты численных моделей ведутся на распределенных высокопроизводительных вычислительных ресурсах, организуется распределенная обработка и хранение данных, а пользователь в промышленных условиях через Интернет (включая мобильные платформы) получает доступ к автоматизированному рабочему месту технолога-аналитика. Ввод-вывод данных, расчет и анализ результатов по выбранной модели решения технологической задачи можно осуществлять параллельно и оперативно из любой точки с доступом в Интернет. Таким образом, система дополняема новыми решениями моделей технологических задач нефтедобычи, оперативно обновляема и пользователь через авторизацию в системе имеет доступ к данным и результатам расчетов гидродинамического симулятора.

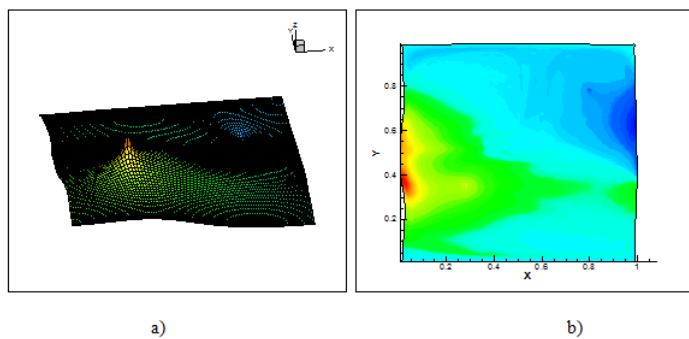


Рисунок 1 2D распределение: а) давления, б) насыщенности

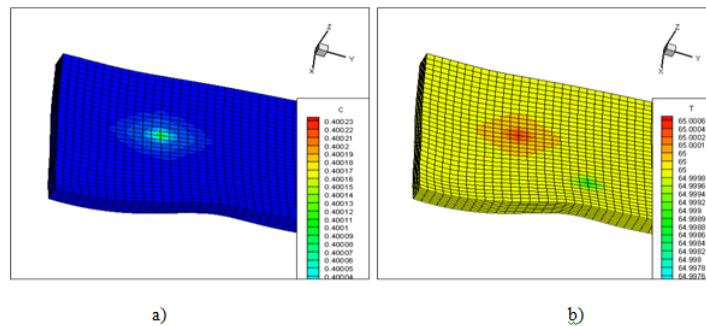


Рисунок 2 3D распределение: а) концентрации, б) температуры

Результаты

Вычислительный эксперимент производился в среде Java – Eclipse, графики получены на Tecplot 360 и разработанном симуляторе. Результаты расчетов для 2D и 3D случаев приведенные на рисунках 1–2.

Система представляет собой интерактивный пакет для анализа и оценки технологической задачи гидродинамического моделирования нефтегазового пласта при закачке ПАВ с различными температурными режимами в продуктивный пласт и использованием многопроцессорной техники. Модуль визуализации представлен в виде Web-модуля, исполняющегося на сервере (кластере) и использующий аппаратные средства графической подсистемы (GPU) со стороны клиента, рисунок 3.

Тем самым, в нашей работе мы рассмотрели вопросы создания и исследования математической модели фильтрации жидкости в пористой среде с учетом процессов массо- и теплопереноса. Введение кинетических уравнений тепло и массопереноса позволили выявлять «транзитные» переходы фронтов (10) сопровождаемых фазовыми изменениями и определить распределение параметров задачи закачки ПАВ с учетом температурных эффектов. Построены последовательный и параллельный вычислительный алгоритмы решения задачи. Представлена разработанная Web распределенная вычислительная система расчетов параметров рассматриваемой задачи в режиме реального времени, с разными уровнями детализации гидродинамического моделирования, проведение вычислений и их анализ через удаленный доступ и Интернет с использованием высокопроизводительного кластера.

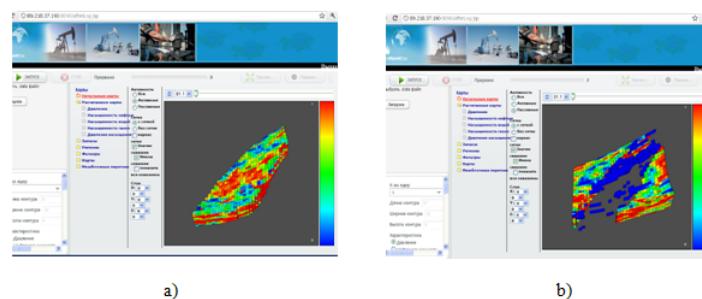


Рисунок 3 Web симулятор нефтяного пласта -3D модель: а) активные, б) неактивные блоки

Список литературы

- [1] Бабалян Г.А., Леви Б.И., Тумасян А.Б., Халимов Э.М. Разработка нефтяных месторождений с применением поверхностно-активных веществ. – М.: Недра, 1983. – 216 с.
- [2] Ентов В.М., Шыганаков Н. О капиллярной пропитке гидрофобных нефтенасыщенных пород раствором активной примеси // ПМТФ СО АН СССР. - 1981. - №4. - С.116-118.
- [3] Антонцев С.Н., Доманский А.В., Пеньковский В.И. Фильтрация в прискважинной зоне пласта и проблемы интенсификации притока. – Н.: ИГИЛ СО АН СССР, 1989. – 190 с.
- [4] Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. – М.: Недра, 1965. – 238 с.
- [5] Buckley S.E., Leverett M.C. Mechanism of fluid displacement in sands // AIME. – 1942. – Vol. 146. – P. 107-115.
- [6] Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. – М.: Недра, 1984. – 211 с.
- [7] Азиз Х., Саттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. – М.: Недра, 1982. – 507 с.
- [8] Данаев Н.Т., Корсакова Н.К., Пеньковский В.И. Массоперенос в прискважинной зоне и электромагнитный каротаж пластов. - А.: ?аза? университеті, 2005. - 180 с.
- [9] Sunderam, V.S., Geist, G.A., Dongarra, J. et al. The PVM concurrent computing system - evolution, experiences, and trends // Parallel Computing. – 1994. - № 20(4). – p. 531-545.
- [10] Гиматутдинов Ш.К. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 615 с.
- [11] Мейрманов А.М. Задача Стефана. – Н.: Наука, 1986. – 239 с.
- [12] Liseikin V.D. Grid generation methods. –Berlin: Springer, 1999. – 231 р.
- [13] Коновалов А.Н. Задачи фильтрации многофазной несжимаемой жидкости. – Н.: Наука, 1988. – 166 с.
- [14] Антонцев С.Н., Папин А.А. Приближенные методы решения задач двухфазной фильтрации // ДАН СССР. – 1979. – Т. 247, № 3. – С. 521-524.

- [15] Бахтин В.А. Гибридная модель параллельного программирования DVM/OpenMP // Автограферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Москва, 2008. – 122 с.
- [16] Frankel D. Model Driven Architecture. Applying MDA to Enterprise Computing. – Indiana: Wiley Publishing, 2003. – 567 р.
- [17] Кларк Э., Грамберг О., Пелед Д. Верификация моделей программ: Model Checking. - М.: МЦНМО, 2002. – 416 с.
- [18] ursa.kaznu.kz

УДК 681.5.015

УРАВНЕНИЕ ПУАССОНА НА АДАПТИВНОЙ СЕТКЕ, ПОСТРОЕННОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ

Б.Т. Жумагулов, Н.Т. Данаев, О.Н. Туар

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби

Abstract. The solution of boundary value problems for the Poisson equation on the surface is an important task, allowing to apply a wide functionality of finite-difference methods in the areas and on the surfaces of complex shapes. The use of adaptive grids, even without strong gradients of solutions and other properties of a particular physical process that can lead to large errors, can greatly improve the accuracy of solutions because of possible severe bends and twists of the surface, affecting the value of the metric tensor, the components of which will be the coefficients of the differential elliptic equation.

Keywords: adaptive grids, surface, structured grids, Poisson equation.

Аннотация. Пуассон теңдеуі үшін щекаралық есептерді шығару курделі пішінді аудандар және беттерде ақырлы-айрымдық әдістердің кең функционалын қолдануға мүмкіндік беретін өзекті мәселе болып табылады. Адаптивті торларды қолдану шешімнің күшті градиенттері және, сол сияқты үлкен қателіктеге әкеліп соғуы мүмкін, физикалық үрдіс ерекшеліктерін ескермегенниң өзінде компоненттері дифференциалды әллиптикалық теңдеудің коэффициенттері болып табылатын метрикалық тензорға ықпал жасайтын беттің кейбір бұгілулері мен оралу-ларының салдарынан айтарлықтай шешім дәлдігін жоғарылатуы мүмкін.

Кілттік сөздер: адаптивті торлар, бет, құрылымды торлар, Пуассон теңдеуі.

Аннотация. Решение краевых задач для уравнения пуассона на поверхности является актуальной задачей, позволяющей применять широчайший функционал конечно-разностных методов в областях и на поверхностях сложных форм. Использование адаптивных сеток, даже без учета сильных градиентов решений и других свойств конкретного физического процесса, способных привести к большим погрешностям, может сильно повысить точность решения из-за возможных сильных сгибов и кручений поверхности, влияющих на значения метрического тензора, компоненты которого будут являться коэффициентами дифференциального эллиптического уравнения.

Ключевые слова: адаптивные сетки, поверхность, структурированные сетки, уравнение Пуассона.

Введение

Основной задачей, на раскрытие которой нацелена статья, является разработка конечно-разностной схемы на адаптивной сетке для решения краевой задачи для уравнения Пуассона. Такая задача часто встречается в виде подзадачи при моделировании сложных физических явлений во многих прикладных областях. В статье рассматривается двумерная задача. Несмотря на такое упрощение, эта задача имеет достаточно широкий круг приложений в практике.

Переход к криволинейным координатам позволяет упростить расчет около криволинейных границ, так как в новых координатах область решения имеет прямолинейные границы. Кроме того, использование криволинейных координат позволяет сгущать расчетные сетки в областях больших градиентов решения. Этим можно добиться повышения точности численного решения.

Для математического изучения свойств разного рода физических явлений на сложных поверхностях и областях приходится применять метод координат и появляется необходимость применения аппарата тензорного анализа. Координатный метод позволяет осуществить параметризацию модели, в данном случае в основном геометрических построений, и применять определенные математические операции для корректного поведения различных дифференциальных операторов путем использования метрических тензоров поверхностей и многообразий.

Построение адаптивной сетки на криволинейной области

Для решения поставленной задачи сначала будет построена криволинейная сетка на некоторой области, которая является образом аналогичного участка поверхности, заданной параметрически. Существует множество различных методов построения криволинейных структурированных сеток широко используемых в различных ситуациях для решения конкретных задач. В основном используются дифференциальные методы, но в большинстве случаев находят свои применения и методы построения сеток путем решения систем алгебраических уравнений. К примеру, алгебраические уравнения могут использоваться для получения начального приближения для многих итерационных дифференциальных методов построения адаптивных сеток потому, что каждая итерация производит некоторый слабый сдвиг ячеек сетки, дальнейшее сравнение и проверку выполнения условий сходимости. И очевидно, что при плохих начальных данных расположения узлов искомой сетки количество итераций выполняемых для сходимости модели может резко возрасти.

Эффективные методы построения адаптивных сеток это методы, основанные на решении дифференциальных задач второго порядка. Для решения этих задач необходимы граничные условия. В рассматриваемой задаче граничными условиями являются узлы сетки на границе области, которые сами по себе являются решением одномерного уравнения. Для получения значений параметрических координат узлов на границах была использована следующая одномерная задача:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dq} \left(w(p) \frac{ds}{dq} \right) &= 0, \quad q \in (0, 1), \\ p(0) = 0, \quad p(1) = l. \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь сама кривая задается параметрически,

$$p = p(q), \quad q \in [0, 1] \tag{2}$$

а через $s(p_j)$ обозначена длина дуги кривой \mathcal{L} от ее начала до узла x_j . Решение этой задачи позволит получить сгущение сетки заданное управляемой функцией $w(x, y)$.

Криволинейная сетка строится путем поиска некоторого отображения

$$x = x(q), \quad (3)$$

где x и q — векторы и $x = (x^1, x^2)$, $q = (q^1, q^2)$, $x(q) = (x^1(q^1, q^2), x^2(q^1, q^2))$.

Как упоминалось выше, далее нужно определить первое приближение для адаптивной сетки. Для этого был использован метод трансфинитной интерполяции (TFI-метод). При его использовании вычисление координат внутренних узлов производится с учетом расстановки узлов на всех четырех частях границы. Формулы трансфинитной интерполяции реализуются в два этапа. На первом этапе интерполируются значения координат узлов сетки с левой и правой границ:

$$x_{j_1, j_2}^* = (1 - q_{j_1}^1)x_{0, j_2} + q_{j_1}^1 x_{N_1, j_2}, \quad j_\alpha = 0, \dots, N_\alpha, \quad \alpha = 1, 2. \quad (4)$$

На втором этапе интерполируются значения координат узлов сетки с нижней и верхней границ:

$$x_{j_1, j_2} = x_{j_1, j_2}^* + (1 - q_{j_2}^2)(x_{j_1, 0} - x_{j_1, 0}^*) + q_{j_2}^2(x_{j_1, N_2} - x_{j_1, N_2}^*), \quad (5)$$

$j_\alpha = 0, \dots, N_\alpha$, $\alpha = 1, 2$, q^1 и q^2 параметры уже двумерной области. Легко проверить, что TFI-метод не изменяет расположение узлов на границе области [7].

После этого было реализовано два различных метода построения криволинейных сеток. Это классические методы эквираспределения и Годунова-Томпсона. Они были тщательно изучены, после чего реализованы и протестированы путем решения на построенной криволинейной сетке краевых задач для уравнений Пуассона и теплопроводности.

Метод эквираспределения

Вначале мы получим дифференциальные уравнения метода эквираспределения. В двумерном случае *принцип эквираспределения в разностной форме* будет выглядеть так:

$$w(x_{j+1/2})S_{j+1/2} = \text{const}, \quad j_\alpha = 0, \dots, N_\alpha - 1, \quad \alpha = 1, 2, \quad (6)$$

где $S_{j+1/2}$ — площадь четырехугольной ячейки с вершинами x_{j_1, j_2} , x_{j_1+1, j_2} , x_{j_1+1, j_2+1} , x_{j_1, j_2+1} ; $w(x_{j+1/2})$ — значение заданной управляемой функции в центре $x_{j+1/2}$ этой ячейки; $j+1/2 = (j_1 + 1/2, j_2 + 1/2)$. Координаты центра определяются как среднее арифметическое соответствующих координат четырех ее вершин. Из равенства (6) видно, что если сетка удовлетворяет принципу эквираспределения, то площади ячеек будут малы там, где w принимает большие значения, и наоборот, сетка будет иметь ячейки с большими площадями в той части, в которой функция w принимает малые значения.

Учитывая связь между элементарной площадью и первой квадратичной формой и дифференцируя формулу (6), выводится дифференциальное уравнение эквираспределения. Стоит отметить, что формула (28) получается аналогично и называется одномерным дифференциальным уравнением эквираспределения.

$$\frac{\partial}{\partial q^1} \left(\frac{g_{22}}{J} \frac{\partial x^\alpha}{\partial q^1} - \frac{g_{12}}{J} \frac{\partial x^\alpha}{\partial q^2} \right) + \frac{\partial}{\partial q^2} \left(-\frac{g_{12}}{J} \frac{\partial x^\alpha}{\partial q^1} + \frac{g_{11}}{J} \frac{\partial x^\alpha}{\partial q^2} \right) = 0. \quad (7)$$

здесь

$$g_{11} = x_{q^1}^2 + y_{q^1}^2; \quad g_{22} = x_{q^2}^2 + y_{q^2}^2; \quad g_{12} = x_{q^1}x_{q^2} + y_{q^1}y_{q^2}. \quad (8)$$

являются компонентами метрического тензора, а J — якобиан преобразования (3).

$$J = x_{q^1}y_{q^2} - x_{q^2}y_{q^1}, \quad (9)$$

Далее делается допущение, что искомая сетка является ортогональной, а значит, уравнение упрощается. С помощью метрического тензора условие ортогональности пишется следующим образом:

$$g_{12} = 0. \quad (10)$$

А уравнения эквираспределения принимают вид:

$$\frac{\partial}{\partial q^1} \left(\frac{g_{22}}{J} \frac{\partial x^\alpha}{\partial q^1} \right) + \frac{\partial}{\partial q^2} \left(\frac{g_{11}}{J} \frac{\partial x^\alpha}{\partial q^2} \right) = 0. \quad (11)$$

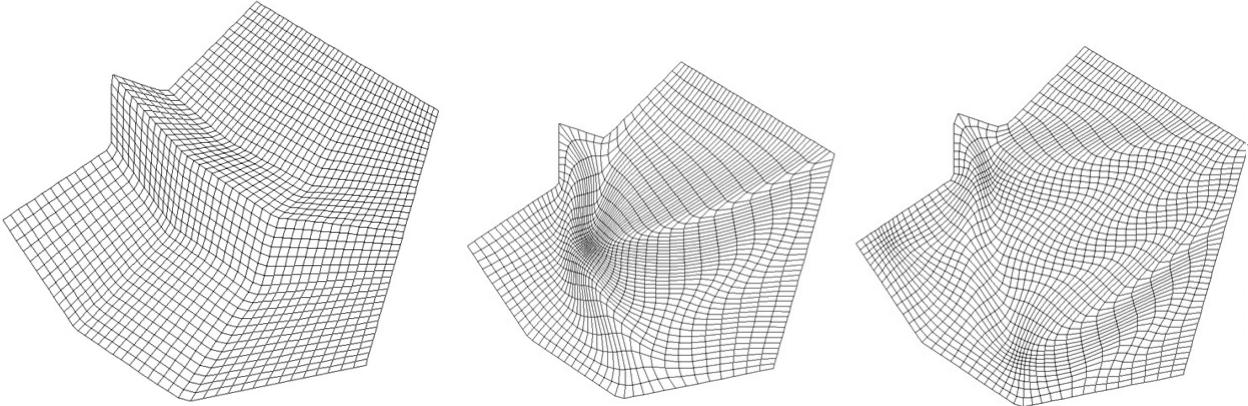


Рисунок 1 Пример сетки построенной методом трансфинитной интерполяции (слева); примеры построения сеток методом эквираспределения для различных управляемых функций

Метод Годунова-Томпсона

Другой подход для построения двумерных неподвижных сеток с помощью дифференциального метода — это нахождение обратное для (3) отображение

$$q = q(x), \quad (12)$$

удовлетворяющее уравнению Пуассона

$$\Delta q^\alpha \equiv \frac{\partial^2 q^\alpha}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q^\alpha}{\partial y^2} = P_\alpha(x), \quad \alpha = 1, 2, \quad x \in \Omega \quad (13)$$

и заданным на отдельных частях границы краевым условиям для искомой функции.

Криволинейность границы сильно усложняет численное решение поставленной задачи. Поэтому предпочтительнее находить прямое преобразование (3) при условии, что обратное преобразование (12) является решением уравнений (13). Для этого мы обращаем уравнение (13) заменяя

функцию в правой части уравнения следующим образом

$$P_\alpha = \frac{1}{w} \frac{\partial w}{\partial q^\alpha}.$$

Обращенное уравнение примет следующий вид:

$$g_{22} \frac{\partial}{\partial q^1} \left(w \frac{\partial x}{\partial q^1} \right) + g_{11} \frac{\partial}{\partial q^2} \left(w \frac{\partial x}{\partial q^2} \right) - 2g_{12}w \frac{\partial^2 x}{\partial q^1 \partial q^2} = 0. \quad (14)$$

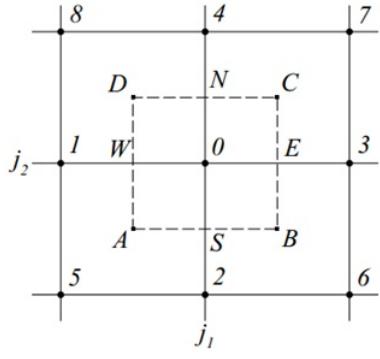
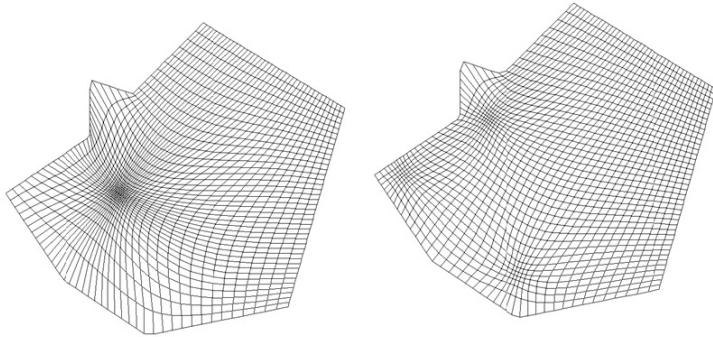


Рисунок 2 Девятиточечный шаблон для аппроксимации методом Годунова-Томпсона



Численная реализация методов построения криволинейных сеток

Для этих уравнений, после добавления к ним граничных условий, являющихся решением одномерного уравнения, делается аппроксимация второго порядка.

Далее приведена аппроксимация уравнения эквираспределения позволяющая найти внутренние точки сетки, полагая, что на границе области сетка уже построена. Будем предполагать здесь, что сеточные функции J и $g_{\alpha\alpha}$ определены в центрах ячеек:

$$J_{j+1/2} = (x^1_{q^1} x^2_{q^2} - x^1_{q^2} x^2_{q^1})_{j+1/2}. \quad (15)$$

$$(g_{11})_{j+1/2} = ((x^1_{q^1})^2 + (x^2_{q^1})^2)_{j+1/2}; \quad (g_{22})_{j+1/2} = ((x^1_{q^2})^2 + (x^2_{q^2})^2)_{j+1/2}, \quad (16)$$

где через x^α обозначены x и y , $\alpha = 1, 2$; а разностные производные $(x^\alpha_{q^\beta})_{j+1/2}$ задаются выражениями

$$(x^\alpha_{q^1})_{j+1/2} = \frac{x_2^\alpha + x_3^\alpha - x_1^\alpha - x_4^\alpha}{2h_1}; \quad (17)$$

$$(x^\alpha_{q^2})_{j+1/2} = \frac{x_4^\alpha + x_3^\alpha - x_1^\alpha - x_2^\alpha}{2h_2}. \quad (18)$$

Используя обозначение

$$(k_{11})_{j+1/2} = (wg_{22})_{j+1/2}; \quad (k_{22})_{j+1/2} = (wg_{11})_{j+1/2}. \quad (19)$$

разностную задачу Дирихле для нахождения координат внутренних узлов x_j можно сформули-

ровать следующим образом:

$$\Lambda x_j = 0, \quad q_j \in Q_h, \quad (20)$$

$$x_j = x(q_j), \quad q_j \in \partial \bar{Q}_h, \quad (21)$$

где $\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2$, разностные операторы Λ_1 и Λ_2 аппроксимируют со вторым порядком соответственно первый и второй дифференциальные операторы в левой части уравнения (11):

$$\Lambda_1 x_j = \frac{1}{h_1} \left((k_{11})_{j_1+1/2,j_2} \cdot \frac{x_{j_1+1,j_2} - x_{j_1,j_2}}{h_1} - (k_{11})_{j_1-1/2,j_2} \cdot \frac{x_{j_1,j_2} - x_{j_1-1,j_2}}{h_1} \right); \quad (22)$$

$$\Lambda_2 x_j = \frac{1}{h_2} \left((k_{22})_{j_1,j_2+1/2} \cdot \frac{x_{j_1,j_2+1} - x_{j_1,j_2}}{h_2} - (k_{22})_{j_1,j_2-1/2} \cdot \frac{x_{j_1,j_2} - x_{j_1,j_2-1}}{h_2} \right), \quad (23)$$

$$(k_{11})_{j_1\pm 1/2,j_2} = \frac{1}{2} \left((k_{11})_{j_1\pm 1/2,j_2+1/2} + (k_{11})_{j_1\pm 1/2,j_2-1/2} \right); \quad (24)$$

$$(k_{22})_{j_1,j_2\pm 1/2} = \frac{1}{2} \left((k_{22})_{j_1+1/2,j_2\pm 1/2} + (k_{22})_{j_1-1/2,j_2\pm 1/2} \right). \quad (25)$$

Далее используя следующую модификацию метода переменных направлений на случай нелинейной разностной задачи:

$$\frac{x_j^{n+1/2} - x_j^n}{\tau/2} = \Lambda_1^n x_j^{n+1/2} + \Lambda_2^n x_j^n; \quad \frac{x_j^{n+1} - x_j^{n+1/2}}{\tau/2} = \Lambda_1^n x_j^{n+1/2} + \Lambda_2^n x_j^{n+1}. \quad (26)$$

находится расположение внутренних узлов искомой сетки.

По сравнению с этим методом реализация метода Годунова-Томпсона может быть выполнена гораздо проще и быстрее, поскольку уравнение может быть в ущерб скорости схождения решено простейшими итерационными методами.

Далее приведены окончательные формулы для коэффициентов, используемые в методе последовательной верхней релаксации

$$\left(\sum_{k=0}^8 \alpha_k x_k \right)_j = 0, \quad (27)$$

где k — локальный номер узла в девятиточечном шаблоне разностного уравнения (см. рис. 2, где узлу q_{j_1,j_2} присвоен номер 0, узлу $q_{j_1-1,j_2} = 1$ и т. д.),

$$\alpha_1 = \frac{h_2}{h_1} (g_{22})_j w_W; \quad \alpha_3 = \frac{h_2}{h_1} (g_{22})_j w_E; \quad \alpha_2 = \frac{h_1}{h_2} (g_{11})_j w_S; \quad \alpha_4 = \frac{h_1}{h_2} (g_{11})_j w_N; \quad (28)$$

$$\alpha_0 = - \sum_{k=1}^4 \alpha_k; \quad \alpha_5 = \alpha_7 = - \frac{1}{2} (g_{12}w)_j; \quad \alpha_6 = \alpha_8 = \frac{1}{2} (g_{12}w)_j. \quad (29)$$

Тестовая задача для уравнения Пуассона

С помощью этих аппроксимаций были численно построены сетки для нескольких областей. После чего для одной из них, а именно для квадрата, в котором сетка сгущалась к центру методом эквираспределения, была поставлена и решена тестовая задача для уравнения Пуассона. При этом сгущение происходило по значениям точного решения, с которым в конечном итоге

сравнивалось численное решение тестовой задачи. Точное решение представляется следующим образом:

$$\phi(x, y) = e^{-a^2(x^2+y^2)} \quad (30)$$

тестовая задача для уравнения Пуассона примет вид

$$u_{xx} + u_{yy} = f(x, y) = \phi_{xx} + \phi_{yy} \quad (31)$$

$$u(x, y)|_{\partial\Omega} = \phi(x, y) \quad (32)$$

где $\partial\Omega$ — граница области.

Чтобы иметь возможность решать это уравнение на криволинейной сетке необходимо произвести следующую замену переменных:

$$x = x(q^1, q^2) \quad y = y(q^1, q^2) \quad (33)$$

Тогда уравнение (31) придет к виду:

$$\left(u_{q^1} \frac{g_{22}}{J} - u_{q^2} \frac{g_{12}}{J} \right)_{q^1} + \left(u_{q^2} \frac{g_{11}}{J} - u_{q^1} \frac{g_{12}}{J} \right)_{q^2} = f(x(q^1, q^2), y(q^1, q^2)) \quad (34)$$

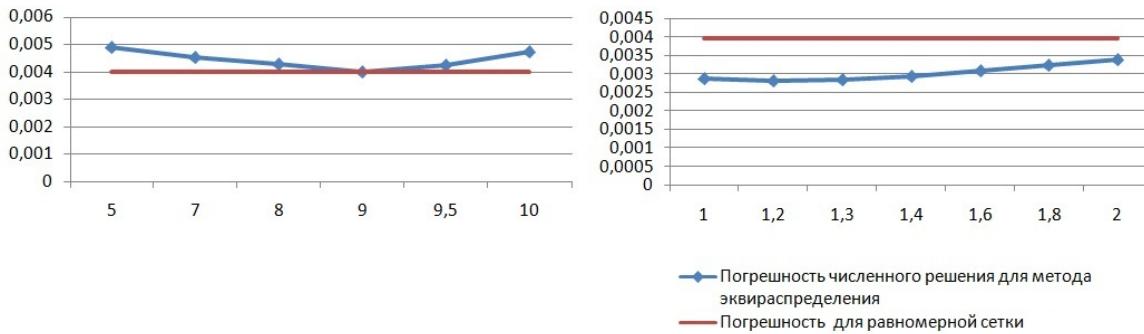


Рисунок 4 Сравнение погрешностей численного решения на равномерной сетке с сеткой построенной по управляемым функциям (35) (слева) и (36) (справа)

Уравнения (34) было аппроксимировано конечными разностями второго порядка, причем все коэффициенты и переменные использовались в целых узлах. После чего эта задача была решена методом последовательной верхней релаксацией. Тесты проводились по двум видам управляемой функции:

$$w(x, y) = 1 + \alpha\phi(x, y) \quad (35)$$

$$w(x, y) = 1 + \alpha|\nabla\phi(x, y)| \quad (36)$$

И, после проведения тестов с различными коэффициентами управляемой функции, были определены сетки, позволяющие получить наибольший выигрыш по точности. К примеру, в сетке 40 на 40 узлов погрешность численного решения на равномерной сетке была равна 0,0701, а на криволинейной — 0,040668.

Уравнение Пуассона на поверхности

Для построения криволинейной сетки на поверхности достаточно построить ее на параметрической области поверхности. При этом, в качестве управляющей функции для криволинейной поверхности наряду с решением могут использоваться параметрические уравнения поверхности. Кроме того, в случае, когда значения управляющей функции заданы на поверхности, значения в параметрической области должны быть рассчитаны с помощью сложных функций.

В остальном же построение криволинейной сетки на поверхности мало чем отличается от построения сетки на произвольной области плоскости. Даже если речь идет о адаптивно строящейся сетке, то есть о сетке, построение которой происходит одновременно с решением задачи, в случае, когда точное решение неизвестно, а управляющая функция напрямую зависит от нее.

Гораздо более сложной проблемой можно назвать непосредственное решение задачи на криволинейной сетке на поверхности. Выше была представлен способ решения краевой задачи для уравнения Пуассона на криволинейной сетке. При этом, в качестве начального уравнения было взята классическая запись уравнения Пуассона на двумерной области. После чего была произведена замена переменных.

В случае решения задачи на поверхности в качестве начального уравнения взято уравнение Пуассона, в котором эллиптический оператор представлен в специальной записи для поверхности [??].

$$\Delta\phi = \frac{1}{\sqrt{a}} \frac{\partial}{\partial\xi^\alpha} \left(\sqrt{a} a^{\alpha\beta} \frac{\partial\phi}{\partial\xi^\beta} \right) \quad (37)$$

где $a^{\alpha\beta}$ — контравариантные компоненты метрического тензора поверхности a , ξ^α — переменные параметрического представления поверхности, $\alpha, \beta = 1, 2$. В формуле (9) и в дальнейшем происходит суммирование по одинаковым индексам.

Замена переменных осуществляется аналогично (33)

$$\xi^\alpha = \xi^\alpha(q^1, q^2) \quad (38)$$

При замене переменных в новой системе координат частичные производные преобразуются следующим образом

$$\frac{\partial}{\partial\xi^1} = \frac{1}{J} \frac{\partial\xi^2}{\partial q^2} \frac{\partial}{\partial q^1} - \frac{1}{J} \frac{\partial\xi^2}{\partial q^1} \frac{\partial}{\partial q^2} \quad (39)$$

$$\frac{\partial}{\partial\xi^2} = \frac{1}{J} \frac{\partial\xi^1}{\partial q^1} \frac{\partial}{\partial q^2} - \frac{1}{J} \frac{\partial\xi^1}{\partial q^2} \frac{\partial}{\partial q^1} \quad (40)$$

где J — Якобиан преобразования пространства

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial\xi^1}{\partial q^1} & \frac{\partial\xi^1}{\partial q^2} \\ \frac{\partial\xi^2}{\partial q^1} & \frac{\partial\xi^2}{\partial q^2} \end{vmatrix} \quad (41)$$

После преобразования уравнение Пуассона придет к виду

$$\frac{1}{\sqrt{a}J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^2} \frac{\partial}{\partial q^1} \left(\sqrt{a}a^{11} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^2} \frac{\partial u}{\partial q^1} - \frac{1}{J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^1} \frac{\partial u}{\partial q^2} \right) + \sqrt{a}a^{12} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^1} \frac{\partial u}{\partial q^2} - \frac{1}{J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^2} \frac{\partial u}{\partial q^1} \right) \right) - \quad (42)$$

$$- \frac{1}{\sqrt{a}J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^1} \frac{\partial}{\partial q^2} \left(\sqrt{a}a^{11} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^2} \frac{\partial u}{\partial q^1} - \frac{1}{J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^1} \frac{\partial u}{\partial q^2} \right) + \sqrt{a}a^{12} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^1} \frac{\partial u}{\partial q^2} - \frac{1}{J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^2} \frac{\partial u}{\partial q^1} \right) \right) + \quad (43)$$

$$+ \frac{1}{\sqrt{a}J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^1} \frac{\partial}{\partial q^2} \left(\sqrt{a}a^{21} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^2} \frac{\partial u}{\partial q^1} - \frac{1}{J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^1} \frac{\partial u}{\partial q^2} \right) + \sqrt{a}a^{22} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^1} \frac{\partial u}{\partial q^2} - \frac{1}{J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^2} \frac{\partial u}{\partial q^1} \right) \right) - \quad (44)$$

$$- \frac{1}{\sqrt{a}J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^2} \frac{\partial}{\partial q^1} \left(\sqrt{a}a^{21} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^2} \frac{\partial u}{\partial q^1} - \frac{1}{J} \frac{\partial \xi^2}{\partial q^1} \frac{\partial u}{\partial q^2} \right) + \sqrt{a}a^{22} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^1} \frac{\partial u}{\partial q^2} - \frac{1}{J} \frac{\partial \xi^1}{\partial q^2} \frac{\partial u}{\partial q^1} \right) \right) = \quad (45)$$

$$= f(\xi^1(q^1, q^1), \xi^2(q^1, q^1)) \quad (46)$$

Постановка краевой задачи для этого уравнения и ее численное решение будет являться исскомым решением уравнения Пуассона на поверхности. Само по себе прямое решение краевой задачи для уравнения Пуассона при использовании лапласиана (9) выдало бы корректный результат задачи на поверхности, но при этом появляется строгая ограниченность в выборе области, обусловленная параметрическим представлением поверхности, а также, в определенных случаях, неприемлемое снижение точности в местах резких сгибов и кручений.

Заключение

В статье представлены шаги по построению криволинейных сеток и решению задач на них. Тщательно описаны два метода построения структурированных сеток на криволинейных областях: метод эквираспределения и метод Годунова-Томпсона. У этих методов есть свои отличительные черты, плюсы и минусы. К примеру, метод эквираспределения строит сетки приближенные к ортогональным, но при этом могут появиться ячейки с сильным сдвигом вдоль диагоналей или других линий, на которых сходятся небольшие области, состоящие из почти прямоугольных ячеек. А метод Годунова-Томпсона строит гладкие сетки, но может создать сильно разряженные ячейки при сильно искривленных границах. Кроме того, после описания их реализации приведен пример, в качестве тестовой задачи, решающей первую краевую задачу для уравнения Пуассона на сетке, построенной одним из этих методов. Показаны заметные улучшения точности при определенных начальных параметрах управляющей функции.

Описаны способы решения задачи на адаптивной сетке, построенной на поверхности. При этом основной упор делается именно на построении и использовании криволинейных сеток, поскольку использование только оператора Пуассона на поверхности для решения задачи может сильно повлиять на точность решения из-за топологии поверхности. Кроме того, использование криволинейных систем координат может быть очень хорошим вариантом для решения задач в областях со сложной формой границы.

На примере уравнения Пуассона описан принцип численного решения задач на криволинейных сетках. То есть, изначальное уравнение должно быть преобразовано путем замены переменных, после чего аппроксимировано и решено подходящими, чаще всего итеративными, численными методами.

Список литературы

- [1] Векуа И. Н. Основы тензорного анализа и теории ковариантов. М.: Наука, 1978.

- [2] Глассер А. Г. и др. Построение разностных сеток с помощью уравнений Бельтрами и диффузии / А. Г. Глассер, В. Д. Лисейкин, Ю. И. Шокин и др. Новосибирск: Наука, 2006.
- [3] Годунов С. К. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1971.
- [4] Годунов С. К. и др. Численное решение многомерных задач газовой динамики / С. К. Годунов, А. В. Забродин, М. Я. Иванов и др. М.: Наука, 1976.
- [5] Thompson J. F., Warsi Z. U. A., Mastin C. W. Numerical grid generation, foundations and applications. New York: Elsevier Science Publisher, 1985.
- [6] Лисейкин В. Д. Алгебраический метод построения разностных сеток. Новосибирск: НГУ, 2002.
- [7] Самарский А. А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1983. 616 с.
- [8] Шокин Ю.И., Danaev Н.Т., Хакимзянов Г.С., Шокина Н.Ю. Лекции по разностным схемам на подвижных сетках: Часть 2. Алматы: Изд-во КазНУ им. аль-Фараби. 2008. 184 с.

УДК 532.544

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МНОГОКОМПОНЕНТНУЮ ЖИДКОСТЬ

Б.Т. Жумагулов, Д.Б. Жакебаев, А. Асылбекұлы

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

Abstract. Multivariable pulse impact on a multicomponent liquid, such as oil in a cylindrical region in which the propeller is carried out in order to obtain its light fractions, which is actively used in the production. In this project we present the mathematical modeling of the process. It has been determined the patterns of influence of multi-factor pulsed impact to heavy oil fractions by solving nonstationary filtered Navier - Stokes equations, the continuity equation, the equations for the concentration of given chemical kinetics in a cylindrical coordinate system with the help of large eddy simulation.

Keywords: Multifactorial pulsed effect on heavy oil fractions, the production of light oil fractions, modeling of chemical kinetics, dissipation of the vortex model.

Аннотация. Көмкөмпөнентті сүйыққа көпфакторлы импульстік әсер ету арқылы мұнайдың жеңіл фракцияларын алу мақсатында ішінде пропеллері бар цилиндрлік облыста жүзеге асырылады, ал мұндай құрылғылар белсенді түрде өндіріс салаларында қолданылады. Осы жұмыста көрсетілген процестің математикалық моделі келтірілген. Цилиндрлік координаталар жүйесінде ірі құйындар әдісін қолданып, стационарлық емес фильтрленген Навье-Стокс теңдеулерін, үзіліссіздік теңдеуін және химиялық кинетиканы ескере отырып жазылған концентрация теңдеулерін шешу арқылы мұнайдың ауыр фракцияларына көпфакторлы импульстік әсер ету заңдылықтары анықталды.

Кілттік сөздер: мұнайдың ауыр фракцияларына көпфакторлы импульстік әсер ету, мұнайдың жеңіл фракцияларын алу, химиялық кинетиканы моделдеу, құйынның диссипативті моделі.

Аннотация. Многофакторное импульсное воздействие на многокомпонентную жидкость, например, нефть, в цилиндрической области, внутри которой расположен пропеллер осуществляется с целью получения ее легких фракций, что активно применяется на производстве. В настоящей работе приведено математическое моделирование указанного процесса. Путем решения нестационарных отфильтрованных уравнений Навье - Стокса, уравнения неразрывности, уравнения для концентрации с учетом химической кинетики в цилиндрической системе координат, на основе метода крупных вихрей, установлены закономерности влияния многофакторного импульсного воздействия на тяжелые фракции нефти.

Ключевые слова: многофакторное импульсное воздействие на тяжелые фракции нефти, получение легких фракций нефти, моделирование химической кинетики, диссипативная модель вихря.

В работе рассматривается моделирование многофакторного импульсного воздействия на многокомпонентную жидкость. Воздействие осуществляется с целью получения легко структурированной жидкости путем достижения разрыва межмолекулярных соединений. Расчет производится для емкости цилиндрической формы, внутри которой врачаются лопасти пропеллера, находящиеся на высоте $2/3H$ от основания цилиндра. Работой пропеллера вызвано турбулентное перемешивание. Исследованы случаи, когда лопасти располагаются под углами 90° и 45° к основанию цилиндра. На основе ниже изложенной задачи моделирования многофакторного импульсного воздействия на многокомпонентную жидкость, на основе решения нестационарных отфильтрованных уравнений Навье-Стокса, уравнения неразрывности, уравнения для концентрации с учетом химической кинетики в цилиндрической системе координат, применяя метод крупных вихрей [1], установлены закономерности влияния многофакторного импульсного воздействия на вязкую жидкость, примером, который может служить – нефть. Полученные данные могут быть полезны для предприятий, занимающихся переработкой нефти и нефтепродуктов.

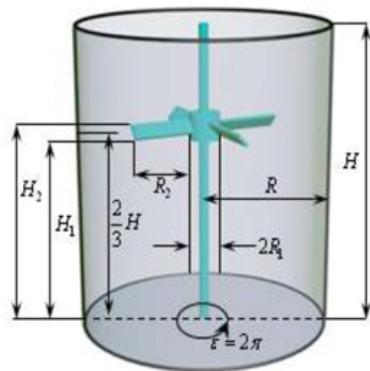


Рисунок 1 Физическая область: длина – $L_{pr} = R_2 - R_1$, высота – $H_{pz} = (H_2 - H_1) / \sin \alpha, \frac{1}{2}(H_2 - H_1) = \frac{2}{3}H$, время вращения за один период – T_p , лопасти пропеллера прикреплены к внутреннему цилинду радиуса – R_1 , расстояние от центра внутри цилиндра до края лопасти – R_2 , количество лопастей – $K = 4$

Интерес к проблеме влияния центробежной и других механических сил на многокомпонентные, и гетерогенные объекты возник достаточно давно и относится, главным образом, к области расчета химических равновесий в химической термодинамике, где моделирование химических систем в равновесных и стационарных условиях является приоритетной задачей [2]. При рассмотрении более сложных смесей доказано, что имеет место противоположное явление – гомогенизация

гетерогенных систем, которая может наблюдаться только в системах с числом компонентов более двух. В бинарных смесях, в случае подобного механического воздействия, можно наблюдать только расслаивание гомогенных смесей.

Существующие традиционные методы расчета химических реакторов, основанные на кинетических исследованиях химических реакций и гидромеханических моделях структуры потоков с использованием теории подобия, вызывают определенные трудности из-за наличия эффекта масштабирования, связанного с несовместимостью определяющих критериев подобия: химического – Дамкеллера и гидромеханического – Рейнольдса. Избежать указанную проблему возможно при совместном решении системы уравнений, описывающих кинетику, структуру потоков, тепловые и массообменные процессы в химических реакторах, используя методы математического моделирования [3].

Нефть и нефтепродукты представляют собой многокомпонентную непрерывную смесь углеводородов и гетероатомных соединений, поэтому обычными методами перегонки не удается разделить их на индивидуальные соединения со строго определенной температурой кипения при определенном давлении. Принято разделять нефти и нефтепродукты путем перегонки на отдельные компоненты, каждый из которых является менее сложной смесью. Такие компоненты принято называть фракциями или дистиллятами.

Деструкция молекулярных соединений многокомпонентной жидкости с целью получения легких фракций нефти путем многофакторного импульсного воздействия осуществляется турбулентным перемешиванием, вызванным вращением лопастей пропеллера, в цилиндрической области.

Принцип работы аппарата таков, что при вращении лопастей пропеллера в цилиндрической области возникают большие сдвиговые напряжения, где скорость потока жидкости высока и, имеет место возникновение флюктуаций, которые являются предшественниками интенсивной турбулентности, приводящих к разрушению молекулярных структур.

Химические реакции происходят, когда реагенты смешиваются на молекулярном уровне при достаточно высокой температуре. Известно, что на уровне микропроцессов, которые имеют решающее значение для молекулярного перемешивания, диссипация энергии турбулентности в тепло становится сильно прерывистой, т.е. сосредоточенной в отдельных регионах, малых (относительно общего объема) областях, размеры которых малы в одном или двух направлениях (не в трех направлениях одновременно). Эти регионы занимают тонкие структуры, которыми могут быть вихревые трубы, листы и плиты, характерные размеры которых совпадают с порядком колмогоровских микромасштабов. Тонкие структуры несут ответственность за диссипацию турбулентности в тепло. Поэтому можно предположить, что в них реагенты будут смешиваться на молекулярном уровне, тем самым создавая пространство для реакции неравномерно распределенных реагентов.

Для реализации указанной задачи используется диссипативная модель вихря для моделирования химической кинетики. Впервые эта модель была разработана Б.Ф. Магнуссеном в 1976 г. Модель описывает химико-турбулентное взаимодействие, которое может рассматриваться как одношаговая необратимая реакция с конечной скоростью. В реакции типа $Y_A \rightarrow sY_B + (1+s)Y_C$, скорость образования i , R_i смесей, определяется по наименьшей скорости турбулентного разложения:

$$R_i = Apl \frac{\varepsilon}{\kappa} \min \left(Y_A, Y_B, B \frac{Y_C}{1+s} \right)$$

где – A постоянная величина, принимающая значение равное 4, B – равен 0.5, ε – кинетическая энергия скорости диссипации, κ – кинетическая энергия турбулентности. Модифицированная версия указанной модели разложения вихря была разработана Б.Ф. Магнуссеном в 2005 г. [4].

Для численного решения уравнения Навье-Стокса используется схема расщепления по физическим параметрам, которая состоит из трех этапов. На первом этапе решается уравнение Навье-Стокса без учета давления. Для аппроксимации конвективных и диффузационных членов уравнения используется компактная схема повышенного порядка точности. На втором этапе решается уравнение Пуассона, полученное из уравнения неразрывности с учетом поля скоростей первого этапа. Для решения трехмерного уравнения Пуассона разработан алгоритм решения – спектральное преобразование в комбинации с методом матричной прогонки. Полученное поле давления используется на третьем этапе для пересчета окончательного поля скоростей, значения которых применяются при решении уравнения для концентрации.

Построенная модель позволяет моделировать нестационарные химические процессы в реакторе, с различными входными параметрами режима, а также позволяет управлять процессом реакции, путем регулирования внешних параметров, которыми являются расход сырья, давление и температура. В результате моделирования установлены закономерности влияния многофакторного импульсного воздействия на нефть.

На основе построенной модели были определены следующие характеристики – турбулентная кинетическая энергия, изменение концентрации тяжелой фракции и концентрации легкой фракции жидкости для различных значений Рейнольдса, а также для разных значений угловых скоростей пропеллера:

$Re=2000; \Delta\tau = 0.001; 0.005; 0.01; K=4 \omega = 1; 2; 10.$

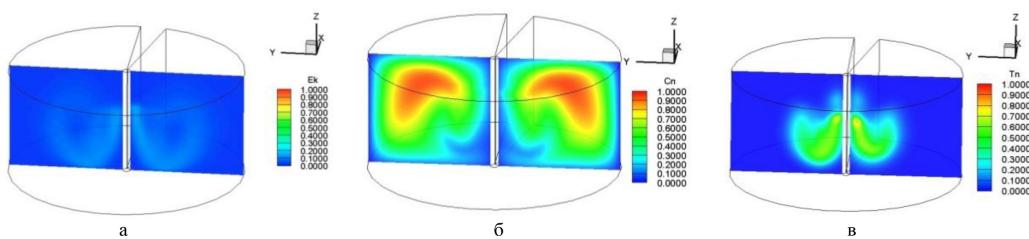


Рисунок 2 Динамика изменения кинетической энергии (а), концентрации тяжелой фракции (б), температуры (в) при $t=0.6$ и угловой скорости пропеллера $\omega = 1$

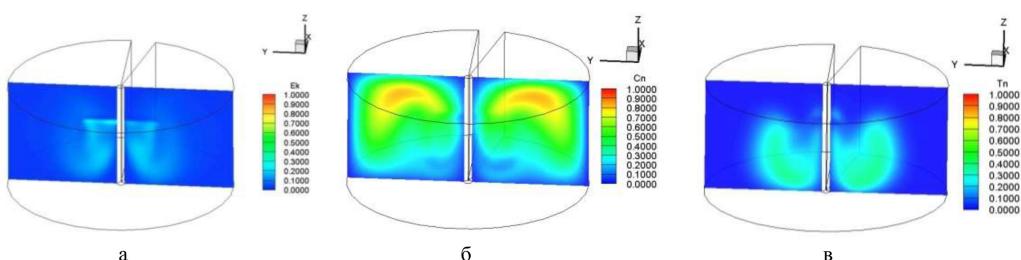


Рисунок 3 Динамика изменения кинетической энергии (а), концентрации тяжелой фракции (б), температуры (в) при $t=0.6$ и угловой скорости пропеллера $\omega = 2$

Анализируя результаты, которые изображены на рисунках, можно заключить следующее: при малых значениях скорости вращения пропеллера наблюдается ламинарное движение жидкости; при относительно средних скоростях ($\Delta\tau = 0.001$) происходит появление вихревых зон, а при

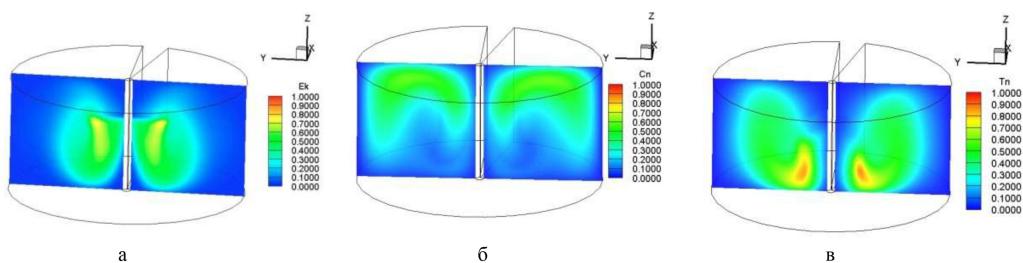


Рисунок 4 Динамика изменения кинетической энергии (а), концентрации тяжелой фракции (б), температуры (в) при $t=0.6$ и угловой скорости пропеллера $\omega = 10$

больших скоростях вращения – наблюдается развитая турбулентность, которая ускоряет процесс разрыва молекулярных цепей, что приводит к разделению жидкости на легкую и тяжелую фракции.

Таким образом, проведено численное моделирование задачи многофакторного импульсного воздействия на тяжёлые фракции нефти на основе решения нестационарных отфильтрованных уравнений Навье-Стокса, уравнения неразрывности, уравнения для концентрации с учетом химической кинетики в цилиндрической системе координат методом крупных вихрей.

Список литературы

- [1] Жумагулов Б.Т., Абдибеков У.С., Жакебаев Д.Б. Численное моделирование турбулентного перемешивания однородной жидкости методом крупных вихрей // Вычислительные технологии, 2009, Т.14, №2, с.3–11.
- [2] Abakumov G.A., Fedoseev V.B. Physico-chemical processes in centrifugal and gravitational fields // Chemistry Reviews, 2001, V.24, p.41–86
- [3] Hartmann H., Derkens J.J., Van den Akker, H.E.A. Macro – instability uncovered in a Rushton turbine stirred tank // A.I.Ch.E. Journal. 2004, №50(10), p.2383–2393.
- [4] Magnussen B. F. “ The eddy dissipation concept: a bridge between science and technology” // in Proceedings of the ECCOMAS Thematic Conference on Computational Combustion, 2005.

УДК 519.63; 519.684

MATHEMATICAL MODELLING OF THERMAL PROCESS TO THE AQUATIC ENVIRONMENT BY USING PARALLEL TECHNOLOGIES

B. Zhumagulov, A. Issakhov

al-Farabi Kazakh National University

Abstract. This paper presents the mathematical model of the thermal power plant influence in the aquatic environment, which is solved by the Navier - Stokes and temperature equations for an

incompressible fluid in a stratified medium. Numerical algorithm based on the method of splitting by physical parameters with combination of Fourier method for Poisson equation.

Keywords: thermal power plant, large eddy simulation, parallel technology.

Андратпа. Бұл жұмыста жылу электр станцияның су қоймасына салқындаудағы әсерінің математикалық моделі қарастырылады, ол стратификациялық ортадағы сығылмайтын сүйік үшін Навье – Стокс және температураға байланысты тендеулері қарастырылады. Сандық тәсілі Пуассон тендеуін Фурье әдісімен физикалық параметрга байланысты бөлшектеу әдісімен шешілген.

Кілттік сөздер: жылу электр станциясы, ірі құйын әдісі, параллельді технология.

Аннотация. В данной работе представлена математическая модель теплового воздействия ТЭС в водную среду, которая решается с помощью несжимаемого уравнения Навье - Стокса и уравнений температуры в стратифицированной среде. Численный алгоритм основан на методе расщепления по физическим параметрам в сочетание методом Фурье для уравнения Пуассона

Ключевые слова: тепловая электростанция, метод крупных вихрей, параллельные технологии.

Introduction

Actually technological progress is impossible without energy development. The great influence in the increasing of the productivity of paramount importance has a mechanization and automation of production processes, i.e. replace human labour by machines. The problem is that the most of the equipment has an electric basis. World needs electricity constantly and the needs are increasing every year. However, stocks of traditional natural fuels are finite. Moreover nuclear fuel supplies are also finite. Therefore it is important to find profitable sources of electricity today. One of such kind of source is the thermal power plants (TPP). The process on thermal power plants is done by burning fuels, such as coal, natural gas or oil. Produced body turns the water into vapor, which results in the movement of the turbine, additionally the power generators too. So water vapor is cooled, and then turns into water, again heated, and so on. On the small thermal power plants, in addition to the so-called fossil fuels i.e. coal, natural gas or oil, it is also possible to use other fuels, such as straw or fast-growing trees. Thermal power plants are divided into the condensing (CPS) which are intended to provide only an electric energy, and combined heat and power (TPC) which are producing heat in the form of hot water and steam in addition to electrical power. Large CPSs with subordinance are called State district power plants (SDPP). Energy production in thermal power plants takes place with the participation of many successive phases, but overall principle of operation is very simple. First of all, the fuel is burned in the combustion chamber (steam boiler), standing out a lot of heat, which later turns the water (circulating in the special systems of pipes inside the boiler) into vapor. Constantly mounting pressure of the vapor turbine rotates the rotor, which transmits energy to spin the shaft generator and finally produces an electrical current. Vapor, after passing through the turbine condenses and turns into water, which passes through additional heater systems and once again enters the steam boiler. All types of power plants adversely affect the environment. Effect of TPP in the aquatic environment is manifested in such main points like: a) liquid plume of pollutants into water bodies; b) deposition on the surface of the water solids during their air emissions; c) thermal pollution of water bodies. Special type of water which is used by TPP is cooling water, that are taken from

the ponds for cooling heat exchangers' surface and capacitors of vapor turbines, water, oil, gas and air coolers. These waters bring a huge amount of heat in a body of the ponds. Turbine condensers approximately have up to two thirds of the total amount of heat generated during combustion of fuel, which far surpasses the amount of heat available from other air-cooled heat exchangers. That is the reason why "thermal pollution" commonly caused while cooling of condensers because of the water thrown by power plants. The quantity of heat produced with cooled water of individual power plant can be measured by installed energy capacity. Hot water is cooled in cooling towers. Then heated water is returned to the ponds. As a result severe processes resulting to eutrophication water body, reduction of the concentration of dissolved oxygen, the rapid growth of algae, reducing species diversity in aquatic fauna happen because of the discharge of heated water to the ponds. We have to say that the thermal pollution also leads to changes in microclimate. Thus, the water evaporating from the cooling towers, dramatically improves the moisture of the surrounding air, which in turn leads to the formation of mist, cloud. Ekibastuz SDPP - 1 is taken as an example of such effects of the TPP to the aquatic environment, located in Pavlodar region in 17 km. To the North-East of the city Ekibastuz, Kazakhstan.

Mathematical model

Actually in the pond-coolers spatial temperature is quite low. So stratified flow in the pond-cooler can be described by approaching to the Boussinesq equations. Therefore systems like equations of motion, continuity and temperature are used for mathematical modelling. Moreover well-developed spatial turbulent is considered for stratified pond [1, 2, 2, 8]. Three dimensionally model is used for distribution of temperature modelling in a reservoir

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \bar{u}_i}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) + \beta g_i (T - T_0) - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \quad (i = 1, 2, 3). \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial u_j T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\chi \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

where

$$\tau_{ij} = \bar{u}_i \bar{u}_j - \bar{u}_i \bar{u}_j \quad (4)$$

g_i — the gravity acceleration, β —the coefficient of volume expansion, u_i - velocity components, χ — thermal diffusivity coefficient , T_0 —the equilibrium temperature, T —deviation of temperature from the balance.

We start with regular LES corresponding to a “bar-filter” of Δx width, an operator associating an function $\bar{f}(\bar{x}, t)$. We then define a second “test filter” tilde of large width $2\Delta x$ associating $\tilde{f}(\bar{x}, t)$. Let us first apply this filter product to the Navier-Stokes equation. The sub grid-scale tensor of the field \tilde{u}_i is obtained from equation (4) with the replacement of the filter bar by the double filter and tilde filter:

$$\tau_{ij} = \tilde{\bar{u}_i} \tilde{\bar{u}_j} - \tilde{\bar{u}_i} \tilde{\bar{u}_j} \quad (5)$$

$$l_{ij} = \tilde{\bar{u}_i} \tilde{\bar{u}_j} - \tilde{\bar{u}_i} \tilde{\bar{u}_j} \quad (6)$$

We now apply the tilde filter to equation (4), which leads to

$$\tilde{\tau}_{ij} = \tilde{\bar{u}_i \bar{u}_j} - \tilde{\bar{u}_i \bar{u}_j} \quad (7)$$

Adding equations (6) and (7) and using equation (5), we obtain

$$l_{ij} = \tau_{ij} - \tilde{\tau}_{ij}$$

Now we have to determine τ_{ij} , the stress resulting from the filter product. This is again obtained using the Smagorinsky model, which yields to

$$\tilde{\tau}_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \tilde{\tau}_{kk} = -2C \tilde{A}_{ij} \text{ where } A_{ij} = (\Delta x)^2 |\bar{S}| \bar{S}_{ij} \quad (8)$$

We now have to determine τ_{ij} , the stress resulting from the filter product. This is again obtained using the Smagorinsky model, which yields

$$\tau_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \tau_{kk} = -2C B_{ij} \text{ where } B_{ij} = (2\Delta x)^2 \left| \tilde{\bar{S}} \right| \tilde{\bar{S}}_{ij} \quad (9)$$

Subtracting (8) from (9) with the aid of Germano's identity yields to

$$l_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} l_{kk} = 2C B_{ij} - 2C \tilde{A}_{ij}$$

$$l_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} l_{kk} = 2C M_{ij}$$

where

$$M_{ij} = B_{ij} - \tilde{A}_{ij} \quad (10)$$

All the terms of equation (10) may now be determined with the aid of \bar{u} . Unfortunately, there are five independent equations for only one variable C, and thus the problem is over determined. A first solution proposed by Germano is to multiply (10) tensor ally by \bar{S}_{ij} to get

$$C = \frac{1}{2} \frac{l_{ij} \bar{S}_{ij}}{M_{ij} \bar{S}_{ij}}$$

This provides finally dynamical evaluation of C, which can be used in the LES of the bar field \bar{u} [4].

Initial and boundary conditions are defined for the non-stationary 3D equations of motion, continuity and temperature, satisfying the equations.

Numerical algorithm

Numerical solution of (1) - (3) is carried out on the posted grid using the scheme against a stream of the second type and compact approximation for convective terms [5, 3, 4, 5, 2]. Scheme of splitting on physical parameters is used to solve the problem in view of the above with the proposed model of turbulence. It is anticipated that at the first stage the transfer of momentum occurs only through convection and diffusion. Intermediate field of speed is handled by using method of fractional steps through the tridiagonal method (Thomas algorithm). In the second phase is for pressure which is found

by the help of intermediate field of speed. Poisson equation for pressure is solved by Fourier method in combination with the tridiagonal method (Thomas algorithm) that is applied to determine the Fourier coefficients [6]. At the third stage, it is supposed that the transfer is carried out only by the pressure gradient. The algorithm was parallelized on the high-performance system [7].

$$I) \frac{\vec{u}^* - \vec{u}^n}{\tau} = -(\nabla \vec{u}^n \cdot \vec{u}^* - \nu \Delta \vec{u}^*)$$

$$II) \Delta p = \frac{\nabla \vec{u}^*}{\tau}$$

$$III) \frac{\vec{u}^{n+1} - \vec{u}^*}{\tau} = -\nabla p.$$

Results of computational modeling

Initial and boundary conditions were posed to meet the challenges. In the calculation we used the mesh of 100x100x100 size. Figure 1 shows the estimated spatial path and isolines of the temperature distribution at different points in time after the launch of SDPP-1, on the surface of the water, the side view. Figure 2 shows the path and isolines of the temperature distribution at different points in time after the launch of SDPP-1, on the surface of the water, top view.

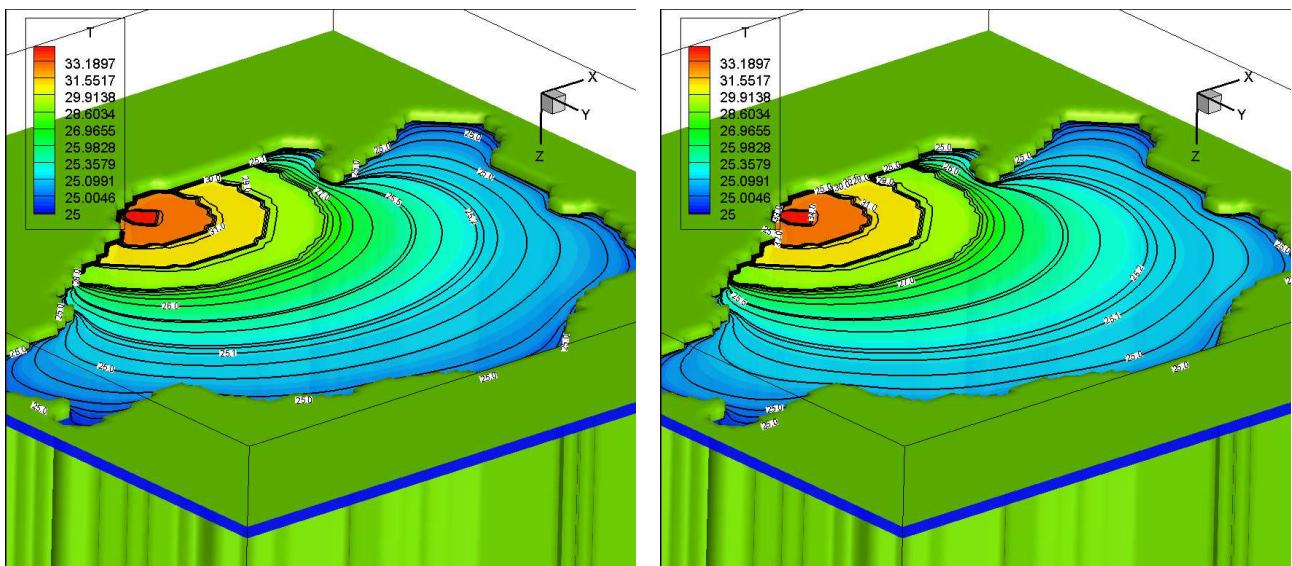


Figure 1 Outline and isolines of the temperature distribution after 15 and 20 hours after the launch of SDPS-1, on the surface of the water, the sides view

Conclusion

Temperature distribution with the disposal of runoff is insulated on both diagrams. The results show that the temperature distribution is over a large area. Therefore, well-developed model of three-dimensional stratified turbulent flow makes it possible to identify qualitatively and approximately quantitatively the basic patterns of hydrothermal processes occurring in waters.

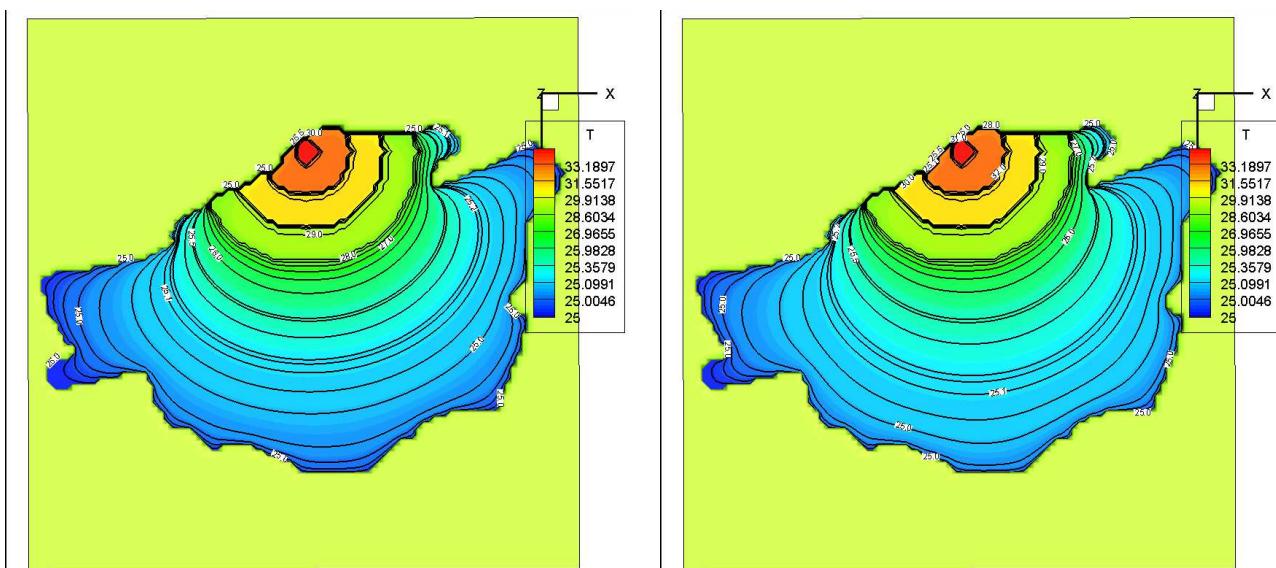


Figure 2 Outline and isolines of the temperature distribution through 15 and 20 hours after the launch of SDPS-1, on the surface of the water, top view

List of references

- [1] Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. // J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1997 p. 816.
- [2] A first course in turbulence. // H. Tennekes, J. L. Lumley. The MIT Press, 1972 p. 300.
- [3] Parallel implementation of numerical methods for solving turbulent flows. // B. Zhumagulov, A. Issakhov, Vestnik NIA -1(43), 2012 p. 12-24.
- [4] Large eddy simulation of turbulence. // M. Lesieur, O. Metais, P. Comte, New York, Cambridge University Press, 2005 p. 219.
- [5] Computational Techniques for Fluid Dynamics. // C. A. Fletcher. Vol 2: Special Techniques for Differential Flow Categories, Berlin: Springer-Verlag, 1988 p. 493.
- [6] Computational Fluid Dynamics. // P. J. Roache, Albuquerque, NM: Hermosa Publications, 1972 p. 446.
- [7] Computational Methods for Fluid Flow. // R. Peyret, D. T. Taylor, New York: Berlin: Springer-Verlag, 1983 p. 358.
- [8] The Method of Fractional Steps. // N. N. Yanenko New York: Springer-Verlag. In J.B.Bunch and D.J. Rose (eds.), Space Matrix Computations, New York: Academics Press, 1979 p. 168.
- [9] Parallel algorithm for numerical solution of three-dimensional poisson equation. // A. Issakhov. Proceedings of world academy of science, engineering and technology Issue 64, 2012 p. 692-694
- [10] Large eddy simulation of turbulent mixing by using 3d decomposition method. // A. Issakhov. J. Phys.: Conf. Ser. 318 Issue 4, 042051, 2011.

- [11] Mathematical Modelling of the Influence of Thermal Power Plant on the Aquatic Environment with Different Meteorological Condition by Using Parallel Technologies. // A. Issakhov. Power, Control and Optimization. Lecture Notes in Electrical Engineering. Volume 239, 2013 p. 165-179

УДК 519.63; 519.684

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА КАСПИЙСКОМ МОРЕ С НЕСТАЦИОНАРНОГО ИСТОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИИ

Б.Т. Жумагулов, А.А. Исахов, А.К. Хикметов

Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Abstract. In this work we consider the dynamics of the transfer of oil stain on the surface of the sea. A mathematical model of transport of an oil slick on the surface of the sea. Correctly defined and delivered the initial and boundary conditions of the problem taking into account the operational parameters and the main stream of meteorological conditions in the Northern Caspian. Developed numerical algorithm for solving this problem. The simulation of the migration of the oil stains on the surface of the Caspian Sea, made a numerical rating scale of marine pollution and coastal zone.

Keywords: mathematical modeling, oil spill, the Caspian Sea, oil, destruction, evaporation.

Андатпа. Бұл жұмыста теңіз бетіндегі мұнай дағы тасымалының динамикасы қарастырылған. Теніз бетіндегі мұнай дағы тасымалының математикалық моделі күрастырылған. Солтүстік Каспийдің негізгі ағынының режимдік параметрлері мен метеорологиялық шарттары есебінен туындаған бастапқы және шекаралық шарттары дұрыс күрастырылған және қойылған. Есепті шешудің сандық алгоритмі жасалған. Каспий теңізіндегі мұнай дағы миграциясын модельдеу, теңіз және жағалау аймағының ластануы масштабын сандық бағалау жүргізілген.

Кілттік сөздер: математикалық пішіндеу, мұнайдың төгілуі, Каспий теңізі, мұнай өнімдері, деструкция, булану.

Аннотация. В работе рассматривается динамика переноса нефтяного пятна на поверхности моря. Построена математическая модель переноса нефтяного пятна на поверхности моря. Корректно сформулированы и поставлены начальные и граничные условия задачи с учетом режимных параметров основного потока и метеорологических условий Северного Каспия. Разработан численный алгоритм решения задачи. Проведено моделирование миграции нефтяного пятна на поверхности Каспийского моря, произведена численная оценка масштабов загрязнения моря и прибрежной зоны.

Ключевые слова: математическое моделирование, разлив нефти, Каспийское море, нефтепродукты, деструкция, испарения.

Введение

Развитие промышленности во всех странах мира поставило перед человечеством острую проблему охраны окружающей среды, с целью сохранения экологического равновесия. Локальные

загрязнения в результате выбросов промышленных предприятий во многих городах мира давно превзошли предельно допустимые нормы. Гигантские работы, связанные с добычей угля, нефти, железной руды и других полезных ископаемых привели к загрязнению окружающей среды. Все более ожесточающееся требования к охране окружающей среды от загрязнения под воздействием антропогенных факторов, значительно повысили интерес к исследованию процессов ликвидации аварийных разливов нефти на водной поверхности. При создании математических моделей описания динамики распространения нефти на поверхности моря необходимо учитывать большое количество физико-химических факторов, таких как турбулентность, метеорологические условия, химико-биологическое расщепление молекул углеводорода в море и т.п.

Математическая модель

Теоретическую основу математических моделей составляют уравнения гидродинамики моря, уравнения переноса и трансформации концентрации. Необходимо отметить, что подобные модели существенно нелинейные и нестационарные. Преднамеренное и естественное воздействие человека на окружающую среду приводит к заданию дополнительных возмущений, влияющих на формирование исследуемых процессов. При математическом моделировании процессов распространения примесей очень важным этапом является разработка и выбор соответствующего вычислительного алгоритма и аппроксимации уравнения переноса. При прогнозировании возможных изменений режима моря и их экологических систем под влиянием антропогенных воздействий, в последнее время успешно используются методы математического моделирования. Однако до настоящего времени нет обобщающих работ, в которых достаточно подробно освещались бы как особенности динамических процессов в морях, так и используемые для их описаний математические модели. Наличие на поверхности жидкости пленки абсорбированного ею вещества может существенно изменить гидродинамические свойства свободной поверхности жидкости. Дело в том, что при изменении формы поверхности, сопровождающем движение жидкости, происходит растяжение или сжатие пленки, т.е. изменение поверхностной концентрации абсорбированного вещества. Эти изменения приводят к появлению дополнительных сил, которые должны быть учтены в граничных условиях, имеющих место на свободной поверхности жидкости. В водоемах пространственное изменение температуры невелико, соответствующее изменение плотности намного меньше самой величины плотности воды. Поэтому стратифицированное течение в водоеме можно описывать уравнениями в приближении Буссинеска, т.е. в уравнениях движения переменную величину плотности воды можно заменить некоторым постоянным ее значением везде, за исключением членов, представляющих архимедову силу. Система основных уравнений, описывающих течения при ламинарном режиме являются уравнения Навье-Стокса, уравнений для температуры и концентрации [1, 3, 8]:

$$\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial t} + (\bar{v} \nabla) \bar{v}_i = -\nabla p + \Delta \bar{v}_i + \frac{RaL}{Pr}(T - C)\bar{\gamma} \quad (1)$$

Уравнение несжимаемости жидкости

$$\operatorname{div} \bar{v} = 0 \quad (2)$$

и переноса тепла:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\bar{v} \nabla) T = \frac{1}{Pr} \Delta T \quad (3)$$

дополняются уравнением переноса примеси

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (\vec{v} \nabla) C = \frac{1}{Sc} (\Delta C + \epsilon \Delta T) + f(c) \quad (4)$$

где C – поле концентрации примеси, помимо чисел Прандтля (Pr), Шмидта (Sc) и Рэлея (Ra) в систему уравнений входит дополнительный безразмерный параметр $\epsilon = \alpha \beta_c / \beta_t$, описывающий действие термодиффузии, где $\alpha = k_t/T$, k_t – термодиффузационное отношение. Концентрационный коэффициент плотности β_c характеризует зависимость плотности от концентрации.

Разрушения нефтяного загрязнения происходит за счет естественных причин (испарение, растворение). Функция $f(c)$ описывает соответствующий процесс деструкции и в зависимости от характера процесса деструкции имеет вид:

1) $f(c) = \frac{K_E X_i P_i}{RT} M_i^{(m)}$ описывает уменьшение нефти только за счет испарения;

t – время, сек;

K_E – коэффициент массопереноса для углеводорода, м/с;

X_i – молярная доля компонента с номером i , равная ;

P_i – давление паров компонента с номером i , Па;

R – газовая постоянная, 8,314 Дж/моль•К;

T – температура окружающей среды над поверхностью моря, К;

значение молярной массы $M_i^{(m)}$ компонента с номером i определяется по периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева.

2) $f(c) = K_D^{(W)} X_i S_i M_i^{(m)}$ описывает уменьшение нефти только за счет деструкции и растворения нефтепродуктов,

где t – время, с;

F_D – коэффициент массопереноса для углеводорода, м/с;

X_i – молярная доля компоненты с номером i , равная $\frac{M_i}{\sum M_i}$;

S_i – растворимость в воде компоненты с номером i , кг/м³.

Численный метод

Для решения задачи с учетом выше предложенной модели, используется схема расщепления по физическим параметрам [2, 4]. На первом этапе предполагается, что перенос количества движения осуществляется только за счет конвекции и диффузии. Промежуточное поле скорости находится методом дробных шагов, при использовании метода прогонки [5]. На втором этапе, по найденному промежуточному полю скорости, находится поле давления. Уравнение Пуассона для поля давления решается методом верхней релаксации. На третьем этапе предполагается, что перенос осуществляется только за счет градиента давления [6, 7].

$$I) \frac{\vec{u}^* - \vec{u}^n}{\tau} = -(\nabla \vec{u}^n \cdot \vec{u}^* - \nu \Delta \vec{u}^*)$$

$$II) \Delta p = \frac{\nabla \vec{u}^*}{\tau}$$

$$III) \frac{\vec{u}^{n+1} - \vec{u}^*}{\tau} = -\nabla p.$$

Результаты

Для моделирования разлива нефти и переноса нефти необходимо задание источников и количества вылившегося нефти в открытое море. Рассматривается задача, разлива нефти с нестационарного источника, т.е. с танкера, получившего пробоину, выливается нефть в открытое море. Задавался наихудший сценарий события, пробоина значительная и не имеется возможность заделать пробоину и отбуксировать танкер на берег. Водоизмещение танкера 50 тысяч тонн.

При решении задачи расчетная область покрывалась сеткой 100x100x100. Рельеф дна была смоделирована методом фиктивных областей и подставлена в разностное уравнение для учета в процессе счета.

В результате численного моделирования гидродинамики Каспийского моря получены следующие данные, распределение скоростей течения в горизонтальных плоскостях на поверхности моря при различных направлениях ветра (юго-западный, северо-западный) с силой 5-8 м/сек. На рисунках 1 и 2 рассматривается распространение нефтяного пятна в следе танкера при юго-западном ветре, танкер же движется в направлении ветра, а на рисунках 3 и 4 при северо-западном ветре.

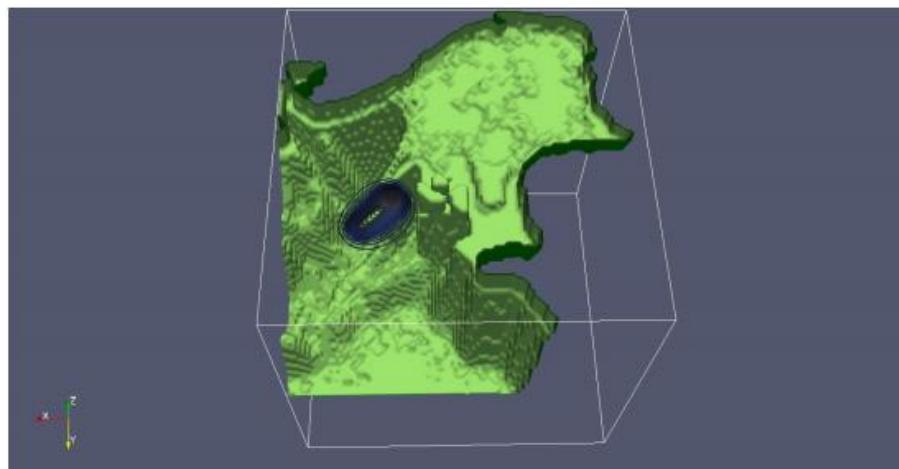


Рисунок 1 Миграция нефтяного пятна при юго-западном ветре через 5 ч. после разлива

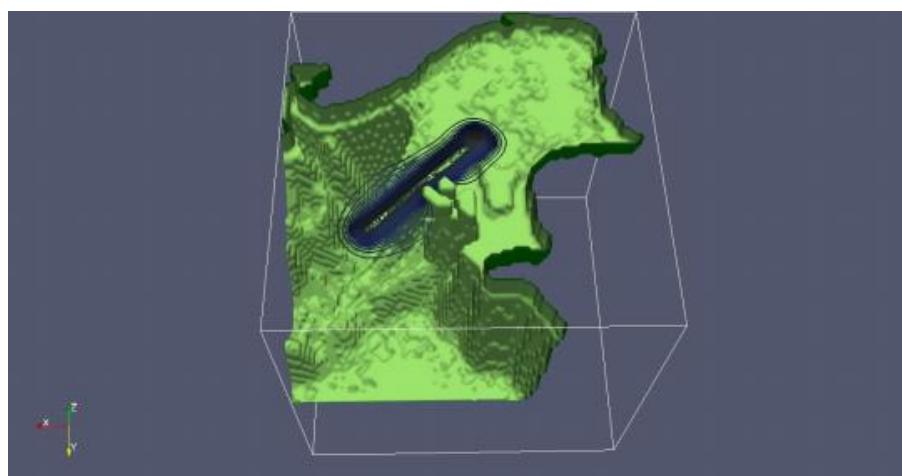


Рисунок 2 Миграция нефтяного пятна при юго-западном ветре через 48 ч. после разлива

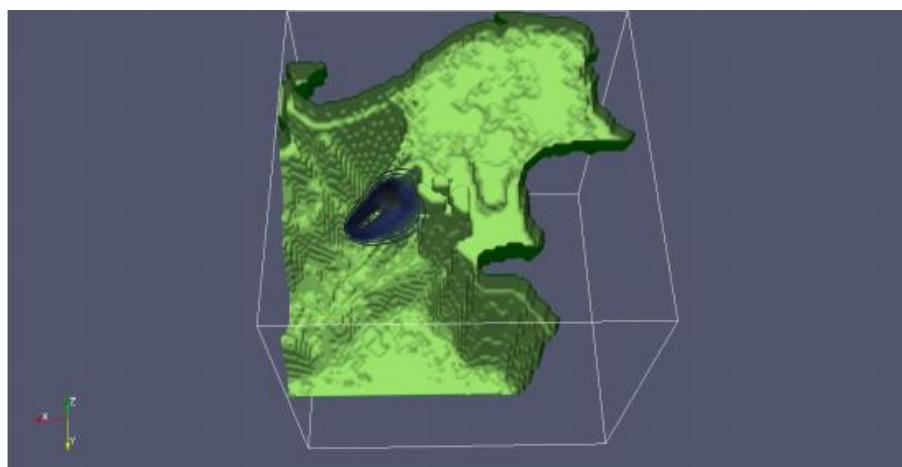


Рисунок 3 Миграция нефтяного пятна при северо-западном ветре через 5 ч. после разлива

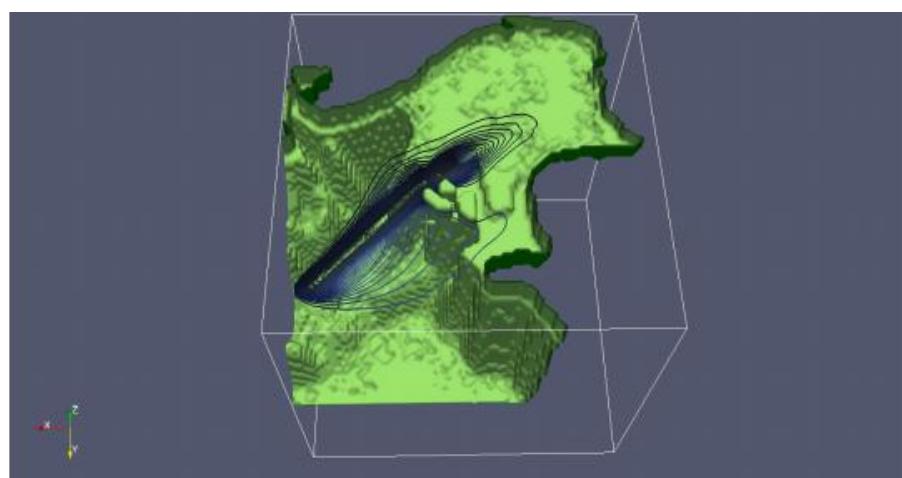


Рисунок 4 Миграция нефтяного пятна при северо-западном ветре через 72 ч. после разлива

Таким образом, имея метеорологические прогнозы ветра над акваторией Каспийского моря и объем разлившейся нефти, используя методы математического моделирования, возможно, оценить ареал распространения нефтяного пятна, и принять эффективные меры по ликвидации нефти и нефтепродуктов в море.

Список литературы

- [1] Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. // J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1997 p. 816.
- [2] Parallel implementation of numerical methods for solving turbulent flows. // B. Zhumagulov, A. Issakhov, Vestnik NIA -1(43), 2012 p. 12-24.
- [3] Computational Fluid Dynamics. // P. J. Roache, Albuquerque, NM: Hermosa Publications, 1972 p. 446.
- [4] Computational Methods for Fluid Flow. // R. Peyret, D. T. Taylor, New York: Berlin: Springer-Verlag, 1983 p. 358.

- [5] The Method of Fractional Steps. // N. N. Yanenko New York: Springer-Verlag. In J.B.Bunch and D.J. Rose (eds.), Space Matrix Computations, New York: Academic Press, 1979 p. 168.
- [6] Parallel algorithm for numerical solution of three-dimensional Poisson equation. // A. Issakhov. Proceedings of world academy of science, engineering and technology Issue 64, 2012 p. 692-694
- [7] Large eddy simulation of turbulent mixing by using 3d decomposition method. // A. Issakhov. J. Phys.: Conf. Ser. 318 Issue 4, 042051, 2011.
- [8] Mathematical Modelling of the Influence of Thermal Power Plant on the Aquatic Environment with Different Meteorological Condition by Using Parallel Technologies. // A. Issakhov. Power, Control and Optimization. Lecture Notes in Electrical Engineering. Volume 239, 2013 p. 165-179

УДК 51-72

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ ПЛОСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДЕ

Б.Т. Жумагулов, Ж.К. Масанов, Н.Т. Ажиханов

КГУТИ имени Ш. Есенова

Abstract. The paper studies the mathematical model of fluid 2.5D filtration in anisotropic deformable medium with chrosscut chink. Define conditions of chink direction.

Keywords: chrosscut chink

Аннотация. Фильтрации жидкости в деформируемой наклонной трансверсально-изотропной пористой среде представляется в виде модели обобщенной плоской деформации. При моделирований деформированного состояния пласта со скважиной типа квершлага вводится определения обобщенной плоской фильтрации.

Ключевые слова: трансверсально-изотропная пористая среда

Постановка задачи. Пусть из бесконечно длинного анизотропного массива отбирается жидкость через расположенную в середине горизонтальную скважину (рис.1), тогда ее поперечные сечения искривляются из-за наличия наклонной плоскости изотропии. Поэтому напряжения, деформация и давления зависят от двух координат y и z – переменных в плоскостях поперечного сечения. Все анизотропные коэффициенты фильтрации также зависят от двух переменных. Такое движение жидкости к горизонтальной скважине в напряженном массиве будем называть обобщенной плоской фильтрацией. При этом уравнение фильтрации имеет вид

$$\sum_{i,j=1}^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{k_{ij}(\varepsilon)}{\mu} \frac{\partial \rho}{\partial x_j} \right) = W_2, \quad (1)$$

где коэффициенты фильтрации принимает значения

$$k_{yy} = \left(k_y' (\cos^2 \varphi + 1) k_z' \sin^2 \varphi \right) \exp(-\alpha \varepsilon_y)$$

$$k_{zz} = \left(k_y' \sin^2 \varphi + k_z' \cos^2 \varphi \right) \exp(-\alpha \varepsilon_z)$$

$$k_{yz} = \left(k_z' \sin \varphi \cos \varphi - k_y' \sin^2 \varphi \right) \exp(-\alpha \gamma_{yz})$$

Тогда обобщенный закон Гука

$$\{\delta\} = [D] \{\varepsilon\} + [I] \rho; \quad (2)$$

где

$$\{\delta\} = \{\delta_y \ \delta_z \ \tau_{yz} \ \tau_{xz} \ \tau_{xy}\}^T,$$

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \gamma_{yz} \ \gamma_{xz} \ \gamma_{xy}\}^T,$$

$$[I] = \text{diag} \{1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0\}$$

Пласт вскрыт горизонтальной скважиной типа квершлага (рис.1). На контуре ствола задано давление

$$\rho|_s = \rho_s \quad (3)$$

На внешних границах

$$\rho|_{ABCD} = \rho_1, \quad (4)$$

$$\rho|_{A'B'C'D'} = \rho_2, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial n}|_{AA'DD'} = \frac{\partial \rho}{\partial n}|_{BB'CC'} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial n}|_{AA'DD'} = \frac{\partial \rho}{\partial n}|_{BB'CC'} = 0, \quad (7)$$

Как видно из рисунка 1, ствол горизонтальной скважины (ΓC) расположен вкрест простианию плоскости изотропии пласта. Поэтому ΓC относится к типу квершлага горной выработки. В силу трансверсальной изотропии упругих свойств массива поперечное сечение ΓC типа квершлага искривляется, но из-за однородности этих свойств вдоль протяженного ствола ΓC не меняется. Уравнение равновесия задается в виде статической задачи теории упругости. А уравнение обобщенного закона Гука в трансверсально-изотропном пласте для ΓC типа квершлага, связывающее полное напряжение

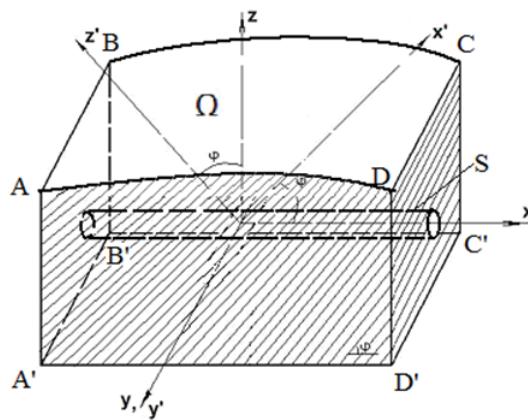


Рисунок 1 Схема расчетной области

с деформацией и давление [1] имеет вид (2). Элементы симметричной матрицы $[D]$ из (2)

определяются в виде

$$d_{1,1} = \frac{E_1 (E_1 - E_2 \nu_2^2)}{(1 + \nu_1) (E_1 (1 - \nu_1) - 2E_2 \nu_2^2)}, \quad (8)$$

$$d_{1,2} = \frac{E_1 (E_1 \nu_1 + E_2 \nu_2^2)}{(1 + \nu_1) (E_1 (1 - \nu_1) - 2E_2 \nu_2^2)} \sin^2 \varphi + \frac{E_1 E_2 \nu_2}{E_1 (1 - \nu_1) - 2E_2 \nu_2^2} \cos^2 \varphi$$

$$d_{1,3} = \frac{E_1 [(\nu_2 - 1) E_2 \nu_2 + (E_1 - E_2 \nu_2) \nu_1]}{2 (1 + \nu_1) (E_1 (1 - \nu_1) - 2E_2 \nu_2^2)} \sin 2\varphi$$

$$d_{2,2} = \frac{E_1 (E_1 - E_2 \nu_2^2)}{(1 + \nu_1) (E_1 (1 - \nu_1) - 2E_2 \nu_2^2)} \sin^4 \varphi + \frac{E_1 E_2 (1 - \nu_1)}{E_1 (1 - \nu_1) - 2E_2 \nu_2^2} \cos^4 \varphi +$$

$$+ \frac{1}{4} \left[\frac{E_1 E_2 \nu_2}{E_1 (1 - \nu_1) - 2E_2 \nu_2^2} + 2G_2 \right] \sin^2 2\varphi$$

.....

$$d_{4,5} = \frac{1}{2} \left[\frac{E_1}{2 (1 + \nu_1)} - G_2 \right] \sin 2\varphi$$

$$d_{5,5} = G_2 \sin^2 \varphi + \frac{E_1}{2 (1 + \nu_1)} \cos^2 \varphi$$

Пространственная задача фильтрации жидкости в деформируемой наклонной трансверсально-изотропной пористой среде с горизонтальной скважиной типа квершлага (1)-(8) представляется в виде задачи обобщенной плоской фильтрации и обобщенной плоской деформации.

Напряженно-деформируемого состояния ГС типа квершлага Пространственная задача фильтрации жидкости в наклонной трансверсально-изотропной пористой среде с горизонтальной скважиной представляется в виде задачи обобщенной плоской фильтрации. При этом имеется возможность использовать среду с двоякопериодической системой щелей. Такая среда предполагает систему параллельных трещин или слабых прослойек, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Трещины могут быть наклонены к горизонту под углом φ . Направление осей анизотропии является постоянным для всего массива и совпадает с направлениями простираания и падения слоев. Среда моделируется такими параметрами как модуль упругости E_1 и коэффициентом Пуассона ν_1 в направлении слоистости и модулем упругости E_2 модулем сдвига G_2 коэффициентом Пуассона ν_2 в направлении перпендикулярным направлению.

Обобщенная плоская фильтрация жидкости в анизотропной (наклонной трансверсально-изотропной) среде вводится следующим образом: в пористой среде заданы скорости фильтрации $\nu_x'', \nu_y'', \nu_z''$ зависящие от текущих координат поперечного сечения скважины и определенные законом Дарси [2] при компоненте давления пласта p_x'' .

Влияние наклонного трансверсально-изотропного пласта с коэффициентами фильтрации k_x , k_y , k_z на изменение дебита горизонтальной скважины можно учитывать при решении задачи обобщенной плоской фильтрации.

Численная реализация

Для численной реализации применяется метод конечных элементов. Преимущество метода конечных элементов в численной реализации задач фильтрации в недеформируемой неоднородной среде было приведено в [3]. Не останавливаясь детально на теоретических особенностях исследования МКЭ, укажем коротко некоторые его отличительные свойства.

В соответствии с МКЭ расчетная область разбивается на некоторое количество подобластей – конечных элементов. Далее каждый конечный элемент оснащается системой базисных функций (функцией формы). Приближенное решение исходной задачи ищется в виде линейной комбинации таких базисных функций из условий, формально совпадающих с уравнениями метода Рица.

Таким образом, исходная краевая задача может быть заменена эквивалентной ей задачей для определения неизвестных через узловые значения конечных элементов. Для определения давления, напряжения и деформации в деформируемой анизотропной среде создан комплекс программ FEMDefFilter, созданный на языке Object Pascal в среде Delphi. Программный комплекс, составленный на языке высокого уровня имеет возможность автоматической разбивки многосвязанной области на конечные треугольные элементы.

Заключение

Рассмотрены постановка задачи фильтрации жидкости к горизонтальной скважине типа квершлага с учетом упругих характеристик деформируемой анизотропной среды. Пространственная задача фильтрации жидкости в деформируемой наклонной трансверсально-изотропной пористой среде с горизонтальной скважиной представлена в виде задачи обобщенной плоской фильтрации и обобщенной плоской деформации. Продуктивность ГС в такой среде численно определен при помощи разработанных выше алгоритмов.

Список литературы

- [1] Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Масанов Ж.К. Устойчивость горизонтальных выработок в наклонно-слоистом массиве. Алма-Ата, Наука, 1971, 160 с.
- [2] Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика.– М.:Недра, 1993. - 416с.
- [3] Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.:Мир, 1979. – 392с.

УДК 517.958:532.546

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ПОЛИМЕРОМ

Т.С. Иманкулов, С.Т. Мухамбетжанов, Д.Ж. Ахмед-Заки

Казахский национальный университет имени Аль-Фараби

Abstract. In this article the hydrodynamic model of displacement process by polymer injection is given, which consists of the basic equation for modeling of flow in porous media and describes the impact process by natural polysaccharide gellan on reservoir. The basic characteristics of reservoir such as: producible oil index, average oil saturation, the recovery rate, water and oil flow rates which characterize the condition of the well, was shown by authors. Furthermore, pressure distribution, saturation and concentration maps are presented. The main result of the study is a computational algorithm developed on the basis of this model and the analysis of distribution of

the main technological parameters.

Keywords: polymer, gellan, porous media, relative permeabilities, Darcy, well, Henry's isotherms, adsorption, viscosity, concentration.

Аннотация. Мақалада пластқа полимер айдау технологиясын пайдалану арқылы мұнайды ығыстыру үрдісінің математикалық моделі қарастырылды. Сандық эксперименттермен жүргізіліп, қысым, мұнай қанықтылығы және концентрацияның тараптуы есептелді. Сонымен қатар, орташа қанықтылық, қазіргі уақыттағы мұнай берілуі, мұнай және су дебиттері, белгілі бір уақытқа дейінгі алынған мұнай көлемі, алынған полимер молшері есептелінді. Алынған нәтижелер айдағыш және сорғыш ұнғымалар жүйесімен жұмыс істейтін мұнай-кен орындауда эксплуатациялық жағдайларды жобалау және зерттеу үшін қолданыла алады.

Кілттік сөздер: полимер, геллан, кеуектілік орта, салыстырмалы фазалық өтімділіктер, Дарси, ұнғыма, Генри изотермасы, адсорбция, тұтқырлық, концентрация.

Аннотация. В настоящей статье приведены модельные задачи процесса вытеснения нефти полимером, которая состоит из основных уравнений для моделирования течения жидкостей в пористой среде и гидродинамическая модель, которая описывает процесс воздействия природным полисахаридом геллан на неоднородный пласт. Показаны основные характеристики пласта: коэффициент нефтеотдачи, среднее значение насыщенности нефти, дебиты нефти и воды, которые характеризуют работу и состояние скважины. К тому же, приведены графики распределения давления, насыщенности и концентрации. Основным результатом исследования является вычислительный алгоритм, разработанный на основе представленной модели и анализ распределения основных технологических параметров.

Ключевые слова: полимер, геллан, пористая среда, относительные фазовые проницаемости, Дарси, скважина, изотерма Генри, адсорбция, вязкость, концентрация.

Введение

На казахстанских месторождениях часто используется метод закачки воды для повышения пластового давления. Но, на средних стадиях разработки высоковязких нефтяных месторождений неизменно встает комплексная проблема снижения нефтеотдачи пласта сопряженная с падением пластового давления и повышением обводнённости продукции. Метод закачки полимеров в продуктивный пласт в настоящее время широко используется в нефтяной промышленности в качестве загустителей воды и рассматривается как один из эффективных третичных методов повышения нефтеотдачи пластов с высокой обводненностью и низким пластовым давлением. При таком методе вытеснения получаем увеличение вязкости и уменьшение проницаемости по водной фазе, что приводит к повышению эффективности заводнения и увеличение коэффициента нефтеотдачи. В статье рассматривается случай полимерного заводнения, когда в качестве вытесняющего агента используется гелеполимер - растворенный в воде геллан. По химическому строению геллан является полимером из группы полисахаридов. Повторяющееся звено в макромолекулярной структуре состоит из остатков 4 полисахаридов: 2x β -D-глюкоз, β -D-глюкуроновой кислоты и α -L-рамнозы [1,2]. На Рисунке 1 показано химическая структура геллана, в котором можно увидеть, что оно состоит из повторяющихся звеньев - полимеров.

Физическая модель. Рассмотрим задачу, когда через нагнетательную скважину, начиная с некоторого момента, закачивается вода заданной температуры с растворенной в ней полимером. На нагнетательной и добывающей скважинах задано давление нагнетания и добывания, либо объ-

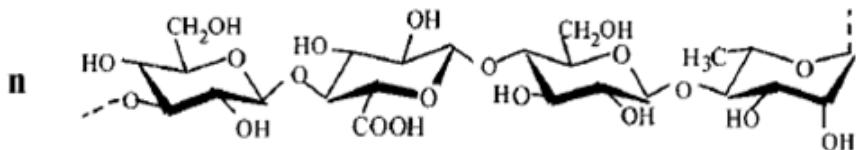


Рисунок 1 Структурная формула геллана

емы закачиваемой воды или дебиты скважин. Нагнетаемая вода вытесняет оставшуюся в пласте нефть, которая поступает в добывающую скважину. Требуется исследовать данную проблему и разработать компьютерную модель анализа массообменных процессов при вытеснении нефти водой (с содержанием полимера) в пласте.

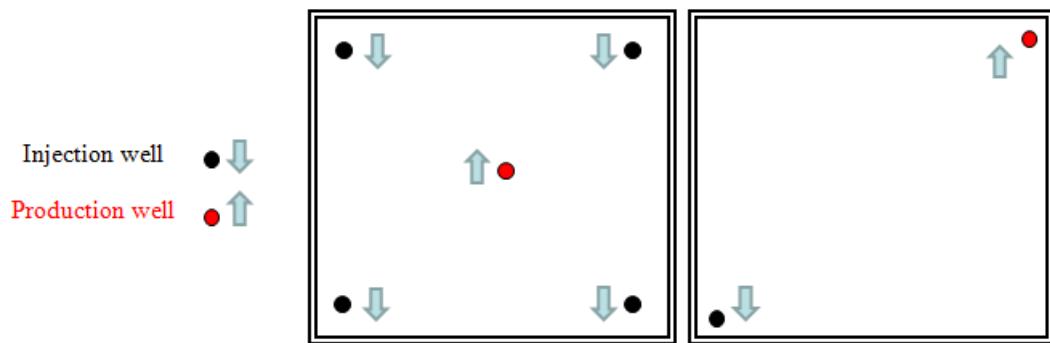


Рисунок 2 Схемы расположения нагнетательных и добывающих скважин

Математическая модель и постановка задачи

Массоперенос полимера в пласте при вытеснении нефти протекает по сложному механизму, поскольку полимер участвуют в нескольких параллельно идущих процессах: распределение между нефтью и водой, адсорбция из обеих фаз на поверхности породы из воды и нефти [3]. Математическая модель двухфазной фильтрации состоит из уравнений баланса воды и нефти в потоке, обобщенный закон движения Дарси и уравнении для концентрации полимера со следующими допущениями:

- течение двумерное;
- жидкости несжимаемые;
- пренебрегаем капиллярными эффектами;
- не учитываются гравитационные силы;
- поток подчиняется закону Дарси.

Система уравнений для области Ω с границей $\partial\Omega$ может быть записана в следующем виде:

$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{v}_1) = q_1, \quad (1)$$

$$-m \frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{v}_2) = q_2, \quad (2)$$

$$\vec{v}_i = -K_0 \frac{f_i(s)}{\mu_i} \nabla P, \quad (3)$$

$$-m \frac{\partial}{\partial t} (c_1 s + (1-s)c_2) + \frac{\partial a}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{v}_1 c_1) + \operatorname{div}(\vec{v}_2 c_2) = \operatorname{div}(D \nabla c) + q_1 c_1 + q_2 c_2, \quad (4)$$

с уравнением кинетики массобмена в пористой среде при $c_1 = c$ и $c_2 = \phi(c)$

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \frac{1}{\tau} (G(c) - a),$$

$$G(c) = \begin{cases} 1 & , c > c^* \\ [0, 1] & , c = c^* \\ c & , c < c^* \end{cases} \quad (5)$$

где $m, m u_i, f_i, K_0, q_i, c^*$ - соответственно пористость среды, вязкости жидкостей, относительные фазовые проницаемости, абсолютная проницаемость среды, эксплуатационные характеристики скважин, известное значение концентрации примеси. Учет влияния геллана на движение жидкости в пористой среде осуществляется через $\mu = \mu(T, c, s)$ и $K_0 = K_0(x, c)$ [4].

Таким образом, требуется найти функций $\{P, s, V, c, a\}$, соответственно давление, насыщенность воды, скорость течения, концентрация полимера и функция адсорбции удовлетворяющие соотношениям (1)-(4), начальными и граничными условиями [5]:

$$s|_{t=0} = s_0(x), c|_{t=0} = c_0(x), a|_{t=0} = a_0(x) \quad (6)$$

Случай 1:

$$(P, s, c)|_{\partial\Omega} = (P_0, s_0, c_0); \quad (7)$$

Случай 2:

$$\frac{\partial s}{\partial n}|_{\partial\Omega} = 0; -D \frac{\partial c}{\partial n} + \vec{v}_{1n} c|_{\partial\Omega} = q_n \tilde{c}; \frac{\partial P}{\partial n}|_{\partial\Omega} = \gamma V; \quad (8)$$

Вычислительный метод

Используется алгоритм раздельного определения полей давления и насыщенности (концентрации). По заданному распределению насыщенности и концентрации на n -ом временном слое определяется давление на этом же слое P_{ij}^n , с использованием которого находятся $s_{ij}^{n+1}, c_{ij}^{n+1}$. Затем вычисления повторяются в той же последовательности. Для проверки точности результатов контролируется совпадение дебитов добывающей и нагнетательной скважин, сравниваются количество закаченного полимера и количество добывого и находящегося в пласте полимера.

Прежде чем перейти к созданию алгоритма для решения поставленной задачи, необходимо привести уравнения к безразмерному виду, для того чтобы все переменные математической модели имели одинаковый порядок. Введем безразмерные переменные с помощью следующих соотношений:

$$\bar{x} = \frac{x}{L_x}, \bar{y} = \frac{y}{L_y}, \bar{k} = \frac{k}{L_c}, \bar{m}u_1 = \frac{m u_1}{m u_c}, \bar{m}u_2 = \frac{m u_2}{m u_c}, \bar{P} = \frac{P}{P_c}, \bar{t} = \frac{t}{T} \quad (9)$$

Подставив эти переменные в (1)–(3), получим безразмерный вид исходной системы уравнений. При этом, для удобства обозначим безразмерные переменные полученного уравнения как в исходной системе, получим :

$$m \frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{v}_1) = q_1, \quad (10)$$

$$-m \frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{v}_2) = q_2, \quad (11)$$

$$\vec{v}_i = -K_0 \frac{f_i(s)}{\mu_i} \nabla P, \quad (12)$$

$$-m \frac{\partial}{\partial t} (c_1 s + (1-s)c_2) + R_1 \frac{\partial a}{\partial t} + \operatorname{div}(\vec{v}_1 c_1) + \operatorname{div}(\vec{v}_2 c_2) = R_2 \operatorname{div}(D \nabla c) + q_1 c_1 + q_2 c_2, \quad (13)$$

Путем сложения (10) и (11) получим уравнение для давления:

$$\frac{\partial}{\partial x} (M_x \frac{\partial P}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (M_y \frac{\partial P}{\partial y}) = -lq(x, y)(P - P_{bhp}) \frac{2\pi M}{\log(\frac{R}{r_c})}, \quad (14)$$

$$M = K_0 \frac{f_1(s)}{\mu_1} + K_0 \frac{f_2(s)}{\mu_2}, \quad (15)$$

$$M_x = K_{0x} \frac{f_1(s)}{\mu_1} + K_{0x} \frac{f_2(s)}{\mu_2} \quad (16)$$

$$M_y = K_{0y} \frac{f_1(s)}{\mu_1} + K_{0y} \frac{f_2(s)}{\mu_2} \quad (17)$$

После приведения (14) в разностный вид, уравнение решается методом Якоби [6]. Итерации заканчиваются при выполнении условии

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (P_{ij}^{n+1} - P_{ij}^n)^2} < \epsilon \quad (18)$$

где значение давления просчитывается до того момента, для которого выполняется условие (18), тогда для решения в уравнение насыщенности (10) подставляется значение давления на этом слое. Разностные аналоги для уравнения насыщенности и концентрации записываются следующим образом [6]:

$$m \frac{s_{ij}^{n+1} - s_{ij}^n}{\tau} = (q_1)_{ij} + ((k_1)_{i+\frac{1}{2}j} \frac{P_{i+1j}^n - P_{ij}^n}{h_1^2} - (k_1)_{i-\frac{1}{2}j} \frac{P_{ij}^n - P_{i-1j}^n}{h_1^2} + (k_1)_{ij+\frac{1}{2}} \frac{P_{ij+1}^n - P_{ij}^n}{h_2^2} - (k_1)_{ij-\frac{1}{2}} \frac{P_{ij}^n - P_{ij-1}^n}{h_2^2}) \quad (19)$$

Для уравнения концентрации полимера:

$$\frac{U_{ij}^{n+1} - U_{ij}^n}{\tau} = R_2 ((D_{i+\frac{1}{2}j} \frac{c_{i+1j}^n - c_{ij}^n}{h_1^2} - D_{i-\frac{1}{2}j} \frac{c_{ij}^n - c_{i-1j}^n}{h_1^2} + D_{ij+\frac{1}{2}} \frac{c_{ij+1}^n - c_{ij}^n}{h_2^2} - D_{ij-\frac{1}{2}} \frac{c_{ij}^n - c_{ij-1}^n}{h_2^2}) - (\frac{(uc)_{i+1/2j}^n - (uc)_{i-1/2j}^n}{h_1} + \frac{(vc)_{ij+1/2}^n - (vc)_{ij-1/2}^n}{h_1} + \frac{(u\phi(c))_{i+1/2j}^n - (u\phi(c))_{i-1/2j}^n}{h_1} + \frac{(v\phi(c))_{ij+1/2}^n - (v\phi(c))_{ij-1/2}^n}{h_2}) + (q_1 c)_{ij} + (q_2 \phi(c))_{ij}) \quad (20)$$

$$U_{ij}^{n+1} = m(c_{ij}^{n+1} s_{ij}^{n+1} + \phi(c)_{ij}^{n+1} (1 - s_{ij}^{n+1})) + R_1 a_{ij}^{n+1} \quad (21)$$

$$(c_{ij}^{n+1})^{q+1} = (c_{ij}^{n+1})^q + \frac{U_{ij}^{n+1} - m((c_{ij}^{n+1})^q s_{ij}^{n+1} + \phi(c_{ij}^{n+1})^q (1 - s_{ij}^{n+1})) - R_1 a (c_{ij}^{n+1})^q}{m(s_{ij}^{n+1} + \phi'(c_{ij}^{n+1})^q (1 - s_{ij}^{n+1})) + R_1 a' (c_{ij}^{n+1})^q} \quad (22)$$

Также уравнений решаются последовательным применением метода скалярной прогонки [7] и раздельно определяется поле давления, насыщенности и концентрации. Коэффициенты прогонки для системы уравнений (10) - (13) записаны ниже. Давление по x:

$$\begin{aligned} A_i &= M_{xi-1/2j}; B_i = M_{xi+1/2j}; \\ C_i &= -(M_{xi+1/2j} + M_{xi-1/2j} + M_{yij-1/2} + M_{yij-1/2}) \\ D_i &= -(M_{yij-1/2} P_{ij+1} + M_{yij-1/2} P_{ij-1} + M_{prod} P_{prod} + M_{inj} P_{inj}) \end{aligned} \quad (23)$$

Давление по y:

$$\begin{aligned} A_j &= M_{yij-1/2}; \\ B_j &= M_{yij+1/2}; \\ C_j &= -(M_{xi+1/2j} + M_{xi-1/2j} + M_{yij-1/2} + M_{yij-1/2}) \\ D_j &= -(M_{xi+1/2j} P_{i+1j} + M_{xi-1/2j} P_{i-1j} + M_{prod} P_{prod} + M_{inj} P_{inj}) \end{aligned} \quad (24)$$

Концентрация по x:

$$\begin{aligned} A_i &= A_i(x, v_{1x}, v_{2x}, D, R_2); \\ B_i &= A_i(x, v_{1x}, v_{2x}, D, R_2); \\ C_i &= A_i(x, y, v_{1x}, v_{2x}, v_{1y}, v_{2y}, D, s, R_1, R_2); \\ D_i &= A_i(x, y, v_{1x}, v_{2x}, v_{1y}, v_{2y}, D, s, R_1, R_2, c); \end{aligned} \quad (25)$$

Концентрация по y:

$$\begin{aligned} A_j &= A_j(y, v_{1y}, v_{2y}, D, R_2); \\ B_j &= A_j(y, v_{1y}, v_{2y}, D, R_2); \\ C_j &= A_j(x, y, v_{1x}, v_{2x}, v_{1y}, v_{2y}, D, s, R_1, R_2); \\ D_j &= A_j(x, y, v_{1x}, v_{2x}, v_{1y}, v_{2y}, D, s, R_1, R_2, c); \end{aligned} \quad (26)$$

Результаты расчетов получены в случае, когда относительные фазовые проницаемости и функция адсорбции имеют следующий вид:

$$f_1(s) = s^{3.5}; f_2(s) = (1 - s)^{3.5}; \quad (27)$$

$$a = \Gamma c \text{ (Изотерма Генри)} \quad (28)$$

Результаты вычислительных экспериментов

Результаты численного расчета, который производился на языке С++, можно увидеть на нижеприведенных рисунках.

Определены основные технологические показатели, такие как: средняя нефтенасыщенность, текущая нефтеотдача, доля нефти в добываемой продукции, количество отобранного полимера на добывающей скважине, общее количество за время T_{end} добытой нефти и воды.

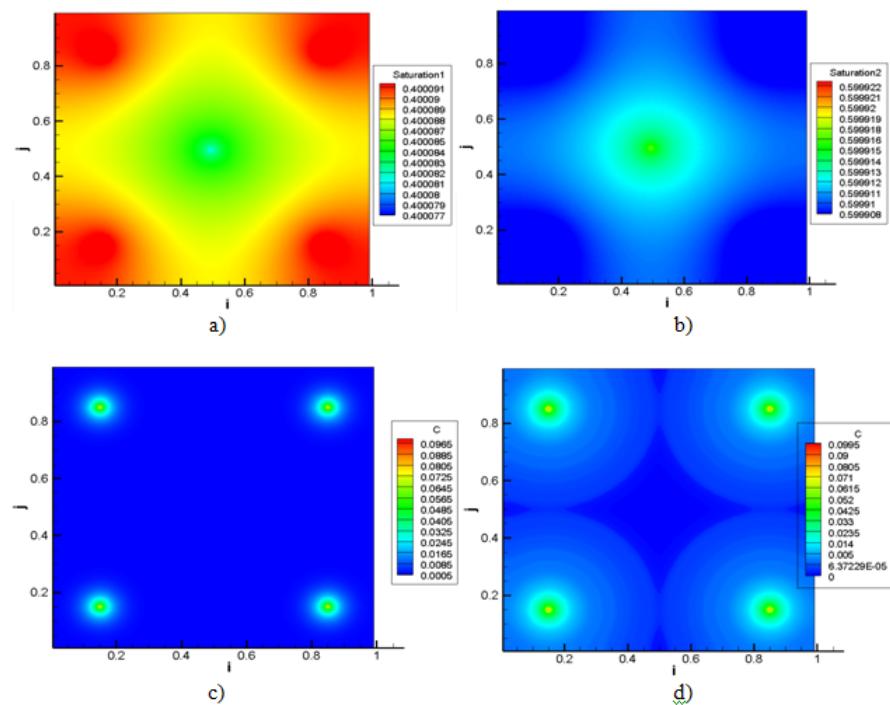


Рисунок 3 Графики распределения а) насыщенности воды; б) насыщенности нефти; в) концентрации полимера через 3 месяца; г) концентрации полимера через 10 месяцев

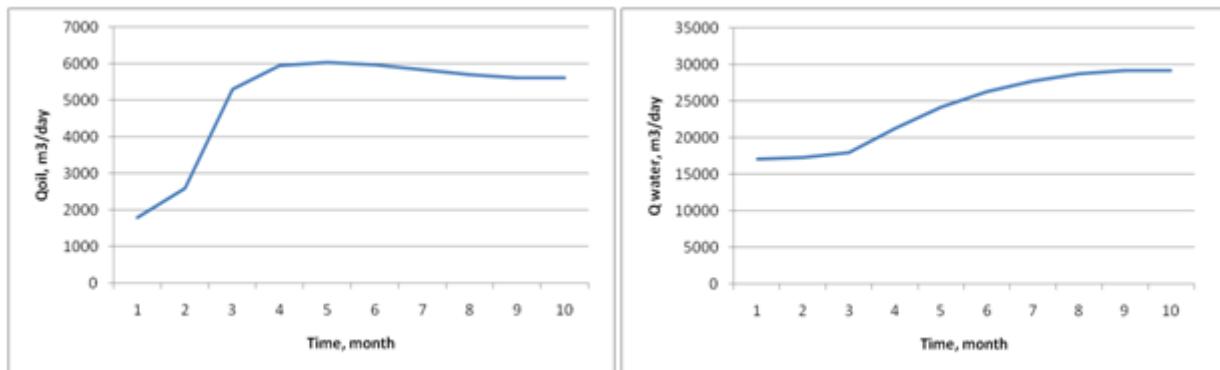


Рисунок 4 Текущие дебиты нефти и воды

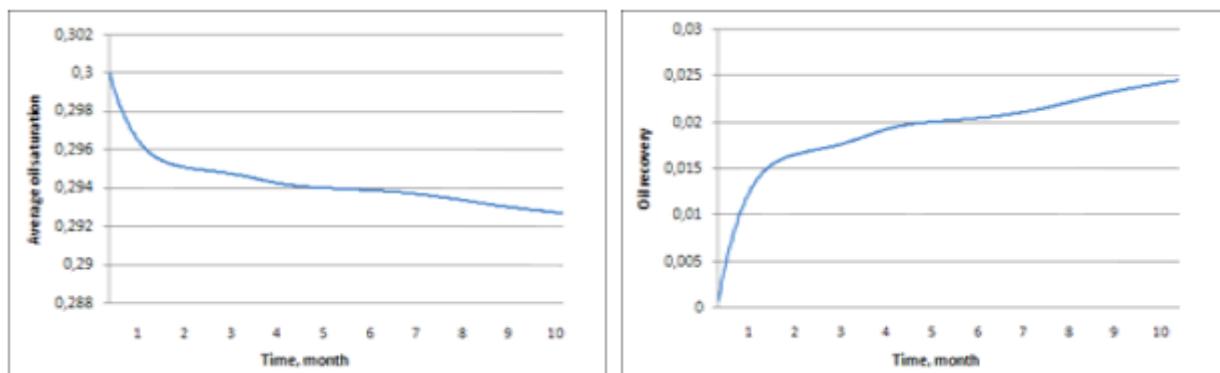


Рисунок 5 Средняя насыщенность нефти и текущая нефтеотдача пласта

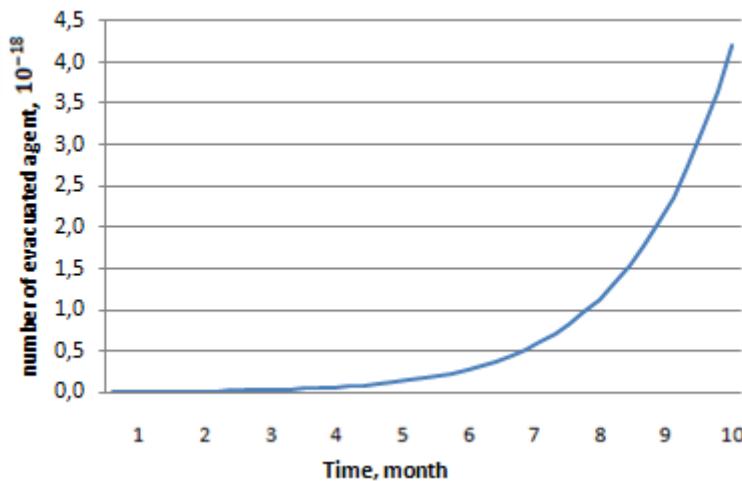


Рисунок 6 Количество отобранного полимера

Решая задачу по явной схеме, столкнулись с проблемой ограничения на шаг по времени, которое связано с устойчивостью схемы. Поэтому эта схема приводит к большим затратам времени на решение задачи, что неудобно. Для обеспечения устойчивости схемы необходимо чтобы выполнялось следующее условие:

$$\tau < \frac{m\delta x\delta y}{2}$$

От этих ограничений избавились путем перехода от явной схемы к неявной. Но при этом, усложнился процесс решения системы алгебраических уравнений, так как увеличивается количество выполняемых операций.

На рисунке 4 показаны текущие дебиты нефти и воды за десять месяцев эксплуатации скважин. На этом графике можно заметить что, дебит воды возрастает быстрее примерно после трех месяцев, по сравнению с предыдущими месяцами. Соответственно, дебит нефти достигает своего максимума и в следующие месяцы потихоньку начинает падать. Рисунок 5 описывает изменение средней значений нефти и текущей нефеотдачи пласта. Первые два месяца средняя нефтенасыщенность стремительно падает, в то время как нефеотдача пласта резко возрастает. После чего можно увидеть уменьшение скорости падения насыщенности и роста нефеотдачи. На рисунке За и 3б можно посмотреть распределение насыщенностей воды и нефти, а также распределение концентрации полимера после 3-х и 10-ти месяцев закачки.

Заключение

В работе исследованы вопросы математического и численного моделирования процесса вытеснения нефти с использованием технологии закачки полимера в нефтяной пласт. Были проведены численные эксперименты и определены основные технологические показатели: среднее значение насыщенности нефти, текущая нефеотдача, текущий дебит нефти и воды, количество отобранной нефти на данный момент времени, количество отобранного полимера. Полученные результаты могут быть использованы для анализа данных и прогноза условий эксплуатации месторождений при работе в системе нагнетательных и эксплуатационных скважин.

Список литературы

- [1] S.Kudaibergenov, Zh.Adilov, N.Nuraje, A.Sagindykov, G.Tatykhanova, I.Gusenov, R.Ibragimov. Laboratory test for enhanced oil recovery with gellan. Almaty: International journal of biology and chemistry, 2012. – P. 58-68.
- [2] Ларри Лейк. Основы методов увеличения нефтеотдачи. Остин, 2005. – 449 с.
- [3] Tor Austad, Steinar Ekrann, Ingebret Fjelde, Knut Taugbol. Chemical flooding of oil reservoirs Part 9. Dynamic adsorption of surfactant onto sandstone cores from injection water with and without polymer present // Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects (127) - 1997. – C.69-82
- [4] Zhu Wei-Yao, Sun Peng-Xiao, Ju Yan. A new thermal gel-polymer/polymer flooding compositional simulator // The seventh Asian congress of fluid mechanics. (Dec 8-12). - 1997.
- [5] Mukhambetzhyan S.T., Akhmed-Zaki D.Zh. Modeling of a problem of phase transitions at not isothermal filtration and qualitative properties of the decision // Wiertnictwo Nafta gaz – Zakopane, Poland, 2008. - Vol. 25/2. - P. 541-550.
- [6] X. Азиз, Э. Сеттари. 6. X. Азиз, Э. Сеттари. Математическое моделирование пластовых систем. London : Applied science publishers ltd. – 476 с.
- [7] A.A. Самарский, A.B. Гулин. Численные методы. - Москва: Наука, 1989. - 432 с.

УДК 517.962: 519.63

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ПОКРЫТИЙ

К.Т. Исаков

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева

Abstract. This paper presents the results of experimental and theoretical researches of determining the geological section of the upper layers of the Earth. Experimental research was carried out by the georadar (GPR) for prediction of the location of archaeological mound objects located in Kazakhstan. And also the experimental researches on the diagnoses of the runway of private airport located on the territory of Almaty in the Republic of Kazakhstan by using GPR are presented. For interpretation of GPR data the mathematical model of wave propagation, which perturbed by a plane wave incident on the surface is proposed.

Keywords: georadar (GPR), interpretation, radagramme, modeling.

Аннотация. Бұл жұмыста Жердің жоғарғы қабаттарының геологиялық кескіндерін анықтауда арналған тәжірибелік және теориялық зерттеулердің нәтижелері көлтірілді. Қазақстан территориясында орналасқан қорғанының археологиялық обьектілерінің орналасуын болжау

үшін георадарды қолданумен тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Сонымен қатар георадарды қолданумен ҚР Алматы облысының аймағында орналасқан жеке меншік аэродромның ұшу-қону жолағын бақылау барысында тәжірибелік зерттеулер келтірілді. Георадар мәліметтерін интерпретациялау үшін жазықтыққа түсетең жазық толқынның әсерінен ауытқытын толқын таралуының математикалық моделі ұсынылды.

Кілттік сөздер: георадар, интерпретация, радаграмма, модельдеу.

Аннотация. В настоящей работе приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований по определению геологического разреза верхних слоев Земли. Проведены экспериментальные исследования по прогнозированию месторасположения археологических объектов кургана расположенного на территории Казахстана с использованием георадара. А также приведены экспериментальные исследования по диагностике взлетно-посадочной полосы коммерческого аэродрома, расположенного на территории Алматинской области РК, с использованием георадара. Для интерпретации данных георадара, предлагается математическая модель распространения волн, возмущенных плоской волной падающих на поверхность.

Ключевые слова: георадар, интерпретация, радаграмма, моделирование.

Экспериментальные исследования по определению археологических объектов

В данном пункте приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований по определению геологического разреза верхних слоев Земли. Работы выполнена под руководством, профессора ЕНУ имени Л.Н. Гумилева К.Т. Исакова и профессора НГУ С.И. Кабанихи на. Экспериментальные исследования по прогнозированию месторасположения археологических объектов кургана расположенного на территории Казахстана с использованием георадара (GPR), проведены экспедицией: заведующим отделом эпохи камня и палеометалла Институт археологии имени А.Х. Маргулана Министерство Образования и Науки РК профессором Курманкуловым Жолдасбеком, археологом Ишангали Сагындыком и докторантом PhD КазНПУ имени Абая Бакытгереем Шолпанбаевым. Консультации по проведению георадарного обследования и анализа оказывали: Морозов П.А., Михно А.Н. и Меркулов С.В.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований были изложены на международных конференциях [1]-[4] в соавторстве с профессором С.И. Кабанихиным.

Для решения обратной задачи принятая математическая модель двумерной задачи для уравнения геоэлектрики в линеаризованной постановке [5]. Построен итерационный метод наискорейшего спуска. Выписаны градиенты функционалов и соответствующие им сопряженные задачи [6,7].

Постановка задачи состояла в следующем: выявление внутренней структуры строения кургана (оставшиеся от надмогильных сооружений и мавзолеев) расположенного на территории Республики Казахстан; геофизическое обследование структуры грунта на предмет обнаружения древних захоронений и культовых сооружений под землей.

Работа состояла из следующих частей: описание объекта и ее физическое состояние; топографическая съемка объекта и план разметки кургана для проведения георадарных измерений; данные геологических профилей исследуемых объектов; экспертное заключение по прогнозированию исследуемого объекта; математическая модель обратной задачи.

Экспериментальные работы выполнены геофизическим комплексом Лоза-В, с использованием антенны 150см (150МГц), шаг по профилю 20см, глубина зондирования до 256 нс.

Объекты исследования: большой курган, малый курган и перешеек. Измерения с георадаром проведены с использованием 1,5 метровой антенной с интервалом снятия данных порядка - 20 см. Первый объект “Большой курган” занимает площадь 41 метр x 48 метр. Второй объект “Малый курган” занимает площадь 21 метр x 29,30 метр.

Третий объект – “Перешеек” занимает 4 метра x 14 метр. На “Большом кургане” профиль измерено 3 метровой антенной между линиями 10-13 с шагом 30см. Второй профиль измерен 3 метровой антенной между линиями 21-24 в обратном направлении, с шагом 30 см с запасом измерения на 22 метра.

На рисунках 1-2 показаны 3D разрезы Большого Кургана и Малого Кургана соответственно.

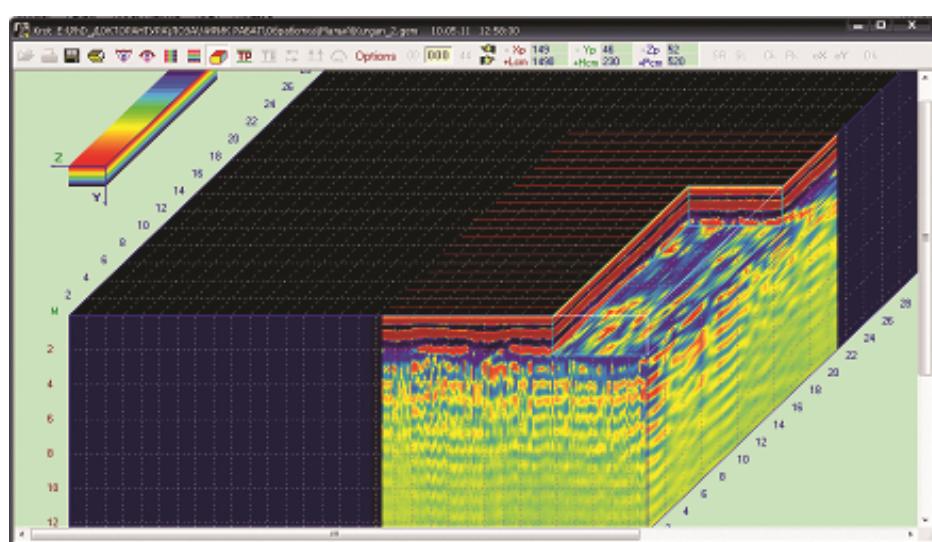


Рисунок 1 3D разрез Большого Кургана

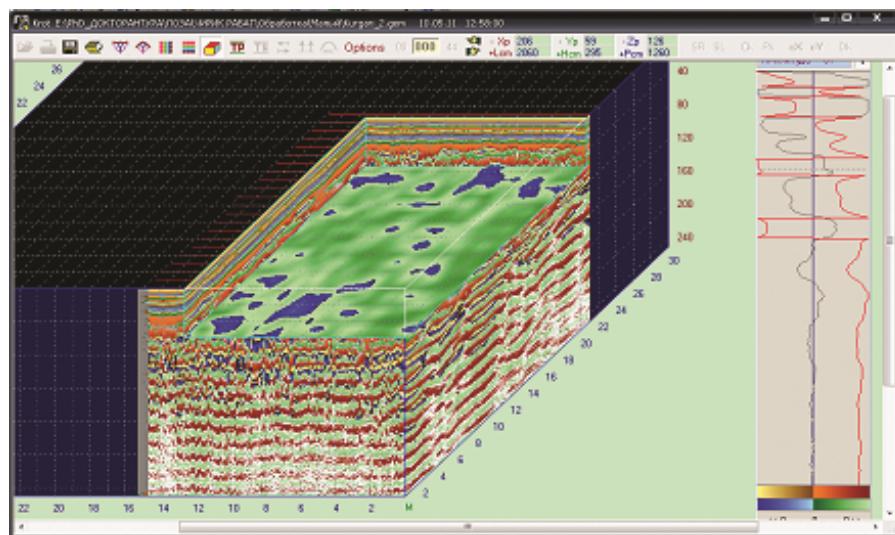


Рисунок 2 Разрез Малого кургана в 3D режиме с использованием различных фильтров

Экспертное заключение по прогнозированию исследуемого объекта

Объект № 1. “Большой курган” – круглый холм с углублением на вершине. Грунт представляет собой тонкий приповерхностный слой песка, каменно-песочную смесь.

В результате площадного 3Д обследования в массиве “Большого кургана” обнаружен объект правильной геометрической формы размерами (10 x 12 м). Объект уверенно выделяется на фоне геологической структуры насыпного грунта массива кургана. Объект ориентирован ЮЗ – СВ. Есть основания предположить, что обнаруженный объект, по конструкции и размерам, подобным, обнаруженному ранее в этом районе, является архитектурной конструкцией из необработанного камня, входящей в комплекс центрального захоронения. По результатам георадарного обследования, есть основания для рекомендаций провести археологические раскопки в зоне обнаруженного объекта.

Следует отметить, что в центральной части с южного склона кургана регистрируются следы погребенной ямы, что может свидетельствовать о возможном несанкционированном проникновении в захоронение.

Объект № 2. “Малый курган” – круглый холм, углублением на вершине. На вершине проходит углубленная дорога. Грунт представляет собой тонкий приповерхностный слой песка, каменно-песочную смесь.

В результате площадного 3Д обследования в массиве “Малого кургана” обнаружены фрагменты конструкции из необработанного камня, образующие «подквадратную» форму больших размеров, ориентированную так же, как и объект в Большом кургане.

По конструкции и размерам, объект похож на погребенное ограждение из необработанного камня.

Объект № 3. “Перешеек между курганами” – относительно ровный с уклоном в начале и в конце. Грунт представляет собой тонкий приповерхностный слой песка, каменно-песочную смесь.

В результате площадного 3D обследования в массиве площадки №3 зарегистрирована линейная конструкция, соединяющая объекты Большого и Малого курганов.

Применение георадара в задачах идентификации подповерхностных покрытий

В данном пункте приведены экспериментальные исследования по диагностике взлетно-посадочной полосы коммерческого аэродрома, расположенного на территории Алматинской области РК, с использованием георадара (GPR) [8-12]. Для интерпретации данных георадара, предлагается математическая модель распространения волн, возмущенных плоской волной падающих на поверхность [13]. Для решения двумерной обратной коэффициентной задачи используется метод линеаризации. Разработан оптимизационный метод решения обратных линеаризованных задач [5-6, 12-14]. Предложен алгоритм численного решения одномерной прямой и обратной задачи по восстановлению физических свойств среды, с учетом влияния воздуха, а также помех, возникающих при эксплуатации прибора [12].

Постановка задачи состояла в следующем: выявление внутренней структуры строения участка взлетно-посадочной полосы (с явным дефектом). Обследование структуры грунта на предмет обнаружения причин дефекта поверхности полосы. Постановка задачи требует применения неразрушающего метода, дающего представление о состоянии грунта расположенного под рабо-

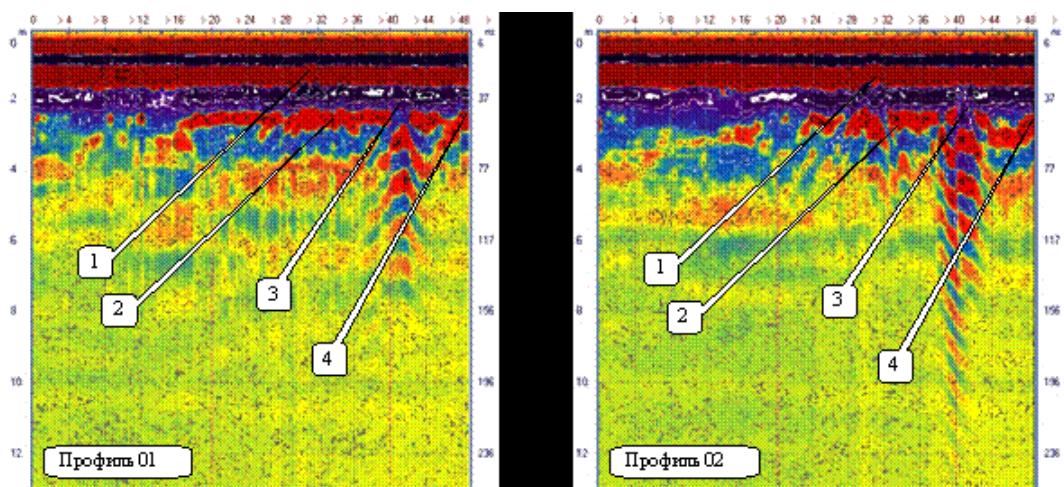


Рисунок 3 Данные георадарных экспериментальных исследований объекта

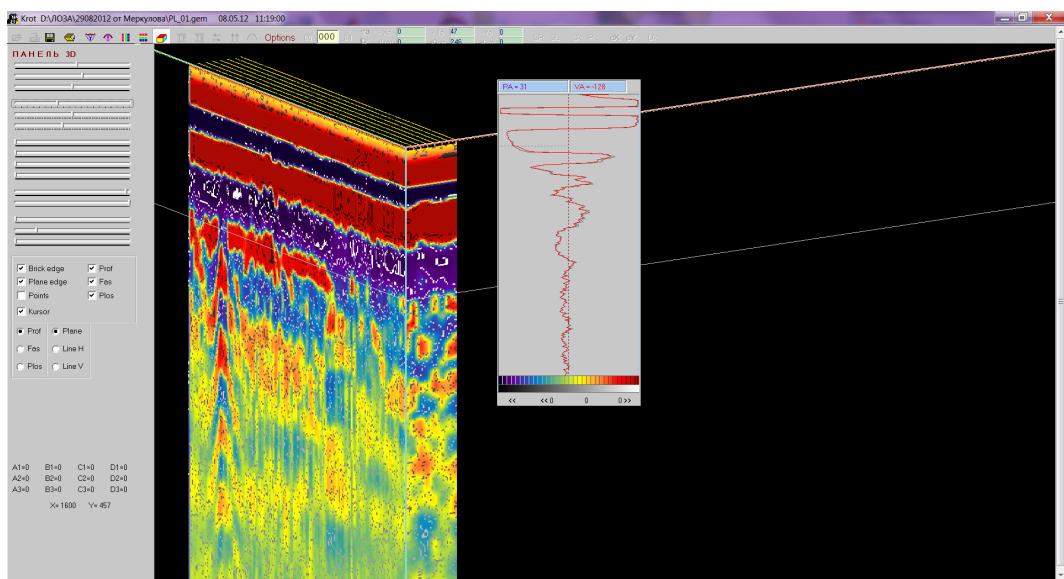


Рисунок 4 3D разрез объекта

чей покрытий полосы.

Экспериментальные исследования проведены: руководителем службы безопасности полетов аэродрома, профессором ЕНУ имени Л.Н. Гумилева К.Т. Исаковым, профессором НГУ С.И. Кабанихиным и докторантом PhD КазНПУ имени Абая Ж.О. Оралбековой.

Экспериментальные исследования выполнены геофизическим комплексом Лоза-В, с использованием антennы 100см (100МГц), шаг по профилю 10см. по первой трассе. С использованием антennы 150 см. (150 МГц) с шагом 20 см. по второй трассе.

На рисунке 3 показаны данные георадара в виде радаграмм.

Ниже на рисунке 4 приведена 3D обработка, полученных профилей:

Заключение

В результате проведенного анализа приходим к следующему заключению:

1 – линейно протяженный объект (трещина, шов, кабель...)

- 2 – плотный слой грунта (глина, подсыпка гравия с крупным камнем...)
- 3 – железо-бетонный лоток (дренаж, трубы...)
- 4 - железо-бетонный лоток (дренаж, трубы...)
- 5 – яма, старое русло ручья...

Замечание. В случае проведения экспериментальных измерений параллельных вдоль предполагаемого исследуемого объекта, как видно из заключения, мы получаем более подробную картину об исследуемом дефекте поверхности аэродрома. Как показало экспериментальные исследования, необходимо проведения двух этапов эксперимента, на первом выявляется предполагаемый объект, а на втором вокруг этого объекта нужно провести тщательные измерения.

Работа поддержанна грантом МОН РК 2217/ГФ3.

Список литературы

- [1] Application of georadar Loza-B for the study of cinc-rabat and mounds in the Kyzyl-orda region. К.Т. Iskakov, B.B. Sholpanbaev // The 4 Congress of the Turkic Word Mathematical Society (TWMS) Baku, Azerbaijan, 1-3 July 2011. - P. 470-471.
- [2] Analysis of the measurements inhomogeneties (archaeological objects) using Georadar. S.I. Kabanikhin, K.T. Iskakov, B.B. Sholpanbaev // The 8th Congress of International Society for Analysis, its Applications, and Computation (ISAAC-2011). Moscow, Russia, 22-27 August 2011. - P. 292-293.
- [3] Применение георадара для обнаружения археологических объектов. С.И. Кабанихин, К.Т. Исаков, Б.Б. Шолпанбаев // Международная конференция “Актуальные проблемы современной математики, информатики и механики”, посвященной 20-летию независимости РК. Алматы. 28-30 сентября 2011. - С. 319-320.
- [4] Результаты применения георадара по исследованию археологических объектов. К.Т. Исаков., Б.Б. Шолпанбаев // Третья международная научная школа конференция “Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач”, Новосибирск. 10-15 октября 2011. - С. 26-27.
- [5] Обратная задача геоэлектрики. / Романов В.Г., Кабанихин С.И. М.: Наука, 1991. - 303с.
- [6] Оптимизационные методы решения коэффициентных обратных задач / Кабанихин С.И., Исаков К.Т. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2001. - 315 с.
- [7] Двумерная обратная задача геоэлектрики. К.Т. Исаков, Б.Б. Шолпанбаев // Труды II международной научно-практической конференции “Информационно-инновационные технологии: интеграция науки, образования и бизнеса”, посвященной 20-летию Независимости Республики Казахстан, II том, КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, 1-2-декабря 2011г., С.361-366.
- [8] Analysis of the measurements of subsurface coatings using Georadar. S.I. Kabanikhin, K.T. Iskakov, Zh. Oralbekova // The 8 th Congress of International Society for Analysis, its Applications, and Computation (ISAAC-2011). Moscow. Russia. 22-27 August 2011. - P. 291-292

- [9] Анализ измерений подповерхностных покрытий с использованием георадара. С.И. Кабанихин, К.Т. Искаков, Ж.О. Оралбекова // “Актуальные проблемы современной математики, информатики и механики”, посвященной 20-летию независимости РК. Алматы. 28-30 сентября 2011. - С. 319-320.
- [10] Применение георадара в задачах идентификации подповерхностных покрытий. К.Т. Искаков., Б.Г. Муканова., Ж.О. Оралбекова // Третья международная научная школа конференция “Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач”. Новосибирск. 10-15 октября 2011. - С. 24-25.
- [11] Effective numerical method for inverse problem for geoelectric equation. K.T. Iskakov, Zh. Oralbekova // The 4 Congress of the Turkic Word Mathematical Society (TWMS) Baku, Azerbaijan, 1-3 July, 2011. P. 332-333
- [12] Проекционно-разностные методы определения коэффициентов гиперболических уравнений. / Кабанихин С.И. Новосибирск: Изд-во Наука СО РАН. 1988 - 167 с.
- [13] Обратная задача для волнового уравнения в георадарных исследованиях. К.Т. Искаков, Ж.О. Оралбекова // Труды II международной научно-практической конференции “Информационно-инновационные технологии: интеграция науки, образования и бизнеса”, посвященной 20-летию Независимости Республики Казахстан, II том, КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, 1-2-декабря 2011г., С. 357-361.
- [14] Методы решения экстремальных задач / Васильев Ф.П. М.: Наука, 1981. – 400 с.

УДК 519.8

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РИСК-МЕНЕДЖМЕНТЕ

А.Ж. Казыкенов, Ж.Т. Бельдеубаева

Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева

Abstract. This article deals with the use of mathematical and computer modeling to improve the efficiency of the insurance company. The results of the method of statistical equations dependencies, the results of computer simulation.

Keywords: risk management, the method of statistical equations dependencies, factor analysis.

Андатпа. Берілген мақалада сақтандыру компанияның жұмысын тиімділігін жоғарылату үшін математикалық және компьютерлік модельдеу мәселелерін қолданатынын қарастырылады. Жұмыста статистикалық тәуелділік теңдеу әдістің пайдалану және компьютерлік модельдеу нәтижелері көрсетілген.

Кілттік сөздер: риск-менеджмент, статистикалық тәуелділік теңдеу әдісі, факторлық анализ.

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы использования математического и компьютерного моделирования для повышения эффективности деятельности страховой компании. В работе представлены результаты применения метода статистических уравнений зависимостей, представлены результаты компьютерного моделирования.

Ключевые слова: риск-менеджмент, метод статистических уравнений зависимостей, факторный анализ.

Введение.

Сущность страхования заключается в распределении ущерба между всеми участниками страхования. Это своего рода кооперация по борьбе с последствиями стихийных бедствий и противоречиями, возникающими внутри общества из-за различия имущественных интересов людей, вступивших в производственные отношения.

Страхование является одним из элементов производственных отношений. Оно связано с возмещением материальных потерь, что служит основой для непрерывности и бесперебойности процесса воспроизводства. Возмещение потерь производится в денежной форме, поэтому производственные отношения, лежащие в основе страхования, проявляются через оборот денежных средств, денежные отношения. Поэтому страхование относится к системе финансов. Как и финансы, страхование является категорией распределения. Однако это не исключает возможности использования его на всех стадиях общественного производства: производство, распределение, обмен, потребление.

В данной статье рассматриваются вопросы использования математического и компьютерного моделирования для повышения эффективности деятельности страховой компании. Современное научное направление прикладной математики, связанное с научно обоснованными методами оценки страхового риска - страховая математика предлагает различные подходы к решению задач риск-менеджмента.

Одним из математических методов, используемых в страховой математике, является метод статистических уравнений зависимостей, широко применяемых в экономических системах. Данный метод позволяет произвести определение математической модели зависимости результативного признака, например общего количества страховых случаев от различных факторов, например от возрастного фактора, от времени года, от условий на производстве и т.д.

Метод статистических уравнений зависимостей.

Решение задачи эффективной деятельности страховой компании невозможно без оценки связей между различными факторами и результативными показателями, выявления их тенденций и разработки нормативов и прогнозов. Решению этой задачи способствует создание надежной информационной базы, содержащей сведения о тех факторах окружающей среды, которые формируют те или иные явления в страховом бизнесе.

Необходимо четко представлять исследуемую систему во всем многообразии взаимосвязанных факторных и результативных признаков. При этом важно выделить роль факторов, которые положительно или отрицательно влияют на поведение страховых рисков. Объективную характеристику воздействия различных факторов на состояние страховых рисков, могут обеспечить правильно подобранные статистические и математические методы.

Применение в расчетах статистических уравнений зависимостей предусматривает определение нормативов на основании учета действия факторов, а также оценку потенциала действия факторов с целью достижения оптимума при подготовке дальнейших мероприятий.

Статистические уравнения зависимостей позволяют обосновывать предпринимаемые шаги по оптимизации деятельности страховой компании, вычислять прогнозные уровни, давать оценку влияния отдельных факторов на результативный признак, устанавливать уровни факторов при изменении результативного признака на единицу, или какую-либо заданную величину, определять совокупное влияние на результативный признак изменения каждого из факторов на единицу, или другую заданную величину, а также оценивать интенсивность использования факторов для достижения средней величины результативного показателя.

Основной целью изучения причинной зависимости является выявление связей, закономерностей и тенденций развития. Причинная зависимость выражает соотношение между функцией и аргументом в виде роста или снижения одной переменной величины при увеличении или уменьшении другой. Для выявления зависимости необходимо определить основные, наиболее важные признаки статистической совокупности. Всестороннее исследование связей между явлениями требует неизолированного изучения отдельного явления вне связи его с окружающими явлениями и процессами.

Статистические уравнения зависимостей обеспечивают также получение одинаковых значений при параметрах и одинаковых знаков для значений параметров при переходе от однофакторных к многофакторным уравнениям. Последнее обстоятельство позволяет разделить факторные признаки на те, которые положительно или отрицательно влияют на результативные признаки. Еще одной особенностью данного метода является достоверность расчетов при малочисленных совокупностях данных для изучения явлений.

Применение метода статистических уравнений зависимостей для расчетов в условиях малочисленных совокупностей дает возможность ограничить устойчивую и неустойчивую зависимость между факторами и результатами хозяйственной деятельности. Только наличие устойчивой зависимости дает возможность проводить объективные нормативные и прогнозные расчеты и тем самым получать достоверные выводы о развитии экономических явлений и процессов.

Коэффициенты сравнения – основание статистических уравнений зависимостей.

Расчет параметров статистических уравнений зависимостей основывается на определении коэффициентов сравнения факторных и результативных признаков путем отношения отдельных значений одноименного признака к его минимальному или максимальному уровню. Относительные величины сравнения определяют соотношением уровней одноименных величин явления за один и тот же период или момент времени по различным объектам (территориям), один из которых принимается за базу сравнения. Их использование позволяет устраниТЬ несравнимость в проведении статистических расчетов показателей, выраженных разноименными величинами.

Коэффициенты сравнения показывают степень изменения (увеличения или уменьшения) величины признака по отношению к принятой базе сравнения. При увеличении значений признака коэффициенты сравнения исчисляют от минимального уровня, а при уменьшении – от максимального. На основе этих коэффициентов определяется параметр уравнения зависимости, представляющий собой отношение суммы отклонений от единицы вычисленных коэффициентов сравнения результативного и факторного признаков.

В отличие от известных в статистике коэффициентов эластичности параметр уравнения зависимости позволяет учесть влияние на результативный признак не только одного фактора, но и совокупного действия многих факторов.

Применение статистических уравнений зависимости для анализа взаимосвязей явлений требует: качественного анализа исследуемых факторных и результативных признаков; однородности

изучаемого явления; оценки устойчивости связи между явлениями; Первое требование предусматривает наличие логической зависимости между факторными и результативными признаками и использование прямых показателей, позволяющих проводить нормативные расчеты. Второе требование предполагает исключение из расчетов значений признака (минимальных или максимальных), значительно отличающихся (в два–три раза) соответственно от следующей за минимальной или предшествующей максимальной величины.

Оценка устойчивой или неустойчивой связи между факторным и результативным признаком проводится по шкале зависимостей на основе расчета коэффициента устойчивой связи. Исходными данными для расчета этого коэффициента служат табличные модели определения параметров уравнений зависимости.

Статистические уравнения зависимостей выражают различные виды (однофакторные и многофакторные) и направления связи (линейную, криволинейную и др.) Для расчета параметров уравнений зависимостей используется система формул, описывающая зависимости в виде линейной, параболической, гиперболической и др. функций.

Критериями выбора вида уравнения зависимости являются: наименьшая сумма линейных отклонений эмпирических значений результативного признака от его теоретических значений; совпадение значений коэффициента и индекса корреляции (их различие не должно превышать 0,01).

Минимизация суммы отклонений эмпирических значений результативного признака от его теоретических значений при использовании компьютеров осуществляется автоматически перебором десяти видов и направлений однофакторной связи с выбором наилучшего уравнения зависимости, обеспечивающего минимум суммы отклонений.

Модели расчета параметров статистических уравнений соответствующих видов и направлений связи являются исходными для расчета тесноты связи (коэффициента и индекса корреляции). Их расчет осуществляется как с целью оценки тесноты связи, так и для подтверждения правильности выбора типа уравнения зависимости.

Определение типа функции является решающим моментом в расчетах, так как от этого зависит, правильно ли выбранное уравнение отражает суть связи между явлениями. Вычисление параметров зависимости

Свободный член уравнения зависимости имеет реальный практический смысл. Это минимальное y_{min} или максимальное y_{max} значение результативного признака (рисунок 1)

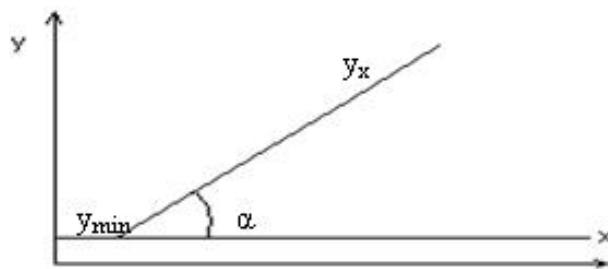


Рисунок 1 Теоретическая линия зависимости

Минимальное значение изучаемого признака y_{min} отражено прямой линией, параллельной оси абсцисс, а теоретическая линия линейного уравнения зависимости y_x – наклонной прямой. Угол α между линией минимального значения признака и теоретической линией характеризует тесноту

связи. Параметр b определяется по формуле:

а) по абсолютным отклонениям:

$$b = \frac{\sum(y_i - y_{min})}{\sum(x_i - x_{min})}. \quad (1)$$

б) по отклонениям коэффициентов сравнения от единицы:

$$b = \frac{\sum(\frac{y_i}{y_{min}} - 1)}{\sum(\frac{x_i}{x_{min}} - 1)}. \quad (2)$$

Для уточнения вида уравнения нужно вычислить параметр зависимости b . Параметр зависимости вычисляется по следующей формуле:

$$b = \frac{\sum(d_y)}{\sum(d_x)}. \quad (3)$$

Вычисление коэффициентов сравнения факторного признака d_x производится по соответствующей формуле в зависимости от выбранной математической модели. Вычисление коэффициентов сравнения результативного признака d_y осуществляется с учетом изменения его значений:

- а) при увеличении $\frac{y_i}{y_{min}} - 1$;
- б) при уменьшении $1 - \frac{y_i}{y_{min}}$;

Рассмотрим процесс определения уравнения зависимости с помощью рассматриваемого метода на следующем примере:

Таблица 1 Проранжированные эмпирические данные

X	8.5	14.5	21.2	21.9	24.4	28.9	31.6	32.9	35.6	52.4
Y	0.9	1.8	1.9	1.8	2	1.9	2.1	2.4	3.1	2.7

Факторный признак характеризует данные по среднему возрасту клиентов, для которых наступил данный страховой случай. Наблюдения производились в течение десяти периодов времени. Результативный признак характеризует долю наступления страховых случаев в эти периоды.

Задача: Применив метод статистических уравнений зависимостей, проанализировать и выявить уравнение зависимости доли страховых случаев от среднего возраста клиентов.

Строится эмпирическая кривая, построенная на основе проранжированных данных относительно факторного признака. Вид кривой позволяет судить, что наиболее близко отображает эту связь уравнение прямой линейной зависимости.

Общий вид данного уравнения:

$$y_x = y_{min}(1 + bd \frac{x_i}{x_{min}} - 1). \quad (4)$$

Рассчитаем параметр зависимости b . Для вычисления коэффициентов сравнения факторного признака d_x используем следующую формулу:

$$d_x = \frac{x_i}{x_{min}} - 1$$

Для вычисление коэффициентов сравнения факторного признака d_x используем следующую формулу:

$$d_y = \frac{y_i}{y_{min}} - 1$$

Необходимые расчеты приведены в следующей таблице:

Таблица 2 Таблица расчетов коэффициентов сравнения факторного и результативного признаков

№	x	y	dx	dy
1	8.5	0.9	0.00	0.00
2	14.5	1.8	0.706	1.00
3	21.2	1.9	1.494	1.111
4	21.9	1.8	1.577	1.00
5	24.4	2	1.871	1.222
6	28.9	1.9	2.4	1.111
7	31.6	2.1	2.718	1.333
8	32.9	2.4	2.871	1.666
9	35.6	3.1	3.188	2.444
10	52.4	2.7	5.165	2.00
ИТОГО	271.9	20.6	21.988	12.889

$$b = \frac{12.889}{21.988} = 0.586172 \approx 0.59.$$

Искомое уравнение имеет вид:

$$y_x = 0.9(1 + 0.59d_x)$$

С помощью данного уравнения, вычислим теоретические значения результативного признака. Правильность подбора математической модели зависимости можно проверить, построив на предыдущей координатной плоскости кривую по теоретическим значениям результативного признака. При успешности подбора модели теоретическая должна относительно близко описывать эмпирическую кривую. На следующем рисунке можно увидеть, что модель подобрана успешно.

Оценка тесноты и устойчивости связи.

Оценка тесноты связи между факторным и результативным признаками производится с помощью коэффициента и индекса корреляции, значения которых должны лежать в интервале от 0 до 1. Чем ближе значение данных величин к 1, тем теснее связь между признаками. Степень тесноты имеет реальный практический смысл, так как позволяет в какой мере факторный признак влияет на результативный признак, насколько факторный признак является обуславливающим поведение результативного признака.

Значение коэффициента корреляции вычисляется по следующей формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum d_x d_y}{\sqrt{\sum d_x^2 \sum d_y^2}}. \quad (5)$$

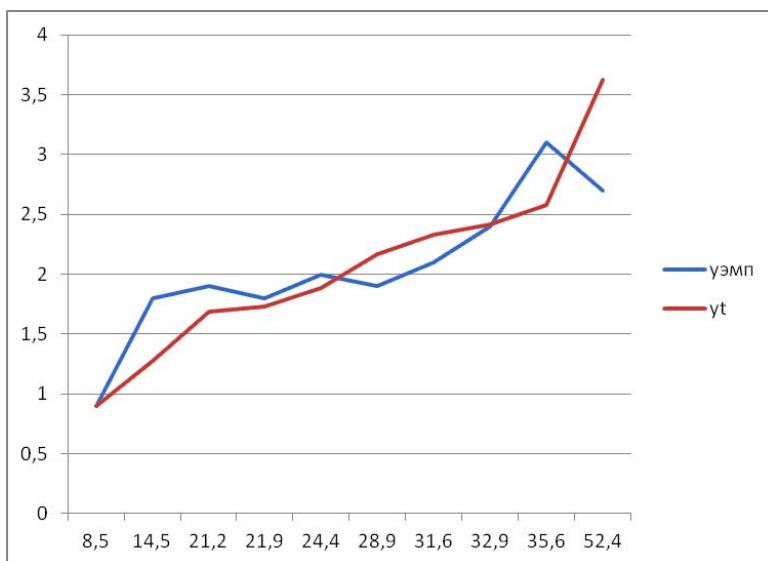


Рисунок 2 Эмпирическая и теоретическая кривые зависимости доли наступления страховых случаев от среднего возраста клиентов

Значение индекса коэффициента корреляции вычисляется по следующей формуле:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum(d_x - d_{yx})^2}{\sum d_y^2}}. \quad (6)$$

Для предыдущей задачи оценим тесноту связи между долей страховых случаев и средним возрастом клиентов.

Таблица 3 Таблица расчетов оценки тесноты связи между факторным и результативным признаками

dx	dy	dxdy	dx2	dx2	dyx	(dx-dyx)2
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.706	1.000	0.7059	0.498	1.000	0.414	0.344
1.494	1.111	1.6601	2.232	1.235	0.876	0.055
1.576	1.000	1.5765	2.485	1.000	0.924	0.006
1.871	1.222	2.2863	3.499	1.494	1.096	0.016
2.400	1.111	2.6667	5.760	1.235	1.407	0.087
2.718	1.333	3.6235	7.386	1.778	1.593	0.067
2.871	1.667	4.7843	8.240	2.778	1.683	0.0003
3.188	2.444	7.7935	10.165	5.975	1.869	0.331
5.165	2.000	10.329	26.674	4.000	3.027	1.056
21.988	12.889	35.426	66.940	20.494	12.889	1.963

$$r_{xy} = 0.956466; \quad R = 0.95091.$$

Полученные значения коэффициента и индекса позволяют подтвердить успешность выбранной математической модели зависимости и сделать вывод о том, что между факторным и результативным признаками существует высокой степени тесная связь, т.е. возраст клиентов страховой компании влияет на долю страховых случаев.

Оценка устойчивости связи между факторным и результативным признаками позволяет отграничить устойчивые и неустойчивые связи. Такая характеристика как устойчивость является достаточно важной, так как позволяет определить можно ли на основании данной модели построить достоверные прогнозы о поведении данной системы в будущем.

Устойчивость связи оценивается с помощью коэффициента устойчивости по следующей формуле:

$$K = 1 - \frac{\sum |d_y - bd_x|}{\sum d_y}. \quad (7)$$

Устойчивость связи между факторным и результативным признаками оценивается по полученному значению коэффициента устойчивости по шкале критериев устойчивости.

Таблица 4 Таблица оценки зависимостей на устойчивость

Критерий оценки	Коэффициент устойчивости связи
Неустойчивая связь очень низкая	до 0,5
Неустойчивая связь низкая	0,5-0,6
Неустойчивая связь заметная	0,6-0,7
Устойчивая связь средняя	0,7-0,8
Устойчивая связь высокая	0,8-0,9
Устойчивая связь очень высокая	0,9 и более

Шкала оценки зависимостей позволяет разграничить связь между факторным и результативными признаками на устойчивую и неустойчивую. Наличие устойчивой связи свидетельствует о достоверности параметров уравнений зависимости, что дает возможность использовать их при проведении нормативных и прогнозных расчетов. Пример: Для предыдущей задачи оценим устойчивость связи между долей страховых случаев и средним возрастом клиентов.

Таблица 5 Таблица расчетов устойчивости связи между факторным и результативным признаками

dy	b _{dx}	dy-b _{dx}
0.000	0.000	0.000
1.000	0.414	0.586
1.111	0.876	0.235
1.000	0.924	0.076
1.222	1.096	0.126
1.111	1.407	0.296
1.333	1.593	0.260
1.667	1.683	0.016
2.444	1.869	0.576
2.000	3.027	1.027
12.889	12.889	3.198

$$K = 0.752.$$

Полученное значение коэффициента устойчивости соответствует по системе критериев средней устойчивой связи, это означает, что нормативные и прогнозные, произведенные на базе данной математической модели не обеспечивают высокой степени достоверности.

Нормативные и прогнозные расчеты

Нормативные расчеты производятся, в случае если анализ системы показал высокую тесноту и устойчивость связи между факторным и результативными признаками. В противном случае произведенные расчеты будут являться недостоверными. Нормативная задача решается с целью определения меры воздействия на факторный признак для того, чтобы это в свою очередь вызвало определенный запланированный эффект в смысле результативного признака. Цель нормативной задачи может быть поставлен следующим образом: на сколько единиц и как изменить значение факторного признака для того, чтобы значение результативного признака уменьшилось или увеличилось на n единиц.

Расчеты производятся по следующей схеме:

- Вычислить разность коэффициентов сравнения результитивного признака: при увеличении значений результативного признака:

$$d_{y_n} = \frac{y_n}{y_{min}} - 1. \quad (8)$$

при уменьшении значений результативного признака:

$$d_{y_n} = 1 - \frac{y_n}{y_{min}}. \quad (9)$$

- Вычислить нормативные уровни факторных признаков:

при прямой зависимости: $x_n = (\frac{d_{y_n}}{b_x} + 1)x_{min}$;

при обратной зависимости: $x_n = (1 - \frac{d_{y_n}}{b_x})x_{max}$;

Пример: Для предыдущей задачи определить норму воздействия на такой фактор, как средний возраст клиентов страховой компании, с целью уменьшения показателей доли страховых случаев на 0.05.

Вычислим разность коэффициентов сравнения результативного признака:

$$d_{y_n} = \frac{0.9 - 0.05}{0.9} - 1 = -0.056;$$

Вычислим нормативный уровень факторных признаков:

$$x_n = (\frac{-0.556}{0.586} + 1) * 8.5 = 0.43;$$

Разность между x_n и x_{min} составляет -0.81 ед.

Из полученного нормативного значения факторного признака следует вывод: для того, чтобы доля страховых случаев уменьшилась на 0.05 единицы, нужно уменьшить средний возраст клиентов на 0.81 единиц. Прогнозные расчеты производятся в случае, когда анализ зависимости показывает высокую устойчивость связи между факторным и результативным признаками (значение коэффициента устойчивости примерно 0.8 и более). Прогнозирование производится с целью определения того, какое значение результативного признака ожидается, если известно, что значение факторного признака достигнет известного уровня.

Для прогнозных расчетов берется уравнение зависимости, в которое нужно подставить значение коэффициента сравнения факторного признака, вычисленного с учетом известного значения.

Пример: Для предыдущей задачи определить прогнозное значение показателей по доле страховых случаев, если известно, что средний возраст клиентов страховой компании достигнет уровня 41.6.

Вычислим коэффициент сравнения факторного признака:

$$d_x = \frac{41,6}{8,5} - 1 = 3.89. \quad (10)$$

Вычислим прогнозное значение результативного признака:

$$y_x = 0.9(1 + 0.59 * 3.89) = 2.97. \quad (11)$$

Вывод: если в будущем средний возраст клиентов достигнет уровня 41.6 лет, то доля страховых случаев ожидается равным 2.97 ед.

Критерием получения репрезентативных прогнозных расчетов является вычисление для данного уравнения коэффициента устойчивости тренда.

Компьютерное моделирование процесса управления экономической системы при помощи метода реализовано путем автоматизации всех процедур в среде Visual Basic. Хранение данных осуществляется в MS Access.

Результаты работы разработанного программного приложения представлены на рисунках 3, 4.

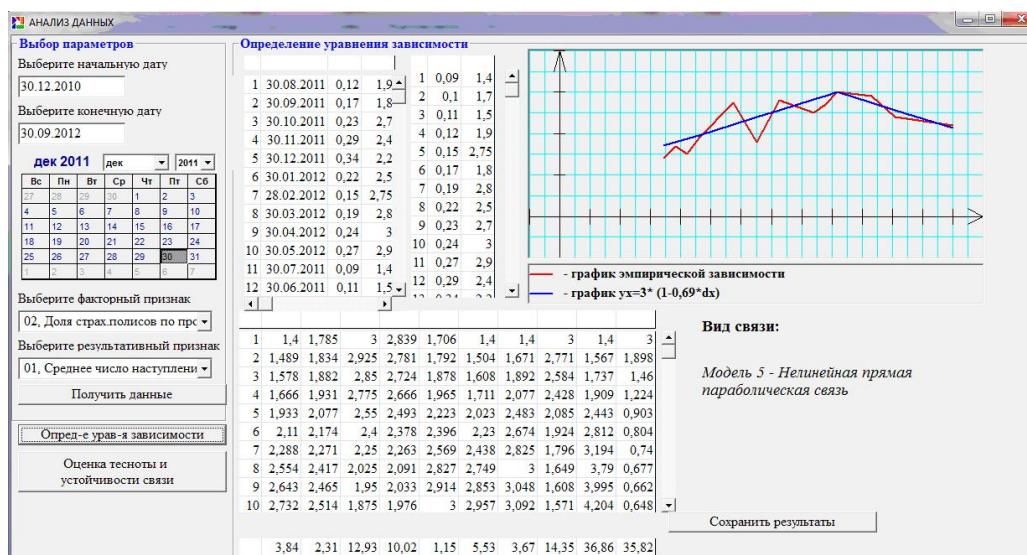


Рисунок 3 Определение математической модели зависимости результативного признака от факторного

Таким образом, рассмотрен подход использования математического и компьютерного моделирования для повышения эффективности деятельности страховой компании. В работе представлены результаты применения метода статистических уравнений зависимостей, построена функция зависимости наступления страховых случаев от среднего возраста клиентов. Выполнены оценка устойчивости связи между факторным и результативным признаками, нормативные и прогнозные расчеты, представлены результаты компьютерного моделирования. Рассмотренный в статье пример иллюстрирует эффективность применения методов математического моделирования и современных информационных технологий в риск-менеджменте.

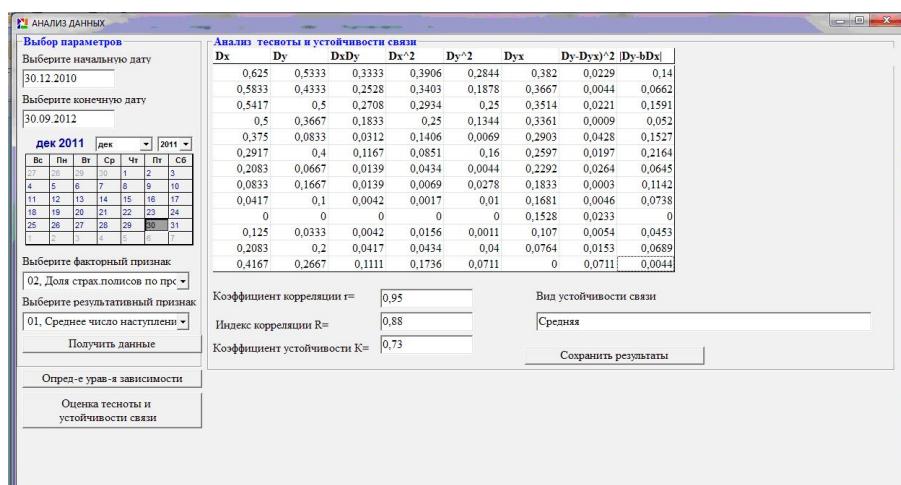


Рисунок 4 Оценка тесноты и устойчивости связи

Список литературы

- [1] Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. - Наука, 2002 г.- 345с.
- [2] Интрилигатор Н. Математические методы оптимизации и экономическая теория. - М.: Прогресс, 2000 г. - 320с.
- [3] Кулинич Е.И. Эконометрия. – М.: Финансы и статистика, 2001.
- [4] Моисеев Н.Н., Иванников Ю.П., Столерова Е.М. Методы оптимизации. М.: Наука, 2004 г. - 310с.
- [5] Орналюк-Малицкая. Платежеспособность страховых организаций.- 125с..
- [6] Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. Опыт математического моделирования экономики. - М.: Энергоатомиздат, 2004 г. -545с.
- [7] Соболь И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. - М.: Наука, 2009 г. , - 110с.

УДК 302.26

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ ПРИРОДНЫМИ ЦЕОЛИТАМИ

М.К. Карибаева, Н.А. Нурбаева, Е.Ю. Ван, А.А. Касперская

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

Abstract. In today's world, and in the Republic of Kazakhstan for treating water containing heavy metal ions, different cleaning methods. Selection of treatment method with optimal flow sheet is

challenging due to the predominant variety in the water of impurities and related claims brought to the quality of water purification.

Keywords: Water metal method

Андратпа. Қазіргі уақытта әлемде және Қазақстан Республикасында құрамында ауыр металдар иондары бар суды тазалау үшін әртүрлі әдістер қолданылады. Суды тазалаудың тиімді технологиялық сұлбасынтаңдау курделі мәселе, оның себебі судың құрамында әртүрлі қоспалардың болуы және судың тазалығы талаптарға сәйкес болуы қажет.

Кілттік сөздер: Су, металл, әдіс

Аннотация. В настоящее время в мире и в Республике Казахстан для очистки воды, содержащей ионы тяжелых металлов, используются различные методы очистки. Выбор метода очистки с оптимальной технологической схемой достаточно сложная задача, обусловленная преимущественным многообразием находящихся в воде примесей и соответствующими требованиями, предъявленными к качеству очистки воды.

Ключевые слова: Вода, металл, метод

В настоящее время в мире и в Республике Казахстан для очистки воды, содержащей ионы металлов с повышенной минерализацией и жесткостью, используются следующие методы очистки:

химический – основан на добавлении в очищаемую воду различных химических реагентов, которые вступают в химические реакции с загрязнителями, образовавшиеся в результате соединения затем осаждаются в виде нерастворимых осадков;

мембранный фильтрация – в основе метода лежит разделение исходной воды на высокоминерализованную и пресную за счет пропуска через полупроницаемые мембранны под давлением выше осмотического (обратный осмос или баромембранный процесс) или за счет прямого осмоса (разности концентраций растворов);

ионообменный метод – основан на способности ионов металлов эффективно задерживаться соответствующими ионообменными смолами.

Выбор метода очистки с оптимальной технологической схемой достаточно сложная задача, обусловленная преимущественным многообразием находящихся в воде примесей и соответствующими требованиями, предъявленными к качеству очистки воды.

При необходимости ионообменные методы очистки воды используются для достижения очень низких концентраций загрязняющих веществ или полного обессоливания воды. Для выбора метода определения оптимальных условий очистки воды необходимо создание математических моделей, позволяющих априоре установить целесообразность выбранного метода очистки.

В лабораторных и укрупненных лабораторных масштабах проведены исследования по очистке природных вод от солей жесткости цеолитами Тайжузгенского месторождения, которые в силу особенностей своего строения и свойств обладают ионообменными свойствами.

Исследования по извлечению ионов Ca_2+ проводились на реальных водах Донского водозабора. Воды Донского водозабора характеризуются чрезвычайным высоким содержанием жесткости, более 15 ммоль/дм³.

Воды Донского водозабора при периодическом перемешивании обрабатывались цеолитами Тайжузгенского месторождения.. При проведении экспериментов в статическом режиме варьировали время контакта сорбента с раствором (1,3,6,24 часов) и Т:Ж. По окончании контакта цеолита с раствором отфильтровывали твердую часть, а в растворе определяли остаточное содержание ионов кальция титrimетрическим методом.

Полученные экспериментальные данные по очистке очищенной воды от ионов Ca_2+ были обработаны методами математического моделирования. На основании полученных экспериментальных результатов получено уравнение регрессии, связывающее скорость очистки и время контакта сорбента с водой.

Моделирование различных функциональных зависимостей показывает что, наилучшим образом процесс сорбции ионов Ca_2+ описывается степенной функцией и зависит от начальной концентрации, массы и времени контакта сорбента с раствором.

На рисунках 1 и 2 показаны зависимости скорости сорбции от времени контакта сорбента с водой для различных Т:Ж

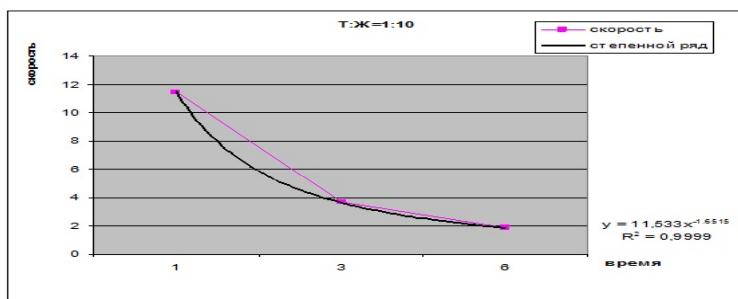


Рисунок 1 График зависимости скорости сорбции от времени контакта сорбента при Т:Ж=1:10

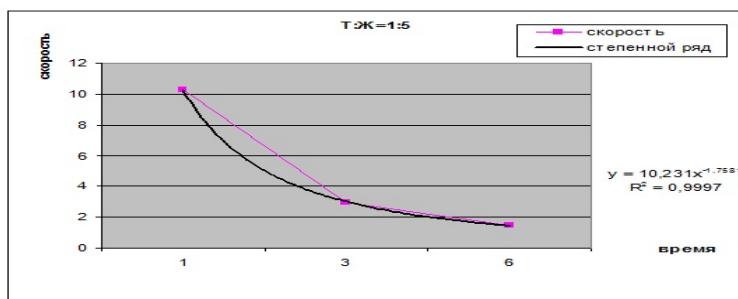


Рисунок 2 График зависимости скорости сорбции от времени контакта сорбента при Т:Ж=1:5

Из представленных данных видно, что скорость сорбции уменьшается с течением времени, то есть скорость сорбции зависит от концентрации ионов Ca_2+ в воде, увеличение расхода сорбента не приводит к увеличению скорости адсорбции, то есть при проведении очистки можно ограничиться меньшими расходами сорбента, что сделает данную очистку более экономичной.

Список литературы

- [1] К.Е. Плохотников. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. Методология и практика: ВШ, 2011.-280с.
- [2] Мэттьюз Д. Численные методы. Использование MATLAB : учебное издание / Д. Мэттьюз, К. Финк ; пер. с англ. Л.Ф. Козаченко ; под. ред. Ю.В. Козаченко. – М. : Изд. дом Вильямс, 2001. – 720 с.

УДК 622.671.1+621.54+621.65(075.8)

ENERGY SAVING TECHNOLOGIES FOR STABILIZING PRESSURE IN PNEUMATIC GEAR MINING MACHINERY

T. Kumykova, V. Kumykov

D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

Abstract. The article assesses the modes of consumption of compressed air by processing equipment with compressed air. It is proposed to introduce a hydro-pneumatic accumulator of compressed air into the underground mine of pneumatic energy complex. This will allow stabilize the pressure in the pneumatic shaft, thus improving the productivity of the pneumatic mining machines and reduce the cost of electricity for the production of compressed air.

Keywords: compressed air, pneumatic energy complex, hydro-pneumatic accumulator.

Аннотация. Мақалада қысылған ауаның пневможетегі бар технологиялық жабдықтың тұтыну режимдері бағаланып қарастырылады. Шахталық пневмоэнергокешенге қысылған ауаның гидропневматикалық аккумуляторын кірістіруі ұсынылады. Бұл шахталық пневможеліде сыйылған ауаның қысымын тұрақтандырады, пневможетегі бар тау-кен машиналардың өнімділігін жогарлатады және сыйылған ауаның өндірісіне жүмсалатын электрэнергияның құнын төмендетеді.

Кілттік сөздер: сыйылғын ауа, пневмоэнергокешен, гидропневматикалық аккумулятор.

Аннотация. В статье оценивается режим потребления сжатого воздуха технологическим оборудованием с пневмоприводом. Предлагается ввести гидропневматический аккумулятор сжатого воздуха в шахтный пневмоэнергокомплекс. Это позволит стабилизировать давление сжатого воздуха в шахтной пневмосети, повысить производительность горных машин с пневмоприводом и снизить стоимость электроэнергии для производства сжатого воздуха.

Ключевые слова: сжатый воздух, пневмоэнергокомплекс, гидропневмоаккумулятор.

Work of major processing equipment (drill rigs, loaders, etc.), by its nature is probabilistic, while the most natural mode of operation of compressor units is a continuous mode, due to the difficulties of starting and stopping power installations. These circumstances, in practice, lead to the continuous fluctuations of the basic parameters of compressed air (the flow and pressure) virtually in all elements of the pneumatic network. Thus, the elements of the pneumatic network, of which there is a direct intake of compressed air, are most likely to suffer from the energy point of view of the situation.

At the same time, the parameters of compressed air at the technological equipment have a direct impact on the performance of this equipment. Thus, with increasing air pressure for 0.1 MPa, drilling productivity increases at an average of more than 20 per cents, with simultaneous reduction in specific consumption of compressed air to more than 1,5 times. At the same time, reducing the pressure in the faces below the nominal, leads to a sharp deterioration in the performance of some pneumatic mechanisms.

The investigation of pneumatic energy complex of Tishinsky mine (Ridder, Kazakhstan) showed that the drop in air pressure at the technological equipment during the work shift is 0.2 MPa (Fig. 1) [1].

The use of hydro-pneumatic accumulators of compressed air (HPA) in the systems of pneumatic energy complex of mines allows upgrade their work to a fundamentally new regime. One of the positive effects of engaging the HPA pneumatic energy complex of a mine is that its presence allows enclosing into specific characteristics of the compressor station and pneumatic network into the specifications of HPA [2]. In first approximation, specifications of GPA is a horizontal line $P_{phpa} = \text{const}$. But this option is valid only during active operation of HPA.

Engaging HPA in the pneumatic energy complex of a coal mine lets control the work of compressors, regardless of the amount of intake of compressed air by coal mine pneumatic network at each moment. This makes it possible to accumulate surpluses of compressed air, available in the work of the compressor station in shift breaks, with its subsequent applications using them for the shortfall in compressed air during a working shift.

In addition, the presence of HPA in the pneumatic energy complex gives the possibility to manage the work of the pneumatic system, not only by regulating the performance of compressor stations, but also through the managing the regimes of accumulation of compressed air in the HPA and harmonizing in timing its work with the work of a compressor station.

To determine the parameters of compressed air, pressure and temperature sensors were used, which had been installed at the exit from the compressor station, the entrance to the mine's pneumatic network, in pneumatic camera of HPA and at points of mass air intake on the line from the compressor station to the HPA.

During the HPA work the following was controlled:

- level of water in hydro camera of hydro-pneumatic accumulator;
- air pressure in hydro camera of HPA;
- air pressure in the pneumatic network.

In the results of measurements of compressed air in pneumatic energy complex without HPA the following was established.

Pressure of compressed air in the mine at idle pneumatic receivers (rotary hammers, drills, etc.) varies between 0.5-0.7 MPa. Compressed air pressure in the working faces with pneumatic receivers working, varies between 0.35 and 0.5 MPa, and air pressure equal to 0.4-0.48 MPa is dominating. Duration of peak loads during the shift reaches 1.7-3.4 hours, and dominated by yielding a peak period of 2.1 hours per shift.

Compressed air pressure at the compressor station in the period of measurement fluctuates within 0.58-0.8 MPa. Predominant pressure is equal to 0.6-0.7 MPa. Fluctuation of compressed air pressure is equal to 0.22 MPa, predominant air pressure – 0.15 MPa. An average of 4 - 5 compressors were running. Fluctuation of compressed air pressure during a shift is 0.1-0.3 MPa.

Processing of the data obtained with a running HPA showed that a most rational mode of operation of the HPA allows use 3 compressors to during the work day. In this mode of operation of compressor station air pressure in the working faces was equal to 0.56-0.62 MPa, with a predominant pressure 0,6 MPa. Fluctuation of pressure of compressed air was 0.04 – 0.06 MPa, with a predominant pressure of 0.05 MPa (Fig. 2).

Thus, the results of the investigations suggest that the presence of hydro-pneumatic accumulator in the system of coal mine pneumatic energy complex leads the work of compressed air network to a fundamentally new mode, in which the characteristics of both, the compressor station and of the mine

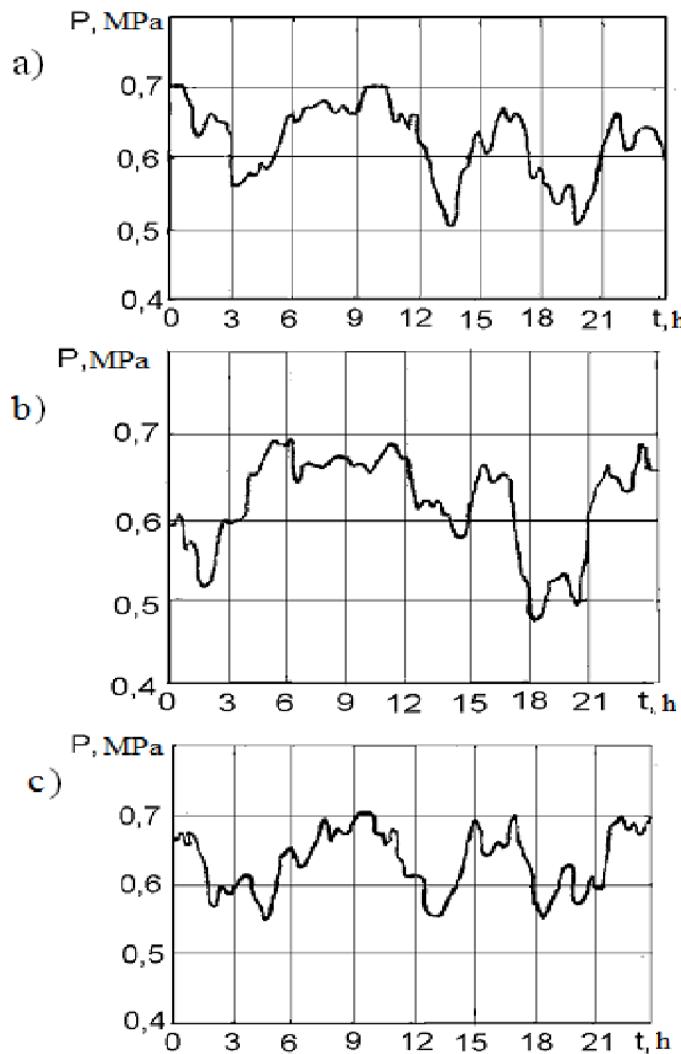


Figure 1 Compressed air pressure change in the 2-m main pipeline for x-1 (a), 2 (b) and 3 (c) of the days of observations

pneumatic network, each separately, depend on the characteristics of hydro-pneumatic accumulator [3].

Introducing HPA in the pneumatic system allows for the system of automatic regulation of pneumatic energy complex be carried out on qualitatively new principles: by controlling the accumulation mode of compressed air in the HPA, and harmonizing the work of the compressor station and HPA over time [4]. Work of hydro pneumatic accumulator in a mine pneumatic energy complex permits increase the pressure of compressed air in the working faces during a shift from 0.4 to 0.58 MPa.

The advantages of pneumatic systems with a HPA include:

- compressed air is supplied to the process equipment with constant and increased pressure, which increases its productivity;
- a drier compressed air is supplied to pneumatic receivers, which improves their work;
- constant pressure benefits the work of compressors and pneumatic receivers and increases their service life;

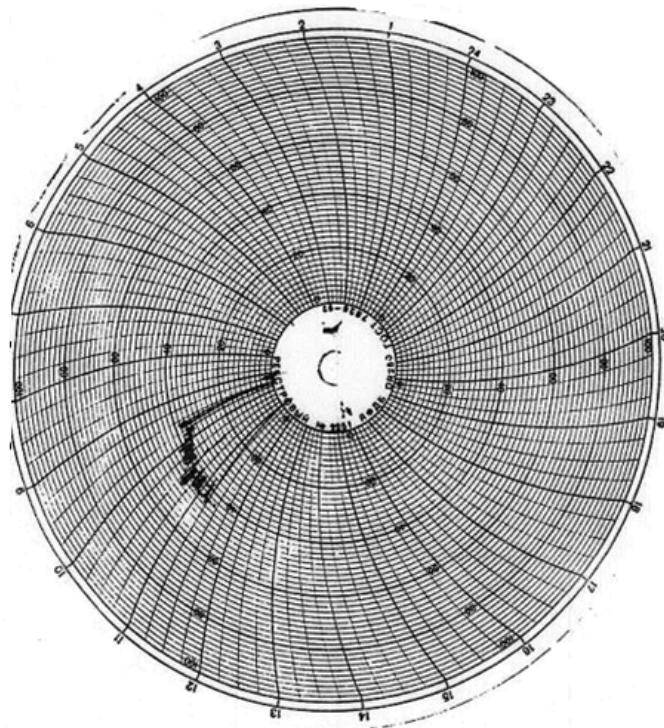


Figure 2 Diagram of the pressure of compressed air in mountain development in the "peak hours" without the influence of HPA

- compressor stations can be designed not to "peak" loadings, but taking into account the accumulation of air power in the HPA, which gives the possibility to significantly reduce energy consumption in the systems and, in some cases, reduce the number of operating compressors;
- in the case of a short break in work of compressors, pneumatic mining machines may be employed during some time receiving the compressed air from the accumulator.

The most rational way of balancing peak loads, as in a pneumatic system, the same as in the power system, is the use of underground storage of compressed air in mines, which provide stabilizing and increasing pressure of compressed air in the working faces, regardless of the number of pneumatic receivers at work.

Using hydro pneumatic accumulators of compressed air in the mines and quarries will provide significant savings of electricity while developing compressed air and will align the schedule of daily power consumption, allowing the processing equipment work during the hours of peak loads on compressed air of the pneumatic system, located in pneumatic camera of HPA.

List of references

- [1] Investigate the state of the coal mine pneumatic economy of Zyryanovsk, Ridder, Irtysh plants and give data on its reconstruction / / Inf. Map / VNIItsvetmet.-Ust-Kamenogorsk, 1995 . - 58 pp.
- [2] Lisowski G.D., Kumykova T.M. Methods of stabilizing work of shaft pneumatic network / / Science and Education - a leading factor of the strategy "Kazakhstan - 2030"/ IY Proceedings of the International Scientific Conference. - Karaganda: KarGTU, 2001. - P. 279-281.

- [3] Kumykova T.M., Kumykov V.Kh. Energy conservation in underground mines. Bdesheto problemite on svetovnata nauka. Material for a 4-and international scientific practical conference. (17-25 December) Volume 23 Technology: ByalGRAD-BG Ltd. - Sofia, 2008. - P.26-28
- [4] Kumykova T.M., Kumykov V.Kh. Hydro pneumatic accumulator of compressed air. A provisional patent of the Republic of Kazakhstan for the invention number 19314. Publ. 15.04.2008, book. № 4

УДК 510.5

THE RELATIONSHIP BETWEEN SIMILARITY AND EQUIVALENCE OF BILINEAR SEQUENTIAL MACHINES

G.H. Mammadova

Institute of Applied Mathematics, Baku State University, Azerbaijan, Baku

Abstract. In this paper the relationship between similarity and equivalence of minimal bilinear sequential machines are investigated.

Keywords: Galua field, bilinear sequential machine

Sequential machines over finite fields represent an important class of finite state systems. Now questions on analysis, synthesis, controllability, diagnosis of linear sequential machines and also linear discrete systems are sufficiently well-investigated. In this connection we note monographs [1]-[3].

An investigating subclass of such finite-state automation as well as bilinear sequential machines (BSM) considered in [4]-[5] and other papers.

Consider n -dimensional BSM \mathfrak{R} over the Galua field $GF(p)$, where p is a simple number for which the state and output equations have the following form

$$s(t+1) = As(t) + Bu(t) + \sum_{k=1}^l G_t s(t) u_k(t)$$

$$y(t) = Cs(t)$$

Here $s(t)$ is n - dimensional state vector, $u(t)$ is a l - dimensional input vector, $y(t)$ is n -dimensional output vector, $A = \|a_{ij}\|_{n \times n}$, $B = \|b_{ij}\|_{n \times l}$, $C = \|c_{ij}\|_{m \times n}$, $G_k = \|g_{ij}^k\|_{n \times n}$, ($k = \overline{1, l}$) are characterizing matrices.

The components of diagnostic vectors and matrices are elements of $GF(p)$. Let rank of diagnostic matrix

$$K = \|CA^{\alpha_0}G_1^{\alpha_1}G_2^{\alpha_2}...G_l^{\alpha_l}\|$$

of machine \mathfrak{R} be equal to r ($r \leq n$).

Further, r - dimensional BSM $\hat{\mathfrak{R}}$ which is a minimal form of BSM \mathfrak{R} , is defined by means of characterizing matrices

$$\hat{A} = TAR, \quad \hat{B} = TB, \quad \hat{C} = CR, \quad \hat{G}_k = TG_k R \quad (k = \overline{1, l}),$$

where T is a matrix formed by the first r -linear independent rows of diagnostic matrix K and R is right inverse to T matrix.

Definition 1. If BSM \mathfrak{R} is defined by matrices A, B, C, G_k ($k = \overline{1, l}$) and BSM $\bar{\mathfrak{R}}$ is defined by matrices

$$\bar{A} = PAP^{-1}, \quad \bar{B} = PB, \quad \bar{C} = CP^{-1}, \quad \bar{G}_k = PG_kP^{-1} \quad (k = \overline{1, l}),$$

where P is nonsingular matrix, then \mathfrak{R} and $\bar{\mathfrak{R}}$ are called similar BSM.

Definition 2. The state s_1 of BSM \mathfrak{R}_1 and the state s_2 of BSM \mathfrak{R}_2 are called equivalent if under

the influence of some input sequence BSM \mathfrak{R}_1 and \mathfrak{R}_2 , in the states s_1 and s_2 generate the same output

sequence.

Theorem 1. Let BSM \mathfrak{R} and BSM $\bar{\mathfrak{R}}$ be equivalent and every state s of BSM \mathfrak{R} is equivalent to state Ps of BSM $\bar{\mathfrak{R}}$, where P - nonsingular matrix. Then \mathfrak{R} and $\bar{\mathfrak{R}}$ are similar.

Theorem 2. If BSM \mathfrak{R} and $\bar{\mathfrak{R}}$ are minimal and equivalent, then every state s of BSM \mathfrak{R} is equivalent to the state Ps of BSM $\bar{\mathfrak{R}}$, where P -nonsingular matrix.

Corollary. The equivalent minimal BSM are similar.

List of references

- [1] ill A. Linear sequential machines. M. Nauka, 2974, 287 p (in Russian).
- [2] aradjev R.G.. Linear sequential machines. M. Sov. Radio, 1975, 288 p (in Russian).
- [3] egoitse K. Application of system theory to controlling problems. M.Mir, 1981, 171 p (in Russian).
- [4] amedova G.G. Controllability of n -dimensional homogeneous bilinear sequential machines. Proceedings of IMM Nat. Acad. Sci. Azerb., 2003, v.XVIII (XXVI) p.219-226.
- [5] amedova G.G. On reversibility of bilinear sequential machines. Transaction of NANA, 2004. v. XXIV, N3,p.241-244.

УДК 550.8.05

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ РАЗНООРИЕНТИРОВАННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ТРАНСТРОПНОМ МАССИВЕ

Ж.К. Масанов, Н.Т. Ажиханов, Т.А. Турымбетов, Н.М. Жунисов

КГУТИ имени Ш. Есенова

Abstract. Modeling of the anisotropic medium with doubly periodic system of slits in the form of equivalent stiffness of a homogeneous transversely isotropic solid body with the approximate elastic constants as a function of geometrical and physical rock parameters.

Studying of the elastic and creeping states of cavities in a substantial transtropic array to represent the main systems resolving equations of the finite element method with computational isoparametrical elements as well as with the algorithms and programs for numerical solutions.

Obtained many variant computational results about distributing regularity of initial and creeping states of diagonal cavities of shallow inception in array of rocks by its parameters of cracks.

Аннотация. Жұмыста жарықтары бар серпімді-жылжулық тау жыныстарын екі периодты саңылаулы анизотроптық массив түрінде қарастырылып, оның қаттылығы бойынша эквивалентті, келтірілген модулдері саңылаулардың геометриялық параметрлері мен тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттерімен өрнектелген, біртекті транстроптық денемен моделденген.

Салмақты массивте өзара жақын диагоналдық қазбалардың қүйін зерттеу үшін бастапқы серпімді және жылжулық есептердің теңдеулер жүйесі, оларды ШЭД-мен шешудің алгоритмі және бағдарламалық кешені құрылған.

Серпімділік және жылжулық есептерді жуықтай көпвариантты есептеулер жүргізілді. Диагоналдық қазбалардың маңындағы салмақты массивте кернеулер мен орынауыстырулар құраушыларының оның серпімді, жылжулық қасиеттеріне, саңылаулардың геометриясы, құлау бұрыштарын және де есептердің берілген геометриялық, физикалық параметрлеріне байланысты өзгерулері мен орналасу заңдылықтары анықталды.

Аннотация. В работе моделированы анизотропного массива с двоякопериодическими системами щелей в виде эквивалентного по жесткости однородного сплошного трансверсально-изотропного тела с приведенными упругими постоянными в виде функций от геометрических и физических параметров пород.

Для исследования упругого и ползучего состояния двух диагональных полостей в весомом транстропном массиве представление основных систем разрешающих уравнений метода конечных элементов с изопараметрическими расчетными элементами с разработанными алгоритмами и комплексом программ для численного их решения.

Исследованы и проведены многовариантные расчетные результаты о закономерностях распределенное начальных и ползучих напряжений диагональных полостей неглубокого заложения в массиве горных пород в зависимости от параметра щелей и других исходных данных.

Горизонтальные подземные полости в зависимости от направления их продольной оси относительно линии простирация наклонных слоев подразделяются на три группы: штреки-полости, пройденные вдоль линии простирация слоев, квершлаги-выработки, заложенные вкрест простирация слоев и диагональные полости-выработки, занимающие промежуточное положение между штреками и квершлагами.

Напряженное и деформированное состояние этих горизонтальных полостей кроме взаимного расположения, глубины заложения, формы поперечного сечения зависит также от упругих и ползучих свойств окружающего горного массива.

Исследование закономерности распределения упруго-ползучих напряжений и перемещений вблизи полостей произвольной глубины заложения и форм сечения в зависимости также от неоднородно-трещиноватого строения является не только теоретический интерес, но и непосредственное практическое значение.

Розноориентированные подземные полости неглубокого заложения в тяжелом транстропном массиве в зависимости от степени несплошности сцеплением мелких наклонных слоев под углом φ , когда продольные оси полостей составляют произвольный угол ψ с линией простирация плоскости изотропии, совпадающей с плоскостью щелей. Обозначим через H глубину заложения выработок с расстоянием между их центрами L .

Уравнение обобщенного закона Гука анизотропного массива с полостями при обобщенной плоской деформации относительно декартовой системой координат Охуу записывается в виде

$$\{\sigma\} = [\bar{D}] \{\varepsilon\}; \quad (1)$$

где $\{\sigma\} = (\sigma_x, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{xz}, \tau_{xy})^T$, $\{\varepsilon\} = (\varepsilon_x, \varepsilon_z, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}, \gamma_{xy})^T$, $[D^0] = [a_{ij}]$, ($i, j = 1, 2, \dots, 6$) коэффициенты деформации a_{ij} равны:

$$\begin{aligned} d_{11} &= a_{11} \cos^4 \psi + (2a_{12} + a_{66}) \sin^2 \psi \cos^2 \psi + a_{22} \sin^4 \psi, \\ d_{22} &= a_{33}, \\ d_{33} &= a_{44} \cos^2 \psi + a_{55} \sin^2 \psi, \quad d_{44} = a_{44} \sin^2 \psi + a_{55} \cos^2 \psi, \\ d_{55} &= (a_{11} + a_{22} - 2a_{12} - a_{66}) 4 \sin^2 \psi \cos^2 \psi + a_{66}, \\ d_{12} &= a_{13} \cos^2 \psi + a_{23} \sin^2 \psi, \\ d_{13} &= a_{25} \sin^3 \psi + (a_{15} - a_{46}) \sin \psi \cos^2 \psi, \\ d_{14} &= a_{15} \cos^3 \psi + a_{25} \cos \psi \sin^2 \psi, \\ d_{15} &= 2(a_{11} - a_{12}) \cos^3 \psi \sin \psi + 2(a_{12} - a_{22}) \sin^3 \psi \cos \psi - 0.5a_{66} \cos 2\psi \sin 2\psi, \\ d_{23} &= a_{35} \sin \psi, \quad d_{24} = a_{35} \cos \psi, \\ d_{25} &= 2(a_{13} - a_{23}) \cos \psi \sin \psi, \quad d_{34} = (a_{44} - a_{55}) \cos \psi \sin \psi, \\ d_{35} &= a_{46} \cos^3 \psi + (2a_{15} - 2a_{25} - a_{46}) \sin^2 \psi \cos \psi, \\ d_{45} &= a_{46} \sin^3 \psi + (2a_{15} - 2a_{25} - a_{46}) \cos^2 \psi \sin \psi. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{E_1} \cos^4 \varphi + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{G_2} - \frac{2\nu_1}{E_1} \right) \sin^2 2\varphi + \frac{1}{E_2} \sin^4 \varphi, \\ a_{22} &= \frac{1}{E_1}, \\ a_{33} &= \frac{1}{E_1} \sin^4 \varphi + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{G_2} - \frac{2\nu_1}{E_1} \right) \sin^2 2\varphi + \frac{1}{E_2} \cos^4 \varphi, \\ a_{44} &= \frac{2(1+\nu_1)}{E_1} \sin^2 \varphi + \frac{1}{G_2} \cos^2 \varphi, \\ a_{55} &= \frac{1}{G_2} + \left(\frac{1+2\nu_2}{E_1} + \frac{1}{E_2} - \frac{1}{G_2} \right) \sin^2 2\varphi, \\ a_{66} &= \frac{1+2\nu_1}{E_1} \cos^2 \varphi + \frac{1}{G_2} \sin^2 \varphi, \\ a_{12} &= -\frac{\nu_1}{E_1} \cos^2 \varphi - \frac{\nu_2}{E_1} \sin^2 \varphi, \\ a_{13} &= \frac{\nu_2}{E_1} + \frac{1}{4} \left(\frac{1+2\nu_2}{E_1} + \frac{1}{E_2} - \frac{1}{G_2} \right) \sin^2 2\varphi, \\ a_{15} &= \left(\frac{1+\nu_2}{E_1} \cos^2 \varphi - \left(\frac{1}{E_2} + \frac{\nu_2}{E_1} \right) \sin^2 \varphi - \frac{1}{2G_2} \cos 2\varphi \right) \sin 2\varphi, \\ a_{23} &= -\frac{\nu_1}{E_1} \sin^2 \varphi - \frac{\nu_2}{E_1} \cos^2 \varphi, \\ a_{25} &= -\frac{\nu_1-\nu_2}{E_1} \sin 2\varphi, \\ a_{35} &= \left(\frac{1+\nu_2}{E_1} \sin^2 \varphi - \left(\frac{1}{E_2} + \frac{\nu_2}{E_1} \right) \cos^2 \varphi + \frac{1}{2G_2} \cos 2\varphi \right) \sin 2\varphi, \\ a_{46} &= -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{G_2} - \frac{2(1+\nu_1)}{E_1} \right) \sin 2\varphi \end{aligned}$$

В этих формулах E_k^M, ν_k^M, G_2^M ($k = 1, 2$) - эффективные упругие постоянные транстронного массива, эквивалентного по жесткости анизотропному массиву с щелями, которые зависят от упругих постоянных последнего E_k, ν_k, G_2 ($k = 1, 2$) и геометрии щелей $a, \omega, i\omega$ [2-4].

С помощью теории ползучести горных пород Ж.С.Ержанова и методом конечных элементов в условиях обобщенной плоской деформации исследованы закономерности распределения пол-

зучих напряжений и перемещений в близи парных диагональных полостей в весомом ползучем транстронном массиве.

Временные процессы (при $t > 0$) вблизи подземных полостей обусловлены проявлением свойств ползучести окружающих горных пород. Для их исследования, привлекая основные принципы теории ползучести горных пород Ж.С.Ержанова, (2) приведенные упругие постоянные E_1^-, E_2^-, G_2^- и коэффициенты Пуассона ν_1^-, ν_2^- заменяются временными операторами $\tilde{E}_1^-, \tilde{E}_2^-, \tilde{G}_2^-, \tilde{\nu}_1^-, \tilde{\nu}_2^-$

$$\tilde{E}_n^{-*} = E_n^- (1 - E_n^*), (\tilde{E}_3^- = \tilde{G}_2^-), \nu_k = \nu_k^- (1 + \nu_k^*), (k = 1, 2; n = 1, 2, 3), \quad (3)$$

$$E_n^* f = \int_0^t M_n(t - \tau) f(\tau) d\tau, \nu_k^* f = \int_0^t L_k(t - \tau) f(\tau) d\tau;$$

$M_n(t - \tau), L_k(t - \tau)$ - ядро наследственности.

Как показали лабораторные исследования [5] ползучие параметры анизотропных горных пород незначительно изменяются в разных направлениях.

Поэтому в работе временные операторы $\tilde{E}_1^-, \tilde{E}_2^-, \tilde{G}_2^-, \tilde{\nu}_1^-, \tilde{\nu}_2^-$ задаются в виде

$$\tilde{E}_n^- = E_n^- [1 - \aleph_{-\alpha}^*(-\beta)], \tilde{\nu}_k^- = \nu_k^-, \tilde{E}_i^- / \tilde{E}_j^- = E_i^- / E_j^- = const, (n, i, j = 1, 2, 3; k = 1, 2).$$

Тогда ползучие параметры горных пород при абелевом ядре ползучести определяются формулами

$$E_{k,t}^- = E_k^- (1 + \Phi_t)^{-1}, \nu_{k,t}^- = 0.5 - (0.5 - \nu_k) (1 + \Phi_t)^{-1}, \Phi_{k,t} = \delta (1 - \alpha)^{-1} t^{1-\alpha};$$

α, δ – ползучие параметры горных пород, t – время.

При расчете напряженного состояния диагональных полостей в условиях изотропного проявления свойств ползучести транстронных горных пород использованы значения временных модулей для $t=120$ ч и $t=600$ ч, приведенные [2].

В тяжелом нетронутом массиве распределение основных напряжений представляется динниковым и с коэффициентами боковых давлений λ_x, λ_y , являющимися функциями упругих постоянных среды и углов φ, ψ .

В силу сложности строгого решения задачи о напряженном состоянии диагональных полостей в тяжелом массиве в условиях ползучести горных пород, в работе привлекается численные методы анализа МКЭ с изопараметрическими расчетными элементами при обобщенный плоской деформации.

Исследуемая расчетная область с полостями автоматически разбивается на изопараметрические элементы с помощью программы FEM_3D в объектное ориентированном среде Delphi. На каждый узел действует вертикальная сила от веса.

Все составляющие перемещения представляются в виде функции от координат x, z поперечного сечения полостей.

Основная система алгебраических уравнений порядка $3N$ относительно компонентов перемещений с N узлов, с помощью которых изучаемая область разбивается на элементы, решается итерационным методом Зейделя-Гаусса с коэффициентом верхней релаксации $\beta (1 \leq \beta \leq 2)$. Предварительно программный комплекс тестирован на решениях известных тестовых задач.

Проведены многовариантные расчеты по вычислению компонентов напряжений вблизи полостей сводчатого поперечного сечения при разных параметрах: глубинах заложения, углов φ, ψ и

степени сцепления слоев, которая определяется через периодов щелей $\omega, i\omega$.

Особенно удалено внимание на закономерности распределения вертикальных напряжений на перемычке – целике между полостями и на составляющих перемещении и пяти компонентов напряжений в точках контуров сближенных штреков ($\psi=0$).

В таблице 1 содержит значения давления σ_z и вертикального перемещения w в точках контуров полостей. Нумерация номеров точек контуров полостей показана на этом рисунке.

Таблица 1 Значения упруго-ползучих вертикальных перемещений и давления в точках породных контуров полостей в массиве с несплошным сцеплением слоев при $t=120$ ч. и $t=600$ ч. $\omega/a=6$.

Левая по-лость	$t=120$ ч.				$t=600$ ч.			
	$10^6 u$	$10^6 w$	$\sigma_x/\gamma H$	$\sigma_z/\gamma H$	$10^6 u$	$10^6 w$	$\sigma_x/\gamma H$	$\sigma_z/\gamma H$
w/a=6.0								
1	0,045	-0,610	0,001	0,000	0,071	-0,943	0,001	0,000
2	0,053	-0,588	0,001	0,001	0,082	-0,908	0,001	0,000
3	0,043	-0,514	0,000	0,001	0,067	-0,795	0,000	0,001
4	0,012	-0,420	0,000	0,001	0,018	-0,649	0,000	0,001
5	-0,013	-0,348	0,000	0,000	-0,020	-0,538	0,000	0,000
6	0,003	-0,251	0,001	0,001	0,005	-0,388	0,001	0,001
7	0,000	-0,113	0,001	0,000	0,001	-0,174	0,001	0,000
8	0,002	-0,248	0,001	0,001	0,002	-0,384	0,001	0,001
9	0,037	-0,348	0,000	0,000	0,058	-0,538	0,000	0,000
10	0,037	-0,409	-0,001	0,001	0,058	-0,632	-0,001	0,001
11	0,031	-0,499	0,000	0,001	0,048	-0,772	0,000	0,001
12	0,036	-0,575	0,001	0,000	0,055	-0,890	0,001	0,000
Правая по-лость	$t=120$ ч.				$t=600$ ч.			
w/a=6.0								
1	0,075	-0,591	0,002	0,000	0,116	-0,914	0,002	0,000
2	0,087	-0,582	0,002	0,001	0,134	-0,900	0,002	0,001
3	0,087	-0,526	0,000	0,001	0,134	-0,814	0,000	0,000
4	0,080	-0,443	0,000	0,000	0,124	-0,685	0,000	0,000
5	0,061	-0,373	0,000	0,000	0,094	-0,577	0,000	0,000
6	0,005	-0,267	0,000	0,000	0,007	-0,413	0,000	0,000
7	-0,008	-0,114	0,000	0,000	-0,013	-0,177	0,001	0,000
8	-0,003	-0,243	-0,001	0,001	-0,005	-0,375	0,000	0,001
9	-0,024	-0,336	0,000	-0,001	-0,036	-0,520	0,000	-0,001
10	-0,009	-0,396	-0,001	-0,001	-0,014	-0,613	-0,001	-0,001
11	0,023	-0,482	-0,001	-0,001	0,036	-0,746	-0,001	-0,001
12	0,052	-0,555	0,000	0,000	0,081	-0,858	0,000	0,000

Анализ расчетных данных показывает об увеличении вертикальных перемещений с уменьшением параметра ω/a . Зависимость вертикального давления от ω/a существенна, причем влияние угла наклона плоскостей щелей на величины давления и перемещения значительна; их распределение по контурам полостей несимметрично; на породных контурах полостей (см.табл.1) со сторонам висящих боков наблюдается увеличение перемещении, чем со стороны лежащих боков и

такая тенденция в значениях перемещений возрастает с уменьшением расстояния центров полостей.

Список литературы

- [1] Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Масанов Ж.К. Устойчивость горизонтальных выработок в наклонно-слоистом массиве. Алма-Ата, «Наука» КазССР, 1971.- 160 с.
- [2] Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Масанов Ж.К. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в анизотропном слоистом массиве. Алма-Ата, «Наука» КазССР, 1980.- 212 с.
- [3] Масанов Ж.К., Омаров А.Д., Махметова Н.М. Статическое и сейсмонапряженное состояние транспортных подземных сооружений в анизотропном геометрически нелинейном массиве. – Алматы: Бастау, 2002.-244 с.
- [4] Айталиев Ш.М., Масанов Ж.К. Расчет горного давления в разноориентированных горизонтальных выработках. // Горное давление в капитальных и подготовительных выработках. Новосибирск: 1973. – С.21-26.
- [5] Сарсембаев А.А., Синяев А.Я., Матвеева В.П., Кудашов Е.Ф. Об определении упругих и временных деформаций по слоистым образцам // В кн.: «Исследования по механике горных пород». Алма-Ата, «Наука».-1965.-С.45-50.

UDC 00.574

GEOLOGY AND EXPLORATION MODEL OF THE WORLD-CLASS BAKYRCHIK GOLD DEPOSIT, EAST KAZAKHSTAN

I. Mataibayeva, O. Frolova, A. Miroshnikova

D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university

Abstract. Geology of the Bakyrchik type of gold deposits in carbonaceous terrigenous rocks is described, including model of axial zoning of ore and primary geochemical halos. An exploration model for this deposit is also proposed.

Keywords: Geology, Bakyrchik deposit, exploration model, gold, Kazakhstan.

Аннотация. Кеңдіну мен бастапқа геохимиялық ореолдардың құрылу моделін қоса отырып, қара қабаттасты түзілімдерде орналасқан, Бақыршық типті алтын кеңді кенорындардың геологиясы сипатталған.

Кілттік сөздер: Геология, Бақыршық кенорны, түзілу моделі, алтын, Қазақстан.

Аннотация. Описана геология золоторудных месторождений Бакырчикского типа, расположенных в черносланцевых отложениях, включая модель формирования оруденения и первичных геохимических ореолов.

Ключевые слова: Геология, Бакырчикское месторождение, модель формирования, золото, Казахстан.

Introduction

The Bakyrchik geological and economic type of gold deposits is the most important category of ore closely related to mineralized carbonaceous terrigenous rocks. The reference world-class giant Bakyrchik deposit is located in the West Kalba metallogenic zone formed in the Late Paleozoic as a linear suture between the Kazakhstan and Altay-Mongolian paleocontinents.

Geology and metallogeny

The NW-trending West Kalba lithotectonic zone adjoins the Kalba-Naryn rare-metal belt in the northeast. The Shar-Gornostaevka ophiolitic suture plunging beneath the gold-bearing Kalba is its southwestern boundary (Fig. 1).

At the level of the upper mantle, a swell-like doming of the asthenosphere with the upper edge at a depth of 65 km as opposed to 130 km in the adjacent structural areas corresponds to the West Kalba zone. The epicenter of this doming fits the Miyaly Uplift – a complexly differentiated paleovolcanic arc clearly expressed in gravity field, seismic and electric sections (Lyubetsky, 2008). The contrasting increase in thickness of granulitic-basic layer and the reduction of granitic-metamorphic layer are typical. In regional gravity field data, the West Kalba is manifested as a zone of high gradients dividing positive and negative anomalies pertaining to neighboring metallogenic zones.

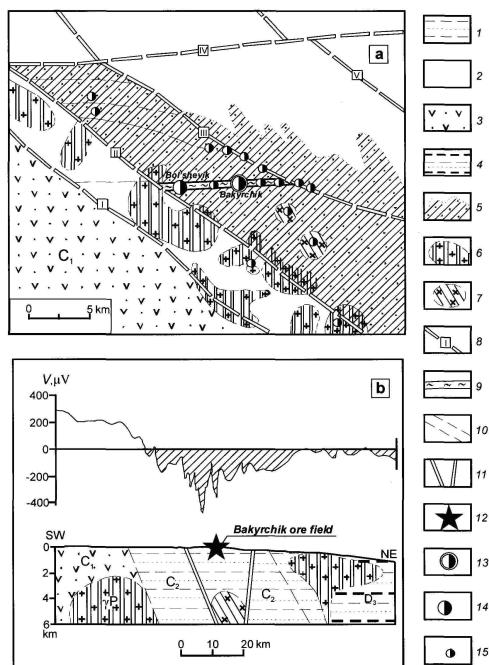


Figure 1 S. The Bakyrchik gold district in East Kazakhstan: (a) geological scheme and (b) curve of redox potential and geological section across the ore district, (after Narseev and Bortsov, 2001) (1)

Middle Carboniferous carbonaceous terrigenous complex; (2) Lower and Middle Carboniferous carbonaceous terrigenous complexes, unspecified; (3) Lower Carboniferous volcanic-terrigenous complex of the Shar (Charsk) Zone; (4) Upper Devonian black shale, siltstone, and sandstone of the Takyr Formation; (5) fields of carbonaceous terrigenous rocks with elevated magnetization (250-500-10 5 CGSM and higher); (6, 7) buried granitic plutons; (6) Permian Kalba Complex and (7) Late Carboniferous Kunush Complex; (5) master faults (numerals in boxes): I, Shar (Igorevka); II, West Kalba; III, Northwestern; IV, Miyaly; V, Seismic; (9) Kozlyovo Shear Zone; (10) other faults; (11) faults inferred from seismic data; (12-15) gold deposits and ore fields: (12) Bakyrchik ore field, (13) giant Bakyrchik deposit; (14) large Bolshevik deposit, (15) small Bakyrchik-type deposits.

The nearly latitudinal shear zones and faults that break the region into a series of stepwise blocks play

a special role in localization of the gold-sulfide deposits. These shear zones and faults are elements of the trans-regional Kazylovo-Serebryansk Lineament traced by V.N. Lyubetsky in geophysical fields from the Gorny Altay to the Shyngyz Range. The Bakyrchik ore district and the reference Bakyrchik deposit within it are related to the latitudinal Kazylovo Shear Zone.

The Kazylovo Shear Zone, gently dipping to the north, cuts the Carboniferous carbonaceous terrigenous.

The most important ore-controlling structural elements – thrust-fault sutures with angular bends of their surfaces, tectonic lenses, cataclastic zones, cleavage, mylonitization, boudinage, intraformational detachments, and diamictite units. According to Bortsov and Mizernaya, the Kazylovo Shear Zone is characterized by negative anomalies of natural polarization reaching -100 to -300 mV against the background values of 0 to -50 mV in barren sequences (data of SP geophysical exploration method). The zones of carbonic metasomatism and superimposed sulfidation in thermal fields of intrusions pertaining to the Kunush Complex are additionally noted by anomalies of induced polarization in intensity of 5-10% (Mizernaya, 2001).

The Bakyrchik deposit is hosted in carbonaceous terrigenous rocks (siltstone, sandstone, gravelstone, conglomerate) containing pyrite-pyrrhotite, ferrous carbonate (siderite, ankerite), and phosphate mineralization. Tectonic and gravity diamictites are typical. These coarse clastic, unsorted, and non-stratified complexes of rocks with sandstone, siltstone, and shale fragments cemented by coaly and clayey material are reservoir rocks and geochemical barriers controlling the formation and localization of gold mineralization (Narseev et al., 2001). Diagenetic alteration and early metamorphism correspond to the zeolite facies. The carbonaceous matter belongs to the kerite-anthraxolite-shungite-graphite-bitumoid series. Dispersed carbon, plant remnants, spore and pollen complexes are contained in the productive unit. The Bakyrchik deposit is characterized by chains of 2D-ordered carbonic matter, hexagonal graphite polycrystals, fine tabular crystalline aggregates of shungite, montmorillonite films, and colloform silica. Linear carbon polymer (carbene) occurs occasionally. A significant percentage of gold at the Bakyrchik deposit is concentrated in carbonaceous matter. Electron microscope examination shows that the finest grains of native gold are contained in shungite (Marchenko, 2007). In bitumoids of the alcohol-benzene fraction, gold is linked to carbonyl-carboxyl hydrocarbons. Other Au-bearing organometallic compounds are suggested. The quantity of gold contained in carbon-bearing compounds can attain 10-30% of its total amount in ore (Marchenko, 2007).

The relationships of carbonaceous terrigenous and volcanic rocks are of special interest. Andesitic and trachyandesitic subvolcanic intrusions, including interformational sills; lava flows and tuffaceous interlayers of the same composition; dacitic tuffs and tuffites; and silicic volcanic rocks are known in the Bakyrchik formation. These not easily identified rocks are distinct indicators of formation conditions of the host sequence and specific elements of the pre-ore stage. Intermediate volcanic rocks of elevated alkalinity: andesitic, trachyandesitic, and trachytic lavas, tuffs, tuffites, tuffstones, tuffaceous siltstones, and other pyroclastic rocks are predominant (Zenkova, 1975). Submarine volcanic eruptions are coeval with terrigenous sedimentation. Breccias consisting of fragments of volcanic rocks (50-70%) cemented by coaly and clayey material and transformed into quartz-sericite aggregate are typical. The fragments are enriched in acicular arsenopyrite. Tuffaceous siltstone and silty claystone also contain arsenopyrite grains. Pyrite commonly concentrates in chemogenic-terrigenous cherty-clayey, calcareous clayey, and clayey-calcareous-phosphate rocks. The rhythmic pulsatory mechanism of sedimentation and volcanic activity controlled the variable distribution of organic matter, carbonates, silica sulfides, and trace elements (Au, As, Fe, P, Ni, B, Cl, etc.) in rocks of the Bakyrchik Formation. The Middle Carboniferous

terrigenous rocks of this formation and volcanics incorporated therein can be correlated with the coeval carbonaceous terrigenous and volcanic rocks (sandstone, siltstone, volcanogenic sandstone, tuffaceous siltstone, and tuffaceous breccia) of the Karashakh Formation in Uzbekistan, which hosts the giant gold-sulfide orebody at the Kokpatas deposit. The intrusive rocks at the Bakyrchik deposit comprise minor stocks and dikes of the Late Carboniferous Qunush diorite-granodiorite-plagiogranite complex. The granitoid magma chamber occurs at a depth of 3.0-3.5 km, whereas dikes are localized above within the ore-bearing thrust-fault zone. The Au-PGE-bearing "carbonic fluidisite" inferred to be explosive in origin is notable (Marchenko, 2007).

A model of vertical axial zoning of ore and primary geochemical halos at the Bakyrchik deposit is as follows: V, Ni, Co, Cr – Sn, Zr, Cu, Mo, W – As, Au – Zn, Pb, Ag – Sr, Ba – Sb, Hg (Novozhilov and Gavrilov, 1999). The ordering of elements in pyrite and arsenopyrite (from deep to shallow): Sn, Bi, As – Cu, Ni, Co, Mo – Zn, Pb – Ag, Sb, Hg is consistent with this series. The Cu contents in pyrite and arsenopyrite are 0.8-1.0% at middle and deep levels and 0.1-0.3% in the near-surface zone (Fig. 2). Pyrite and arsenopyrite from the upper level are enriched in Sb (up to 1%) and Hg (up to a few ppm).

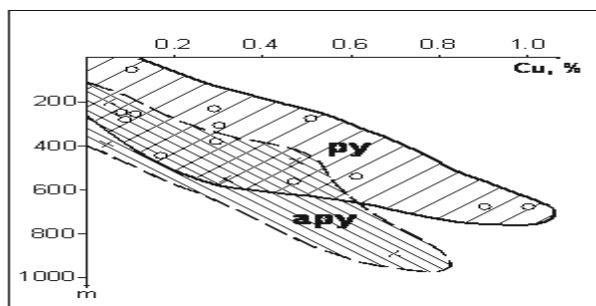


Figure 2 Cu content in pyrite (py) and arsenopyrite (apy) at depths of 0-1000m at the Bakyrchik deposit (after Rafailovich, 2011)

The ore from the Bakyrchik deposit is important as a source of PGM. The Pt and Os contents in sulfidized silty sandstones attain a few gpt (stripping voltammetry analysis). High PGM concentrations are characteristic of stringer-disseminated pyrite-arsenopyrite ore (gpt): 5.71 Pt, 2.8 Os, 3.2 Ir and 0.27 Pt. Platinum accumulates in gravity and flotation concentrates (first gpt). Further studies of reproducibility of PGM contents and the an in-depth study of their speciation are necessary (Rafailovich, 2008).

Summary

The significance of the Bakyrchik deposit as a type example of ore hosted in carbonaceous terrigenous sequences and as a model of a giant deposit with a long and complex evolution can scarcely be exaggerated. The reference chronological events in its history were (1) near-shore marine and deltaic sedimentation with formation of vast fields of the source carbonaceous terrigenous formation; (2) metamorphism, fold-and-nappe and ductile deformation, localization of shear zones and screens, rejuvenation and concentration of primary ore; (3) fluid and magmatic activity and metasomatism as a result of collision and accretion. The distinct multistage evolution, several mineralisation sources, stepwise concentration of gold, contrasting zoning, and location in a relatively restricted geological volume are the defining characteristics of the Bakyrchik deposit.

List of references

- [1] Lyubetsky VN (2008) Deep structure and geodynamics of the belt hosting super-large deposits. Geosciences of Kazakhstan, pp 22-33
- [2] Marchenko LG (2007) Model of noble metal deposits with mineralization finely dispersed in black shales. Geology and protection of subsoil 1:33-41.
- [3] Mizernaya MA (2001) Shungites of the West Kalba: formation localization and criteria of forecasting. PhD thesis Ust-Kamenogorsk, pp 30.
- [4] Narseev VA, Gostev YV, Zakharov AV (2001) Bakyrchik: geology, geochemistry and mineralization. Moscow CSRGEI, pp 174
- [5] Novozhilov YI, Gavrilov AM (1999) Gold-sulfide deposits hosted in carbonaceous terrigenous sequences. Moscow, p 175
- [6] Rafailovich MS (2008) PGE in subsurface of Kazakhstan: systematics of deposits, mineral species, and resources. Geology and protection of subsoil 4: 9-19 .
- [7] Rafailovich MS (2011) Large gold deposits in black shales: formation mechanisms and similarities. Luxe Media Group, Almaty, 272 pages
- [8] Zenkova VI (1975) Formation of rocks and ores at the Bakyrchik gold deposit. Geology, geochemistry, and mineralogy of the gold districts and deposits of Kazakhstan. Almaty, pp 104-113

УДК 536.7; 621.577

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОМПРЕССОРА ДЛЯ ТНУ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СОР

С.И. Миргородский

Восточно-Казахстанский Государственный Технический Университет им. Д. Серикбаева

Abstract. The paper presents an analysis of the efficiency of the heat pump system based on the calculation of the thermodynamic cycle for determining the direction of improving the design of an important component of HPS - compressor - in order to optimize and improve performance.

Keywords: compressor, heat pump installation

Аннотация. Бұл мақалада жылу сорғыш қондырғысын қолдану тиімділігі жайлы жазылған және ол термодинамикалық циклдер есебіне негізделіп ЖСҚ- компрессор күрылымын жетілдіру бағытын таңдау мен қатар жұмыс істеу барысын оғтайландырып тиімділігін арттыру болып табылады.

Кілттік сөздер: компрессор, жылу сорғыш қондырғы

Аннотация. В статье представлен анализ эффективности работы тепловой насосной установки на основе расчета термодинамического цикла для определения направления совершенствования конструкции важного компонента ТНУ – компрессора, - с целью оптимизации и повышения эффективности работы.

Ключевые слова: компрессор, тепловая насосная установка

Увеличение производства тепловой энергии приводит к большому выбросу различных загрязняющих веществ в атмосферу Земли, так как базируется на сжигании органического топлива: угля, природного газа и нефтепродуктов.

Одним из путей уменьшения выбросов – это замена традиционных способов теплоснабжения объектов жизнедеятельности человека системами, использующие низкопотенциальные тепловые ресурсы. В настоящее время широкое распространение получили тепловые насосы, работающие по циклу с изменением направления циркуляции хладоагента. Известный принцип работы теплового насоса основан на отборе из окружающей среды тепла с температурой 10С и выше. Принцип работы основан на обратимом тепловом цикле Карно и имеет фундаментальное значение в теории тепловых насосов. Процесс называется обратимым, если после завершения цикла рабочее тело можно вернуть в первоначальное положение без затрат какого бы то ни было вида энергии. Необратимость цикла определяется внутренними и внешними причинами. Источники внутренней необратимости: потери работы засчет внутреннего взаимодействия частиц теплового агента (включая силы трения при движении потока), трение в элементах машины, потери энергии при дросселировании, химические реакции, неравновесные фазовые превращения и тд. Внешняя необратимость процессов определяется потерями теплоты в окружающую среду.

Работа теплового насоса характеризуется коэффициентом теплового преобразования μ равным

$$\mu = \frac{Q_k}{L} = \frac{Q_i L}{L} = \dot{\varepsilon} + 1$$

здесь Q_k – теплопроизводительность конденсатора; Q_i – холодопроизводительность испарителя; L – работа компрессора; $\dot{\varepsilon}$ – холодильный коэффициент.

Коэффициент преобразования зависит от разности температур охлаждающей жидкости в испарителе и на выходе из конденсатора. Повышение ее от 20⁰ до 80⁰ приводит к снижению с μ 6,0 до 1,7 т.е. в 3,5 раза. Результаты расчётов по определению эффективности теплового преобразования μ (СОР действ) действительного цикла теплового насоса [1; 2] и анализ эффективности работы трёх типов компрессоров (поршневой, ротационный и спиральный) в составе ТНУ с учетом термодинамических свойств рабочих тел, а именно хладагентов R600 (бутан), R404a (неazeотропная смесь на базе ГФУ R143a/R125/R134a), R290 (пропан) методом анализа иерархии [3] показывают эффективность работы (диаграмма зависимости коэффициента преобразования (СОР действ) от типа компрессора изображена на рисунке 1):

а) эффективность компрессора в составе ТНУ на хладагенте R600 меняется от (СОР действ) = 5,12 (компрессор поршневого типа) до (СОР действ) = 5,556 (компрессор спирального типа), что составляет 8,5%. б) эффективность компрессора в составе ТНУ на хладагенте R404a меняется от (СОР действ) = 5,398 (компрессор поршневого типа) до (СОР действ) = 5,731 (компрессор спирального типа), что составляет 6,2%. в) эффективность компрессора в составе ТНУ на хладагенте R290 меняется от (СОР действ) = 5,373 (компрессор поршневого типа) до (СОР действ) = 5,715 (компрессор спирального типа), что составляет 6,3%. На основании приведенных результатов можно заключить, что на одном и том же хладагенте наибольшую эффективность имеет спиральный компрессор. Для поршневого и ротационного компрессора использование хладагентов с небольшим удельным объемом перегретого пара (R404a и R290) не даёт определенного преимущества одного типа компрессора над другим, максимальное изменение эффективности составляет 1,5%.

Поршневые, винтовые и спиральные компрессоры применяются для перекачки или сжатия двухфазных веществ, в жидком или газообразном состоянии и используются в тепловых насосах,

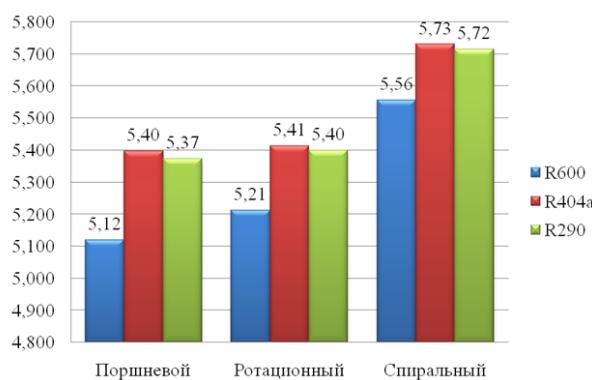


Рисунок 1 Диаграмма зависимости коэффициента преобразования СОР дейст от типа компрессора

холодильных камерах, паровых машинах. В данной статье мы сравним основные параметры поршневого, винтового и спирального компрессора.

Винтовой компрессор появился позже поршневого компрессора, так как требования к точности изготавляемых деталей были очень высоки, и не было оборудования, на котором можно было обеспечить заданную точность. Отличительными особенностями винтового компрессора являются: низкий уровень шума при работе; возможность беспрерывной работы; возможность регулирования производительности; длительный срок службы; низкая температура получаемого сжатого воздуха; КПД винтовых компрессоров, как правило, выше, чем у поршневых; простота монтажных работ.

Это основные преимущества, за счет которых винтовой компрессор значительно предпочтительнее поршневых компрессоров. Однако есть ситуации, где использование винтовых компрессоров не совсем оправдано. Например, когда компрессор в процессе работы должен часто включаться и выключаться. Как мы знаем, такой режим работы губителен для винтовых компрессоров. В то время как для поршневого компрессора это нормальный режим, при котором срок его эксплуатации значительно возрастает. Это связано с тем, что поршневой компрессор должен работать в режиме 50/50. Другими словами после определенного промежутка рабочего времени ему необходимо дать отдохнуть (охладиться). Также, предпочтительнее использовать поршневой компрессор в тяжелых промышленных условиях: сильная запыленность, относительно высокая влажность, неблагоприятный температурный режим. В продолжение сравнения поршневого и винтового компрессоров, сразу хочется отметить, что поршневые компрессоры применяются для сжатия технических газов. И всегда нужно помнить, что поршневой компрессор, это компрессор высокого давления, и ни один тип компрессоров пока не может дать потребителю те значения давлений, которые дают нам поршневые компрессоры.

В настоящее время широкое применение получили спиральные компрессоры. В случае применения в системах кондиционирования газообразных веществ, где, как известно, отношения давлений низкие, спиральный компрессор может продемонстрировать свои преимущества: отсутствие потерь в клапанах; высокий КПД при небольшой тепловой и механической нагрузке из-за низкого трения, что связано с низкой относительной скоростью; малые внутренние перетечки (благодаря относительно небольшой разности давлений). В том же компрессоре при более высокой степени сжатия величина работы сжатия увеличивается в конце этого процесса из-за обратного расширения в направлении, противоположном направлению вращения. Это повышает тепловую нагрузку

и увеличивает внутренние перетечки, что определяет снижение КПД. Равномерность сжатия в спиральном компрессоре для нормального охлаждения значительно меньше, чем в компрессоре, работающем в системах кондиционирования газов, что может привести к повышенным пульсациям газа. В этом состоит принципиальный недостаток спиральных компрессоров по сравнению с поршневыми, который усугубляется с ростом степени сжатия.

Изменение давления в поршневых компрессорах происходит при возвратно-поступательном движении поршня в цилиндрической камере сжатия. Индикаторные диаграммы холодильного поршневого компрессора при работе в режимах охлаждения и замораживания представлены на рисунке 2.

Отчетливо видно, что при более высокой степени сжатия коэффициент подачи падает, причем главным образом из-за увеличения влияния процесса обратного расширения. При обратном расширении работа передается на коленчатый вал, происходит охлаждение газа и изоэнтропический КПД поршневого компрессора уменьшается, но не так сильно, как коэффициент подачи. Это свойство характерно только для поршневых компрессоров.

На практике описанные особенности работы поршневых компрессоров приводят к тому, что объемная производительность при глубоком охлаждении заметно падает, что влияет на выбор рабочего объема. Тот же эффект может наблюдаться в случаях привода поршневого компрессора от двигателя с изменяемой частотой вращения. При увеличении частоты вращения степень сжатия повышается, а коэффициент подачи уменьшается (рисунок 2).

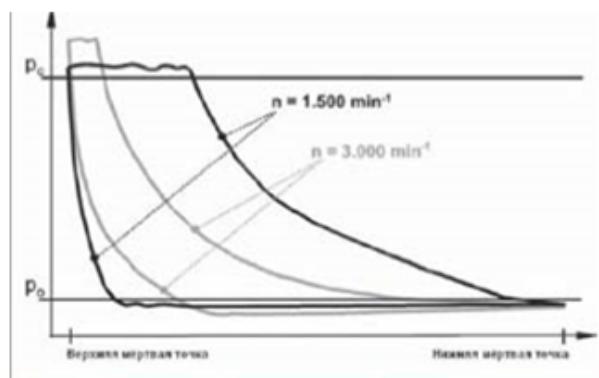


Рисунок 2 Изменение рабочего процесса (поршневой компрессор) при изменении частоты вращения

В случае применения в системах кондиционирования воздуха, где, как известно, отношения давлений низкие, спиральный холодильный компрессор может продемонстрировать свои преимущества: отсутствие потерь в клапанах; высокий КПД при небольшой тепловой и механической нагрузке из-за низкого трения, что связано с низкой относительной скоростью; малые внутренние перетечки (благодаря относительно небольшой разности давлений). В том же компрессоре при более высокой степени сжатия величина работы сжатия увеличивается в конце этого процесса из-за обратного расширения в направлении, противоположном направлению вращения. Это повышает тепловую нагрузку и увеличивает внутренние перетечки, что определяет снижение КПД. Равномерность сжатия в спиральном компрессоре для нормального охлаждения значительно меньше, чем в компрессоре, работающем в системах кондиционирования воздуха, что может привести к повышенным пульсациям газа. В этом состоит принципиальный недостаток спиральных компрессоров по сравнению с поршневыми, который усугубляется с ростом степени сжатия.

Сравнивая поршневые и спиральные компрессоры, можно отметить, что коэффициент подачи спиральных компрессоров выше, чем у поршневых, при любой степени сжатия. Несмотря на это, изоэнтропический КПД двух разных по эффективности спиральных компрессоров в любом случае ниже изоэнтропического КПД поршневых холодильных компрессоров при степени сжатия, превышающей степень сжатия компрессоров, применяемых в кондиционировании воздуха.

Винтовой компрессор по различным причинам иногда предпочтительнее для применения в технике, чем спиральный. Правда, речь идет о винтовых компрессорах, традиционно охлаждаемых маслом. Кроме того, в винтовых компрессорах большой объемной производительности можно "искусственно подпитать" процесс сжатия посредством экономайзерного режима [6, 7].

В спиральных компрессорах реализовать это гораздо труднее, так как в них сечения каналов недостаточны для подвода газа. Возможность установки порта экономайзера ограничена толщиной стенок спиралей. Кроме того, затраты на подключение экономайзера к спиральным компрессорам относительно более высоки.

Поэтому в спиральных компрессорах часто используют неэкономичный впрыск жидкости, который в действительности лишь предотвращает тепловую перегрузку компрессора, не влияя на увеличение давления.

Винтовые и спиральные компрессоры рекомендуется применять при малых степенях сжатия (среднетемпературное охлаждение и кондиционирование воздуха), где они могут быть особенно эффективны. Но в отличие от спиральных винтовые компрессоры с масляным охлаждением и экономайзером при больших рабочих объемах являются наиболее интересным и перспективным решением для использования в ТНУ.

Учитывая все основные достоинства и недостатки рассмотренных типов компрессоров, компания BITZER создала новую серию поршневых полугерметичных компрессоров Octagon, в которой с целью их усовершенствования подвергся модификации ряд существенных параметров, среди которых: плавность хода и шумовые характеристики, КПД, регулируемость производительности, габаритные размеры и масса, стоимость. Шумовые характеристики поршневых полугерметичных компрессоров серии Octagon с демпфером пульсаций в головке блока цилиндров. Несмотря на исключительную плавность хода, обусловленную конструкционными особенностями компрессоров этой серии, в отдельных случаях возникали значительные резонансные пульсации в нагнетательных трубопроводах. Как правило, такие пульсации сокращаются до приемлемой величины путем установки глушителей (демпферов) на трубопроводе. Недостаток такого технического решения состоит в том, что на участке нагнетательного трубопровода между демпфером и компрессором всегда присутствуют значительные пульсации. Полностью избежать негативного воздействия пульсаций давления в системе удалось благодаря новой головке блока цилиндров, где с помощью резонансного канала пульсации гасятся в месте их возникновения [8,9].

Список литературы

- [1] Морозюк Т.В., Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. - Одесса: Студия «Негоциант», 2006. - 712 с. (с приложением);
- [2] CoolPack ver. 1.4. A Collection of Simulation Tools for Refrigeration. Department of Energy Engineering. Technical University of Denmark;

- [3] Математическая статистика: Учеб. для вузов / В.Б. Горянинов, И.В. Павлов, Г.М. Цветкова и др.; Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. -424 с. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XVII);
- [4] Курлапов Л.И., Дьяченко Е.А. Характеристики состава кластерного газа.- Алматы, 2001. – 13 с. – Деп. в КазгосИНТИ, 21.03.2001, № 8871 - Ка01;
- [5] Курлапов Л.И. Кластерная модель газа// ЖТФ. - 2003. - Т. 73, вып. 2. - С. 51 - 55.
- [6] <http://www.grif-r.ru/vintovoj-kompressor-sravnenie>
- [7] <http://www.technogrup.com/>
- [8] <http://www.compressor-torg.ru/statya/sravnenie.html>
- [9] <http://www.pnevmostech.ru/>

UDC 00.574

GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF THE GIANT BAKYRCHIK GOLD DEPOSIT, EAST KAZAKHSTAN

A. Miroshnikova, M. Rafailovich, O. Frolova, I. Mataibayeva

D. Serikbayev East Kazakhstan state technical university, YugGeo, Almaty, Kazakhstan

Abstract. Presented here are complex metasomatic, mineralogical, and geochemical characteristics of the giant Bakyrchik gold deposit (East Kazakhstan) hosted in carbonaceous terrigenous rocks. Possibilities for an increase in gold resources of the Bakyrchik ore district are also discussed.

Keywords: Bakyrchik deposit, metasomatic zoning, geochemical specialization.

Аннотация. Мақалада қара тақтатас қаттарында орналасқан Бақыршық (Шығыс Қазақстан) алтын көнді кенорнының метасоматикалық, минералологиялық және геохимиялық минездемелері сипатталған. Бақыршық алтынды кенорнының болашағы қазіргі уақытта толығымен бағаланбаған.

Кілттік сөздер: Бақыршық кенорны, метасоматикалық белдемдік, геохимиялық специализациясы

Аннотация. В статье описаны метасоматические, минералогические и геохимические характеристики золотого месторождения Бакырчик (Восточный Казахстан) расположенного в черносланцевой толще. Перспективность золотого месторождения Бакырчик до настоящего времени полностью не оценена.

Ключевые слова: Месторождение Бакырчик, метасоматическая зональность, геохимическая специализация

Introduction

The Bakyrchik deposit is hosted in carbonaceous terrigenous rocks (siltstone, sandstone, gravelstone, conglomerate) containing pyrite-pyrrhotite, ferrous carbonate (siderite, ankerite), and phosphate

mineralization. The Bakyrchik gold deposit is potentially economic and a type example of ore closely related to mineralized carbonaceous terrigenous rocks (Marchenko, 2007).

Geochemical and mineralogical characteristics

Systematic metasomatic, mineralogical, and geochemical zoning at different scales is the basis for the prospecting model and ore estimation of the Bakyrchik deposit. Carbonaceous sericite rocks, kaolinite-hydromica, quartz-sericite, sericite-phlogopite-carbonate, chlorite-albite, and other metasomatic rocks occur at the deposit (Marchenko, 2007; Rafailovich, 2009). Carbonaceous sericite rock is the leading type of hydrothermal alteration. The total carbon content varies from 0.3 to 26.5% in the host terrigenous rocks and 2.5-6.0% in ore zones. Carbon occurs as carbonates (oxidized species) and as kerite, anthraxolite, shungite, graphite, and bitumoids (reduced species).

Metasomatic carbonate bodies consisting of dolomite, ankerite, and breunnerite are often sulfidized. Kerite-anthinoxolite-shungite, graphite, and bitumoids occur throughout the ore-bearing sequence. Chlo-roformic bitumoid dominates in the orebodies, and alcohol-benzene bitumoid is prevalent in geochemical haloes.

The metasomatic zoning of the Bakyrchik deposit is as follows. The carbonaceous-kaolinite-hydro-mica metasomatic rocks occur at the upper levels; carbonaceous sericite rocks occur throughout with a maximum in the middle zone; sericite-phlogopite- carbonate assemblage with apatite and tourmaline occupies the lower levels. Breunnerite, ankerite, dolomite, quartz, native gold, chalcopyrite, and scheelite also occur at the deeper levels. Albite and albite-chlorite alteration (10-20%) is developed in the upper ore and supraore zones, spreading along fracture zones for many hundreds of meters. Thin chlorite-albite veinlets combined with supraore haloes of carbonaceous matter act as indicators of hidden ore mineralization (Fig.1).

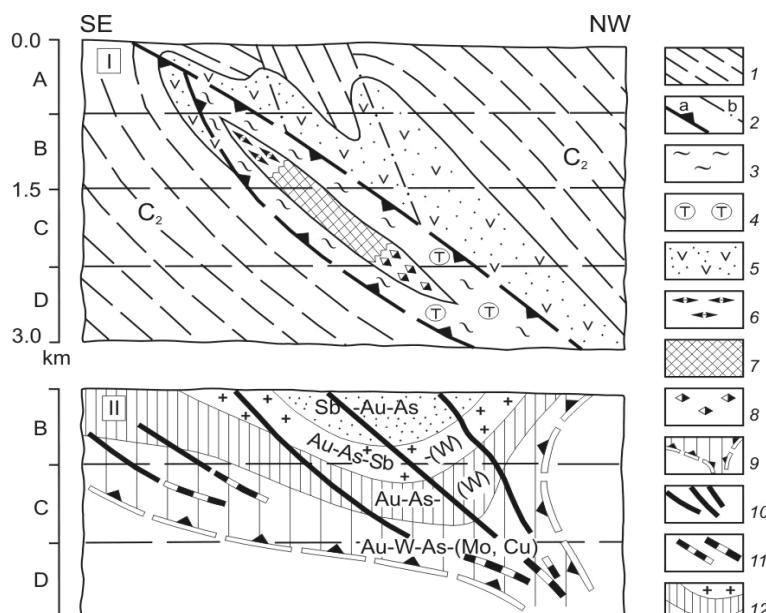


Figure 1 Model of metasomatic (I) and geochemical (II) zoning of the Bakyrchik deposit (after M. Rafailovich, 2011) 1-carbon-terrigenous rock; 2-faults and fractures: a-thrust faults, b-fault fissures; 3-sericitization; 4-tourmalinization; 5-clinochlore-albite alteration; 6-8-hydrothermal alterations in-line of main metalliferous deposits: 6-carbon-kaolinite-hydromica, 7-carbon-sericite, 8-sericite-phlogopite-carbonaceous; 9-contour of ore zone in longitudinal section; 10-11 - axial line of metalliferous deposits: 10 - confirmed, 11- proposed; 12-geochemical zone; A-D-reference zones

Five ore mineral assemblages are distinguished: (1) early melnikovite-pyrite-pyrrhotite-marcasite

with nickeline and pentlandite; (2-4) productive (2) gold-pyrite-arsenopyrite with cubanite and gersdorffite, (3) gold-quartz-polymetallic with fahlore, chalcopyrite, galena, and sphalerite; (4) gold-quartz-carbonate-scheelite-chalcopyrite with breunnerite, dolomite, aikinite, and free gold; and (5) late quartz-carbonate-stibnite-tetrahedrite with marcasite and fine redeposited gold.

The gold-pyrite-arsenopyrite assemblage appears ubiquitous; melnikovite-pyrite-pyrrhotite-marcasite and gold-quartz-carbonate-scheelite-chalcopyrite assemblages are noted at great depth; gold-quartz-polymetallic and quartz-carbonate-stibnite-tetrahedrite assemblages occur at the middle and upper levels.

The leading role (>90%) in the total gold budget belongs to the stringer-disseminated gold-pyrite-arsenopyrite assemblage (1.5-22.0% pyrite and 3-15% arsenopyrite). At the upper levels pyrite prevails over arsenopyrite (3.5 : 1); at the middle and lower levels pyrite is of subordinate abundance (1 : 3) (Fig. 2). Fe disulfide forms aggregates, globules, cubic, pentagonal dodecahedral, and cubic octahedral crystals. In the middle zone crystals of complex habits 210, 210 + 100, and 100 + 111 are predominant, whereas crystals of cubic habit dominate in the upper and lower zones.

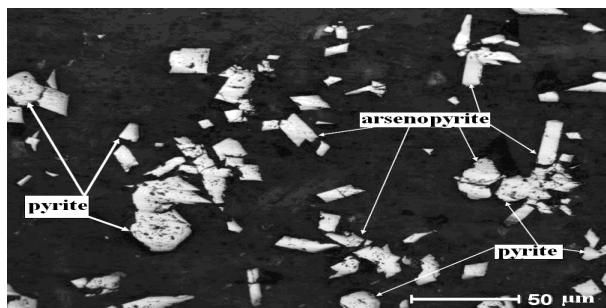


Figure 2 Pyrite-arsenopyrite mineralization.

Pyrite contains inclusions of native gold, arsenopyrite, chalcopyrite, galena, and tennantite-tetrahedrite. Acicular, prismatic, and columnar crystals are characteristic of arsenopyrite. Pyrite and arsenopyrite contain Au (tens and rarely hundreds ppm in pyrite and hundreds ppm in arsenopyrite as per ICP-MS analyses). Native gold occurs as films, droplike grains, spherules, amoeba-like and lumpy grains, dendrites and veinlets (Fig. 3). Microscopic and submicroscopic (< 10 um) dusty and amoeba-like gold inclusions in pyrite and arsenopyrite are predominant.

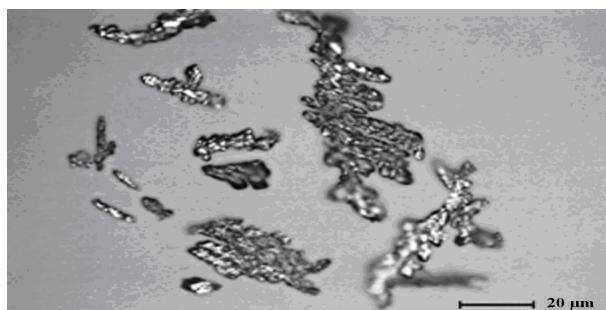


Figure 3 Native gold has the form of dendrites.

Pyrite contains inclusions of native gold, arsenopyrite, chalcopyrite, galena, and tennantite-tetrahedrite. Acicular, prismatic, Gold in microfractures of sulfides in association with tennantite-tetrahedrite, sphalerite, galena, chalcopyrite, quartz, and carbonate, as well as gold in quartz-sericite-carbonate rocks rimming pyrite and arsenopyrite grains, are of subordinate abundance. Free lumpy gold grains

in quartz-polymetallic and quartz-carbonate-scheelite-chalcopyrite assemblages are sporadic, as well as minute redeposited gold associated with late quartz, stibnite, and tetrahedrite. The fineness of minute gold in sulfides at the upper level is 760‰, whereas free gold at the middle and lower levels exhibit a fineness of 960‰.

The mineral distribution is characterised by telescoping and redeposition features. The zonal series of epigenetic Fe-As sulfides and other minerals have been established within a depth interval from 1200-1500 m to the surface and are as follows: pyrrhotite, arsenopyrite, pyrite – pyrite, arsenopyrite – pyrite, nickeline, gersdorffite – chalcopyrite, scheelite, aikinite, molybdenite – chalcopyrite, sphalerite – tennantite, galena – stibnite, tetrahedrite, and native antimony.

The Bakyrchik deposit is highly enriched in Au, As, Sb, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, W, Sn, Bi, Co, Ni, V, P, PGE, etc. The widespread elemental association and mineral assemblages (in parentheses) are: upper ore and supraore Au-Sb-As (quartz-carbonate-stibnite-tetrahedrite), middle ore Cu-Pb-Zn (chalcopyrite-sphalerite-galena-tennantite-tetrahedrite), middle and lower ore As-Ni-Co (combined pyrite-pyrrhotite-marcasite and pyrite-arsenopyrite) with ubiquitous Au-As (Au-pyrite-arsenopyrite) throughout. The Au content in geochemical haloes is 0.01-1.0 gpt and a few gpt to 20-25 gpt in orebodies (average of the deposit is 9.4 gpt). The As contents are 0.005-0.6 and 0.7-1.4%, respectively. Uniform direct correlations are characteristic of the following element pairs: Au-As, As-Sb, Cu-As, Cu-W, Cu-Co, and Co-Ni.

The orebodies in the Bakyrchik ore field are bundle-like with 3D concentric zoning. According to the geochemical data, the following zones are distinguished in the vertical plane: upper Sb-Au-As, first intermediate Au-As-Sb (with W), second intermediate Au-As (with W), and the lower Au-W-As-Cu-Mo in the lower root zone (Rafailovich, 2009). Two kinds of geochemical zonal patterns are distinguished: centrifugal vertical (vector is oriented updip of the ore bunch) and centripetal horizontal (from flanks to center). The Main orebody in the axial part of the cluster is characterized by maximum geochemical heterogeneity and strongest contrasts in zoning. In contrast, the small flanking orebodies (e.g., Intermediate, Glubokii Log) are simpler in elemental composition and have lesser zoning.

Summary

A cutoff grade of 3.0 gpt Au, which has existed for many years, is today probably overestimated, especially in the light of impressive progress in processing of low-grade ores. The transition to a cutoff of 1.0-1.5 gpt, like at the Muruntau, Sukhoi Log, Kumtor and other giant deposits, will double gold resources and thus increase capitalization of the mine. Such a transition will allow transformation of the Kzylovo Zone into a single giant orebody no less than 4-5 km in extent and with a vertical range of ore mineralization reaching 2.5-3.0 km depth (Narseev et al. 2001). The enormous mass of ore and its complex composition (Au, shungite, probably PGM) reinforce the attractiveness of the Bakyrchik-type mineralization.

List of references

- [1] Marchenko LG (2007) Model of noble metal deposits with mineralization finely dispersed in black shales. Geology and protection of subsoil 1:33-41.
- [2] Narseev VA, Gostev YV, Zakharov AV (2001) Bakyrchik: geology, geochemistry and mineralization. Moscow CSRGEI. pp.174 .

- [3] Rafailovich MS (2009) The giant Bakyrchik gold deposit: geology, and perspectives for development. Mining journal of Kazakhstan 4:2-7.
- [4] Rafailovich MS (2011) Large gold deposits in black shales: formation mechanisms and similarities. Luxe Media Group, Almaty, 272 pp

УДК 519.61

ОДИН МЕТОД РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М. Отелбаев, Б. Тулеуов, Д. Жусупова

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева

Abstract. A new method of finding approximate solutions to linear algebraic systems with ill-conditioned or singular matrices, using Schmidt orthogonalization, is presented. This method can be useful for arranging parallel computations for matrices of large size.

Keywords: ill conditioned matrices, eigenvalues, approximate solutions, parallel computation, Schmidt orthogonalization

Аннотация. Матрицасы нашар шартталған, немесе сингуляр алгебралық жүйелердің жуық шешімдерін табудың жаңа әдісі келтірілген. Бұл әдісте Шмидт ортоналдауы қолданылады. Әдіс үкен матрицалы жүйелерді параллелдеу үшін қолданылуы мүмкін.

Кілттік сөздер: нашар шартталған матрица, меншікті мәндер, жуық шешімдер, параллель есептеу, Шмидт ортоналдауы

Аннотация. Представлен новый метод нахождения приближенных решений алгебраических систем с плохо обусловленными или особыми матрицами, с использованием ортогонализации Шмидта. Этот метод можно использовать для организации параллельных вычислений с большими матрицами.

Ключевые слова: плохо обусловленные матрицы, собственные значения, приближенные решения, параллельные вычисления, ортогонализация Шмидта

Задача распараллеливания приобретает все большую популярность в связи с потребностью решать системы линейных и нелинейных алгебраических уравнений с большим числом неизвестных. Последнее время этим задачам посвящается огромное количество работ.

В этом докладе мы излагаем метод решения и распараллеливания одного класса нелинейных алгебраических уравнений.

Оказывается, что процесс решения алгебраических систем уравнений (линейных или нелинейных) вариационным методом хорошо распараллеливается, а именно, используя n одинаковых компьютеров (процессоров) можно сократить время вычислений почти в n раз!

Пусть дана система линейных алгебраических уравнений

$$Ax = f \quad (1)$$

Рассмотрим это уравнение в конечномерном пространстве H , размерность которого равна N . Допустим, что матрица A и вектор f вычислены приближенно, т.е.

$$A = A_0 + \varepsilon B, f = f_0 + \varepsilon g, \quad (2)$$

где A_0 и f_0 - предполагаемые точные значения A и f , а $\|B\| \leq 1$, $|g| \leq 1$ и ε - малое число ответственное за точность.

Для A и A_0 верны полярные представления

$$A = US, A_0 = \mathring{U} \mathring{S}. \quad (3)$$

Здесь U и U_0 унитарные, а S и S_0 - самосопряженные матрицы, причем

$$S = (A^* A)^{\frac{1}{2}}, \mathring{S} = (A_0^* A_0)^{\frac{1}{2}}.$$

Собственные числа матрицы S и S_0 будут неотрицательными.

Если s_1, s_2, \dots, s_n и $\mathring{s}_1, \mathring{s}_2, \dots, \mathring{s}_n$ - собственные числа матриц S и S_0 , то в силу (2) имеем

$$s_j = \mathring{s}_j + \varepsilon_j, j = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

где ε_j - малые числа. Для решений u и x уравнений

$$Au = f, A_0x = f_0, \quad (5)$$

в силу (3) имеем

$$Su = U^* f, \mathring{S}x = \mathring{U}^* f_0.$$

Пусть

$$U^* f = \sum_{j=1}^n f_j e_j, \mathring{U}^* f_0 = \sum_{j=1}^n f_{0j} \varphi_j,$$

где $\{e_j\}$ и $\{\varphi_j\}$ - ортонормированные собственные векторы матриц S и S_0 , т.е.

$$Se_j = s_j e_j, \mathring{S}\varphi_j = \mathring{s}_j \varphi_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

Отсюда получаем, что если существуют решения уравнений $Au = f$ и $A_0x = f_0$, то должны иметь место равенства

$$u = \sum_{j=1}^n s_j^{-1} f_j e_j \text{ и } x = \sum_{j=1}^n s_{0j}^{-1} f_{0j} \varphi_j. \quad (6)$$

Отсюда мы видим, что у обеих уравнений (5) не всегда существуют решения; возможен случай, когда одно из уравнений (5) имеет решение, а другое не имеет. И наконец, если даже оба уравнения имеют решения их решения могут быть не близкими.

В силу выше сказанных мы вместо задачи (1) решаем задачу нахождения $u_0 \in H$ и $x_0 \in H$, удовлетворяющих условиям

$$\inf \{|Au - f|^2 + \delta|u|^2\} = |Au_0 - f|^2 + \delta|u_0|^2,$$

$$\inf \{|A_0 u - f_0|^2 + \delta |u_0|^2\} = |A_0 x_0 - f_0|^2 + \delta |x_0|^2,$$

где infimum берется по всем $u \in H$. Так как H - конечномерно, решения этих задач существуют. Причем при $\delta = 0$ для u_0 и x_0 верны равенства

$$u_0 = \sum_{s_j \neq 0}^n s_j^{-1} f_j e_j \text{ и } x_0 = \sum_{s_{0j} \neq 0}^n s_{0j}^{-1} f_{0j} e_j. \quad (7)$$

Решения задач для infimum при $\delta = 0$ дают наилучшие приближения f и f_0 элементами вида Au и $A_0 u$.

Когда у матрицы $A_0^* A_0$ есть малые собственные числа, то матрица $A^* A$ также имеет собственные числа, (в силу (2)). Но при этом $u_{0\delta}$ и $x_{0\delta}$ из (7) не всегда будут близкими.

Когда размерность матрицы A и A_0 большая, то часто $A_0^* A_0$ имеет малые собственные числа (с такими матрицами приходится иметь дело, например, в экономических задачах). В таких случаях, как правило, малые собственные числа матрицы $A^* A$ не есть возмущение соответствующих собственных чисел матрицы $A_0^* A_0$ и может быть результат ошибки вычислений, использованных при построении A . Используя мощные вычислительные средства можно повысить точность построения A и f , и тем самым улучшить приближенное A и f к A_0 и f_0 соответственно и получить приемлемое приближение $u_{0\delta}$ к $x_{0\delta}$.

Теперь опишем вкратце процесс ортогонализации Шмидта для нашей ситуации.

Пусть e_1, \dots, e_n — базис в H и A — плохо обусловленная матрица. Тогда

$$Ae_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}), \quad A = \{a_{ij}\}.$$

Ортогонализуем семейство $\{Ae_j\}_{j=1}^n$ по Шмидту. Назначим число $\varepsilon > 0$. Если $|Ae_1| > \varepsilon$, то положим $\psi_1 = (Ae_1)|Ae_1|^{-1}$. Если же $|Ae_1| \leq \varepsilon$, то положим $\psi_1 = 0$.

Пусть векторы ψ_1, \dots, ψ_j построены. Определим

$$\tilde{\psi}_{j+1} = Ae_{j+1} - \sum_{k=1}^j \alpha_k \psi_k,$$

где

$$\alpha_k = \begin{cases} 0, & \text{если } \psi_k = 0 \\ \langle Ae_{j+1}, \psi_k \rangle, & \text{если } \psi_k \neq 0. \end{cases}$$

Теперь определим ψ_{j+1} . Если

$$\tilde{\psi}_{j+1} \neq 0 \quad \text{и,} \quad \left| \tilde{\psi}_{j+1} \right| \left| e_{j+1} - \sum_{k=1}^j \alpha_k A^{-1} \psi_k \right|^{-1} > \varepsilon,$$

то положим

$$\psi_{j+1} = \tilde{\psi}_{j+1} \left| \tilde{\psi}_{j+1} \right|^{-1}.$$

В случае, когда

$$\tilde{\psi}_{j+1} = 0 \quad \text{или} \quad |\tilde{\psi}_{j+1}| \left| e_{j+1} - \sum_{k=1}^j \alpha_k A^{-1} \psi_k \right|^{-1} \leq \varepsilon$$

то положим $\psi_{j+1} = 0$.

Вычисление $A^{-1}\psi_k$ не вызывает трудности. Если $\psi_k = 0$, то берем $A^{-1}\psi_k = 0$, если же $\psi_k \neq 0$, то ввиду

$$\tilde{\psi}_{k+1} = Ae_{k+1} - \sum_{l=1}^k \alpha_l \psi_l,$$

имеет место представление

$$\tilde{\psi}_{k+1} = A\Theta_{k+1},$$

где Θ_{k+1} определяются рекуррентно.

Мы получим ψ_1, \dots, ψ_n , которые удовлетворяют соотношениям $\langle \psi_i, \psi_j \rangle = 0$, при $i \neq j$, $|\psi_j| = 1$ или $\psi_j = 0$.

Теперь положим

$$\tilde{f} = \sum_{j=1}^n \langle f, \psi_j \rangle \psi_j = \sum_{\psi_j \neq 0} \langle f, \psi_j \rangle \frac{A\Theta_j}{|\tilde{\psi}_j|} = A \sum_{\psi_j \neq 0} \langle f, \psi_j \rangle \frac{\Theta_j}{|\tilde{\psi}_j|}.$$

теперь в качестве приближенного решения $\overset{\circ}{\tilde{x}}$ задачи

$$\inf_{x \in H} |Ax - f| = \left| A\overset{\circ}{\tilde{x}} - f \right|$$

берем вектор

$$\tilde{x} = \sum_{\psi_j \neq 0} \langle f, \psi_j \rangle \frac{\Theta_j}{|\tilde{\psi}_j|}.$$

Можно показать, что будет выполнено неравенство

$$|A\tilde{x} - f| \leq C(\varepsilon),$$

где $C(\varepsilon) \rightarrow 0$ при $\varepsilon \rightarrow 0$.

Список литературы

- [1] Israel Gohberg, Seymour Goldberg, Marinus A. Kashoek. Basic Classes of Linear Operators. Birkhauser Verlag, 2003.
- [2] M. Otelbaev, B. Tuleuov, D. Zhussupova. On a Method of Finding Approximate Solutions of Ill-conditioned Algebraic Systems and Parallel Computation. Eurasian Mathematical Journal, Vol.2, No. 1, 2011, pp.149-151.
- [3] M. Otelbaev, B. I. Tuleuov, and D. Zhussupova. On an Orthogonal Method of Finding Approximate Solutions of Ill-Conditioned Algebraic Systems and Parallel Computation. Proceedings of The World Congress on Engineering 2013, pp54-58.

УДК 536.7; 621.577

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ХЛАДАГЕНТА ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Т.А. Сегеда

Восточно-Казахстанский Государственный Технический Университет им. Д. Серикбаева

Abstract. Cost effective and efficient operation of thermal devices, such as a heat pump system, linked to many aspects of the operation and use of the respective components. Plays an important role optimal selection of a component, in this case it is reasonable to use of modeling techniques, in particular, a method of hierarchical.

Keywords: refrigerant, heat pump installation, the method of analysis of the hierarchy

Аннотация. Технологиялық қондырғылардың ішінде жылу сорғыш қондырғыны қолдану оның жүмысы экономды және тиімді, бұл көптеген қолданылатын сәйкес құрамдас бөлшектерді қолдануға байланысты. Құрамдас бөліктерді таңдаудабасты рөлді қолайлы нұсқаны таңдау болып табылады, бұл жағдайларда үлгілеуі әдістері қолдану тиімді және иерархиялық талдау үлгісін қолдану дұрыс болып табылады.

Кілттік сөздер: хладагент, жылу сорғыш қондырғы, иерархиялық талдау үлгісі

Аннотация. Экономичная и эффективная работа теплотехнических устройств, например, тепловой насосной установки, связана со многими аспектами эксплуатации и использования соответствующих компонентов. Важную роль играет оптимальный выбор того или иного компонента, и в этом случае целесообразным представляется применение методов моделирования, в частности, метода анализа иерархии.

Ключевые слова: хладагент, тепловая насосная установка, метод анализа иерархии

На современном этапе развития холодо- и теплопроизводящих установок, а также связанных с этим вопросов энергообеспечения жизненных потребностей общества, актуальными задачами являются развитие методов прогнозирования термодинамических характеристик веществ на основе адекватных моделей, поиск альтернативных высокоэффективных экологических хладагентов, а также развитие методов оптимизации работы холодильных и теплонасосных установок, одним из которых может выступать обоснованный анализ для определения наилучшего по ряду критериев рабочего тела - хладагента.

Работа теплового насоса схожа с процессом холодильника [1]. Тепловой насос перекачивает низкопотенциальную тепловую энергию грунта, воды или даже воздуха в относительно высокопотенциальное тепло для отопления объекта. Примерно 2/3 отопительной энергии можно получить из природы: грунта, воды, воздуха и только 1/3 энергии необходимо затратить для работы самой теплонасосной установки. Иными словами, тепловая насосная установка (ТНУ) может позволить сэкономить до 70% средств, которые, при отоплении дома, магазина, цеха и т.п. традиционным способом регулярно тратились бы на дизтопливо или электроэнергию. Тепловой насос, также как и холодильная установка, в своей работе используют переход агрегатного состояния вещества из жидкого в газообразное, и наоборот [2-4]. Их принцип работы основывается на общезвестных физических явлениях. Первое – это свойство веществ иметь различную температуру кипения

и конденсации в зависимости от давления окружающей среды. Так, чем ниже давление – тем ниже становится температура кипения вещества, и наоборот. Второе – при испарении вещество забирает тепло, а при конденсации отдает его. Для отбора тепла и последующей его отдачи используются специальные вещества, называемые хладагентами [2-4].

К основным требованиям, предъявляемым к хладагентам, относятся следующие [2; 5; 6]:

1. экологические:

- озонобезопасность; - низкий потенциал глобального потепления; - негорючость, нетоксичность;

2. термодинамические:

- большая объемная холодопроизводительность; - низкая температура кипения при атмосферном давлении; - невысокое давление конденсации; - хорошая теплопроводность; - малые плотность и вязкость; - максимальная приближенность к заменяемым хладагентам по давлениям, температурам, удельной объемной холодопроизводительности и холодильному коэффициенту;

3. эксплуатационные:

- термохимическая стабильность; - химическая совместимость с материалами и холодильными маслами, достаточная растворимость с маслом для обеспечения его циркуляции, технологичность применения; - негорючность и невзрывоопасность; - способность растворять воду; - наличие цвета, запаха и т.д.;

4. экономические – наличие товарного производства, доступные (низкие) цены.

Один из основных вопросов, возникающих при создании ТНУ - выбор холодильных агентов, которые способствовали бы надежной и экономичной работе установки в заданном температурном диапазоне. От того, какой хладагент применен в холодильной или теплонасосной установке, зависят конструкция машин и теплообменной аппаратуры, вес, габариты, расход энергии и другие эксплуатационные показатели.

Холодопроизводительность характеризуется количеством тепла, которое отбирает 1 м³ паров хладагента, образующихся при кипении хладагента. Чем больше объемная холодопроизводительность, тем при меньшем количестве хладагента, поступающего в единицу времени в испаритель, может быть отнято то же количество тепла от охлаждаемого объекта. Следовательно, при использовании хладагента с относительно большой объемной холодопроизводительностью ТНУ может быть более компактна [7].

Температура кипения любой жидкости зависит от давления ее насыщенных паров. С понижением давления температура кипения жидкости понижается. При требуемых низких температурах кипения рабочие давления в испарителе не должны быть ниже атмосферного. В противном случае появляется возможность подсоса атмосферного воздуха. Подсос воздуха нежелателен, так как при этом ухудшается передача тепла от охлаждаемой среды хладагенту в испарителе и передача его хладагентом окружающей среде в конденсаторе. Кроме того, с атмосферным воздухом попадают водяные пары, которые будут замерзать и закупоривать трубопроводы, а также растворяться в смазочном масле и ухудшать его качество. Наконец, подсос воздуха будет повышать рабочие давления в конденсаторе [2; 3; 5; 7].

Температуры и давления конденсации насыщенных паров. Предпочтительно, чтобы давления, при которых конденсируются насыщенные пары хладагента, были невысоки. Если конденсация паров хладагента при существующих температурных условиях окружающего воздуха происходит при высоких давлениях, то это потребует применения более мощного компрессора и электродвигателя, а также повышения механической прочности частей теплового насоса. С по-

вышением давления хладагента в машине увеличивается также возможность его утечки [2; 3; 5; 7].

Холодильный агент должен быть химически стойким (инертным) по отношению к металлическим частям теплового насоса. Холодильные агенты бывают различной вредности. Многие из них в случае утечки из машины или баллонов, в которых их транспортируют и хранят, могут оказывать вредное действие на людей, портить пищевые продукты и различные материалы в помещении [2; 3; 5; 7].

Вещества, отвечающие всем вышеперечисленным требованиям, найти практически невозможно, и в каждом отдельном случае необходимо производить оптимальный подбор хладагента в зависимости от конкретных условий работы теплонасосной установки, отдавая предпочтение принципиальным и определяющим требованиям [2; 3; 5; 7]. В общем случае, выбор хладагента зависит от назначения машины, условий ее работы и конструктивных особенностей [2; 8].

В качестве инструмента для выбора оптимального хладагента целесообразно использовать экспертные оценки, базирующиеся на информации о теплофизических и термодинамических свойствах хладагентов и расчете термодинамического цикла ТНУ. Для рассматриваемой задачи наиболее продуктивным представляется использовать метод анализа иерархий [9], так как необходимо анализировать и сопоставлять как количественные, так и качественные характеристики.

Метод анализа иерархий (МАИ) предполагает декомпозицию проблемы на более простые составляющие части и обработку суждений лица, принимающего решение (ЛПР). Анализ проблемы принятия решений в МАИ начинается с построения иерархической структуры, которая включает цель, критерии, альтернативы и другие рассматриваемые факторы, влияющие на выбор. Эта структура отражает понимание проблемы. Каждый элемент иерархии может представлять различные аспекты решаемой задачи, причем во внимание могут быть приняты как материальные, так и нематериальные факторы, измеряемые количественные параметры и качественные характеристики, объективные данные и субъективные экспертные оценки. Следующим этапом анализа является определение приоритетов, представляющих относительную важность или предпочтительность элементов построенной иерархической структуры, с помощью процедуры парных сравнений. Безразмерные приоритеты позволяют обоснованно сравнивать разнородные факторы, что является отличительной особенностью МАИ. На заключительном этапе анализа выполняется синтез (линейная свертка) приоритетов на иерархии, в результате которой вычисляются приоритеты альтернативных решений относительно главной цели. Лучшей считается альтернатива с максимальным значением приоритета. Для установления относительной важности элементов иерархии используется шкала отношений. Данная шкала позволяет ставить в соответствие степени предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим некоторые числа [9].

Чтобы определить, какие из термодинамических и иных характеристик важны для сравнения и установить степень значимости характеристик хладагентов, на основании которых будет возможно провести расчет по методу анализа иерархий с целью определения оптимального рабочего тела ТНУ, был проведен расчет теплонасосной установки по методике [3]. Диаграммы для расчета термодинамических циклов строились по данным [10]. На рисунке 1 представлено сравнение результатов расчета различных термодинамических циклов с использованием различных видов хладагентов. На основании проведенного теплового расчета теплонасосной установки и с учетом экологических требований, предъявляемых к хладагентам, проведем анализ хладагентов по следующим характеристикам:

1. Пожаро- и взрывоопасность 2. Потенциал глобального потепления 3. Озоноразрушающий

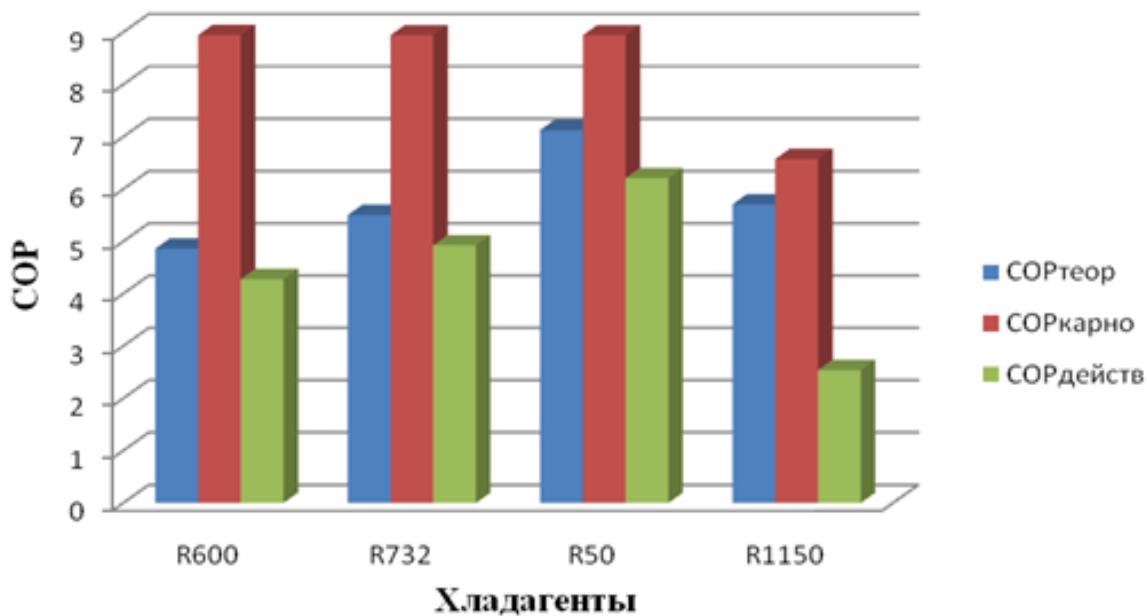


Рисунок 1 Сравнение COP ТНУ с различными хладагентами

потенциал 4. Удельный объем перегретых паров 5. Теплоемкость 6. Теплопроводность 7. Удельная энтальпия 8. Удельная теплота парообразования

Далее, будем рассматривать однокомпонентные хладагенты: R744, R717, R702, R704, R170, R290, R718, R846, R1270, R32, R134a, RC318, R143a.

Для установления относительной важности элементов иерархии составим шкалу отношений (таблица 1). Данная шкала позволит ставить в соответствие степеням предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим некоторые числа.

Таблица 1 Шкала отношений

Степени значимости	Определение
1	Однаковая значимость
3	Некоторое преобладание значимости одного действия над другим (слабая значимость)
5	Существенная или сильная значимость
7	Очевидная или очень сильная значимость
9	Абсолютная значимость

На основе теории метода анализа иерархий [9] определяем нормированный вектор приоритетов матрицы парных сравнений, пропорциональную предпочтительность матрицы парных сравнений, максимальное собственное значение матрицы. Далее, оценивается однородность суждений с помощью индекса однородности (ИО) или отношения однородности (ОО). В таблице 2 представлены средние значения индекса однородности в зависимости от порядка матрицы. В качестве допустимого используется значение $OO \leq 0,10$.

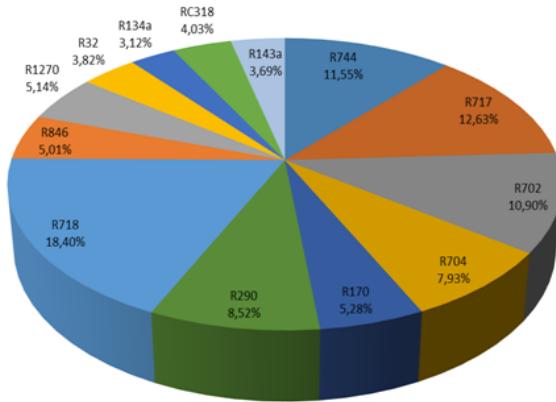


Рисунок 2 Результат использования МАИ для выбора оптимального хладагента ТНУ

Таблица 2 Значения индекса однородности в зависимости от порядка матрицы

Порядок матрицы (n)	M(ИО)	Порядок матрицы (n)	M(ИО)	Порядок матрицы (n)	M(ИО)
1	0,00	6	1,24	11	1,51
2	0,00	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,9	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

Используя метод попарного сравнения элементов иерархии, были построены матрицы парных сравнений для иерархии выбора оптимального хладагента. Однако для сравнения факторов нельзя с уверенностью утверждать о наличии большей значимости какой-либо одной термодинамической характеристики. Поэтому при определении факторов все термодинамические характеристики имеют одинаковую степень значимости.

Для каждой матрицы рассчитаны нормированный вектор приоритетов (W), собственное число матрицы (λ_{max}) и отношение согласованности (ОС). Результирующий вектор приоритетов альтернатив определялся путем перемножения матрицы, сформированной из значений восьми векторов приоритетов $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7, W_8$ на вектор W , определяющий значимость факторов. Графический результат выбора оптимального хладагента из отобранных для анализа по восьми критериям представлен на рисунке 2, из которого видно, что максимальное значение приоритета 18,4% имеет хладагент R718 – вода, затем аммиак (NH₃) - 12,63%, далее диоксид углерода (CO₂) - 11,55%, водород по итогам МАИ составил 10,9%, пропан (R290) - 8,52%.

Далее, на основе результатов теплового расчета проводился анализ оптимальности хладагента по МАИ с расширением шкалы критериев по удельной теплоте, отведенной из конденсатора, и разности давлений испарения и конденсации для следующих хладагентов: R134a, R1270, R290, RC318, R718, R744, R170 и R717. Также были рассчитаны нормированный вектор приоритетов (W), собственное число матрицы (λ_{max}) и отношение согласованности (ОС). Результирующий вектор приоритетов альтернатив определялся путем перемножения матрицы, сформированной из значений десяти векторов приоритетов $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, W_7, W_8, W_9, W_{10}$ на вектор W , определяющий значимость факторов. Графический результат выбора оптимального хладагента по расширенному списку критериев представлен на рисунке 3.

Согласованность результатов определения оптимального хладагента для ТНУ на основе ме-

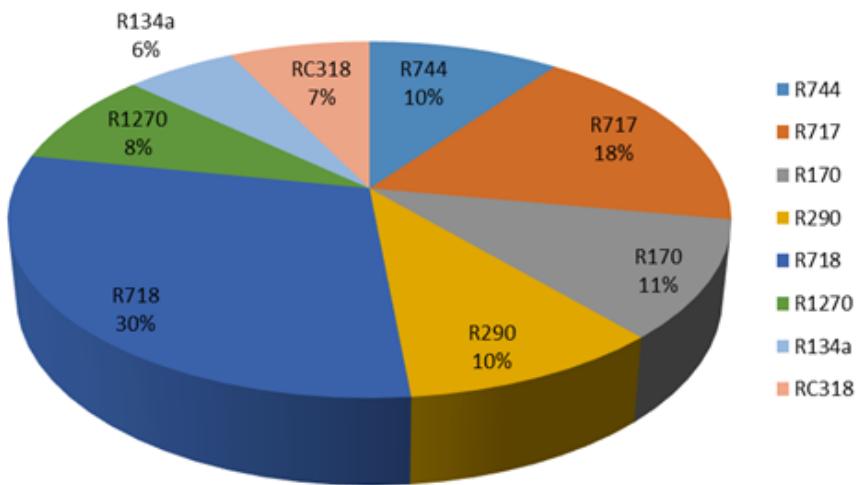


Рисунок 3 Результат использования МАИ по расширенной шкале критериев для выбора оптимального хладагента ТНУ

тода анализа иерархии показывает, что разработанная на основе теплового расчета ТНУ шкала критериев может быть применена для дальнейшего совершенствования методики выбора хладагента с целью оптимального сочетания энергоэффективности, экономичности и экологичности работы тепловой насосной установки, а применение для этой цели метода анализа иерархии обоснованно и продуктивно.

Список литературы

- [1] Гельперин Н. И. Тепловой насос. – Л.: ГНТИ, 1931 – 152 с.;
- [2] Бабакин Б.С., Стефанчук В.И., Ковтунов Е.Е. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. – М.: Колос, 2000.-160с.;
- [3] Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. - Одесса: Студия «Негоциант», 2006. - 712 с. (с приложением);
- [4] Васильев Г.П. Эффективность и перспектива использования тепловых насосов в городском хозяйстве Москвы // Энергосбережение. - 2007. - №8. - С.63-65;
- [5] Учебник по холодильной технике. В. Маке, Г.-Ю. Эккерт, Ж.-Л. Кошпен.. Перевод с французского д-р технических наук В. Б. Сапожников. М., 1998. – 1142 с.;
- [6] Текст Монреальского протокола с существующими дополнениями - www.graton.su/kioto115.html;
- [7] Хладагенты. Статьи. - www.allchemi.com;
- [8] И.М.Мазурин. Проблема создания альтернативных хладагентов для холодильных компрессоров // Международная конференция "Компрессоры 97 Братислава, 3 октября 1997;

- [9] Математическая статистика: Учеб. для вузов / В.Б. Горяинов, И.В. Павлов, Г.М. Цветкова и др.; Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. -424 с. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XVII);
- [10] CoolPack ver. 1.4. A Collection of Simulation Tools for Refrigeration. Department of Energy Engineering. Technical University of Denmark.

УДК 536.7

РАСЧЕТ ТЕПЛОЕМКОСТИ МОЛЕКУЛЯРНО-КЛАСТЕРНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Т.А. Сегеда

Восточно-Казахстанский Государственный Технический Университет им. Д. Серикбаева

Abstract. In modern industrial technologies relevant is the accurate prediction of the characteristics of the processes and systems through appropriate models. These models include the cluster model of the gas, which is also effective in the field of fundamental research of the properties of substances at the molecular level, in particular, the specific heat of gases

Keywords: molecule, cluster, gas, heat capacity.

Андратпа. Қазіргі өнеркәсіптік технологияларда құбылыстардың және жүйелердің сипаттамаларын нақты жорамалдауда адекватты үлгілерді қолдану өзекті болып табылады. Бұл үлгілерге кластерлі газ үлгісін жатқызуға болады, бұндай бағыт іргелі зерттеулердегі заттардың қасиеттерін молекулярлық дәрежеде қарастыру тиімді және газдардың жылу сымдылығы қарастырылады.

Кілттік сөздер: молекула, кластер, газ, сымдылық.

Аннотация. В современных промышленных технологиях актуальным является точное прогнозирование характеристик процессов и систем на основе адекватных моделей. К таким моделям можно отнести кластерную модель газа, которая также является эффективной в направлении фундаментальных исследований свойств веществ на молекулярном уровне, в частности, теплоемкости газов.

Ключевые слова: молекула, кластер, газ, теплоемкость.

На сегодняшний день актуальным в теплоэнергетике как с технологической, так и с экономической точки зрения является точное прогнозирование процессов, лежащих в основе производства. Провести измерения при всех условиях, которые могут встретиться на практике, невозможно, поэтому для прогнозирования необратимых тепловых процессов возникает потребность в теории, которая базируется на надежной модели. В качестве такой модели для газообразного состояния рабочего тела может быть принята молекулярно-кластерная модель, в рамках которой разработаны схемы расчетов термодинамических свойств вещества в газовой фазе, а также ведутся дальнейшие исследования по определению теплофизических и термодинамических свойств на основе данной модели, в том числе и по теплоемкости.

Существование межмолекулярного взаимодействия в той или иной степени сказывается на всех свойствах реальных газов. Так, на сегодняшний день зависимость теплоемкости от температуры в справочной литературе описывается с помощью формул линейной зависимости, что не

всегда корректно отражает теплоемкость реального газа. Кроме того, коэффициенты в таких линейных зависимостях разные, имеют разные значения для конкретных интервалов температур, в которых определяется теплоемкость. При этом, надо отметить, такие коэффициенты не имеют ясного физического смысла. Вывод эмпирических формул в виде нелинейных зависимостей приводит к трудностям в вычислениях, кроме вышеперечисленных недостатков количественного описания зависимости теплоемкости от температуры. Попытки учесть механизмы, лежащие в основе температурной зависимости теплоемкости связаны в основном с качественным объяснением, которое сводится к тому, что с ростом температуры действуются новые степени свободы молекулы, причем у каждого вещества это проявляется индивидуально [1-3]. Это также ставит большие трудности перед количественным теоретически обоснованным описанием поведения теплоемкости газов.

Следует обратить внимание на то, что все вышесказанное относится к случаю, когда газ рассматривается как система, состоящая только из молекул. Однако еще Ван-дер-Ваальс предполагал возможность возникновения ассоциаций молекул в газе вследствие наличия сил межмолекулярного взаимодействия - притяжения и отталкивания. Учесть такое взаимодействие количественно при описании свойств реального газа очень сложно и по настоящее время. Созданы более трехсот уравнений состояния газов, как правило, для определенных веществ, в которых учтены те или иные их особенности. Таким образом, проблема теоретически обоснованного количественного описания и на этой основе прогнозирования свойств реальных газов в широких диапазонах макропараметров так и остается открытой [1-6]. Что касается современных методов и способов теоретического описания уравнений состояния газа, то одним из перспективных направлений в решении данной проблемы в настоящее время можно отметить кластерную модель газа. В ней реальные свойства газа объясняются наличием кластеров - полимолекулярных образований, не меняющих химических свойств вещества. Но даже и в этом направлении существуют определенные различия в подходах к решению проблемы описания зависимости теплоемкости реального газа от температуры.

В кластерной модели газ считается идеальным в том смысле, что пренебрегается взаимодействием кластеров между собой. Взаимодействие молекул учитывается реакциями образования и распада кластеров и энергией связи молекул в кластере [7-10].

Например, в кластерной теории теплоемкости газов, [7] если у молекул одноатомного газа нет вращательных и колебательных степеней свободы, то у их комплексов или кластеров они появляются. По этой причине при определении внутренней энергии газа следует учитывать не только поступательную энергию движения молекул, но и энергию связи кластеров, а также их вращательную и колебательную энергию. Причем, как оказалось, эти виды энергии следует учитывать по-разному у малых и больших кластеров, при этом используется понятие "кластеризованного газа". У малых кластеров вследствие небольшой энергии связи, колебательная энергия в тех пределах изменения температуры, при которых кластеры существуют, меняется незначительно. Поэтому у малых кластеров колебательную энергию можно не учитывать. Здесь учитывается только энергия связи, а также энергия поступательного и вращательного движений. Большие кластеры, вследствие их значительной массы, имеют малые скорости поступательного и вращательного движений. Поэтому эти виды движений практически не участвуют в передаче энергии. Однако число колебательных степеней свободы очень большое. Колебательные движения отдельных атомов или молекул перестают быть независимыми [7]. К сожалению, в [7] не поясняется, как определить критерий - сильно или слабо кластеризованного газа. Кроме того, привлекаются

элементы теории потенциалов, в данном случае используется критерий потенциала Леннарда-Джонсона, который подходит не для всех видов молекул, имеет обоснование для постоянного числа структурных элементов системы, обладающих неизменной молярной массой.

Другой подход при использовании кластерной модели связан с таким понятием как "потенциал структурности", учитывающий наличие кластерных субкомпонентов [8]. При этом теплоемкость связывается с концентрацией кластеров, а кластерный состав зависит от температуры. В данном случае теплоемкость кластерного газа разбивается на две составляющие - так называемые «замороженную» и «структурную». «Замороженная» теплоемкость представляет собой теплоемкость, которую можно находить по обычным правилам для смесей с учетом того, что газ в этом случае представляет собой молекулярно-кластерную смесь. Механизм зависимости теплоемкости от температуры связывается с температурной зависимостью кластерного состава через потенциал структурности. Разбиение теплоемкости кластерного газа на две такие составляющие несколько усложняет теоретическое описание, требуется более детальное обоснование наличию дополнительной изменяющей части теплоемкости, чтобы исключить двойной учет влияния кластерного состава. При определении теплоемкости согласно [8] необходимы сведения и по потенциальну структурности, что представляет собой большой интерес. В целом, такой подход представляется более перспективным. Основная трудность заключается в корректном учете механизма изменения кластерного состава в определении теплоемкости реального газа [8].

При исследовании зависимости теплоемкости от кластерного состава молекулярно-кластерной смеси используется модель неоднородной сплошной среды, разбиваемой на домены постоянной конфигурации, но переменного состава [9; 10]. Учет изменения числа молей газа при изменении давления или температуры значительно усложняет описание не только процессов переноса в неоднородном газе, но даже само уравнение состояния для равновесного состояния. В связи с этим, при том множестве различных уравнений состояния не известно такое традиционное уравнение, в котором бы учитывалась зависимость числа молей от макропараметров [9; 10].

К настоящему времени предложено большое количество уравнений состояния реальных газов [1-4]. Анализ показывает, что обычно они записываются для одного моля через молярный объем, что делает их мало пригодными для использования в кластерной модели. Кроме того, поправки, входящие в эти уравнения хорошо установлены в рамках подхода постоянной молярной массы, но переменность числа молей в этих уравнениях учесть нельзя. Уравнение состояния, в котором можно учесть переменность числа молей и собственный объем частиц, записывается в виде:

$$p = z * n^n * k * T \quad (1)$$

где n^n – числовая плотность молекул как ядер, не изменяющихся при всех изменениях макропараметров, z – фактор сжимаемости, k – постоянная Больцмана, Дж/К.

В кластерной модели газ, состоящий из одинаковых молекул, представляет собой смесь из кластерных субкомпонентов. Описание такой смеси можно провести с использованием основных соотношений для смесей газов, только вместо номера компонента необходимо рассматривать номер кластера определенного размера: димера, тримера, квадромера и т.д [9; 10]. Влияние сил взаимного притяжения отражается через образование кластеров, что приводит к переменности числа молей кластерной смеси.

В кластерной модели отклонения в уравнении состояния реального газа от идеального отражаются через фактор сжимаемости z :

$$z = \frac{1}{(1-b) \sum_{g=1}^{\gamma} g C_g^{(c)}} \quad (2)$$

где b – собственный объем частиц, g – размер кластеров, $C_g^{(c)}$ – концентрация g -мерных кластеров относительно суммарной числовой плотности всех кластеров.

Как видно из этой формулы, для идеального газа фактор сжимаемости становится равным единице, что и соответствует его смыслу: фактор сжимаемости отражает отклонения уравнения состояния газа от уравнения Менделеева-Клапейрона. В идеальном газе $b=0$, так молекулы не имеют собственного объема, и в нем нет кластеров, а есть только молекулы, т.е. $g=1$ и $C_g^{(c)} \equiv 1$.

. Из формулы (2) также видно, что в ней отражено существование двух причин, приводящих к отклонениям фактора сжимаемости от единицы. Первая хорошо известная причина, которая практически учитывается во всех известных уравнениях состояния реальных газов, это – отличный от нуля собственный объем частиц, который отражен поправкой b . Видно, что собственный объем приводит к превышению фактора сжимаемости над единицей, так как $(1-b) < 1$. Вторая причина отражена суммой концентраций кластеров, умноженных на размеры кластеров. Группировка молекул в кластеры приводит к уменьшению числа структурных элементов, создающих давление, поэтому:

$$1C_1^{(c)} + 2C_2^{(c)} + 3C_3^{(c)} + 4C_4^{(c)} + \dots > 1 \quad (3)$$

так как по определению концентрации:

$$C_1^{(c)} + C_2^{(c)} + C_3^{(c)} + C_4^{(c)} + \dots = 1 \quad (4)$$

Таким образом, в кластерной модели дается простое объяснение известного факта перехода фактора сжимаемости через единицу при изменениях давления или температуры.

Подводя итог, можно сказать, что для описания процессов в кластерных газах необходимо знать его изменения в зависимости от параметров состояния и иметь данные по кластерному составу. Для этой цели нами используется разработанная расчетная схема, которая ранее решалась различными способами: времяпролетный метод, на основе экспоненциального распределения, а также при помощи стандартных вычислительных средств, которые показывали хорошую согласованность с измеренными экспериментальными данными по макропараметрам [9; 10]. Так как для определения кластерного состава важное значение имеет параметр эффективного диаметра молекулы (мономера), то в данном отношении можно считать достижения в области модельных потенциалов взаимодействия молекул очень полезными [2; 11; 12].

Теплоемкость в общем виде определяется как отношение количества теплоты, подведенного к телу, при малом изменении его температуры. Известно, что для идеальных газов молярная (или удельная) теплоемкость не зависит ни от температуры, ни от объема, занимаемого газом. Это связано с тем, что внутренняя энергия U идеального газа не зависит от объема, занимаемого молем (или единицы массы) этого газа, т.е. от плотности и определяется только температурой. Но это верно только для идеального газа. Для неидеального газа, как и вообще для любого тела, внутренняя энергия U может зависеть не только от температуры, но и от плотности данного вещества. Теплоемкость в общем виде для неидеальных газов записывается [1; 13]:

$$C = \left(\frac{dU}{dT} \right)_\nu + \left[P + \left(\frac{dU}{dV} \right)_T \right] * \left(\frac{dU}{dT} \right)_p \quad (5)$$

Выражение (5) для теплоемкости будет являться общим, пригодным для всех изотропных тел, и ее можно записать через удельные характеристики

$$C = \left(\frac{dv}{dT} \right)_\nu + \left[P + \left(\frac{dv}{dV} \right)_T \right] * \left(\frac{dv}{dT} \right)_p \quad (6)$$

Из общего уравнения (6) путем преобразований производных с через параметры состояния получаем теплоемкость кластерного газа при постоянном объеме, которая будет иметь вид:

$$C_\nu = \left(\frac{dv}{dT} \right)_\nu = \frac{i_{mkc}}{2} \frac{R}{\mu_{kl.cm}} = \frac{i}{2} \frac{R}{\sum_{g=1}^r C_g^{(c)} \mu_g} = \frac{R}{2} \frac{\sum_{g=1}^n C_g^{(c)} i_g}{\sum_{g=1}^n C_g^{(c)} \mu_g} \quad (7)$$

Число степеней свободы i_g для:

- одноатомных газов: для мономера $g=1$, $i_g = 3$;
- для димера $g = 2$, $i_g = 5$;
- для тримера $g >= 3$, $i_g = 6$;
- двухатомных газов: для мономера $g=1$, $i_g = 5$; для димера и более $g >= 2$, $i_g = 6$;
- трехатомных и более: $i_g = 6$.

Продолжая преобразования, получаем формулу для теплоемкости кластерного газа при постоянном давлении:

$$C_p = C_\nu + \frac{R}{\sum_{g=1}^n C_g^{(c)} \mu_g} \quad (8)$$

На основании полученных формул (7) и (8) рассчитаны соответствующие значения теплоемкостей для различных газов, полученные результаты сравниваются с данными справочника [14] (таблицы 1 - 4).

Таблица 1 Значение теплоемкостей азота с учетом молекулярно-кластерного состава

Давление, МПа	Температура, К	C_v _{расч} , кДж/кг · К	C_v , кДж/кг · К [14]	C_p _{расч} , кДж/кг · К	C_p , кДж/кг · К [14]
1	500	0,740	0,760	1,029	1,061
3	500	0,721	0,761	1,008	1,070
5	500	0,707	0,762	0,988	1,079
8	500	0,686	0,764	0,956	1,091
10	500	0,672	0,766	0,935	1,099
16	500	0,626	0,770	0,868	1,121
20	500	0,594	0,772	0,821	1,133
25	500	0,550	0,775	0,758	1,146
30	500	0,503	0,778	0,690	1,157
35	500	0,451	0,781	0,617	1,167
40	500	0,394	0,784	0,537	1,175
45	500	0,332	0,787	0,451	1,182
50	500	0,264	0,789	0,357	1,188

Таблица 2 Значение теплоемкостей оксида углерода с учетом молекулярно-кластерного состава

Давление, МПа	Температура, К	$C_v_{\text{расч}}$, кДж/кг · К	C_v , кДж/кг · К [14]	$C_p_{\text{расч}}$, кДж/кг · К	C_p , кДж/кг · К [14]
1	500	0,732	0,768	1,025	1,069
3	500	0,714	0,769	0,997	1,079
5	500	0,695	0,771	0,968	1,089
8	500	0,665	0,773	0,925	1,102
10	500	0,645	0,774	0,895	1,111
12	500	0,624	0,775	0,864	1,119
16	500	0,579	0,778	0,800	1,134
20	500	0,532	0,781	0,732	1,147
25	500	0,469	0,784	0,642	1,161
30	500	0,399	0,787	0,543	1,172
35	500	0,322	0,789	0,436	1,182
40	500	0,237	0,792	0,320	1,191
45	500	0,144	0,795	0,193	1,198

Таблица 3 Значение теплоемкостей водяного пара с учетом молекулярно-кластерного состава

Давление, МПа	Температура, К	$C_v_{\text{расч}}$, кДж/кг · К	C_v , кДж/кг · К [14]	$C_p_{\text{расч}}$, кДж/кг · К	C_p , кДж/кг · К [14]
1	800	1,365	1,699	1,820	2,179
2	800	1,349	1,713	1,799	2,212
3	800	1,332	1,727	1,777	2,247
4	800	1,314	1,742	1,752	2,283
5	800	1,297	1,757	1,730	2,32
6	800	1,280	1,772	1,706	2,359
8	800	1,245	1,803	1,660	2,440
10	800	1,210	1,835	1,614	2,528
12	800	1,176	1,869	1,568	2,624
16	800	1,107	1,940	1,477	2,843

Таблица 4 Значение теплоемкостей диоксида углерода с учетом молекулярно-кластерного состава

Давление, МПа	Температура, К	$C_v_{\text{расч}}$, кДж/кг · К	C_v , кДж/кг · К [14]	$C_p_{\text{расч}}$, кДж/кг · К	C_p , кДж/кг · К [14]
1	600	0,555	0,888	0,741	1,083
3	600	0,535	0,890	0,713	1,097
5	600	0,514	0,892	0,686	1,112
8	600	0,485	0,895	0,646	1,135
10	600	0,465	0,897	0,620	1,151
12	600	0,446	0,898	0,595	1,166
16	600	0,409	0,902	0,546	1,197
20	600	0,373	0,905	0,498	1,228
25	600	0,330	0,908	0,440	1,263
30	600	0,287	0,911	0,383	1,296

При сравнении рассчитанных значений теплоемкостей, внутренней энергии и энталпии с расчетными и справочными из [14] видно различие, которое обусловлено следующими причинами: теплоемкость, определяемая с учетом кластерного состава по формулам (7) и (8), представляет собой так называемую «замороженную» теплоемкость. Разница между рассчитанными по формулам кластерной модели газа величинами теплоемкостей и справочными может позволить выявить вклад квазиреактивной составляющей этих теплофизических характеристик, которая связана с энергией распада и образования кластеров, т.е. с эволюцией кластерного состава. Это является

перспективой развития дальнейших исследований, на сегодняшний день можно сделать вывод о том, что большая разница в сравниваемых значениях по таблицам 1 - 4 свидетельствует о более интенсивном процессе кластерообразования и распада кластеров большого порядка [8]. Там, где присутствуют кластеры небольшого размера) разница сравниваемых значений остается примерно постоянной или составляет незначительную величину. Не последнюю роль играет способ определения или измерения величин, представленных в справочниках.

Список литературы

- [1] Матвеев А.Н. Молекулярная физика: Учебник для физич. спец. вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1987. - 360 с.: ил.;
- [2] Гиршфельдер Дж., Кертис Ч., Берд Р. //Молекулярная теория газов и жидкостей. - М.: ИЛ, 1961. - 930 с.;
- [3] Вукалович М.П., Новиков И.И. Уравнения состояния реальных газов. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1948. – 340 с.;
- [4] Беляев Н.М. //Термодинамика. – Головное издательство издательского объединения «Высшая школа». - Киев, 1987. – 343 с.;
- [5] [http : //tt.pstu.ru/teplot/tt/study/active/lection/td/t2/c_cv.htm](http://tt.pstu.ru/teplot/tt/study/active/lection/td/t2/c_cv.htm) - Теплоемкость. Газовые смеси;
- [6] <http://stringer46.narod.ru/HeatCapacityOfGas.htm> - Теплоемкость газов;
- [7] Павлов А.М. Кластерная теория теплоемкости газов // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 9 – С. 222-224;
- [8] Калижанова У.С., Курлапов Л.И. //Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, //Расчеты теплоемкости газов умеренной плотности на основе кластерной модели;
- [9] Kurlapov L.I. Mesoscropy of Cluster Gases.// Technical Physics. – 2005. Vol. 50. – №8.– P.1098-1101;
- [10] Курлапов Л.И. Физическая кинетика мезоскопических систем. - LAP LAMBERT Academic Publishing (2011-09-07) – 116 с. - ISBN-13: 978-3-8454-3722-4;
- [11] ЦяньСуэ-Сень Физическая механика. – Под ред. С.В. Валландера, М.: 1965 – 545 с.;
- [12] Бекман И.Н. Мембранны в медицине / Курс лекций – МГУ им. М. Ломоносова. - Москва, 2010. - <http://profbeckman.narod.ru/MedMemb.htm>;
- [13] Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. Изд.2-е, Наука, М.:1976 – 480 с.;
- [14] Зубарев В.Н. и др.///Теплофизические свойства технически важных газов: Справочник / М.: Энергоатомиздат, 1989. - 232 с.: ил.

УДК 519.245

SOLUTION OF THE PROBLEM FOR ONE MODEL OF RELAXATIONAL FILTRATION BY PROBABILITY DIFFERENCE AND MONTE CARLO METHODS

K. Shakenov

Al-Farabi Kazakh National University

Abstract. The initial Dirichlet, Neumann and mixed boundary value problems for equations of elliptic type is solved by algorithms "random walk on spheres"and "random walk on lattices"of Monte Carlo methods and by probability difference methods.

Keywords: Dirichlet, Neumann, mixed problem, Monte Carlo methods, probability, random walk.

Setting of a problem

Let filtration in relaxationaly-compressed porous environment is realized by the linear Darcy law. [1]. Then a fluid current in conditions of this model is characterized by relaxation kernels of the filtration law and fluid mass:

$$F(t) = \frac{\mu}{\kappa} \cdot t \cdot \eta(t), \Phi(t) = \rho_0 \cdot \left(\beta - \frac{\lambda_m - \lambda_p}{\lambda_m} \cdot \beta_c \cdot \exp \left(-\frac{t}{\lambda_m} \right) \right) \cdot \eta(t), \quad (1)$$

μ is a fluid viscosity, κ is penetrability coefficient, t is time, $\eta(t)$ is Heavisid function, $\eta(t) = 1$ for $t > 0$, $\eta(t) = 1/2$ for $t = 0$, $\eta(t) = 0$ for $t < 0$, ρ_0 is a fluid density in the unperturbed layer conditions, β is elasticity capacity coefficient of the layer , λ_m is the relaxation time of porosity under the constant overfull of pressure, λ_p is the relaxation time of pressure under the constant porosity, β_c is compressibility coefficient of the porous environment. In this case $F(0) = 0$, $\Phi(0) = \rho_0 \cdot \beta_*$, then perturbation extension velocity $v_0 = \infty$, $\left(v_0 = \sqrt{\frac{\chi}{\tau}} \implies v_0 \rightarrow \infty \text{ for } \tau \rightarrow 0, \chi > 0 \right)$, where $\beta_* = m_0 \cdot \beta_f + \beta_c \cdot \frac{\lambda_p}{\lambda_m}$ is dynamic coefficient of elasticity capacity of the layer, m_0 is a fluid porosity in the unperturbed layer conditions, β_f is compressibility coefficient of fluid , $\chi = \frac{\kappa}{\mu \cdot \beta}$ is piezoconductivity coefficient of the layer. It means that perturbations front set instantly passes all the considered domain instantly making it by filtration domain. In a filtration domain the pressure satisfies

$$\chi \cdot \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(p(x, t) + \lambda_m \cdot \frac{\partial p(x, t)}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(p(x, t) + \lambda'_m \cdot \frac{\partial p(x, t)}{\partial t} \right), \quad (2)$$

where $\lambda'_m = \lambda_m \cdot \frac{\beta_*}{\beta}$, $\beta = \beta_c + m_0 \cdot \beta_f$. In this case the filtration velocity vector is defined from

$$\vec{W}(x, t) = -\frac{\kappa}{\mu} \cdot \operatorname{grad}_x p(x, t). \quad (3)$$

The starting data for (2) are follows:

$$p(x, t) = 0 \text{ for } t = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial p(x, t)}{\partial t} = 0 \text{ for } t = 0 \quad (5)$$

Mathematical statement of problems

Problem 1. To find in the bounded domain $\Omega \in R^3$ the solution of the equation (2) satisfying the starting data (4), (5) and the boundary condition

$$p(x, t) = p_1(x, t) \quad \text{for } x \in \partial\Omega \times [0, T], \quad (6)$$

where $\partial\Omega$ is a boundary of domain Ω . (Dirichlet problem).

Problem 2. To find in the bounded domain $\Omega \in R^3$ solution of (2) satisfying the starting data (4), (5) and the boundary condition

$$\frac{\partial p(x, t)}{\partial \vec{n}} = p_2(x, t) \quad \text{for } x \in \partial\Omega \times [0, T], \quad (7)$$

where \vec{n} is interior normal to the boundary $\partial\Omega$. (Neumann problem).

Problem 3. To find in the bounded domain $\Omega \in R^3$ solution of (2) satisfying the starting data (4), (5) and the boundary condition

$$\alpha_1 \cdot p(x, t) + \beta_1 \cdot \frac{\partial p(x, t)}{\partial \vec{n}} = p_3(x, t) \quad \text{for } x \in \partial\Omega \times [0, T], \quad (8)$$

where α_1 and β_1 are given fixed values. (Mixed problem).

Remark 1. For problems 1 – 3 mismatch condition is assumed.

Solution of problems

Let coefficients χ , λ_m , λ'_m are while positive fixed values. Let us divide interval $t \in [0, T]$ into N equal parts with length τ . So that $t_n = n \cdot \tau$, $n = 0, 1, \dots, N$, $\tau = \frac{T}{N}$, $\tau > 0$, and we digitize only with respect to t using implicit scheme. In result taking into account λ'_m , we obtain the equation on temporary layer t_{n+1}

$$\Delta p^{n+1}(x) - a \cdot p^{n+1}(x) = f^n(x), \quad (9)$$

where $f^n(x) = b \cdot p^n(x) + c \cdot \Delta p^{n-1}(x) + d \cdot p^{n-1}(x)$, $a = \frac{m_0 \beta_f (\tau + 2\lambda_m) + \beta_c (\tau + 2\lambda_p)}{\varphi}$, $b = -\frac{4(m_0 \beta_f \lambda_m + \beta_c \lambda_p)}{\varphi}$, $c = \frac{\lambda_m}{2\tau + \lambda_m}$, $d = \frac{m_0 \beta_f (2\lambda_m - \tau) + \beta_c (2\lambda_p - \tau)}{\varphi}$, $\varphi = \tau \chi (2\tau + \lambda_m) \cdot (\beta_c + m\beta_f)$.

Solution of problem 1. "Random walk on spheres" algorithm

It is clear that $a > 0$, as parameters m_0 , β_f , τ , λ_m , β_c , λ_p , χ are positive. Combining the starting condition with (9) we obtain

$$p^0(x) = 0, \quad x \in \Omega, \quad \frac{p^1(x) - p^0(x)}{\tau} = 0, \quad x \in \Omega, \quad (10)$$

which are the difference analogues of the starting data (4) and (5) respectively. For this problem the boundary condition transformed

$$p^{n+1}(x) = p_1^{n+1}(x), \quad x \in \partial\Omega. \quad (11)$$

We shall call the boundary $\partial\Omega$ (and $\partial\Omega_\varepsilon$) satisfying the Dirichlet condition as absorbing boundary. It is known that the problem (9) – (11) (Dirichlet problem for the Helmholtz equation of a temporary layers t_{n+1}), is solved with the help of "random walk on spheres" algorithm of Monte Carlo methods.

The constructed ε -displaced estimation of the solution $p^{n+1}(x)$ with the help of "random walk on spheres" algorithm has a uniformly bounded dispersion by ε .

"Random walk on lattices" algorithm.

At first we approximate the solution (9) – (11) with the help of finite difference method and construct Markov chain, its transition probabilities are defined with the help of coefficients and parameters of the difference problem (9) – (11). For this purpose we use the following approximation of the second derivative with respect to x , i.e. $p_{x_i x_i}^{n+1}(x) = \frac{p^{n+1}(x + e_i h) + p^{n+1}(x - e_i h) - 2p^{n+1}(x)}{h^2}$, where h is step along x , e_i is the unit vector along the axis x_i . Obviously $O(h^2)$ is a precision of the such approximation. Let's denote approximation of a domain Ω by ω_h , and boundary $\partial\Omega$ – by γ_h . Now by temporarily lowering superscripts $n+1, n, n-1$ from (9), we obtain the following finite difference equation

$$p(x_i) = \frac{1}{2+a h^2} \cdot p(x_i + e_i h) + \frac{1}{2+a h^2} \cdot p(x_i - e_i h) - \frac{h^2}{2+a h^2} \cdot f(x_i). \quad (12)$$

It's obvious that

$$\frac{2}{2+a h^2} \rightarrow 1 \text{ for } h \rightarrow 0, \tau \rightarrow, \lambda_m \rightarrow 0, \quad (13)$$

where h is step along x , τ is time step. That is realization of (13) correspond to convergence requirements of a difference schemes and relaxation process. Let's denote $\alpha(x_i, y_i, h, \tau) = \frac{2}{2+a h^2}$. As $\alpha(x_i, y_i, h, \tau) > 0$ and $\alpha + \alpha \leq 1$ on y_i for $\forall x_i$, then $\alpha(x_i, y_i, h, \tau)$ are transition probabilities of Markov chain. Here $y_i = x_i \pm e_i h$, e_i is unit vector.

Algorithm. At first we play a coordinate axis with probability $1/3$ for $\Omega \in R^3$. Then the "particle" moves (along the direction $-e_i$ or $+e_i$) with identical probability α from node x_i into one of the neighboring node $x_i \pm e_i h$. It is necessary to take into account the "weight" of node, it proportional to $\frac{h^2}{2+a h^2} \cdot f(x_i)$. And so on until the "particle" achieves the discrete boundary γ_h . As soon as the "particle" achieves the boundary γ_h , boundary data $p_1(x_i)$ is summarized to a counter. Thus a random variable $\xi_{N_h}^h$ is defined along a discrete Markov chain with random length N_h . Then we average it on all trajectories, that is the estimation of the solution $p^{n+1}(x_i)$ in the node x_i is defined from $p^{n+1}(x_i) \approx \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\xi_{N_h}^h)_i$, where M is trajectories amount of Markov chain starting from the node x_i .

Theorem 1. *The Neumann–Ulam scheme is applicable to the difference problem (9) – (11).*

Proof of the theorem follows from algorithm. In this case dispersion of an estimation of the solution $p^{n+1}(x_i)$ will be bounded, it can be explicitly calculated.

Probability difference method.

Let's consider the finite difference problem (12) for a temporary layer $n+1$ with a discrete boundary condition $p(x_i) = p_1(x_i) \quad x_i \in \gamma_h$. Let's denote by $\{\zeta_i^h, i = 0, 1, \dots\}$ value of transition chain. Let $p_1(x)$ is the arbitrary continuous function for $x \in \gamma_h$. Let N_h is moment of the first way out of a discrete domain ω_h : $N_h = \min \{i : \zeta_i^h \notin \omega_h\}$. Combining (12) with a boundary condition we obtain

$$p(x) = \mathbf{E}_x p(\zeta_1^h) + \Delta t^h \alpha f(x), \quad x \in \omega_h, \quad p(x) = p_1(x), \quad x \in \gamma_h \quad (14)$$

If $\mathbf{E}_x N_h < \infty$, then the problem (14) has a unique solution

$$p_h(x) = \mathbf{E}_x \left\{ \sum_{i=0}^{N_h-1} f(\zeta_i^h) \cdot \Delta t_i^h + p_1(\zeta_{N_h}^h) \right\}. \quad (15)$$

Here $\Delta t_i^h = \Delta t^h(\zeta_i^h)$ is a process parameter. If $f(x) = 0$, $\mathbf{P}_x\{N_h < \infty\} = 1$, then (14) has the unique solution

$$p_h(x) = \mathbf{E}_x\left\{p_1(\zeta_{N_h}^h) \cdot I_{\{N_h < \infty\}}\right\}. \quad (16)$$

Solution of problem 2

Let's consider (9) with starting conditions (10) and boundary conditions

$$\frac{\partial p^{n+1}(x)}{\partial \vec{n}} = p_2^{n+1}(x), \quad x \in \partial\Omega. \quad (17)$$

The boundary $\partial\Omega$ (and $\partial\Omega_\varepsilon$), that correspond to the Neumann condition is called the reflecting boundary.

"Random walk on spheres" algorithm

Let the solution of the problem (9) – (10), (17) is defined in a point $x_0 \in \Omega_\varepsilon$, where $\Omega_\varepsilon \subset \Omega$ is a domain with the boundary $\partial\Omega_\varepsilon$. $\partial\Omega_\varepsilon$ is ε -vicinity of the boundary Ω . State of Markov chain $\{x_i\}$ is defined with the help of the "random walk on spheres" process, by reaching $\partial\Omega_\varepsilon$ -boundary the "particle" is reflected from $\partial\Omega_\varepsilon$ -boundary into previous point (chain returns the state before reflection). The "particle" continues random walk. After reflection the "weight" of boundary proportional $p_2^{n+1}(x)$ is summarised to the counter. The chain breaks with the given probability $\zeta(\varepsilon)$, it is "small" $\zeta(\varepsilon) \rightarrow 0$ for $\varepsilon \rightarrow 0$. Here we shall note, that the "particle" moves to the $\partial\Omega_\varepsilon$ -boundary along the normal \vec{n} in "random walk on spheres" algorithm. We obtain ε -displaced estimation of a solution $p^{n+1}(x)$ of the problem (12), (10), (17) in point x by averaging of random variable η_{N_α} constructed along Markov chain of random length N_α . Probability error follows from the central limit theorem. It can be estimated as $\mathbf{P}\{\text{choice error} < \varepsilon\} \cong \text{erf}\left(\frac{|\varepsilon| \sqrt{M/2}}{\sigma^2}\right)$, where \mathbf{P} denote probability the error is no more than $|\varepsilon|$, M is quantity of trajectories, σ^2 is sampling dispersion. **"Random walk on lattices" algorithm.** Just as in a case the Dirichlet problem we get the following finite difference Neumann problem for three-point difference equation on a temporary layer $n + 1$, that is (12), (10), (17). Here condition (13) for α is realized, i.e. $\alpha(x_i, y_i, h, \tau)$ are transient probabilities of Markov chain. **Algorithm.** At first we play coordinate axis with probability 1/3. Then the "particle" moves (along the direction $-e_i$ or $+e_i$) with equal probability α from the node x_i into one of a neighboring node $x_i \pm e_i h$. It's necessary to take into account the "weight" of node proportional $\frac{h^2}{2+a h^2} \cdot f(x_i)$. And so on until the "particle" achieves a discrete boundary γ_h . By reaching γ_h -boundary the "particle" is reflected into previous point, and boundary data proportional $p_2(x_i)$ is summarised to the counter. Near the boundary $\partial\Omega$ a step of grid h^* along the direction to boundary γ_h such that the "particle" gets on discrete ε -boundary γ_h^ε . Random walk process continues. The chain breaks with the given probability $\zeta(\varepsilon)$, it is "small" value, $\zeta(\varepsilon) \rightarrow 0$ for $\varepsilon \rightarrow 0$. Thus random variable $\eta_{N_h}^h$ is defined along a discrete Markov chain with random length N_h . Then we average it on all trajectories, that is the estimation of the solution $p^{n+1}(x_i)$ in node x_i is defined from $p^{n+1}(x_i) \approx \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\eta_{N_h}^h)_i$, where M is trajectories amount of Markov chain starting from the node x_i .

Probability difference method

Let's consider the problem (12), (10), (13). Let $p_2(x)$ is a real bounded continuous function on a set $\partial\Omega$. $\partial\Omega$ is reflecting boundary. Approximation (17) gives

$$(d(\partial\Omega) \cdot \nabla)p(x) = p_2(x). \quad (18)$$

Let the set $\partial\Omega_h$ approximate $\partial\Omega$ "from within". That is either $x \in \bar{\Omega} \cap R_h^3$ or $x \in \partial\Omega$ or straight

line connecting x with one of the nearest node $x_i \pm e_i h$, $x_i \pm e_i h \pm e_j h$ or $x_i \pm e_i h \mp e_j h$ touches $\partial\Omega$. Then α gives transient probabilities of the approximating chain ξ_i^h in Ω_h . The chain breaks with the given probability $\zeta(\varepsilon)$, it is "small" $\zeta(\varepsilon) \rightarrow 0$ for $\varepsilon \rightarrow 0$. It should be noted that $\mathbf{E}_x \left\{ \xi_{n+1}^h - \xi_n^h | \xi_n^h = y_i \in \partial\Omega_h \right\} = v(y) h / |v(y)|$. It is coordinated that reflection from the point $\partial\Omega_h$ happens along the direction $v(y)$. $v(y)$ is direction of hit in interior node. $v(x) = \sum_{i=1}^3 |v_i(x)|$. Transient probabilities on $\partial\Omega_h^R$: $\varrho_h(x, x \pm e_i h) = v_i^\pm / |v(x)|$. Let's define $A_n^h = \prod_{i=0}^n \exp(-a(\xi_i^h) \cdot \Delta t_i^h \cdot I_{\Omega_h}(\xi_i^h))$, where t_i^h is a discrete time, parameter of ξ_i^h process. For the chain with random length N_h we get unique discrete approximation of solution of the problem (12), (10), (13)

$$p_h(x) = \mathbf{E}_x \left\{ \sum_{i=0}^{N_h-1} A_i^h \cdot f(\xi_i^h) \cdot \Delta t_i^h \cdot I_{\Omega_h}(\xi_i^h) + \sum_{i=0}^{N_h-1} A_i^h \cdot p_2(\xi_i^h) \cdot d\phi_i^h \right\} \quad (19)$$

Solution of problem 3

Let's consider the problem (9), (10). To this problem we'll connect approximation of the mixed boundary condition (8) on a temporary layer $n+1$

$$\alpha_1 p(x) + \beta_2 p(x) = p_3(x), \quad x \in \partial\Omega_\varepsilon, \quad (20)$$

where $\beta_2 = \beta_1(d(\partial\Omega) \cdot \nabla)$.

"Random walk on spheres" algorithm

As in a case of the Dirichlet problem we construct Markov chain by "random walk on spheres". By reaching $\partial\Omega_\varepsilon$ -boundary of a domain Ω the "particle" is absorbed or reflected with equal probability 1/2. At absorption of a "particle" we summarize to counter the "weight" of node $p_3(x_i)/\alpha_1$ and at reflection of a "particle" – $p_3(x_i)/\beta_2$. The chain breaks if a "particle" is absorbed. We get ε -displaced estimation of the solution $p_\varepsilon(x)$ of the problem (12), (10), (20) in the point x by averaging random variable ξ_i constructed along Markov chain with random length N . That is $p_\varepsilon(x) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \xi_i$.

"Random walk on lattices" algorithm. Let's consider the following finite difference problem (12), (10)

$$\alpha_1 p(x_i) + \beta_2 p(x_i) = p_3(x_i), \quad x_i \in \gamma_h. \quad (21)$$

The problem (12), (10), (21) is considered on a temporary layer $n+1$. **Algorithm.** At first we play coordinate axis with probability 1/3 for $\Omega \in R^3$. Then the "particle" moves (along the direction $-e_i$ or $+e_i$) with equal probability α from the node x_i into one of a neighboring node $x_i \pm e_i h$. It is necessary to take into account the "weight" of node, it proportional $\frac{h^2}{2 + a h^2} \cdot f(x_i)$. And so on until the "particle" achieves the discrete boundary γ_h . On a boundary γ_h the "particle" is absorbed or reflected with equal probability 1/2. The chain breaks if the "particle" is absorbed, and we summarize to counter a "weight" of absorbing boundary node $p_3(x_i)/\alpha_1$, at reflection $-p_3(x_i)/\beta_2$. Thus we define a random variable $\xi_{N_h}^h$ along a discrete Markov chain with random length N_h . The estimation of solution $p_h(x_i)$ in a node x_i is defined by $p_h(x_i) \approx \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\xi_{N_h}^h)_i$, where M is trajectories amount of Markov chain starting from the node x_i .

Probability difference method

The problem (12), (10), (21) is considered on a temporary layer $n+1$. Let $p_3(x)$ is the real bounded continuous function on a set $\partial\Omega$. Let the set $\partial\Omega_h^R$ approximate $\partial\Omega$ "from within". That is either

$x \in \bar{\Omega} \cap R_h^3$ or $x \in \partial\Omega$ or straight line connecting x with one of the nearest node $x_i \pm e_i h$, $x_i \pm e_i h \pm e_j h$ or $x_i \pm e_i h \mp e_j h$ touches $\partial\Omega$. The set is determined in $\bar{\Omega} \cap R_h^3$. Let's define digitization $\Omega_h = \Omega \cap R_h^3 - \partial\Omega_h^R$ of interior Ω and digitization of a stopping set $\partial\Omega_h^A = R_h^3 - \Omega_h - \partial\Omega_h^R$. Then α gives transitive probabilities of the approximating chain ξ_i^h in Ω_h . The chain breaks at the first contact with $\partial\Omega_h^A$. Let's notice that $\mathbf{E}_x \left\{ \xi_{n+1}^h - \xi_n^h | \xi_n^h = y_i \in \partial\Omega_h^R \right\} = v(y) h / |v(y)|$. It is coordinated that the reflection from the point $\partial\Omega_h^R$ happens along direction $v(y)$. $v(y)$ is the direction of hit into interior node. Let's define $A_n^h = \prod_{i=0}^n \exp(-a(\xi_i^h) \cdot \Delta t_i^h \cdot I_{\Omega_h}(\xi_i^h))$, $C_n^h = \prod_{i=0}^n \exp(-\beta_1(\xi_i^h) d\phi_i^h)$, $D_n^h = A_n^h C_n^h$. We consider the case $\alpha_1 = \alpha_1(x)$, $\beta_1 = \beta_1(x)$, t_i^h is a discrete time, parameter of the process ξ_i^h , $d\phi^h = h / |v(x)|$, $d\phi_i^h = d\phi^h(\xi_i^h) I_{\partial\Omega_h^R}(\xi_i^h)$. For the chain with random length $N_h = \min \{n : \xi_n^h \in \partial\Omega_h^A\}$ we obtain unique discrete approximation of a solution of the problem (12), (10), (21)

$$p_h(x) = \mathbf{E}_x \left\{ \sum_{i=0}^{N_h-1} D_i^h \cdot f(\xi_i^h) \cdot \Delta t_i^h \cdot I_{\Omega_h}(\xi_i^h) + D_{N_h-1}^h \alpha_1(\xi_{N_h}^h) + \sum_{i=0}^{N_h-1} D_i^h \cdot p_3(\xi_i^h) \cdot d\phi_i^h \right\} \quad (22)$$

[2], [3], [4],[5], [6], [7].

List of references

- [1] Y.M.Molokovich, P.P.Osipov. Basics of relaxation filtration theory. Proceeding of Kazan University, 1987, pages 106. (In Russian)
- [2] K. Shakenov Solution of one problem of linear relaxational filtration by Monte Carlo methods. International Conference on COMPUTATIONAL MATHEMATICS (ICCM 2002). PART ONE. (The International Conference on Computational Mathematics.Proceedings: Part I). Novosibirsk 2002. Page 276–280.
- [3] K. Shakenov Dispersion of estimation of the solving linearized disturbed differred system of Navier-Stokes equations. Calculating technologies . 2002. Vol 7, No. 3, Novosibirsk, 2002. Pages 93 – 97. (In Russian)
- [4] K. Shakenov Solution of the Neumann problem for Helmholtz equation by Monte Carlo methods. International Conference on Computational Mathematics. Part 1, Novosibirsk, 2004. Pages 333–334. (In Russian)
- [5] A. Haji-Sheikh and E.M. Sparrow. The floating random walk and its application to Monte Carlo solutions of heat equations. J. SIAM Appl. Math. Vol. 14, No. 2, March, 1966. Printed in U.S.A. P. 370–389.
- [6] Harold J. Kushner. Probability Methods of Approximations in Stochastic Control and for Elliptic Equations. Academic Press. New York – San-Francisco – London, 1977.
- [7] K. Shakenov. Solution of one mixed problem for equation of a relaxational filtration by Monte Carlo methods. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. Springer Berlin / Heidelberg. Volume 93/2006. Book Advances in High Performance Computing and Computational Sciences. Chapter 71. Pages 205 – 210.

UDC 518.6+519.95

RESEARCH IN INTERVAL METHODS OF MODEL OF INTERBRANCH BALANCE WITH NONDETERMINATED DATA

Z.Kh. Yuldashev ¹, P.J. Kalkhanov ²

National University of Uzbekistan¹, Nukus State Pedagogical Institute²

Abstract. In the work the purpose of demonstration of the possibilities arising from consideration of a problem within the limits of the interval analysis where the hypothesis of linearity is accepted, comparison of static and dynamic Leontief's models are presented. At that not only a vector of total release at the fixed vector of final consumption is searched, but also on the contrary, the vector of final consumption is defined, at the set vector of total release. It is noticed that as opposed to the real case the interval variant gives the bottom and upper borders of searched values that in many cases has rather substantial interpretations.

Keywords: mathematical modeling, interval methods, balancing equations, Leontief's models

Аннотация. В работе с целью демонстрации возможностей, возникающих вследствие рассмотрения задачи в рамках интервального анализа, где принят гипотеза линейности, приводится сравнение статической и динамической моделей Леонтьева. При этом ищется не только вектор валового выпуска при фиксированном векторе конечного потребления, но и наоборот, определяется вектор конечного потребления, при заданном векторе валового выпуска. Отмечается, что в отличии от вещественного случая интервальный вариант даёт нижнюю и верхнюю границы искомых величин, что во многих случаях имеет весьма содержательные интерпретации.

Ключевые слова: математическое моделирование, интервальные методы, балансные уравнения, модели Леонтьева.

Introduction

It is known that at application of methods of mathematical modeling for forecasting results of economic activities, both at a level of corporations, and at a macroeconomic level, dynamic models, as against static, describe process of formation of economic proportions, their final condition more adequately, and also allow to bring the suitable management providing the chosen optimality on the set of parameters. Planning and forecasting the possible balance in manufacture and consumption, in essence, is target for economic systems, both from the point of view of the ordinary consumer, and from the point of view of managing structures. In some cases defined parameters or the data is inexact, differently is nondeterminated. When by this nondeterminated some scale can be correlated and on these parameters have the limited amplitude of fluctuations, it is possible to speak about application of interval methods and interval models [1-3].

With the purpose of demonstration of the opportunities arising owing to consideration of a problem within the framework of the interval analysis, in the given work where the hypothesis of linearity is

accepted, are resulted comparison of static and dynamic models of Leontief. Except for that we shall search not only a vector of total release at the fixed vector of final consumption, but also on the contrary, we shall define a vector of final consumption, considering set a vector of total release. We shall note, that as against a material case the interval variant gives the bottom and top borders of required sizes, that in many cases have rather substantial interpretations.

An interval variant of static model of Leontief

Let the developed "know-how" is constant during some time interval $[T_0, T]$, where $T > T_0$. Depending on statement of a problem the interval $[T_0, T]$, can be equal to one calendar period or several.

The second assumption will consist in postulation of property of linearity of existing technology, we shall consider, that for maintenance of total output of branch i in volume x_i it is necessary and to make enough expenses in volumes $a_{ij}x_i, j = 1, 2, \dots, n$, production of all branches. Certainly, each of these assumptions is the next idealization of a real state of affairs. So, the requirement of linearity means, in particular, that each branch is capable to make any volume of production provided that the raw material in necessary quantity will be provided. These restrictions in economic problems have bilateral character that makes logical application of interval methods at research of a problem about balance of manufacture and accumulation.

Below interval sizes [1,2] at a spelling we shall designate "fat" letters, to assume acquaintance to bases of the interval analysis [1-3], and at creation of interval models we shall adhere to a principle rational interval parameters [4].

Let the interval matrix $A = (a_{ij})$ describes set of technologies at individual intensity of work of all branches and

$$a_{ij} \in \mathbf{a}_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

We admit that in a time interval $[T_0, T]$ all branches will work in such a manner that the branch with number i will make volume of total release of production ($i = 1, 2, \dots, n$) and we shall enter a vector of total release $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$. Having taken advantage of the assumption of linearity, it is uneasy to count up the part of the common total release spent for industrial needs during release. This part is described by a vector

$$\left(\sum_{i=1}^n \bar{a}_{i1}\bar{x}_1, \sum_{i=1}^n \bar{a}_{i2}\bar{x}_2, \dots, \sum_{i=1}^n \bar{a}_{in}\bar{x}_n \right) \quad (2)$$

Using matrix designations, we shall receive, that the vector of industrial expenses is equal $\bar{A}\bar{x}$. Hence the free rest equal $\bar{y} = \bar{x} - \bar{A}\bar{x}$, can be used on the non-productive purposes.

However the basic question arising in planning of manufacture for the period $[T_0, T]$, is formulated as follows: at the set vector of final consumption \bar{y} , it is required to define a necessary vector of total release. In other words, it is required to solve system of the equations

$$\bar{x} - \bar{A}\bar{x} = \bar{y} \quad (3)$$

at the set vector \bar{y} and a matrix \bar{A} .

Then in view of the assumption about possible interval parts or all sizes $-a_{ij}$ specifying volume of production i - the branch required for manufacture of unit of a product of branch with number j , the

problem of the decision of system (3) by analogy with [2] can be shown to search of set

$$\bar{X} = \{\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) | \bar{x} - \bar{Ax} = \bar{y}, A \in \mathbf{A}, \bar{y} \in \mathbf{y}\} \quad (4)$$

By virtue of a hypothesis of linearity and properties of interval arithmetic's it is possible to set the task formally of the decision of corresponding interval system of the linear algebraic equations of a kind (3):

$$\bar{x} - \bar{Ax} = \bar{y} \quad (5)$$

Problem of search of set of vectors \bar{X} we shall name an interval variant of model of Leontief. In [3] classification of types of decisions of system (5) is resulted, a number of algorithms of definition of corresponding types of decisions is given, and in works [2,5] some methods of definition of the external decision of system (5) or external estimation sets \bar{X} are discussed.

Dynamic model of Leontief

Above we have considered productive model of interbranch balance irrespectively by time, i.e. all its components relied average for some time interval and "one-stage". In a reality the product intended for internal and final consumption during the period t , is defined not by the flow output, and release during the subsequent period $t+1$. This delay of manufacture is caused by many factors, in particular inertia of planning and recustomizing, mobilization of internal resources and change of conditions of operation of transport, attraction of a source of raw materials of subjects of manufacture, etc.

In view of it the system of the equations of balance, in the assumption of a constancy of a share of internal consumption by each branch, will have the following appearance

$$\begin{cases} x_1(t+1) = a_{11}x_1t + \dots + a_{1n}x_n(t) + y_1(t) \\ x_2(t+1) = a_{21}x_1t + \dots + a_{2n}x_n(t) + y_1(t) \\ \dots \\ x_n(t+1) = a_{n1}x_1t + \dots + a_{nn}x_n(t) + y_1(t) \end{cases} \quad (6)$$

Ratio (6) make system linear difference equations of the first order with constant factors a_{ij} .

Let's enter a vector of total release $\bar{x}(t)$, a matrix of direct expenses $A(t) = \bar{x}(t)$ and a vector of final consumption $\bar{y}(t)$. Then the system (6) can be copied in the matrix form:

$$\bar{x}(t+1) = \bar{Ax} + \bar{y}(t) \quad (7)$$

Now the problem is formulated as follows: at the set vector of final consumption $\bar{y}(t)$ and a matrix A to define dynamics(change in time a vector of total release $\bar{x}(t)$).

One of the primary goals of the forecast with use of dynamic model of Leontief (7) is those: dynamics of a vector of final consumption $\bar{y}(t)$ and a vector of total release \bar{x}_0 during the initial moment of time $t = 0$ are known; it is required to calculate a vector of total release at the moment of time $t \geq 1$. This problem in material statement can be solved by means of the formula:

$$\bar{x}(t) = A^t \bar{x}(0) + \sum_{k=0}^{t-1} A^{t-k-1} \bar{y}(k) \quad (8)$$

Let for a component of a matrix A inclusions (1) - the assumption about interval a component take place, and also the interval vector $\bar{x}(0)$, such that $\bar{x}(0) \in x(0)$ is known. Then it is possible to speak about an interval variant of a problem of the forecast: are known in dynamics of fluctuation a component of final consumption $\bar{y}(t)$, such, as $\bar{y}(0) \in y(0)$ an interval vector of total release $\bar{x}(0) = \bar{x}(0) \in x(0)$; it is required to calculate an interval vector of total release at the moment of time $t \geq 1$, an any material vector $\bar{x}(t)$ including accordingly.

According to a hypothesis of linearity and property of monotony of interval arithmetics [1], this problem can be solved by means of the formula:

$$\bar{x}(t) = A^t \bar{x}(0) + \sum_{k=0}^{t-1} A^{t-k-1} \bar{y}(k) \quad (9)$$

Which for the fixed moment of time t gives the interval vector containing an any material vector $\bar{y}(k)$, namely $\bar{y}(k) \in y(k)$.

Numerical experiments

Here we in the statements peculiar to economic problems, and on concrete examples shall show distinction between material and interval variants of the balancing equations.

Numerical experiments

Let the material table which contains the data of balance of three branches for some period is set.

Table 1

№ п/п	Branch	Consumption			End-product	Total release
		1	2	3		
1	Cultivation and processing of a cotton	5	35	20	40	100
2	Power	10	10	20	60	100
3	Mechanical engineering	20	10	10	10	50

It is required to find volume of total output if final consumption on branches to increase accordingly up to 60, 70 and 30.

The decision. We shall write out vectors of total release both final consumption and a matrix of factors of direct expenses:

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} 100 \\ 100 \\ 50 \end{pmatrix}, \bar{y} = \begin{pmatrix} 40 \\ 60 \\ 10 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0,05 & 0,35 & 0,20 \\ 0,10 & 0,10 & 0,20 \\ 0,20 & 0,10 & 0,10 \end{pmatrix}$$

The matrix satisfies to both criteria of efficiency [6]. In case of the set increase in final consumption the new vector of an end-product will look like

$$\bar{y}_* = \begin{pmatrix} 40 \\ 60 \\ 10 \end{pmatrix}$$

It is required to find the new vector of total release \bar{x}_* satisfying parities of balance in the assumption, that the matrix A does not change. In that case components x_1, x_2, x_3 of a unknown vector \bar{x}_* are from system of the equations which, in this case looks like

$$\begin{cases} x_1 = 0,05x_1 + 0,35x_2 + 0,4x_3 + 60 \\ x_2 = 0,1x_1 + 0,1x_2 + 0,4x_3 + 70 \\ x_3 = 0,2x_1 + 0,1x_2 + 0,2x_3 + 30 \end{cases}$$

In the matrix form this system looks as follows: $\bar{x}_* = \bar{A}\bar{x}_* + \bar{y}$, or $(E - A)\bar{x}_* = \bar{y}$, where the matrix looks like

$$(E - A) = \begin{pmatrix} 0,95 & -0,35 & -0,40 \\ -0,10 & 0,90 & -0,40 \\ -0,20 & 0,10 & 0,80 \end{pmatrix}$$

From here the new vector \bar{x}_* as the decision of this equation of balance pays off:

$$\bar{x}_* = (E - A)^{-1}\bar{y}$$

Let's find a return matrix (a matrix of full expenses) for $= (E - A)^{-1}\bar{y}$, with use of the standard formula:

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{A_{11}}{\Delta} & \frac{A_{21}}{\Delta} & \dots & \frac{A_{n1}}{\Delta} \\ \frac{A_{12}}{\Delta} & \frac{A_{22}}{\Delta} & \dots & \frac{A_{n2}}{\Delta} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{A_{1n}}{\Delta} & \frac{A_{2n}}{\Delta} & \dots & \frac{A_{nn}}{\Delta} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Determinant of a matrix $(E - A)$, $\det(E - A) = 0,514 \neq 0$, so the return matrix and the decision of the specified system of the equations exist. Calculation of a return matrix we shall define to within the third sign:

$$(E - A)^{-1} = \frac{1}{0,514} \begin{pmatrix} 0,68 & 0,32 & 0,50 \\ 0,16 & 0,68 & 0,42 \\ 0,19 & 0,165 & 0,82 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,323 & 0,623 & 0,973 \\ 0,311 & 1,323 & 0,817 \\ 0,370 & 0,321 & 1,595 \end{pmatrix}$$

Let's notice, that the found return matrix satisfies to the first criterion of efficiency of a matrix [6]. Now it is possible to calculate a vector of total release $= x_*$:

$$\bar{x}_* = \begin{pmatrix} 1,323 & 0,623 & 0,973 \\ 0,311 & 1,323 & 0,817 \\ 0,370 & 0,321 & 1,595 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 60 \\ 70 \\ 30 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 152,2 \\ 135,8 \\ 92,5 \end{pmatrix}$$

Thus, to provide the set increase a component of a vector of an end-product, it is necessary to increase corresponding total releases: cultivation and processing of a cotton on 52.2%, a level of power - on 35.8% and release of mechanical engineering - on 85% in comparison with the initial sizes specified in table 1. Now we shall assume, that elements of a matrix A and a vector of final consumption at are set is inexact, and their amplitude of fluctuation is equal $\delta = 10 - 5$. Then the corresponding interval matrix will look like:

$$A = \begin{vmatrix} [0, 0499, 0, 0501] & [0, 3499, 0, 3501] & [0, 3999, 0, 4001] \\ [0, 0999, 0, 1001] & [0, 0999, 0, 1001] & [0, 3999, 0, 4001] \\ [0, 1999, 0, 2001] & [0, 0999, 0, 1001] & [0, 1999, 0, 2001] \end{vmatrix}$$

Designating through $K = E - A$, we shall receive

$$K = \begin{vmatrix} [0, 9499, 0, 9501] & [-0, 3501, -0, 3499] & [-0, 4001, -0, 3999] \\ [-0, 1001, -0, 0999] & [0, 8999, 0, 9001] & [-0, 4001, -0, 3999] \\ [-0, 2001, -0, 1999] & [-0, 1001, -0, 0999] & [0, 7999, 0, 8001] \end{vmatrix}$$

As in the interval analysis of operation of addition and subtraction, and also multiplication and subtraction are not mutually the opposites the problem of the reference of interval matrixes is put as follows [2]: For some interval matrix A it is necessary to define matrix A_1 , such, that

$$A^{-1} \supseteq B = \left[\left[b_{i,j}, b_{i,j}^- \right] \right],$$

where

$$\begin{aligned} b_{ij} &= \inf \left\{ Pr_{ij} B \mid B \in \tilde{B} = \{B \mid \nabla A \in A, \exists B : BA = AB = E\} \right\} \\ \bar{b}_{ij} &= \sup \left\{ Pr_{ij} B \mid B \in \tilde{B} = \{B \mid \nabla A \in A, \exists B : BA = AB = E\} \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

Thus $\hat{A}\hat{A}_1 \neq \hat{A}_0$, that is designation A^{-1} should be understood in sense of a ratio (11).

Applying, formally corresponding method, in the beginning we shall define

$$K^{-1} = \begin{vmatrix} [1, 3228, 1, 3231] & [0, 6225, 0, 6227] & [0, 9726, 0, 9729] \\ [0, 3112, 0, 3114] & [1, 3229, 1, 3231] & [0, 8170, 0, 8173] \\ [0, 3696, 0, 3697] & [0, 3209, 0, 3211] & [1, 5952, 1, 5955] \end{vmatrix}$$

and then an interval vector of a total product

$$x = \begin{bmatrix} [152.1289, 152.1512] \\ [135.7883, 135.8070] \\ [92.5010, 92.5185] \end{bmatrix}$$

$$\|x\| = \max \omega(x_i) = \bar{x}_i - \underline{x}_i = 0.0223$$

Let's note, that actually by virtue of properties of interval arithmetic's we have received the external decision of system (3).

The elementary calculations show - to provide the set increase a component of a vector of an end-product in the specified interval, it is necessary to increase corresponding total releases: cultivation and processing of a cotton in an interval [49.3%, 54.5%], a level of power in an interval [36.8%, 39.1%], release of mechanical engineering in an interval [83.6%, 87.7%] in comparison with the initial sizes specified in table 1.

The problem of definition of a vector of an end-product can be solved by performance of operation of matrix algebra: $o = Eo$. For the chosen data of an example 1 the following results are received:

$$y = \begin{bmatrix} 194.5353, 194.6045 \\ 259.9429, 260.0018 \\ 196.7454, 196.8006 \end{bmatrix}$$

In case of a lot of branches of manufacture “the wrapping effect” is usually observed, and in practice apply interval iterative methods at definition of a vector of total release \bar{o} [2,4].

A case of dynamic model

Let's address to the data of table 1. Let the productive matrix $\bar{x}(0)$, and also the vectors of total release set at the moment of time $t = 0$ and $\bar{y} = 0$, specified in this table are known:

$$\bar{x}(0) = \begin{pmatrix} 100 \\ 100 \\ 50 \end{pmatrix}, \bar{y}(0) = \begin{pmatrix} 40 \\ 60 \\ 10 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0.05 & 0.35 & 0.40 \\ 0.10 & 0.10 & 0.40 \\ 0.20 & 0.10 & 0.20 \end{pmatrix}$$

It is required to calculate a vector of total release at the moment of time $t = 2$ if all components of a vector of final consumption y increase for 30% for each period.

The decision. The vector of final consumption, according to a condition of a problem, looks like

$$\bar{y}(t) = \bar{y}(0)(1.3)^t \quad (12)$$

Applying the formula (9), we receive $\bar{x}(2) = A^2\bar{x}(0) + A\bar{y}(0) + \bar{y}(1)$.

Now it is necessary to calculate a matrix A^2 changing conditions and a vector $\bar{y}(1)$ and to substitute them in this equation. Carrying out the specified actions, we shall receive the decision of a task in view:

$$\begin{aligned} \bar{x}(2) &= \begin{pmatrix} 0.1175 & 0.0925 & 0.24 \\ 0.095 & 0.085 & 0.16 \\ 0.06 & 0.1 & 0.16 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 100 \\ 100 \\ 50 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.05 & 0.35 & 0.4 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 \\ 0.2 & 0.1 & 0.2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 40 \\ 60 \\ 10 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 52 \\ 78 \\ 13 \end{pmatrix} = \\ &\quad \begin{pmatrix} 33 \\ 26 \\ 24 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 27 \\ 14 \\ 16 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 52 \\ 78 \\ 13 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 112 \\ 118 \\ 53 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Thus, at the specified rate of growth of a product of final consumption it is necessary to increase through two time cycles components of total release accordingly by 12,18 and 6% in comparison with initial sizes for the initial moment of time.

Similarly to a case with static model the data corresponding to dynamic model when parameters of a matrix A, vectors x and y , at were indignant were considered "is artificial". The interval vector

$$\bar{x}(2) \in \bar{x}(2) = ([109.23, 116.57] [115.43, 123.08], [49.89, 61.06])$$

for what is received is necessary to increase percent components of total release accordingly in limits [10,71; 15,64] and [4,59; 8,66] in comparison with initial sizes for the initial moment of time.

List of references

- [1] Moore R.E. "Interval Analysis".—Englewood Cliffs. N.J.: Prentice-Hall, 1966.
- [2] Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. - Новосибирск: Наука, 1986. - 224
- [3] Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. Институт вычислительных технологий СО РАН. Издательство "XYZ". 2010.- 603 с.
- [4] Калханов П.Ж., Юлдашев З.Х. Принцип рациональной интервализации параметров при синтезе интервальных вариантов экономических моделей. УзМУхабарлари №4(1), 2011г. 228-233 стр.
- [5] Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М.: Мир, 1987.
- [6] Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика / В.В. Леонтьев; науч. ред. и авт. предисл. А. Г. Гранберг. – М.: Экономика , 1997. – 477 с.

УДК 004.272.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА КЛАСТЕРНОЙ ГИБРИДНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ GPU-ПРОЦЕССОРОВ ОТ АРХИТЕКТУРЫ УЗЛА КЛАСТЕРА. II ЧАСТЬ: ГИБРИДНЫЙ КЛАСТЕР ИЗ ТРЕХ УЗЛОВ

Д. Ахмедов¹, С. Елубаев¹, Ф. Абдолдина², Т. Бопеев¹, Д. Муратов¹, Р. Поветкин¹

¹Лаборатория имитационного моделирования космических систем, Институт космической техники и технологий, Алматы, Республика Казахстан

²Кафедра Программного обеспечения систем и сетей, Институт информационных и телекоммуникационных технологий, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан

Abstract. This paper presents results of computing experiments for verifying correctness of the choice and clarification of technical solutions for hybrid computing system based on GPU accelerators. Explained results of testing performance of hybrid computing system consisting of three node in Linpack benchmark. During testing changed number of GPU accelerators Nvidia Tesla M2090 for each node. Also optimal values of RAM are defined for each of three variants of hybrid computing system.

Keywords: parallel computing, high-performance computing, cluster hybrid computing systems, graphics processor, CUDA technology.

Андратпа. Мақалада жоғары өнімді есептеулер үшін GPU-процессорлар негізінде кластерлі гибридтік есептеуіш жүйенің құру мәселелері қаралады. Үш торабынан тұратын гибридтік кластері үшін Linpack сынақтамада жүйенін нақты өнімділігін тестілеуінің нәтижелері ба-яндалған. Тораптардың архитектурасында Nvidia Tesla M2090 графикалық процессорлардың

сандары өзгертуілді және жедел жадтың көлемі. Гибридтік кластер үйымның үш нұсқалары үшін жедел жадтың көлемінің оңтайлы мәндер анықталынған.

Кілттік сөздер: параллелді есептеулер, жогары өнімді есептеулер, кластерлік гибридтік есептеуіш жүйе, графикалық процессор, CUDA технология.

Аннотация. В статье представлены результаты вычислительных экспериментов, проводимых с целью проверки правильности выбора технических решений и уточнения отдельных технических характеристик для проектируемой кластерной гибридной вычислительной системы на базе графических процессоров. Изложены результаты тестирования реальной производительности системы в teste Linpack для гибридного кластера из трех узлов. В архитектуре узлов изменялись количество графических процессоров Nvidia Tesla M2090. Определены достаточночные значения объема оперативной памяти для трех вариантов организации гибридного кластера.

Ключевые слова: параллельные вычисления, высокопроизводительные вычисления, кластерная гибридная вычислительная система, графический процессор, CUDA технология.

Введение

Появившиеся возможности современной базы комплектующих для параллельных вычислений, и особенно резкое увеличение производительности графических видеокарт нового поколения, делают реальным самостоятельное создание и развитие суперкомпьютерных систем в Казахстане. Одним из перспективных направлений развития суперкомпьютерных технологий является использование вычислительных возможностей графических плат Nvidia Tesla для создания персональных и кластерных гибридных вычислительных систем.

В рамках бюджетного проекта Министерства образования и науки Республики Казахстан «Разработать кластерную гибридную вычислительную систему на базе GPU-процессоров» создан экспериментальный образец кластерной гибридной вычислительной системы (КГВС) на базе графических процессоров Nvidia Tesla. Следующим этапом опытно-конструкторских работ по созданию КГВС на базе GPU-процессоров является изготовление опытного образца КГВС. Для этого на первом шаге были проведены испытания экспериментального образца КГВС с целью проверки правильности выбора технических решений и уточнения отдельных технических характеристик. Следующие шаги предусматривают разработку всего необходимого пакета рабочей документации на создание опытного образца КГВС, изготовление и тестирование опытного образца КГВС с пиковой производительностью не менее 8 Тфлопс двойной точности и 16 Тфлопс одинарной точности.

Экспериментальный образец КГВС на базе GPU процессоров

Экспериментальный образец КГВС был построен по кластерной технологии Beowulf. Особенностью такого кластера является масштабируемость, то есть возможность увеличения количества узлов системы с пропорциональным увеличением производительности. Узлами КГВС являются персональные гибридные вычислительные системы на базе GPU-процессоров [1]. Количество узлов экспериментального образца КГВС ограничивается типом выбранного сетевого коммутатора Mellanox InfiniScale IV Switch, который позволяет создать систему содержащую от 2 до 8 узлов.

Для проведения тестирования было создано шесть вариантов конфигурации кластерной гибридной вычислительной системы: 1-ый вариант - 2 узла по 2 GPU, 2-ой вариант - 2 узла по 3

GPU, 3-й вариант - 2 узла по 4 GPU, 4-й вариант - 3 узла по 2 GPU, 5-й вариант - 3 узла по 3 GPU, 6-й вариант - 3 узла по 4 GPU в каждом узле.

Конфигурация каждого узла экспериментального образца КГВС включает следующие компоненты: центральный процессор Intel Xeon E5-2620 с тактовой частотой 2,0 ГГц, материнскую плату MB Supermicro X9DRG-QF, графический процессор Nvidia Tesla M2090, оперативную память DDR3 4Gb, сетевой адаптер Mellanox ConnectX-2 VPI.

Экспериментальный образец КГВС работает под управлением операционной системы, распространяемой с исходными кодами - Linux RHEL 6.1. Для распределения обработки данных между узлами использовалась технология Message Passing Interface (OpenMPI ver. 1.6). Специализированное программное обеспечение: платформа параллельных вычислений и модели программирования для ускорения решения научных и инженерных задач на GPU - NVIDIA CUDA 5.0; библиотека математических прикладных программ Intel®Math Kernel Library (Intel®MKL 10); менеджер распределенных ресурсов для вычислительных кластеров - TORQUE. Инструментом тестирования производительности был выбран Cuda Accelerated Linpack 2.0 v16 [2], используется при составлении рейтинга мировых суперкомпьютеров.

Результаты тестирования производительности экспериментального образца КГВС, состоящего из трех узлов

В данной статье представлены результаты испытаний 4-го, 5-го и 6-го вариантов конфигурации экспериментального образца КГВС состоящего из трех узлов. Результаты испытаний для первых трех вариантов представлены в I части на Международной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании – 2013 (ВИТ-2013)». Конфигурация узла для 3-х вариантов кластера представлена в таблице 1.

Таблица 1 Конфигурация узла для 4-го, 5-го и 6-го варианта экспериментального образца КГВС из трех узлов

Компонент	Модель/характеристики	Количество		
		4-ый вариант КГВС	5-ый вариант КГВС	6-ой вари-ант КГВС
Графический процессор	GPU Nvidia Tesla M2090	2	3	4
Центральный процессор	CPU Intel Xeon E5-2620 2,0ГГц	2	2	2
Материнская плата	MB Supermicro X9DRG-QF	1	1	1
Оперативная память	RAM DDR3 4Gb	8	8	8
Сетевой адаптер	Mellanox ConnectX-2 VPI adapter card	1	1	1

При проведении экспериментов частота центральных процессоров не изменялась и была равна 2,0 ГГц. Пиковая производительность четвертого варианта экспериментального образца КГВС равна 3960 Гфлопс, пятого варианта - 5940 Гфлопс, шестого варианта - 7920 Гфлопс двойной точности. Тесты позволили определить максимальную производительность кластерной системы в каждой конфигурации и достаточный объем оперативной памяти для каждой конфигурации

кластера.

В таблице 2 представлены результаты тестирования, включающие значения реальной производительности, эффективности работы системы и удельной стоимости 1 ГФлопс, иначе говоря, значение соотношения цена/производительность. В таблице указан объем ОП используемый всей системой при вычислениях (процессы Linpack и System), используемый объем напрямую зависит от размерности задачи Linpack.

Для 4-го варианта экспериментального образца КГВС наибольшая эффективность работы кластера равная 48,3% и наилучшее значение реальной производительности системы 1912,0 ГФлопс достигается при объеме оперативной памяти 80,9 Гб. На каждый узел приходится примерно по 27 Гб. С ростом эффективности работы кластера падает и удельная стоимость 1 ГФлопс. Минимальное значение соотношения цена/производительность 1624,0 тг. достигается так же при объеме оперативной памяти 80,9 Гб.

Для 5-го варианта экспериментального образца КГВС наибольшая эффективность работы кластера равная 40,8% и наилучшее значение реальной производительности системы 2421,0 ГФлопс достигается при объеме оперативной памяти 85,1 Гб, на каждый узел приходится по 28,4 Гб. При этом значение соотношения цена/производительность равно 1904,2 тг.

Для 6-го варианта экспериментального образца КГВС наибольшая эффективность работы кластера равная 33,1% и наилучшее значение реальной производительности системы 2622,0 ГФлопс достигается при объеме оперативной памяти 85,1 Гб, на каждый узел приходится по 28,4 Гб. Минимальное значение соотношения цена/производительность равно 2330,3 тг.

Таблица 2 Результаты тестирования 4-го, 5-го и 6-го варианта экспериментального образца КГВС

№	Объем ОП, Гб	Размерность задачи	4-ый вариант КГВС			5-ый вариант КГВС			6-ой вариант КГВС		
			Реальная производительность, Гфлопс	Эффективность, %	Удельная стоимость 1 ГФлопс, тг	Реальная производительность, Гфлопс	Эффективность, %	Удельная стоимость 1 ГФлопс, тг	Реальная производительность, Гфлопс	Эффективность, %	Удельная стоимость 1 ГФлопс, тг
1	4,2	14 273	431,8	10,9%	6 970,8	229,2	3,9%	19 677,1	433,6	5,5%	13 860,7
2	6,1	20 822	823,7	20,8%	3 654,2	444,9	7,5%	10 137,1	735,5	9,3%	8 171,3
3	7,8	25 502	952,0	24,0%	3 161,8	622,2	10,5%	7 248,5	871,5	11,0%	6 896,2
4	8,5	29 447	1 076,0	27,2%	2 802,0	768,5	12,9%	5 875,1	1 069,0	13,5%	5 626,8
5	10,2	32 923	1 166,0	29,4%	2 585,8	888,9	15,0%	5 079,3	1 205,0	15,2%	4 991,7
6	13,7	36 066	1 263,0	31,9%	2 391,1	974,9	16,4%	4 636,4	1 282,0	16,2%	4 695,8
7	15,9	38 956	1 305,0	33,0%	2 314,2	1 158,0	19,5%	3 903,3	1 335,0	16,9%	4 509,4
8	17,6	41 645	1 383,0	34,9%	2 187,3	1 214,0	20,4%	3 727,3	1 471,0	18,6%	4 095,9
9	19	44 171	1 412,0	35,7%	2 142,4	1 316,0	22,2%	3 438,4	1 525,0	19,3%	3 950,8
10	21,6	46 561	1 437,0	36,3%	2 108,6	1 386,0	23,3%	3 268,4	1 593,0	20,1%	3 785,3
11	23,4	48 833	1 492,0	37,7%	2 030,8	1 482,0	24,9%	3 056,7	1 625,0	20,5%	3 710,8
12	25,7	52 224	1 529,0	38,6%	1 985,0	1 553,0	26,1%	2 920,2	1 733,0	21,9%	3 482,4
13	29,3	56 853	1 599,0	40,4%	1 901,2	1 706,0	28,7%	2 661,2	1 825,0	23,0%	3 309,6
14	33,54	60 068	1 625,0	41,0%	1 873,8	1 811,0	30,5%	2 509,7	1 903,0	24,0%	3 176,6
15	35,1	63 284	1 668,0	42,1%	1 825,5	1 930,0	32,5%	2 354,9	1 933,0	24,4%	3 127,3
16	40,1	66 499	1 704,0	43,0%	1 792,8	1 934,0	32,6%	2 355,2	2 031,0	25,6%	2 981,3
17	42,7	69 715	1 746,0	44,1%	1 749,7	1 997,0	33,6%	2 280,9	2 110,0	26,6%	2 869,7
18	46,3	72 930	1 732,0	43,7%	1 766,7	2 017,0	34,0%	2 260,8	2 196,0	27,7%	2 759,6
19	50,1	76 146	1 765,0	44,6%	1 736,5	2 115,0	35,6%	2 158,4	2 283,0	28,8%	2 656,6
20	54,7	79 361	1 784,0	45,1%	1 720,9	2 158,0	36,3%	2 117,7	2 365,0	29,9%	2 566,6
21	58,8	82 577	1 808,0	45,7%	1 700,8	2 176,0	36,6%	2 102,5	2 385,0	30,1%	2 547,2
22	62,4	85 793	1 807,0	45,6%	1 704,5	2 278,0	38,4%	2 010,5	2 429,0	30,7%	2 503,1
23	66,8	89 008	1 816,0	45,9%	1 698,8	2 271,0	38,2%	2 018,9	2 437,0	30,8%	2 496,9
24	71,3	92 224	1 799,0	45,4%	1 717,6	2 295,0	38,6%	2 000,0	2 519,0	31,8%	2 417,6
25	75,3	95 439	1 860,0	47,0%	1 664,0	2 390,0	40,2%	1 922,6	2 569,0	32,4%	2 372,5
26	80,9	98 655	1 912,0	48,3%	1 624,0	2 396,0	40,3%	1 922,0	2 608,0	32,9%	2 340,9
27	85,1	101 870	1 897,0	47,9%	1 639,4	2 421,0	40,8%	1 904,2	2 622,0	33,1%	2 330,3

Анализ результатов исследования

Сравнивая результаты экспериментов для разных вариантов экспериментального образца КГВС видим, что наибольшее значение производительности в teste Linpack, равное 2622,0 ГФлопс достигается в 6-ом варианте КГВС (рисунок 1). Однако, наибольшая эффективность работы кластерной системы равная 48,3% достигается в 4-ом варианте КГВС, где архитектура узла включает 2 графических процессора Nvidia Tesla M2090. Максимальная эффективность работы 5-го варианта КГВС равна 40,8%, 6-го варианта - 33,1%.

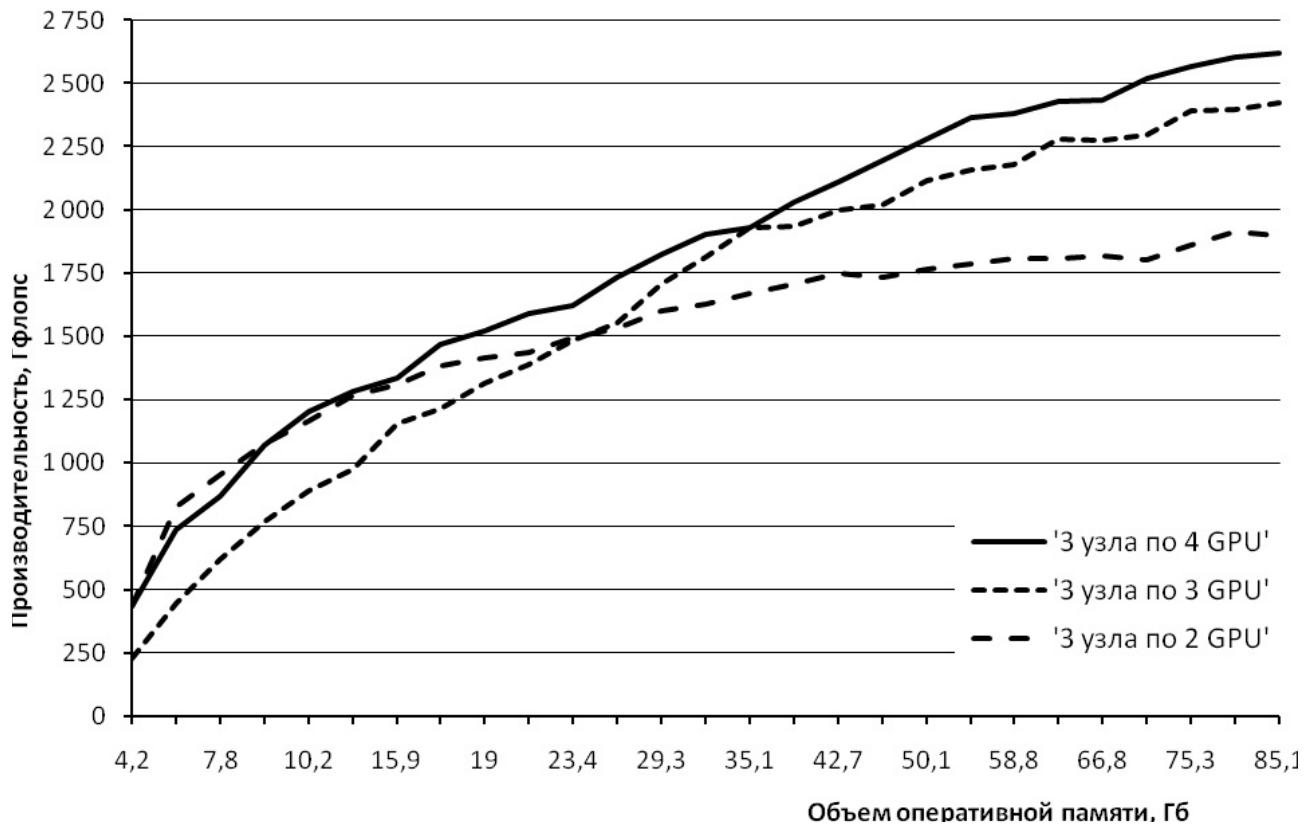


Рисунок 1 Сравнение производительности в teste Linpack 3-х вариантов экспериментального образца КГВС

Проанализируем и попытаемся сформулировать причину полученных результатов, так же определить достаточный объем оперативной памяти для каждого из вариантов.

Анализируя результаты эксперимента по влиянию объема оперативной памяти на производительность экспериментального образца КГВС в teste Linpack, можно с уверенностью сказать что реальная производительность КГВС имеет прямую зависимость от объема оперативной памяти узла. С увеличением объема оперативной памяти увеличивается и производительность системы. Однако, этот процесс не бесконечный, и это наглядно видно на примере 4-го варианта КГВС. Предел насыщения достигается при объеме оперативной памяти 80,9 Гб и дальнейшее увеличение объема оперативной памяти не приводит к росту производительности. Можно заключить, что для данной архитектуры узла оптимальным по соотношению "цена/производительность" будет использование 80,9 Гб оперативной памяти, где на каждый GPU приходится по 13,5 Гб. Этот результат подтверждает предположение, высказанную в работе [3] о том, что на один GPU должно приходиться не менее 12 Гб оперативной памяти.

Что касается 5-го и 6-го вариантов экспериментального образца КГВС, то предел насыщения

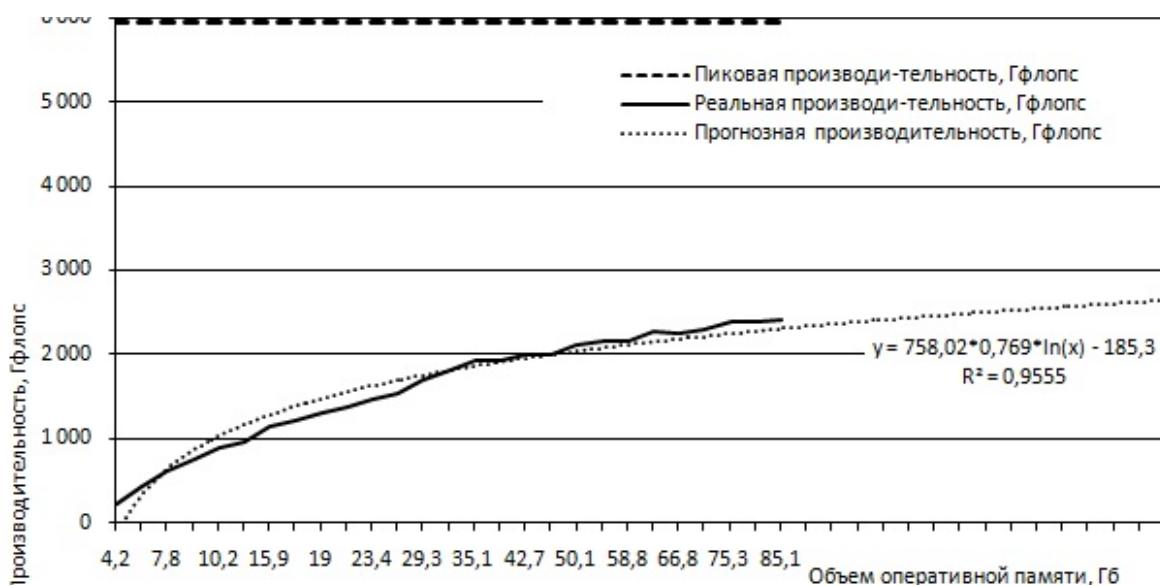


Рисунок 2 График изменения реальной производительность 5-го варианта экспериментального образца КГВС и линия тренда

оперативной памяти не достигнут. Для прогнозирования изменения значений реальной производительности при дальнейшем увеличении объема оперативной памяти, для 5-го варианта КГВС средствами MS Excel построен логарифмический тренд (рисунок 2), определена функция тренда $y = 758.02 \cdot 0.769 \cdot \ln(x) - 185.3$. Используя уравнение тренда было рассчитано что при 128 Гб оперативной памяти значение реальной производительности системы будет равно 2643,0 Гфлопс, при этом эффективность работы составит 44,5%. Дальнейшее увеличение объема оперативной памяти дает совсем незначительный рост производительности, так например при 162 Гб оперативной памяти реальная производительность увеличится на 5% и достигнет 2780,3 Гфлопс, эффективность работы увеличиться на 2,3% достигнув 46,8%. Отсюда можно сделать вывод, что для данной конфигурации узла достаточным объемом оперативной памяти будет 128 Гб, при котором на каждый GPU приходится по 14,2 Гб.

Анализируя график динамики производительности системы для 6-го варианта, видим что еще возможен значительный рост производительности при увеличении объема оперативной памяти. Для прогнозирования значений реальной производительности при дальнейшем увеличении объема оперативной памяти использовалась функция тренда $y = 758.02 \cdot 0.769 \cdot \ln(x) - 185.3$ (рисунок 3). При увеличении объема оперативной памяти до 144 Гб производительность системы увеличится на 11% и достигнет 2920,0 Гфлопс, а эффективность системы увеличиться на 3,8% и достигнет 36,8%. Дальнейшее увеличение объема оперативной памяти до 216 Гб даст приращение производительности на 7% что составит 3149,9 Гфлопс, эффективность работы увеличиться на 2,9% и будет равна 39,8%. При объеме оперативной памяти 288 Гб реальная производительность системы составит 3313,0 Гфлопс, т.е. 41,8 % от пиковой. Вывод, для данной архитектуры узла кластера достаточным будет 216 Гб оперативной памяти, при котором на каждый GPU приходится по 18 Гб.

Логарифмический тренд позволяет определить с каким приращением будет изменяться производительность системы, но не позволяет определить когда будет достигнут предел насыщения оперативной памяти. Для этого, необходимо проводить дополнительные физические эксперименты.

Можно предположить, что в 5-м и 6-м вариантах экспериментального образца КГВС на по-



Рисунок 3 График изменения реальной производительность 6-го варианта экспериментального образца КГВС и линия тренда

вышение эффективности работы системы может повлиять использование оперативной памяти с более высокой частотой, в данном эксперименте частота равна 1333МГц. Так же позволит повысить эффективность системы, использование более мощного центрального процессора и увеличение объема оперативной памяти.

Заключение

Проведенные работы позволили определить для 4-го варианта и предположить для 5-го и 6-го вариантов оптимальный объем оперативной памяти кластерной системы в зависимости от количества используемых графических процессоров в узлах кластера. Так же были сделаны заключения касательно выбора архитектуры узлов кластера, которые позволят достигнуть большей производительности и эффективности работы системы в целом.

Список литературы

- [1] Akhmedov D. Personal hybrid computing system. Performance test. / Akhmedov D., Yelubayev S., Abdoldina F., Bopayev T., Muratov D., Povetkin R., Karataev A. // Collection of scientific papers Second International conference "Cluster Computing 2013 –Lvov, 2013. –P. 7-11.
- [2] Техническая поддержка Nvidia: [Электронный ресурс]. URL: <http://developer.nvidia.com>.
- [3] Головинский А.Л. Архітектура GPU вузлів обчислювального кластера. / Головинский А.Л., Маленко А.Л., Горенко С.А., Бандура А.Ю. // Міжнародна конференція "Високопродуктивні обчислення" HPC-UA'2011, –Київ, 2011. –С. 70-75.

УДК 004.94

АРХИТЕКТУРА И ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТОФИ

М.Б. Габбасов

Компания системных исследований «Фактор»

Abstract. This paper describes the architecture and technology of the conceptual provisions TOFI from the point of view of users, the main features of development environments.

Аннотация. Мақалада қолданушылар көзқарасынан ТОФИ технологиясының архитектуrases мен концептуалды ережелері және шыгармашылық орталардың негізгі мүмкіншіліктері ба-яндалған.

Аннотация. В статье описывается архитектура и концептуальные положения технологии ТОФИ с точки зрения пользователей, основные возможности сред разработок.

Существует много различных подходов к решению проблемы описания состояния сложной системы (предметной области) в удобном для дальнейшего анализа виде в зависимости от целей дальнейшего исследования системы. При этом если характеристики (показатели), описывающие состояние системы заранее известны, то проблема может состоять либо в нахождении зависимостей между этими характеристиками (составление математической модели состояния системы), либо в нахождении удобной структуры их хранения (составление информационной модели состояния системы). Каждая из этих проблем является достаточно сложной самостоятельной задачей и если решением первой проблемы занимается «математическое моделирование» в широком смысле этого слова, то вторая проблема является предметом исследования «реляционной алгебры» и «теории баз данных». Мы ставим более широкую задачу, когда нахождение характеристик, описывающих состояние системы, также является частью нашей задачи, и предлагаем технологию, позволяющую в некоторой степени формализовать процесс исследования рассматриваемой сложной системы [1].

Стандартным подходом моделирования в такой ситуации сегодня является объектно-ориентированный подход, согласно которому предметная область представляется в виде множества объектов, которые имеют свойства и методы. Объекты являются экземплярами классов, которые наследуют от своего класса все его свойства и методы. При построении объектно-ориентированной модели сначала описываются классы с набором свойств и методов, которые присущи только этому классу. Затем создаются объекты, как экземпляры классов. При таком подходе объекты являются первичными, а свойства являются внутренними свойствами классов, которые присущи только объектам этого класса. Методы класса позволяют придавать объектам определенное поведение и взаимодействовать с другими объектами.

В технологии ТОФИ предметную область или сложную систему мы также представляем в виде совокупности объектов с их свойствами, которые определенным образом взаимодействуют между собой и изменяют свои состояния. Под объектом понимается любая субстанция или сущность рассматриваемой предметной области, которую необходимо рассматривать с заданной точки зрения. Наиболее оптимальное определение всех необходимых объектов для достижения

поставленной цели – одна из главных задач исследователя. Но подход технологии ТОФИ коренным образом отличается от объектно-ориентированного подхода. Отметим три главных их отличия.

Во-первых, подходы объектно-ориентированного проектирования предназначены в основном специалистам-разработчикам информационных систем, а технология ТОФИ разрабатывается как инструмент для конечного пользователя. Главная идея технологии ТОФИ заключается в том, чтобы конечный пользователь информационных систем, как специалист конкретной предметной области мог построить модель своей предметной области без участия программистов. Появление в Республике Казахстан такой собственной технологии, позволяющей пользователям ИТ-системы самим управлять её информационным полем, устраниет одну из возможных причин неэффективности «новой отрасли», которая зачастую, решая специфические узкие задачи других отраслей экономики «съедает» больше денег, чем экономия за счет повышения производительности труда от внедрения ИТ-разработок.

Во-вторых, в объектно-ориентированной модели объекты (классы) являются первичными сущностями, а свойства и методы – вторичными. Неудобство такого подхода заключается в том, что если два объекта из разных классов обладают одинаковыми свойствами, то об этом объектно-ориентированной модели ничего не известно. В технологии ТОФИ предложена другая парадигма, а именно, первичными являются свойства, а объекты – вторичны, то есть объекты являются набором свойств. Иначе говоря, свойства объектов выведены из объектов как независимые сущности. Методы объектов, также являются первичными по отношению к объектам сущностями, которые в технологии ТОФИ называются алгоритмами. Дело в том, что в реальных моделях обычно алгоритмы оперируют свойствами (показателями), а не объектами. При этом объекты трактуются как набор характеристических свойств и если одно свойство присуще нескольким типам (классам) объектов, то модель такую ситуацию легко распознает. И изменение состояний объектов происходит в результате работы некоторых алгоритмов, которые могут быть присущи разным типам объектов или классов объектов.

Третье отличие технологии ТОФИ от объектно-ориентированного подхода заключается в том, что разнообразие реального мира моделируется в ТОФИ не только объектами, свойствами и алгоритмами. Есть еще одна сущность, которая, как, оказалось, обладает гораздо более широкими возможностями при моделировании предметной области, чем объекты. Это – отношение между типами объектов и, его наследник или экземпляр, отношение между объектами. Отношение между объектами обладает собственными свойствами, отличными от свойств объектов, участвующих в этом отношении. Такой тезис подтверждается опытом построения различных моделей предметной области в течение последних нескольких лет.

Технология ТОФИ позиционируется как среда для разработки информационно-аналитических систем поддержки процесса принятия решений. Технология должна поддерживать все процессы принятия решений, от сбора данных до автоматического поиска проблемных тенденций в моделируемой предметной области. Разработка аналитических систем в технологии ТОФИ начинается с разработки ТОФИ-модели предметной области, на которую настраиваются все остальные процессы поддержки принятия решений. Поэтому целесообразно выделять две группы пользователей: 1) пользователей-разработчиков, которые создают ТОФИ-модель, настраивают аналитическую систему под конкретные задачи конечных пользователей и выпускают конечную версию системы и 2) конечных пользователей, которые используют готовую систему, для принятия решений касательно рассматриваемой предметной области. Инструменты, которыми пользуют-

ся пользователи первого типа, сгруппированы в различные среды разработки, а инструменты, которыми пользуются пользователи второго типа, представлены в виде различных подсистем информационно-аналитической системы, которые предназначены для решения конкретных проблем рассматриваемой предметной области. Исходя из этой концепции, архитектурно ТОФИ можно представить с одной стороны как платформу, состоящую из различных сред разработки, а с другой стороны, как информационно-аналитическую систему, которая состоит из различных подсистем. Подсистемы готовой информационно-аналитической системы эксплуатируются конечными пользователями, эти подсистемы готовятся и разрабатываются разработчиками в доступных средах разработки. Таким образом, среда разработки – это независимый программный компонент ТОФИ, который взаимодействует с базой данных ТОФИ и имеет определенный за конченный набор функциональных возможностей для пользователя-разработчика. Подсистема – это настроенное рабочее место конечного пользователя, предназначенное для решения конкретной задачи (конкретных задач) предметной области, например, мониторинг, оценка, анализ, прогноз и т.д.

Архитектура ТОФИ с точки зрения пользователей-разработчиков состоит из следующих сред разработки:

- 1) Среда администрирования;
- 2) Среда управления пользователями;
- 3) Среда моделирования;
- 4) Среда настройки визуализации;
- 5) Среда настройки системы сбора данных;
- 6) Среда настройки ETL-приложения;
- 7) Среда обмена данными и метаданными (синхронизатор ТОФИ);
- 8) Среда формирования отчетов и уведомления пользователей;
- 9) Среда поддержки бизнес процессов и обмена сообщениями;
- 10) Среда работы с регистрами;
- 11) Среда настройки единой точки доступа к подсистемам (портал ТОФИ).

Среда администрирования представляет собой рабочее место администратора всей системы, в функциональные обязанности которого входит загрузка обновлений системы, снятие резервной копии базы данных, смена версии базы данных, просмотр и формирование отчета по статистике посещений пользователями различных подсистем системы (окно статистики), сборка конечного варианта системы для конкретного заказчика и т.д.

Среда управления пользователями предназначена для определения ролей пользователей, самих пользователей и распределения их прав по работе со средами ТОФИ. В данной среде создаются роли пользователей, назначаются каждой роли привилегии, каждому пользователю определяется набор ролей, которые он выполняет. Привилегии в системе являются предопределенными. Доступ к определенным привилегиям могут обеспечиваться через определенные бизнес процессы. Для каждой привилегии каждой роли могут быть сопоставлены до двух бизнес процессов: пред-процесс и пост-процесс. Пред-процесс выполняется перед выполнением самого действия (привилегии), а пост-процесс – после выполнения. Среда управления пользователями взаимодействует практически со всеми другими подсистемами ТОФИ.

Среда моделирования является основной подсистемой (ядром) ТОФИ и предназначена для создания ТОФИ-моделей предметных областей. Создание ТОФИ-модели предметной области происходит в следующем порядке (имеется в виду процесс физического создания ТОФИ-модели в

готовой среде моделирования):

- 1) Создание факторов предметной области;
- 2) Создание единиц измерения;
- 3) Создание измерителей;
- 4) Создание атрибутов;
- 5) Создание групп свойств и свойств;
- 6) Создание типов объектов;
- 7) Создание отношений между типами объектов;
- 8) Создание объектов;
- 9) Создание отношений между объектами;
- 10) Создание качественных свойств;
- 11) Создание шкал;
- 12) Создание выборок;
- 13) Создание измерений периодов;
- 14) Создание измерений свойств;
- 15) Создание измерений объектов и отношений;
- 16) Создание стандартных кубов;
- 17) Создание источников данных;
- 18) Создание нестандартных кубов;
- 19) Создание ключевых слов;
- 20) Создание фильтров;
- 21) Создание систем кодирования;
- 22) Создание алгоритмов.

Все сущности ТОФИ имеющие интервал жизни являются версионными, одна версия сущности от другой версии может отличаться кратким и полным наименованием, комментарием, интервалом жизни и иерархией (для иерархических сущностей). Интервалы жизни различных версий не пересекаются. Код сущности не зависит от версии. Код сущности по умолчанию генерируется при создании экземпляров сущности автоматически, пользователь может переопределять код. Каждый экземпляр сущности может иметь несколько кодов в различных системах кодирования, которые сопоставляются между собой в синхронизаторе ТОФИ.

Другие метасвойства сущностей определяются словарями. Словарь представляет собой перечислимый набор значений, который используется для определения свойств некоторых сущностей. Значения словарей могут иметь другие атрибуты, необходимые для их специального использования в системе. Все словари являются предопределенными, и они автоматически создаются при создании новой базы данных. Пользователь не может редактировать словари. Перечень всех словарей приведен в [1].

При работе со средой моделирования существует два режима работы:

- 1) Режим непосредственного изменения ТОФИ-модели;
- 2) Режим регламентированного изменения ТОФИ-модели.

В каждом режиме работают только те пользователи, которые имеют соответствующие права на изменение ТОФИ-модели. В режиме непосредственного изменения ТОФИ-модели пользователю дается право создавать, редактировать или удалять сущности ТОФИ и сразу же их утверждать для использования другими пользователями и подсистемами, то есть в этом режиме процесс создания сущностей происходит без поддержки Work Flow. В режиме регламентированного

изменения модели редактирование модели пользователем происходит по заданному регламенту в рамках некоторого заданного Work Flow. Во втором режиме один пользователь может редактировать модель, второй пользователь должен их одобрить или утвердить, только после этого все изменения становятся доступными другим подсистемам и пользователям. Режим регламентированного изменения ТОФИ-модели происходит в подсистеме поддержки бизнес процессов.

Среда настройки визуализации ТОФИ предназначена для построения информационных панелей (страниц) с целью визуализации и проведения анализа многомерных кубов, поведения расчетов с помощью встроенных алгоритмов и т.д. В среде настройки визуализации пользователь может создавать кабинеты (личные, групповые, общие), главные и вспомогательные пункты меню, которые ссылаются на страницы и посредством которых можно переходить из одной страницы в другую. Каждая страница состоит из контейнеров блоков, каждый контейнер блоков состоит из блоков. Внутри блока можно отображать (в виде интерактивных диаграмм, таблиц, графиков, схем, карт) представления стандартных и нестандартных кубов, представления алгоритмов расчета, представления свойств объектов и отношений, результаты запросов к базам данных, геоинформационные карты, страницы внешних информационных систем и другие (например, некоторый набор картинок с гиперссылками).

Среда настройки системы сбора данных предназначена для on-line сбора данных на основе заранее сформированных форм сбора данных. Система on-line сбора данных состоит из рабочего места технолога (который конструирует формы сбора данных) и из рабочего места пользователя (который заполняет готовые сконструированные формы).

Среда настройки ETL-приложения предназначена для off-line сбора данных из различных источников в различных форматах. Система представляет ETL-приложение для приема, распознавания и загрузки данных и метаданных (ТОФИ-модели) из внешних систем.

Среда обмена данными и метаданными или синхронизатор ТОФИ предназначен для синхронизации различных моделей предметных областей между собой и передаче данных и метаданных между двумя или более системами ТОФИ на основе SDMX-подобного формата. Функционально синхронизатор осуществляет сопоставление метаданных различных информационных систем на основе систем кодирования, автоматически (по расписанию) или вручную производит формирование метаданных ТОФИ в формате XML, обмен метаданными с другими системами, формирование данных для передачи другой системе в формате XML, прием и передача набора данных из/в другой информационной системы и т.д.

Концепция синхронизатора для взаимного обмена данными и метаданными между информационно-аналитическими системами основана на следующих положениях (требованиях):

- 1) Структура базы данных ИАС спроектирована как хранилище данных типа «звезда» и «снежинка», и данные хранятся в таблицах фактов;
- 2) Любые данные хранящиеся в базе данных ИАС однозначно характеризуются следующими четырьмя характеристиками:
 - a. Объект данных;
 - b. Свойство данных;
 - c. Статус данных;
 - d. Временной интервал.
- 3) Перечисленные характеристики данных могут быть элементами четырех типов структур:
 - a. Элемент;
 - b. Список;

- c. Иерархия;
- d. Куб.

Рассмотрим кратко каждое концептуальное положение. Аналитические системы отличаются от учетных информационных систем не только функциональным назначением, но и структурой базы данных. База данных аналитических систем обычно хранят данные в виде «кубов» и структура базы данных имеет специальную структуру хранилища типа «звезда» или «снежинка». Данные в таких базах хранятся в таблицах фактов, которые связаны с таблицами измерений. Первое концептуальное положение накладывает ограничение на интегрируемые ИАС, которые должны быть аналитическими системами.

В базе данных информационно-аналитической системы хранятся «данные». Данные всегда являются значением некоторого свойства какого-либо объекта в некоторый период времени. Поэтому указание объекта (к которому относятся данные), свойства (определяющего тип данных), статуса данных и временного интервала должно однозначно идентифицировать данные. В случае технологии ТОФИ в качестве объектов данных выступают объекты или отношения между объектами. В качестве свойства выступают экземпляры сущности «свойство». Свойство характеризуется типом свойства: 1) свойство на основе факторов; 2) свойство на основе измерителей; 3) свойство на основе атрибутов; 4) свойство на основе типов объектов; 5) свойство на основе отношений между типами объектов; 6) свойство на основе единиц измерения; 7) комплексное свойство; 8) группа свойств. Данные являются значениями соответствующих свойств. Каждое свойство может принимать несколько значений для каждого фиксированного периода и фиксированного объекта, которые (значения) отличаются статусом данных. Статусом данных могут быть такие статусы, как оперативные данные, утвержденные данные и т.д. В технологии ТОФИ в качестве статуса данных выступает значения факторов.

Значения свойств могут зависеть от периодов, могут не зависеть от них. В первом случае необходимо указывать конкретный период, для однозначной идентификации данных, во втором случае необходимо указать некоторый актуальный интервал времени или некоторый момент времени. Поэтому в общем случае для однозначной идентификации данных необходимо указать некоторый интервал времени (момент времени есть интервал времени, у которого начало и конец совпадают).

Каждая из перечисленных характеристик определена в базе данных в таблицах измерений. При этом каждая из них, как правило, является элементом некоторой более общей сущности, которую назовем «контейнером характеристик». То есть, объект данных, является элементом контейнера объектов, свойство является элементом контейнера свойств, интервал времени (или период) является элементом контейнера интервалов времени (периодов). Согласно третьему концептуальному положению контейнер характеристик, который включает в себя в качестве элементов характеристики данных, может иметь только три вида структур. То есть контейнер характеристик есть либо список, либо иерархия, либо куб.

В технологии ТОФИ объектом данных является либо объект, либо отношение между объектами. Соответственно, объект является элементом типа объектов, отношение между объектами есть элемент отношения между типами объектов. Тогда, тип объектов и отношение между типами объектов являются контейнерами объектов. Структура типа объектов является либо списком, либо иерархией. Структурой отношения между типами объектов является многомерный куб. Контейнерами свойств в технологии ТОФИ выступают группы свойств и свойство типа измеритель. Структура любой группы свойств – список или иерархия, а структура свойства типа измеритель

– иерархия или куб. Контейнерами статусов выступают факторы, структура которых является списком. Контейнерами интервалов времени (периодов) являются стандартные типы периодов. Структурой контейнера периодов является иерархия. Каждый период является элементом типа периода и представляет собой отрезок времени между двумя датами.

Задачей синхронизатора как синхронизатора метаданных является сопоставление этих общих сущностей в базах данных различных ИАС с помощью кодов различных систем кодирования.

Для корректной и автоматической работы синхронизатора как службы для передачи и приема данных, необходимо, чтобы интегрируемые информационно-аналитические системы имели встроенный анализатор метамодели. Анализатор метамодели (в случае ТОФИ – анализатор ТОФИ-модели) предназначен для формирования метаданных в виде XML-файла и хранения различных их версии в базе данных, а также для выгрузки метаданных во внешний XML-файл. При синхронизации метаданных синхронизатор работает с XML-файлом, полученным от анализатора.

Структура XML-файла для передачи метаданных состоит из двух частей: заголовок файла и тело файла. В заголовке файла указываются ссылочные или описательные метаданные: тип СУБД, наименование базы данных, аннотация базы данных, тип базы данных (ТОФИ-база или другая), номер версии метаданных, дата и время формирования метаданных, интервал изменений базы данных (если передается не все метаданные, а только изменения метаданных).

Среда формирования отчетов и уведомления пользователей предназначена для настройки отчетов, их формирования по заданному расписанию, настройки автоматического запуска алгоритмов, выявления аномалий в результатах расчетов и уведомления пользователей об отклонениях в результатах расчетов. В данной среде может производиться поиск проблемных тенденций с помощью заранее настроенных алгоритмов, например, алгоритма комплексной оценки.

Среда поддержки бизнес процессов и обмена сообщениями предназначена для настройки бизнес процессов работы с подсистемами. В этой среде происходит настройка бизнес процессов, а остальные подсистемы могут использовать эти бизнес процессы внутри себя. Например, для среды моделирования можно настроить бизнес процесс по изменению ТОФИ-модели, для среды обмена сообщениями можно настроить бизнес процесс по обработке сообщений, и т.д. Данная среда позволяет отправлять пользователям сообщения друг другу с привязкой к бизнес процессам или без привязки.

Среда работы с регистрами – отдельный сервер приложений, поддерживающий бизнес процессы работы с регистрами. Регистром является специальный тип объектов, имеющий большое количество объектов и хранящийся в отдельной базе данных. Создание и описание типа объектов производится в среде моделирования. Основными функциональными возможностями среды работы с регистрами является формирование выборки из регистра, проведение операций агрегирования и расчетов и формирование стандартных кубов на основе расчетов и агрегаций.

Портал ТОФИ представляет собой единую точку входа во все другие подсистемы ТОФИ, которые настроены с помощью сред разработки. В портале можно отображать результаты работы любых подсистем для конечного пользователя, а также портал имеет собственные функциональные возможности по отображению различных виджетов (новости, календарь).

Настоящая статья написана в рамках гранта «Совершенствование методологии и разработка инструмента технологии моделирования и мониторинга состояний сложных систем ТОФИ», направленного на технологические и социальные инновации. Шифр 0051/ГФ1.

Список литературы

- [1] Отчет о научно-исследовательской работе «Совершенствование методологии и разработка инструмента технологии моделирования и мониторинга состояний сложных систем ТОФИ». Астана 2012. - 184 стр.

УДК 004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕБЕСТОИМОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ТОФИ

Л.М. Досанова, Ф.Е. Исмагулова, А.М. Теллы

«Компания системных исследований «Фактор»

Abstract. The article discusses the information system of calculating the prime costs of technological processes of railway freight on the basis of TOFI technologies. The article also describes the basic idea of a multidimensional factor-balance method of calculating the actual cost of railway transport.

Keywords: TOFI technology, factor-balance method, the cost of railway freight.

Андатпа. Бұл мақалада ТОФИ технологиясының негізінде темір жол жүк тасымалы технологиялық процестерінің өзіндік құнын есептеу ақпараттық жүйесі қарастырылған. Соңдай-ақ, темір жол жүк тасымалының нақты өзіндік құнын есептеудің көпөлшемді факторлық-баланстық әдісінің негізгі идеясы сипатталған.

Кілттік сөздер: ТОФИ технологиясы, факторлық-баланстық әдіс, темір жол жүк тасымалының өзіндік құны.

Аннотация. В статье рассматривается информационная система расчета себестоимости технологических процессов перевозки грузов железнодорожным транспортом на основе технологии ТОФИ. Также в статье описана основная идея многомерного факторно-балансового метода расчета фактической себестоимости железнодорожных перевозок.

Ключевые слова: технология ТОФИ, факторно-балансовый метод, себестоимость грузовых перевозок.

Современный период развития цивилизованного общества характеризует процесс информатизации. Информатизация общества – это глобальный социальный процесс, особенность которого состоит в том, что доминирующим видом деятельности в сфере общественного производства является сбор, накопление, производство, обработка, хранение и передача информации, осуществляемые на основе современных средств и вычислительной техники, а также на базе разнообразных средств информационного обмена или информационных технологий.

Новые информационные технологии значительно расширяют возможности использования информационных ресурсов в различных отраслях. Новые информационные технологии являются неотъемлемой частью информационного общества современного мира. В стремительно развивающиеся стране, как Казахстан появление новых информационных технологий лишь усилил

процесс развития. На Казахстанском рынке информационных технологий более 10 лет успешно применяется технология мониторинга и моделирования сложных систем – ТОФИ [1]. Название технологии ТОФИ образовано из первых букв основных объектов этой технологии: «Тип объекта», «Отношение между типами», «Фактор», «Измеритель». Автором этой технологии, является канд. физ.-мат. наук, доцент М.Б. Габбасов.

В ТОФИ предметная область представляется в виде совокупности взаимодействующих между собой объектов, и состояние предметной области однозначно определяется состояниями этих объектов. Объекты, которые необходимо рассматривать для описания состояния предметной области определяются рассматриваемой целью исследования. С помощью данной инструментальной среды возможно создание моделей любой предметной области. Для этого пользователю необходимо усвоить понятийный аппарат данной технологии, который основывается на объектно-ориентированном подходе. Помимо сущностей ООП, в ТОФИ имеются и другие сущности, которые предназначены для описания свойств объектов. После того, как пользователем были усвоены сущности ТОФИ и их предназначение, приступают к основному процессу, т.е. моделированию. При этом пользователь строит модель, так как ему удобно и нужно без каких либо ограничений. Далее, модель может быть наполнена информационным содержанием, и может применяться для мониторинга, проведения различных расчетов, заранее реализованных в модуле разработки модели. Инструмент ТОФИ состоит из трех приложений и универсальной базы данных для хранения самой модели и значений свойств объектов модели. Приложение «ТОФИ-модель» предоставляет в распоряжение пользователя все возможные по конструированию модели, приложение «ТОФИ-окно данных» предназначено для наполнения модели информационным содержанием и проведения различных расчетов с помощью встроенных алгоритмов, дополнительное приложение «ТОФИ-администратор» создает новые базы данных пользователей, определяет права доступа пользователей и осуществляет другие сервисные возможности работы с базами данных [2].

База данных системы отвечает за целостность и сохранность данных. База данных должна иметь структуру типа хранилища данных, для хранения большого объема информации и обеспечения высокой скорости обработки запросов к базе данных. Основным требованием к структуре базы данных является возможность добавления в базу информацию о новых объектах, не меняя структуры базы. Это связано с проводимым процессом реструктуризации и реформирования железнодорожной отрасли, что может привести к появлению новых объектов в модели. Поэтому наиболее оптимальным вариантом является база данных технологии ТОФИ, которая имеет структуру типа «снежинка» и предоставляет возможность моделировать и хранить любые финансово-экономические отношения. Структура базы данных нормализована на уровне третьей нормальной формы. Более того, в технологии ТОФИ реализованы стандартные функции администрирования базы данных.

Подсистема администрирования позволяет администратору системы контролировать работу сервера БД, в случае технических неисправностей, производить резервное копирование БД, импортировать и экспорттировать данные, регистрировать пользователей.

Подсистема моделирования предметной области («окно модели» в технологии ТОФИ) должна позволять аналитику системы, моделировать структуру информации предметной области, и сохранять ее в базу данных. Моделирование структуры информации технологом должно производиться в специально разработанной среде моделирования ТОФИ. В случае выделения некоторых участников перевозочного процесса (например, оператора МЖС) в отдельное предприятие, могут измениться номенклатура расходов, расходные измерители, механизмы расчета себестоимости и

др. Поэтому подсистема моделирования должна включать возможность создания и настройки новых алгоритмов расчета технологом.

Подсистема моделирования предметной области также должна позволять технологу создавать и настраивать стандартные окна данных для аналитика.

Подсистема обработки данных («окно данных» в технологии ТОФИ) отвечает за проведение расчетов, анализ данных. Подсистема должна иметь прямой доступ к данным, хранящимся на сервере базы данных. Система должна иметь возможность конструировать различные окна данных, в зависимости от потребностей конечного пользователя (аналитика).

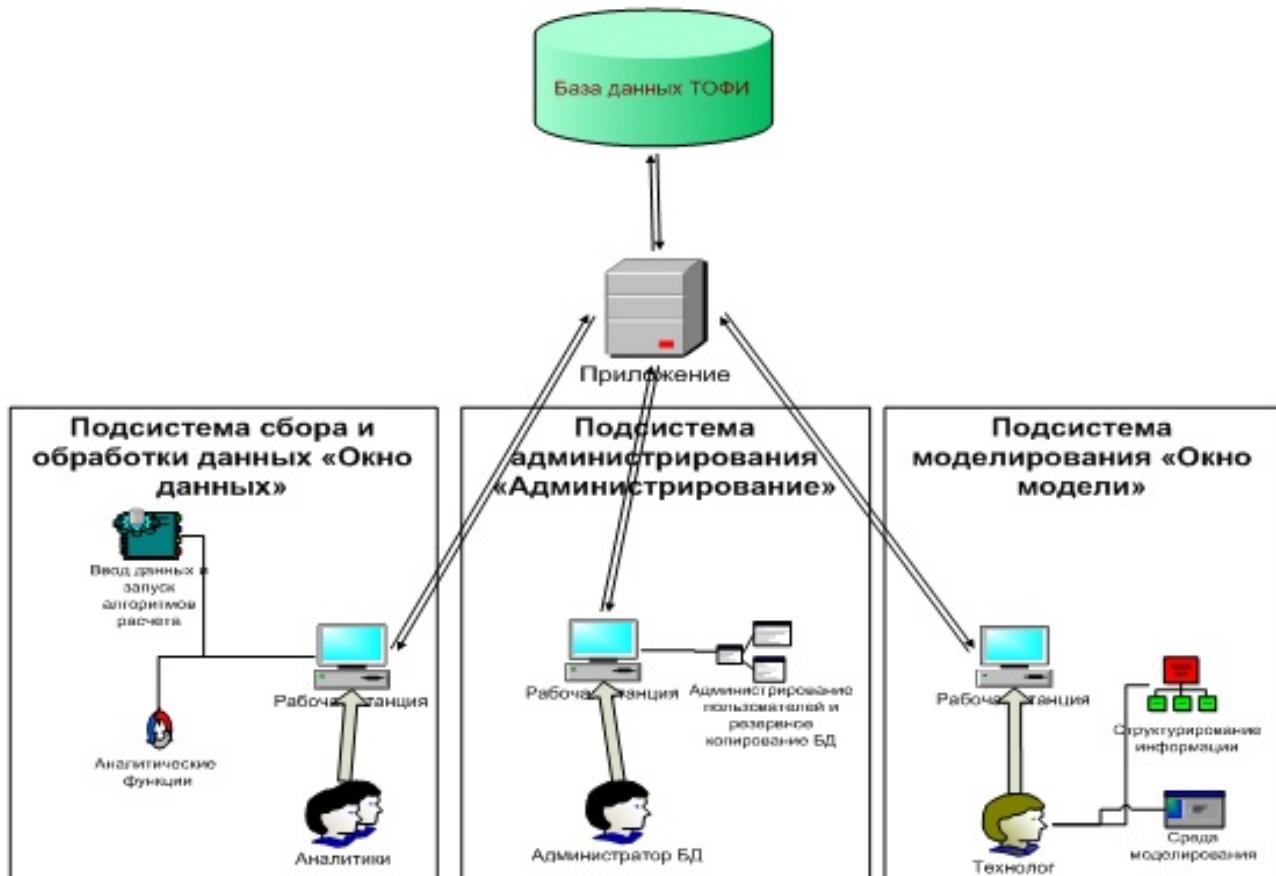


Рисунок 1 Диаграмма компонентов

Сегодня с помощью ТОФИ технологии можно решить любую сложнейшую задачу, где для решения понадобится немало времени.

На основании технологии ТОФИ была реализована информационная система расчета себестоимости технологических процессов перевозки грузов железнодорожным транспортом с помощью факторно-балансового метода.

Назначение этой информационной системы - расчет себестоимости грузовых перевозок на основе факторно – балансового метода расчета себестоимости, а также анализ затрат и себестоимости, с визуализацией полученных результатов на электронной карте ТОФИ.

Информационная система производит:

- расчет производственной фактической себестоимости;
- расчет полной фактической себестоимости;

- расчет себестоимости конкретной перевозки грузов;
- расчет плановой себестоимости;
- визуализация расчета себестоимости на электронной карте.

Основные сущности ТОФИ для построения модели можно условно разделить на следующие группы:

1. Вспомогательные сущности;
2. Сущности для определения свойств;
3. Сущности для определения конструкций из свойств;
4. Сущности для формирования структур из конструкций свойств;
5. Алгоритмы;
6. Данные.

Идея многомерного факторно-балансового метода расчета фактической себестоимости железнодорожных перевозок основана на расходовании измерителей (объемов выполненных работ) по операциям перевозочного процесса. Факторно-балансовый метод строится на основе трех деревьев: дерева факторов, дерева операций перевозочного процесса (ОПП) и дерева измерителей участников перевозочного процесса (УПП).

Дерево факторов на первом уровне состоит из всех факторов, учитываемых в факторно-балансовом методе, а на остальных уровнях – из значений факторов. Количество факторов учитываемых в методе определяет размерность метода.

В процессе перевозки грузов или подвижных единиц грузовой перевозчик осуществляет операции перевозочного процесса, которые являются составляющими услуги. Под операциями перевозочного процесса в факторно-балансовом методе расчета себестоимости грузовых железнодорожных перевозок понимаются те операции, которые связаны непосредственно с технологическим процессом перевозки и обслуживания груза, в результате которых перевозчиком будет оказана транспортная услуга клиенту.

Так, в целях перемещения объекта перевозки со станции отправления до станции назначения операции осуществления конкретной грузовой перевозки выполняются в следующей последовательности:

- операции предварительной подготовки подвижного состава;
- операции обслуживания клиентов в начале и конце перевозки;
- операции образования поезда и его перемещения.

В соответствии с п. 95 Правил перевозки грузов Перевозчик подает под погрузку исправные, очищенные внутри и снаружи, а в необходимых случаях промытые и продезинфицированные, годные для перевозки конкретных грузов вагоны, контейнеры со снятыми приспособлениями для крепления, за исключением несъемных, независимо от принадлежности. Таким образом, операции предварительной подготовки подвижного состава относятся к начальным операциям технологического процесса оказания услуги Перевозчиком.

Операции обслуживания клиентов в начале и конце перевозки, т.е. элементы перевозочного процесса, связанные с документальным приемом груза для перевозки и документальной выдачей его грузополучателю, относятся к начальной и конечной операциям по грузовым перевозкам, технологического процесса оказания услуги Перевозчиком.

После приема груза к перевозкам от грузоотправителя формируются поезда из груженых вагонов. В этих целях используются сервисы Организатора грузовых перевозок, Перевозчика. Операции образования поезда относятся к техническим операциям на станциях технологического процесса оказания услуги и состоят из операций с транзитными вагонами с переработкой и специальных операций с грузами на станциях.

Операции перемещения поезда относятся к движеческим операциям и состоят из следующих операций:

- движение груженого вагона в составе поезда;
- движение порожнего вагона в составе поезда;
- движение других подвижных единиц в составе поезда;
- вспомогательная работа локомотива;
- сопровождение поездов.

Таким образом, на первом уровне дерево операций перевозочного процесса на железнодорожном транспорте можно разделить на следующие четыре основные группы операций: начальные операции, технические операции на станциях, движеческие операции и конечные операции.

Операции перевозочного процесса, входящие в указанные группы, определены на основе методики раздельного учета доходов, расходов и задействованных активов. Объем каждой операции перевозочного процесса измеряется определенным измерителем, который может зависеть от факторов. Значения факторов, от которых зависит объем операции, порождают дочерние показатели, образованные от этих значений факторов, что обеспечит изменение объемов операций при учете влияния на себестоимость различных факторов.

Детализация уровня операций перевозочной деятельности позволяет уточнить расчет себестоимости и получить долю данных операций в себестоимости грузовых железнодорожных перевозок. Перечень операций перевозочного процесса и факторы, от которых они зависят, приведены в приложении 5 к настоящему отчету. Зависимость объемов операций от факторов позволяет более точно учитывать влияние факторов на себестоимость и определять долю каждой операции в себестоимости, что повышает качество расчета средней и конкретной себестоимости.

Дерево расходных измерителей УПП на первом уровне состоит из расходных измерителей основных показателей работ участников перевозочной деятельности, а на остальных уровнях – подизмерителей, отражающих зависимость от значения соответствующих факторов.

Алгоритм расчета себестоимости грузовых железнодорожных перевозок факторно-балансовым методом реализуется в три этапа:

- расчет матрицы удельных объемов;
- расчет матрицы удельных расходов;
- расчет себестоимости услуги.

Балансовая матрица удельных объемов строится по следующему алгоритму:

- по строкам записываются объемы работ, называемые расходными измерителями;
- по столбцам – операции перевозочного процесса.

Приведем на схеме основной принцип построения балансовой матрицы удельных объемов.

		Услуга 1		Услуга 2		Величина расходного измерителя	
		Доходный измеритель 1		Доходный измеритель 2			
		Операции перевозочного процесса					
		1		j			
Расходные измерители работ	1	a_{11}	...	a_{1j}	...	a_{1n}	
	
	I	a_{i1}	...	a_{ij}	...	a_{in}	
	m	a_{m1}	...	a_{mj}	...	a_{mn}	
		Q_1	...	Q_j	...	Q_n	

Рисунок 2 Принципиальная схема балансовой матрицы удельных объемов

где: A - балансовая матрица удельных объемов, элементы которой отражают удельные объемы i-ого расходного измерителя в j-ой операции перевозочного процесса;

Q_i - объем i-ой работы (операции перевозочного процесса);

P – вектор значений расходных измерителей.

Между Q и P имеет место следующее балансовое соотношение: $A * Q = P$

Для построения балансовой матрицы удельных объемов выбирается вектор объемов работ Q. Работа Q_j с одной стороны должна обеспечивать четкое распределение расходных измерителей, входящих в операцию перевозочного процесса, с другой стороны должна зависеть от тех же факторов, от которых зависят эти расходные измерители. Например, в качестве Q можно было бы взять объем тонно-км нетто для всех операций перевозочного процесса, но это привело бы к сложному выражению для элементов матрицы A и повлекло бы большие погрешности. Поэтому в качестве Q_j следует выбирать работы наиболее полно и точно отражающий характер и свойства j-ой операции перевозочного процесса.

Таким образом, балансовая матрица удельных объемов представляет собой удельные объемы расходных измерителей, приходящихся на каждую операцию перевозочного процесса.

Для построения элементов a_{ij} матрицы удельных объемов руководствуются следующей логикой. Объем каждого i-го расходного измерителя «размажем» по операциям перевозочного процесса по всем услугам так, что $S_i = \sum_j s_{ij}$ где s_{ij} - объем i-го расходного измерителя, отнесенный на j-ую операцию перевозочного процесса. То есть, при выполнении перевозочного процесса грузовой перевозчик осуществляет свои услуги в определенном объеме за определенный период, соответственно за этот период грузовой перевозчик выполняет определенный объем операций перевозочного процесса в объеме Q_j . При выполнении указанных операций принимают участие соответствующие участники перевозочного процесса, объемы работ которых измеряются объемами расходных измерителей S_i . Из технологического процесса производства услуг очевидно,

в каких операциях участвует каждый участник перевозочного процесса и какие измерители в каком объема расходуются на выполнение полученных объемов операций. Поделив количество расходных измерителей s_{ij} приходящееся на на j -ую операцию на объем этой операции, получим объем расходного измерителя, приходящийся на единицу операции, который обозначим через a_{ij} . Матрица с элементами a_{ij} есть матрица удельных объемов, $a_{ij} = \frac{s_{ij}}{Q_j}$ для любых i, j . Элементы a_{ij} матрицы удельных объемов имеет единицу измерения $\frac{[S_i]}{[Q_j]}$, где $[Q_j]$ - единица измерения j -ой операции, $[S_i]$ - единица измерения i -ого расходного измерителя.

Из определения матрицы удельных объемов получаем балансовое соотношение $\sum_j a_{ij} * Q_j = S_i$, для любых i . Выполнение данных балансовых соотношений гарантирует точность учета всех расходов, отнесенных на каждую услугу.

Кроме того, каждый измеритель и каждая операция зависят от факторов и их значения представляют собой многомерный куб, соответственно каждый элемент матрицы удельных объемов также зависит от факторов. Для учета влияния этих факторов на себестоимость, при расчете элементов матрицы удельных объемов, значения элементов a_{ij} будут меняться в зависимости от фиксированных значений факторов. При этом балансовые соотношения сохраняются, что позволяет правильно учитывать расходы, отнесенные на каждую операцию при фиксированных значениях факторов.

Далее, умножая каждую строку матрицы удельных объемов на соответствующий вектор расходной ставки, получим трехмерную матрицу удельных расходов $b_{ij}^k : b_{ij}^k = a_{ij} * r_i^k$, где k – номер элемента затрат. Элемент матрицы удельных расходов b_{ij}^k показывает объем k -го элемента затрат на единицу j -ой операции за счет i -го расходного измерителя. Элементы b_{ij}^k матрицы удельных расходов имеют единицу измерения $\frac{tenge}{[Q_j]}$. Выбирая в качестве расходной ставки, зависящие расходные ставки, условно-постоянные расходные ставки и полные расходные ставки мы получаем три трехмерных куба – матриц удельных расходов. Если теперь сложить элементы матрицы удельных расходов по всем расходным измерителям мы получим себестоимости (зависящие, условно-постоянные, полные) каждой операции d_j^k , разложенные по элементам затрат: $d_j^k = \sum_i b_{ij}^k$.

Обозначим через \tilde{b}_{ij}^k , \bar{b}_{ij}^k , b_{ij}^k , соответственно зависящую, условно-постоянную и полную матрицы удельных расходов, а через \tilde{d}_j^k , \bar{d}_j^k , d_j^k – зависящие, условно-постоянны и полные себестоимости j -ой операции. Тогда $\tilde{b}_{ij}^k = a_{ij} * \bar{r}_j^k$, $\bar{b}_{ij}^k = a_{ij} * \bar{r}_j^k$, $b_{ij}^k = a_{ij} * r_j^k$, $\tilde{d}_j^k = \sum_i \tilde{b}_{ij}^k$, $\bar{d}_j^k = \sum_i \bar{b}_{ij}^k$, $d_j^k = \sum_i b_{ij}^k$.

В факторно-балансовом методе для каждой операции задается удельный объем операции, то есть объем операции, приходящийся на единицу доходного измерителя услуги.

Умножая себестоимость каждой операции на ее удельный объем и складывая их по всем операциям конкретной услуги или конкретного доходного измерителя получим себестоимость этой услуги или доходного измерителя услуги. Таким образом, зависящая, условно-постоянная и полная себестоимости услуги вычисляются по формулам:

$$\tilde{c}^k = \sum_j \tilde{d}_j^k * u_j, \bar{c}^k = \sum_j \bar{d}_j^k * u_j, c^k = \sum_j d_j^k * u_j,$$

где \tilde{c}^k , \bar{c}^k , c^k - k -ый элемент затрат зависящей, условно-постоянной и полной себестоимости.

Сумма зависящей и условно-постоянной себестоимости дает производственную себестоимость, то есть $c_{pr}^k = \tilde{c}^k + \bar{c}^k$.

Приведенный алгоритм позволяет получить значение себестоимости не только по элементам затрат, но и по операциям услуги, а также по участникам перевозочного процесса, что видно из

приведенных ниже окончательных формул расчета себестоимости.

$$c = \sum_i \sum_j \sum_k b_{ij}^k * u_j,$$

Зависящая и условно-постоянная части себестоимости определяются формулами:

$$\tilde{c} = \sum_i \sum_j \sum_k \tilde{b}_{ij}^k * u_j,$$

$$\bar{c} = \sum_i \sum_j \sum_k \bar{b}_{ij}^k * u_j,$$

Производственная себестоимость определяется формулой

$$c_{pr} = \sum_i \sum_j \sum_k (\tilde{b}_{ij}^k + \bar{b}_{ij}^k) * u_j,$$

где u_j - удельные объемы операций соответствующей услуги.

Для учета влияния факторов на себестоимость перед расчетом зафиксируем значения одного или нескольких факторов. Тогда при расчете вместо расходных измерителей и объемов операций перевозочного процесса, а также вместо расходных ставок необходимо использовать значения соответствующих дочерних показателей, образованных от зафиксированных значений факторов.

Таким образом с помощью данной инструментальной среды возможно создание моделей любой предметной области. Для этого пользователю необходимо усвоить понятийный аппарат данной технологии, который основывается на объектно-ориентированном подходе (ООП). Помимо сущностей ООП, в ТОФИ имеются и другие, которые предназначены для описания свойств объектов. После того, как пользователем были усвоены сущности ТОФИ и их назначение, приступают к основному процессу, т.е. моделированию. При этом пользователь строит модель, так как ему удобно и нужно, без каких либо ограничений. Далее модель может быть наполнена информационным содержанием, и может применяться для мониторинга, проведения различных расчетов, заранее реализованных в модуле разработки модели.

Список литературы

- [1] Габбасов М.Б. Новая информационная технология моделирования и мониторинга состояния сложных систем // Тезисы докладов международной конференции «Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика», посвященной 80-летию академика Н.Н. Яненко. Новосибирск, 24 – 29 июня 2001 г.
- [2] Техническое задание 39661901.21915.001 ТЗ. Автоматизированная информационная система «Расчет себестоимости услуг оператора магистральной железнодорожной сети». Астана, 2008 г.
- [3] Габбасов М.Б. Технология ТОФИ для моделирования и мониторинга состояния сложных систем. Тезисы докладов международной конференции «Информационные технологии на железнодорожном транспорте ИНФОТРАНС-2001». Сочи, 10 – 14 октября 2001 г.

УДК 532.3

ГЛОБАЛЬНЫЕ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ФУРЬЕ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА

А.А. Дурмагамбетов, Л.С. Фазылова

Компания системных исследований 'Фактор'

Abstract. The article considers the estimation of the derivatives of Fourier transforms of the Cauchy problem for the Navier-Stokes equations. received global estimates for these derivatives are obtained for the global uniform estimates for these derivatives

Keywords: Fourier transform, Cauchy problem, Navier-Stokes equations.

Аннотация. Ақтапта. Мақалада Навье-Стокс теңдеулеріне қойылған Коши есебінің шешімдерінің Фурье түрлендірулерінің туындыларының априорлық бағалаулары қарастырылған.

Кілттік сөздер: Навье-Стокс, Коши, Фурье.

Аннотация. В работе получены равномерные оценки производных преобразований Фурье решений задачи Коши для уравнений Навье-Стокса.

Ключевые слова: Навье-Стокса, Коши, образования, Фурье.

Введение

В многочисленных исследованиях по уравнениям Навье-Стокса исследуется вопрос о гладкости решений этих уравнений. Хороший обзор по этим вопросам имеется в [1], [2].

Классические результаты в этом направлении относятся к дифференцируемости решений по пространственным переменным.

Дифференцируемость решений действительно один важнейших аспектов исследования поведения решений уравнений, так отвечает на многие вопросы поведения решений в настоящем будущем.

В самое главное назначение этих исследований это их отношение к турбулентности. Очевидно дифференцируемые решения не приводят к описанию турбулентности. Но с другой стороны получить глобальную разрешимость и дифференцируемость не удается поэтому остается вопрос когда эти уравнения описывают турбулентность. Поэтому появляются вопросы каковы свойства преобразования Фурье решений уравнений Навье-Стокса и как они относятся к вопросу турбулентности, и являются они дифференцируемыми. Ответив на вопрос о дифференцируемости преобразования Фурье решений уравнений Навье-Стокса, мы подходим в плотную к вопросу о появлении или исчезновении резонансов. Т.е при дифференцируемости преобразования Фурье решений уравнений Навье-Стокса означает что не существуют больших потоков энергии от малых гармоник к большим что означает невозможности возникновении турбулентности. Таким образом получение равномерных глобальных оценок преобразования Фурье решений уравнений Навье-Стокса показывает что и сам принцип моделирования сложных течений и расчетов должен обосновываться в терминах преобразований Фурье. Авторы продолжают заниматься этими

вопросами в рамках моделирования сложных метеорологических вопросах прогнозирования погоды и данная статья является теоретическим обоснованием этого подхода.

Задача Коши для уравнений Навье-Стокса

Рассмотрим задачу Коши для системы уравнений Навье-Стокса:

$$q_t - \nu \Delta q + \sum_{k=1}^3 q_k q_{x_k} = -\nabla p + F_0(x, t), \quad \operatorname{div} q = 0, \quad (1)$$

$$q|_{t=0} = q_0(x) \quad (2)$$

в области $Q_T = R^3 \times (0, T)$. Относительно q_0 предположим, что

$$\operatorname{div} q_0 = 0. \quad (3)$$

Задача (1), (2), (3) имеет, по крайней мере, одно слабое решение (q, p) в так называемом классе Лерэй-Хопфа [1].

Приведем известные утверждения, доказанные в [1].

Теорема 1 Если

$$q_0 \in W_2^1(R^3), \quad f \in L_2(Q_T), \quad (4)$$

то существует единственное обобщенное решение задачи (1), (2), (3) в Q_{T_1} , $T_1 \in [0, T]$, удовлетворяющее следующим условиям:

$$q_t, q_{xx}, \quad \nabla p \in L_2(Q_T). \quad (5)$$

Отметим, что T_1 зависит от q_0, f .

Лемма 1 Пусть $q_0 \in W_2^1(R^3)$, $f \in L_2(Q_T)$, тогда

$$\sup_{0 \leq t \leq T} \|q\|_{L_2(R^3)}^2 + \int_0^t \|q_x\|_{L_2(R^3)}^2 d\tau \leq \|q_0\|_{L_2(R^3)}^2 + \|F_0\|_{L_2(Q_T)}. \quad (6)$$

Наша цель получить глобальные оценки производных преобразований Фурье решений уравнений Навье-Стокса (1), (2), (3) без условий малости начальной скорости и силы.

Получим для этого равномерные по времени оценки. Используем следующие обозначения:

$$\tilde{q}(k) = \int_{R^3} q(x) e^{i(k \cdot x)} dx, \quad \tilde{q}(k-l) = \int_{R^3} q(x) e^{i(k-l \cdot x)} dx, \quad (7)$$

$$\tilde{q}_{\text{cp}}(k) = \int_{R^3} \tilde{q}(k-l) \delta(|k|^2 - |l|^2) dl, \quad z = |k| \quad (8)$$

Утверждение 1. Решение задачи (1), (2), (3) из теоремы 1 удовлетворяет следующему равенству:

$$\tilde{q}(z(e_k - e_\lambda), t) = \tilde{q}_0(z(e_k - e_\lambda)) + + \int_0^t e^{-\nu z^2 |e_k - e_\lambda|(t-\tau)} ((q, \tilde{\nabla}) q + \tilde{F})(z(e_k - e_\lambda), \tau) d\tau, \quad (9)$$

где $F = -\nabla p + F_0$.

Доказательство следует из определения преобразования Фурье и формул для линейных дифференциальных уравнений.

Лемма 2 Решение задачи (1), (2), (3) из теорем 1 удовлетворяет равенству

$$\tilde{p} = \sum_{i,j} \frac{k_i k_j}{|k|^2} q_i \tilde{q}_j + i \sum_i \frac{k_i}{|k|^2} \tilde{F}_i \quad (10)$$

и следующим оценкам:

$$\|p\|_{L_2(R^3)} \leq 3 \|q_x\|_{L_2(R^3)}^{\frac{3}{2}} \|q\|_{L_2(R^3)}^{\frac{1}{2}}, \quad (11)$$

$$\left| \frac{\partial \tilde{p}}{\partial k} \right| \leq \frac{|\tilde{q}|^2}{|k|} + \frac{|\tilde{F}|}{|k|^2} + \frac{1}{|k|} \left| \frac{\partial \tilde{F}}{\partial k} \right| + 3 \left| \frac{\partial \tilde{q}^2}{\partial |k|} \right|; \quad (12)$$

Представление для p получим, используя div и преобразование Фурье. Оценки следуют из полученного представления.

Лемма 2 доказана.

Лемма 3 Решение задачи (1), (2), (3) из теоремы 1 удовлетворяет следующим неравенствам:

$$\sup_{0 \leq t \leq T} \left[\int_{R^3} |x|^2 |q(x, t)|^2 dx + \int_0^t \int_{R^3} |x|^2 |q_x(x, \tau)|^2 dx d\tau \right] \leq \text{const}, \quad (13)$$

$$\sup_{0 \leq t \leq T} \left[\int_{R^3} |x|^4 |q(x, t)|^2 dx + \int_0^t \int_{R^3} |x|^4 |q_x(x, \tau)|^2 dx d\tau \right] \leq \text{const}, \quad (14)$$

или

$$\sup_{0 \leq t \leq T} \left[\left\| \frac{\partial \tilde{q}}{\partial z} \right\|_{L_2(R^3)} + \int_0^t \int_{R^3} z^2 |\tilde{q}_k(k, \tau)|^2 dk d\tau \right] \leq \text{const}, \quad (15)$$

$$\sup_{0 \leq t \leq T} \left[\left\| \frac{\partial^2 \tilde{q}}{\partial z^2} \right\|_{L_2(R^3)} + \int_0^t \int_{R^3} z^2 |\tilde{q}_{kk}(k, \tau)|^2 dk d\tau \right] \leq \text{const}. \quad (16)$$

Доказательство следует из уравнений Навье-Стокса, первой априорной оценки, сформулированной в лемме 1, и из леммы 2.

Лемма 3 доказана.

Лемма 4 Решение задачи (1), (2), (3) из теоремы 1 удовлетворяет следующим неравенствам:

$$\max_k |\tilde{q}| \leq \max_k |\tilde{q}_0| + \frac{T}{2} \sup_{0 \leq t \leq T} \|q\|_{L_2(R^3)}^2 + \int_0^t \|q_x\|_{L_2(R^3)}^2 d\tau, \quad (17)$$

$$\max_k \left| \frac{\partial \tilde{q}}{\partial z} \right| \leq \max_k \left| \frac{\partial \tilde{q}_0}{\partial z} \right| + \frac{T}{2} \sup_{0 \leq t \leq T} \left\| \frac{\partial \tilde{q}}{\partial z} \right\|_{L_2(R^3)} + \int_0^t \int_{R^3} z^2 |\tilde{q}_k(k, \tau)|^2 dk d\tau, \quad (18)$$

$$\max_k \left| \frac{\partial^2 \tilde{q}}{\partial z^2} \right| \leq \max_k \left| \frac{\partial^2 \tilde{q}_0}{\partial z^2} \right| + \frac{T}{2} \sup_{0 \leq t \leq T} \left\| \frac{\partial^2 \tilde{q}}{\partial z^2} \right\|_{L_2(R^3)} + \int_0^t \int_{R^3} z^2 |\tilde{q}_{kk}(k, \tau)|^2 dk d\tau. \quad (19)$$

Эти оценки получим из представления 9, используя равенство Парсеваля, неравенство Коши-

Буняковского, утверждение леммы 3.

Лемма 4 доказана.

Лемма 5 Решение задачи (1), (2), (3) из теоремы 1 удовлетворяет следующим неравенствам:

$$|\tilde{q}_{\text{cp}}(z, t)| \leq zM_1, \quad \left| \frac{\partial \tilde{q}_{\text{cp}}(z, t)}{\partial z} \right| \leq zM_2, \quad \left| \frac{\partial^2 \tilde{q}_{\text{cp}}(z, t)}{\partial z^2} \right| \leq zM_3, \quad (20)$$

где M_1, M_2, M_3 ограничены.

Докажем первую оценку. Из определения для среднего от q и утверждения Лемм 3, Лемм 4 следуют неравенства

$$|\tilde{q}_{\text{cp}}(z, t)| \leq \frac{z}{2} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} |\tilde{q}(z(e_k - e_p), t)| de_p \leq 2\pi z \max_k |\tilde{q}| \leq zM_1, \quad (21)$$

где $M_1 = \text{const}$.

Остальные оценки доказываются аналогично.

Лемма 5 доказана. Лемма 6 Решение задачи (1), (2), (3) из теоремы 1 удовлетворяет неравенствам $C_i \leq \text{const}$, ($i = \overline{0, 2, 4}$), где

$$C_0 = \int_0^t |\tilde{F}_1|^2 d\tau, \quad F_1 = (q, \nabla)q + F, \quad C_2 = \int_0^t \left| \frac{\partial \tilde{F}_1}{\partial z} \right|^2 d\tau, \quad C_4 = \int_0^t \left| \frac{\partial^2 \tilde{F}_1}{\partial z^2} \right|^2 d\tau. \quad (22)$$

Доказательство следует из априорной оценки, леммы 1 и утверждения Лемм 3.

Лемма 6 доказана. Лемма 7 Пусть $q \in R$, $\max_k |\tilde{q}| < \infty$, тогда

$$\int_{R^3} \int_{R^3} \frac{q(x)q(y)}{|x - y|^2} dx dy \leq C(|q|_{L_2} + \max_k |\tilde{q}|)^2. \quad (23)$$

Используя теорему Планшереля, получим утверждение леммы.

Лемма 7 доказана.

Работа выполнена в рамках международного проекта "Совместные казахстанско-индийские исследования влияния антропогенных факторов на атмосферные явления на основе модели численного прогноза погоды WRF (Weather Research and Forecasting)" по заказу Министерства образования и науки РК.

Список литературы

- [1] Ladyzhenskaya O.A. Mathematic problems of viscous incondensable liquid dynamics. - M.: Science, 1970. - p. 288
- [2] Solonnikov V.A. Estimates solving nonstationary linearized systems of Navier-Stokes' Equations. - Transactions Academy of Sciences USSR Vol. 70, 1964. - p. 213 - 317.

УДК 004.94

ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ТОФИ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНОМ

Л.Б. Мейрамбекова, Н.А. Фишер

Научно-исследовательский институт экономики и информатизации транспорта, телекоммуникации

Abstract. This paper describes the ability to create automatically adaptable to the new conditions of functioning information-analytical system through the use of unchanged constant physical structure of the database TOFI.

The article covers the following questions:

- task management system region;
- automation process: requirements, characteristics and stages;
- conceptual framework for information models management system region;
- performance criteria for the automated system.

Keywords: domain knowledge, conceptual model of the system, entity.

Аннатпа. Берілген мақалада ТОФИ өзгерісіз тұрақты табиғи дереккөр құрылымының қолданысы салдарынан ақпаратты-талдау жүйесінің қызмет етуінің жаңа шарттарына автоматты бейімделген жасау мүмкіндіктері сипатталған.

Мақала келесідей сұрақтарды ашып көрсетеді:

- аймақты басқару сұрақтары;
- автоматтандыру процесстері: талаптар, негізгілері және кезеңдері;
- аймақты басқару жүйесі ақпараттық моделінің тұжырымдамалық сызбасы;
- автоматтандырылған жүйенің тиімділік белгілері.

Кілттік сөздер: заттық аймақ, жүйенің концептуальды моделі, негіз, ТОФИ.

Аннотация. В настоящей статье описаны возможности создания автоматически адаптируемой к новым условиям функционирования информационно-аналитической системы благодаря использованию неизменной постоянной физической структуры базы данных ТОФИ.

Статья раскрывает следующие вопросы:

- задачи системы управления регионом;
- процесс автоматизации: требования, особенности и этапы;
- концептуальная схема информационной модели системы управления регионом;
- критерии эффективности автоматизированной системы.

Ключевые слова: предметная область, концептуальная модель системы, сущность, ТОФИ.

Информационно-аналитическая поддержка управления регионом ориентирована на:

- 1) Мониторинг, комплексный анализ и оценка развития ситуации в регионе в сфере социально-экономических и общественно-политических процессов
- 2) Мониторинг и оценка оперативной обстановки в сфере общественной безопасности и чрезвычайных ситуаций в регионе
- 3) Мониторинг актуального состояния объектов, находящихся на контроле акимата, и контроль исполнения планов проведения работ

4) Анализ и оценка социально-экономического развития районов.

По сути, задачи мониторинга и анализа представляют собой следующий процесс:

- 1) Сбор объективных и субъективных данных о состоянии объектов, субъектов, процессов
- 2) Определение фактического состояния в комплексе
- 3) Выявление тенденций и динамики изменений
- 4) Выявление проблемных сфер и основных влияющих факторов.

Методы проведения мониторинга разнообразны и их применение зависит от изучаемой сферы деятельности или анализируемого направления (например, социально-экономическая сфера или темпы выполнения строительных работ) и принятых методик последующего анализа:

- получение первичных данных из информационных систем;
- получение статистической информации;
- проведение социологических опросов;
- фотосъемка;
- мониторинг СМИ.

При последующем проведении анализа по контролируемым параметрам так же используются различные методы, например:

- сравнение с целевыми показателями (план/факт);
- анализ направления и динамики изменений;
- сравнение с ретроспективным состоянием или динамикой;
- формирование агрегированных показателей и ранжирование рассчитанных значений,
- индикативный анализ.

Таким образом, можно выделить две особенности информационно-аналитической поддержки управления регионом:

1) Большой поток информации: показатели, определены различными нормативными и организационными актами и поступают из различных отраслевых и ведомственных структур. Поток этот постоянно меняется и растет, так как меняются решаемые задачи и окружающая действительность

2) Используются в основном интегральные (обобщенные) показатели, но всегда требуется обеспечивать оперативный переход к расшифровке полученного интегрального показателя для выявления основных влияющих первичных показателей. Интегральные показатели часто используются в качестве критериев достижения целей управления регионом и для определения ключевых направлений улучшения социально-экономической ситуации в регионе. Разработка подобных показателей сопровождается определением целевых значений, с которыми будет выполняться сопоставление получаемых результатов, проработкой регламента мониторинга, в процессе которого будет выполняться сбор показателей по различным источникам данных.

В процессе информационно-аналитической поддержки управления регионом выделяются три роли:

- Специалисты, занимающиеся подготовкой данных для принятия решений
- Специалисты, занимающиеся обнаружением и анализом социально-экономических, общественно-политических и техногенных угроз и кризисных ситуаций
- Лица, принимающие решения.

Специалисты – аналитики нуждаются в настраиваемом конструкторе с понятным интерфейсом моделирования и адаптируемом под поставленные задачи, а лица, принимающие решения – в информационных панелях, на которых размещается разнообразная информация.

В итоге, информационно-аналитическая система управления регионом (ИАС УР) должна представлять собой инструмент гибкой настройки и эксплуатации средств мониторинга, анализа и последующей оценки/прогнозирования ситуации в целях оперативных и стратегических задач региона.

Автоматизация данных задач предполагает следующие этапы:



Процесс создания ИАС для решения задач в сложных и слабоформализованных предметных областях характеризуется многократными изменениями в требованиях в связи с различными уточнениями и дополнениями функциональности и модели предметной области. Изменения в требованиях обусловливают необходимость внесения изменений в разработанные функциональные модули, структуру базы данных, базы знаний и пользовательский интерфейс информационно-аналитической системы. В свою очередь, необходимость модификации разрабатываемой системы на завершающих стадиях проекта, когда стоимость внесения изменений максимальна, может вызвать крах проекта или же создание некачественной ИАС. Исходя из специфики управления регионом структура информационной модели системы, должна предоставлять возможность оперировать любыми данными, представляя их в сколь угодно большом количестве измерений, легко расширяться и обрабатываться.

Реализация приведенных требований возможна с использованием ТОФИ – среды разработки информационно-аналитических систем поддержки принятия и оценки управленческих решений субъектов государственного управления и бизнеса. ТОФИ ориентирована на устранение основного недостатка существующей практики создания ИАС - сложности обеспечения диалога аналитика и соблюдении требований к динамике процесса анализа и обеспечения принятия решений. В основе продукта используется технология ТОФИ - методология изучения предметной области, которая определяет методы и этапы изучения предметной области, формализует основные сущности для построения модели предметной области, предлагает парадигму познания окружающей социальной и организационной среды и предназначена для применения конечными пользователями (аналитиками предметной области).

Использование технологической среды разработки информационно-аналитических систем поддержки принятия управленческих решений ТОФИ обеспечивает:

- 1) снижение трудоемкости разработки, последующего сопровождения и развития информационно-аналитических систем;
- 2) возможности автоматической адаптации разрабатываемых информационно-аналитических систем к новым условиям функционирования; в том числе:
- единство, полноту и динамичность метамоделей разрабатываемых информационно-аналитических систем;
 - доступность метамоделей разрабатываемых систем их пользователям;
 - интегрируемость разрабатываемых систем.

Данные преимущества возможны благодаря:

- 1) формированию неизменной постоянной физической структуры базы данных при достаточно широких возможностях изменения логической модели разрабатываемых систем;
- 2) самостоятельному управлению информационным полем разрабатываемых систем их пользователями (специалистами, не владеющими профессиональными знаниями в области проектирования и разработки информационных систем);
- 3) синхронизации различных моделей данных.

В настоящей статье описаны возможности создания автоматически адаптируемой к новым условиям функционирования информационно-аналитической системы благодаря использованию неизменной постоянной физической структуры базы данных ТОФИ.

Предметная область по технологии ТОФИ представляется в виде совокупности взаимодействующих между собой объектов и отношений между объектами, а состояние предметной области однозначно определяется состояниями этих объектов и отношений между объектами.

Объекты, которые необходимо рассматривать для описания состояния предметной области определяются рассматриваемой целью исследования.

Все выделенные объекты группируются в «типы объектов». Тип объекта состоит из конкретных объектов и определяет все качественные и количественные свойства этих объектов, т.е. тип объекта есть совокупность свойств, с помощью которых описываются состояния конкретных объектов этого типа.

Основные свойства объектов определяются с помощью понятий «фактор» и «измеритель». Кроме того, объекты могут иметь дополнительные свойства, которые называются атрибутами.

Объекты и отношения предметной области обычно существуют в некотором временном интервале, с течением времени одни объекты или свойства «умирают», другие – «рождаются». Поэтому, модели реальной предметной области являются динамическими, то есть зависящими от времени. Для составления динамических моделей в ТОФИ-технологии используется понятие интервалов жизни сущностей ТОФИ. Интервалом жизни экземпляра сущности ТОФИ называется временной промежуток, в течение которого данный экземпляр сущности существует в ТОФИ-модели. Вне интервала жизни экземпляр сущности не может участвовать в ТОФИ-модели как элемент этой модели.

Моделирование предметной области заключается в создании различных экземпляров сущностей ТОФИ и настройке их связей. Создание и внедрение системы «ИАС УР» ориентировано, прежде всего, на предоставление удобного инструмента, позволяющего:

- повысить качество анализа и сократить трудоемкость периодически повторяющихся операций:
- а) по обновлению аналитических данных;
- б) по построению их наглядных представлений и публикации;

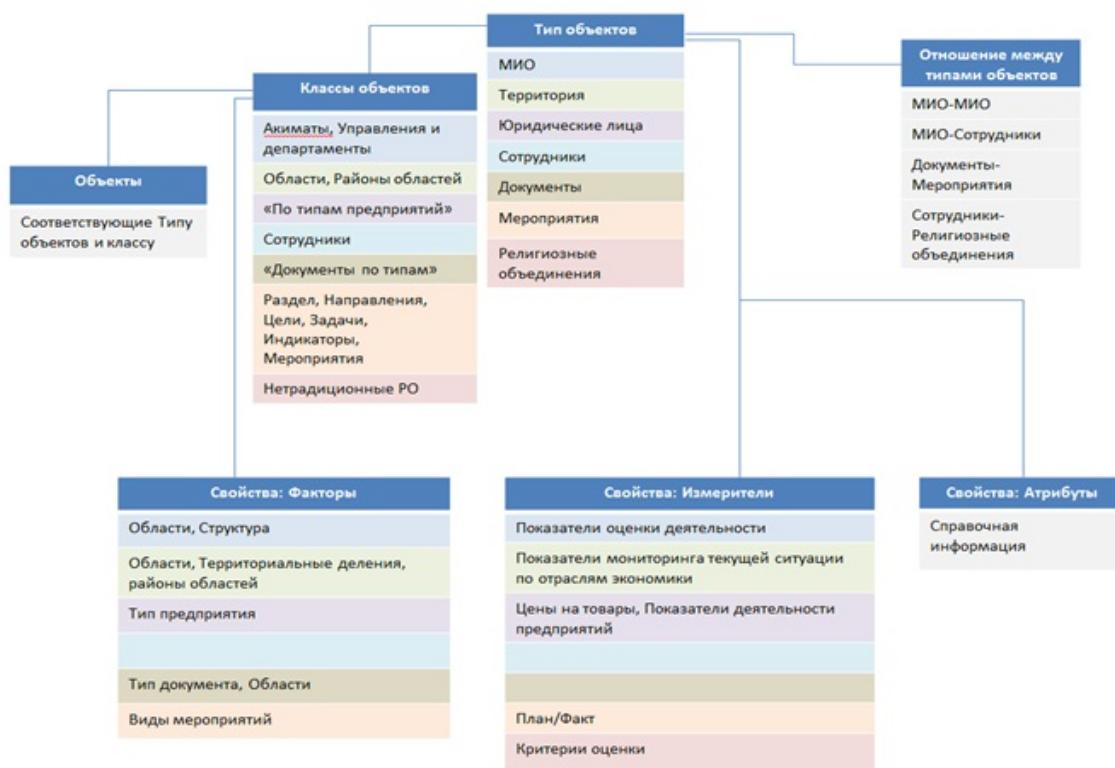


Рисунок 1 Концептуальная схема информационной модели ИАС УР В ТОФИ

- предоставить основания и увеличить время аналитиков:
- а) на качественную интерпретацию результатов;
- б) на творческие работы по исследованию новых факторов и методов анализа.

УДК 517.946

КОМПАКТНОСТЬ РЕЗОЛЬВЕНТЫ ОБЩЕЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДВУХ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА НА ПЛОСКОСТИ

К.Н. Оспанов

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Abstract. Discreteness conditions for the spectrum of the operator generated by the general system of two elliptic partial differential equations on the plane, and two-sided estimates of singular numbers of its resolutions are given.

Keywords: elliptic system, the separability of the operator, discreteness of the spectrum, compactness of the resolvent.

Андратпа. Жазықтықтағы дербес туындылы екі тендеулердің жалпы эллиптикалық жүйесін туындаған оператор спектрінің дискреттілік шарты, сонымен қатар оның резольвентасының сингулярлы сандарының екі жақты бағалаулары келтірілген

Кілттік сөздер: эллиптикалық жүйе, оператордың бөліктенуі, спектрдің дискреттілігі, резольвентаның компактылығы.

Аннотация. Приводятся условия дискретности спектра оператора, порожденного общей эллиптической системой двух уравнений в частных производных на плоскости, а также двухсторонние оценки сингулярных чисел ее резольвенты.

Ключевые слова: эллиптическая система, разделимость оператора, дискретность спектра, компактность резольвенты.

Известно, что общая эллиптическая система двух уравнений в частных производных на плоскости, когда старшие коэффициенты являются ограниченными функциями переменных x и y , приводится к виду

$$\begin{cases} -v_y + a_{11}u_x + a_{12}u_y + a_1u + a_2v = f \\ u_y + a_{21}v_x + a_{22}v_y + a_3u + a_4v = g. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $a_{ij} = a_{ij}(x, y)$, $a_k = a_k(x, y)$ ($i, j = 1, 2$, $k = \overline{1, 4}$). Система (1) описывает реальные процессы в динамике жидкости и газа, теории поверхностей и оболочек, квантовой механике, а также применяется для изучения свойств квазиконформных и других отображений. Наиболее яркими представителями таких систем являются обобщенная система Коши-Римана (случай $a_{11} = a_{22} = 1$, $a_{12} = a_{21} = 0$) и система Бельтрами. В ограниченной области краевые задачи для системы (1) изучались в многочисленных работах, относительно полный их список можно найти в монографиях [1-3]. Для решения краевых задач применялись, в основном, методы теории функций комплексного переменного и интегральных уравнений. В случае неограниченной области система (1) исследована в меньшей мере, в основном, методами краевых задач [1-3], в предположении, что все коэффициенты a_k ($k = \overline{1, 4}$) стремятся к нулю около бесконечности (посточечно, или в среднем). Если хотя бы один из коэффициентов a_k ($k = \overline{1, 4}$) строго отделен от нуля (сингулярный случай), методы работ [1-3] не применимы, поэтому возникают сложности в изучении свойств системы (1).

В настоящей работе исследуется сингулярная система (1). Нами приводятся теорема разделимости, условия дискретности спектра оператора, порожденного указанной системой, а также двухсторонние оценки сингулярных чисел ее резольвенты.

Обозначим

$$A_1 = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{21} \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} a_{12} & -1 \\ 1 & a_{22} \end{pmatrix}, \quad A_3 = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{pmatrix}, \quad \omega = (u, v), \quad F = (f, g).$$

Тогда левая часть системы записывается в виде

$$l\omega = \left(A_1 \frac{\partial}{\partial x} + A_2 \frac{\partial}{\partial y} + A_3 \right) \omega.$$

Пусть оператор l определен на множестве $C_0^{(1)}(R^2, R^2)$ непрерывно дифференцируемых и финитных вектор-функций, через L обозначим его замыкание по норме пространства $L_2 := L_2(R^2, R^2)$. Решением системы (1) будем называть функцию $\omega = (u, v) \in D(L)$, для которой найдется последовательность $\{\omega_n\}_{n=1}^\infty \subset C_0^{(1)}(R^2, R^2)$, такая, что $\|\omega_n - \omega\|_2 \rightarrow 0$, $\|l\omega_n - F\|_2 \rightarrow 0$ при $n \rightarrow +\infty$. Здесь $\|\cdot\|_2$ - норма в L_2 .

Достаточные условия разрешимости получены в [4].

Теорема 1 [4]. Пусть система (1) эллиптична, а функции a_{kl} ($k, l = 1, 2$) непрерывно диф-

дифференцируемы и равномерно ограничены, a_j ($j = \overline{1,4}$) ограничены в каждом компакте и

$$2a_1 - [| (a_{11})_x | + | (a_{12})_y |] \geq \delta_0 > 0, \quad (2)$$

$$(a_2 - a_3)^2 - 4\{a_1 - \delta - 0,5[| (a_{11})_x | + | (a_{12})_y |]\}\{-a_4 - \delta - 0,5[| (a_{21})_x | - | (a_{22})_y |]\} \leq 0, \quad (3)$$

$\delta > 0$. Тогда для любой правой части $F = (f, g) \in L_2$ решение системы (1) существует, единствено и для него имеет место оценка

$$\|L\omega\|_2 \geq C\|\omega\|_2.$$

Наличие дискретности спектра оператора L возможно только тогда, когда область его определения $D(L)$ является частью некоторого весового пространства С.Л. Соболева. Для нахождения обеспечивающих указанный факт условий, нами доказывается т.н. теорема разделимости. Разделимость оператора L в пространстве L_2 эквивалентна тому, что для решения $\omega = (u, v)$ системы (1) имеет место оценка

$$\|u_x\|_2 + \|u_y\|_2 + \|v_x\|_2 + \|v_y\|_2 + \|a_1 u\|_2 + \|a_2 v\|_2 + \|a_3 u\|_2 + \|a_4 v\|_2 \leq c_2 (\|f\|_2 + \|g\|_2), \quad (4)$$

где c - положительная постоянная, не зависящая от (u, v) . Неравенство (4) называют, также, коэрцитивной оценкой решения.

Сформулируем теорему разделимости.

Теорема 2. Пусть функции a_{kl} ($k, l = 1, 2$) непрерывно дифференцируемы и равномерно ограничены, a_j ($j = \overline{1,4}$) ограничены в каждом компакте, удовлетворяют условиям (2), (3) теоремы 1 и следующим условиям:

$$C^{-1} \leq \frac{|a_1(X)|}{|a_1(T)|}, \frac{|a_4(X)|}{|a_4(T)|} \leq C \text{ при } |X - T| \leq 1,$$

где $X = (x, y)$, $T = (t, \tau) \in R^2$, и

$$(a_1 u + a_2 v)^2 + (a_3 u + a_4 v)^2 \geq \delta_3 [a_1^2 u^2 + a_4^2 v^2], \quad \delta_3 > 0.$$

Тогда для решения $\omega = (u, v)$ системы (1) имеет место оценка (4), где (f, g) - правая часть системы.

Собственные числа оператора $[L^{-1} (L^{-1})^*]^{\frac{1}{2}}$ называют s -числами оператора L^{-1} и обозначают $s_k(L^{-1})$ ($k = 1, 2, \dots$). Через $N(\lambda)$ обозначим количество $s_k(L^{-1})$, не меньших, чем $\lambda > 0$. Помимо других ценных свойств известно, что s -числа компактного оператора определяют скорость аппроксимации L^{-1} через конечномерные операторы. Ниже приводим условия компактности резольвенты L^{-1} , а также устанавливаем двухсторонние оценки функции $N(\lambda)$, когда L^{-1} компактен в L_2 .

Теорема 3. Пусть для функции a_{kl} ($k, l = 1, 2$) и a_j ($j = \overline{1,4}$) выполнены все условия теоремы 4.2. Тогда обратный L^{-1} к оператору L , соответствующему системе (1), является компактным в том и только в том случае, если

$$\lim_{|X| \rightarrow +\infty} a_1(X) = +\infty, \quad \lim_{|X| \rightarrow +\infty} [-a_4(X)] = +\infty \quad (X = (x, y)).$$

Кроме того, если еще выполнено условие $C_1^{-1} \leq |a_1(X)a_4(X)| \leq C_1$, $X \in R^2$, то для функции

$N(\lambda)$ имеют место оценки

$$c_1 \lambda^{-2} \mu \left\{ X : a_1(X) \leq c_2 \lambda^{-\frac{1}{2}} \right\} \leq N(\lambda) \leq c_3 \lambda^{-2} \mu \left\{ X : a_1(X) \leq c_4 \lambda^{-\frac{1}{2}} \right\}, \quad (5)$$

где μ - мера Лебега.

Эта теорема доказывается с помощью теоремы 2.

Из оценок (5) часто следуют оценки и для самих $s_k(L^{-1})$. Например если $a_1 = a_4 = 5 + 3x^2 + y^2$, $a_2 = a_3 = 0$ и a_{kl} ($k, l = 1, 2$) удовлетворяют условиям теоремы 3, то система (1) однозначно разрешима, оператор L^{-1} компактен в L_2 , причем для его s -чисел справедливы следующие двусторонние оценки

$$c_1 k^{-\frac{2}{5}} \leq s_k \leq c_2 k^{-\frac{2}{5}}, \quad k = 1, 2, \dots .$$

Список литературы

- [1] Обобщенные аналитические функции./Векуа И.Н. М.: Наука, 1988. - 512 с.
- [2] Theory of Pseudo-Analytic Functions./Bers L. New York University. New York, 1953.
- [3] Уравнения с частными производными./Берс Л., Джон Ф., Шехтер М. М., 1966. - 351 с.
- [4] Solvability conditions for the first order elliptic systems on the plane. K.N. Ospanov//Eurasian Mathematical Journal. 2012. Vol. 3. -№1. - Р. 139-142.

УДК 681.518.2

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЦЕН НА СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫЕ ТОВАРЫ РЕАЛИЗОВАННАЯ ПЛАТФОРМЕ ТОФИ

В.В. Пустовойтенко, М.Б. Габбасов

Компания системных исследований "Фактор"

Abstract. Continuous monitoring of food prices allows qualitatively provide taking measures to prevent inflation. This article provides an overview of the information system of automatic monitoring of food prices for government agencies which implemented on the TOFI platform which successfully used in the public administration.

Keywords: food prices, TOFI, public administration.

Аңдатпа. Азық - тұлік бағаларының түрақты мониторингі инфляцияның өсуіне жол бермеу шараларын қабылдауды сапалы етуге мүмкіндік береді. Мақалада мемлекеттік басқармада сәтті қолданылып жүрген ТОФИ платформасының негізінде жасалынған мемлекеттік үйимдарға арналған азық-тұлік бағалары автоматты мониторингінің ақпараттық жүйесіне шолу жасалынған.

Кілттік сөздер: азық-тұлік бағалары, ТОФИ, мемлекеттік басқарма.

Аннотация. Постоянный мониторинг цен на продукты питания позволит качественно обеспечить принятие мер по недопущения роста инфляции. В статье приведен обзор информационной системы автоматического мониторинга цен на продукты питания для государственных органов реализованной на платформе ТОФИ, которая успешно применяется в государственном управлении.

Ключевые слова: цены на продукты питания, ТОФИ, государственное управление.

Согласно схемы взвешивания для расчета индекса потребительских цен в 2013 году доля продовольственных товаров составляет 38,10% в общем объеме товаров и услуг используемых при расчетах.

Постоянный мониторинг цен на продукты питания, а также цен на товары и услуги входящие в себестоимость продуктов питания позволит качественно обеспечить принятие мер по недопущения роста инфляции.

Постоянный мониторинг осуществляется местными исполнительными органами в рамках осуществления функций государственного контроля за соблюдением размера предельно допустимых розничных цен на социально значимые продовольственные товары.

Реализованная система мониторинга цен на социально значимые продукты питания, товары и услуги позволяют обеспечить автоматизированный сбор розничных цен, и обеспечить контроль соблюдения предельно допустимых цен.

Система мониторинга цен разработана на базе платформы ТОФИ 11.

Платформа ТОФИ 11 представляет собой платформу систему поддержки принятия решений и обеспечивает все процессы жизненного цикла данных от учета до визуализации. ТОФИ состоит из следующих подсистем:

- Подсистема ТОФИ-модель - представляет собой среду управления метаданными (нормативно-справочной информацией) предметной области. В качестве управления НСИ используется технология ТОФИ позволяющая моделировать состояния сложных объектов и изменение состояний во времени.
- Подсистема ТОФИ - Сбор данных предназначена для сбора данных с различных источников и последующей загрузки в хранилище данных. Подсистема обеспечивает сбор информации посредством ввода данных через формы в онлайн и офлайн режимах, загрузку данных из файлов и внешних источников, загрузку из баз данных государственных органов.
- Подсистема ТОФИ - Хранилище данных обеспечивает хранение, поиск и извлечение первичных и аналитических данных в унифицированном формате согласно Метамодели ТОФИ, что обеспечивает универсальность и быстродействие.
- ТОФИ - Анализ данных представляет собой аналитические модели поддержки принятия решений: Прогнозные модели, Аналитические модели, Экспертные оценки, Метод анализа иерархии, Проведение настраиваемых расчетов и другие.
- Система визуализации ТОФИ позволяет отобразить аналитические данные в удобном для пользователя формате.
- Подсистема ТОФИ -Администрирование позволяет обеспечить процесс функционирования всех подсистем между собой в единой среде, а также обеспечить интеграцию и синхронизацию.

цию данных системы ТОФИ и других информационных систем. Подсистема поддерживает стандарт обмена данными и метаданными SDMX

Система мониторинга цен на товары и услуги реализована как дополнительный функционал подсистемы «ТОФИ-сбор данных» и состоит из следующих модулей:

- Источник данных – содержит подключение к источнику данных. В качестве источника данных может выступать интернет сайт, например: интернет-магазин, товарная биржа, сайт объявлений, сайт компании и другие;
- Шаблоны – представляют собой настройки для роботов-агентов, согласно которым проводится мониторинг сайтов и извлечение структурированных данных.
- Агенты-роботы – представляют собой службы, которые позволяют согласно заданных шаблонов провести мониторинг источника данных и извлечь, и структурировать данные;
- Расписание – сервис по запуску роботов агентов согласно предопределённым правилам.

На следующем рисунке приводиться интерфейс системы по настройке шаблона.

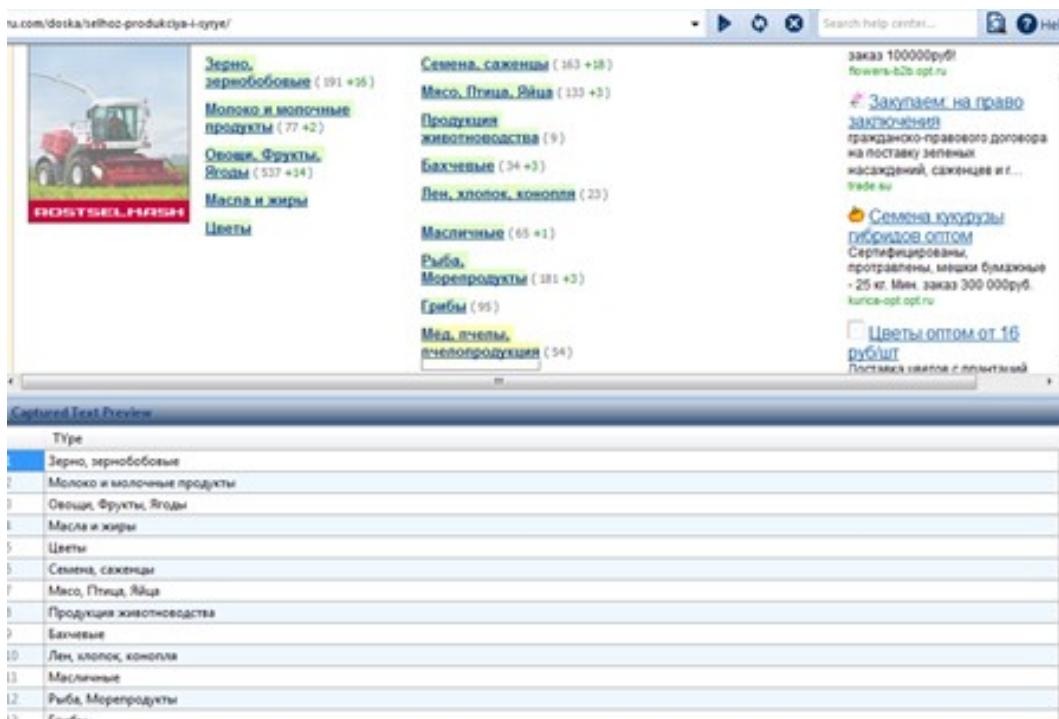


Рисунок 1 Интерфейс настройки шаблонов

Все действия делаются пользователем непосредственно в браузере и позволяют легко сделать настроить шаблоны для любого сайта.

В результате запуска робота формируется таблица результатов мониторинга, которая содержит информацию согласно шаблонов. Пример результатов мониторинга цен одного из интернет магазинов приведен на следующем рисунке.

Полученная информация в ходе мониторинга загружается в хранилище данных, где подлежит обработке в рамках сценарных моделей по прогнозированию инфляции, анализа причин изменения цен и другие.

Система мониторинга цен на платформе ТОФИ успешно прошла апробацию в акимате Алматинской области.

produkty	vidy	nazvanie	cena
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульон MAGGI Говяжий Зажарка 50г	145 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульон MAGGI Куриный томлен...	489 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульон GALLINA BLANCA куриный...	90 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульон VEGETA Мясной 75г	109 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульон в гранулах MAGGI "На кос...	125 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульон ПРИПРАВЫЧ Куриный с ов...	79 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульон ПРИПРАВЫЧ Мясной с ово...	79 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульон РОЛЛТОН "Куриный", 100 г.	105 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульонные кубики GALLINA BLAN...	15 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульонные кубики MAGGI "Курины...	82 тг
Бакалея (1586)	Бульоны (18)	Бульонные кубики MAGGI "На кост...	82 тг

Рисунок 2 Результат работы робота-агента ТОФИ

Система может применяться для решения различных задач: мониторинга цен конкурентов, объявлений, погоды, курсов валют и других.

Список литературы

- [1] Габбасов М.Б., Ермагамбетов Т.К., Куанов Т.Д. Концептуальное описание технологии ТОФИ 11. // Доклады VI международной научной конференции «Проблемы дифференциальных уравнений, анализа и алгебры», 14 – 17 октября 2012 г. г. Актобе.
- [2] Схема взвешивания для расчета ИПЦ, используемая в 2013 году. Сайт Агентства РК по статистике. www.stat.kz

УДК 51-73

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЫБОРОЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

П.А. Федяев, Ж.О. Шейшенов

Братский Государственный Университет (Россия)
ТОО "Физико-технический институт"(Казахстан)

Abstract. Fuel consumption, being on a high level, and major Russian industries' energy resources, in comparison with foreign counterparts, leads to big unproductive losses of energy, beginning from energy resources production to distribution for the end user.

Assessment of the potential energy-saving can be made by a tool. After analyzing the possible ways to implement energy audit tool, it has become clear, that the most perspective method is thermovision method for determining the heat loss during the examination of elements of thermal technological equipment, pipelines, buildings, structures, etc.

Аннотация. Находящийся на высоком уровне расход топлива, а также энергетические ресурсы на крупных Российских производствах, по сравнению с зарубежными аналогами, приводит к большим непроизводительным потерям энергии, начиная от добычи энергоресурсов до распределения у конечного потребителя.

Оценку потенциала энергосбережения можно производить инструментальным путем. Из анализа возможных способов реализации инструментального энергоаудита, наиболее перспективным является тепловизионный способ определения тепловых потерь при исследовании элементов теплотехнологического оборудования, трубопроводов, зданий, сооружений и т.п.

Тепловые методы контроля оборудования позволяют производить его диагностику в процессе эксплуатации, не требуя отключения оборудования на время диагностики, использования трудоемких измерений температуры и тепловых выделений. Термический контроль позволяет правильно планировать и проводить планово предупредительные работы и ремонты.

При дистанционной оценке теплового состояния энергетических и бытовых объектов регистрируется изменение интенсивности излучения самими объектами. Непосредственное воспроизведение тепловых "портретов" возможно только с использованием тепловизора - двухмерного преобразователя изображений средневолнового инфракрасного диапазона в видимое на экране тепловизионного монитора изображение. Они дают полную визуальную тепловую картину исследуемого объекта практически мгновенно, в реальном времени, с высоким пространственным разрешением.

При энергоаудите крупного промышленного объекта использовался тепловизор Testo 875-2. Тепловизор является оптико-электронным устройством. В основе его работы лежит принцип преобразования потока инфракрасного излучения от объекта, принимаемого чувствительным элементом, в электрический сигнал, пропорциональный тепловой спектральной мощности потока излучения. Снижение температуры на поверхности изоляции до оптимальных значений позволяет экономить $2 \div 3 \text{ Гкал}/\text{м}^2 \text{ год}$. Экспертные оценки состояния изоляции показывают, что на предприятии Усть-Илимский лесопромышленный комплекс (УИ ЛПК) существует приблизительно 40000 м^2 неизолированных или малоизолированных поверхностей. Нанесение слоя изоляции или увеличение изоляции может позволить сэкономить приблизительно 10000 т у.т. в год или $4,3 \div 5\%$ от покупаемой в УИ ТЭЦ энергии.

Известно, что сроки окупаемости изоляционных работ лежат в пределах $3 \div 4$ месяцев.

Следует заметить, что на предприятии уделяют внимание удовлетворительному содержанию изоляции и температура на поверхности оборудования близка к норме или слегка ее превышает. Однако, норма (не более $45 \div 50^\circ \text{ С}$) установлена с точки зрения техники безопасности. В сегодняшних условиях в связи с ростом стоимости энергии следует при проведении изоляционных работ рассчитывать оптимальную с точки зрения экономических затрат толщину изоляции, учитывающую как стоимость изоляции, работ, так и стоимость теряемой в окружающую среду энергии.

Вместе с тем, анализ полученных тепловизионных изображений различного технологического оборудования показывает, что существует оборудование (например, редукционно-охладительные устройства (РОУ) на ТЭС, сепаратор концентраторов выпарной линии и др.), температура на поверхности которых превышает 100° С . При этом каждый м^2 такой поверхности теряет в окружающую среду более $5 \text{ Гкал}/\text{год}$.

Значителен перерасход энергии за счет недостаточного с энергетической точки зрения термиче-

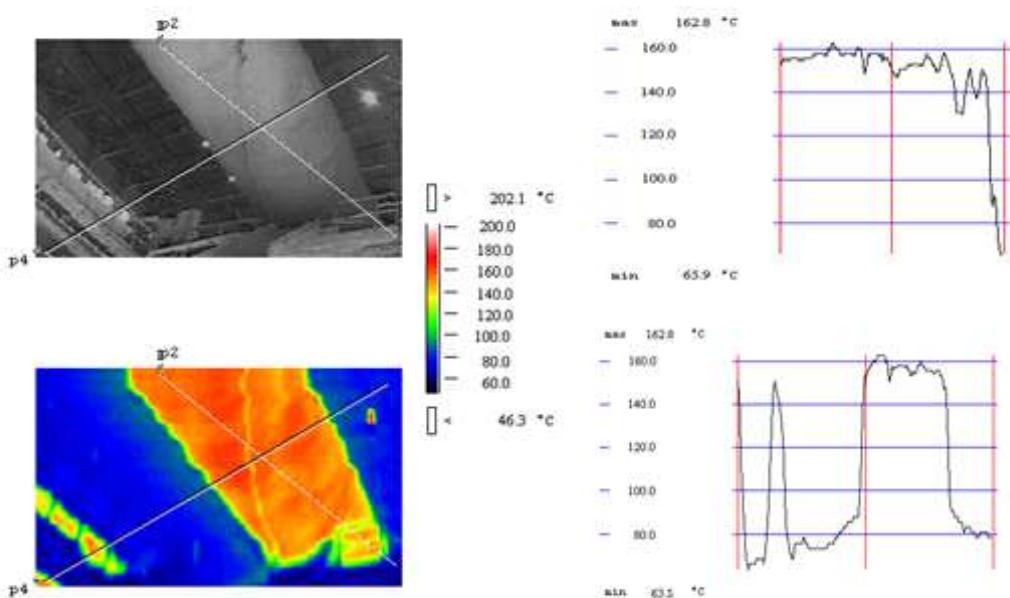


Рисунок 1 Изображение объекта в видимом и инфракрасном спектрах, а также графическое изменение температуры по длине сечения Р

ского сопротивления внутренней и внешней изоляции технологического оборудования.

Расчет потерь тепла за счет естественной конвекции и излучением от стенок технологического оборудования позволяет оценить как перерасход энергии, так и нерациональные финансовые затраты.

Рассмотрим только один пример перерасхода энергии за счет недостаточного с энергетической точки зрения термического сопротивления внутренней и внешней изоляции технологического оборудования.

Проведем анализ результатов тепловизионных (рис.1) и бесконтактного точечного измерений (рис.2) температуры с помощью инфракрасного термометра с лазерным целеуказателем (Testo 830) на поверхности вращающейся печи цеха каустизации и регенерации извести (ЦКРИ).

Вращающаяся печь теряет в окружающую среду энергию за счет свободной конвекции и излучения. Проведенные вычисления позволили оценить отдельно коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением по длине вращающейся печи и непроизводительные потери тепла, которые для одной вращающейся печи можно оценить в размере 2,7 Гкал/час. Принимая время эксплуатации 5000 час/год, годовые потери составят 13500 Гкал.

Учитывая наличие трех вращающихся печей, можно оценивать годовой потенциал энергосбережения только за счет снижения потерь в окружающую среду $\Delta Q \sim 40000$ Гкал/год или 5700 т у.т./год, что составляет 2,5% от того количества энергии, которое УИ ЛПК получает со стороны. Столь значительные потери энергии в окружающую среду свидетельствуют о недостаточности теплозащиты внутренней футеровкой печи. Последнее возможно:

- если толщина теплоизоляционного футеровочного слоя недостаточна;

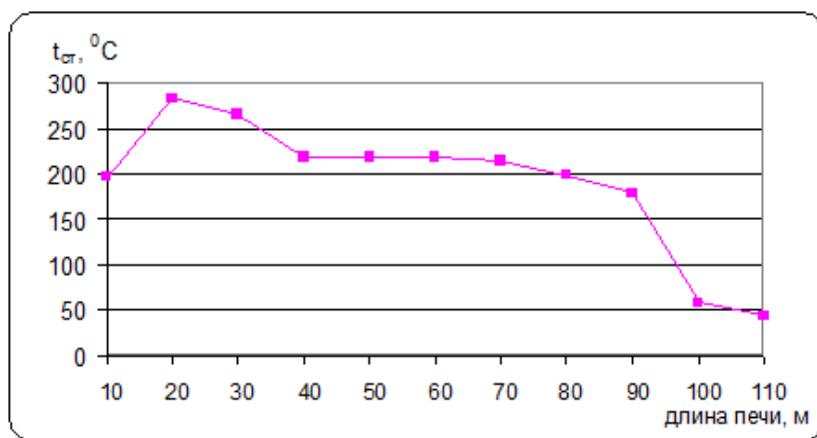


Рисунок 2 Распределение температур по длине печи

б) фактический коэффициент теплопроводности материала футеровки меньше расчетного.

Список литературы

- [1] Федяев П.А. Возможные направления энергосбережения в теплотехнологической цепочке лесопромышленного комплекса. Третья Международная научно-практическая конференция "Современные энергосберегающие технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов) СЭТТ - 2008". - Т.2. - М.: ООО "Франтера". - 331 с.

Научное издание

Совместный выпуск

ВЕСТНИК

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



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Институт вычислительных технологий
Сибирского отделения РАН**



Вычислительные технологии

Часть 1



**ВЕСТНИК Восточно-Казахстанского государственного
технического университета им. Д. Серикбаева**

Научный журнал

Издаётся с 1998 г.

Зарегистрирован Министерством информации и общественного согласия
Республики Казахстан. Свидетельство № 145-ж от 27 февраля 1998 г.

Ответственные за выпуск:

Зав. кафедрой «Информационные системы» Н.Ф. Денисова,

Руководитель издательства О.Н. Николаенко

Верстка: Д.Ж. Касымханова, В.О. Макеров

Издание в авторской редакции

Подписано в печать 28.08.2013. Формат 84×108/16. Бумага офсетная.

Объем: 28,18 уч.-изд. л., 31,82 усл. печ. л. Тираж 350 экз.

Заказ № 844-2013. Цена договорная.

**Восточно-Казахстанский государственный
технический университет
070010, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19**