

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГУЧЕК ПЕТРО ЙОСИПОВИЧ



УДК 004.9:519.6

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
КЕРУВАННЯ СЛУЖБОЮ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
РЕГІОНАЛЬНОГО РІВНЯ**

05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Херсон – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Херсонському національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Ходаков Віктор Єгорович,
Херсонський національний технічний університет,
завідувач кафедри інформаційних технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Васюхін Михайло Іванович,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України, м. Київ,
завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж;

доктор технічних наук, професор
Коваленко Ігор Іванович,
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,
професор кафедри програмного забезпечення
автоматизованих систем;

доктор технічних наук, професор
Рязанцев Олександр Іванович,
Східноукраїнський національний університет
ім. Володимира Даля, м. Сєвєродонецьк,
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії.

Захист відбудеться 22 «квітня» 2016 року о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д67.052.01 Херсонського національного технічного університету за адресою: 73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24, корпус 3, ауд. 320.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Херсонського національного технічного університету за адресою: 73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24, корпус 1.

Автореферат розісланий 21 «березня» 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.О.Новіков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогоднішній день накопичено значний досвід організації взаємодії екстрених оперативних служб при реагуванні на події та надзвичайні ситуації і в основному вирішені питання забезпечення зв'язку чергово-диспетчерських служб з відповідними екстреними оперативними службами.

Проте за останній час соціально-економічні умови життєдіяльності населення кардинально змінилися. На території України велика частка промислових об'єктів є потенційно небезпечними об'єктами, які пов'язані з виробництвом, зберіганням, транспортуванням та переробкою небезпечних речовин. Ризик виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру на таких підприємствах надзвичайно високий, оскільки рівень зносу обладнання у більшості підприємств наближається до критичного. Аварії на таких об'єктах, як правило, супроводжуються забрудненням навколишнього середовища отруйними речовинами, а також пожежами, вибухами.

Тому в умовах надзвичайних ситуацій дуже важливо швидко і правильно прийняти рішення по ліквідації її наслідків. Процес прийняття рішень по ліквідації надзвичайної ситуації характеризується браком часу, неповнотою і поганою якістю подання інформації, необхідної для прийняття рішень. Особливо гостро це стосується регіонального рівня, тих сил та засобів які безпосередньо приймають участь у ліквідації надзвичайної ситуації.

Найважливішим показником ефективності дій екстрених оперативних служб є час їх оперативного реагування. Його скорочення безпосередньо впливає на тяжкість наслідків події або надзвичайної ситуації (скорочення числа померлих і постраждалих, а також зменшення загального матеріального збитку).

Недостатній рівень організації взаємодії з моменту надходження виклику (повідомлення про подію) до надання допомоги постраждалим при залученні кількох екстрених оперативних служб є однією з основних причин високої смертності при подіях і надзвичайних ситуаціях.

Досвід роботи екстрених оперативних служб показує, що для ефективного надання допомоги при подіях або надзвичайних ситуаціях в 10 відсотках випадків потрібне залучення більш ніж однієї екстреної оперативної служби.

Актуальність проблеми обумовлюється збереженням значної кількості загиблих і постраждалих людей, а також значними розмірами прямого і непрямого збитку від подій та надзвичайних ситуацій.

Слід зазначити, що найбільш тяжкими наслідками відрізняються події та надзвичайні ситуації, що вимагають саме комплексного реагування.

Мінімальний ефект досягається для простих ситуацій із залученням тільки однієї оперативної служби, максимальний – при складних подіях, коли необхідно комплексне реагування. Для зниження середнього часу оперативного реагування екстрених оперативних служб та ефективної

організації роботи з надання допомоги постраждалим потрібна реалізація комплексу організаційних і технічних заходів, що включають організацію комплексного реагування, створення і організацію функціонування інформаційно телекомунікаційної інфраструктури, підсистем приймання та обробки викликів (повідомлень про події) від населення, зберігання та актуалізації баз даних, підтримки прийняття рішень, консультативного обслуговування населення, моніторингу потенційно небезпечних стаціонарних та рухомих об'єктів, геоінформаційної підсистеми.

Значний внесок у теорію і практику проектування систем зі сталою структурою задачі організаційно-адміністративного і автоматизованого управління, які розв'язуються на основі системного аналізу, теорії прийняття рішень за допомогою інтегрованих автоматизованих систем підтримки прийняття рішень внесли В.М. Глушков, І.В. Сергієнко, М.Д. Месарович, І.Такахара, І.І.Мойсєєв, Д.А. Поспелов, Т.П. Подчасова, А.А. Первозванський, В.П. Деркач, О.В. Палагін, М.І. Васюхін, В.Є.Ходаков, А.О. Каргін, І.І.Коваленко, В.Г.Шерстюк, О.І. Рязанцев, І.С. Скарга-Бандурова та інші.

У випадку виникнення аварій та катастроф як техногенного, так і природного характеру необхідна інтеграція усіх ресурсів підрозділів та служб, що знаходяться в осередку НС, для ліквідації їх наслідків. Проблеми інтеграції в таких системах досліджені в працях А.М. Азізова, В.С. Михалевича, Л.С. Сікори та ін.; проблеми телекомунікації, зв'язку, обробки сигналів – в роботах Я.П. Драгана, В.М. Безрука, В.О. Омельченка, О.В. Тимченка та інших.

Для систем з невизначеністю за дії зовнішніх факторів розроблені нечіткі моделі управління на основі інформаційних та нейромережових технологій, які, певною мірою, моделюють інтелектуальні процеси формування і прийняття рішень, що розглянуто в працях М.З. Згуровського, Р.А. Алієва, П.І. Бідюка, Є.В. Бодянського, Е.Г. Петрова, В.В. Крючковського, О.І. Міхальова, А.Н. Меліхова та інших.

Розробці інформаційного забезпечення і математичних моделей прогнозування розвитку аварій, що супроводжуються пожежами на різноманітних об'єктах народного господарства, оцінювання обстановки і вироблення управлінських рішень з метою створення автоматизованих систем підтримки та прийняття рішень керівниками ліквідації аварій і надзвичайних ситуацій нині приділяється значна увага. Про це свідчать результати досліджень, які описані в роботах М. М. Брушлинського, П.П. Ключа, І.Ф. Кимстача, В.Г. Теряєва, Ю.О. Абрамова, О.А. Громовенка, С.М. Мінаєва, Б.Ф. Турніна, П.М. Бортнічука, С.В. Юхимчука, Р.В. Котельникова, В.Ф. Шостака, В.А. Геловані, А.В. Матюшкіна, У. Бейкера, В. Маршалла та інших вітчизняних і зарубіжних авторів.

Таким чином, створення теоретичних основ і методології керування службою надзвичайних ситуацій, розробка нових моделей та методів, систем моніторингу та підтримки прийняття рішень

в інформаційно-складних ситуаціях набуває безсумнівної актуальності, та є предметом розгляду в цій дисертаційній роботі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційних досліджень є складовою частиною науково-дослідних робіт, що проводяться на кафедрі інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету Міністерства освіти і науки України відповідно до пріоритетних напрямів наукових досліджень, програм і тем, зокрема Законів України «Про наукову та науково-технічну діяльність», «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», державних науково-технічних програм 4.2 «Системний аналіз, методи та засоби керування процесами різної природи; методи оптимізації, програмне забезпечення та інформаційні технології у складних системах», 6.2.1 – «Інтелектуалізація процесів прийняття рішень», 6.2.2 – «Перспективні інформаційні технології та системи».

Дисертація узагальнює результати досліджень, виконаних особисто автором і під його безпосереднім науковим керівництвом по розробці теоретичних основ, моделей, методів, засобів інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в надзвичайних ситуаціях в рамках держбюджетних НДР «Вдосконалення інформаційних систем підтримки прийняття управлінських і проектних рішень» (реєстраційний номер №0102U004861), «Розробка інформаційних технічних систем управління в умовах надзвичайних ситуацій» (реєстраційний номер 0113U007938), «Розробка автоматизованих систем управління роботою державних установ» (реєстраційний номер 0110U002353), «Розробка інформаційної технології геометричного моделювання скалярних полів» (номер державної реєстрації №0105U002749), де здобувач був виконавцем і керівником.

Мета і задачі дослідження. *Метою* дослідження є створення науково-технічного базису для розробки методів, моделей та засобів побудови інформаційної технології керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня для підвищення адекватності представлення інформації про оперативну обстановку в зоні виникнення надзвичайної ситуації в реальному часі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні взаємопов'язані задачі:

- провести аналіз наукових і методологічних основ побудови інформаційних технологій керування службою надзвичайних ситуацій;
- дослідити основні моделі функціонування екстрених аварійно-рятувальних служб, методи моделювання, прогнозування та прийняття рішень в надзвичайних ситуаціях;
- розробити моделі поширення небезпечних речовин в атмосфері внаслідок надзвичайної ситуації;
- розробити автоматизовану систему дослідження моделей поширення небезпечних речовин в атмосфері;
- запропонувати методи діагностування стану навколишнього середовища та розробити автоматизовані засоби виявлення надзвичайних ситуацій;

- на основі запропонованих моделей, методів та алгоритмів створити програмні засоби формування геоінформаційної системи моніторингу оперативної обстановки в реальному часі;
- застосувати розроблену методологію та інформаційні технології при вирішенні практичних задач в надзвичайних ситуаціях.

Об'єктом дослідження є процеси керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня.

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби побудови інформаційної технології керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня.

Методи дослідження. В основу досліджень покладено: методи теорії систем та функціонального моделювання для проектування структури апаратно-програмного комплексу; методи теорій цифрових автоматів і графів для проектування і оптимізації структурних схем і алгоритмів роботи програм засобів автоматизації; методи структурного, модульного та об'єктно-орієнтованого програмування для програмної реалізації моделей та алгоритмів, методи теорій масового обслуговування та паттернів для проектування, тестування і аналізу апаратно-програмного комплексу автоматизації; методи імітаційного моделювання, планування і обробки результатів експериментів для дослідження функціонування окремих складових автоматизованої системи керування, аналітичної геометрії для дослідження скінчено-елементних моделей; чисельних методів: Жордана–Гаусса і метода скінченних різниць; теорії ймовірностей; когнітивної комп'ютерної графіки для дослідження альтернативних моделей; математичної фізики; варіаційного числення; метода скінченних елементів для розв'язання практичних завдань.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі розроблено теоретичні основи, інструментальні засоби та методологію синтезу динамічних систем підготовки прийняття рішень з управління службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня, яка функціонує в інформаційно складних ситуаціях.

Вперше:

- запропонована концепція створення і застосування інформаційних технологій для удосконалення процесу підготовки прийняття рішень щодо керування оперативними підрозділами та спеціальними службами за рахунок проведення цілодобового моніторингу стану навколишнього середовища в зоні можливого виникнення, або в зоні виникнення надзвичайної ситуації та прилеглих районах;
- застосовано моделі скінченно-елементної апроксимації для проведення розрахунків концентрації небезпечних речовин в атмосфері, що дало змогу в реальному часі за допомогою ГІС ППР отримувати зону покриття, та приймати рішення щодо подальшої ліквідації надзвичайних ситуацій;
- побудовано нові багатопараметричні моделі скінченних елементів вищих порядків на пло-

щині з керуючим параметром, які дозволяють покращити інтерполяційні якості та обчислювальні властивості моделей;

- запропонована об'єктно-орієнтована методологія розробки спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи дослідження скінченно-елементних моделей (моделювання предметної області, способів моніторингу та ліквідації наслідків надзвичайної ситуації), яка використовує принцип відкритості системи;

- розроблена інформаційна технологія моделювання скінченно-елементних моделей концентрації небезпечних речовин, яка дозволяє проводити дослідження на відповідність основним властивостям та виявляти якісні показники нових альтернативних базисів;

- розроблена інформаційна технологія експрес-діагностування концентрації небезпечних речовин в атмосфері та візуалізації в реальному часі на карті місцевості зони покриття, яка використовується для подальшого прийняття рішення керівниками екстрених аварійно рятувальних та спеціальних служб;

Отримали подальший розвиток:

- інформаційна технологія візуалізації методу геометричного моделювання базисних функцій, яка дозволяє розміщувати на екрані, як саму функцію, так і компоненти її побудови;

- метод Уачспреса побудови базисних функцій ("products of planes"), в "добутку" поверхонь беруть участь не тільки площини, а також і поверхні другого порядку, що дозволяє не тільки отримувати нові, альтернативні базисні функції, але й візуалізувати процес формоутворення базисних функцій.

- метод скінчених елементів для вирішення прикладних задач атмосферної дисперсії.

Удосконалено:

- інформаційну технологію побудови геоінформаційної системи моніторингу оперативної обстановки в реальному часі. Суть удосконалення полягає в створенні бази моделей розрахунку концентрації небезпечних речовин в атмосфері та бази даних для стаціонарних та рухомих об'єктів сил та засобів;

- метод побудови альтернативних моделей для серендипових елементів вищих порядків, який об'єднує переваги геометричного моделювання та алгебраїчного аналізу функцій;

- процедури візуалізації серендипових поверхонь, що обслуговують широкий спектр моделей різноманітних класів задач.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що наукові положення доведені до ступеня, придатного для практичного застосування. У сукупності розроблені математичні моделі та обчислювальні методи є науково-методичною основою для практичного створення інженерних, програмних і технічних засобів моделювання, аналізу в системах моніторингу стану

навколишнього середовища та підтримки прийняття рішень при керуванні аварійно рятувальними на спеціальними службами в надзвичайних ситуаціях регіонального рівня.

Наукові положення, висновки, пропозиції та рекомендації, а також результати розрахункових досліджень, отримані, обґрунтовані і наведені автором в дисертації, статтях, звітах про науково-дослідних роботах на основі господарських договорів були впроваджені в Головному управлінні ДСНС в Херсонській області (акт від 15.09.2015 р), Навчально-методичному центрі цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Херсонської області (акт від 20.10.2015 р). Результати дисертаційного дослідження використані також при розробці пакетів прикладних програм в системах моніторингу та створенні геоінформаційних систем екологічної безпеки підприємством "ФОРТ-ПК" (акт від 10.09.2014р.), а також в навчальному процесі та при виконанні науково-дослідних робіт в Херсонському національному технічному університеті (акт від 15.10.2015р.), в інституті цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (акт від 23.10.2015р.).

Особистий внесок здобувача. Всі положення, які виносяться на захист, належать особисто здобувачу і не містять результатів, ідей або розробок, що належать співавторам, разом з якими опубліковані наукові роботи. У спільних публікаціях здобувачу належать: [2,3,12,13,14,29] – постановка задачі та розробка інформаційної моделі візуалізації; [4,7,19,22,25,28,31,38] – розробка алгоритмів та програмного забезпечення для чисельних розрахунків; [11,18,21,30] – розробка системи дослідження скінчених елементів; [9,26,32] – розробка інформаційної технології дослідження інтерполяційних властивостей; [17] – розробка системи управління базою моделей.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і дисертаційну роботу в цілому було представлено, обговорено та схвалено на 64 міжнародних та всеукраїнських конференціях, симпозиумах та семінарах, в тому числі на міжнародній науково-методичній конференції «Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в природничих науках» (Кривий Ріг, 2000); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Інформаційні технології та моделювання» (Кременчук, 2003); науково-технічній конференції з міжнародною участю «Комп'ютерне моделювання в наукомістких технологіях» КМНТ-2010 (Харків, 2010); I-XVII-й міжнародних наукових конференціях «Інформаційні технології в освіті та управлінні» (Нова Каховка, 1999-2015); I-IX-й науково-практичних конференціях «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (Дніпропетровськ, 2003-2011); II-XVI міжнародних наукових конференціях з математичного моделювання МКММ (Лазурне, 2000-2015); VI-VII-й та IX-X-й міжнародних конференціях «Контроль і управління в складних системах» (Вінниця, 2001, 2003, 2008, 2010); I-III-й міжнародних наукових конференціях ISDMIT «Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій» (Євпаторія, 2005-2007); 5-13-й міжнародних науково-практичних конференціях «Системний аналіз та інформаційні технології» (Київ, 2003-2011); XIII-й міжнародних

науково-практичних конференціях «Інформаційні технології в економіці, менеджменті і бізнесі» (Київ, 2006); міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні задачі математичного моделювання та інформаційних технологій» (Сочі, 2012); VI міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (Черкаси, 2014); міжнародній науково-практичній конференції «Надзвичайні ситуації безпека та захист НСБЗ-2015» (Черкаси, 2015); міжнародній науково-практичній конференції «Inżynieria i technologia. Projekty naukowe» (Sopot, 2015); міжнародній науково-практичній конференції «Inżynieria i technologia. Współczesna nauka. Nowy wygląd» (Wrocław, 2015); V міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія» (Івано-Франківськ, 2015).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 39 наукових праць: 1 монографія одноосібно; 26 наукові статті у фахових наукових виданнях, з них 10 без співавторів, 12 статей включено до міжнародних наукометричних баз (DOAJ, РІНЦ); 3 статті в інших наукових виданнях, 9 матеріалів конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 329 найменувань на 29 сторінках, 4 додатків на 25 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 332 сторінки, в тому числі основного тексту 259 сторінок. Дисертація містить 7 таблиць і 84 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено обґрунтування актуальності теми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, визначено мету і задачі дослідження, розглянуто об'єкт і предмет дослідження, приведено перелік методів дослідження, які використовувалися для досягнення поставленої мети. Сформульовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача. Висвітлено питання апробації і публікації результатів дисертації.

У першому розділі на основі системного підходу досліджено питання проблеми керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня, проведено аналіз основних завдань, що виконуються єдиною державною системою цивільного захисту у режимах: повсякденного функціонування; підвищеної готовності; надзвичайної ситуації; надзвичайного стану. Розглянуто склад сил єдиної державної системи цивільного захисту.

Проведений аналіз Європейського досвіду роботи екстрених оперативних служб показує, що для ефективного надання допомоги при подіях, або надзвичайних ситуаціях в 10 відсотках випадків потрібно залучення більш ніж однієї екстреної оперативної служби. І обов'язковою умовою вступу країни до Європейського Союзу відповідно до рекомендацій СЕРТ (Conference of European Post and Telecommunications), членом якої є Україна з 1995 року, це введення системи обробки ви-

кликів всіх служб екстреної допомоги за єдиним номером «112». Проведений аналіз моделей обробки викликів «Системи 112» у країнах Європейського союзу та уніфікованої моделі механізму прийому та обробки екстрених повідомлень за єдиним телефонним номером «112» в Україні, яка затверджена відповідною постановою Кабінету Міністрів України. Розглянуто функціональну структуру «Системи 112», та склад її основних підсистем.

Для проектування раціональних структур екстрених аварійно рятувальних служб потрібно знати реальний обсяг роботи таких служб і їх динаміку, розподіл викликів їх підрозділів в часі і по території міста, закономірності використання різних технічних засобів при обслуговуванні викликів, різноманітні часові характеристики процесу функціонування (час проходження підрозділів до місця виклику, час роботи на місці виклику, загальний час зайнятості підрозділів обслуговуванням одного виклику) та інше. Тому, розглянувши аналітичні моделі процесу функціонування екстрених аварійно рятувальних служб, можна сказати, що всі екстрені аварійно рятувальні служби утворюють специфічний клас складних соціально-економічних систем, процес функціонування яких є однотипним складним в просторі і часі випадковим процесом.

Проведено аналіз методів моделювання надзвичайних ситуацій, прогнозування та прийняття рішень в надзвичайних ситуаціях. Розглянуті системи підготовки прийняття рішень на основі моделювання метеорологічних процесів.

Слід також зазначити, що події останніх років свідчать, що ризик виникнення надзвичайних ситуацій на території України залишається високим. Зростає масштабність аварій, катастроф, стихійних лих, надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. Ймовірність їх виникнення зростає, що ставить проблему запобігання та мінімізації наслідків у ряд першочергових завдань цивільного захисту.

Виходячи з цього, завдання щодо моніторингу, лабораторного контролю, досліджень і прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру виходять на перший план.

У **другому розділі** наведено концепцію підходу до визначення концентрації небезпечних речовин в атмосфері в наслідок надзвичайних ситуацій. Показано, що поряд з відомими методами які використовують метеорологічні моделі атмосферної дисперсії доцільно для проведення експрес-діагностування використовувати детерміновані методи та моделі відновлення гармонічної функції.

Модулі атмосферного переносу більшості операційних СППР працюють в двох режимах: прогностичному та діагностичному. В СППР можуть використовуватися не тільки спрощені діагностичні метеорологічні моделі, але і досить складні мезомасштабні або мікромасштабні метеорологічні моделі, засновані на інтегруванні рівнянь гідротермодинаміки атмосфери.

Рішення цих рівнянь є трудомістким завданням, навіть якщо обмежитися одновимірними на-

ближеннями.

Сучасні вимоги до ліквідації аварії пов'язаної з викидом(виливом) небезпечних речовин, передбачає наявність інформації як про саму хімічну речовину, площу зараження, так і про величину приземної концентрації токсичних речовин в зонах зараження.

Існуючі моделі атмосферної дисперсії можна розділити на три категорії: Ейлерові, Лагранжові і Лагранжові-Ейлерові.

У ейлерових моделях атмосферного переносу розраховується поле концентрації як функції просторових змінних. Рівняння для перенесення концентрації має наступний вигляд:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_{\alpha} \frac{\partial c}{\partial x_{\alpha}} + \frac{\partial}{\partial x_{\alpha}} \langle u'_{\alpha} c' \rangle = f^s(x, y, z, t), \quad (1)$$

де, c – середня концентрація, штрихами позначені пульсаційні складові, а трикутними дужками – оператор усереднення по Рейнольдсу. У рівнянні (1) за індексом α мається на увазі підсумовування. Права частина рівняння (1) описує джерело забруднення.

У лагранжевому підході до моделювання атмосферної дисперсії розраховуються координати частинок домішок у відповідності зі стохастичним рівнянням:

$$x_i^{n+1} = x_i^n + (u_i + u'_i)\tau, \quad (2)$$

де x_i – i -та координата частинки, u_i – середня i -та компонента швидкості частинки, а u'_i – флуктуація швидкості, n – часовий шар, τ – часовий крок.

Оцінка флуктуаційної компоненти проводиться на підставі припущень про те, що поведінка швидкості частинки є марковим процесом, характеристики якого виходять з рішення рівняння Фоккера-Планка.

Після обчислення координат частинок в довільних точках розраховується середня концентрація. Існує кілька способів оцінки концентрації на підставі інформації про координати частинок. Один із способів – встановлення відповідності між числом частинок в одиниці об'єму і концентрацією. Цей спосіб вимагає дуже великої кількості частинок, і великого часу для вирішення рівнянь перенесення частинок.

Для зменшення числа частинок можна використовувати і інший метод. У цьому методі кожна частка характеризується деякої масою речовини, розподіленої щодо центру частинки по Гауса. Тоді концентрація в даній точці (x, y, z) може бути розрахована за допомогою співвідношення:

$$c(x, y, z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \sum_{p=1}^N \frac{M_p}{\sigma_{xp} \sigma_{yp} \sigma_{zp}} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(x_p - x)^2}{\sigma_{xp}^2} \right] \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(y_p - y)^2}{\sigma_{yp}^2} \right] \times \\ \times \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(z_p - z)^2}{\sigma_{zp}^2} \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(z_p + z - 2z_g)^2}{\sigma_{zp}^2} \right] \right\}, \quad (3)$$

$$M_p = q_p \tau \gamma(t, \tau, i) \times Y(t, \lambda, \dots).$$

де (x_p, y_p, z_p) - координати центру частинки, $\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$ - дисперсії розподілу речовини в даній частинці, z_g - висота поверхні Землі над рівнем моря, M_p - кількість речовини в частинці (наприклад, маса [кг], або сумарна кількість радіоактивності [Бк]), q_i - потужність викиду відповідно часу появи i - частинки, функція $\gamma(t, \tau, i) = \text{sgn}(t - i \cdot \tau)$ виключає внесок частинок, що з'явилися після часу t . Член $Y(t, \lambda, \dots)$ в узагальненому вигляді відповідає за облік процесів радіоактивного розпаду, сухого і вологого осадження.

У лагранжево-ейлерових моделях тривалий викид речовини представляється у вигляді послідовності миттєвих викидів. У них також спочатку розраховуються координати частинок(2), відповідних миттєвих викидів, а потім, на підставі співвідношення (3), концентрації в обраних точках. Однак, на відміну від лагранжевих моделей, в лагранжево-ейлерових моделях в рівнянні руху частинки (2) не враховується флуктуаційна складова швидкості частинки. Розглянуті моделі широко використовуються в модулях системи РОДОС, яка проводить моніторинг лише в 30 км. зоні при атомних електростанціях.

Методика яка використовується державною службою з надзвичайних ситуацій проводить лише експрес розрахунок зони можливого поширення небезпечних речовин під час виникнення надзвичайної ситуації. Тому для визначення концентрації небезпечних речовин пропонується використовувати дискретні методи відновлення гармонічної функції.

Задача відновлення функції U виникає в багатьох прикладних галузях науки. Зміст задачі відновлення в тому, що, знаючи функцію на деякій множині точок (найчастіше дискретній множині U_k ($k = \overline{1, N}$)), необхідно розробити алгоритм побудови функції U (або значень функції) на більш широкій множині точок. Значення функції у відповідних точках будемо отримувати безпосередньо з датчиків які можуть бути встановлені як на стаціонарних постах та і на рухомому складі підрозділів спеціальних служб.

Найбільший інтерес представляє відновлення гармонічної функції. За диференціальним критерієм - це функція, неперервна в заданій області D разом зі своїми частинними похідними першого та другого порядку і є розв'язком рівняння Лапласа. Для двовимірного випадку гармонічна функція U є розв'язком наступного рівняння:

$$\Delta U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

При розв'язанні прикладних задач рівняння Лапласа завжди доповнюється граничними умовами. Вони можуть бути декількох типів:

І роду (Діріхле): $U|_{\Gamma} = f_1(x, y) \quad (5)$

II роду (Неймана):
$$\left. \frac{\partial U}{\partial n} \right|_{\Gamma} = f_2(x, y) \quad (6)$$

де $\bar{n}$ - зовнішня нормаль до границі.

Хорошою альтернативою розв'язання диференціальних рівнянь з частинними похідними є метод скінчених елементів (МСЕ). Дискретні елементи мають просту геометричну форму: найчастіше використовують трикутники, квадрати, прямокутники. Завдяки цьому МСЕ отримав велику популярність в багатьох областях фізики та техніки.

Розглянемо білінійний скінчений елемент. У локальній системі координат $\xi\eta$ такий елемент – це квадрат розмірами 2×2 з чотирма вузлами у вершинах, де $|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$ (рис. 1).

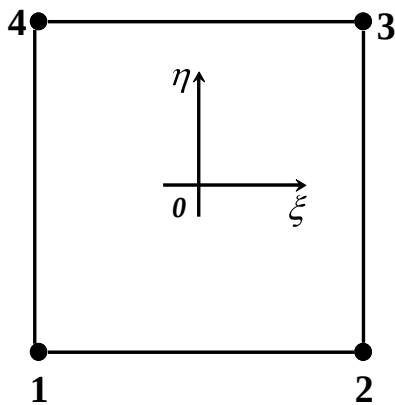


Рис.1. Елемент з білінійним базисом

Застосувавши матричний метод, який вважається у МСЕ основним методом побудови інтерполяційних поліномів для функцій двох і трьох аргументів отримаємо білінійний базис на СЕ-4:

$$N_i = \frac{1}{4}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta), \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1. \quad (7)$$

В напрямках координатних осей функція змінюється лінійно (рис. 1). Звідси назва – білінійна інтерполяція.

На відміну від традиційної поелементної процедури метода скінчених елементів поле приземної концентрації небезпечної речовини (рис.1) можна побудувати лише за допомогою одного елемента (експрес-методика), що буває дуже важливо при визначенні нульового наближення розв'язку задачі, яка досліджується.

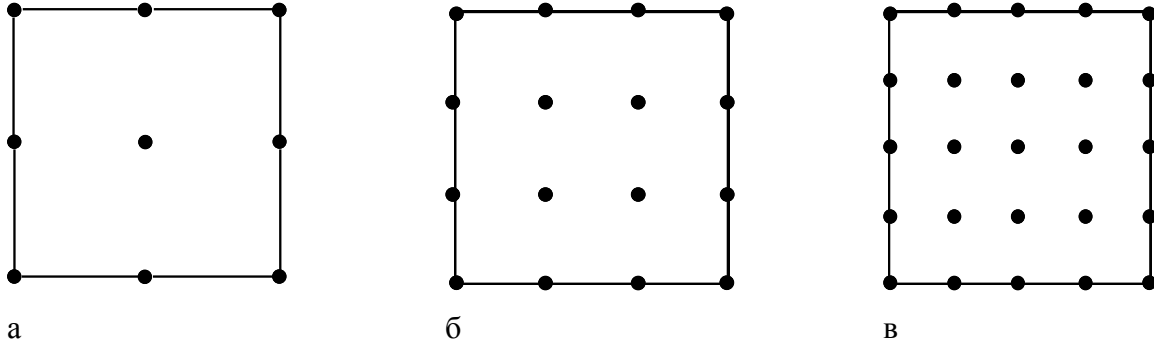
Концентрація C в будь-якій внутрішній точці при використанні СЕ-4 визначається за допомогою аналітичної залежності:

$$C = \sum_{i=1}^4 N_i(\xi, \eta) \cdot C_i \quad (8)$$

Білінійний елемент успішно використовується для апроксимації функцій з малим градієнтом. Для функцій, що швидко змінюються, отримати більш точну апроксимацію у МСЕ можна послідовним подібненням сітки білінійних елементів. Але це призводить до зростання обчислювальної похибки. З іншого боку, збільшення точності наближення може бути досягнуто послідовним збільшенням степеню базисних функцій. При цьому розміри елементів залишаються без змін, а покращують представлення полів у елементі за допомогою зростаючої кількості вузлів. Такі елементи відомі як елементи вищих порядків.

У **третьому розділі** розглядаються скінченно-елементні моделі концентрації небезпечних речовин вищих порядків. Для апроксимації функцій двох аргументів можна використовувати тра-

диційний спосіб, тобто побудувати інтерполяцію за Лагранжем (факторизація двох одновимірних поліномів Лагранжа відповідного степеня) і отримати лагранжеві скінченні елементи (рис.2).



а – квадратичний; б – кубічний; в – четвертого порядку

Рис.2. Лагранжеві скінченні елементи

Факторизація призводить до того, що лагранжеві елементи мають вузли в середині скінченного елемента. Внутрішні вузли збільшують об'єм обчислень та не використовуються при ансамлюванні скінченних елементів. Ці недоліки відсутні у *серендипових скінченних елементах (CSE)*. Первісна мета створення CSE – можливість перетворення довільного чотирикутника в квадрат і зменшення обсягу обчислень за рахунок вилучення “зайвих” внутрішніх вузлів. Такий кривольніний елемент з’явився при розрахунках споруд і отримав назву «серендиповий скінченний елемент».

За допомогою матричних методів на серендипових елементах отримані базиси, які називаються *стандартними*. Розглянемо біквадратичний елемент серендипової сім’ї CSE-8 (рис.3). CSE з біквадратичною інтерполяцією – це квадрат з 8-ма регулярно розташованими вузлами і система базисних функцій, яка відповідає цим вузлам. Інтерполяційний поліном для CSE-8 має 8 параметрів:

$$\phi_{\xi, \eta} = \alpha_1 + \alpha_2 \xi + \alpha_3 \eta + \alpha_4 \xi^2 + \alpha_5 \xi \eta + \alpha_6 \eta^2 + \alpha_7 \xi^2 \eta + \alpha_8 \xi \eta^2, \quad (9)$$

де α_i $i = \overline{1, 8}$ невідомі коефіцієнти, які знаходять методом оберненої матриці.

Розв’язавши систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) і виконавши відповідні перетворення, отримуємо функції форми у наступному вигляді (*стандартна модель*).

$$N_i_{\xi, \eta} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 + \xi_i \xi & 1 + \eta_i \eta & \xi_i \xi + \eta_i \eta - 1 \end{pmatrix}, \quad i = 1, 3, 5, 7; \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1. \quad (10)$$

$$N_i_{\xi, \eta} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 - \xi^2 & 1 + \eta_i \eta \end{pmatrix}, \quad i = 2, 6; \quad \eta_i = \pm 1. \quad (11)$$

$$N_i_{\xi, \eta} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 - \eta^2 & 1 + \xi_i \xi \end{pmatrix}, \quad i = 4, 8; \quad \xi_i = \pm 1. \quad (12)$$

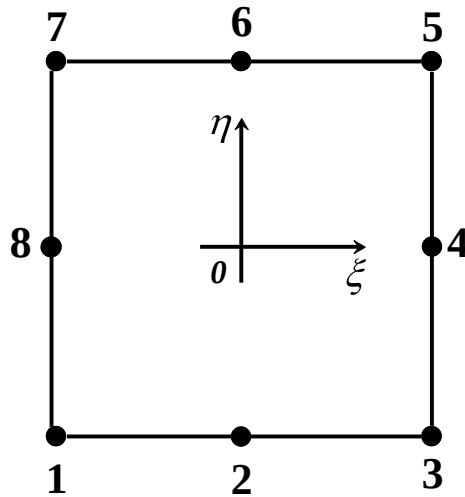


Рис.3. CSE-8

$$(|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1)$$

Функції форми (базисні функції) N_i ξ, η виконують важливу роль в методі скінченних елементів – апроксимують поле в середині елемента. Від вибору апроксимуючих функцій та їх властивостей в значній мірі залежить точність розв'язку. Слід зауважити, що серендипові моделі є унікальним прикладом одночасної інтерполяції та апроксимації – вони інтерполюють функцію на границі елемента та апроксимують всередині його.

Перетворення лагранжева СЕ в серендиповий називають редукцією, конденсацією, вилученням внутрішніх параметрів. При цьому у всіх літературних джерелах, які торкаються цього питання, процедура вилучення небажаних внутрішніх вузлів обов'язково супроводжується необґрунтованим видаленням корисних внутрішніх параметрів (мономів у схемі Паскаля). З цієї причини з'являються від'ємні навантаження у кутових вузлах ССЕ вищих порядків. Ефективна редукція повинна прибирати внутрішні вузли та зберігати внутрішні параметри.

Спроби удосконалення моделей ССЕ почалися в 70-х роках минулого століття. Запропонована Тейлором в 1972 р. процедура систематичного генерування базису привела до тих же стандартних моделей.

Процедура Тейлора відбувається в два етапи:

1. Побудова базисної функції для проміжних вузлів за допомогою факторизації полінома Лагранжа відповідного степеня по одному із напрямів на одновимірний поліном по іншому напрямку.
2. Побудова базисної функції для вузлів у вершинах квадрату за допомогою лінійної комбінації білінійної базисної функції та проміжних функцій.

Ключові ідеї процедури Тейлора ілюструє приклад побудови базису двовимірного ССЕ-8 (рис.3). Спочатку, використавши відповідний поліном Лагранжа другого степеня по одному з на-

прямів $l_2 \xi = 1 - \xi^2$ і, помноживши його на лінійний поліном Лагранжа по іншому напрямку $l_1 \eta = \frac{1}{2} (1 - \eta)$, отримуємо базисну функцію для проміжного вузла 2:

$$N_2 = \frac{1}{2} (1 - \xi^2) (1 - \eta). \quad (13)$$

Аналогічно будуємо базисну функцію для вузла 8:

$$N_8 = \frac{1}{2} (1 - \eta^2) (1 - \xi). \quad (14)$$

Це дозволяє отримати на сторонах поліном відповідного степеня і отримати проміжні функції, що відповідають інтерполяційній гіпотезі Лагранжа. Для “кутової” функції, наприклад, для N_1 , скористаємося лінійною комбінацією відомої функції білінійної інтерполяції $\overline{N}_1 \xi, \eta = \frac{1}{4} (1 - \xi) (1 - \eta)$ і “проміжних” функцій (13) і (14). Вибір вагового коефіцієнту 0,5 лінійної комбінації обумовлюється інтерполяційною гіпотезою Лагранжа. Таким чином,

$$N_1 \xi, \eta = \overline{N}_1 \xi, \eta - \frac{1}{2} (N_2 + N_8). \quad (15)$$

Після нескладних перетворень отримуємо функцію стандартного базису SSE-8:

$$N_1 \xi, \eta = \frac{1}{4} (1 - \xi) (1 - \eta) - \frac{1}{2} (1 - \xi - \eta). \quad (16)$$

Таким чином можливо генерувати базисні функції для елементів серендипової сім’ї (наприклад, SSE-12 та SSE-16).

В кінці 70-х років минулого століття завдяки роботам Ю. Уачспреса з’явився геометричний метод моделювання базисних функцій. Ідеї цього методу зрозумілі вже з самої назви – **метод «добутку» площин (“product of planes”)**. Базисні функції в цьому методі конструювались з суперпозиції рівнянь площин, що проходять через вузли і відповідні сторони, і вперше були запропоновані Уачспрессом на трикутних елементах з шістьма вузлами.

Однак цей метод на SSE взагалі не застосовувався.

У 80-ті роки минулого століття японські вчені Інституту Досліджень Атомної Енергетики (JAERI) звернулися до ідеї розбиття області на шестикутники (рис. 4) при розрахунках теплопровідності і нейтронної дифузії у швидкодіючих реакторах. При побудові базисних функцій японські дослідники використали спосіб, який засновано на техніці “добутку площин”. Шестикутник розбивають на чотири трикутника Q_i ($i = 1, 2, 3, 4$) зі спільною вершиною в вузлі i .

Записавши добуток поліномів, які асоціюються з відповідними рівняннями площин q_i , отримуємо функцію, наприклад, для вузла 1:

$$N_1(\xi, \eta) = q_1(\xi, \eta)q_2(\xi, \eta)q_3(\xi, \eta)q_4(\xi, \eta). \quad (17)$$

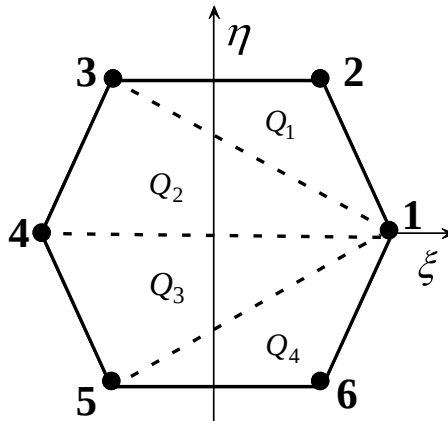


Рис.4. Побудова функції N_1 гексагонального елемента з використанням техніки “добутку площин”

Спроба пронормувати функції форми на гексагоні сталим множником не привела до очікуваного результату. Записавши в знаменник функціональний множник, японські дослідники отримали *дробово-лінійні* функції, які мають вагомий недолік: при обчисленні подвійних інтегралів від таких функцій виникають погано контрольовані похибки.

Поява нестандартних (альтернативних) серендипових моделей зв’язана з розробкою А.Н. Хомченком *ймовірнісно-геометричного методу* конструювання базисних функцій. Цей універсальний метод охоплює плоскі та просторові СЕ різної конфігурації в декартовій, полярній та циліндричній системах координат. Зрозуміло, що поява альтернативних базисів на серендипових СЕ зробила можливим розв’язок актуальної задачі оптимізації базису. Цю задачу вдалося звести до зваженого усереднення двох різних базисів.

За допомогою *прямого геометричного конструювання* базисів ССЕ були отримані альтернативні моделі на ССЕ-12 та ССЕ-16. Однак для ССЕ-8 не вдалося побудувати альтернативні моделі.

При конструюванні базисів ССЕ будь-яким методом спочатку отримують базисні функції, а потім, використовуючи формулу (18):

$$P_i = \iint_{\omega} \gamma N_i(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad \gamma = \frac{1}{4}, \quad (18)$$

обчислюють повузловий розподіл рівномірної масової сили по області ω скінченного елемента від відповідної базисної функції, зваженої з поверхневою щільністю γ . Саме тому у стандартних та отриманих альтернативних моделях не змогли позбутися від’ємних значень у повузловому роз-

поділі рівномірної масової сили. Була поставлена обернена задача – побудувати моделі ССЕ із заздалегідь визначеним повузловим розподілом рівномірної масової сили, в якому були б відсутні від’ємні значення. Таку обернену задачу оптимізації серендипових моделей почали розв’язувати комбінуванням геометричного і алгебраїчного підходів.

Комбінований алгебро-геометричний метод дозволив розв’язувати новий клас задач на серендипових елементах – обернені задачі апроксимацій вищих порядків з додатковими умовами. Таким чином, за допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу вдалося отримано альтернативні моделі для ССЕ-8.

Функції форми з параметром p для ССЕ-8 записуються наступним чином:

$$N_i = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 + \xi_i \xi & 1 + \eta_i \eta \\ 36p - 1 & 1 - \xi_i \xi - \eta_i \eta \\ 36p + 3 & \xi_i \xi \eta_i \eta \end{bmatrix}, i = 1, 3, 5, 7; \quad (19)$$

$$\xi_i, \eta_i = \pm 1.$$

$$N_i = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 - \xi^2 & 1 + \eta_i \eta \\ 5 - 36p & 36p + 3 \eta_i \eta \end{bmatrix}, \quad (20)$$

$$i = 2, 6; \quad \eta_i = \pm 1.$$

$$N_i = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 - \eta^2 & 1 + \xi_i \xi \\ 5 - 36p & 36p + 3 \xi_i \xi \end{bmatrix}, \quad (21)$$

$$i = 4, 8; \quad \xi_i = \pm 1.$$

Четвертий розділ присвячено розробці автоматизованої системи дослідження скінченно-елементних моделей. Останнім часом розроблена велика кількість програмних систем, призначених для автоматизації чисельного розрахунку за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ), який орієнтований на розв’язок прикладних задач. Однак всі системи, як правило, є закритими для користувача, що не дозволяє втручатися в процес розрахунку на рівні методів розв’язку, а також досліджувати задачі, розв’язок яких не був передбачений розробниками.

А також серед універсальних пакетів найбільш поширеними для моделювання та візуалізації на сучасному етапі є математичні пакети Mathcad, Matlab, Maple, Mathematica та інші, в яких реалізовані потужні бібліотеки візуалізації різноманітних функцій та поверхонь в 2D/3D моделях. Кожна з бібліотек вищеназваних пакетів має певний набір інструментальних функцій, які на початковому етапі дозволяють швидко провести моделювання та візуалізацію

Однак для більш детального дослідження дискретних моделей необхідно виходити за рамки функціональних можливостей, представлених в універсальних пакетах. Ці недоліки призводять до необхідності розробки інструментальних програмних засобів, які дозволяють розширити функціональні можливості відсутні в наявних програмних системах для дослідження, як стандартних так і нових альтернативних моделей.

Структурно розроблену підсистему можна представити у вигляді складових еволюційної системи підтримки прийняття рішень (СППР) на рис.5.

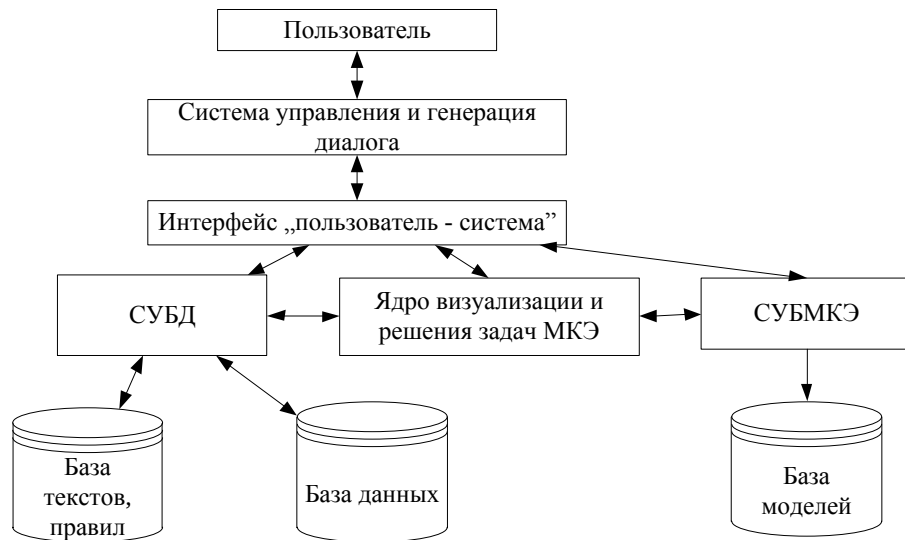


Рис.5. Структурна схема еволюційної СППР

Основними структурними компонентами розробленої підсистеми є: система управління базою моделей скінчених елементів (СУБМСЕ), система управління базою даних (СУБД), ядро візуалізації і рішення задач методом МСЕ.

База моделей забезпечує гнучкість моделювання, зокрема, за рахунок використання готових блоків моделей і підпрограм. Управління моделями дає такі можливості:

- створювати каталоги та обслуговувати широкий спектр моделей, які підтримують різноманітні класи задач;
- ефективно створювати нові моделі;
- пов'язувати моделі з відповідними базами даних.

База моделей містить як двовимірні так і тривимірні типи скінчених елементів(СЕ) представлених в декартових та криволінійних системах координат з інтерполяцією від лінійної до четвертого порядку, а також «змішані» скінчені елементи. Типи моделей які містить база моделей представлено на рис.6.

Ядро візуалізації і рішення задач методом скінчених елементів включає в себе основні етапи вирішення завдань, які передбачені в системах, що реалізують МСЕ. Всі пакети, що реалізують метод скінчених елементів, складаються з інформаційної та обчислювальної частин (рис. 7).

Інформаційна частина - база даних (БД) пакета - містить опис використовуваних даним пакетом типів елементів (бібліотеку елементів), бібліотеку матеріалів, довідкову систему. Фізично являє собою набір файлів, розташованих в тому каталозі, куди був встановлений пакет.

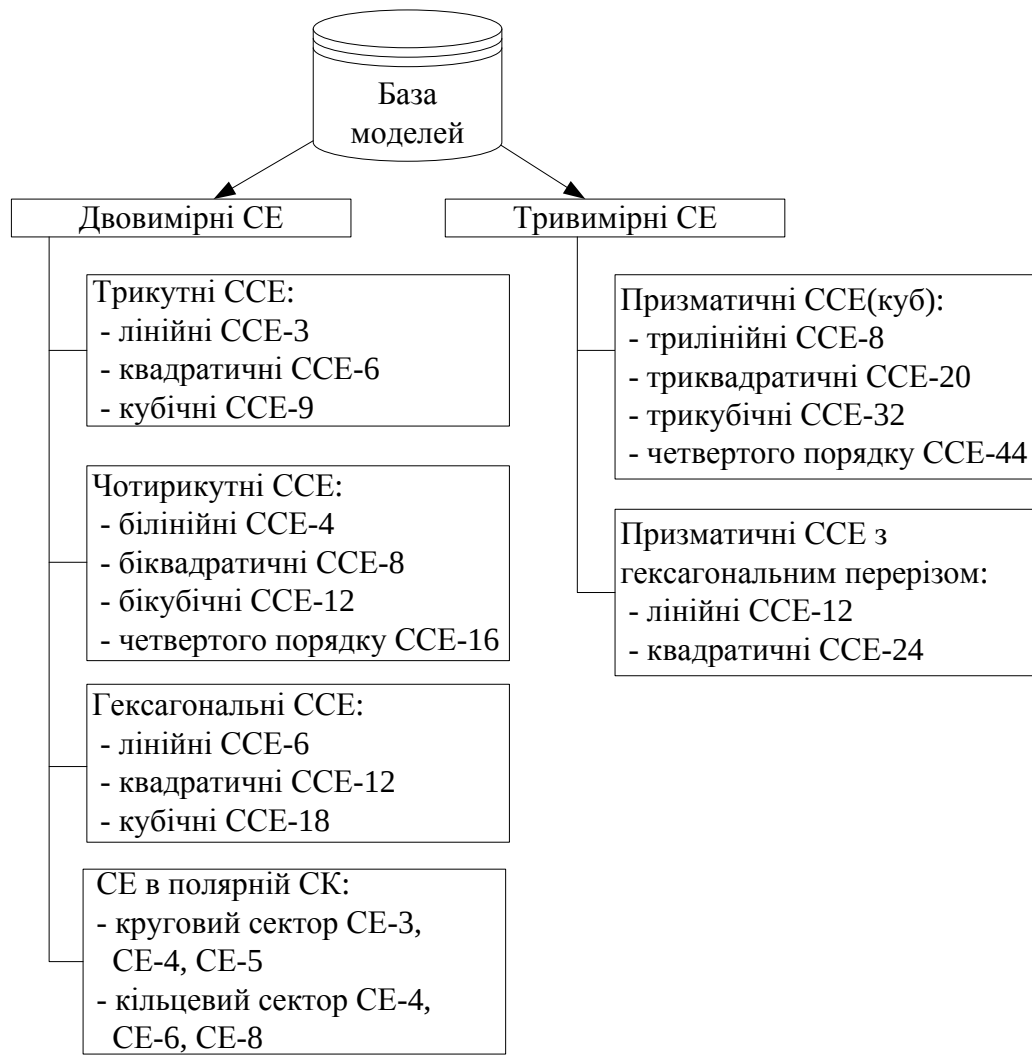


Рис.6. Типи моделей, що становлять базу моделей

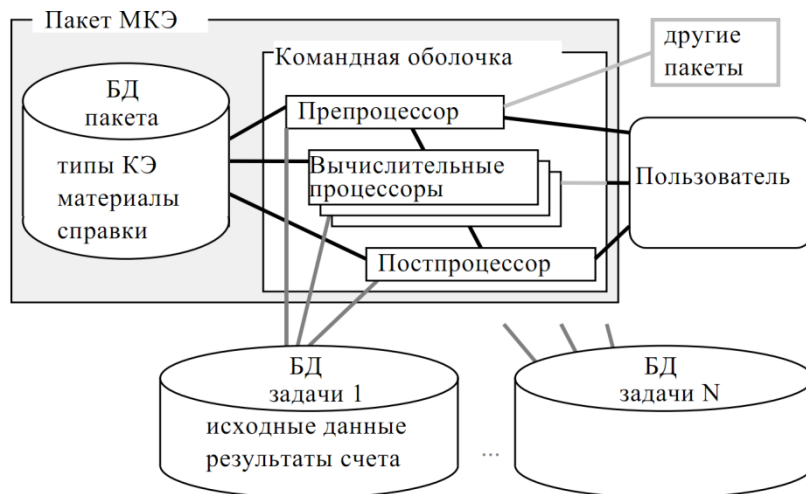


Рис.7. Пакет МСЕ. Загальна структура

Обчислювальна частину пакетів МСЕ складає набір модулів (які зазвичай називають процесорами), що виконують певні функції і об'єднані загальною оболонкою (реалізація цієї ідеї різна в різних пакетах - модулі можуть являти собою окремі EXE-файли, або входити в єдиний файл у вигляді підпрограм). Серед процесорів зазвичай виділяють препроцесор (preprocessor) - модуль підготовки початкових даних, обчислювальний процесор - solver (або обчислювальні процесори - для пакетів, які вирішують широке коло завдань) і постпроцесор (postprocessor) - засіб візуалізації і аналізу результатів розрахунку.

Графічне представлення даних дозволяє наглядно відобразити величезні масиви числової інформації, виявити в цих масивах найбільш цікаві фрагменти та зосередити саме на них подальші дослідження. Тому для більш глибокого вивчення та подальшого дослідження отриманих моделей виникла потреба в розробці процедури візуалізації.

Взаємодія процедури візуалізації серендипових поверхонь з OpenGL представлена на рис.8.

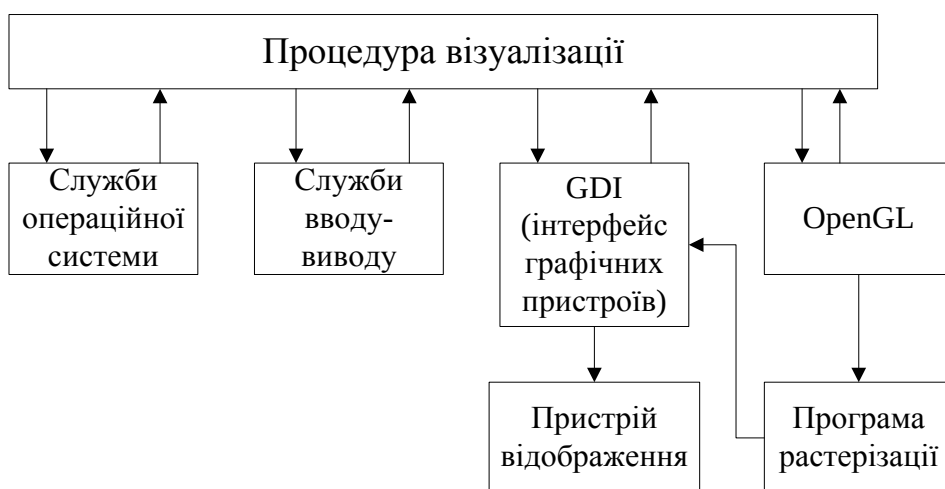


Рис.8. Місце OpenGL в процедурі візуалізації

В процедурі візуалізації поверхні базисної функції реалізований гнучкий механізм, що задає кількість точок розбиття з метою швидкого ескізного зображення поверхні. Сукупність таких точок утворює каркас - систему ліній на поверхні.

В даному випадку серендипова поверхня $N(\xi, \eta)$ зображується параметричними лініями $N(\xi_i, \eta)$, $N(\xi, \eta_j)$, які розраховуються наступним чином:

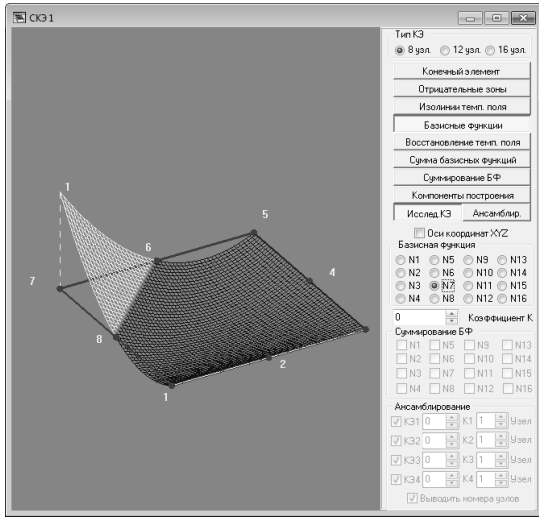
- задаються цілі числа n і m що визначають індексну сітку (i, j) в якій $i = \overline{0, n}$, $j = \overline{0, m}$;
- виконується дискретизація параметрів $\xi = \xi_0, \xi_1, \dots, \xi_n$, $\eta = \eta_0, \eta_1, \dots, \eta_m$ і створюється параметрична сітка ξ_i, η_j . У найпростішому випадку вона може бути рівномірною з інтервалами дискретності:

$$\Delta \xi_i = \xi_i - \xi_{i-1} = \text{const} \quad \forall i, \quad \Delta \eta_j = \eta_j - \eta_{j-1} = \text{const} \quad \forall j;$$

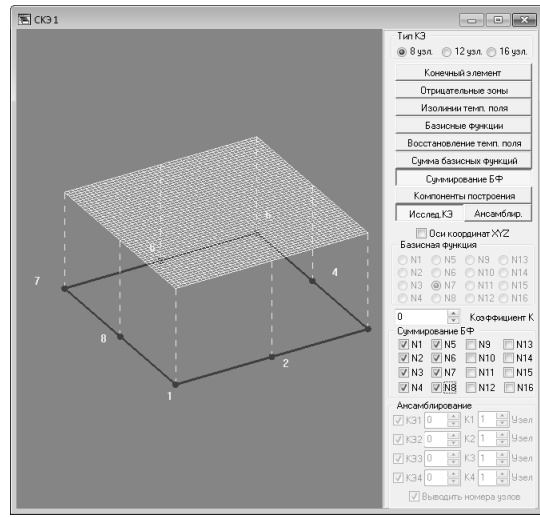
- обчислюються вузли $N(\xi_i, \eta_j)$ і циклічно будується каркасна сітка з проєкцій відрізків між вузлами

$$N((\xi_i, \eta_j \quad \forall j = \overline{0, m}), \quad \forall i = \overline{0, n}), \quad N((\xi_i \quad \forall i = \overline{0, n}), \quad \eta_j, \quad \forall j = \overline{0, m}).$$

Завдяки гнучкому механізму вибору числа інтервалів дискретизації, ми отримуємо реалістичну згладжену поверхню базисної функції (рис.9а).



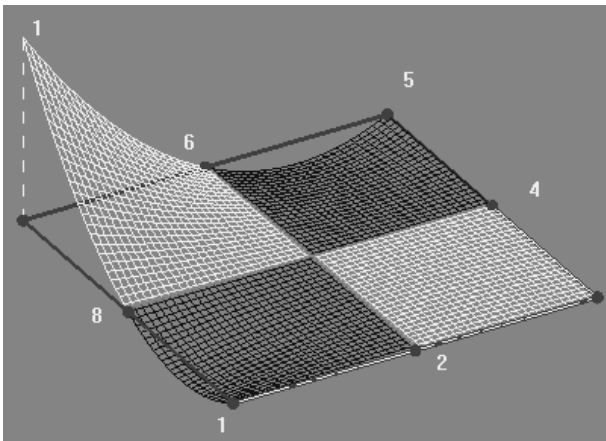
а) функція форми для вузла 7



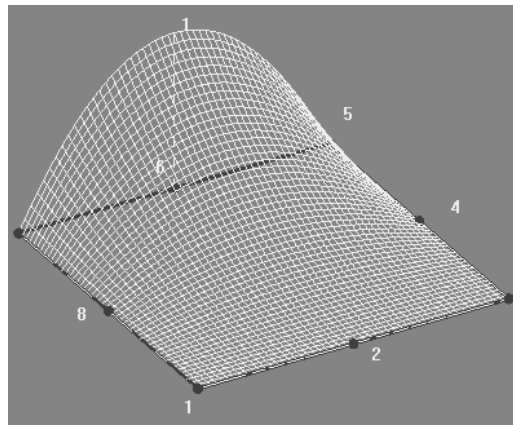
б) сума функцій CSE-8

Рис.9. Головне вікно процедури візуалізації ($p = 0$)

Візуалізація дозволяє спостерігати поверхню функції форми, від'ємні та додатні значення та лінії нульового рівня серендипової поверхні, які передаються за допомогою використання різних кольорів, а також і перевіряти виконання властивостей, що притаманні функціям форми у MSE (рис.9,10).



а) N_7



б) N_8

Рис.10. Візуалізація функцій форм при $p = 1$

Так наприклад:

Властивість 1. Базисні функції ССЕ-8 задовольняють інтерполяційній гіпотезі типу Лагранжа (рис. 9.а, 10):

$$N_i(\xi_k, \eta_k) = \delta_{ik}, \quad i, k = \overline{1, 8}, \quad (22)$$

де δ_{ik} - символ Кронекера.

Властивість 2. Система функцій задовольняє умові збереження вагового балансу (рис. 9.б):

$$\sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) = 1. \quad (23)$$

Властивість 3. Базисна функція серендипового ССЕ-8 вздовж границь елемента є повним поліномом третього порядку і, як наслідок, має місце неперервність базисної функції на границі між елементами.

Наочно переконатися у виконанні третьої властивості (збереження C^0 - гладкості апроксимації на границі СЕ) дозволяє комп'ютерна візуалізація процедури об'єднання в ансамбль чотирьох функцій форми різних альтернативних моделей ССЕ-8, які відповідають загальному вузлу для чотирьох квадратів (рис.10).

Властивість 4. Базисні функції геометрично ізотропні (рис. 9.а): представлення залежної змінної на елементі не залежить від системи координат, що використовується, тобто геометрично ізотропне для ортогональних перетворень системи координат.

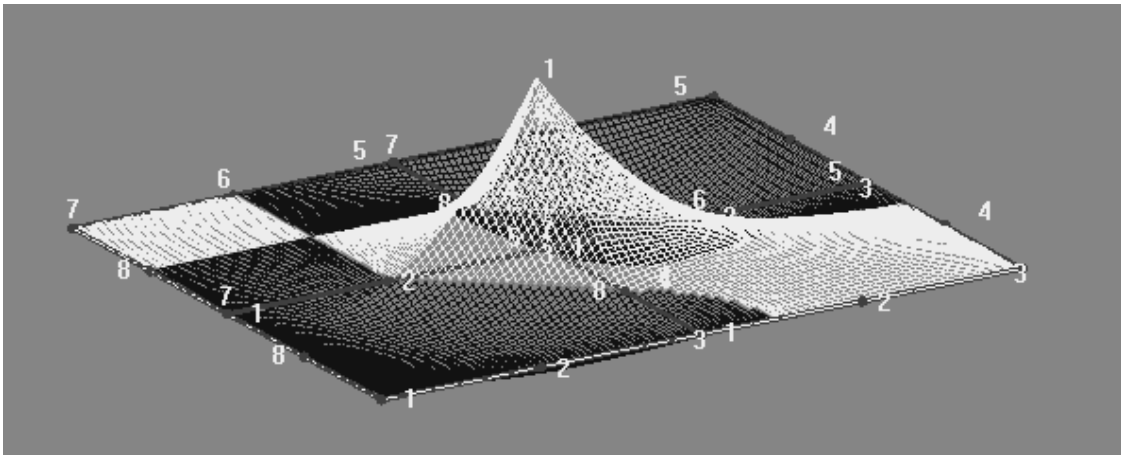


Рис. 10. Об'єднання в ансамбль чотирьох моделей ССЕ-8 при $p = 0; \frac{1533}{1000}; \frac{75}{100}; 1$ - починаючи з

лівого нижнього квадрата проти годинникової стрілки

Перевагою існування безлічі моделей на одному елементі є можливість об'єднувати їх в різних комбінаціях залежно від характеристик фізичного поля. Це неможливо в скінченно-елементних програмних засобах, які використовують єдиний стандартний базис.

Наявність керуючого параметра p у формулах (19-21) дозволяє будувати всю множину альтернативних моделей ССЕ-8, використовуючи алгоритм процедури візуалізації (рис.11).

Алгоритм роботи процедури візуалізації представлений на рис. 11.

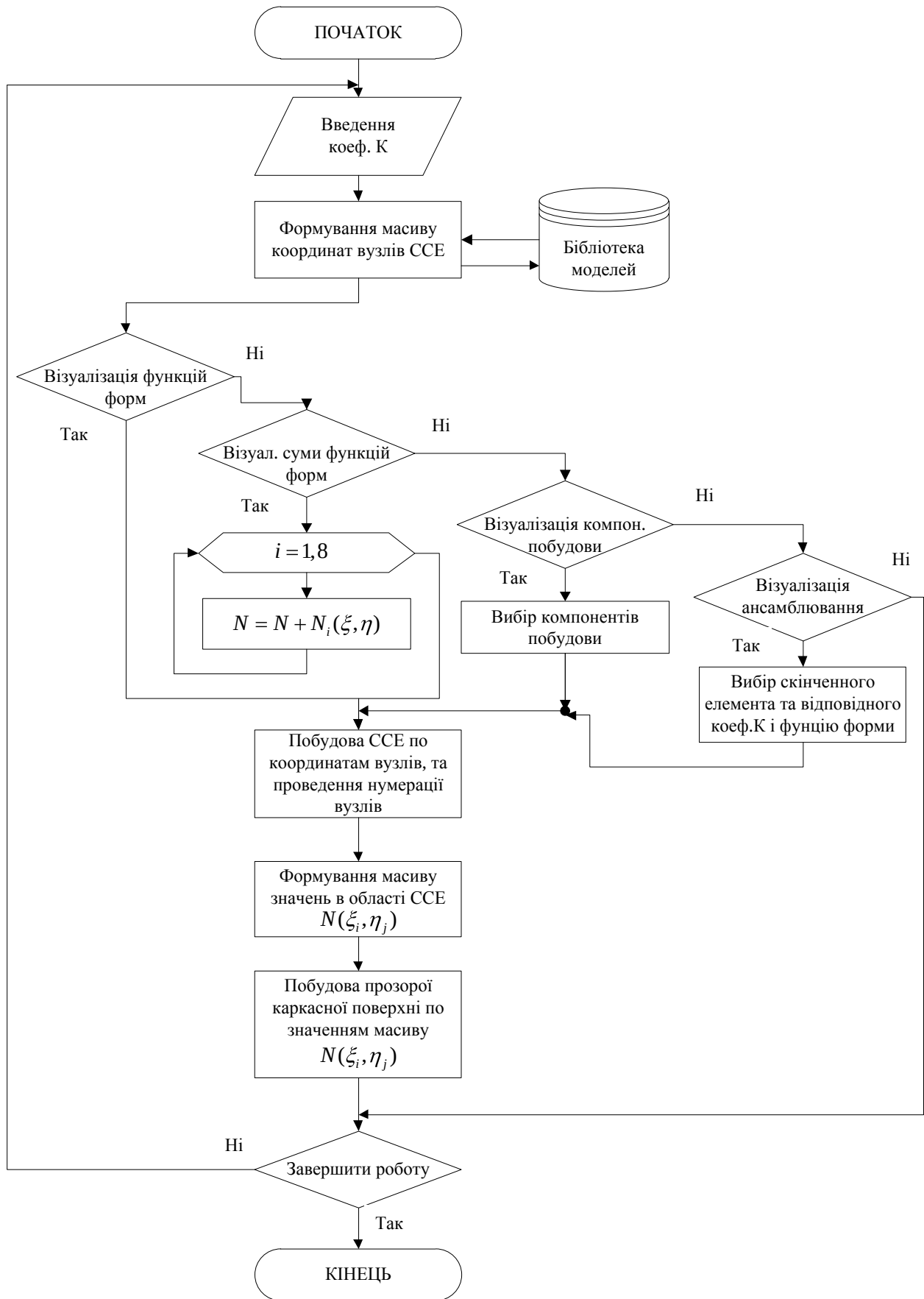


Рис.11. Алгоритм процедури візуалізації

За допомогою розробленого алгоритму можна розміщувати в одному екранному вікні як окрему базисну функцію, так і компоненти її побудови. Наприклад, у формулах (19)-(21) при $p = 0$ отримаємо стандартний базис ССЕ-8 (рис. 12).

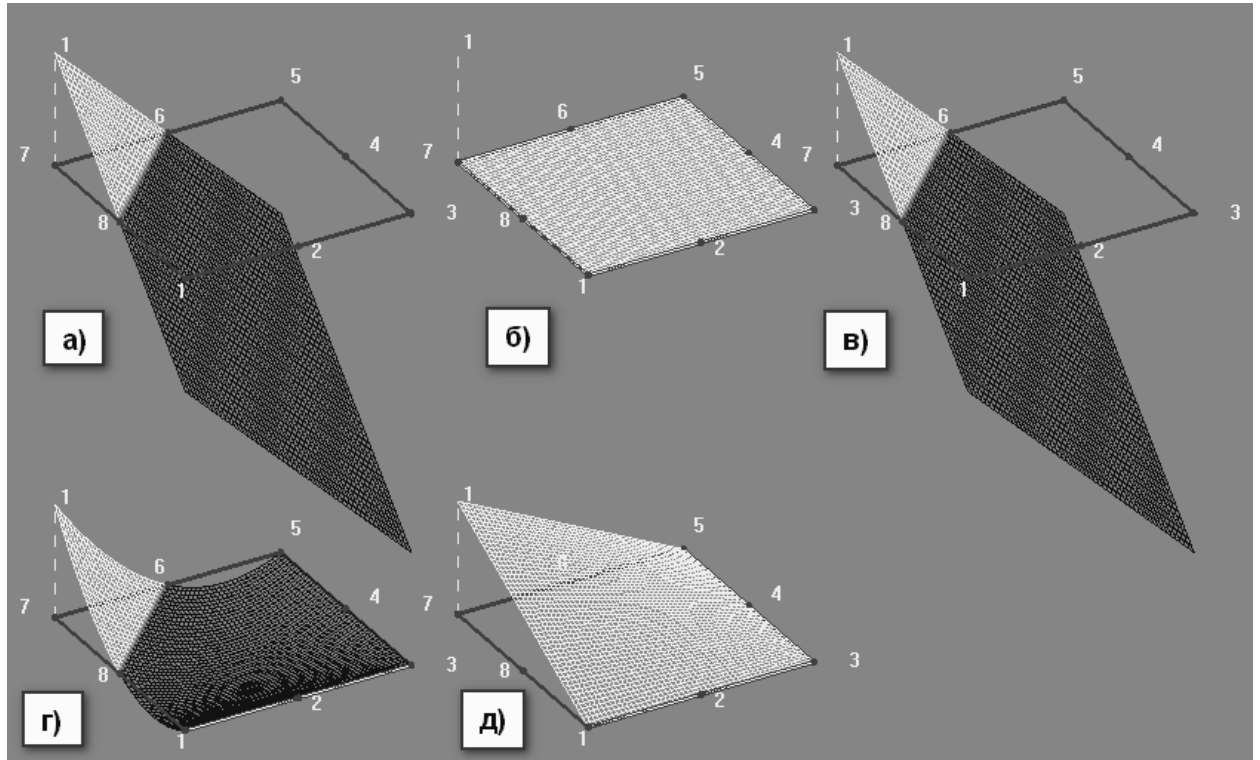


Рис. 12. Візуалізація компонентів побудови стандартного базису ССЕ-8

Використовуючи екранну копію (рис. 12), можна спостерігати процедуру отримання поверхні стандартної “кутової” функції біквадратичного елемента. При побудові функції форми для вузла 7 (рис.12г) в якості множників використано площину $f_1^1 = -1 - \xi + \eta$ (рис. 11а) та гіперболічний параболоїд (гіпар) $f_1^2 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)$ (рис. 12д). Аналогічно можна побудувати будь-яку “проміжну” функцію форми ССЕ-8 для вузлів 2,4,6,8.

Тривимірне зображення поверхні представлено у вигляді сітки, досить наглядне, але, на жаль, не дає можливості кількісно оцінити значення функції в окремих точках, або в межах точки. Окрім того частина поверхні буває схована від наглядача (знаходиться на “ протилежному схилі”). Оцінити поведінку досліджуваної функції кількісно дозволить її графічне представлення на двовимірній площині лініями рівня – кривими, відповідними фіксованому значенню функції. Цей метод прийшов в комп’ютерну графіку з топографії і є до цих пір достатньо поширений, хоча тепер він здебільшого використовується, як додаток до тривимірного зображення.

Оскільки функції N_i задані аналітично (19)-(21) то для побудови ліній нульового рівня необхідно знайти розв’язок рівняння $N_i(\xi, \eta) = 0$.

Для комп'ютерної візуалізації ліній рівня серендипових поверхонь використаємо ефективний чисельний “метод маркірованих квадратів”. Метод заснований на просторовій інтерполяції функції двох змінних між вузловими значеннями $N(\xi_i, \eta_j)$ на прямокутній сітці:

$$N((\xi_i, \eta_j \mid \forall j = \overline{0, m}), \mid \forall i = \overline{0, n}), \quad N((\xi_i \mid \forall i = \overline{0, n}), \mid \eta_j, \mid \forall j = \overline{0, m}),$$

де n і m – цілі числа, що визначають каркасну сітку (i, j) .

Процес починається з деякої прямокутної комірки визначеною чотирма вузлами сітки вибірок (ξ_i, η_j) , (ξ_{i+1}, η_j) , (ξ_{i+1}, η_{j+1}) , (ξ_i, η_{j+1}) , як показано на рис.13.

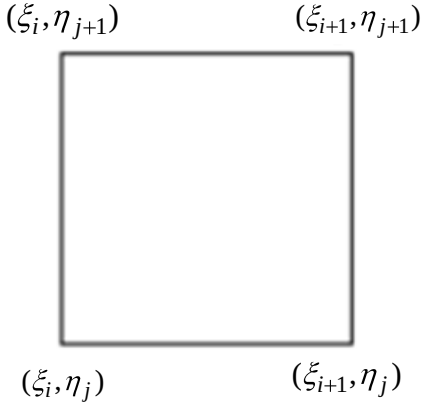


Рис.13. Прямокутна комірка

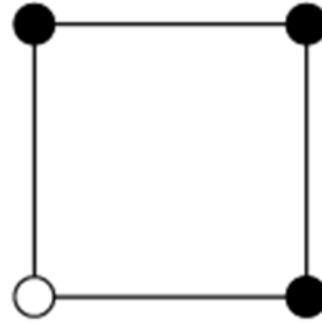


Рис.14. Маркірування кутів комірки

В загальному випадку може припасти так, що лінія рівня проходить через комірку, хоча ні одне із значень функції N_i в кутах комірок не буде дорівнювати певному значенню t .

Розглянемо простий випадок, коли одне із значень в кутах комірки, наприклад $N(\xi_i, \eta_j)$, буде більше t , а значення в інших кутах – менше t :

$$N(\xi_i, \eta_j) > t, \quad N(\xi_{i+1}, \eta_j) < t, \quad N(\xi_{i+1}, \eta_{j+1}) < t, \quad N(\xi_i, \eta_{j+1}) < t.$$

Цю ситуацію схематично можна представити у вигляді розкраски (маркірування) кутів комірки: білим кольором маркірується кут, в якому значення більше заданого, а чорним – кути, в котрих значення менше заданого (Рис.14). Очевидно, що в цьому випадку крива лінія рівня повинна перетнути два ребра комірки, які примикають до “білого” кута.

До цих пір було проаналізовано лише один із можливих варіантів маркірування вершин комірки. Всього можливо $2^4 = 16$ варіантів маркірування представлених на рис.15.

При визначенні точки перетину лінії рівня з ребром використовується лінійна інтерполяція за наступним принципом. Наприклад, дві сусідні вершини комірки, які мають протилежне маркірування, тобто значення функції в одній вершині більше t , а в другій – менше t :

$$\begin{aligned} N(\xi_i, \eta_j) &= a, \quad a > t, \\ N(\xi_{i+1}, \eta_j) &= b, \quad b < t. \end{aligned}$$

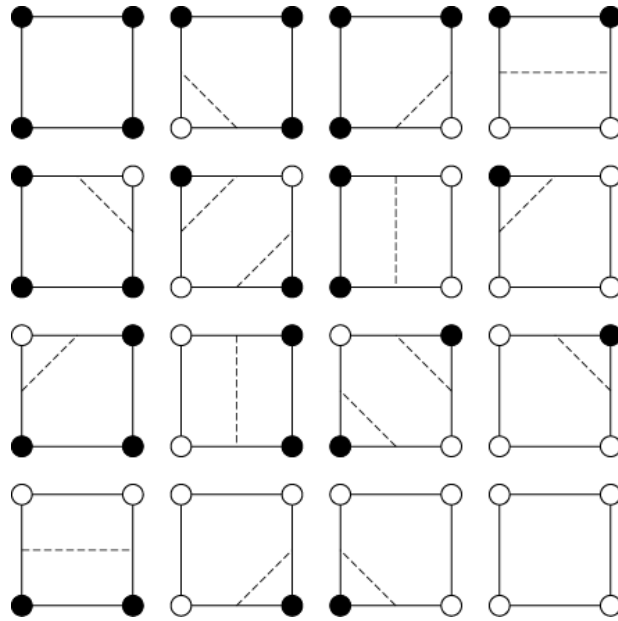
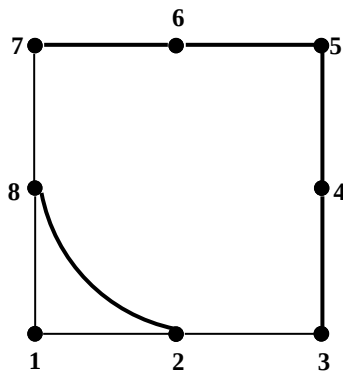
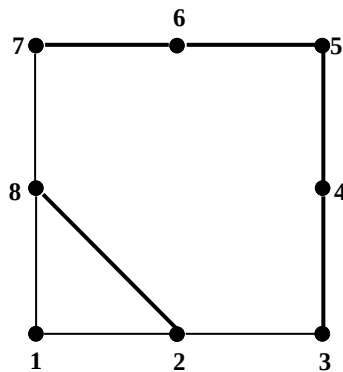
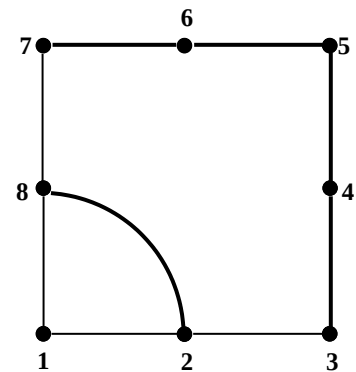


Рис. 15. 16 варіантів перетину комірки лінією рівня

В процедурі візуалізації ліній рівня серендипових поверхонь реалізований гнучкий механізм, що задає кількість точок розбиття з метою швидкого ескізного зображення поверхні. Сукупність таких точок утворюють комірки, вершини яких розглядаються за викладеним вище методом для побудови ліній рівня. Завдяки гнучкому механізму вибору числа інтервалів дискретизації, та лінійної інтерполяції двох змінних між вузловими значеннями ми отримуємо реалістичну зглажену поверхню базисної функції в вигляді ліній рівня. В процедурі також реалізовано можливість як візуалізації ліній рівня з заданим конкретним значенням функції, так і певним шагом дискретизації між значеннями функції.

Таким чином використовуючи процедуру візуалізації отримуємо лінії нульового рівня базисної функції N_1 для біквадратичного SSE-8 на рис.16-18.

Рис.16. Модифіковані базисні з гіперболами при $p \in -2;0$ Рис. 17. Стандартний базис з прямою при $p = 0$ Рис. 18. Модифіковані базисні з гіперболами при $p \in 0;1$

Наявність керуючого параметра p у формулах (19-21) дозволяє будувати всю множину альтернативних моделей ССЕ-8

П'ятий розділ присвячено розробці геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень оперативними підрозділами.

Моніторинг природної та техногенної обстановки на території України є невід'ємною частиною повсякденної діяльності структур ДСНС.

Без застосування геоінформаційних технологій і впровадження ГІС в роботу сил ДСНС України було б вельми скрутно збирати в одну «картину» різноманітні дані, розподілені в просторі (населені пункти, об'єкти економіки, лісові масиви і т.д.) і в часі (зміна напрямку і швидкості вітру, площі території лісової пожежі, збільшення рівня річкових вод, поширення плям забруднень нафтою та нафтопродуктами, зміна зон хімічного зараження, радіаційного забруднення і т. п.).

Геоінформаційна система (ГІС) в сукупності з застосовуваними додатками з оцінки наслідків що виникли або можливих НС має широконаправлені можливості зі збору, обробки та аналізу обстановки, що складається. Така ГІС гнучкий, швидкий і потужний інструмент, призначений для підтримки прийняття рішень органами управління ДСНС України.

Для збільшення функціональних можливостей цього інструменту в області попередження і ліквідації НС актуальним є необхідність розробки автоматизованої географічної інформаційної системи підтримки прийняття рішень, а також програмних продуктів, призначених для рішень різних завдань, пов'язаних з розрахунками і оцінкою небезпек в надзвичайних ситуаціях.

Ці програми спрямовані на поліпшення якості прийняття рішень щодо забезпечення різних видів безпеки (промислова, радіаційна, хімічна, сейсмічна, пожежна та ін.). Необхідність розробки різних розрахункових програм на основі затверджених методик, створених нових математичних моделей, що існують результатом науково-дослідних робіт і їх інтеграція в геоінформаційні системи більш повно розкривають всі їх можливості.

ГІС допомагають не тільки структурам ДСНС України, але і всім тим, хто пов'язаний з вирішенням завдань щодо попередження і ліквідації НС. Вирішувати такі завдання: отримувати оперативну обстановку про НС; визначати найбільш коротші і найшвидші маршрути руху аварійно-рятувальних служб і сил ліквідації НС, маршрути евакуації населення із зони НС; визначати кількість постраждалих від НС і, як наслідок, необхідну кількість сил і засобів для надання допомоги; прогнозувати розвиток НС з метою запобігання або зниження негативного впливу на населення, територію і навколишнє природне середовище; оцінювати матеріальний і економічний збиток.

Однією з важливих підсистем геоінформаційної системи підготовки прийняття рішень в надзвичайних ситуаціях є підсистема моніторингу і прогнозування ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій.

Система моніторингу і прогнозування ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій призначена для:

- своєчасного виявлення причин, що сприяють виникненню надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру;
- завчасного визначення масштабів та характеру можливого розвитку надзвичайних ситуацій;
- прогнозування та своєчасного виявлення негативних процесів у техносфері, небезпечних природних явищ, інших чинників, що є джерелами надзвичайних ситуацій та визначення на основі прогнозу потреби в силах і засобах, матеріальних і фінансових ресурсах;
- оцінювання динаміки розвитку надзвичайних ситуацій, визначення їх масштабів для своєчасного вирішення завдань щодо локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій;
- розроблення рекомендацій та забезпечення здійснення щодо вжиття заходів із запобігання та локалізації надзвичайних ситуацій та пом'якшення їх соціально-економічних наслідків;
- опрацювання інформації про надзвичайні ситуації, видання інформаційно-аналітичних матеріалів;

Система моніторингу небезпечних техногенних і природних процесів, прогнозування ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій та оцінки їх розвитку може бути однією із функціональних підсистем Єдиної державної системи цивільного захисту.

Для побудови підсистеми моніторингу, був використаний модульний принцип організації та побудови інформаційних систем.

Даний принцип полягає в розбитті системи на деяке число різних модулів, використанні стандартних модулів шляхом їх параметричної настройки, автоматизації складання готових модулів з бібліотек, банків модулів.

Модульне програмування володіє наступними перевагами:

- кожен модуль містить набір незалежних функцій;
- кожен модуль має єдину точку входу і виходу;
- кожен модуль може бути розроблений і закодований різними членами бригади програмістів і може бути окремо протестований;
- модуль не дає побічних ефектів;
- кожен модуль не залежить від того, як реалізовані інші модулі.

При такому підході складна система поділяється на кілька частин, одночасно створюються різними програмістами. Кожен модуль реалізує набір функцій. Розмір модуля невеликий, тому тестування керовано і може бути проведено ретельно. Після кодування і тестування всіх модулів відбувається їхня інтеграція, і тестується вся система.

При супроводі тестується та налагоджували тільки той модуль, який погано працює. Очевидні переваги в полегшенні написання і тестування програм, зменшується вартість їх супроводу.

На підставі запропонованих скінченно-елементних моделей розглянутих в розділах 2, 3 для моніторингу концентрації небезпечних речовин в атмосфері, прогнозування подальшого розвитку надзвичайної ситуації та керування і моніторингом задіяних сил та засобів можна запропонувати наступну структуру підсистеми, представлену на рисунку 19.

У наведеній структурі можна виділити наступні модулі:

– Модуль прийому і реєстрації даних від датчиків та GPS трекерів. Даний модуль містить набір функцій, призначених для роботи з віддаленим обладнанням.



Рис.19. Підсистема моніторингу

– Модуль діалогу з користувачем. Даний модуль містить набір інтерфейсних елементів, необхідних для створення діалогу з користувачем. З даного модуля користувач шляхом використання відповідних інтерфейсних елементів може отримати доступ до функцій інших модулів, що реалізують основні функції роботи системи.

– Модуль обробки вхідних і вихідних даних. Даний модуль призначений для перетворення даних, одержуваних з бази даних у формат зручний для використання в різних модулях, а також для зворотного перетворення.

– Модуль адміністрування. Даний модуль надає адміністратору системи функції з налаштування системи, зміни характеристик її роботи, функції по роботі з користувачами і віддаленими об'єктами, а також функції з надання загальних звітів по роботі системи.

– Модуль роботи з БД. Даний модуль містить набір функцій, необхідних для збереження даних в базі даних, а також для отримання з бази даних необхідної інформації відповідно до прав користувачів.

– Модуль формування звітів. Даний модуль містить набір функцій з надання користувачу узагальненої інформації по роботі датчиків, GPS трекерів транспорту та формування необхідних звітних форм з моніторингу та задіяних силах та засобах для ліквідації надзвичайної ситуації.

– Модуль моделювання. Призначений для роботи з різноманітними моделями, які занесені в БД та проведення відповідних розрахунків по моделях відповідно до конкретної надзвичайної ситуації.

– Модуль аналізу на прогнозування розвитку надзвичайних ситуацій. Призначений для аналізу та прогнозування розвитку надзвичайної ситуації, на базі наявної інформації, яка поступила в систему від датчиків, GPS трекерів, а також занесеної оператором під час прийняття екстреного виклику. Розраховується можливе поширення небезпечної ситуації та шляхи і методи ліквідації.

– Модуль розрахунку сил та засобів. Призначений для проведення розрахунку необхідної кількості сил та засобів для локалізації та ліквідації надзвичайної ситуації.

Підсистема моніторингу забезпечує наступні функції:

– Функції безперервного збору, оброблення та аналіз інформації про небезпечні техногенні та природні процеси.

– Функції організація обміну оперативною інформацією.

– Функції по додаванню, змінненню і видаленню облікових записів датчиків, GPS трекерів та транспортних засобів і місць їх встановлення.

– Функції здійснення постійного прогнозування зони можливого поширення надзвичайної ситуації та масштабів можливих наслідків.

– Функції збору даних з автоматичних датчиків, GPS трекерів та збереження їх в базі даних.

– Функції з налаштування параметрів функціонування системи та параметрів, використовуваних при розрахунках.

– Функції щодо збереження введеної або наявної інформації в базі даних.

– Функції адміністрування даної системи.

– Функції підготовки і формування звітів для користувачів системи і для її адміністратора.

Дані функції є основними функціями, які реалізуються за допомогою описаних вище модулів. Підсистема також реалізує ряд допоміжних функцій, необхідних для роботи основних, такі як: перетворення даних при їх збереженні в базу даних і вилучення їх з бази даних, функції для роботи з мережею для отримання даних з стаціонарного обладнання та інші функції.

Таким чином, можна зробити висновок, що однією з центральних частин підсистеми, що розробляється є база даних, що здійснює функції зберігання інформації, які знаходиться в підсистемі.

Значення концентрації небезпечної хімічної речовини C можуть бути отримані безпосередньо за допомогою датчиків, на прикладі системи. Датчики розташовуються як на стаціонарних постах збору інформації так і оперативних пересувних лабораторіях, які обладнанні відповідними каналами передачі даних на сервер автоматизованої системи моніторингу.

На стаціонарних постах проходить збір інформації з датчиків газоаналізатора, первина обробка за допомогою концентратора, зберігання в пам'яті та передача при запитах на сервер через GSM/GPRS канал (Рис.20). Комунікаційним каналом «датчики-концентратор» служить RS485, або радіомодуль (RF 2.4 ГГц, IEEE802.15.4).

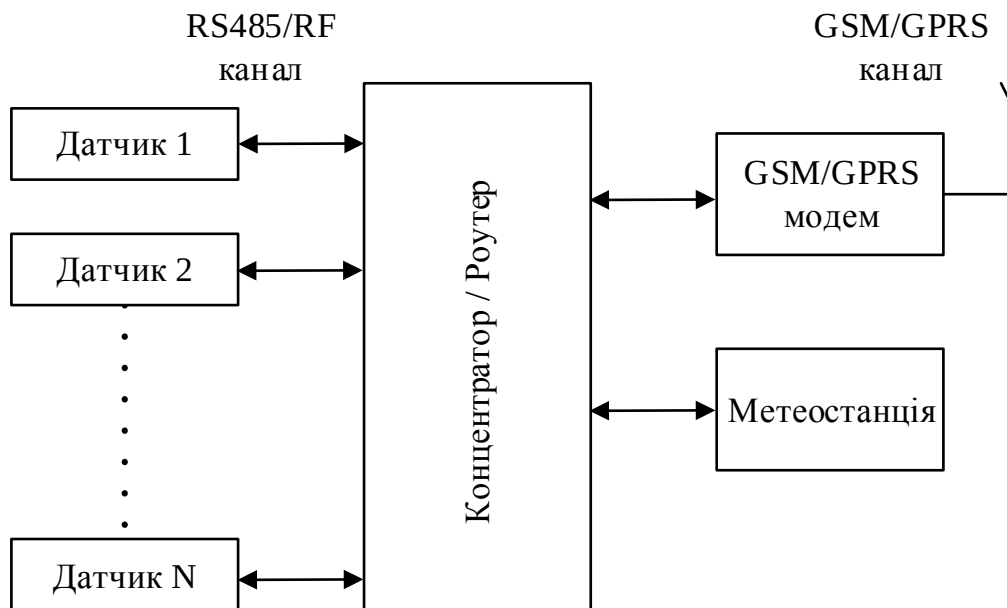


Рис.20. Пост збору та передачі інформації

Датчики, що входять в апаратну частину даної системи, дозволяють проводити заміри концентрації хлору, аміаку, оксиду азоту, водню та інших газів. Пости моніторингу повинні розташовуватися як поблизу джерела викиду(виливу) НХР так і біля соціально-значимих об'єктів з масовим перебуванням людей, дитячих садків, шкіл, лікарень та інших.

Підсистема обробки та аналізу інформації (Рис.21) за допомогою спеціальної служби через певні інтервали часу виконує запити до постів збору та передачі інформації для зчитування, обробки та зберігання в базі даних актуальної інформації про стан та концентрацію небезпечних речовин.

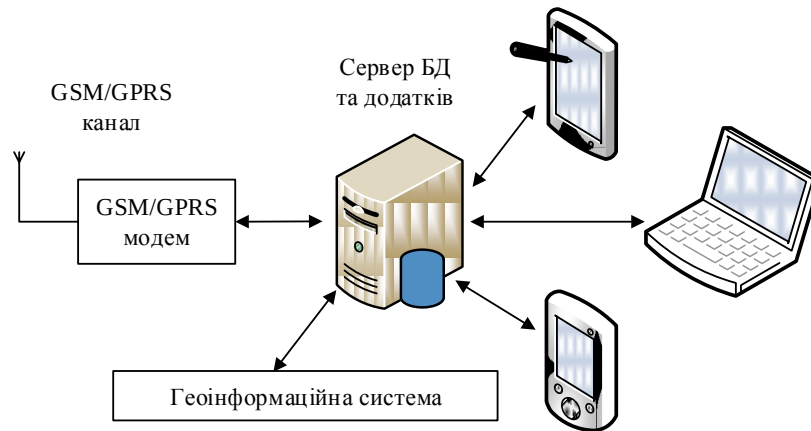


Рис.21. Підсистема обробки та аналізу інформації

Крім того комплекс включає до себе метеостанцію, яка призначена для вимірювання метеорологічних параметрів, таких як швидкість і напрямок вітру, температура повітря, вологість, атмосферний тиск.

Оброблена та проаналізована інформація передається безпосередньо до ГІС системи ДСНС “Системи 112” (рис.22).

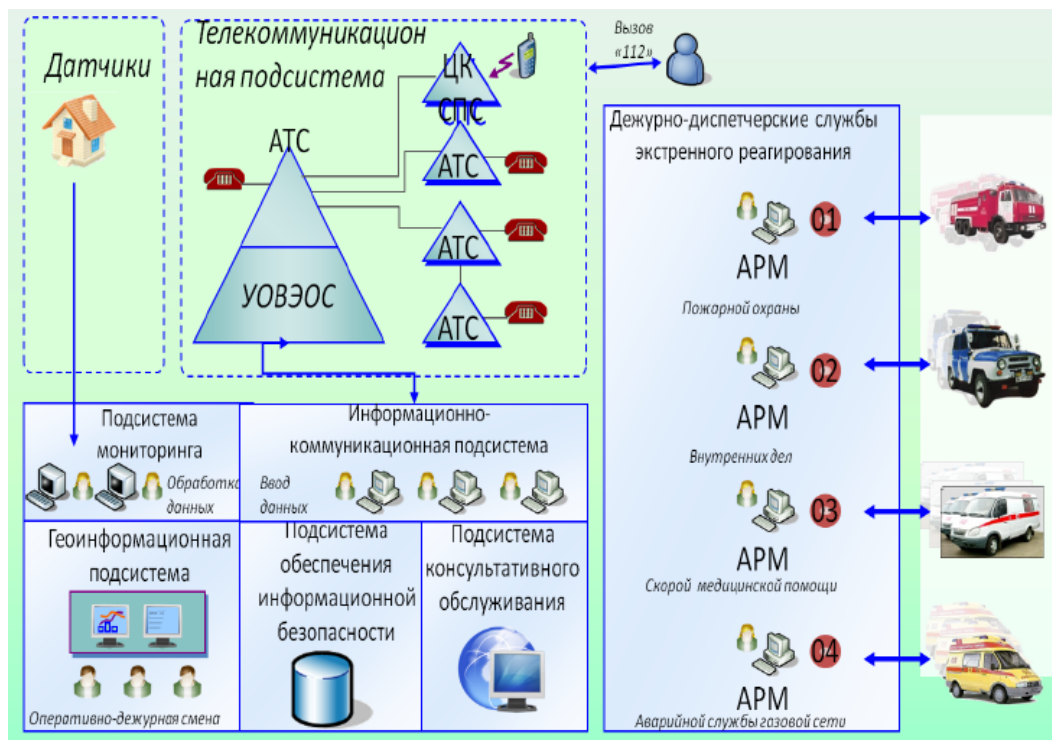


Рис.22. Загальна структурна схема “Системы -112”

Розроблена підсистема моніторингу дозволить надати наступні переваги в порівнянні зі звичайними механізмами та методами:

- отримання об'єктивних даних в реальному часі про концентрацію небезпечних речовин в місцях встановлення відповідних датчиків;
- проведення експрес-діагностики застосовуючи запропоновані моделі в розділах 2, 3 для скінченно-елементної апроксимації концентрації небезпечних речовин на область яку покривають датчики;
- зв'язок даної підсистеми з ГІС системою дозволяє виносити на певний шар відповідні значення концентрації та візуалізувати зону надзвичайної ситуації і прогнозувати можливі наслідки;
- проводити моніторинг наявних та задіяних в ліквідаціях надзвичайних ситуацій сил та засобів на базі інформації, що надходить від GPS трекерів.
- надавати оперативну інформацію мобільним підрозділам про стан, зону надзвичайної ситуації та задіяні підрозділи за допомогою web-сервісів(рис.23).

Логічна схема моделі даних, наведена на рисунку 24.

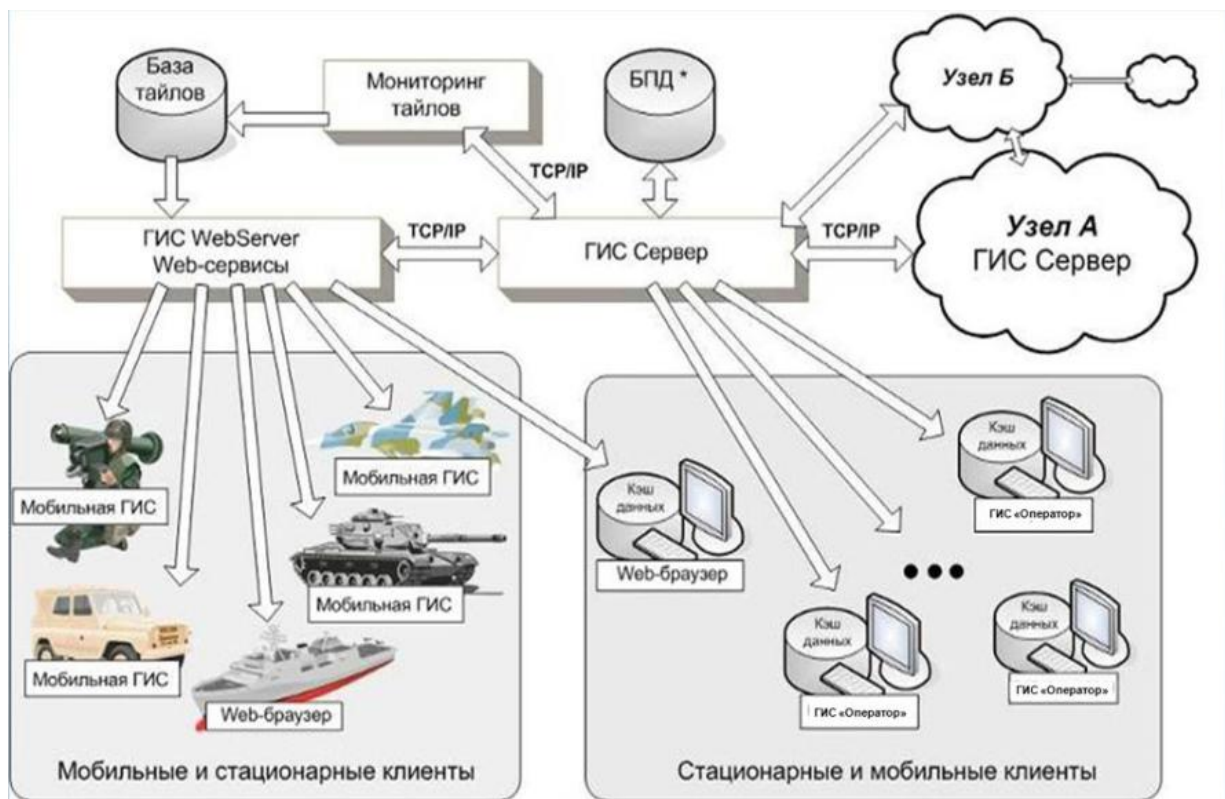


Рис.23. Взаємодія мобільних підрозділів з ГІС ППР.

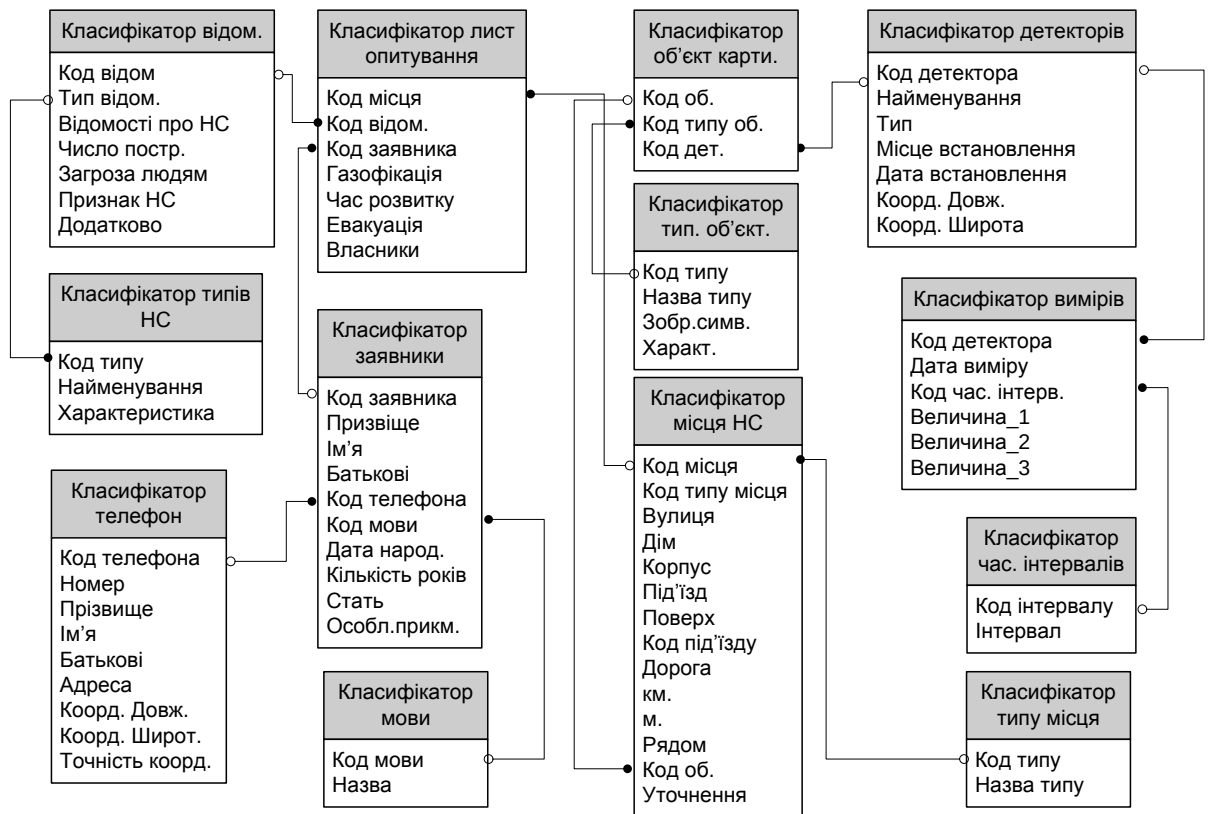


Рис. 24. Логічна схема моделі даних

У наведеній логічній схемі можна виділити наступні види сутностей:

- Сутність «Класифікатор детекторів». Містить інформацію про наявні датчики та GPS трекери, їх місце встановлення та географічні координати, при стаціонарному закріпленні.
- Сутність «Класифікатор вимірів». Містить інформацію яка надходить від стаціонарних постів спостереження, або від рухомих об'єктів де встановлені відповідні датчики чи GPS трекери. Інформація заноситься з відповідним інтервалом після обробки відповідними модулями системи. Також у цій сутності присутній зовнішній ключ з класифікатором часових інтервалів.
- Сутність «Класифікатор часових інтервалів». Містить інформацію про інтервали з якою періодичністю необхідно проводити опитування датчиків.
- Сутність «Класифікатор типу місця». Містить інформацію про місця де виникають надзвичайні ситуації. Це необхідно для подальшого аналізу за категоріями місць виникнення НС.
- Сутність «Класифікатор об'єкти карти». Містить інформацію про об'єкти які будуть відображатися на карті при включеному шарі моніторингу. Також у цій сутності присутній зовнішній ключ з класифікатором типу об'єкту та з класифікатором детектори для винесення зображення на карту де розташовані датчики та де знаходяться сили та засоби на яких встановлено GPS трекери.
- Сутність «Класифікатор тип об'єкту». Містить інформацію про типи об'єктів та зображення які будуть представлені на карті.

– Сутність «Класифікатор місця НС». Містить детальну інформацію про місце де виникла надзвичайна ситуація. А також сутність має зовнішній ключ з сутністю типи об'єктів для подальшого аналізу біля якого, або на якому об'єкті виникла НС.

– Сутність «Класифікатор лист опитування». Містить інформацію про надзвичайну ситуацію, та заявника. Поля даної сутності заповнюються в залежності до якого типу належить надзвичайна ситуація, та які аварійно рятувальні служби будуть задіяні в Системі-112. Також у цій сутності присутні зовнішні ключі з класифікатором заявники та класифікатором відомості про НС.

– Сутність «Класифікатор заявники». Містить інформацію про заявника який повідомив про надзвичайну ситуацію. Також у цій сутності присутній зовнішній ключ з класифікатором телефон та класифікатором мови.

– Сутність «Класифікатор мови». Містить інформацію про типи мов на яких заявники можуть звернутися по допомогу.

– Сутність «Класифікатор телефон». Містить інформацію про власника телефону, або заявника з якого було зроблено повідомлення про надзвичайну ситуацію. Це необхідно для автоматизованого позиціонування місця виникнення НС на карті.

– Сутність «Класифікатор відомості». Містить детальну інформацію про надзвичайну ситуацію та стан загрози та постраждалих. Також у цій сутності присутній зовнішній ключ з класифікатором типів надзвичайних ситуацій.

Всі використовувані в моделі зв'язки є зв'язками «один-до-багатьох », що коректно відображає семантику предметної області.

Шостий розділ присвячено практичному використанню інформаційних технологій на скінченно-елементних апроксимаціях в надзвичайних ситуаціях. Проведено дослідження точності моделювання температурних полів, концентрації небезпечних речовин та вирішенні задачі кручення стержня.

При проведенні експертних висновків в державній службі з надзвичайних ситуацій часто виникають питання в обґрунтованій інженерній оцінці конструкцій механізмів або споруд з точки зору міцності, жорсткості, стійкості і надійності.

Скінченно-елементний аналіз набуває все більшого поширення в реальній інженерній практиці і є найбільш підходящим для моделювання складних фізичних процесів. В даний час цей метод закладений в основу переважної більшості систем автоматизованого проектування в багатьох галузях. З його допомогою розраховуються напруження, деформації, теплообмін, розподіл магнітного поля, потоки рідин і інші завдання з безперервними середовищами, вирішувати які іншими методами виявляється набагато складніше.

Кручення - це деформація стержня, що характеризується взаємним поворотом поперечних перерізів один щодо одного навколо осі стержня під дією пари сил, прикладених до його кінців.

При цьому в поперечних перерізах тіла виникає тільки один внутрішній силовий фактор - крутний момент M . Крутний момент пропорційний об'єму, охоплених поверхнею напружень ϕ . В результаті дії крутних моментів два поперечних перерізи стержня, що знаходяться на певній відстані, повертаються на кут θ , який називається кутом закручування. На кручення працюють вали і пружини розтягування-стиснення.

Розглянемо задачу про кручення стержня квадратного перерізу. Нехай дано: модуль зсуву $\mu = 0,8 \cdot 10^7 \text{ Н / см}^2$; відносний кут закручування (кут крутки) 1° на 100см ; площа поперечного перерізу 1см^2 ; $K_{xx} = K_{yy} = 1$. Знайти поверхню напружень і крутний момент, що виникають при вільному крученні стержня.

В математичній фізиці ця задача відома як задача Діріхле для рівняння Пуассона:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -2\mu\theta, \quad \phi|_\Gamma = 0. \quad (24)$$

Варіаційне формулювання завдання про кручення стержня пов'язана з мінімізацією функціоналу:

$$\chi = \int_V \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 - 2\mu\theta \phi \right) dV. \quad (25)$$

Функціонал может быть записан в виде:

$$\chi = \int_V \left(\frac{1}{2} g^T D g - 2\mu\theta \phi \right) dV, \quad (26)$$

$$\text{де } g = \begin{Bmatrix} \frac{\partial \phi}{\partial x} \\ \frac{\partial \phi}{\partial y} \end{Bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} K_{xx} & 0 \\ 0 & K_{yy} \end{bmatrix}.$$

Мінімізація χ по Φ призводить до системи лінійних рівнянь:

$$\sum_{e=1}^E \int_{V^e} [g^e]^T [D^e] [g^e] dV = \sum_{e=1}^E \int_{V^e} [N^e]^T 2\mu\theta dV, \quad (27)$$

$$\text{де } g^e = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i^e}{\partial x} & \frac{\partial N_j^e}{\partial x} & \cdots & \frac{\partial N_r^e}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i^e}{\partial y} & \frac{\partial N_j^e}{\partial y} & \cdots & \frac{\partial N_r^e}{\partial y} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \\ \cdots \\ \Phi_r \end{Bmatrix},$$

$[N_i, N_j, \dots, N_r]$ – функції форми СЕ,

$\Phi_i, \Phi_j, \dots, \Phi_r$ – вузлові значення функції напружень.

Зсувні напруження, що виникають в стержні в результаті дії крутного моменту M щодо осі z , можуть бути обчислені в довільній точці за формулами:

$$\tau_{zx} = \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad \tau_{zy} = -\frac{\partial \phi}{\partial x}. \quad (28)$$

Крутний момент пропорційний обсягу, охоплених поверхнею напружень:

$$M = 2 \iint_{\Omega} \phi \, dx dy, \quad (29)$$

де Ω – перетин стержня.

В силу симетрії області розв'язання виконується на 1/8 частини квадрата, заштрихованої на рис. 25. Розбиття заштрихованої області проводиться методом триангуляції (рис. 26).

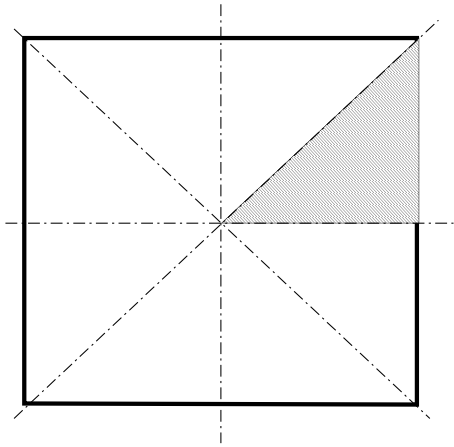


Рис. 25. Переріз квадратного стержня

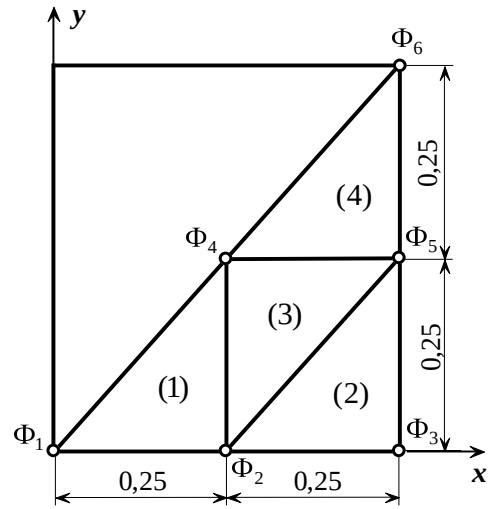


Рис. 26. Розбиття перерізу на трикутні СЕ

В результаті отримано наближене розв'язання, показане на рис. 27.

Раніше в літературі ця задача вирішувалася методом Рітца. На рис. 27 показана поверхня напружень, яка відповідає рішення для квадрата з площею перетину 1 см^2 , якщо в якості апроксимуючої взяти функцію у вигляді нескінченного тригонометричного ряду:

$$\phi = \frac{32\mu\theta b^2}{\pi^4} \sum_{m=1,3,\dots} \sum_{n=1,3,\dots} \frac{\sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}}{mn \, m^2 \alpha^2 + n^2}; \quad (30)$$

$$M = \frac{32\mu\theta}{\pi^4} \frac{8ab^3}{\pi^2} \sum_{m=1,3,\dots} \sum_{n=1,3,\dots} \frac{1}{m^2 n^2 \, m^2 \alpha^2 + n^2}; \quad (31)$$

Надалі розв'язання (30) - (31) будемо називати точним.

Навіть візуальне порівняння рис. 27 і рис. 28 говорить про погану точність розв'язку, отриманого за допомогою 4 трикутників. Недоліком застосування лінійних інтерполяційних поліномів

є неможливість отримати градієнти як функції координат. Щоб отримати правильні напружень всередині стержня можна наступним чином: 1) збільшити кількість трикутних елементів; 2) взяти трикутники з великим числом вузлів на границі; 3) застосувати кінцеві елементи в формі квадрата.

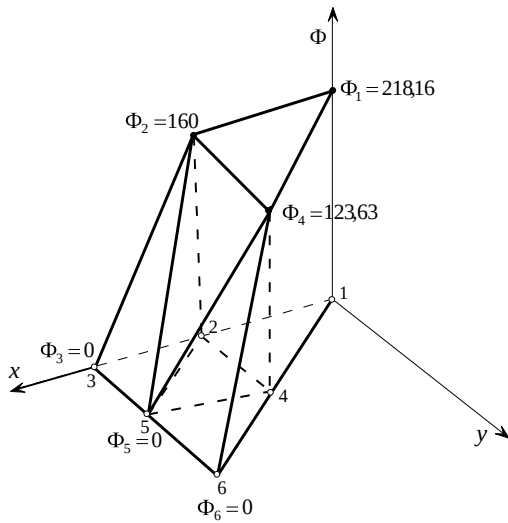


Рис. 27. Вузлові значення функції напружень при триангуляції

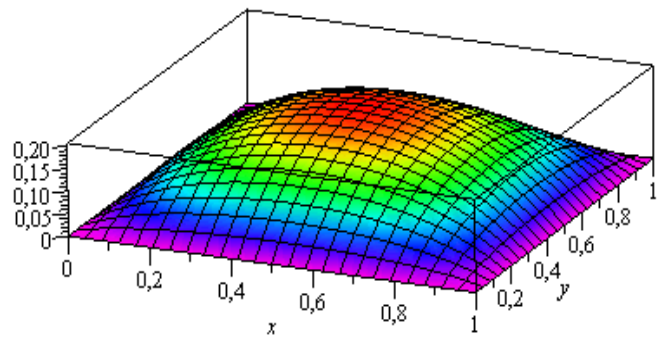


Рис. 28. Поверхня напружень, задається формулою (30) (по вертикальній координаті масштаб 1:1000)

Для уточнення значень напружень застосуємо процедуру методу скінченних елементів з біквадратичними скінченими елементами (СКЕ-8) (рис.29). Розбиття 1/4 частини перерізу стержня на квадрати показано на рис.30.

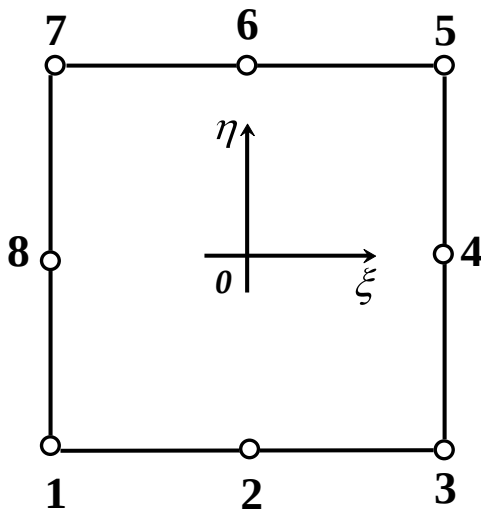


Рис.29. СКЕ-8 ($|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$)

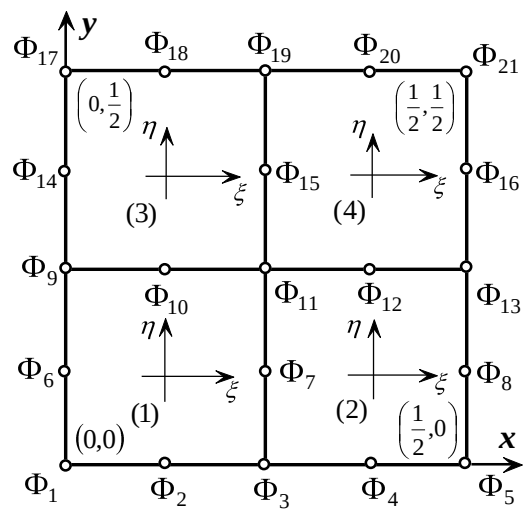


Рис.30. Розбиття перерізу на біквадратичні СЕ

Для біквадратичного скінченного елемента будемо використовувати базисні функції з керуючим параметром p , які отримані комбінованим алгебро-геометричним методом розглянутим в розділах 2, 3:

$$N_i = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 + \xi_i \xi & 1 + \eta_i \eta \\ 36p - 1 & 1 - \xi_i \xi - \eta_i \eta + 36p + 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_i \xi \eta_i \eta \end{bmatrix}, \quad (32)$$

$$i = 1, 3, 5, 7; \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1.$$

$$N_i = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 - \xi^2 & 1 + \eta_i \eta \\ 5 - 36p & 36p + 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_i \eta \end{bmatrix}, \quad (33)$$

$$i = 2, 6; \quad \eta_i = \pm 1.$$

$$N_i = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 - \eta^2 & 1 + \xi_i \xi \\ 5 - 36p & 36p + 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_i \xi \end{bmatrix}, \quad (34)$$

$$i = 4, 8; \quad \xi_i = \pm 1.$$

Розв'язання задачі проведемо використовуючи підсистему дослідження скінчених елементів розроблену в розділі 5, пакет Maple та алгоритм рис.31.

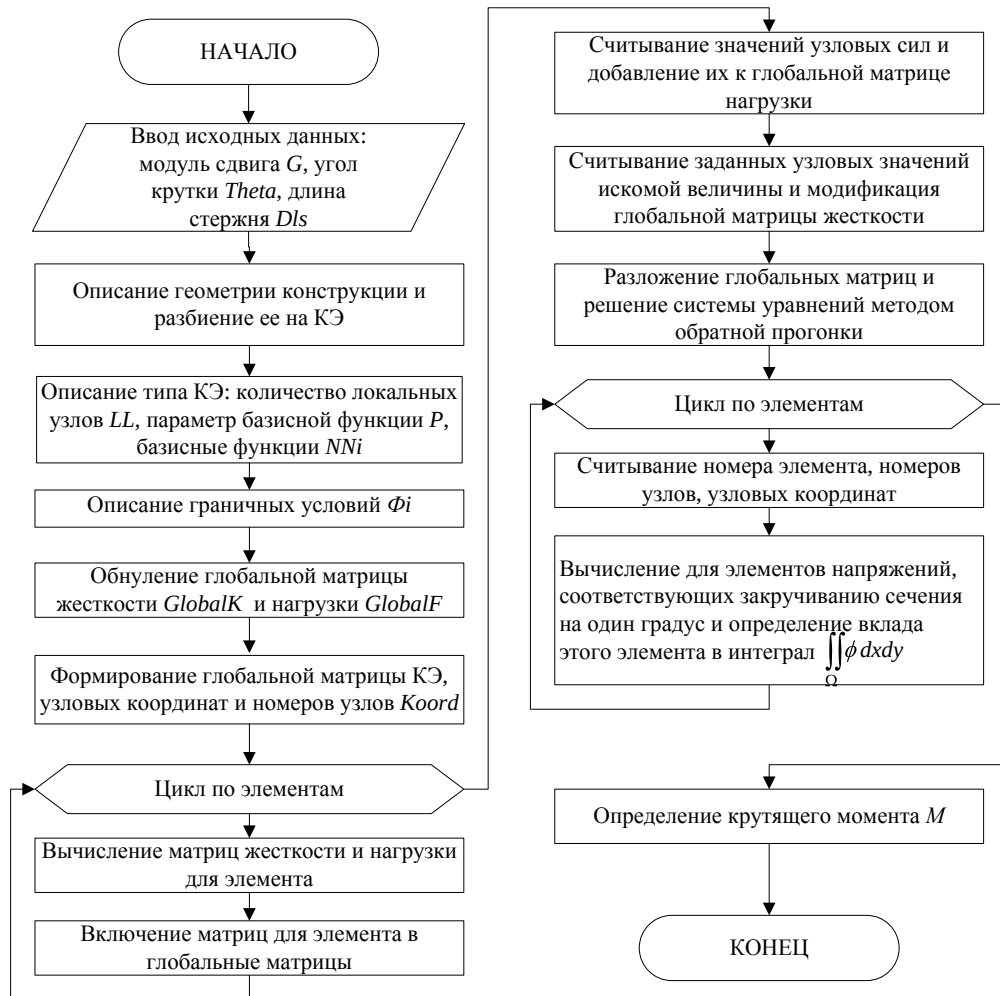


Рис.31. Блок-схема розв'язання задачі про кручення стержня

Для регулювання сітки розбиття області на СЕ введемо параметр Rek що рахує кількість СЕ на одній стороні заштрихованої області перетину:

```

> restart : with(linalg) : with(LinearAlgebra) :

      Решение задачи о кручении стержня

> G := 0.8 · 107 :           # Модуль сдвига
   Dls := 100 :              # Длина стержня
   Theta :=  $\frac{1}{Dls} \cdot \frac{3.14}{180}$  :      # Угол закручивания на единицу длины
   a := 1 :                  # Длина стороны квадратного сечения
> Rek := 2 :                 # Кол. КЭ на одной стороне области сечения
   LL := 8 :                 # Количество локальных узлов КЭ
   p :=  $\frac{1}{18}$  :                # Параметр для базисных функций
   K :=  $Rek^2$  :              # Кол. КЭ в области сечения
   if LL = 4 then
       FF :=  $(Rek + 1)^2$       # Кол. глобальных узлов Ф
   elif LL = 8 then
       FF :=  $(Rek \cdot 2 + 1)^2 - Rek^2$ 
   end if

```

Базисні функції для біквадратичного СЕ з керуючим параметром представимо у вигляді:

```

> NN1 :=  $\left( \frac{-1}{16} + \frac{9}{4} \cdot p \right) \cdot (1-x) \cdot (1-y) \cdot \left( 1+x+y + \frac{3 \cdot (1+12 \cdot p)}{36 \cdot p-1} \cdot x \cdot y \right) :$ 
   NN2 :=  $\left( \frac{5}{16} - \frac{9}{4} \cdot p \right) \cdot (1-x^2) \cdot (1-y) \cdot \left( 1 + \frac{3 \cdot (1+12 \cdot p)}{36 \cdot p-5} \cdot y \right) :$ 
   NN3 :=  $\left( \frac{-1}{16} + \frac{9}{4} \cdot p \right) \cdot (1+x) \cdot (1-y) \cdot \left( 1-x+y - \frac{3 \cdot (1+12 \cdot p)}{36 \cdot p-1} \cdot x \cdot y \right) :$ 
   NN4 :=  $\left( \frac{5}{16} - \frac{9}{4} \cdot p \right) \cdot (1-y^2) \cdot (1+x) \cdot \left( 1 - \frac{3 \cdot (1+12 \cdot p)}{36 \cdot p-5} \cdot x \right) :$ 
   NN5 :=  $\left( \frac{-1}{16} + \frac{9}{4} \cdot p \right) \cdot (1+x) \cdot (1+y) \cdot \left( 1-x-y + \frac{3 \cdot (1+12 \cdot p)}{36 \cdot p-1} \cdot x \cdot y \right) :$ 
   NN6 :=  $\left( \frac{5}{16} - \frac{9}{4} \cdot p \right) \cdot (1-x^2) \cdot (1+y) \cdot \left( 1 - \frac{3 \cdot (1+12 \cdot p)}{36 \cdot p-5} \cdot y \right) :$ 
   NN7 :=  $\left( \frac{-1}{16} + \frac{9}{4} \cdot p \right) \cdot (1-x) \cdot (1+y) \cdot \left( 1+x-y - \frac{3 \cdot (1+12 \cdot p)}{36 \cdot p-1} \cdot x \cdot y \right) :$ 
   NN8 :=  $\left( \frac{5}{16} - \frac{9}{4} \cdot p \right) \cdot (1-y^2) \cdot (1-x) \cdot \left( 1 + \frac{3 \cdot (1+12 \cdot p)}{36 \cdot p-5} \cdot x \right) :$ 

```

Зробимо обнулення глобальних матриць жорсткості і навантаження:

```

> GlobalK := array(1..FF, 1..FF) :      # Глобальная матрица жесткости
LokalK := array(1..LL, 1..LL) :      # Локальная матрица жесткости
GlobalF := array(1..FF) :            # Глобальная матрица нагрузки
SDVIG := array(1..2, 1..K) :        # Матрица сдвиговых напряжений
T := 0 :
for i to FF do
  for j to FF do
    GlobalK[i,j] := 0 :
  end do
  GlobalF[i] := 0 :
end do

```

Сформуємо глобальну матрицю CE Koord[x1, y1, x2, y2, x3, y3, x4, y4, x5, y5, x6, y6, x7, y7, x8, y8, Φn1, Φn2, Φn3, Φn4, Φn5, Φn6, Φn7, Φn8]:

```

> kkk := matrix(Koord);

```

$$kkk := \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{8} & 0 & \frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{8} & 1 & 2 & 3 & 7 & 11 & 10 & 9 & 6 \\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{3}{8} & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{8} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{3}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & 3 & 4 & 5 & 8 & 13 & 12 & 11 & 7 \\ 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{3}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{8} & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{3}{8} & 9 & 10 & 11 & 15 & 19 & 18 & 17 & 14 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{3}{8} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{3}{8} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{3}{8} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & \frac{3}{8} & 11 & 12 & 13 & 16 & 21 & 20 & 19 & 15 \end{bmatrix}$$

Розрахунок локальних матриць жорсткості і навантаження для кожного елемента з включення значень в глобальні матриці представимо у вигляді:

```

> for i to K do
  N(Koord[i, 17]) := NN1: N(Koord[i, 18]) := NN2: N(Koord[i, 19]) := NN3:
  N(Koord[i, 20]) := NN4: N(Koord[i, 21]) := NN5: N(Koord[i, 22]) := NN6:
  N(Koord[i, 23]) := NN7: N(Koord[i, 24]) := NN8:
  MT4b := matrix([ [diff(N(Koord[i, 17]), x), diff(N(Koord[i, 18]), x), diff(N(Koord[i, 19]), x), diff(N(Koord[i, 20]), x),
    diff(N(Koord[i, 21]), x), diff(N(Koord[i, 22]), x), diff(N(Koord[i, 23]), x), diff(N(Koord[i, 24]), x)],
    [diff(N(Koord[i, 17]), y), diff(N(Koord[i, 18]), y), diff(N(Koord[i, 19]), y), diff(N(Koord[i, 20]), y), diff(N(Koord[i, 21]),
    y), diff(N(Koord[i, 22]), y), diff(N(Koord[i, 23]), y), diff(N(Koord[i, 24]), y)] ]):
  KK := array(1..LL, 1..2, [[Koord[i, 1], Koord[i, 2]], [Koord[i, 3], Koord[i, 4]], [Koord[i, 5], Koord[i, 6]], [Koord[i, 7], Koord[i,
    8]], [Koord[i, 9], Koord[i, 10]], [Koord[i, 11], Koord[i, 12]], [Koord[i, 13], Koord[i, 14]], [Koord[i, 15], Koord[i, 16]]]):
  R := expand(multiply(MT4b, KK)) :
  GG := inverse(R) :
  SS := expand(multiply(GG, MT4b)) :
  MT4btr := transpose(SS) :
  S := det(R) :
  fn := 2 * G * Theta * S:
  PR_SS_MT4btr := evalm('&*' (MT4btr, SS)) :
  LokalKK := evalm(S * PR_SS_MT4btr) :
  for ii to LL do
    for jj to LL do
      LokalK[ii, jj] := int(int(LokalKK[ii, jj], x=-1..1), y=-1..1) :
    end do
  end do
  for ii to LL do
    for jj to LL do
      GlobalK[Koord[i, LL*2 + ii], Koord[i, LL*2 + jj]] := GlobalK[Koord[i, LL*2 + ii], Koord[i, LL*2 + jj]] + LokalK[ii, jj]:
    end do
    GlobalF[Koord[i, LL*2 + ii]] := GlobalF[Koord[i, LL*2 + ii]] + fn * (int(int(N(Koord[i, LL*2 + ii]), x=-1..1), y=-1..1)) :
  end do
end do

```

Потім застосувавши метод, розкладання глобальних матриць, вирішимо систему рівнянь методом зворотної прогонки і зробимо обчислення відповідних напружень для кожного СЕ.

```

> for i to K do
  N(Koord[i, 17]) := NN1 : N(Koord[i, 18]) := NN2 :
  N(Koord[i, 19]) := NN3 : N(Koord[i, 20]) := NN4 :
  N(Koord[i, 21]) := NN5 : N(Koord[i, 22]) := NN6 :
  N(Koord[i, 23]) := NN7 : N(Koord[i, 24]) := NN8 :
  MT4b := matrix([ [diff(N(Koord[i, 17]), x), diff(N(Koord[i, 18]), x), diff(N(Koord[i, 19]), x), diff(N(Koord[i, 20]), x),
    diff(N(Koord[i, 21]), x), diff(N(Koord[i, 22]), x), diff(N(Koord[i, 23]), x), diff(N(Koord[i, 24]), x)],
    [diff(N(Koord[i, 17]), y), diff(N(Koord[i, 18]), y), diff(N(Koord[i, 19]), y), diff(N(Koord[i, 20]), y), diff(N(Koord[i, 21]),
    y), diff(N(Koord[i, 22]), y), diff(N(Koord[i, 23]), y), diff(N(Koord[i, 24]), y) ] ] ) :
  KK := array(1..LL, 1..2, [ [Koord[i, 1], Koord[i, 2]], [Koord[i, 3], Koord[i, 4]], [Koord[i, 5], Koord[i, 6]], [Koord[i, 7], Koord[i,
    8]], [Koord[i, 9], Koord[i, 10]], [Koord[i, 11], Koord[i, 12]], [Koord[i, 13], Koord[i, 14]], [Koord[i, 15], Koord[i, 16]] ] ) :
  R := expand(multiply(MT4b, KK)) :
  GG := inverse(R) :
  MT4bm := matrix([ [ -diff(N(Koord[i, 17]), x), -diff(N(Koord[i, 18]), x), -diff(N(Koord[i, 19]), x), -diff(N(Koord[i, 20]), x),
    -diff(N(Koord[i, 21]), x), -diff(N(Koord[i, 22]), x), -diff(N(Koord[i, 23]), x), -diff(N(Koord[i, 24]), x)],
    [diff(N(Koord[i, 17]), y), diff(N(Koord[i, 18]), y), diff(N(Koord[i, 19]), y), diff(N(Koord[i, 20]), y), diff(N(Koord[i, 21]),
    y), diff(N(Koord[i, 22]), y), diff(N(Koord[i, 23]), y), diff(N(Koord[i, 24]), y) ] ] ) :
  SS := expand(multiply(GG, MT4bm)) :
  MT4F := transpose(matrix([ [FFF(Koord[i, 17]), FFF(Koord[i, 18]), FFF(Koord[i, 19]), FFF(Koord[i, 20]), FFF(Koord[i,
    21]), FFF(Koord[i, 22]), FFF(Koord[i, 23]), FFF(Koord[i, 24]) ] ] ) :
  SDVN := evalm(' &* (SS, MT4F)) :
  SDVTG[1, i] := factor(SDVN[1, 1]) :
  SDVTG[2, i] := factor(SDVN[2, 1]) :
  S := 1/64 :
  for ii to LL do
    T := T + 2 * S * FFF(Koord[i, LL * 2 + ii]) * int(int(N(Koord[i, LL * 2 + ii]), x = -1..1), y = -1..1) :
  end do:
end do:

```

І визначимо крутний момент:

```

> M := 4 * T; # Полный крутящий момент
M := 183.924059004674

```

Наявність точного розв'язання дозволяє оцінити відносну похибку, яка отримана при розрахунку МСЕ з біквадратичними елементами. Відносна похибка для функції напружень обчислюється за формулою:

$$\Delta\phi = \frac{1}{n} \sum_i \frac{|\phi_i - \Phi_i|}{\phi_i} \cdot 100\%, \quad (35)$$

де ϕ_i – точне значення, отримане за допомогою формули (30);

Φ_i – наближене значення ($i = 1; 2; 6; 7; 9; 10; 11; 12; 14; 15$).

Відносна помилка при розрахунку крутного моменту обчислювалася за аналогічною формулою:

$$\Delta M = \frac{|M - M_p|}{M} \cdot 100\%, \quad (36)$$

де M – точне значення, отримане за допомогою формули (31);

M_p – наближене значення.

Помилки для функції напружень і крутного моменту, які отримані МСЕ з використанням альтернативних функцій при різних значеннях параметра p приведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Залежність відносної похибки чисельного розв'язку від параметра p

Значення параметру p	Значення M	Відносна похибка, ΔM , %	Відносна похибка, $\Delta \phi$, %
-0,50	193,928	1,166	3,950
-0,375	194,417	0,916	3,449
-0,25	195,113	0,562	2,559
-0,20	195,448	0,391	1,989
-0,125	195,881	0,170	0,704
-0,105	195,917	0,152	0,461
-0,10	195,914	0,153	0,439
Стандартний -1/12=-0,08(3)	195,855	0,183	0,409
-0,075	195,789	0,217	0,586
-0,05	195,362	0,435	1,371
-0,025	194,377	0,937	2,168
0	192,423	1,933	2,722
0,025	189,091	3,631	2,433
0,04	186,540	4,931	1,521
0,05	184,819	5,808	0,568
1/18=0,0(5)	183,924	6,264	0,110
0,065	182,591	6,943	1,219
0,075	181,519	7,490	2,485
0,10	180,415	8,052	5,177
0,125	180,785	7,864	6,808
0,25	184,974	5,729	8,062
0,375	187,210	4,589	7,571
0,50	188,393	3,986	7,180

На рис. 32 показана залежність відносної помилки при розрахунку крутного моменту M і функції напружень ϕ від параметра p . За графіком функції напружень (круглі точки на рис. 32)

видно, що при зміні параметра $p \in -0,5; 0,5$ мінімум досягається двічі: при $p = -1/12$, що відповідає стандартному базису ССЕ-8, і при $p = 1/18$ (цьому базису відповідає матриця жорсткості з мінімальним слідом). Розв’язок, отриманий при $p = 1/18$, в чотири рази точніше.

Для відносної похибки при обчисленні крутного моменту (крива, показана хрестиками на рис. 32) при зміні параметра $p \in -0,5; 0,5$ мінімум досягається один раз: при $p = -21/200 = -0,105$. Стандартний базис дає рішення такого ж порядку точності.

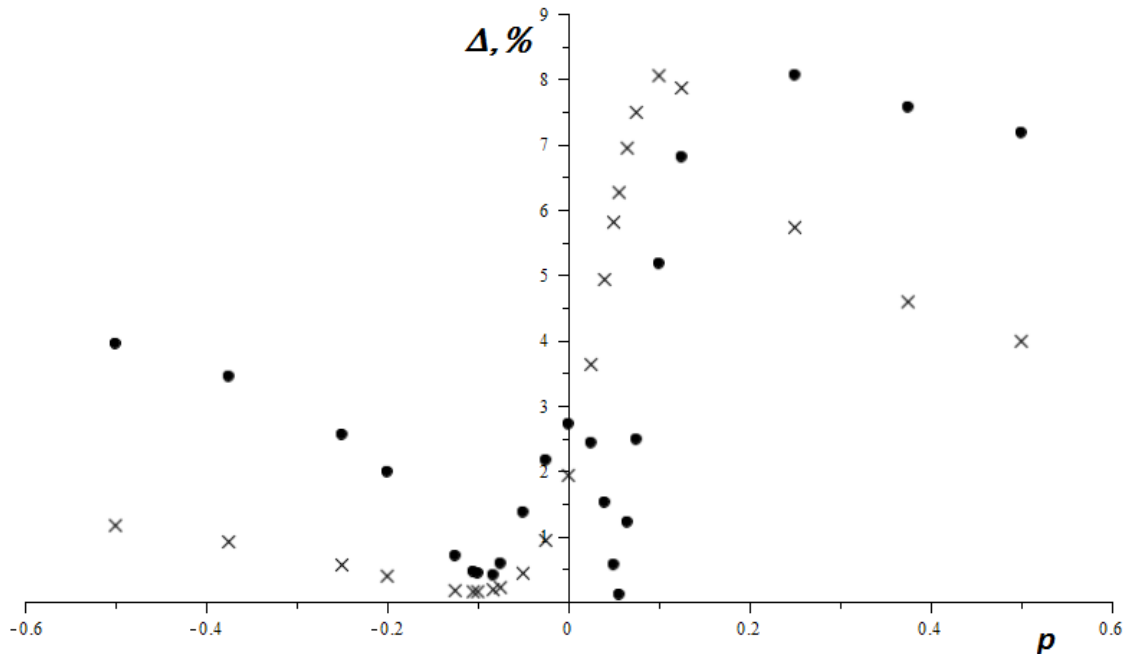


Рис. 32. Залежності похибки обчислень функції напружень і крутного моменту від параметра p

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі виконано теоретичне узагальнення і нове вирішення важливої науково-прикладної проблеми розробки теоретичних основ, інструментального базису та методології синтезу динамічних систем підготовки прийняття рішень з управління службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня, яка функціонує в інформаційно-складних ситуаціях.

Основні наукові і практичні результати полягають у наступному.

1. Проведений аналіз проблеми керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня показав, необхідність розробки нових підходів до побудови моделей і методів формування управлінських рішень за рахунок надання інформації про оперативну обстановку в зоні виникнення надзвичайної ситуації.

2. Вперше запропонована концепція створення і застосування інформаційних технологій для удосконалення процесу підготовки прийняття рішень щодо керування оперативними підрозділами

та спеціальними службами за рахунок проведення цілодобового моніторингу стану навколишнього середовища в зоні можливого виникнення, або в зоні виникнення надзвичайної ситуації та прилеглих районах.

3. Вперше застосовано моделі скінченно-елементної апроксимації для проведення розрахунків концентрації небезпечних речовин в атмосфері, що дало змогу в реальному часі отримувати зону покриття, та приймати рішення щодо подальшої ліквідації надзвичайних ситуацій.

4. Вперше побудовано нові багатопараметричні моделі скінченних елементів вищих порядків на площині з керуючим параметром, які дозволяють покращити інтерполяційні якості та обчислювальні властивості моделей.

5. Вперше запропонована об'єктно-орієнтована методологія розробки спеціалізованої інформаційно-аналітичної системи дослідження нових альтернативних скінченно-елементних моделей (моделювання предметної області, способів моніторингу та ліквідації наслідків надзвичайної ситуації), яка використовує принцип відкритості системи.

6. Вперше розроблена інформаційна технологія моделювання скінченно-елементних моделей концентрації небезпечних речовин, яка дозволяє проводити дослідження на відповідність основним властивостям та виявляти якісні показники нових альтернативних базисів.

7. Вперше розроблена інформаційна технологія експрес-діагностування концентрації небезпечних речовин в атмосфері та візуалізації в реальному часі на карті місцевості зони покриття, яка використовується для подальшого прийняття рішення керівниками екстрених аварійно рятувальних та спеціальних служб.

8. Отримала подальший розвиток інформаційна технологія візуалізації методу геометричного моделювання базисних функцій, яка дозволяє розміщувати на екрані, як саму функцію, так і компоненти її побудови.

9. Отримав подальший розвиток метод Уачспреса побудови базисних функцій ("products of planes"), в "добутку" поверхонь беруть участь не тільки площини, а також і поверхні другого порядку, що дозволяє не тільки отримувати нові, альтернативні базисні функції, але й візуалізувати процес формоутворення базисних функцій.

10. Отримав подальший розвиток метод скінчених елементів для вирішення прикладних задач атмосферної дисперсії.

11. Удосконалено інформаційну технологію побудови геоінформаційної системи моніторингу оперативної обстановки в реальному часі. Суть удосконалення полягає в створенні бази моделей розрахунку концентрації небезпечних речовин в атмосфері та бази даних для стаціонарних та рухомих об'єктів сил та засобів.

12. Удосконалено метод побудови альтернативних моделей для серендипових елементів вищих порядків, який об'єднує переваги геометричного моделювання та алгебраїчного аналізу фун-

кцій, а також процедури візуалізації серендипових поверхонь, що обслуговують широкий спектр моделей різноманітних класів задач.

У сукупності отримані результати є теоретичною та методологічною основою вирішення важливої наукової проблеми – підвищення ефективності автоматизованого керування службою надзвичайних ситуацій за допомогою нових математичних моделей та методів, що реалізуються в якості інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в надзвичайних ситуаціях.

Практичне значення результатів дослідження підтверджується їх апробацією та впровадженням в реальних системах підтримки прийняття рішень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Гучек П.Й. Моделі, методи та засоби побудови інформаційної технології керування службою надзвичайних ситуацій: Монографія / П.Й. Гучек. – Херсон: ПП Руденко О.І., 2015. – 314 с.

Статті у наукових фахових виданнях

2. Гучек П.Й. Вероятностно-геометрическая интерпретация рекуррентных соотношений Кокса-де Бура для В-сплайнов / П.Й.Гучек, А.Н. Хомченко, Б.А. Хомченко //Труды Таврич. госуд. агротехн. акад. Прикладная геометрия и инж. графика. – Вып. 4., Том 9. – Мелитополь: ТГАТА, 1999. – С.3-6.

Здобувачем запропоновано поставку завдання, визначено спосіб візуалізації отриманих результатів.

3. Хомченко А.Н. Геометричні моделі та алгоритми комп'ютерної діагностики фізичних полів / А.Н. Хомченко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко // Сб. тр. Таврической гос. агротехн. акад. – Мелитополь:ТГАТА, 1999. – Вып. 4 – Т.6. – С. 36-39.

Здобувачем запропоновані алгоритми та програмна реалізація візуалізації фізичних полів.

4. Гучек П.Й. Полиномиальная интерполяция на гексагоне и гармоничность по Привалову /П.Й. Гучек, А.Н. Хомченко, С.В. Моисеенко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2005. – Вип. 13. – С.68-72.

Здобувачем сформульовано ідею та проведені чисельні розрахунки за допомогою запропонованих інструментальних засобів.

5. Астионенко И.А. Моделирование физических полей с распределенными параметрами в многоугольных областях / И.А. Астионенко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомчен-

ко//Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: ХНТУ, 2006. – № 1 (17). – С. 5-11.

Здобувачем запропоновано метод візуалізації та структурна схема системи моделювання фізичних полів.

6. Гучек П.И. Модели и алгоритмы диагностики альтернативных базисов / П.И. Гучек // Вестник Херсонского национального технического университета. Выпуск 1 (24). – Херсон: ХНТУ, 2006. – С. 38-43.

7. Астионенко И.А. Интерполяционные базисы на дискретном элементе в форме правильного пятиугольника / И.А. Астионенко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко, Ю.И. Николаенко, А.Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. Выпуск 2 (25). – Херсон: ХНТУ, 2006. – С. 23-28.

Здобувачем запропоновано алгоритми та розробку програмного забезпечення для чисельних розрахунків.

8. Гучек П.И. Моделирование и визуализация физических полей /П.И. Гучек// Вестник Херсонского национального технического университета. Выпуск 1 (27). – Херсон: ХНТУ, 2007. – С. 63-68.

9. Астионенко И.А. Базисы серендиповых конечных элементов с естественным спектром / И.А. Астионенко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2008.– №2 (31). – С. 24–30.

Здобувачем запропоновано інформаційна технологія візуалізації та виконання основних властивостей характерних скінченим елементам.

10. Гучек П.И. Визуализация функций формы конечных элементов /П.И. Гучек // Вестник Херсонского национального технического университета. Выпуск 2 (38). – Херсон: ХНТУ, 2010. – С. 54-59.

11. Астионенко И.А. Многопараметрические серендиповы элементы в 2 D / И.А. Астионенко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2010.–№3(39) – С.40–47.

Здобувачем запропоновано підсистему моделювання та візуалізації для дослідження альтернативних моделей.

12. Гучек П. Й. Інформаційна технологія підтримки процедури візуалізації серендипових поверхонь / П. Й. Гучек, О. І., Литвиненко, А. Н. Хомченко // Проблеми інформаційних технологій. – 2011. – №2. – С. 104-109.

Здобувачем запропоновано інформаційна технологія процедури візуалізації серендипових поверхонь.

13. Гучек П. Й. Геометричне конструювання базису дискретного елемента з 8 вузлами у поля-

рній системі координат / П. Й. Гучек, А. Н. Хомченко, О. І. Литвиненко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2011. – Вып. 2 (41). – С. 300-303.

Здобувачем запропоновано інформаційна технологія процедури візуалізації функцій форми скінчених елементів в полярній системі координат.

14. Гучек П. Й. Інтерактивна процедура візуалізації функцій форми на серендипових елементах / П. Й. Гучек, О. І. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2012. – Вып. 1 (44). – С. 274-280.

Здобувачем розроблена інтерактивна процедура візуалізації функцій форми на серендипових елементах.

15. Гучек П. Й. Комп'ютерна візуалізація ліній нульового рівня серендипових поверхонь / П. Й. Гучек // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2012. – Вып. 2 (45). – С. 116-121.

16. Гучек П. Й. Алгоритми візуалізації температурних полів у просторі / П. Й. Гучек // Проблеми інформаційних технологій . – 2012. – №1. – С. 96-102.

17. Гучек П.Й. Система управління базою моделей скінчених елементів / П.Й. Гучек, О.І. Литвиненко // Проблеми інформаційних технологій . – 2012. – №2. – С. 54-58.

Здобувачем сформульовано постановку завдання та розроблено систему управління базою моделей.

18. Астионенко И.А. Применение альтернативных серендиповых моделей при решении задачи о кручении призматических стержней / И. А. Астионенко, П. Й. Гучек, Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2013. – Вып. 1 (46). – С. 356-361.

Здобувачем розроблені інформаційні технології дослідження альтернативних моделей при вирішенні практичних задач.

19. Хомченко А.Н. Тестування альтернативних серендипових елементів за допомогою модельних задач / А.Н. Хомченко, О.І. Литвиненко, П.Й. Гучек, І.О. Астіоненко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2013. – Вип.4.– Т. 57. – С. 217-224.

Здобувачем запропоновано алгоритми та розробку програмного забезпечення для чисельних розрахунків.

20. Гучек П. И. Автоматизация решения задачи о кручении стержней с применением альтернативных серендиповых моделей / П. И. Гучек // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2013. – Вып. 2 (47). – С. 115-120.

21. Астионенко И. А. Автоматизированная подсистема исследования моделей конечных элементов /И. А. Астионенко, П. Й. Гучек, Е.И. Литвиненко // Проблеми інформаційних технологій . – 2014. – №1. – С. 222-228.

Здобувачем розроблено постановку завдання та структурну схему системи дослідження скінченно-елементних моделей.

22. Гучек П. И. О физической адекватности процедуры конденсации на элементе Q_{16} / П. И. Гучек, В. В. Крючковский, А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2014. – Вып. 3 (50). – С. 269-272.

Здобувачем запропоновано інформаційна технологія та розробка програмного забезпечення для чисельних розрахунків.

23. Гучек П.Й. Скінченно-елементна модель для оцінки та прогнозування хімічної обстановки внаслідок надзвичайних ситуацій / П.Й. Гучек // Комунальне господарство міст. – 2015. – № 1. – С. 6-9.

24. Гучек П.Й. Інформаційні технології та організаційні моделі обробки викликів «Системи - 112» / П. Й. Гучек // Проблеми інформаційних технологій . – 2015. – №1. – С. 160-165.

25. Крючковский В.В. Влияние реологических свойств материала на собственные колебания элементов конструкций / В.В. Крючковский, А.Н. Хомченко, П. И. Гучек, Т.П. Ляхович // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2015. – Вып. 3 (54). – С. 390-396.

Здобувачем запропоновано алгоритми та розробку програмного забезпечення для чисельних розрахунків.

26. Астіоненко І.О. Використання барицентричних координат при моделюванні серендипової поверхні / І.О. Астіоненко, П.Й. Гучек, О.І. Литвиненко, Г.Я. Тулученко// Сучасні проблеми моделювання: збірник наукових праць Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Б. Хмельницького. – Мелітополь:МДПУ, 2015.–Вип. 4. – С.3-8.

Здобувачем запропоновано методи та моделі для візуалізації серендипових поверхонь.

27. Гучек П.Й. Модель експрес-діагностики концентрації небезпечних хімічних речовин внаслідок надзвичайної ситуації / П. Й. Гучек // Проблеми інформаційних технологій . – 2015. – №2. – С. 68-73.

Публікації, що додатково висвітлюють зміст дисертаційної роботи

28. Гучек П.Й. Геометрия блужданий по контрольным объемам в полярных координатах / П.Й.Гучек, А.Н. Хомченко, Б.А. Хомченко // Сучасні проблеми геометричного моделювання. Частина 2 : 3б. наук. пр. – Харків:ХІПБ МВС України, 1998. – С. 2-13

Здобувачем запропоновано інформаційна технологія чисельних розрахунків та візуалізації.

29. Бергер Э.Г. Геометрическая модель обобщенного метода образования кривых /Э.Г.Бергер, Е.И.Литвиненко, П.И.Гучек// Сб.науч.тр. "Матем. модел. в образов., науке и промышл." – С.-Пб.:Санкт-Петерб. отд. ВШ, 2000. –С.31-34.

Здобувачем сформульовано принципи реалізації моделі та візуалізації отриманих результатів узагальненого метода.

30. Гучек П.Й. Дослідження обчислювальних властивостей альтернативних серендипових елементів за допомогою модельних задач / П.Й. Гучек, І.О. Астіоненко, О.І. Литвиненко, А.Н.Хомченко // Крайові задачі для диференціальних рівнянь: Зб. наук. пр. – Чернівці:Прут, 2012. – Вип. 21 (37). – С. 146-153.

Здобувачем розроблено комплекс дослідження та його програмну реалізацію.

Публікації апробаційного характеру

31. Астионенко И.А. Исследование линейной независимости систем базисных функций полигонального элемента / И.А. Астионенко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомченко // Интеллектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій: Матеріали науково-практичної конференції 15-18 травня 2006 р. Євпаторія. – Херсон: Видавництво Херсонського морського інституту, 2006. – Т.4.–С. 84-87.

Здобувачем запропонована інформаційна технологія дослідження базисних функцій та розробка програмного забезпечення для чисельних розрахунків.

32. Астионенко И.А. Геометрия интерполяционных полиномов на многоугольнике/ И.А. Астионенко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко// Информационные технологии в экономике, менеджменте и бизнесе. Проблемы науки, практики и образования: Материалы XII межд. науч.-практ. конф. Киев: Изд-во Европейского ун-та, 2006. - С. 15-16.

Здобувачем запропонована інформаційна технологія дослідження інтерполяційних властивостей.

33. Гучек П.И. Компьютерное моделирование и визуализация функций формы конечных элементов /П.И. Гучек// Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Сочи, 3-9 мая 2012 г. – Сочи: СГУ, 2012. – С.26-27.

34. Гучек П.Й. Моделювання та візуалізація температурних полів / П.Й. Гучек // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 12-13 грудня 2014 р. – Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2014. – С.235-237.

35. Гучек П.Й. Автоматизація процесу прийняття рішень оперативними підрозділами в надзвичайних ситуаціях / П.Й. Гучек // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Współczesna nauka.Nowy wygląd„, (30.01.2015 - 31.01.2015) Wrocław - Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2015. – С.19-21.

36. Гучек П.Й. Аналіз автоматизованих систем керування силами та засобами в надзвичайних ситуаціях / П.Й. Гучек // Zbior raportow naukowych. „Inżynieria i technologia. Projekty naukowe, (27.02.2015 - 28.02.2015) Sopot. – Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2015. – С. 13-20.

37. Гучек П.Й. Аналіз математичних моделей для оцінки та прогнозування хімічної обстановки внаслідок надзвичайних ситуацій / П.Й.Гучек // Надзвичайні ситуації: безпека та захист НСБЗ-2015: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, м. Черкаси, 09-10 жовтня 2015 р. – Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015. – С.503-506.

38. Сокол К. Геометричний метод побудови модифікованих базисів скінчених елементів / К.Сокол., І.А. Астіоненко, П.Й. Гучек// Сучасні науково-методичні проблеми математики у вищій школі: матеріали міжнародної науково-методичної конференції, м. Київ НУХТ, 25-26 червня 2015 р. – К:НУХТ, 2015.– С.199-201.

Здобувачем запропоновано методи та алгоритми розробки програмного забезпечення для чисельних розрахунків.

39. Гучек П.Й. Автоматизація моніторингу та прогнозування розповсюдження небезпечних хімічних речовин внаслідок надзвичайних ситуацій / П.Й. Гучек // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ – Ворохта – Вінниця, 27-29 травня 2015 р. – Івано-Франківськ: ПНУ, 2015. – С.25-27.

АНОТАЦІЯ

Гучек П.Й. Моделі, методи та інформаційні технології керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Херсонський національний технічний університет, Херсон, 2016.

Дисертаційна робота присвячена створенню науково-теоретичного базису керування службою надзвичайних ситуацій за допомогою нових математичних моделей та методів, що реалізуються в якості інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в надзвичайних ситуаціях. Запропонована концепція створення і застосування інформаційних технологій для удосконалення процесу підготовки прийняття рішень щодо керування оперативними підрозділами та спеціальними службами. Застосовано моделі скінченно-елементної апроксимації для проведення розрахунків концентрації небезпечних речовин в атмосфері, що дало змогу в реальному часі отримувати зону покриття, та приймати рішення щодо подальшої ліквідації надзвичайних ситуацій. Розроблена інформаційна технологія експрес-діагностування концентрації небезпечних речовин в атмосфері та візуалізації в реальному часі на карті місцевості зони покриття, яка використовується для подальшого прийняття рішення керівниками екстрених аварійно рятувальних та спеціальних служб.

Наукові положення, висновки, пропозиції і рекомендації є науково теоретичним базисом керування службою надзвичайних ситуацій за допомогою нових математичних моделей та методів, що реалізуються в якості інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, метод скінченних елементів, функції форми, концентрація небезпечних речовин, інформаційні технології, системи підтримки прийняття рішень, моніторинг, геоінформаційна система.

АННОТАЦИЯ

Гучек П.И. Модели, методы и информационные технологии управления службой чрезвычайных ситуаций регионального уровня. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Херсонский национальный технический университет, Херсон, 2016.

Диссертационная работа посвящена созданию научно-теоретического базиса управления службой чрезвычайных ситуаций с помощью новых математических моделей и методов, реализуемых в качестве информационных технологий поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях.

Предложенная концепция создания и применения информационных технологий для совершенствования процесса подготовки принятия решений по управлению оперативными подразделениями и специальными службами за счет проведения круглосуточного мониторинга состояния окружающей среды в зоне возможного возникновения или в зоне возникновения чрезвычайной ситуации и прилегающих районах.

Применены модели конечно-элементной аппроксимации для проведения расчетов концентрации опасных веществ в атмосфере, что позволило в реальном времени получать зону покрытия, и принимать решение о дальнейшей ликвидации чрезвычайных ситуаций. Построены многопараметрические модели конечных элементов высших порядков на плоскости с управляющим параметром, которые позволяют улучшить интерполяционные качества и вычислительные свойства моделей.

Предложенная объектно-ориентированная методология разработки специализированной информационно-аналитической системы исследования конечно-элементных моделей (моделирование предметной области, способов мониторинга и ликвидации последствий чрезвычайной ситуации), которая использует принцип открытости системы. Благодаря открытой технологии и модульному принципу наращивания подсистема исследования легко развивается и для пространст-

венных конечных элементов. Это дает возможность более детально исследовать целый спектр различных пространственных моделей.

Разработана информационная технология моделирования конечно-элементных моделей концентрации опасных веществ, которая позволяет проводить исследования на соответствие основным свойствам и выявлять качественные показатели новых альтернативных базисов.

Разработана информационная технология экспресс-диагностики концентрации опасных веществ в атмосфере и визуализации в реальном времени на карте местности зоны покрытия, которая используется для дальнейшего принятия решения руководителями экстренных аварийно-спасательных и специальных служб.

Получила развитие информационная технология визуализации метода геометрического моделирования базисных функций, которая позволяет размещать на экране, как функцию, так и компоненты ее построения.

Получил дальнейшее развитие метод Уачспресса построения базисных функций ("products of planes"), в "произведения" поверхностей участвуют не только плоскости, а также и поверхности второго порядка, позволяет не только получать новые, альтернативные базовые функции, но и визуализировать процесс формообразования базисных функций.

Получил дальнейшее развитие метод конечных элементов для решения прикладных задач атмосферной дисперсии. Значения в узловых точках концентрации опасного вещества могут быть получены непосредственно с помощью датчиков. Датчики располагаются как на стационарных постах сбора информации так и оперативных передвижных лабораториях, оборудованных соответствующими каналами передачи данных на сервер автоматизированной системы мониторинга.

Усовершенствована информационная технология построения геоинформационной системы мониторинга оперативной обстановки в реальном времени.

Усовершенствован метод построения альтернативных моделей для серендиповых элементов высших порядков, который объединяет преимущества геометрического моделирования и алгебраического анализа функций, а также процедуры визуализации серендиповых поверхностей обслуживают широкий спектр моделей различных классов задач.

Приведены примеры практического использования информационных технологий на конечно-элементных аппроксимация в чрезвычайных ситуациях.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, метод конечных элементов, функции формы, концентрация опасных веществ, информационные технологии, системы поддержки принятия решений, мониторинг, геоинформационная система.

ABSTRACT

Guchek P.I. Models, methods and information technology service management of emergency situations regional level. – Manuscript.

Dissertation for the Doctor of Science degree in specialty 05.13.06 – information technology. – Kherson National Technical University, Kherson, 2016.

This thesis is devoted to the development of scientific and theoretical basis of management service of emergency situations using new mathematical models and methods, implemented as an information technology decision support in emergencies.

Proposed concept of creation and application of information technology to improve the process of preparing decisions on the management of operational units and special services. Applied finite-element model approximation for calculating the concentration of hazardous substances in the atmosphere, which helped to get real-time coverage, and to decide on further elimination of emergency situations. The information technology express diagnosis concentrations of hazardous substances in the atmosphere and real-time visualization map coverage areas used for future decision-making managers emergency rescue and special services.

Scientific position, conclusions, suggestions and recommendations are scientifically theoretical basis of management service of emergency situations using new mathematical models and methods, implemented as an information technology support decision-making in emergency situations.

Keywords: emergency situation, finite element method, function form, concentration of hazardous substances, information technologies, decision support system, monitoring, geoinformation system.

Відповідальний за випуск Новіков О.О.

Підписано до друку 17.03.2016 р.

Формат 60х90/16. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк: різнографія.

Замовлення № 174.

Наклад 100 прим.

Надруковано у видавництві
Херсонського національного технічного університету

73008, Україна, м. Херсон, Бериславське шосе, 24,
редакційно-видавничий відділ,
тел. 0552-32-69-93