

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ**

ЄВДІН ЄВГЕН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 004.9:504:519.6

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ-ОБГОРТОК
ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ
РІШЕНЬ З ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті проблем математичних машин і систем Національної академії наук України

Науковий керівник кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Железняк Марк Йосипович,
Інститут проблем математичних машин і систем
НАН України,
провідний науковий співробітник
відділу математичного моделювання навколишнього
середовища

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Казимир Володимир Вікторович,
Чернігівський національний технологічний
університет МОН України,
проректор з наукової роботи

доктор технічних наук, професор
Петрухін Володимир Олексійович,
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,
провідний науковий співробітник
відділу методів системного моделювання

Захист відбудеться “28” жовтня 2015 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.204.01 в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: 03187, м. Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 42.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: 03187, м. Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 42.

Автореферат розісланий “22” вересня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.І. Ходак

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогоднішній день для розв'язання задач екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів все ширше впроваджуються системи підтримки прийняття рішень (СППР), засновані на математичних моделях динаміки навколишнього природного середовища. Завдання екологічної безпеки мають комплексний характер, що вимагає при їх вирішенні взаємодії на рівні потоків інформації моделей метеорологічних, гідрологічних, океанологічних, гідрогеологічних процесів, моделей переносу забруднень у навколишньому середовищі, в біологічних екосистемах і харчових ланцюгах. Зазвичай, розрахункові моделі є вузькоспеціалізованими і описують процеси тільки одного з можливих природних діапазонів. Нерідкі ситуації, коли СППР створюється на основі блоків, створених різними групами розробників, без урахування їх сумісності з іншими моделями. Таким чином, основним завданням СППР є забезпечення чіткого, простого шляху інтеграції обчислювальних моделей і системи, а також реалізації можливості інтеграції моделей між собою шляхом об'єднання в обчислювальні ланцюжки. Іншою, не менш важливою задачею, є надання достатньо зручного інтерфейсу для ініціалізації, управління ходом розрахунку моделі, візуалізації та пост-обробки результатів, щоб користувач системи мав можливість і бажання користуватися нею самостійно. Найбільш складною є така задача в комплексних екологічних додатках, для яких, поряд з інтеграцією різних розрахункових моделей, виникає завдання організації їх взаємодії з базами даних (БД), у тому числі з БД реального часу, інтерфейсом користувача, геоінформаційною системою (ГІС).

Задачам побудови систем підтримки прийняття рішень, які базуються на математичних моделях приділялася велика увага в роботах вітчизняних та закордонних дослідників (Дейнека В.С., Додонов О.Г., Згуровський М.З., Казимир В.В., Куссуль Н.М., Лаврищева К.М., Литвинов В.В., Мокін В.Б., Петренко А.І., Петрухін В.О., Сергієнко І.В., Трофімчук О.М., Тульчинський В.Г., Верес О.М., Гофман Д.С., Argent R.M., Jagers V., Marakas G.M, Moore A.V., Rizolli A.E. та ін.). В останні роки стали відомими спеціалізовані моделюючі системи-каркаси для керування інтегрованими до них моделями: OpenMI, TIME, Kepler, OMS та інші. Вони мають різну функціональність, яка дозволяє організувати обчислювальні ланцюжки, а деякі з них – надають для цього графічний інтерфейс. Але розробка СППР на їх основі може мати значні недоліки, особливо якщо початкова предметна область моделюючої системи відрізняється від предметної області СППР.

Автоматизація процесів запуску розрахунків моделей, збору, аналізу, зручне представлення та поширення результатів, суттєво розширить коло можливих користувачів та забезпечить підвищення надійності, оперативності та зниження трудомісткості процесу використання обчислювальних модулів. Зміна поколінь інструментальних засобів програмування дозволяє розробляти більш ефективні засоби автоматизації інтеграції моделей у СППР ніж у попередні десятиріччя.

Таким чином, створення нової інформаційної технології для інтеграції математичних моделей, баз даних і ГІС у системи підтримки прийняття рішень з екологічної безпеки є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт у рамках держбюджетних тем Національної академії наук України: “Створення інтелектуальних інформаційних технологій для систем підтримки прийняття рішень з реагування на природні і техногенні надзвичайні явища в атмосфері, водах суходолу та морських системах з використанням кластерних систем” (№ держ. реєстр. 0109U004471, 2009); “Розробка і впровадження грид технологій для систем підтримки прийняття рішень з оперативного реагування на надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру і планування довгострокових контрзаходів” (№ держ. реєстр. 0110U005203; 0112U001697, 0113U001721, 2010, 2012-2013); “Кількісні і якісні аспекти управління водними ресурсами України в умовах регіональних кліматичних змін: каскади водосховищ, прибережна зона в гирлах великих річок” (№ держ. реєстр. 0110U004524; 0112U004053; 0113U001720, 2010, 2012-2013); “Розробка та впровадження систем високопродуктивних обчислень для підтримки оперативного реагування на надзвичайні ситуації” (№ держ. реєстр. 0110U003751, 0111U009317, 0112U001698, 2010-2012); “Впровадження системи оцінки ризику повеней в Україні за супутниковими, наземними та модельними даними на базі регіонального офісу UN-SPIDER. Розділ 2 “Побудова карт зон затоплень за даними гідрологічного і гідравлічного моделювання” (№ держ. реєстр. 0110U003290, 2011); “Інформаційно-моделююча система двовимірного гідродинамічного прогнозування зон затоплень з ГІС відображенням для акваторій: Київське і Канівське водосховища, р. Десна біля м. Чернігів і р. Дністер біля м. Могилів – Подільський” (№ держ. реєстр. 0111U006066, 2011); “Розробка теоретичних основ побудови нових моделей, алгоритмів і розподілених інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в системах електронного урядування Е-СИСТЕМА” (№ держ. реєстр. 0111U002509, 2011–2014).

Ці дослідження проводились також в рамках проекту 6-ї Рамкової Програми (РП) наукових досліджень Європейської Комісії EURANOS (2005–2009) та проектів 7-ї РП NERIS-TP (2011–2014) і PREPARE (2013–2015).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності створення систем підтримки прийняття рішень з екологічної безпеки, що базуються на математичних моделях.

Для досягнення поставленої мети сформульовані й вирішені такі задачі:

- провести аналіз проблем і підходів при інтегруванні математичних моделей фізичних процесів до моделюючих систем та побудові сучасних СППР з проблем екологічної безпеки та природокористування;
- проаналізувати структуру розрахункових моделей фізичних процесів для формалізації опису та структури вхідних і вихідних параметрів моделей;
- розробити класифікацію розрахункових моделей екологічної безпеки для формулювання вимог до організації введення/виведення даних при інтеграції до СППР;
- розробити інформаційну технологію та обумовлену нею архітектуру системи, що дозволила б швидко та ефективно інтегрувати незалежно розроблені математичні моделі до СППР;

– створити, апробувати та впровадити СППР з реагування на ядерні аварії та прогнозування екстремальних повеней, які забезпечать використання розробленої інформаційної технології на практиці.

Об'єктом дослідження є процес побудови та використання інформаційних технологій для систем підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки.

Предметом дослідження є методи та засоби побудови системи підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки на базі математичних моделей фізичних процесів.

Методами дослідження дисертаційної роботи є методи загальної теорії систем; методи математичного моделювання, теорії реляційних баз даних та інтерполяційні методи ГІС-технологій (при аналізі структури моделей, їх класифікації та виборі оптимального формалізованого опису вхідних і вихідних даних); методи об'єктно-орієнтованого програмування й оптимізації (для розробки програмного продукту).

Наукова новизна одержаних результатів роботи визначається такими одержаними автором результатами:

1. Вперше формалізовано структуру параметрів моделей фізичних процесів у вигляді уніфікованого типу даних та запропоновано класифікацію розрахункових моделей за типом введення/виведення даних, що дозволило врахувати структурні особливості моделей у галузі екологічної безпеки при інтеграції їх до системи та об'єднанні моделей в обчислювальні ланцюжки.

2. Вперше запропоновано розподілений об'єкт-обгортку, структура якого, на відміну від звичайних обгортки, складається з трьох незалежних компонент, що дозволило забезпечити логічну, візуальну та технічну інтеграцію різнорідних розрахункових моделей до системи підтримки прийняття рішень.

3. Удосконалено технологію інтеграції успадкованих програмних об'єктів до системи підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки шляхом використання запропонованого в роботі розподіленого об'єкта-обгортки, що дозволило спростити процес інтеграції сторонніх розрахункових модулів у вигляді плагінів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена інформаційна технологія може широко застосовуватися для побудови систем комп'ютерної підтримки прийняття рішень, що базуються на математичних моделях. Технологія забезпечує ефективне використання комплексних СППР, в яких необхідно включати кілька обчислювальних моделей, а також організувати безшовний з точки зору користувача потік інформації та передачі управління від однієї моделі до іншої в рамках однієї системи, забезпечивши семантичну, методологічну та технічну можливість об'єднання моделей в обчислювальні ланцюжки.

Розроблена інформаційна технологія забезпечує розширення кола користувачів обчислювальних моделей шляхом автоматизації процесів запуску розрахунків моделей, збору, аналізу та зручного представлення результатів.

Найбільшу практичну цінність мають такі одержані результати:

1. Розроблена технологія дозволить прискорити процес інтеграції сторонніх обчислювальних моделей шляхом повторного використання шаблонів

об'єктів-обгортки для кожного класу моделей, що розглядаються, та кодування вхідних/вихідних параметрів за допомогою узагальненого типу даних;

2. Розроблено практичні рекомендації щодо інтеграції нових моделей з використанням створеної технології, що дозволяє мінімізувати можливість появи помилок інтеграції, своєчасно їх локалізувати та виправляти;

3. Розроблену в дисертаційній роботі інформаційну технологію впроваджено для створення кросплатформної версії JRODOS європейської СППР з реагування на радіаційні аварії RODOS. Створено нову СППР з реагування на ядерні аварії, до якої інтегровано розроблені більш ніж в 20 європейських інститутах математичні моделі, бази даних, геоінформаційну систему для прогнозування та оцінки наслідків можливих радіаційних аварій з використанням інформації систем станційного радіологічного моніторингу, оперативних метеорологічних прогнозів або сценаріїв розвитку гідрометеорологічної ситуації.

4. Створено СППР з реагування на екстремальні повені та прогнозування зон затоплень: СППР «Повінь 2Д» двовимірного гідродинамічного прогнозування зон затоплень та її впровадження для р. Дніпро біля м. Києва і р. Дністер біля м. Могилів-Подільський; СППР «Повінь 1Д» одновимірного прогнозування розповсюдження повеней у річках та її впровадження для р. Стир.

Впровадження систем підтверджується відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. Роботи [1, 2, 19, 25] підготовлені автором одноосібно. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать такі результати: [3–6, 12, 14–16, 23, 28] – архітектура системи, взаємодія основних компонентів, розробка методів, алгоритмів та програмних модулів для інтеграції моделей до СППР; [7, 8, 10, 20–22, 27] – адаптація системи до умов Азії, інтеграція моделі прогнозу погоди; [9] – оптимізація обробки даних для довгострокових розрахунків; [11, 18] – інтеграція функцій ГІС модуля системи для потреб моделей; [13, 24] – розробка уніфікованого типу даних, методів, алгоритмів та програмних модулів для інтеграції моделей до СППР; [17] – алгоритм спілкування основної та розрахункової віртуальних машин; [26] – технологія інтеграції моделей, підключення JRODOS до серверів Автоматичної Системи Контролю Радіаційної Обстановки, бібліотека потенційних аварій, [29–31] – інтеграція моделі прогнозу погоди, участь у розробці алгоритму автоматизованого запуску розрахунку моделі.

Апробація результатів дисертації. Наукові результати та основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних та всеукраїнських конференціях і семінарах: III-VII науково-практичних конференціях з міжнародною участю «Системи підтримки прийняття рішень: теорія і практика» (м. Київ, 2007-2013 рр.); II науково-практичній конференції з міжнародною участю «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС-2007» (м. Київ, 2007 р.); IX міжнародній науково-практичній конференції з проблем атомної енергетики «Безпека, ефективність, ресурс ЯЕУ» (МНПК ПАЕ-9) (м. Севастополь-Ласпі, 2011 р.); III всеукраїнській науково-практичній конференції «Вільне програмне забезпечення в освіті, науці та бізнесі» (м. Чернігів, 2012 р.); IV міжнародній науковій конференції «Моделювання-2012» (м. Київ, 2012 р.); VI-IX міжнародних науково-практичних конференціях «Математичне та імітаційне моделювання

систем. МОДС» (м. Чернігів, 2011–2012 рр., м. Чернігів-Жукін, 2013 р., м. Київ-Жукін, 2014 р.), міжнародному семінарі «Final EURANOS Meeting» (м. Мадрид, Іспанія, 2009 р.); міжнародній конференції «Radioecology and environmental radioactivity» (м. Гамільтон, Канада, 2011 р.); міжнародній конференції «Harmonization within atmospheric dispersion modeling for regulatory purposes (HARMO'15)» (м. Мадрид, Іспанія, 2013 р.); міжнародних семінарах «RODOS User Group Meeting» (м. Карлсруе, Німеччина, 2010 р., 2012–2015 рр.); міжнародній конференції «General Assembly European Geosciences Union 2015» (м. Відень, Австрія, 2015 р.).

Публікації. За матеріалами роботи опублікована 31 наукова праця, у тому числі 9 статей у фахових наукових журналах (4 статті у фахових виданнях ВАК України (з них 2 одноосібні) і 5 статей у провідних міжнародних журналах), 22 тези у збірниках праць наукових конференцій (з них 2 одноосібні).

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку. Загальний обсяг дисертації становить 151 сторінка, у тому числі 129 сторінок основного тексту, 31 рисунок, з них 1 – на окремій сторінці, 4 таблиці, список використаних джерел із 114 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено дані про впровадження результатів роботи, публікації і особистий внесок автора.

У **першому розділі** описані основні компоненти та технології, що використовуються при розробці СППР. Зазначено, що особливістю СППР з екологічної безпеки та природокористування є використання складних математичних моделей динаміки навколишнього природного середовища. Користувач СППР не повинен знати структуру рівняння та алгоритми математичних моделей, але при цьому повинен отримувати практично значимі результати.

Зазначено, що будь-яка практична задача лежить на перетині різних предметних областей. При цьому кожна математична модель, зазвичай, є вузькоспеціалізованою і описує процеси тільки одного з можливих природних діапазонів. Таким чином, для ефективного використання СППР у них необхідно включати кілька обчислювальних моделей, а також організувати безшовний (з точки зору користувача) потік інформації та передачі управління від однієї моделі до іншої в рамках однієї системи, забезпечивши можливість об'єднання моделей в обчислювальні ланцюжки.

Проаналізовано існуючі технології інтегрування математичних моделей та сучасні моделюючі фреймворки системи автоматизованого управління моделями, що дозволяють об'єднувати їх в обчислювальні ланцюги. Зазначено, що такі фреймворки мають різну функціональність, створюються під конкретний проект та оптимізовані під визначену предметну область. Розробка СППР як надбудови над існуючим фреймворком має декілька переваг, основною з яких є існування вже

готових до інтеграції в систему моделей, так як вони пройшли адаптацію під існуючий стандарт. Однак у випадку, якщо первинна предметна область фреймворка відрізнялася від предметної області СППР, сам фреймворк має критичні для системи недоліки, а також, якщо необхідні для роботи СППР моделі ще не були інтегровані під цей стандарт, таке рішення може створити додаткові труднощі при реалізації системи.

Зроблено опис сучасних СППР з проблем екологічної безпеки та природокористування, з якого випливає, що поряд із задачею інтеграції різних розрахункових моделей та організації їх взаємодії необхідно інтегрувати їх у СППР із зручним графічним інтерфейсом, способом зберігання інформації у базі даних, підсистемою побудови звітів, геоінформаційною системою та іншою функціональністю, яка відсутня у звичайному моделюючому фреймворку.

При цьому нерідкі ситуації, коли СППР формується на основі моделей, створених різними групами розробників, без урахування їх сумісності з іншими моделями і на різних мовах програмування, відмінних від мови ядра системи. Тому для підвищення ефективності СППР з екологічної безпеки, що базуються на математичних моделях, вирішено було створити нову інформаційну технологію, яка дозволяє спростити процес інтеграції сторонніх розрахункових модулів та реалізації взаємодії розрахункових модулів між собою, із системою та з користувачем, та адаптувати систему до розв'язання нових задач без модифікацій існуючого коду.

У **другому розділі** розроблено теоретичні основи формалізації параметрів математичних моделей фізичних процесів для організації введення/виведення даних при інтеграції моделей до СППР з екологічної безпеки.

Проведено аналіз загальної структури математичні моделей, які використовуються у СППР з екологічної безпеки. Математичні моделі розповсюдження радіонуклідів у навколишньому середовищі (повітрі чи поверхневих водах) розділяються на моделі з розподіленими параметрами та моделі із зосередженими параметрами (камерні чи боксові). Моделі першого типу оперують змінними, які залежать від просторових змінних (одно-, дво- та тривимірні моделі) і часу та представляються диференціальними рівняннями в часткових похідних (ДРЧП). Моделі другого типу представляються звичайними диференціальними рівняннями (ЗДР) та оперують змінними, які залежать лише від часу, а просторове розташування значення змінної визначається лише номером просторової комірки (боксу).

У загальному вигляді в рамках моделей першого типу диференціальне рівняння в часткових похідних динаміки концентрації радіонуклідів у навколишньому середовищі $C(x_1, x_2, x_3, t)$ може бути представлено в такому вигляді:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(U_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i}(\varepsilon_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j}) + \lambda C + \sum_{j=1}^n R_j, \quad (1)$$

де t – час, x_i , ($i = 1, 2, 3$) просторові координати, U_i – компоненти швидкості руху у повітрі чи у воді по відповідній просторовій координаті, $\varepsilon_{i,j}$ – коефіцієнт турбулентної дифузії забруднюючої речовини, λ – постійна розпаду радіонуклідів,

$\sum_{j=1}^n R_j$ – сума внутрішніх джерел і стоків. Рівняння (1) описує тривимірний транспорт радіонуклідів чи інших забруднюючих речовин. Двовимірні моделі отримуються інтегруванням за однією з координат, а одновимірні – за площею перерізу потоку.

Для чисельного розв'язання рівняння (1) необхідні тривимірні поля трьох компонент швидкостей та ГС-карти характеристик підстилаючої поверхні. Таким чином, процес підготовки вхідних та обробки вихідних даних включатиме геопросторовий аналіз, який покладений на СППР. Моделі динаміки швидкостей навколишнього середовища можуть бути або модулем СППР, або розраховані поля швидкостей (наприклад, поле вітру з метеорологічних моделей) можуть отримуватись від зовнішніх провайдерів гідрометеорологічних даних.

У моделі із зосередженими параметрами динаміка концентрації радіонуклідів осереднена за розрахунковою коміркою – $C_i(t)$ і може бути представлена у вигляді:

$$\frac{d(W_i C_i)}{dt} = Q_{i-1} C_{i-1} - Q_i C_i - \lambda W_i C_i + \sum_{j=1}^n W_j R_j, \quad (2)$$

де i – номер комірки (боксу), W_i – об'єм боксу, Q_i – потік з боксу.

У випадку боксів постійного об'єму рівняння (2) може бути спрощено поділом на об'єм, що приводить до його запису в такій формі:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{(U_{i-1} C_{i-1} - U_i C_i)}{L_i} - \lambda C_i + \sum_{j=1}^n R_j, \quad (3)$$

де L_i – довжина розрахункової комірки, U_i – швидкість потоку, осереднена за її перерізом.

Боксові моделі (2), (3) використовуються не лише для спрощеного опису динаміки концентрацій забруднюючих речовин у водоймах, а й у широкому спектрі екологічних моделей, наприклад, динаміки радіонуклідів у харчових ланцюгах різних екосистем, розрахунку доз, накопичених у різних органах людини та інших.

У припущенні рівноважного стану процесів, що описуються рівняннями (2), (3) ($dC/dt = 0$), модель перетворюється на статичну, в якій значення змінних визначаються алгебраїчними формулами.

Комплексні СППР можуть включати моделі, засновані на ДРЧП, динамічні моделі, що базуються на ЗДР, а також і статичні моделі. У загальному випадку, розрахунок моделей потребуватиме оперативних даних з баз даних реального часу, що необхідно враховувати при розробці технології інтегрування моделей у СППР.

З точки зору СППР, інтегровані моделі є програмним об'єктом, що перетворюють множину вхідних параметрів X у множину вихідних параметрів Y , враховуючі множину станів моделі U . Тобто модель є функцією:

$$f : X \times U \rightarrow Y \times U, \quad (4)$$

де X – множина вхідних параметрів, Y – множина вихідних параметрів, U – множина станів моделі.

Розрахунок моделі складається зі скінченної кількості циклів (розрахункових кроків) ініціалізація-розрахунок-вивід, які можна записати таким чином:

$$f(x_i, u_{i-1}) = (y_i, u_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

де $x_i = \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{m_i}\}$ та $y_i = \{y_i^1, y_i^2, \dots, y_i^{k_i}\}$ – множини вхідних і вихідних даних у загальному випадку складають з просторово-розподілених величин, переважна більшість яких містять дані для декількох часових кроків (кроків виведення), наприклад, $y_i^j = \{y_i^j(t_i^1), y_i^j(t_i^2), \dots, y_i^j(t_i^{k_i^j})\}$ для деяких $j = 1, k_i$. Вхідний чи вихідний параметр може бути представлений у вигляді параметру функції виклику, файлу на диску, запису в БД, що зчитується безпосередньо з моделі та залежить від особливостей програмної реалізації моделі. $u_i = \{u_i^1, u_i^2, \dots, u_i^L\}$ – значення всіх змінних моделі після закінчення i -того розрахункового кроку. Кількість змінних стану моделі, зазвичай, не залежить від номеру кроку. Початковий стан моделі u_0 може надходити до моделі ззовні або ініціалізуватися значеннями за замовчуванням при старті розрахунку засобами самої моделі.

Розіб'ємо розрахункові кроки на такі інтервали:

$$\{(a_i, a_{i+1}) / i = \overline{1, m}, a_1 = 1, a_{m+1} = n, \forall i: x_{a_i} \neq \emptyset, \forall j \in (a_i, a_{i+1}] : x_j = \emptyset\}, \quad (6)$$

тобто на першому кроці кожного інтервалу модель отримує додаткові вхідні дані та не отримує їх впродовж кожного наступного кроку інтервалу.

Вхідний параметр $x \in X$ може бути представлений як параметр функції виклику, файлу на диску, запису в БД та залежить від особливостей програмної реалізації моделі. Вхідні параметри постачаються системою. При інтеграції моделі до системи має бути визначена функція побудови вхідних даних моделі:

$$I : 2^S \rightarrow X, \quad (7)$$

де S – множина, що визначає джерело даних, $S = R \cup G \cup Y \cup Y'_{dep} \cup Y'_{ind}$, R – ресурси, автоматичні дані (записи бази даних, файли, геоінформаційна система, константи тощо), G – дані, отримані з інтерфейсу користувача, які на відміну від автоматичних даних не можна отримати без втручання оператора системи, Y – множина вихідних даних з (4), Y'_{dep} , Y'_{ind} – множина вихідних даних інших моделей залежних та незалежних від результатів розглядуваної моделі відповідно. Функція I визначена на булеані S , так як у загальному випадку для розрахунку вхідного значення потрібно проаналізувати декілька значень із різних джерел даних.

Ланцюжком розрахункових моделей назвемо зв'язний орієнтовний граф $C = (F, L)$, де F – множина вершин, які є функціями (4), тобто множина моделей;

L – множина впорядкованих пар з F , для яких виконується таке співвідношення:
 $\forall (f_1, f_2) \in L : S_{f_2} \cap Y_{f_1} \neq \emptyset$.

Тобто моделі $f_1 \in F$ та $f_2 \in F$ зв'язані дугою $(f_1, f_2) \in L$, якщо серед джерел вхідних даних моделі f_2 є вихідні параметри моделі f_1 . При цьому модель f_1 називається верхньою або батьківською, а модель f_2 – нижньою або дочірньою.

З точки зору організації введення/виведення даних до обчислювальної моделі розрізняються три типи моделей:

- Прості моделі, для яких $m=1$ у (6). В таких моделях спочатку здійснюється ініціалізація вхідних параметрів, потім – виклик однієї або декількох функцій, які відповідають за розрахунок моделі. По завершенні кожного кроку моделі результати моделі забираються і далі транслуються в систему. Основною властивістю простих моделей є відсутність залежності ходу управління розрахунком від нарахованих результатів, за вхідним значенням x_1 однозначно визначається порядок виклику методів і параметри.

- Ітераційні моделі, у яких $\forall i > 1 : I^{-1}(x_{a_i}) \cap (G \cup Y'_{dep}) = \emptyset$ у (6). У таких моделях не можливо визначити виключно за вхідними даними x_1 порядок виконання та значення переданих у модель параметрів. Але аналіз результатів і визначення подальшого ходу виконання моделі виконується на основі автоматичних джерел даних без втручання користувача системи.

- Складні або інтерактивні моделі, у яких $\exists i > 1 : I^{-1}(x_{a_i}) \cap (G \cup Y'_{dep}) \neq \emptyset$ у (6). У цьому випадку також не можливо визначити виключно за вхідними даними x_1 порядок виконання та значення переданих у модель параметрів, однак, перед певними розрахунковими кроками очікуються додаткові вхідні дані від користувача чи передача управління системі. Результати певного етапу розрахунку моделі представляються системою користувачеві (іншій моделі), який на основі отриманих даних вводить додаткові вхідні параметри. Після їх обробки викликаються функції моделі до моменту закінчення роботи або повторної необхідності прийняти рішення в автоматичному або інтерактивному режимі.

За принципом розділення логіки системи та логіки моделі, інтерфейс взаємодії моделі та системи має бути незалежним від реалізації моделі. Тобто ядро системи не може працювати зі специфічними для кожної інтегрованої моделі даними. Комунікацію моделі та системи необхідно проводити через проміжний уніфікований тип даних та визначити функції перекладу даних зі специфічного кожній моделі формату до уніфікованого:

$$O : Y \rightarrow D, K : G \rightarrow D, \quad (8)$$

де D – множина елементів в уніфікованому типі даних, O – функція перетворення вхідних даних у форматі моделі до уніфікованого типу даних, K – функція перетворення даних з інтерфейсу користувача до множини елементів в уніфікованому типі даних.

Враховуючи (8), отримуємо, що множина джерела даних у (7) буде мати вигляд $S = R \cup D \cup Y$, де $D = K(G) \cup O(Y'_{dep}) \cup O(Y'_{ind})$. Перетворення множин автоматичних даних R та результатів поточної моделі Y до уніфікованого вигляду можливе, але не є обов'язковим, так як їх наявність не суперечить принципу незалежності логіки системи та моделі.

Елементи множини D можуть використовуватися багатьма способами, серед яких обов'язковими є: 1) відображення значень користувачу, 2) контейнер для передачі вхідних даних, отриманих від користувача, 3) контейнер для передачі даних від однієї моделі до іншої. Способи обробки елемента при відображенні користувачу визначається типом даних t . Для користувача СППР основними результатами є значення просторово-розподілених величин, таблиці та графіки.

У **третьому розділі** розроблена інформаційна технологія Розподілених Об'єктів Обгортки (РОО) як засіб інтеграції математичних моделей у СППР.

Для кожної обчислювальної моделі необхідно забезпечити комунікацію між моделлю і різними розподіленими компонентами системи за допомогою нетривіального об'єкт-обгортки, який покладений в основу нової технології інтеграції моделей у СППР. Розподілений об'єкт-обгортка моделі – це програмний об'єкт комунікації СППР і моделі, що розподіляється під час виконання між різними компонентами системи і забезпечує логічну, візуальну та технічну інтеграцію математичної моделі в СППР, при цьому:

- логічна інтеграція забезпечується шляхом прямого та зворотного перетворення типів даних системи та моделі, прийому запитів і команд, як від системи, так і від моделі, та відправки відповідей на них;
- візуальна інтеграція відбувається за рахунок надання користувачу зручного інтерфейсу для внесення даних у модель, верифікації вхідних даних на етапі введення, надання рекомендації і допомоги користувачеві щодо введених значень, візуалізації розрахованих результатів;
- технічна інтеграція означає забезпечення потоків даних між РОО і власне моделлю та залежить від реалізації моделі у вигляді конкретного програмного об'єкта.

Для забезпечення кожної з трьох перерахованих вище типів інтеграції в обгортці моделі передбачено відповідний компонент (рис. 1). Для основних компонентів існує окрема точка доступу з системи, завдяки чому компоненти розподіляються між частинами системи, що виконуються в різних процесах і в загальному випадку на різних обчислювальних машинах.

Обов'язковим компонентом обгортки моделі є оболонка (ModelWrapper) моделі. Це єдиний компонент, який оперує як даними у форматі системи (що буде представлений нижче), так і даними у форматі моделі. Крім того, цей компонент реагує на запити з боку системи, імплементуючи інтерфейс IModelWrapper. Цей інтерфейс містить основні команди управління розрахунком моделі з боку системи: ініціалізація, запуск розрахунку, зупинка розрахунку, отримання результатів у форматі даних системи. Для зворотного зв'язку клас ModelWrapper вимагає інтерфейс IModelWorker.

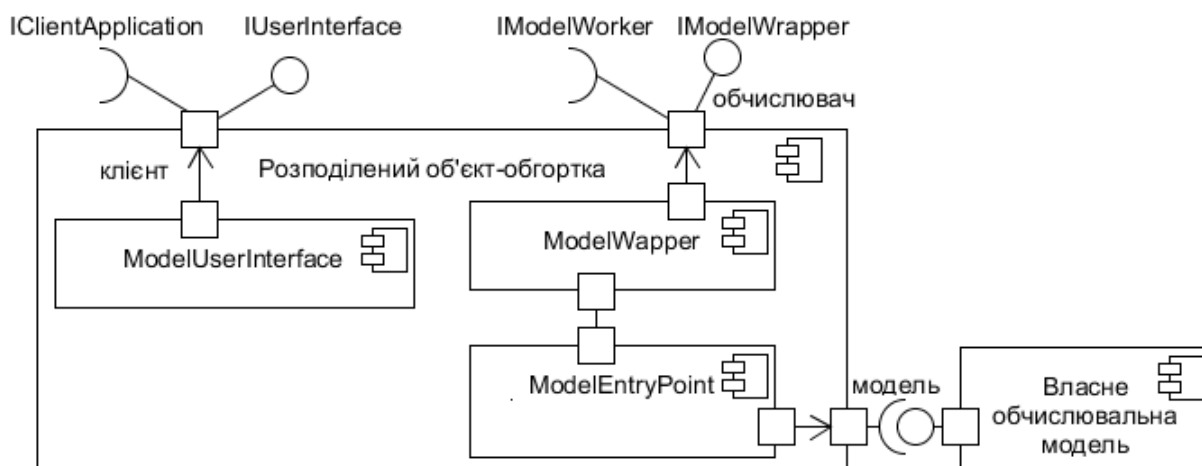


Рисунок 1 – Структура POO моделі

Другим компонентом POO моделі є точка доступу власне моделі (ModelEntryPoint) – компонент, що відповідає за технічну частину роботи з інтеграції зовнішньої моделі. Цей компонент повинен реалізувати виклик методів моделі тим чи іншим способом. Спосіб виклику, в першу чергу, залежить від реалізації моделі у вигляді програмного об'єкта (автономна програма, бібліотека, що динамічно підключається, веб-сервіс, програма, завантажена на кластер тощо). На відміну від решти компонентів POO, ModelEntryPoint моделі не надає інтерфейсів доступу основній системі, тобто система не має безпосереднього впливу на роботу власне інтегрованої моделі.

Інтерфейс користувача реалізується основним компонентом ModelUserInterface, який імплементує інтерфейс IUserInterface. Цей інтерфейс містить методи отримання збережених вхідних даних, методи повернення оновлених вхідних даних, а також методи отримання графічного контейнера, що розміщується в графічному вікні користувача. Вхідні дані можуть бути заповнені під час попереднього запуску або параметрами за замовчуванням. Класу ModelUserInterface надається інтерфейс для зворотного зв'язку з системою (назвемо його IClientApplication).

Крім звичайних обгортки-моделей існують також супермоделі, що викликають всередині себе інші інтегровані моделі. Це композитні моделі, що реалізують додаткову логіку над звичайними моделями, весь життєвий цикл яких відбувається всередині супермоделі. Супермоделі є прикладом POO, в яких доцільно може бути відсутня компонента ModelEntryPoint, якщо вони в якості обчислювального ядра застосовують виключно підмоделі. Вони можуть використовуватися для задач комплексної оцінки ситуації в автоматичному режимі, а також для вироблення рішення, шляхом аналізу даних, розрахованих підмоделями.

Структура POO враховує особливості організації введення/виведення даних до моделей та адаптується до кожного з трьох типів організації комунікації користувач – система (POO) – модель. Користувач впливає на роботу моделі системи лише через компонент ModelUserInterface POO, компонент ModelWrapper може отримувати додаткові дані лише з автоматичних джерел (наприклад, бази даних), останній компонент, ModelEntryPoint оперує лише даними, що надходять з ModelWrapper.

Для роботи з даними в системі розроблено уніфікований тип даних, структура класів датаітемів, які зберігають власне чисельні дані, метадані та відносини між ними. Датаітеми дозволяють системі одноманітно працювати з даними з різних джерел інформації, розробивши для них відповідні адаптери прямого та зворотного перетворення. Для датаітемів реалізовані процедури зберігання і передачі, відображення в графічному інтерфейсі користувача.

Класи датаітемів реалізують композитний шаблон програмування, що об'єднує об'єкти в деревовидну структуру та дозволяє системі звертатися до окремих об'єктів і до групи об'єктів одноманітно. Дані інтегрованих моделей організуються в деревоподібну структуру, яка розділяється на піддерево вхідних та вихідних даних. На рис. 2 наведена UML діаграма даної структури класів.

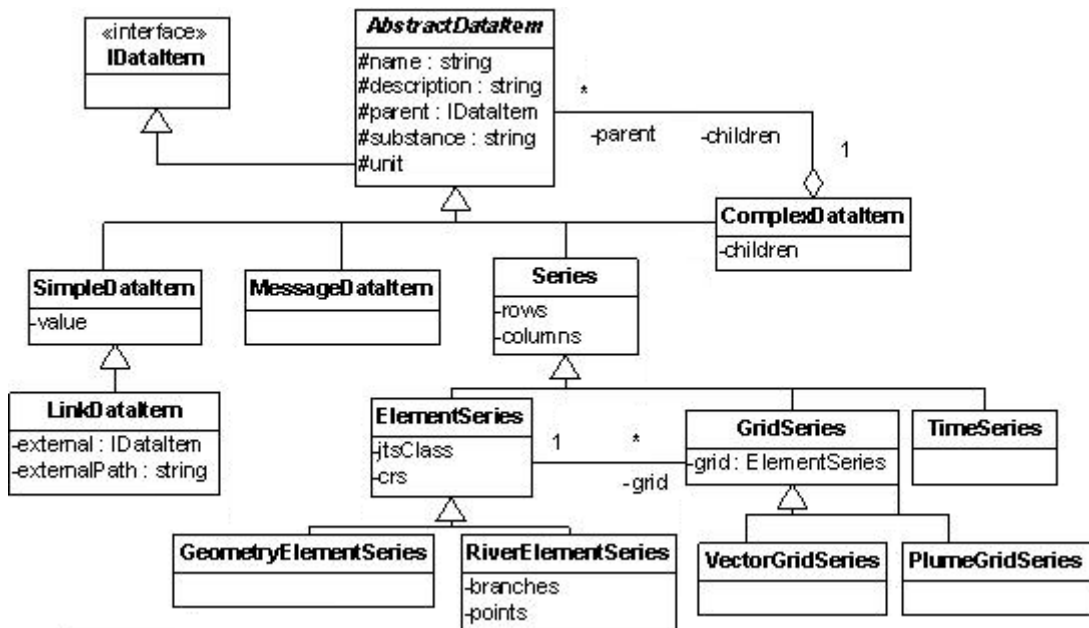


Рисунок 2 – UML діаграма класів уніфікованого типу даних датаітем

Сформульовано способи організації ланцюжків моделей, порівняльний аналіз яких виявив переваги та недоліки обох способів. Запропоновано для інтеграції моделей за допомогою POO використовувати низхідний потік викликів (спочатку повністю розраховуються верхні моделі, а потім – дочірні) з використанням об'єктів спеціального класу уніфікованого типу даних – датаітемів-посилань. Ці об'єкти, перевизначаючи ієрархічні операції й операції повернення значення, дозволяють замінити встановлення відповідності виходів попередньої моделі входам наступної моделі операціями з датаітемами. Для дочірньої моделі звернення до датаітему батьківської моделі не відрізняється від маніпуляцій з локальним об'єктом уніфікованого типу даних.

Запропоновано класи системи, за допомогою яких реалізується управління моделями, ланцюжками моделей, вхідними та вихідними даними в рамках об'єктно-орієнтованого підходу. Розрахунки моделей представляються в системі за допомогою класу Task (Завдання), який містить вхідні та вихідні дані, метадані (назва, стан, тип), а також посилання на POO моделі, що визначає структуру дерева

даних. Для кожної інтегрованої моделі можна створити необмежену кількість завдань, які будуть відрізнятися вхідними і, відповідно, вихідними значеннями.

Завдання об'єднуються в проекти. Проекти дозволяють встановити зв'язки між завданнями в автоматичному порядку для зареєстрованого ланцюжка моделей. Однак, у загальному випадку об'єднувати можна різну кількість завдань довільного типу. На рис. 3 представлена схема асоціації класів, що відповідають за роботу з моделями.

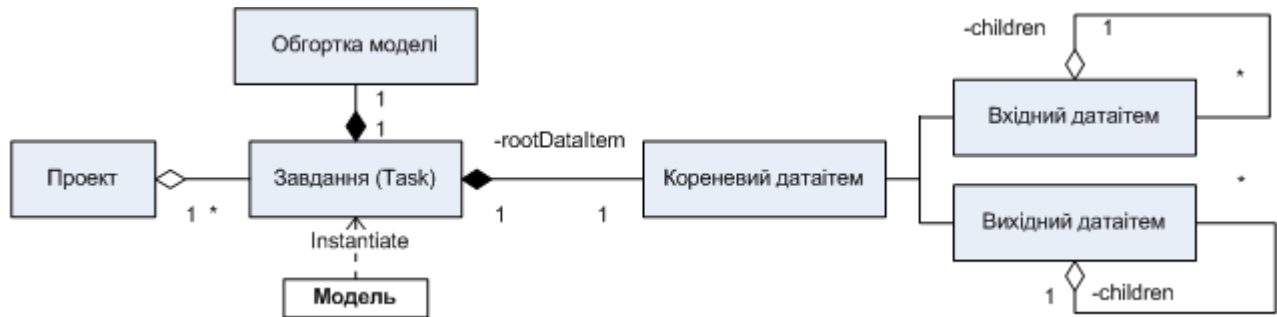


Рисунок 3 – Діаграма класів, які відповідають за роботу з моделлю

У **четвертому розділі** описано клієнт-серверну архітектуру СППР на базі запропонованої технології розподіленого об'єкта-обгортки.

Удосконалена клієнт-серверна архітектура дозволяє використовувати систему як в інтерактивному режимі для детального аналізу ситуацій минулого, так і для оперативного використання, прогнозування чи аналізу поточної ситуації в напівавтоматичному та автоматичному режимі. Автоматичний запуск розрахункових моделей та автоматична система побудови звітів дозволяє вбудовувати СППР у ширшу автоматизовану систему передачі даних. Архітектура системи складається з таких компонент: управляючий сервер або менеджер, обчислювальний компонент, клієнт, сервер баз даних. Користувачі системи можуть приєднуватися до менеджера за допомогою власної інсталяції клієнта, при цьому кожному користувачу виділяється окремий обчислювальний компонент. Компоненти фізично можуть бути розміщені як на окремих комп'ютерах, так і на одній машині.

Розроблено механізм створення фізичних об'єктів реалізації РОО інтегрованих моделей у вигляді необов'язкових програмних компонентів – плагінів. Вся залежна від моделей функціональність винесена до плагінів так, щоб інтеграція кожної нової моделі не призводила б до необхідності вносити зміни в уже існуючі моделі та перевіряти на цілісність систему. База плагінів зберігає власне плагіни, правила поєднання їх у ланцюжки та взаємної заміни.

Розподілений об'єкт-обгортка містить основну функціональність плагіна. Плагін складається з пакетів, які розподіляються під час виконання між компонентами системи: пакет з інтерфейсом користувача, пакет з інтерфейсом доступу до бази даних та завданнями для менеджера, пакет з інтерфейсом до обчислювальної моделі.

Сформульовано методику інтеграції нових моделей з використанням РОО.

У **п'ятому розділі** продемонстровано використання розробленої інформаційної технології для побудови комплексних СППР прогнозування впливу надзвичайних ситуацій на довкілля та населення.

Розроблено систему JRODOS – нову кросплатформну версію європейської СППР із реагування на радіаційні аварії RODOS, до якої інтегровані розроблені більш ніж у 20 європейських інститутах математичні моделі, бази даних, геоінформаційну систему для прогнозування та оцінки наслідків можливих радіаційних аварій з використанням інформації систем станційного радіологічного моніторингу, оперативних метеорологічних прогнозів або сценаріїв розвитку гідрометеорологічної ситуації.

Обчислювальні моделі розробляються окремо від системи, з використанням мов програмування FORTRAN і C/C++. Розроблені рекомендації та програмно-інструментальні засоби, що дозволяють полегшити процес інтеграції і зробити його більш гнучким. Час інтеграції моделей у середньому скоротився з 9 місяців до 15 робочих днів. За запропонованою технологією до системи інтегровано більше 25 різних моделей. Описані підходи для ефективної організації збереження інформації, зменшення використання оперативної пам'яті та підвищення відмовостійкості системи при одночасному розрахунку декількох моделей.

До системи JRODOS інтегровано модель чисельного прогнозу погоди, що дозволяє розраховувати детальні прогностичні метеорологічні поля на основі вільно розповсюджуваних даних глобального прогнозу погоди та мезомасштабної метеорологічної моделі WRF для їх подальшого використання системою при необхідності розрахунку короткострокового прогнозу розповсюдження радіоактивності в будь-якій точці Земної кулі.

Приклад візуалізації результатів моделювання наведено на рис. 4.

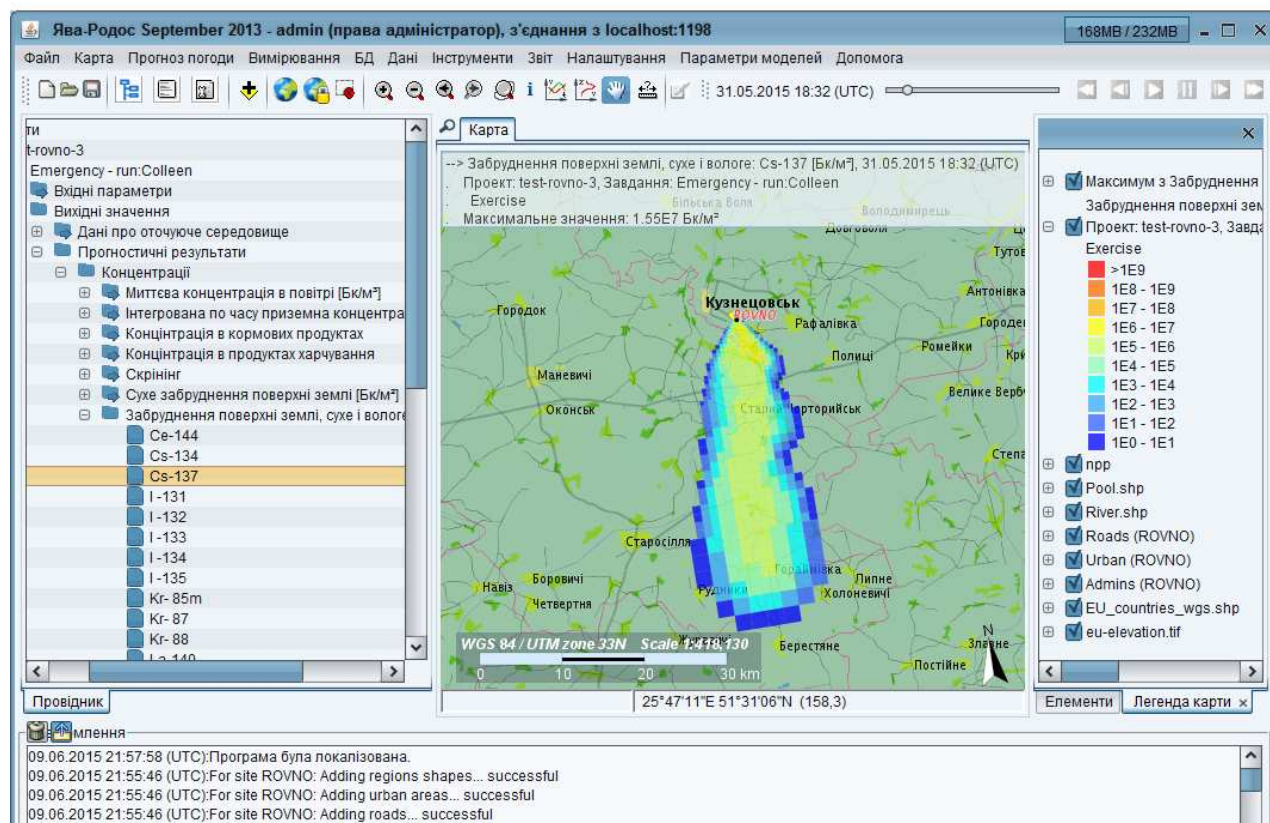


Рисунок 4 – Головне вікно JRODOS із завантаженим проектом та розрахованою картою випадіння ^{137}Cs при гіпотетичному сценарії аварії

Система JRODOS використовується в Україні, Австрії, Німеччині, Іспанії, Нідерландах, Фінляндії, Швейцарії та інших країнах у центрах аварійного реагування та регулюючих органах як система прогнозування, а також для підвищення аварійної готовності при формуванні планів аварійного реагування. JRODOS було адаптовано до умов АЕС Фукусіма-1 та використано при оцінці наслідків аварії. Розроблено СППР «Повінь-2Д», що поєднує під однією програмною оболонкою електронної карти топографії, глибин і відміток дамб; сучасну двовимірну чисельну модель річкової гідравліки COASTOX-UN та сценарії прогнозу гідрографу стоку за балансовими моделями. Розроблена система дозволяє виконати розрахунки для різних режимів скидів води з водосховища, для різних відміток водної поверхні, що може бути використано при розробці режимів роботи ГЕС для найбільш безпечного пропуску повеневих вод. Систему було впроваджено для оперативного моделювання затоплення повеневими водами р. Дніпро території біля м. Києва та р. Дністер біля м. Могилів Подільського.

Розроблено СППР «Повінь-1Д» на основі моделі для транспорту води на основі рівнянь Сен-Венана (RIVTOX-SV). Система призначена для прогнозування повеней і підтримки прийняття рішень у басейні річки Стир та дозволяє збір гідрологічних даних з вимірювальних станцій, збереження їх у базі даних, візуалізації та порівняння з результатами моделювання.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі поставлено і вирішено актуальну науково-практичну задачу розробки інформаційної технології інтеграції моделей до СППР за допомогою розподіленого об'єкта-обгортки. Основні наукові та практичні результати роботи є такі:

1. Проведено аналіз проблем та підходів при інтегруванні математичних моделей фізичних процесів до моделюючих систем та побудові сучасних СППР із проблем екологічної безпеки та природокористування.

2. Формалізовано структуру параметрів моделей фізичних процесів у вигляді уніфікованого типу даних (датаітемів), який зберігає власне чисельні дані, метадані та відносини між ними, що дало можливість врахувати структуру вхідних та вихідних даних математичних моделей, об'єднати моделі в обчислювальні ланцюжки та одноманітно працювати з даними з різних джерел інформації.

3. Запропоновано класифікацію розрахункових моделей за типом введення/виведення даних, що дозволило врахувати структурні особливості моделей у галузі екологічної безпеки при інтеграції їх до системи.

4. Розроблено нову інформаційну технологію розподіленого об'єкта-обгортки моделі, програмного об'єкта комунікації СППР і моделі, що розподіляється під час виконання між різними компонентами системи та, на відміну від звичайних об'єктів-обгортки, забезпечує логічну, візуальну та технічну інтеграцію математичної моделі в СППР. Структура РОО враховує особливості організації введення/виведення даних до моделей та легко адаптується до кожного з трьох класів моделей за типом організації комунікації користувач – система – модель. Розроблена технологія дозволяє прискорити процес інтеграції сторонніх

обчислювальних моделей, шляхом повторного використання шаблонів об'єктів-оболонок для кожного класу моделей та кодування вхідних/вихідних параметрів за допомогою уніфікованого типу даних.

5. Показано, що для організації ланцюжків моделей за допомогою РОО потрібно використовувати низхідний потік викликів та об'єкти спеціального класу – датаітеми-посилання. Такий підхід дозволяє замінити встановлення відповідності виходів попередньої моделі входам наступної моделі операціями з датаітемами.

6. Розроблено архітектуру системи підтримки прийняття рішень у сфері екологічної безпеки на базі запропонованої в роботі технології РОО. Клієнт-серверна архітектура дозволяє використовувати систему як в інтерактивному режимі для детального аналізу ситуацій минулого, так і для оперативного використання, прогнозування чи аналізу поточної ситуації в напівавтоматичному та автоматичному режимі. Автоматичний запуск розрахункових моделей та автоматична система побудови звітів дозволяє вбудовувати СППР у ширшу автоматизовану систему передачі даних.

7. Розроблено механізм випуску фізичних об'єктів реалізації РОО інтегрованих моделей у вигляді не обов'язкових програмних компонентів, які незалежно компілюються та динамічно підключаються до основної системи для незалежного розширення її функціональності. Розроблено методику інтеграції нових моделей з використанням РОО, що дозволяє зменшити можливість появи помилок інтеграції, своєчасно їх локалізувати та виправити. Рекомендації та програмно-інструментальні засоби інтеграції моделей дозволяють полегшити процес інтеграції і зробити його більш гнучким. Час інтеграції моделей у середньому скоротився більш ніж у 10 разів.

8. Розроблена інформаційна технологія використана при створенні нової СППР з реагування на ядерні аварії JRODOS, до якої інтегровані математичні моделі, що створені більш ніж у 20 європейських інститутах, бази даних, геоінформаційну систему для прогнозування та оцінки наслідків можливих радіаційних аварій із використанням інформації систем станційного радіологічного моніторингу, оперативних метеорологічних прогнозів або сценаріїв розвитку гідрометеорологічної ситуації.

9. Створено СППР з реагування на екстремальні повені та прогнозування зон затоплень: СППР «Повінь 2Д» двовимірного гідродинамічного прогнозування зон затоплень та її впровадження для р. Дніпро біля м. Києва і р. Дністер біля м. Могилів-Подільський; СППР «Повінь 1Д» одновимірного прогнозування розповсюдження повеней у річках та її впровадження для р. Стир.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Євдін Є.О. Розробка архітектури кросплатформних розподілених систем підтримки прийняття рішень, основаних на математичних моделях / Є.О. Євдін // Математичні машини і системи. – 2011. – №1. – С. 72 – 81.

2. Евдин Е.А. Технология интеграции математических моделей в системы поддержки принятия решений в сфере экологической безопасности на основе

распределённых объектов-оберток / Е.А. Евдин // Электронное моделирование. – 2014. – № 36 (6). – С. 23 – 42.

3. Євдін Є. О. Розробка кросплатформеної версії системи підтримки прийняття рішень при радіаційних аваріях JRODOS / Є.О. Євдін, Д.М. Трибушний, М.Й. Железняк // Математичні машини і системи. – 2012. – №1. – С. 45 – 59.

4. RODOS reengineering: aims and implementation details / Ie. Ievdin, D. Trybushnyi, M. Zheleznyak, W. Raskob // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45, N 5. – P. 181 – 189.

5. Hydrological dispersion module of JRODOS: development and pilot implementation – the Vistula river basin / M. Zheleznyak, S. Potempski, Ie. Ievdin [et al.] // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45, N 5. – P. 113 – 122.

6. JRODOS: Platform for improved long term countermeasures modeling and management / W. Raskob, D. Trybushnyi, Ie. Ievdin, M. Zheleznyak // Radioprotection. – 2011. – Vol. 46, N 6. – P. 731 – 736.

7. Многоплатформенная версия системы поддержки принятия решений РОДОС и её адаптация для оценки последствий воздушных выбросов на АЭС Фукусима / Е.А. Евдин, М.И. Железняк, И.В. Ковалец [та ін.] // Збірник наукових праць СНУЯЕтаП. – 2012. – №4. – С. 92 – 101.

8. Application of Decision Support System JRODOS for Assessments of Atmospheric Dispersion and Deposition from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident / Ie. Ievdin, O. Khalchenkov, I. Kovalets [et al.] // International Journal of Energy for a Clean Environment. – 2012. – Vol. 13. – P. 179 – 190.

9. Influence of the diagnostic wind field model on the results of calculation of the microscale atmospheric dispersion in moderately complex terrain / I. Kovalets, V. Korolevych, A. Khalchenkov, Ie. Ievdin // Atmospheric Environment. – 2013. – Vol. 79. – P. 29 – 35.

10. Calculation of the far range atmospheric transport of radionuclides after the Fukushima accident with the atmospheric dispersion model MATCH of the JRODOS system / I. Kovalets, L. Robertson, C. Persson, Ie. Ievdin [et al.] // International Journal of Environment and Pollution. – 2014. – Vol. 54, N 2/3/4. – P. 101 – 109.

11. Евдин Е.А. Разработка ГИС модуля Европейской системы поддержки принятия решений при радиационных авариях РОДОС / Е.А. Евдин, Д.М. Трибушний, М.И. Железняк // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – (Серия «География»). – 2010. – Т. 23 (62), № 2. – С. 66 – 71.

12. Особливості формування весняного стоку Дніпра та моделювання зони затоплення у межах м. Києва на основі сучасної гідролого-гідродинамічної моделі / В.М. Бойко, Є.О. Євдін, М.Й. Железняк [та ін.] // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: наук. зб. – К., 2012. – Т.1 (26). – С. 55 – 63.

13. Model integration in the redesigned decision support system RODOS / Ie. Ievdin, O. Prymachenko, N. Shlyakhtun [et al.] // Математичне та імітаційне моделювання систем (МОДС 2007): тези доп. другої міжнар. наук.-практ. конф.,

(Київ, 25–29 червня 2007 р.). – К.: Ін-т проблем математичних машин і систем НАН України, 2007. – С. 45 – 48.

14. First prototype of redesign of the RODOS system for nuclear emergency management in Europe / Ie. Ievdin, O. Prymachenko, N. Shlyakhtun [et al.] // Системи підтримки прийняття рішень: теорія і практика (СППР 2007): зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (Київ, 7 червня 2007 р.). – К.: Ін-т проблем математичних машин і систем НАН України, 2007. – С. 22 – 25.

15. Development multi-platform version of decision support system for nuclear emergency management in Europe (RODOS) on base of modern Java and GIS technologies / Ie. Ievdin, D. Treebushny, I. Kovalets, O. Guziy, M. Zheleznyak // Системи підтримки прийняття рішень: теорія і практика (СППР 2008): зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (Київ, 9 червня 2008 р.). – К.: Ін-т проблем математичних машин і систем НАН України, 2008. – С. 121 – 124.

16. RODOS re-engineering (concepts and realization) / Ie. Ievdin, D. Trybushnyi, A. Guziy [et al.] // Final Euranos Contractors Meeting: proc. of Int. Workshop, (Madrid, Spain, 24–26 June 2009). – Madrid, Spain: Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales Tecnologicas, 2009. – P. 42.

17. Distributed architecture of RODOS – decision support system for nuclear emergency management in Europe / Ie. Ievdin, D. Treebushny, M. Zheleznyak // Системи підтримки прийняття рішень: теорія і практика (СППР 2009): зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (Київ, 8 червня 2009 р.). – К.: Ін-т проблем математичних машин і систем НАН України, 2009. – С. 181 – 184.

18. Development of GIS module of European decision support system for nuclear emergency management RODOS / Ie. Ievdin, D. Treebushny, M. Zheleznyak, N. Shlyakhtun // Системи підтримки прийняття рішень: теорія і практика (СППР 2010): зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (Київ, 7 червня 2010 р.). – К.: Ін-т проблем математичних машин і систем НАН України, 2010. – С. 79 – 82.

19. Евдин Е.А. Алгоритм построения линий уровня в системе поддержки принятия решений при радиационных авариях РОДОС / Е.А. Евдин // Системи підтримки прийняття рішень: теорія і практика (СППР 2011): зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (Київ, 6 червня 2011 р.). – К.: Ін-т проблем математичних машин і систем НАН України, 2011. – С. 92 – 95.

20. Ievdin Ie. Recent developments of decision support system RODOS. Application for Fukushima accident / Ie. Ievdin, D. Treebushny, I. Kovalets // Системи підтримки прийняття рішень: теорія і практика (СППР 2011): зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (Київ, 6 червня 2011 р.). – К.: Ін-т проблем математичних машин і систем НАН України, 2011. – С. 96 – 99.

21. Использование модели WRF для метеорологического обеспечения системы РОДОС и прогнозирования радиоактивного загрязнения в период аварии на АЭС Фукусима-1 / А.В. Халченков, И.В. Ковалец, Е.А. Евдин, М.И. Железняк // Математичне та імітаційне моделювання систем (МОДС 2011): тези доп. шостої міжнар. наук.-практ. конф., (Чернігів-Жукін, 27–30 червня 2011 р.). – Чернігів: Чернігівський державний технологічний університет, 2011. – С. 78 – 82.

22. Расчет планетарного переноса радионуклидов после аварии на АЭС Фукусима с использованием модели MATCH системы RODOS / С.Н. Дидковская, Е.А. Евдин, И.В. Ковалец, М.И. Железняк // Системи підтримки прийняття рішень: теорія і практика. (СППР 2012): зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (Київ, 6 червня 2012 р.). – К.: Ін-т проблем математичних машин і систем НАН України, 2012. – С. 70 – 73.

23. Система прогнозування та картографування зон затоплень при повенях на основі чисельного розв'язку двовимірних рівнянь мілкої води / П.С. Коломієць, Є.О. Євдін, Н.М. Дзюба [та ін.] // Міжнар. наук.-техн. конф. «Моделювання-2012»: тези доп., (Київ, 16-18 травня 2012 р.). – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАНУ, 2012. – С. 224 – 227.

24. Евдин Е.А. Интеграция математических моделей в системе поддержки принятия решений при радиационных авариях JRODOS на основе технологии унифицированного типа данных / Е.А. Евдин, М.И. Железняк // Міжнар. наук.-техн. конф. «Моделювання-2012»: тези доп., (Київ, 16-18 травня 2012 р.). – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАНУ, 2012. – С. 175 – 178.

25. Евдин Е.А. Использование свободного программного обеспечения в системе поддержки принятия решений при радиационных авариях JRodos / Е.А. Евдин // Вільне програмне забезпечення в освіті, науці та бізнесі: тези доповідей третьої Всеукраїнської наук.-практ. конф., (Чернігів, 10-11 травня 2012 р.). – Чернігів: Чернігівський державний технологічний університет, 2012. – С. 34 – 36.

26. Адаптация мультиплатформенной системы поддержки принятия решений при радиационных авариях JRODOS для региона Ровенской АЭС / М.И. Железняк, А.В. Бойко, Е.А. Евдин, И.В. Ковалец // Математичне та імітаційне моделювання систем (МОДС 2012): тези доп. сьомої міжнар. наук.-практ. конф., (Чернігів-Жукін, 25-28 червня 2012 р.). – Чернігів: Чернігівський державний технологічний університет, 2012. – С. 49 – 53.

27. Calculation of the far range atmospheric transport of radionuclides after the Fukushima accident with the atmospheric dispersion model MATCH of the nuclear emergency response system JRODOS using the freely available NWP data / I. Kovalets, S. Didkivska, Ie. Ievdin, D. Treebushny, M. Zheleznyak // Harmonization within atmospheric dispersion modeling for regulatory purposes. (HARMO'15): proc. of International conference, (Madrid, Spain, 6-9 May 2013). – Madrid, Spain: Computer Science School, Technical University of Madrid (UPM), 2013. – P. 212 – 216.

28. Развитие и внедрение информационных систем прогнозирования паводков на реках Стирь и Днепр / Н.Н. Дзюба, Е.А. Евдин, М.И. Железняк, П. Коломієць // Математичне та імітаційне моделювання систем (МОДС 2013): тези доп. восьмої міжнар. наук.-практ. конф., (Чернігів-Жукін, 24-28 червня 2013 р.). – Чернігів: Чернігівський державний технологічний університет, 2013. – С. 83.

29. Обеспечение европейской системы ядерного аварийного реагирования JRodos данными численного прогноза погоды / С.Н. Дидковская, Е.А. Евдин, А.В. Халченков, И.В. Ковалец // Математичне та імітаційне моделювання систем

(МОДС 2013): тези доп. восьмої міжнар. наук.-практ. конф., (Чернігів-Жукін, 24–28 червня 2013 р.). – Чернігів: Чернігівський державний технологічний університет, 2013. – С. 37.

30. Автоматизация расчета прогностических метеорологических полей для использования в системе ядерного аварийного реагирования JRODOS / С.Н. Дидковская, Е.А. Евдин, А.В. Халченков, И.В. Ковалец // Системи підтримки прийняття рішень: теорія і практика. (СППР 2013): зб. доп. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, (Київ, 3 червня 2013 р.). – К., 2013. – С. 68 – 72.

31. Integration of the subsystem of meteorological forecasting based on WRF mesoscale model in frame of the EU Nuclear decision support system JRODOS / S. Anulich, Ie. Ievdin, I. Kovalets, S. Andronopouls // Математичне та імітаційне моделювання систем (МОДС 2014): тези доп. дев'ятої міжнар. наук.-практ. конф., (Жукін, 23-27 червня 2014р.). – К., 2014 – С. 17 – 19.

АНОТАЦІЯ

Євдін Є. О. Інформаційна технологія розподілених об'єктів-обгортки для побудови систем підтримки прийняття рішень з екологічної безпеки. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ, 2015.

Дисертаційну роботу присвячено інтеграції математичних моделей фізичних процесів та побудові інформаційних систем підтримки прийняття рішень в області екологічної безпеки. В роботі проаналізовано структуру розрахункових моделей, вхідних та вихідних даних. У результаті чого запропоновано нову класифікацію моделей за способом організації комунікації користувач – система – модель та формалізовано структуру параметрів моделей з метою ефективної організації введення/виведення даних при інтеграції до СППР. Розроблено нову інформаційну технологію розподіленого об'єкта-обгортки (РОО) моделі, програмного об'єкта комунікації СППР і моделі, що на відміну від звичайних об'єктів-обгортки, забезпечує логічну, візуальну та технічну інтеграцію математичної моделі в СППР.

Результати даної роботи були використані під час розробки СППР з реагування на ядерні аварії JRODOS. Побудовано ряд інформаційних систем з реагування на екстремальні повені: СППР «Повінь-2Д» гідродинамічного прогнозування зон затоплень, що впроваджено для р. Дніпро біля м. Києва та р. Дністер біля м. Могилів-Подільський; СППР «Повінь-1Д» прогнозування розповсюдження повеней у річках та її впровадження для р. Стир.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, інтеграція моделей, архітектура системи, інформаційні технології.

АННОТАЦИЯ

Евдин Е. А. Информационная технология распределенных объектов-оберток для построения систем поддержки принятия решений в сфере экологической безопасности. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, Киев, 2015.

Диссертационная работа посвящена интеграции математических моделей физических процессов и построению информационных систем поддержки принятия решений в области экологической безопасности. В работе проведен анализ проблем и подходов при интегрировании математических моделей в существующие моделирующие системы. Проанализирована структура расчетных моделей физических процессов, в результате чего предложена новая классификация расчетных моделей в области экологической безопасности по способу организации коммуникации пользователь – система – модель и формализованная структура параметров модели с целью эффективной организации ввода/вывода данных при интеграции в СППР.

Разработана новая информационная технология распределенного объекта-обертки (РОО) модели, программного объекта коммуникации СППР и модели, который распределяется при выполнении между различными компонентами системы и, в отличие от обычных объектов-оберток, обеспечивает логическую, визуальную и техническую интеграцию математической модели в СППР. Структура РОО учитывает особенности организации ввода/вывода данных в модели и легко адаптируется к каждому из трех классов моделей предложенной в работе классификации. Разработанная технология позволяет ускорить процесс интеграции сторонних вычислительных моделей, путем повторного использования шаблонов объектов-оболочек для каждого класса моделей кодирования входных/выходных параметров с помощью унифицированного типа данных.

Разработан унифицированный тип данных, структура классов датаитемов, которые сохраняют различные типы собственно данных, метаданные и отношения между ними. Датаитемы учитывают структуру входных и выходных данных математических моделей, а также позволяют системе однообразно работать с данными из различных источников информации, после разработки для них соответствующих адаптеров прямого и обратного преобразования.

Для организации цепочек моделей с помощью РОО используется нисходящий поток вызовов и объекты специального класса – датаитемы-ссылки. Такой подход позволяет заменить установление соответствия выходов предыдущей модели входам следующей модели операциями с датаитемами.

Разработан механизм выпуска физических объектов реализации РОО интегрированных моделей в виде плагинов – необязательных программных компонентов, которые независимо компилируются и динамически подключаются к основной системе для независимого расширения ее функциональности. Разработаны рекомендации по интеграции новых моделей с использованием РОО, позволяющие минимизировать возможность появления ошибок интеграции, своевременно их

локализовать и исправить. Данные рекомендации и программно-инструментальные средства интеграции моделей позволяют облегчить процесс интеграции и сделать его более гибким. Время интеграции моделей в среднем сократилось с 9 месяцев до 15 рабочих дней.

Результаты данной работы были использованы при разработке СППР по реагированию на ядерные аварии JRODOS, в которую интегрированы математические модели, разработанные более чем в 20 европейских институтов. Построен ряд информационных систем по реагированию на экстремальные наводнения: СППР «Повинь-2Д» двумерного гидродинамического прогнозирования зон затопления, внедренного для р. Днепр в районе г. Киева и р. Днестр в районе г. Могилев-Подольский; СППР «Повинь-1Д» одномерного прогнозирования распространения паводка на реках и ее использование для р. Стырь.

Ключевые слова: системы поддержки принятия решений, интеграция моделей, архитектура системы, информационные технологии.

ABSTRACT

Ievdin Ie. O. Information technology of distributional wrapper objects for the development of the decision support systems on environmental safety. – Manuscript.

Thesis for the PhD scientific degree in technical sciences, specialty 05.13.06 – information technologies. – Institute of Mathematical Machines and Systems of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 2015.

The thesis is dedicated to integration of mathematical models of physical processes and building of information systems for decision-making in the field of environmental safety. The thesis analyzes the structure of computer models and their input and output data. As a result, a new classification model by the method of communication user–system–model is proposed and structure of the models for the effective organization of input/output data while integrating into the DSS is formalized. Distributional wrapper objects (DWO) – software communication object between DSS and models, which unlike conventional object-wrapper provides logical, visual and technical integration of mathematical models to the DSS.

The results of this work were used during the development of DSS for nuclear emergency response JRODOS, which integrated mathematical model, developed in more than 20 European institutions. Several information systems for response to extreme floods were implemented: DSS "Povin-2D" for hydrodynamic forecasting of flooding zones that was implemented for Dnieper river near Kyiv and Dniester river near Mogylyv-Podolsky; DSS "Povin-1D" for forecasting of floods in the rivers was implemented for the Styr river.

Keywords: decision support system, model integration, system architecture, information technology.