

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
АКАДЕМІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
Інститут проблем математичних машин та систем
НАН України**

**ТРЕТЯ НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
З МІЖНАРОДНОЮ УЧАСТЮ**

23-27 червня 2008 р., м. Київ

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
СИСТЕМ
МОДС '2008**

Тези доповідей



Київ 2008

Друкується за рішенням вченої ради Інституту проблем математичних машин та систем НАН України.

Третя науково-практична конференція з міжнародною участю “Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС ’2008”. Тези доповідей. – Київ. – 2008. – 23-27 червня 2008р. –284 с.

У збірник включені тези доповідей, які були представлені на конференції “Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС ’2008”. В доповідях розглянуті наукові та методичні питання з напрямку моделювання складних екологічних, технічних, фізичних, економічних, виробничих, організаційних та інформаційних систем з використанням математичних та імітаційних методів.

Редакційна колегія:

Литвинов В.В., д.т.н., професор, ІПММС – голова

Казимир В.В., д.т.н., доцент, ІПММС

Риндич Є.В., ІПММС

ЗМІСТ

СЕКЦИЯ 1 СУЧАСНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ В ЕКОЛОГІЇ	13
Р.В. Беженар	
МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМІНУ ВОДНОГО ШАРУ І ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ В МІЛКІЙ ВОДОЙМІ	14
В.С.Блінцов, О.М.Киристюк	
ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПІДВОДНОГО РОБОТА ДЛЯ ЗАДАЧ МОНІТОРИНГУ АКВАТОРІЇ	18
И.А. Бровченко, В.С. Мадерич, К.В. Терлецкая	
ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА МНОГОФРАКЦИОННЫХ НАНОСОВ К ПРИБРЕЖНЫМ ЗАДАЧАМ	21
И.А. Бровченко, В.С. Мадерич, К.В. Терлецкая	
ТРАНСФОРМАЦИЯ УЕДИНЕННОЙ ВНУТРЕННЕЙ ВОЛНЫ ПРИ ДВУСЛОЙНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ИЗМЕНЕНИИ РЕЛЬЕФА ДНА	23
Я. В. Голуб, С. О. Заїка, Д. В. Стрижеус, А. Т. Лобурець	
САМООРГАНІЗОВАНА КРИТИЧНІСТЬ В ЕКОЛОГІЧНИХ ЕВОЛЮЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	24
Гузій А.М, Ковалец І.В., Кушан А.А., Железняк М.І.	
УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАСЧЕТОВ ОПЕРАТИВНЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	28
Демченко Р.І., Дикий П.В.	
О МНОГОСЛОЙНЫХ УРАВНЕНИЯХ ТИПА БУССИНЕСКА	31
Н.Н.Дзюба	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ АЭС	35

С.О. Заїка, Д.В. Стрижеус, А.І. Сененко, А.Т. Лобурець ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В МОНОШАРАХ АДСОРБОВАНИХ ПЛІВОК МІДІ НА ГРАНІ (112) ВОЛЬФРАМУ	38
В. В. Ковтун, Ю. Ю. Плакош, О. В. Дробнич, М. П. Дробнич МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДАМИ МОНТЕ-КАРЛО ОСОБЛИВОСТЕЙ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ В СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКАХ – НАНОТРУБКАХ	41
М.Й. Железняк, Н.Н. Дзюба, П.В.Дикий, С.Л. Ківва, П.С. Коломієць, М.В. Сорокін МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСГРАНИЧНИХ ВПЛИВІВ КАНАЛУ ДУНАЙ-ЧЕРНОЕ МОРЕ: ПЕРЕРОЗПОДІЛ СТОКУ ТА МОРФОДИНАМІКА ПРИБЕРЕЖНОЇ ЗОНИ	42
С.Л.Кивва МОНОТОНІЗАЦІЯ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА	46
П.С. Коломієць, С.Л. Ківва, М.Й. Железняк ДВОВИМІРНА МОДЕЛЬ МІЛКОЇ ВОДИ НА НЕСТРУКТУРОВАНИХ СІТКАХ	48
В.І. Кошебуцький, В.С. Мадерич, М.Й. Железняк, Р.В. Беженар, С.О. Зелінський ТРИВИМІРНЕ МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ СТАВКА-ОХОЛОДЖУВАЧА ЮЖНО -УКРАЇНСЬКОЇ АТОМНОЇ СТАНЦІЇ	51
М.В. Сорокин ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ВЕРСИЯ ДВУМЕРНОЙ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ГИДРОДИНАМИКИ И ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ ДНА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ COASTOX-P	53
Удовенко О.И., Ковалец И.В. Лев Т.Д., Кушан А.А., Железняк М.И. ИНТЕГРАЦИЯ ОПЕРАТИВНЫХ СИСТЕМ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ С ДАННЫМИ ГИС ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ	55

Филипчук Л.В., Кутя В. М. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ рН В ГІДРАВЛІЧНОМУ РЕАКТОРІ- ЗМІШУВАЧІ	57
Е.Н.Гайтан, Н.Б. Бойко, В.Е. Ходурский МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ	60
В. О. Яковенко МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ОБРОБКИ НАФТОПРОДУКТІВ В ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ТРАНСПОРТУВАННЯ І РОЗВАНТАЖЕННЯ	61
С.Б.Приходько МЕТОД СТРУКТУРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕЛІНІЙНИХ СТОХАСТИЧНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ НОРМАЛІЗОВАНИХ СИГНАЛІВ	65
СЕКЦІЯ 2 СУЧАСНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ У ВИРОБНИЦТВІ	69
V.V.Grachov, I.Yu.Grigoryev, K.O.Putiienko SOFTWARE AND HARDWARE ARCHITECTURE OF MONITORING CENTER OF DANGEROUS CARGO TRANSPORTATION	70
В.І.Бабіч, І.М.Перевертун РОЗВИТОК МОДЕЛЕЙ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ДЛЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА СКЛАДУВАННЯ	72
Г.Л. Баранов, С.А. Банішевський МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	74

Баранов Г.Л., Артеменко В.Л. ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ ЗАПОБІГАННЯ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД	78
В.І. Бабіч, Ю.А. Білик МАТЕМАТИЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ГРАФІКІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖОПОТОКІВ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ	83
М.А. Босий, В.О. Борисенко МЕТОДОЛОГІЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ	86
И.Н. Вдовиченко МЕТОДИКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ	89
А.Н. Гончаров ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА	93
О. В. Гречанюк АЛГОРИТМ ВИРОБЛЕННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПО УПРАВЛІННЮ ЕКОНОМІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ РЕГІОНУ В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ	98
В.І.Гур'єв, І.В.Фірсова МОДЕЛЮВАННЯ ГРАФІКА ЗАЙНЯТОСТІ ПЕРСОНАЛУ ФІРМИ	100
А.А. Олейник, С.В. Епифанов ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТРУКТУРНО- ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМ ГТД НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ	103

А.А. Загорулько МНОГОФАКТОРНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЛАТЕНТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ	108
А.Л. Ляхов, С.А. Захаров СПЕЦИФИКАЦИЯ ОТНОШЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ОБУЩАЮЩИЙ-ОБУЧАЕМЫЙ» В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ	111
С.В. Злобін ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕГРАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА В ЕЛЕКТРОННИЙ БІЗНЕС	115
П.А.Иванов, В.В. Пытляк ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АНАЛИЗЕ ФИРМ ПО ОКАЗАНИЮ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ	118
Г.Ф.Іванченко, Асп. Саттам Ясін Ахмад Дала'єн ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТОВАРУ НА РИНКУ	121
Т.И. Каткова, И.Н. Матвеев, Н.В. Титова ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ РУДОПОТОКА НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТАХ.	125
А.В. Клименко ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ	128
А.Н. Гончаров, А.В. Клименко, И.В. Максимей, В.С. Сморозин, И.К. Чирик ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	133
Комелина О.В., Ляхов О.Л. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНАХ УКРАИНЫ	137

В. В. Ковтун, Ю. Ю. Плакош, В. Т. Маслюк, М. Романюк, В. Лямаєв ВІРТУАЛЬНА ПАНЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ МІКРОТРОНА М-30	141
І.А.Козак УЗГОДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЙ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ЦІННОСТІ	143
И. В. Максимей, Е. И. Сукач, П. В. Гируц, Е. А. Ерофеева ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ	146
Д.В. Наливкин ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ МОДЕЛЕЙ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ МОНТЕ-КАРЛО	150
Г. А. Пархоменко КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА РОЗМІЩЕННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ РОЗРАХУНКУ ПРОФІЛЮ ТРАСИ	152
Г.Л. Баранов, Д.В. Пасечник, С.А. Банішевський НАПІВНАТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНИХ БОРТОВИХ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ТРАНСПОРТУ	156
Пічугіна О.С. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СКЛАДАННЯ МЕНЮ ЯК ЛІНІЙНА КОМБІНАТОРНА ЗАДАЧА НА ПОЛІРОЗМІЩЕННЯХ	160
Скітер І.С., Дорош М.С., Калінько І.В. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КОЕФІЦІЄНТА ІНЕРЦІЙНОСТІ СИСТЕМИ	164

В.С. Смородин О МЕТОДЕ ПОШАГОВОЙ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	167
І. В. Стеценко ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ТОРГОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	172
С.В. Таран ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	175
С.В. Ткаченко МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С ПОКАЗАТЕЛЕМ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ	179
В.Н. Томашевский, А.М. Паромонов СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	183
Е.Е. Федоров РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	187
Л.Ю. Уразаева, И.А. Галимов МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ	189
Чередніков І.О., Борисов О.О., Кулик О.В. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАННЯ КРУГЛОСТІ ЗА ТРЬОХТОЧЕЧНОЮ (РІЗНОСТНОЮ) СХЕМОЮ	192
И.К. Чирик ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ПАРАЛЛЕЛЬНО- ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА	197

СЕКЦІЯ 3 СУЧАСНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ В ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ	202
О.М. Kazachkova	
INTERACTIVE LEARNING PLATFORM FOR NUMERICAL METHODS	203
В.М.Буяльський	
МОДЕЛЬ ПОДАВАННЯ ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОГО АГЕНТА В АВТОМАТИЗОВАНОМУ СИСТЕМНОМУ ПРОЕКТУВАННІ ІАСУ	208
А.І.Вавіленкова	
ОСОБЛИВОСТІ ОПИТУВАННЯ ЕКСПЕРТІВ ПРИ ПОБУДОВІ ЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ОБ'ЄКТАМИ	212
В.В. Литвинов, Е.Н. Гайтан	
МОДЕЛИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ	215
С.І. Недобачій, Д.М. Гвоздик	
ПРО ОДНУ МОДЕЛЬ У ВИГЛЯДІ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ НА СКЛАДНІЙ ПОЛІПЕРЕСТВНІЙ МНОЖИНІ ОКРЕМОГО ВИДУ	218
О.М. Дишлюк	
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ BLUETOOTH ТА WI-FI	220
Литвинов В.В., Жигульская В.Ю.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ	224
В.В. Казимир В.В., В.П. Шемет, Кенійз Я.Я., Черних Д.О.	
ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДІВ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ	229
Кацюба О.А., Иванов Д.В.	
РЕКУРРЕНТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МНОГОМЕРНЫХ ПО ВХОДУ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХ НАБЛЮДЕНИЯ В ВЫХОДНОМ СИГНАЛЕ	232

О.М. Kazachkova, V.E. Kolosov, V.I. Superson DEVELOPMENT OF THE NEW TOOLS AND TECHNOLOGIES FOR THE ELECTRONIC EDUCATIONAL INTERNATIONAL NETWORK	235
Краліна Г.С., Тупота Є.В. АНАЛІЗ ВИДІВ НЕВИЗНАЧЕННОСТІ ІНФОРМАЦІЇ, ХАРАКТЕРНИХ ДЛЯ ПРОЦЕСУ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА КЕРУВАННЯ	240
Ю.В. Кук, Е.И. Лаврикова МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ РОБОТОМ С ЦЕЛЬЮ САМОУПРАВЛЕНИЯ	244
С.О. Кухарев, О.В. Кухарева ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ З ТЕХНОЛОГІЮ MPLS	248
В.И.Лёгенький ВНУТРЕННИЕ МАСШТАБЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЛИ ПОЧЕМУ МОЖНО «КОПАТЬ ЯМУ ОТ ЗАБОРА И ДО ... ОБЕДА»	250
В.П. Маслов, В.М. Буяльський СИСТЕМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ІС НА БАЗІ (S, V, E) МОДЕЛЕЙ	254
О.С.Меняйленко, О.В.Давискиба МОДЕЛЬ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК ЕЛЕМЕНТІВ НАВЧАЛЬНОГО ДІАЛОГУ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ НЕЧИСЛОВОЇ СТАТИСТИКИ	255
И.В. Стеценко, В.В. Метелап РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ МГУА СРЕДСТВАМИ ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ Mathcad	259
Моторний Д.О. РОЗРОБКА МОВИ СЦЕНАРІЇВ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ПО БІЗНЕС-ПРАВИЛАМ	263

В.А. Немокаев КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА АНАЛИЗ	267
В.В. Казимир В.В., И.Б. Гавсиевич, Е.В. Рындич ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ IP-СЕТЕЙ	270
В.В. Литвинов, А.П. Сёмик ВИЗУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ	273
М.Л. Шишаков, Т.А. Трохова КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ	275
Г.С. Теслер МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОЦЕНОК НАДЕЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	277
В.П. Ищук, С.В. Епифанов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБОВИНТОВЕНТИЛЯТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	278
С.В. Голуб ПРОЕКТУВАННЯ КООРДИНУЮЧИХ АЛГОРИТМІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ СОЦІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	280
О.В. Хомініч. ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ОПЕРАТОРОМ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ	283

СЕКЦІЯ 1
СУЧАСНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА
ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ В
ЕКОЛОГІЇ

**МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМІНУ ВОДНОГО ШАРУ
І ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ В МІЛКІЙ ВОДОЙМІ**

Р.В. Беженар

*Інститут проблем математичних машин і систем НАНУ,
Україна*

Мілкі водойми мають важливі особливості, які призводять до сильної взаємодії між фізичними, хімічними і біологічними процесами [1, 2]. Короткохвильова сонячна радіація, яка досягає дна, підвищує температуру води та поверхні дна, викликає розвиток донної рослинності та впливає на температурний режим донних відкладень, в яких залежність швидкості протікання біохімічних реакцій від температури є визначальною. В той же час поверхневі хвилі в таких водоймах проникають до дна і разом з течіями збурюють донні відкладення, зменшуючи прозорість води. В свою чергу, рослинність впливає на гідродинамічну шороховатість дна водойми, гасячи поверхневі хвилі і, тим самим, збільшуючи прозорість води та змінюючи профіль течій і перенос поживних речовин.

При моделюванні цих процесів важливу роль грає правильний опис теплового режиму водойм. У більшості гідродинамічних моделей при описі теплового балансу водойм, за винятком небагатьох (напр. [3,4]), ігнорується теплообмін з дном. Це пояснюється тим, що в глибоких басейнах величина теплового потоку в дно значно менша у порівнянні з тепловими потоками на поверхні і переносом тепла за рахунок течій. Але у мілких лагунах, озерах і річках нагрівання води і дна за рахунок сонячної радіації вдень і охолодження за рахунок довгохвильового випромінювання вночі може створити значні теплові потоки, хоча при усередненні за день ці потоки можуть бути близькими до нуля [5].

В даній роботі описано нову модель теплообміну водного шару з донними відкладеннями, яка була розроблена для трьохвимірної гідродинамічної моделі ТРИТОКС [6,7]. Схематично обмін теплом між водою і атмосферою та між водою і дном, які реалізовані в моделі ТРИТОКС, зображено на рис. 1. Тут Q_b – довгохвильове випромінювання, Q_e – затрати тепла на випаровування, Q_h – турбулентний потік тепла з атмосфери в воду, Q_s – потік сонячної радіації, Q_{hb} – турбулентний потік тепла з води в дно, Q_{sb} – короткохвильова радіація, що потрапляє на поверхню дна. Турбулентний потік з води в дно включає в себе вільну і вимушену конвекції. Потік короткохвильової радіації крізь товщу води враховує поглинання частини тепла водою, що призводить до затухання величини потоку за експоненціальним законом.

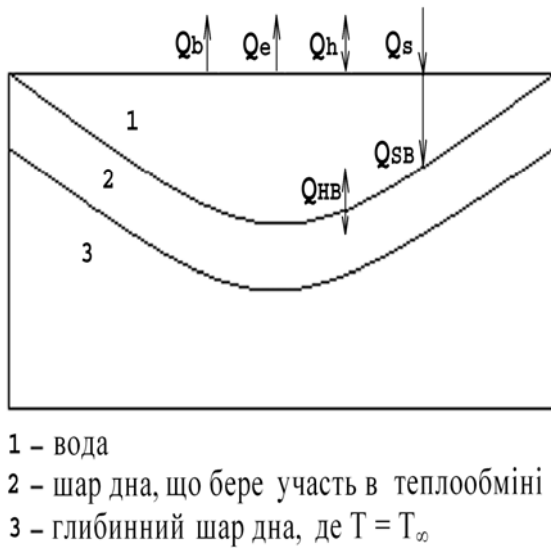


Рис. 1. Схема теплообміну в моделі ТРИТОКС

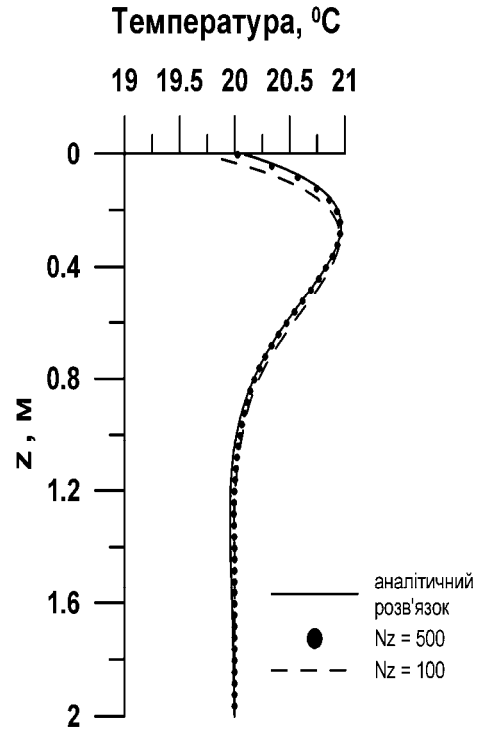


Рис. 2. Порівняння чисельного і аналітичного розв'язків рівняння теплопровідності в дні

На відміну від [3], де розраховувалася тільки середня температура шару, що бере участь в теплообміні, в даній моделі розподіл тепла в дні описується рівнянням теплопровідності

$$\frac{\partial T_B}{\partial t} = \chi_b \frac{\partial^2 T_B}{\partial z^2}, \quad (1)$$

з граничними умовами

$$\rho_b c_{pb} \chi_b \frac{\partial T_B}{\partial z} \Big|_{z=0} = Q_{HB} + Q_{SB}, \quad T_B \Big|_{z \rightarrow \infty} = T_\infty$$

де T_b – температура дна, ρ_b – густина дна, c_{pb} – питома теплоємність дна, χ_b – теплопровідність дна, t – час, z – вертикальна координата направлена вниз з початком на поверхні дна.

При періодичній зміні температури води поблизу дна у рівняння (1) з граничними умовами (2) існує аналітичний розв'язок

$$T_B(t, z) = T_\infty + \frac{T_0}{1 + \sqrt{2a + a^2}} \exp\left(-\frac{\sqrt{2z}}{2d}\right) \times \left[\left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2}a\right) \cos\left(\omega \frac{\sqrt{2z}}{2d}\right) + \frac{\sqrt{2}}{2}a \sin\left(\omega \frac{\sqrt{2z}}{2d}\right) \right], \quad (3)$$

де T_0 і ω – амплітуда і частота зміни температури води поблизу дна відповідно, $a = \frac{\sqrt{\omega\chi_b}}{\lambda}$, $d = \sqrt{\frac{\chi_b}{\omega}}$, λ – коефіцієнт теплопередачі.

Порівняння чисельного і аналітичного розв'язків рівняння теплопровідності в дні зображено на рис. 2. Чисельний розрахунок проводився при часовому кроці 1с і глибині донного шару 2м. Температура води біля дна змінювалася з періодом 1 доба і з амплітудою 3⁰С. Nz – кількість вертикальних рівнів в дні при розв'язанні рівняння теплопровідності кінцево-різницевою схемою. Для аналізу впливу теплообміну води з дном на тепловий баланс водних об'єктів було проведено моделювання гідро-термодинаміки для трьох невеликих озер різної глибини. Вертикальний переріз озер представлений на рис. 1. Діаметр озер становив 2000м. Максимальне значення глибини, що відповідало центру озера, було прийняте 1м для мілкого озера, 5м – для середнього і 10м – для глибокого. Температура атмосфери, хмарність, вологість, атмосферний тиск, швидкість і напрям вітру змінювались періодично з періодом 1 день.

На рис. 3 зображено розподіл тепла в дні для трьох взятих озер в один і той же момент часу для перерахованих вище умов моделювання.

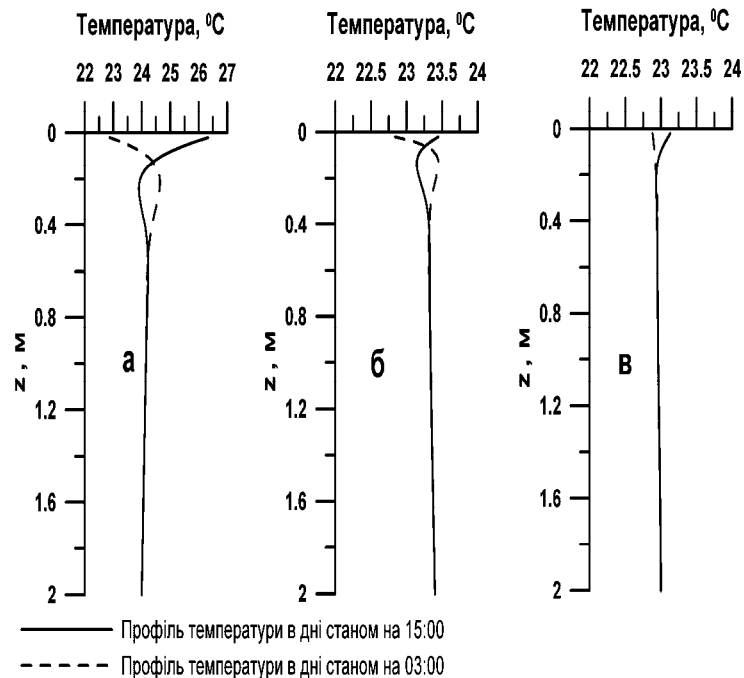


Рис. 3. Поширення тепла в дні для мілкого (а), середнього (б) і глибокого (в) озера для різних періодів доби

Крім того в роботі показано, що в результаті врахування теплообміну з дном підвищується температура на глибині водойми і знижується біля поверхні. Це призводить до збільшення турбулентного потоку з атмосфери і зменшення тепловіддачі за рахунок довгохвильового випромінювання, в результаті чого середня температура водойми підвищується. Тобто для мілких озер і лагун вплив теплообміну з дном є суттєвим в масштабах добових коливань. Більш детально модель і розрахунки описані в [8].

Література

1. Teeter A.M., Johnson B.H., Berger C., Stelling G., Scheffner N.W., Garcia M.H., Parchure T.M. Hydrodynamic and sediment transport modeling with emphasis on shallow-water, vegetated areas (lakes, reservoirs and lagoons) // *Hydrobiologia*. – 2001. – 444. – P. 1 – 23.
2. Houwing E.J., Tanczos I.C., Kroon A. de Vries M.B. Interaction of submerged vegetation, hydrodynamics and turbidity; analysis of field and laboratory studies // *Fine Sediment Dynamics in the Marine Environment*. – Proceedings of INTERCOH-2000. ed. J.C. Winterwerp and C. Kranenburg, Elsevier, Proceedings in Marine Sciences, Vol. 5, 2002. – P. 441 – 454.
3. Jin K.R., Hamrick J.M., Tisdale T. Application of a threedimensional hydrodynamic model for Lake Okeechobee // *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. – 2001. – 126. – P. 758 – 771.
4. Wu J., Buchak E.M., Edinger J.E. Kolluru V.S. Simulation of cooling-water discharges from power plants // *Journal of Environmental Management*. – 2001. – 61. – P. 77 – 92.
5. Smith N.P. Observations and simulations of water-sediment heat exchange in shallow coastal lagoon // *Estuaries*. – 2002. – 25. – P. 483 – 487.
6. Кошебуцкий В., Мадерич В., Нестеров А., Хелинг Р. Моделирование распространения тепла во внутренних водах и прибрежных областях морей // *Прикладная гидромеханика*. – 2004. – 6. – С. 34 – 44.
7. Maderich V., Heling R., Bezhenar R., Brovchenko I., Jenner H., Koshebutsky V., Kuschan A., Terletska K. Development and application of 3D numerical model THREETOX to the prediction of cooling water transport and mixing in the inland and coastal waters // *Hydrological Processes*. – 2008. – 22. – P. 265 – 277.
8. Р. Беженар, В. Мадерич. Модель теплообміну водного шару і донних відкладень в мілкій водоймі // *Прикладна гідромеханіка*. – стаття в друці.

УДК 517.957

**ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
ПІДВОДНОГО РОБОТА
ДЛЯ ЗАДАЧ МОНІТОРИНГУ АКВАТОРІЇ**

В.С.Блінцов, О.М.Киристюк

*Національний університет кораблебудування ім. адмірала
Макарова, Міністерство оборони України*

Підводні роботи (ПР) належать до ефективних засобів морської техніки і широко використовуються при виконанні пошукових та інспекційних підводних робіт [1-2]. Застосування ПР для моніторингу акваторій (обстеження водної товщі та донної поверхні за допомогою відео- та гідроакустичних систем, ідентифікація виявлених об'єктів та транспортування до них спеціальних приладів) вимагає від дослідників та проєктувальників створення нових систем автоматичного керування їх просторовим рухом. Оскільки функціонування ПР протікає в умовах активної дії зовнішніх збурень та характеризується нестационарністю його власних параметрів, актуальною є задача розробки адекватної математичної моделі ПР як теоретичної основи синтезу високоефективних систем автоматичного керування просторовим рухом робота.

Попередній аналіз науково-технічної літератури та власний досвід авторів свідчать, що задачі моніторингу акваторій характеризуються, здебільшого, квазістационарними режимами руху ПР (руху з незначними акселеративними характеристиками, коли приєднаними масами води елементів ПР можна нехтувати з-за їх малості). Це режим високоточного переміщення по заданій просторовій траєкторії та режим позиціонування ПР у заданій точці водного простору.

Розробку математичної моделі виконаємо для найбільш складного з позицій керування типу ПР – прив'язного дистанційно керованого підводного робота, який включає власне самохідний ПР, його кабель-трос (КТ) та розташовані на судні забезпечення (СЗ) кабельну лебідку (КЛ) і пост енергетики й керування (ПЕК), рис. 1. Такий робот, за звичай, є носієм підводних фото- і відеокамер, гідроакустичних приладів, маніпуляторів тощо.

Будемо враховувати тільки один, але головний зовнішній чинник – швидкість набігаючого потоку водного середовища, яка характеризується вектором $\vec{v}(h) = \vec{v}_G + \vec{v}_V$, де $h=1...H$ - поточне значення глибини, H - глибина місця ПР; \vec{v}_G - швидкість руху ПР відносно ґрунту; \vec{v}_T - швидкість течії.

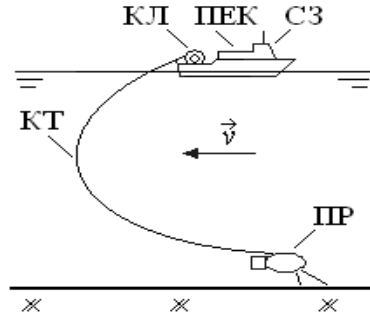


Рис. 1. Склад прив'язного дистанційно керованого самохідного підводного робота.

Очевидно, що математична модель такого ПР може бути представлена наступною сукупністю математичних моделей його елементів, що взаємодіють між собою:

математичною моделлю власне підводного робота як твердого тіла $MM_{ПР}$, що обтікається потоком води й утворює сили гідродинамічного опору $F_{x,y,z}$ та розвиває упори $R_{x,y,z}$ за допомогою власних рушіїв (гребних гвинтів) по трьом осям зв'язаної з ПР системи координат – поздовжній x , вертикальній y та боковій z та має коефіцієнти гідродинамічного опору по цих осях C_x, C_y, C_z ;

математичною моделлю кабель-троса як ідеально гнучкого тіла у потоці води $MM_{КТ}$, який являє собою у поперечному перерізі круг з діаметром d та має нормальну й дотичну складові гідродинамічного опору, які характеризуються, відповідно, коефіцієнтами C_n, C_t ;

математичною моделлю кабельної лебідки як електромеханічного пристрою $MM_{КЛ}$, що забезпечує керовану зміну довжини попущеної частини $l_{КТ} = f(h, \vec{v}, u_M)$, де u_M - режимний сигнал;

математичною моделлю зовнішнього збурення $MM_{ЗЗ}$ – епюри течії по глибині $\vec{v}_V(h)$;

математичною моделлю системи автоматичного керування $MM_{САК}$ квазістаціонарним рухом ПР.

Розглянемо вказані елементи математичної моделі ПР більш детально. Загальна форма рівнянь квазістаціонарного руху ПР у припущенні про відсутність обертальних складових має вигляд [3]:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= 0,5C_x\rho v_x |v_x| S_x; \\ F_y &= 0,5C_y\rho v_y |v_y| S_y; \\ F_z &= 0,5C_z\rho v_z |v_z| S_z, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $F_{x,y,z}$ - складові сил гідродинамічного опору корпусу ПР; ρ - питома густина води; $v_{x,y,z}$ - складові вектора швидкості води $\vec{v} = \vec{v}_G + \vec{v}_V$,

що набігає на корпус ПР; $S_{x,y,z}$ - характерний розмір ПР (площа перерізу) у площинах, перпендикулярних осям x, y, z .

Математична модель КТ визначає сили, які діють на ПР при його квазістаціонарному русі і може бути описана наступною системою диференціальних рівнянь [2]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dl_{KT}} &= \cos(\alpha); \\ \frac{dz}{dl_{KT}} &= \sin(\alpha); \\ \frac{d\alpha}{dl_{KT}} &= \frac{1}{2} \rho \cdot C_n \cdot d \cdot \frac{v^2 \cdot |\sin(\alpha)| \cdot \sin(\alpha)}{T}; \\ \frac{dT}{dl_{KT}} &= -\frac{1}{2} \rho \cdot C_t \cdot d \cdot v^2 \cdot |\cos(\alpha)| \cdot \cos(\alpha), \end{aligned} \right\} (2)$$

де x – координата елемента КТ по осі абсцис; α – кут між дотичною до елемента КТ і віссю абсцис; z – координата елемента КТ по осі ординат; d – діаметр КТ; T - модуль вектора сили \vec{T} натягу КТ на його ходовому (нижньому) кінці.

Сума відповідних складових сил гідродинамічного опору ПР $F_{x,y,z}$ та натягу КТ $T_{x,y,z}$ по осях прийнятої системи координат у квазістаціонарному режимі руху врівноважуються упорами рушіїв ПР $R_{x,y,z}$:

$$\left. \begin{aligned} F_x + T_x &= R_x; \\ F_y + T_y &= R_y; \\ F_z + T_z &= R_z, \end{aligned} \right\} (3)$$

а знайдені значення упорів $R_{x,y,z}$ використовуємо для знаходження необхідних обертів гребних гвинтів ПР ω_i (керованих величин) як функцій їх конструктивних характеристик з відомих залежностей [4]:

$$R_i = \rho K_{Ti} \omega_i^2 D_i^4 / (4\pi^2), \quad (4)$$

де K_{Ti} - безрозмірний коефіцієнт упору i -го гребного гвинта ($i=x,y,z$); D_i - діаметр i -го гребного гвинта.

Квазістаціонарна постановка задачі дає змогу використовувати у якості математичної моделі КЛ наступні залежності:

$$\left. \begin{aligned} l_{KT} &= \frac{D}{2i} \int \omega_M dt; \\ \omega_M &= f(u_M), \end{aligned} \right\} (5)$$

де D - діаметр кабельного барабана КЛ; i - загальний коефіцієнт редуції кінематичної схеми КЛ; ω_M - кутова частота обертання привода КЛ.

Адекватність математичної моделі ПР, побудованої на основі систем рівнянь (1)-(5) у середовищі МАТЛАБ, була підтверджена шляхом дослідження режиму квазістаціонарного руху робота по заданій траєкторії при моніторингу акваторії для глибин моря 50...150 метрів і значеннях вектора $\vec{v}(h)=0,5...3,0$ м/с та порівняння результатів моделювання з даними натурального експерименту.

Література

1. Автономные подводные роботы. Системы и технологии. // Под общей ред. М.Д. Агеева. – М.: Наука, 2005. – 398 с.
2. Блинцов В.С. Привязные подводные системы. – К.: Наукова думка, 1998. – 232 с.
3. Лукомский Ю.А., Пешехонов В.Г., Скороходов Д.А. Навигация и управление движением судов. Учебник. – СПб.: «Элмор», 2002. – 360 с.
4. Справочник по теории корабля: В 3-х т. / Под ред. Я.И.Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – Т. 3: Управляемость водоизмещающих судов. – 544 с.

УДК 532.465

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА МНОГОФРАКЦИОННЫХ НАНОСОВ К ПРИБРЕЖНЫМ ЗАДАЧАМ

И.А. Бровченко, В.С. Мадерич, К.В. Терлецкая
Институт проблем математических машин и систем, Украина

Разработана новая трехмерная лагранжевая модель переноса взвешенных и влекомых наносов позволяющая моделировать широкий спектр задач переноса взвеси: перенос наносов и переформирование дна при совместном действии волн и течений, вокруг прибрежных или морских конструкций, взмучивание и движение взвеси при дноуглубительных работах и при свале грунта в воду. Лагранжевая модель позволяет моделировать перенос взвесей содержащих различные размеры связанных и несвязанных наносов. Следуя подходу Ван Леддена (2003) нами предполагалось, что эрозия взвеси связанных (“ил”) и несвязанных наносов (“песок”) является несвязанной при условии, что содержание ила ниже критического. При содержании ила выше критического, процесс является связанным. При несвязанном режиме

обмен песка и ила с дном происходит независимо, тогда как в связанном режиме эрозия ила и песка происходит одновременно как у связанных наносов. Осаждение является независимым процессом и для взвешенных и для влекомых наносов. Стохастические дифференциальные уравнения описывающие процессы переноса в Лагранжевой постановке решались методом случайных блужданий

Приведено несколько примеров использования модели. В первом случае использовалась трехмерная лагранжевая модель объединенная с негидростатической моделью, основанной на осредненных по Рейнольдсу уравнениях с q^2 - q^2 замыканием для моделирования размыва дна вызванного струей от корабельного винта. Результаты моделирования хорошо согласуются с лабораторными экспериментами и натурными измерениями. Во втором примере исследовалось распространение пятен мутности из районов свалки грунта (дампинга). Третье исследование было вызвано интересом к роли мелких наносов в процессе возникновения и усиления каскадинга в шельфовых зонах и над одиночными возвышенностями. Для моделирования стекания плотной и мутной воды по шельфу вследствие зимней конвекции и взмучивания наносов была использована моделирующая система из трехмерной гидростатической/негидростатической модели со свободной поверхностью РОМ и трехмерной лагранжевой модели переноса наносов. Рассмотрено большое количество модельных примеров каскадинга для исследования влияния взвеси на распространение плотностных течений и показано, что зимняя конвекция для условий восточной части Баренцева моря (шельф Новой Земли) может вызвать трогание наносов, что в свою очередь усиливает плотностные гравитационные течения за счет взвеси. Необходимы подробные данные о наносах на шельфе и об уклоне шельфа для исследования возможности такого механизма на морских шельфах. Детальное описание модели и примеры расчетов приведены в работе (Бровченко, Мадерич 2008)

Литература

1. Van Ledden M.A. A process-based sand-mud model. // Fine sediments dynamics in the marine environment. J.C. Winterwerp and C. Kranenburg eds.—Elsevier, 2002.—P. 577-594.
2. И.А.Бровченко, В.С.Мадерич Трехмерная лагранжева модель переноса многофракционных наносов и ее применение к описанию гравитационных течений // Прикладная гидромеханика. 2008. Том 9(82), N 1. С.10-19.
УДК 532.465

ТРАНСФОРМАЦИЯ УЕДИНЕННОЙ ВНУТРЕННЕЙ ВОЛНЫ ПРИ ДВУСЛОЙНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ИЗМЕНЕНИИ РЕЛЬЕФА ДНА

И.А. Бровченко, В.С. Мадерич, К.В. Терлецкая

Институт проблем математических машин и систем, Украина

Явление распада уединенной волны (солитона), проходящей через зону с резким изменением дна известно для поверхностной волны, когда набегающий солитон трансформируется в группу вторичных солитонов. Распад внутренней уединенной волны, распространяющейся поперек континентального склона наблюдался в Южно-Китайском море (Liu et al, 2004). Иногда при таких явлениях наблюдается изменение полярности внутренней одиночной волны (Liu et al, 1998; Zhao et al., 2003; Orr and Mignerey, 2003). В этих работах ширина зоны перехода является малой по сравнению с нелинейными характеристиками волны, но является относительно большой по сравнению с длиной волны. В настоящей работе анализируется распад внутренних уединенных волн на подводной ступени. В случае, когда стратификация моделируется как двухслойная жидкость и не рассматриваются поверхностные волны, то возможны только волны на поверхности раздела. Этот упрощенный процесс изучен в работе Гримшоу, Пелиновского и Талиповой (2008) в рамках слабо-нелинейной теории, где был проанализирован распад внутренней уединенной волны набегающей на подводную ступень. Было показано, что при определенных условиях формируются вторичные КдВ солитоны вместе с излучением. Однако, в отличие от поверхностных волн, вторичные солитоны могут и не появиться в случае, когда нелинейность в уравнении Кортевега – де Вриза меняет знак после ступени, в этом случае имеет место только излучение. Сильная нелинейная трансформация внутренней уединенной волны исследовалась с помощью трехмерной негидростатической модели со свободной поверхностью, разработанной Канарской и Мадеричем (2003) для стратифицированных течений. В данной модели последовательно рассчитывались поверхность уровня, гидростатические и негидростатические компоненты давления и скорости. В отличие от других негидростатических моделей, двумерные осредненные по глубине уравнения движения и уравнение неразрывности интегрировались явно, тогда как трехмерные уравнения интегрировались полуневявно на следующем этапе. Моделирование показало хорошее согласование между теоретическим анализом, проведенным в рамках уравнения Кортевега – де Вриза и результатами трехмерной модели для малых и умеренных амплитуд одиночных внутренних волн, в то время как сильно нелинейные

внутренние волны разрушаются, и формируется вихревая пара перед ступенькой при набегании на нее волны понижения.

Литература

- 1.Liu A.K, Ramp S.R, Zhao Y., Tang T.Y. A case study of internal solitary wave propagation during ASIAEX 2001. // IEEE J. of Oceanic Engineering. 2004, 29:1144–1156.
- 2.Liu A.K., Chang Y.S., Hsu M.K., Liang N.K. Evolution of nonlinear internal waves in the East and South China Seas. // J. Geophys. Res. 1998, 103(C4):7995–8008,
- 3.Zhao Z, Klemas V.V, Zheng Q., Yan X-H. Satellite observation of internal solitary waves converting polarity. // Geophys. Res. Letters, 2003, Vol. 30, No. 19, 1988 doi: 10.1029/2003GLO18286.
- 4.Orr M.H., Mignerey P.C. Nonlinear internal waves in the South China Sea: Observation of the conversion of depression internal waves to elevation internal waves // J. Geophys. Res., 2003, 108(C3), 3064
- 5.Grimshaw R., Pelinovsky E., Talipova T. Fission of a weakly nonlinear interfacial solitary wave at a step // Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics, 2008 (in press)
- 6.Kanarska, Y., Maderich, V. A non-hydrostatic numerical model for calculating free-surface stratified flows // Ocean Dynamics, 2003. – Vol. 53, P. 176-185.

УДК 517.957

САМООРГАНІЗОВАНА КРИТИЧНІСТЬ В ЕКОЛОГІЧНИХ ЕВОЛЮЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Я. В. Голуб, С. О. Заїка, Д. В. Стрижеус, А. Т. Лобурець
*Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка*

Біологічна еволюція здійснюється за законами, які значною мірою є універсальними (наприклад, еволюція технічних систем та будь-яких інших, які існують і функціонують в умовах конкуренції). Очевидним є те, що розвиток живої природи здійснювався сотні мільйонів років без участі людини, принаймні до останнього часу. Більшість зниклих видів гинули незалежно від того, як довго вони проіснували (закон Ван Валена). Процес вимирання носить дискретний характер з довгими періодами відносного спокою, розділеними короткими періодами спалахів. Одиницею еволюційного процесу є вид. Види у екосистемі не є ізольованими. Між ними існує конкуренція, симбіоз, відношення хижак –

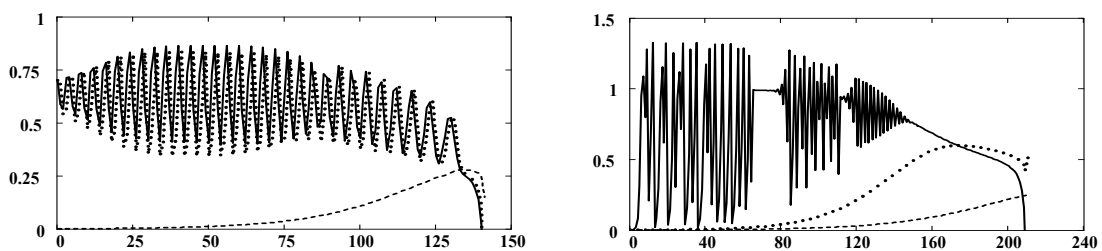
жертва та інші форми взаємодій. Динаміка еволюції залежить від ступеня взаємодій видів. Причини вимирання можуть бути дуже різними. Наприклад, недостатня пристосованість до нових умов або ж чисто випадковий збіг обставин, за яких вони просто не могли не вимерти. Катастрофи можуть бути викликані внутрішніми причинами, які приводять до перебудови системи, і супроводжуються руйнуванням старих підсистем з виникненням нових [1].

Оскільки світ, який ми спостерігаємо, є фрактальним і можна говорити про його масштабну інваріантність, то фрактальною є і його еволюція. У біології це проявляється на всіх рівнях, починаючи від мікро- до мегафауни і завершуючи самоповторюваністю будови окремих систем даного організму [2]. Практично це означає, що еволюція відбувається через точки розгалуження, по тим гілкам, які вибираються під впливом випадкових факторів. В таких точках система зазнає катастрофічних змін. Якщо брати до уваги фрактальність та безпосередній зв'язок живої та неживої природи, то будь-які кардинальні зміни глобального масштабу викличуть зміни у підсистемах нижчого рівня. Наприклад, за деякими прогнозами через кілька десятків років температура на Землі суттєво зросте. Зникне більшість гірських льодовиків, розтане Північний Льодовитий океан, посиляться процеси танення в Антарктиді. Швидкі глобальні зміни клімату спричинять швидке посилення міграції тварин, для яких відкриються нові ареали існування. Наприклад, акули, які зараз мешкають у більш теплих водах, зможуть запливати в басейн потеплілого океану. Виникає загроза порушення балансу у трофічних ланцюгах. Це означає, що у рівноважну трофічну систему вписуються нові елементи, які розвиваючись, з часом переведуть систему від стабільного стану до виникнення біфуркацій з перспективою здійснення її самоорганізації на якомусь одному із серії внутрішньо притаманних системі рівнів.

Метою нашої роботи було створення на основі рівняння Фергюльста [3] математичної моделі системи трьох взаємодіючих біологічних видів. Перший з них (А) служить кормом і причиною конкуренції двох інших (В і С). Особливістю системи є те, що вид С є новим і він з'являється у системі двох взаємодіючих видів А – В, які до цього перебували у стані динамічної рівноваги.

Складені нами рівняння відображають взаємозв'язаність динаміки змін чисельностей взаємодіючих видів з урахуванням їхньої початкової кількості та швидкості розмноження. При розробленні математичної моделі неможливо врахувати всі ті фактори, які слабо впливають на еволюцію системи. В нашій задачі основною вимогою до моделі була її грубість, що в деяких випадках відіграє важливу роль: будь-які малі спотворення грубої моделі не можуть істотно змінити

результати. Така модель принаймні на якісному рівні буде адекватно описувати реальність. Ми приймаємо, що спочатку існувала рівновага популяцій, одна з яких була кормом для іншої, а потім в системі з'явився новий споживач, ставши спочатку потенційним конкурентом для першого, коли його кількість ще залишалася достатньо малою. На рис. 1 представлено один із можливих шляхів еволюції нової біологічної системи. На графіках вздовж осі ординат відкладено відносні зміни чисельностей взаємодіючих видів, а вздовж осі абсцис - дискретний час в роках. Суцільна лінія відображає зміни з часом чисельності виду А, точками показано зміни виду В, а пунктирною лінією – С. В моделі для нового споживача С вибрано низький коефіцієнт розмноження. В іншому випадку нестабільність системи швидко наростає і це призводить до вичерпання біологічних ресурсів виду А та загибелі обох споживачів В і С. Як показано на рис. 1, стара система (А - В) спочатку перебувала у динамічній рівновазі. На фоні такого стану чисельність нового виду С повільно зростає. Посилюються коливальні зміни кількості виду А і першого споживача В. Врешті ці зміни переходять у динамічний хаос, який завершується катастрофою – загибеллю видів. Хаотичні зміни в динамічних системах називають флікер-шумами. Вони можуть виникати у різних фізико-хімічних системах, біологічних чи навіть соціальних або економічних. Як видно з рис. 1 і 2, флікер-шуми є характерними і для еволюції видів у екосистемах. В системах з флікер-шумами немає жодного характерного часового масштабу. Елементи таких систем здатні накопичувати енергію і вивільняти її при досягненні деякого порогового значення. Через це згадані системи виявляються дуже чутливими до слабких впливів. Достатньо надати невеликого поштовху окремому елементу, що перебуває у передпороговому стані, для одночасного вивільнення енергії всією системою. Іншими словами, якщо система перебуває у околі критичної точки (точки біфуркації) то в цьому стані навіть дуже незначний початковий імпульс може стати причиною виникнення кардинальних змін. Така система є схильною до виникнення в ній гігантських флуктуацій, які призводить до катастроф.



Вище згадувалося, що модель є достатньо грубою. Уявлення про повну загибель всіх трьох взаємодіючих видів на підставі результатів, представлених на рис.1, можуть виявитися неточними. Тут можна виділити два варіанти:

а) чисельність всіх трьох видів дуже знизилась, але вони не загинули повністю;

б) загинув вид В, який розмножувався швидше ніж вид С. Підстави для розгляду такої можливості можна знайти на рис.1, де при досягненні видами А і В практично нульових чисельностей, для виду С вона ще залишається відмінною від нуля.

Ми виконали моделювання нових можливих сценаріїв розвитку з новими початковими умовами, що відповідають пунктам а і б. Результати показують, що залежно від прийнятих параметрів екосистеми реалізуються різні варіанти еволюції, але найбільш імовірним може виявитися швидке відновлення виду А, яке з часом внаслідок повільного росту видів В і С завершується новим катастрофічним спадом чисельностей активно взаємодіючих видів, що настане приблизно через сто – двісті років. На рис. 2 показано характер розвитку екосистеми трьох взаємодіючих видів, які спочатку були дуже малочисельними. Кількість особин виду А із високим коефіцієнтом розмноження швидко наростає. Чисельність виду приблизно через десять років переходить у хаотичний режим флікер-шумів. Поступове наростання чисельностей обох споживачів виду А через 60 років призводить до різкого загасання шумів і далі протягом майже 20 років чисельність виду А залишається незмінною, незважаючи на все ще повільний ріст видів В і С. Далі спостерігається ще дві подібні чітко виділені в часі зони флікер-шумів, поява і зникнення яких контролюються чисельностями популяцій В і С. Ці факти свідчать про високу чутливість моделі до внутрішніх малих змін у підсистемах. Після останнього зникнення флікер-шумів виду А, зростання виду В припиняється і починається повільний спад. При цьому зростання чисельності виду С продовжується практично аж до моменту загибелі видів А і В. Як видно з наведених графіків, після катастрофічних спадів цілком реальним є досить швидке їх відновлення. Такі події розділяються у часі тривалими періодами відносної стабільності. Катастрофічні спади чисельностей видів, замовлені внутрішніми властивостями системи, можуть посилюватися несприятливими зовнішніми умовами і вид зазнаватиме додаткового тиску, що може супроводжуватися для виду паталогічним стресом. В результаті порушується нормальний розвиток особин і організми почнуть масово гинути. Якщо такі впливи будуть достатньо тривалими, то в ослаблених організмах почнуть руйнуватися деякі біологічні бар'єри, в тому числі і ті, які огороджують генетичний

матеріал від зовнішніх впливів (бар'єр Вейсмана). Патологічний стрес веде до чисельних спадкових змін, а це означає, що серед невеликої кількості уцілілих організмів буде велика частка мутантів. Переважна їх кількість нестиме каліцтва, що псують організми, але невелика кількість організмів на спадковому рівні нестиме ті самі ознаки, які спостерігаються при фізіологічних стресах і є неспадковими [1]. Так фіксуються корисні зміни в генотипі організмів.

Зрозуміло, що наші модельні експерименти не можуть давати відповіді на питання про генетичні зміни видів. Одержані результати лише вказують на реальність одного із механізмів створення передумов для виникнення змін у генетичному матеріалі якогось із взаємодіючих видів в умовах конкуренції. Як впливає із результатів, показаних на рис. 2, після катастрофи у разі виникнення у генотипах залишків виду якихось позитивних змін, популяція може відновитися достатньо швидко. Єдине, що потрібно обов'язково знати при моделюванні процесу відтворення, це те, якими стануть коефіцієнти розмноження після виникнення змін у генотипах.

Література

1. Ю.В. Чайковский. Эволюция. Вып.22. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований – ИИЕТ РАН 2003. 472 с.
2. Jaap A. Kaandjrp. Fraktal Modelling: Growth and Form in Biology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1994. p. - 206.
3. Х.-О. Пайтген, П.Х. Рихтер. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. М.: Мир, 1993. 176 с.

УДК 517.957

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАСЧЕТОВ ОПЕРАТИВНЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Гузий А.М., Ковалец И.В., Кушан А.А., Железняк М.И.

*Институт проблем математических машин и систем НАН
Украины, Украина*

Рассмотрена задача уточнения прогноза по пункту приземной температуры и осадков оперативными системами численного прогноза погоды ММ5-Украина [1] и ММ5-Закарпатье [2] с помощью статистической обработки архивов прогнозов этих систем и измерений нейросетью. В качестве предикторов используются прогностические

значения приземных температуры, температуры поверхности Земли, относительной влажности, компонент ветра, скорости выпадений осадков в четырех узлах сетки ММ5, ближайших к месту проведения измерения и в момент времени, соответствующий измерению. Дополнительно в качестве предикторов используются значения месяца, дня, часа измерения и времени от начала прогноза. Таким образом предполагается существование функциональной зависимости между прогнозируемыми значениями в четырех ближайших узлах и истинными. Эта зависимость может быть более сложной, чем просто линейная зависимость, соответствующая линейной интерполяции вследствие подсеточных процессов, возникающих из-за влияния на значения метеорологических элементов локальных особенностей подстилающей поверхности. Аппроксимация этой зависимости является целью обучения нейросети.

Для обучения была использована статическая “feedforward-backpropagation” нейросеть из пакета Matlab 7.0 Neural Network Toolbox с двумя слоями нейронов, (15 + 1 нейрона в каждом из слоев) и функциями перехода \tansig и линейной в каждом из слоев. Обучение проводилось по данным с 1 января 2007 года по 30 Марта 2008 года для каждой из станций в отдельности. Таким образом, размер обучающей выборки составлял около 3600 векторов, а каждый вектор состоял из 32 предикторов. 20% обучающих векторов выбранные случайным образом из обучающих примеров использовались для проверки на этапе обучения и своевременного прекращения обучения. Тестирование сети производилось на данных за Апрель 2008 года. Вычислялись среднеквадратические (rms) и систематические (bias) отклонения прогнозируемой температуры за весь срок тестирования (30 дней, см. Таблицу 1) и для каждого 48-часового срока прогноза в отдельности.

В таблице 1 представлены также результаты обработки данных линейной интерполяции расчетов ММ5-Украина в точку измерения из четырех ближайших узлов. При линейной интерполяции учитывается разность высот станции и узлов сетки (температуры приводятся к одной высоте, считается что вертикальный градиент температуры -6 К/км), отбрасываются узлы, находящиеся над водной поверхностью.

Предварительные результаты говорят о том, что нейросеть приводит к некоторому ухудшению по сравнению с линейной интерполяцией, когда качество линейной интерполяции хорошее ($rms < 2$ К) – например, для Ровно, Николаева, Черкасс, Запорожья. Можно надеяться, что это ухудшение будет преодолено за счет обучения на более длительных сроках. Однако, когда качество линейной интерполяции плохое ($rms > 2$ К) использование нейросети приводит к улучшению, которое особенно заметно в случае прибрежных станций (Алушта,

Одесса) и в случае горных станций (Рахов, Межгорье, Селятин, Пожежевка, Турка и др.).

На Рис. 1 представлен пример графика оправдываемости 48-ч. прогнозов за Апрель 2008 г. для Одессы. На этом графике улучшение качества прогноза под влиянием нейросети особенно заметно. Такое улучшение качества прогноза с нейросетью в случае прибрежных станций по всей видимости объясняется слишком грубой аппроксимацией береговой линии на 30 км. сетке ММ5-Украина, в то время как вблизи береговой линии суточный ход температуры на станции чрезвычайно чувствителен к расстоянию от берега. Аналогично, для горных станций суточный ход температуры чувствителен не только к высоте станции над уровнем моря, которая явным образом учитывается в линейной интерполяции ММ5-Украина, но и к ориентации склонов, на которых расположены станции [3]. По всей видимости, подобные эффекты приводят систематическому характеру отклонений прогнозов ММ5 от измерений и восстанавливаются нейросетью.

Таблица 1. Среднеквадратические и систематические ошибки прогнозируемой приземной температуры за Апрель 2008 для различных станций при использовании нейросети и линейной интерполяции

Станция	Лин. инт. (rms, K)	Нейросеть (rms, K)	Лин. инт. (bias, K)	Нейросеть bias, K)
Киев	2.12	1.9	-0.56	0.1
Рахов	2.32	2.04	-0.79	-0.4
Черкассы	1.85	1.98	0.22	0.33
Никополь	1.87	1.90	-0.01	0.24
Алушта	3.34	2.42	1.63	0.1
Межгорье	2.36	2.14	0.50	0.49
Николаев	1.90	2.2	0.12	0.66
Одесса	2.96	2.11	1.32	0.95
Пожежевка	2.35	1.75	0.70	0.58
Ровно	1.64	1.75	-0.26	-0.6
Селятин	3.05	2.40	1.37	0.68
Турка	2.56	2.02	0.36	0.43
Донецк	1.77	1.70	-0.1	0.0004
Запорожье	1.84	2.11	0.09	0.45
Коломыя	1.97	2.13	0.19	-0.31
Севастополь	2.32	1.83	0.42	0.39

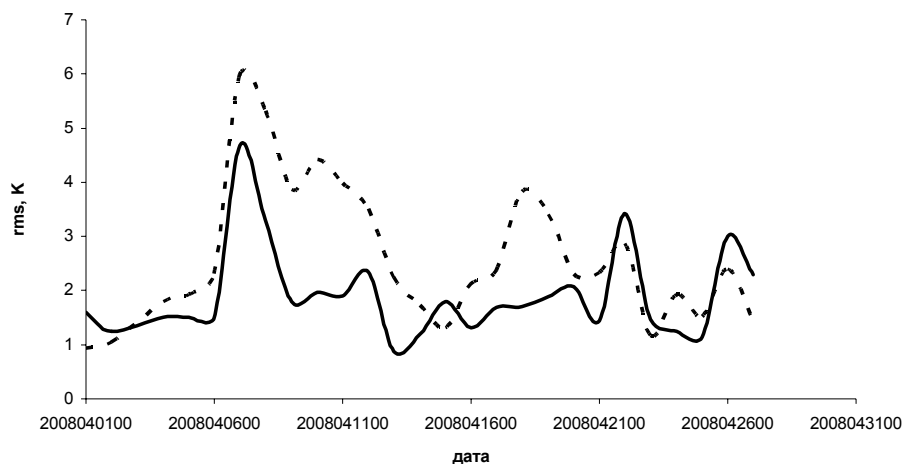


Рис. 1. Среднеквадратические ошибки 48 ч. прогнозов приземной температуры в Одессе для каждого срока за Апрель 2008 года с использованием линейной интерполяции (линия пунктиром) и с использованием нейросети (сплошная линия)

Литература

1. Кушан А.А., Железняк М.И., Мадерич В.С. Програмный комплекс оперативного чисельного прогнозирования погоды MM5-Україна//Зб. Пр. IV Міжнародної конференції “Геоінформатика – теоретичні та прикладні аспекти”, Київ. – 2005. – 30 березня-31 червня.
2. Belov S., Donchytz G. Kivva, S., M. Zheleznyak, Kuschan A, 2003, Flood forecasting for the Ukrainian Part of the Tisza basin: linking with the Numerical weather forecasts, Comparative testing of distributed and Lumped models - Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, No 08106
3. Bellasio R., et.al., 2005. Algorithms to account for topographic shading effects and surface temperature dependence on terrain elevation in diagnostic meteorological models//Boundary Layer Meteorology (114), 595-614.

УДК 004.94: 532.59

О МНОГОСЛОЙНЫХ УРАВНЕНИЯХ ТИПА БУССИНЕСКА

Демченко Р.И., Дикий П.В.

Институт проблем математических машин и систем НАНУ

Уравнения двумерных нелинейно-дисперсионных процессов типа Буссинеска за последнее десятилетие стали основным инструментом

моделирования трансформации волн в прибрежной зоне моря. Предположение о соотношении между параметрами нелинейности и дисперсии $\varepsilon = \frac{a}{h_0}, \mu = \frac{h_0}{\lambda_0}$, где h_0, a, λ_0 соответственно характерные

глубина воды, амплитуда и длина поверхностной волны, отображено в разных формах уравнений типа Буссинеска с разным порядком точности относительно обоих параметров. Такие уравнения для $\mu \ll 1$ есть асимптотически эквивалентными, но для более коротких волн характеристики уравнений типа Буссинеска имеют значительные отличия. Точность этих характеристик, одной из которых есть фазовая скорость, которая определяет основные процессы трансформации волны, зависит от точности линейного дисперсионного соотношения. Линеттом и Лиу [3] была разработана многослойная модель типа Буссинеска порядка $O(\mu^2)$, основанная на подходе Нвогу [4], в которой столб воды делится на уровни, расположение которых зависит от свободных параметров. Точность этой модели зависит от количества слоев и может быть расширена до значительных величин kh . В настоящей работе дан альтернативный работам [2] и [3] вывод однослойной и двуслойной полностью нелинейных моделей порядка $O(\mu^2)$. Проведено сравнение полученных линейных дисперсионных характеристик с представленными в [2], [3], [1]. В случае двуслойной модели получена удвоенная точность ограничения по области изменения kh для линейных дисперсионных и нелинейных характеристик по сравнению с однослойной моделью такого же типа. Кроме того, показано взаимнооднозначное соответствие между полученной моделью и моделью [3]. Для потенциального движения жидкости уравнение неразрывности для всей рассматриваемой области с учетом граничных условий на дне, свободной поверхности и условия непрерывности для вертикальных компонент на смежной поверхности η

$$\frac{1}{\varepsilon_0} h_t + \zeta_t + \frac{d_2}{h_0} \nabla \int_{-\frac{h_0-h}{d_2}}^{\frac{d_1-\eta}{d_2}} \nabla \varphi^{(2)} dz_2 + \frac{d_1}{h_0} \nabla \int_{\eta}^{\varepsilon_1 \zeta} \nabla \varphi^{(1)} dz_1 = 0 \quad (1)$$

и уравнения Бернулли на свободной поверхности $z_1 = \varepsilon_1 \zeta$ при условии непрерывности горизонтальных компонент скорости на разделяющей слою поверхности

:

$$\begin{aligned}
& \nabla \tilde{\varphi}_i^{(1)} + \nabla \zeta + \varepsilon_0 (\nabla \tilde{\varphi}_1 \nabla) \nabla \tilde{\varphi}^{(1)} + \mu_1^2 \nabla \{ \eta [\tilde{F}_1^{(1)} + 2H_1 \tilde{F}_2^{(1)}] - H_1 [\tilde{F}_{1t}^{(1)} + H_1 \tilde{F}_{2t}^{(1)}] \} \\
& + \varepsilon_0 \mu_1^2 \nabla \{ \nabla \tilde{\varphi}^{(1)} \cdot [\nabla \eta (\tilde{F}_1^{(1)} + 2H_1 \tilde{F}_2^{(1)}) - H_1 (\nabla \tilde{F}_1^{(1)} + H_1 \nabla \tilde{F}_2^{(1)})] \} + \\
& + \varepsilon_0 \mu_0^2 [\tilde{F}_1^{(1)} + 2H_1 \tilde{F}_2^{(1)}] \nabla [\tilde{F}_1^{(1)} + 2H_1 \tilde{F}_2^{(1)}] + \\
& + \mu_1^2 \nabla [A_1 \eta \tilde{F}_1^{(1)} + B_1 \eta^2 \tilde{F}_2^{(1)}] + \varepsilon_0 \mu_1^2 \nabla \{ \nabla \tilde{\varphi}^{(1)} \cdot \nabla [A_1 \eta \tilde{F}_1^{(1)} + B_1 \eta^2 \tilde{F}_2^{(1)}] \} = \\
& = O(\mu_1^4, \mu_1^2 \mu_2^2, \mu_1^4)
\end{aligned} \tag{2}$$

где

$$\begin{aligned}
& \tilde{\varphi}^{(1)} = \varphi(x, y, z_{\alpha_1}, t), \quad \tilde{\varphi}^{(2)} = \varphi(x, y, z_{\alpha_2}, t), \\
& \varphi^{(1)} = \tilde{\varphi}^{(1)} + \mu_1^2 \{ [A_1 \eta - (z_1 - \eta)] \tilde{F}_1^{(1)} + [B_1 \eta^2 - (z_1 - \eta)^2] \tilde{F}_2^{(1)} \} + O(\mu_1^4, \mu_2^4), \tag{3}
\end{aligned}$$

$$\varphi^{(2)} = \tilde{\varphi}^{(2)} + \mu_2^2 \left\{ [A_2 h - (z_2 + \frac{h_0}{d_2} h)] \tilde{F}_1^{(2)} + [B_2 h^2 - (z_2 + \frac{h_0}{d_2} h)^2] \tilde{F}_2^{(2)} \right\} + O(\mu_2^4) \tag{4}$$

представляют замкнутую систему уравнений для определения неизвестных функций $\nabla \tilde{\varphi}^{(1)}, \nabla \tilde{\varphi}^{(2)}$ двуслойной модели с тремя свободными поверхностями $z_{\alpha_1}, z_{\alpha_2}, \eta$.

Соотношение между функциями $\tilde{u} = \nabla \tilde{\varphi} = \nabla [\varphi(x, y, z_{\alpha}, t)]$ и $\mathfrak{E} = \tilde{u}(x, y, z_{\alpha}, t)$ имеет следующий вид:

$$\nabla \tilde{\varphi}^{(1)} = \mathfrak{E}_1 - \mu_1^2 \{ [(A_1 - 1) \nabla h + h \nabla A_1] \mathfrak{E}_1 + 2A_1 h [(A_1 - 1) \nabla h + h \nabla A_1] \mathfrak{E}_2 \} + O(\mu_1^4), \tag{5}$$

$$\nabla \tilde{\varphi}^{(2)} = \mathfrak{E}_2 - \mu_2^2 \{ [(A_2 - 1) \nabla h + h \nabla A_2] \mathfrak{E}_1 + 2A_2 h [(A_2 - 1) \nabla h + h \nabla A_2] \mathfrak{E}_2 \} + O(\mu_2^4) \tag{6}$$

Можно показать, что подстановка (5), (6) в уравнения (1) – (2) при сохранении порядка аппроксимации $O(\mu^2)$ приводит к уравнениям двуслойной модели [3].

Запишем поверхности, соответствующие поверхностям на Рис.1 в виде

$$z_{\alpha_1} = \alpha_1 h + \beta_1 \zeta, \quad \eta = \alpha_2 h + \beta_2 \zeta, \quad z_{\alpha_3} = \alpha_3 h + \beta_3 \zeta, \tag{7}$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ - произвольные параметры, которые должны быть определены. Т.к. в линейном приближении в случае $h = const$ из (5), (6) следует равенство скоростей

$$\tilde{u}_1, \tilde{u}_2 = \mathfrak{E}_1, \mathfrak{E}_2 + O(\mu_1^2, \mu_2^2), \tag{8}$$

то анализ Фурье уравнений (1) – (2) в терминах \tilde{u}_1, \tilde{u}_2 соответствует линейному анализу Фурье этой модели в терминах $\mathfrak{k}_1, \mathfrak{k}_2$, и совпадает с линейным приближением разложений в ряд Фурье и дисперсионным соотношением [3]: Нелинейная поправка будет иметь вид:

$$\tilde{a}_2 = k\tilde{a}_1^2 \tilde{G}(\tilde{u}_1^{(1)}, \tilde{u}_2^{(1)}, \tilde{\omega}, kh, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3). \quad (9)$$

В настоящей работе для нахождения параметров $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ используется метод оптимизации среднеквадратичного отклонения для функции

$$\Delta_{NL} = \sum_{kh} (\tilde{a}_2 - a_2^{Stokes})^2,$$

$$a_2^{Stokes} = \frac{1}{4} k\tilde{a}_1^2 [3 \coth^3(kh) - \coth(kh)], \quad (10)$$

который приводит к следующим значениям свободных нелинейных параметров:

$1 < kh < 10$	β_1	β_2	β_3	Δ_{NL}	$1 < kh < 5$	β_1
		β_2	β_3	Δ_{NL}		
\tilde{u}_1, \tilde{u}_2	0.107553	0.076485	0.056785	0.014	\tilde{u}_1, \tilde{u}_2	-
0.068882 -0.250290	-0.005275	0.003				
$\mathfrak{k}_1, \mathfrak{k}_2$	0.215107	0.076486	0.113571	0.014	$\mathfrak{k}_1, \mathfrak{k}_2$	-
0.137766 -0.250291	-0.010550	0.003				

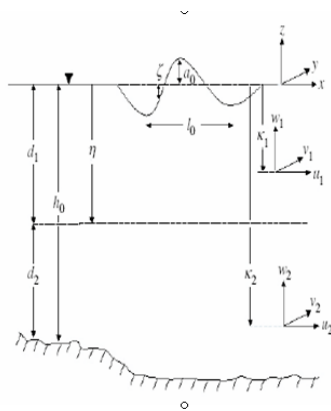


Рис.1

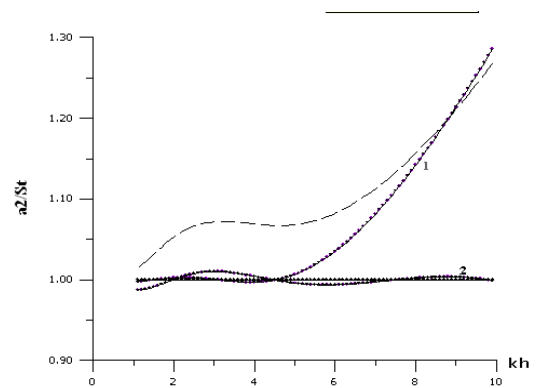


Рис.2

На рис.2. показано взаимнооднозначное соответствие между моделью, полученной в настоящей работе и моделью [3] с помощью сравнения приближений \tilde{a}_2 и \mathcal{A}_2 к функции a_2^{Stokes} . Пунктирная кривая – нелинейная аппроксимация при $\beta_1, \beta_2, \beta_3=0$, кривая 1: $1 < kh < 5$, кривая 2: $1 < kh < 10$.

Література

1. Демченко Р. И., Дикий П. В., Железняк М. И. Нелинейно-дисперсионная модель типа Буссинеска с улучшенной дисперсией. Тезисы, Жукин, 2007.
2. Lynett P., Liu P., 2002. A numerical study of submarine-landslide-generated waves and run-up. *Proceedings of the Royal Society of London A* 458, 2885-2910.
3. Lynett P, Liu PL-F. A two-layer approach to water wave modeling. *Proceedings of the Royal Society of London A* 2004a; 460:2637– 2669.
4. Nwogu O. Alternative form of Boussinesq equations for nearshore wave propagation // *J. Water Ways Port Coastal Ocean Engineering, ASCE*. 119. – 1993, 618-638.

УДК 517.957

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ АЭС

Н.Н.Дзюба

Институт проблем математических машин и систем, Украина

Проблема минерализации водоема-охладителя ЮЖНО-УКРАИНСЬКОЇ АТОМНОЇ СТАНЦІЇ является весьма актуальной в связи с большой тепловой нагрузкой водоема. Для расчета усредненного по объему водоема-охладителя уровня минерализации использовалась однокамерная балансовая модель, уравнения которой имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{dV(t)}{dt} &= \sum_1^n Q_{in}^i(t) - \sum_1^m Q_{out}^i(t) \\ \frac{dA}{dt} &= \sum_1^n Q_{in}^i(t) C^i(t) - C_{pond}(t) \sum_1^{\tilde{m}} Q_{out}^i(t), \\ C_{pond}(t) &= \frac{A(t)}{V(t)} \end{aligned} \quad (1)$$

с начальными условиями

$$V(0) = V_0$$

$$C_{pond}(0) = C_0,$$

где

$C_{pond}(t)$ - осредненная по объему водоема-охладителя концентрация минерализации в момент времени t ,

$Q_{in}^i(t)$, $i = 1, n$ и Q_{out}^i , $i = 1, m$ - расходы притоков в водоем-

охладитель и вытоков из него в момент времени t ,

Уровень минерализации зависит от многих факторов, основными из которых являются условия теплового и водного баланса водоема-охладителя и метеоусловия в районе станции, а именно: температура воздуха, скорость ветра и упругость водяного пара. Метеоусловия существенным образом влияют на интенсивность испарения с поверхности водоема, которое, в свою очередь, является важным фактором, влияющим на минерализацию. Испарение может быть оценено путем непосредственных измерений уровня водоема с учетом всех других составляющих водного баланса, или рассчитано различными методами. Для практических нужд часто используют эмпирические формулы оценки испарения, учитывающие температуру водной поверхности, силу ветра и упругость водяного пара. В данной камерной модели для оценки испарения использовалась эмпирическая формула Карпентера [1] вида:

$$E = 0.231 (1 + 0.135 w) (e_{\max} - e), \quad (2)$$

где

e - среднесуточная упругость водяного пара на высоте 2 м над поверхностью водоема для естественных условий в мб, которая измеряется непосредственно;

e_{\max} - максимальная упругость водяного пара в мб, соответствующая температуре водоема, которая находится по специальным таблицам.

На Рис.1 приведен график сравнения среднемесячных расходов испарения, рассчитанных по формуле (2), с данными измерений за 2006 год, который демонстрирует вполне удовлетворительное совпадение расчетных и измеренных данных.

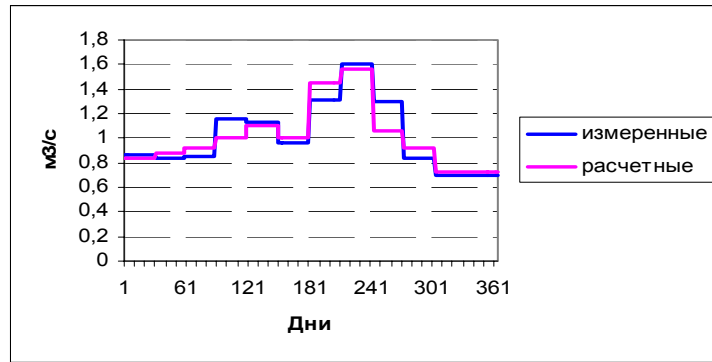


Рис.1. Сравнение измеренных и рассчитанных среднемесячных расходов испарения за 2006 год.

Хорошее совпадение расчета с данными измерений за 2006 год означает, что оценка испарения по формуле (2) может быть использована в случае отсутствия реальных данных об испарении, в том числе и для прогноза на длительный период времени. Этот вывод делается еще более наглядным, если посмотреть на график расчета минерализации (Рис.2), что является основной задачей этой модели. На Рис.2 приведено сравнение расчетной минерализации водоема-охладителя ЮУАЭС за 2006 год с данными натурных измерений. Расчет проводился с использованием реальных данных об испарении (кривая 1) и с использованием формулы (2) для оценки испарения (кривая 2).

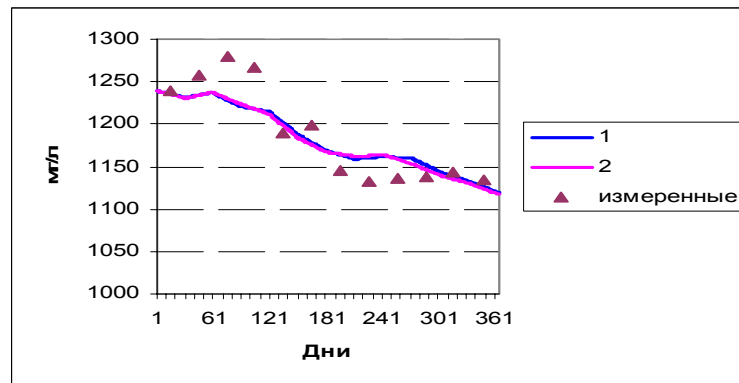


Рис.2. Сравнение рассчитанной минерализации водоема-охладителя ЮУАЭС за 2006 год с данными измерений для различных сценариев оценки испарения.

Література

1.Методические рекомендации к расчету водохранилищ-охладителей ТЭС. П-33-75.ВНИИГ-Л.:Энергия.-1976.-56 с.