

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ГУЧЕК ПЕТРО ЙОСИПОВИЧ

УДК 004.9:519.6

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

05.13.06 – інформаційні технології

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Науковий консультант
заслужений діяч науки і техніки України,
д.т.н., професор Ходаков В.Є.

Херсон – 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ КЕРУВАННЯ СЛУЖБОЮ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	17
1.1. Визначення та класифікація надзвичайних ситуацій	17
1.2. Основні завдання та склад сил цивільного захисту	22
1.3. Призначення та основні завдання "Системи -112"	28
1.3.1. Організаційні моделі обробки викликів "Системи 112"	28
1.3.2. Уніфікована модель екстрених повідомлень "Системи 112"	31
1.3.3. Основні засади функціонування "Системи 112"	33
1.3.4. Функціональна структура "Системи 112"	37
1.4. Аналітичні моделі процесу функціонування екстрених аварійно рятувальних служб	39
1.5. Аналіз методів моделювання надзвичайних ситуацій	46
1.6. Аналіз методів прогнозування та прийняття рішень в надзвичайних природних ситуаціях	54
1.7. Аналіз сучасного стану систем комп'ютерного моніторингу надзвичайних ситуацій	64
1.8. Системи підготовки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій	69
1.8.1. Комп'ютерна імітаційна система CIS-KOSMAS	72
1.8.2. Європейська система ядерного реагування РОДОС	77
1.8.3. Комплекс оперативного аналізу дозиметричної обстановки (КАДО)	82
1.8.4. Програмно-технічний комплекс RECASS NT	84
1.8.5. Система ARGOS	86
1.8.6. Система NARAC	88
Висновки по розділу 1 та постановка проблеми і завдань дослідження	90

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ	93
2.1. Прогностичні і діагностичні метеорологічні моделі	93
2.1.1. Основні методи розрахунку прогностичних моделей	93
2.1.2. Основні принципи розрахунку діагностичних моделей	98
2.2. Моделі атмосферної дисперсії	101
2.2.1. Ейлерові моделі	102
2.2.2. Лагранжові та лагранжово-ейлерові моделі	103
2.3. Відновлення гармонічної функції	110
2.4. Детерміновані методи відновлення гармонічної функції	112
2.4.1. Метод скінченних різниць	112
2.4.2. Метод скінченних елементів	118
2.5. Розвиток інтерполяційних ідей в МСЕ	127
Висновки по розділу 2	130
РОЗДІЛ 3. СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНІ МОДЕЛІ КОНЦЕНТРАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ	131
3.1. Серендипові скінченні елементи	132
3.2. Моделі біквадратичного серендипового скінченного елемента	144
3.3. Моделі бікубічного серендипового скінченного елемента	149
3.4. Розвинення алгебро-геометричного методу для побудови модифікованих базисів на площині	153
3.5. Моделі серендипового скінченного елемента четвертого порядку	157
Висновки по розділу 3	166
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИХ МОДЕЛЕЙ	168
4.1. Постановка задачі та вибір інструментальних програмних засобів	168
4.2. Основні структурні компоненти розробленої підсистеми	170
4.3. Процедура візуалізації серендипових поверхонь	172

4.4. Процедура візуалізації ліній нульового рівня	180
4.5. Процедура візуалізації фізичних полів застосовуючи просторові скінченні елементи серендипової сім'ї	185
Висновки по розділу 4	193
РОЗДІЛ 5. ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ КЕРУВАННЯ ОПЕРАТИВНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ	194
5.1. Використання геоінформаційних технологій для вирішення задач при надзвичайні ситуаціях	194
5.2. Основні можливості космічних навігаційних систем	195
5.2.1. Система глобального позиціонування GPS	196
5.2.2. Система глобального позиціонування ГЛОНАСС	198
5.2.3. Система глобального позиціонування Galileo	200
5.3. Структура автоматизованої геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень керування оперативними підрозділами	202
5.4. Розробка підсистеми моніторингу ГІС ППР	207
5.5. Розробка моделі зберігання та представлення даних підсистеми моніторингу ГІС ППР	217
Висновки по розділу 5	224
РОЗДІЛ 6. ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИХ АПРОКСИМАЦІЙ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	226
6.1. Застосування альтернативних серендипових моделей при вирішенні задачі кручення стержнів	226
6.2. Дослідження точності моделювання температурних полів	236
6.3. Моделювання поширення концентрації небезпечних речовин	239
Висновки по розділу 6	241
ВИСНОВКИ	243
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	245

Додаток А. Акти впровадження результатів досліджень	274
Додаток Б. Розташування ХНО на території м.Херсона	282
Додаток В. Екрані форми основних модулів розрахунку НХР	284
Додаток Г. Основні модулі системи скінчено-елементних моделей	288

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БЖД	– безпека життєдіяльності
ДСНС	– Державна служба України з надзвичайних ситуацій
ЗМХЗ	– зона можливого хімічного забруднення
ІС	– інформаційна система
НС	– надзвичайна ситуація
НХР	– небезпечні хімічні речовини
ПЗХЗ	– прогнозована зона хімічного забруднення
ПНО	– потенційно-небезпечний об'єкт
СППР	– система підтримки прийняття рішень
ЦПК	– центральний пункт контролю
АСКРО	– автоматизована система контролю радіаційної обстановки
АЕС	– атомна електростанція
ОПР	– особа, що приймає рішення
ССЕ	– серендипові скінченні елементи
МАП	– модуль атмосферного перенесення
МПП	– метеорологічний препроцесор
СЕ	– скінчений елемент
ГІС	– геоінформаційна система
ЦЗ	– цивільний захист
БД	– база даних
НПС	– навколишнє природне середовище
ДСМД	– державна система моніторингу довкілля
БЗ	– база знань
СУБМ	– система управління базою моделей
МСЕ	– метод скінченних елементів
МСР	– метод скінченних різниць
СЛАР	– система лінійних алгебраїчних рівнянь

ВСТУП

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 нейромережевих 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. Клюса, 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 площині 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: [89,233,82,80,81,52] – постановка задачі та розробка інформаційної моделі візуалізації; [94,30,234,78,131,90,5,176] – розробка алгоритмів та програмного забезпечення для чисельних розрахунків; [19,32,13,91] – розробка системи дослідження скінчених елементів; [11,46,35] – розробка інформаційної технології дослідження інтерполяційних властивостей; [95] – 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» (Сьваторія, 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.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ КЕРУВАННЯ СЛУЖБОЮ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

1.1. Визначення та класифікація надзвичайних ситуацій

Людина, її життя, здоров'я і безпека визнаються в Україні найвищою соціальною цінністю. Життя людини є невід'ємним від природи, сама людина є її вінцем, вищим біологічним видом і суспільною істотою. Географічне середовище є природною основою її життя. Впродовж усієї історії людство піддавалося впливу стихійних сил, намагалось підкорити їх та пізнати закони природи. На сучасному етапі свого розвитку людство володіє широкими знаннями в галузях географії, фізики, хімії, біології, та інших, активно використовує їх у суспільному виробництві. В той же час воно, як і раніше, залишається залежним від стихійних проявів сил природи. Процеси, що не піддаються контролю з боку людини та пов'язані з життєвим циклом нашої планети, впливом на неї зовнішніх факторів, можуть викликати надзвичайні ситуації природного характеру[4-6].

Крім стихійних сил природного походження, небезпека для людства може критися і у створених людиною об'єктах та процесах: підприємствах різних галузей економіки та технологічних процесах, об'єктах інфраструктури, оборонних об'єктах, житловому секторі, необережному поводженні людей та інших. Атомна енергетика, використання електричної та теплової енергії, обіг небезпечних речовин тощо обумовлюють потенційну небезпеку виникнення надзвичайних ситуацій, які прийнято називати техногенними[4-6].

Надзвичайні ситуації можуть також виникати внаслідок дій воєнного характеру, терористичних актів та процесів соціально-політичного характеру.

Надзвичайні ситуації, які можуть виникати на території України (рис. 1.1) і оказувати негативний вплив на функціонування об'єктів економіки і життєдіяльність населення у мирний і воєнний час, діляться за наступними

основними признаками[3]: у сфері виникнення; за галузевою ознакою; за масштабами можливих наслідків.



Рис.1.1 Класифікація надзвичайних ситуацій на території України

Засоби масової інформації майже щодня повідомляють про надзвичайні ситуації, що відбуваються у світі: лісові пожежі, повені, цунамі, землетруси, обвали, зсуви, селеві потоки, виверження вулканів, урагани, смерчі, снігові й пилові бурі та інші стихійні лиха, аварії і катастрофи на підприємствах і транспорті, що супроводжуються загибеллю людей, руйнуванням населених пунктів і об'єктів господарювання, у тому числі й у сільському господарстві, а часто забрудненням і зараженням довкілля.

За характером виникнення надзвичайні ситуації поділяються на: техногенні, природні, соціально-політичні і воєнні.

Щорічно в нашій країні виникають надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру, що призводить до загибелі багатьох людей і значних матеріальних збитків.

Надзвичайна ситуація - обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності[3].

Надзвичайні ситуації техногенного характеру за характеристиками явищ, що визначають особливості дії факторів ураження на людей, навколишнє природне середовище та суб'єкти господарської діяльності, поділяються на аварії (катастрофи), які супроводжуються викидами (виливами) небезпечних речовин, пожежами, вибухами, затопленнями, аваріями на інженерних мережах і системах життєзабезпечення, руйнуванням будівель і споруд, аваріями транспортних засобів та інші (рис. 1.2)[3-7].



Рис. 1.2. Класифікація техногенних надзвичайних ситуацій

Аварії (катастрофи), що пов'язані з викидом небезпечних речовин, додатково поділяються на радіаційні, хімічні, біологічні і, крім цього, поділяються ще за видами розповсюдження речовин в навколишньому природному середовищі.

Природні надзвичайні ситуації класифікують за видами можливих природних явищ, що приводять до їх виникнення (рис. 1.3): небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні морські та прісноводні явища, деградація ґрунтів чи надр, природні пожежі, зміна стану повітряного басейну, інфекційна захворюваність людей, сільськогосподарських тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами і збудниками, зміна стану водних ресурсів і біосфери тощо[3-7].



Рис. 1.3. Класифікація природних надзвичайних ситуацій

Кожний клас стихійних лих класифікується за характеристиками явища, які визначають особливості дії факторів ураження на людей, навколишнє природне середовище та суб'єкти господарської діяльності.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру, які пов'язані з протиправними діями терористичного і антиконституційного спрямування (рис.1.4), діляться на наступні НС: здійснення або реальна загроза терористичного акту, викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден, захоплення заручників, встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях, викрадення або захоплення зброї, виявлення застарілих боєприпасів тощо[3-7].

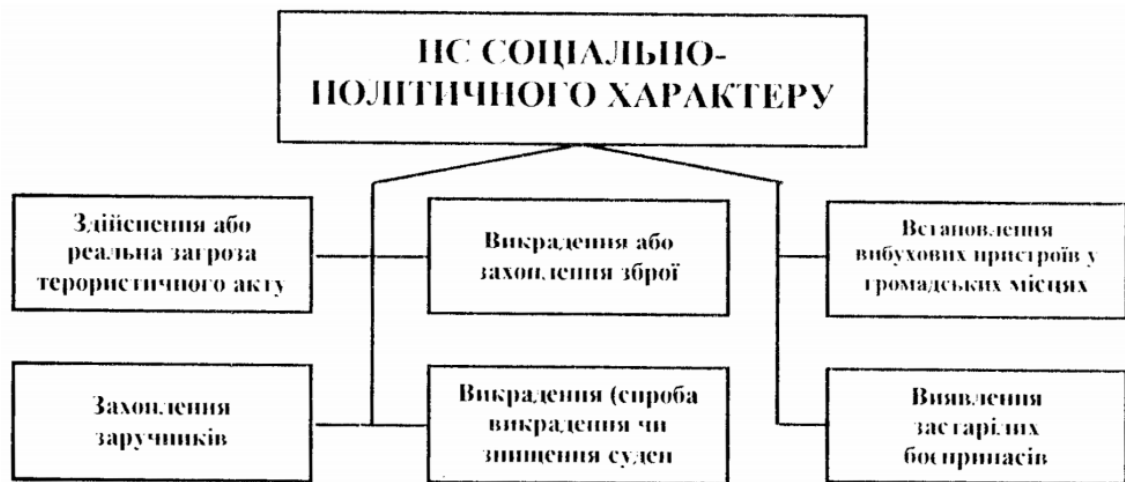


Рис. 1.4. Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру

Надзвичайні ситуації воєнного характеру, які пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення, внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, транспортних та інженерних комунікацій тощо (рис. 1.5) [59].

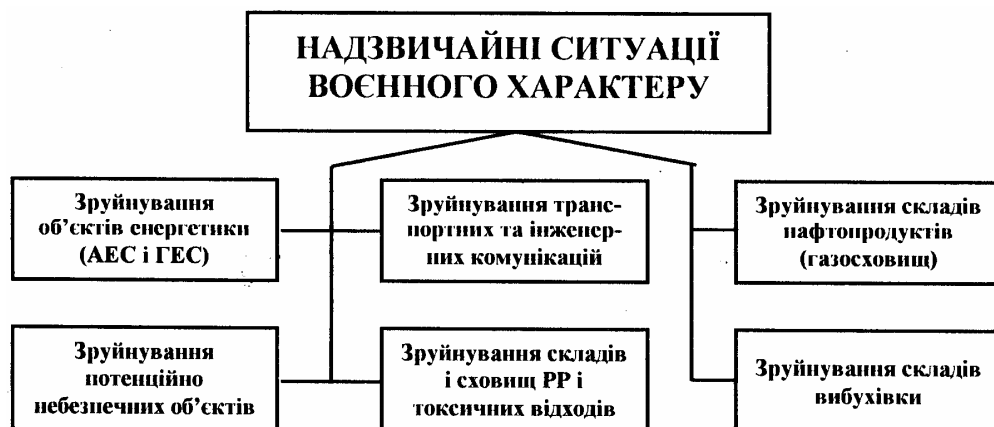


Рис. 1.5. Надзвичайні ситуації воєнного характеру

За масштабом можливих наслідків надзвичайні ситуації поділяються з урахуванням територіального поширення, характеру сил і засобів, що залучаються для ліквідації наслідків на[125]:

загальнодержавного рівня - надзвичайна ситуація розвивається на території двох та більше областей або загрожує транскордонним перенесенням, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси у обсягах, що перевищують власні можливості окремої області, але не менше одного відсотка обсягу видатків відповідного бюджету;

регіонального рівня - надзвичайна ситуація розгортається на території двох та більше адміністративних районів (міст обласного підпорядкування), областей, або загрожує перенесенням на територію суміжної області держави, а також коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси у обсягах, що перевищують власні можливості окремого району, але не менше одного відсотка обсягу видатків відповідного бюджету;

місцевого рівня - надзвичайна ситуація, яка виходить за межі потенційно небезпечного об'єкту, загрожує поширенням самої ситуації або її вторинних наслідків на довкілля, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси, що перевищують власні можливості потенційно небезпечного об'єкту, але не менш одного відсотку обсягів видатків відповідного бюджету. До місцевого рівня також належать всі надзвичайні ситуації, які виникають на об'єктах житлово-комунальної сфери та інших, що не входять до затверджених переліків потенційно небезпечних об'єктів;

об'єктового рівня - це надзвичайна ситуація, яка розгортається на території об'єкта або на самому об'єкті й наслідки якої не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони.

1.2. Основні завдання та склад сил цивільного захисту

Цивільний захист є функцією держави, яка спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від

надзвичайних ситуацій шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період[125].

Забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту здійснюється єдиною державною системою цивільного захисту, яка складається з функціональних і територіальних підсистем та їх ланок.

Керівництво єдиною державною системою цивільного захисту здійснює Кабінет Міністрів України. Безпосереднє керівництво діяльністю єдиної державної системи цивільного захисту здійснює Державна служба з надзвичайних ситуацій(ДСНС).

Залежно від масштабу і особливостей надзвичайної ситуації, що прогнозується або виникла, в Україні або в межах конкретної її території встановлюється один із таких режимів функціонування єдиної державної системи цивільного захисту[111,125]:

- повсякденного функціонування;
- підвищеної готовності;
- надзвичайної ситуації;
- надзвичайного стану.

В умовах нормальної виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, сейсмічної, гідрогеологічної, гідрометеорологічної, техногенної та пожежної обстановки та за відсутності епідемій, епізоотій, епіфітотій єдина державна система цивільного захисту функціонує в режимі повсякденного функціонування.

Підставами для тимчасового введення в Україні або в межах конкретної її території для єдиної державної системи цивільного захисту режиму підвищеної готовності є:

- на державному рівні - загроза виникнення надзвичайної ситуації державного рівня;
- на регіональному рівні - загроза виникнення надзвичайної ситуації регіонального рівня;

- на місцевому рівні - загроза виникнення надзвичайної ситуації місцевого рівня.

Підставами для тимчасового введення в Україні або в межах конкретної її території для єдиної державної системи цивільного захисту режиму надзвичайної ситуації є:

- на державному рівні - виникнення надзвичайної ситуації, що класифікується як ситуація державного рівня;
- на регіональному рівні - виникнення надзвичайної ситуації, що класифікується як ситуація регіонального рівня;
- на місцевому рівні - виникнення надзвичайної ситуації, що класифікується як ситуація місцевого рівня.

У період дії надзвичайного стану в разі його введення єдина державна система цивільного захисту функціонує відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України[125] та з урахуванням особливостей, що визначаються згідно із Законом України “Про правовий режим надзвичайного стану” та іншими нормативно-правовими актами.

Основними завданнями, що виконуються єдиною державною системою цивільного захисту, є[125]:

1) у режимі повсякденного функціонування:

- забезпечення спостереження, гідрометеорологічного прогнозування та здійснення контролю за станом навколишнього природного середовища та небезпечних процесів, що можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об’єктах, об’єктах підвищеної небезпеки і прилеглих до них територіях, а також на територіях, на яких існує загроза виникнення геологічних та гідрогеологічних явищ і процесів;
- забезпечення здійснення планування заходів цивільного захисту;
- здійснення цілодобового чергування пожежно-рятувальних підрозділів;
- розроблення і виконання цільових та науково-технічних програм запобігання виникненню надзвичайних ситуацій і зменшення можливих втрат;

- здійснення планових заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, забезпечення безпеки та захисту населення і територій від таких ситуацій, а також заходів щодо підготовки до дій за призначенням органів управління та сил цивільного захисту;

- забезпечення готовності органів управління та сил цивільного захисту до дій за призначенням;

- організація підготовки фахівців цивільного захисту, підготовка керівного складу та фахівців, діяльність яких пов'язана з організацією і здійсненням заходів щодо цивільного захисту, навчання населення діям у разі виникнення надзвичайних ситуацій;

- створення і поновлення матеріальних резервів для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, ліквідації їх наслідків;

- організація та проведення моніторингу надзвичайних ситуацій, визначення ризиків їх виникнення;

- підтримання у готовності автоматизованих систем централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій;

2) у режимі підвищеної готовності:

- здійснення оповіщення органів управління та сил цивільного захисту, а також населення про загрозу виникнення надзвичайної ситуації та інформування його про дії у можливій зоні надзвичайної ситуації;

- формування оперативних груп для виявлення причин погіршення обстановки та підготовки пропозицій щодо її нормалізації;

- посилення спостереження та контролю за гідрометеорологічною обстановкою, ситуацією на потенційно небезпечних об'єктах, території об'єкта підвищеної безпеки та/або за його межами, території, на якій існує загроза виникнення геологічних та гідрогеологічних явищ і процесів, а також здійснення постійного прогнозування можливості виникнення надзвичайних ситуацій та їх масштабів;

- уточнення (у разі потреби) планів реагування на надзвичайні ситуації, здійснення заходів щодо запобігання їх виникненню;

- уточнення та здійснення заходів щодо захисту населення і територій від можливих надзвичайних ситуацій;

- приведення у готовність наявних сил і засобів цивільного захисту, залучення у разі потреби додаткових сил і засобів;

3) у режимі надзвичайної ситуації:

- здійснення оповіщення органів управління та сил цивільного захисту, а також населення про виникнення надзвичайної ситуації та інформування його про дії в умовах такої ситуації;

- призначення керівника робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації та утворення у разі потреби спеціальної комісії з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;

- визначення зони надзвичайної ситуації;

- здійснення постійного прогнозування зони можливого поширення надзвичайної ситуації та масштабів можливих наслідків;

- організація робіт з локалізації і ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, залучення для цього необхідних сил і засобів;

- організація та здійснення заходів щодо життєзабезпечення постраждалого населення;

- організація та здійснення (у разі потреби) евакуаційних заходів;

- організація і здійснення радіаційного, хімічного, біологічного, інженерного та медичного захисту населення і територій від наслідків надзвичайної ситуації;

- здійснення безперервного контролю за розвитком надзвичайної ситуації та обстановкою на аварійних об'єктах і прилеглих до них територіях;

- інформування органів управління цивільного захисту та населення про розвиток надзвичайної ситуації та заходи, що здійснюються;

4) у режимі надзвичайного стану - виконання завдань відповідно до Закону України “Про правовий режим надзвичайного стану”.

Для управління єдиною державною системою цивільного захисту використовується телекомунікаційна мережа загального користування, телекомунікаційна мережа спеціального призначення та державна система урядового зв’язку.

До складу сил цивільного захисту єдиної державної системи цивільного захисту входять[111,125]:

- оперативно-рятувальна служба цивільного захисту;
- аварійно-рятувальні служби;
- формування цивільного захисту;
- спеціалізовані служби цивільного захисту;
- пожежно-рятувальні підрозділи (частини);
- добровільні формування цивільного захисту.

Оперативно-рятувальна служба цивільного захисту функціонує в системі ДСНС.

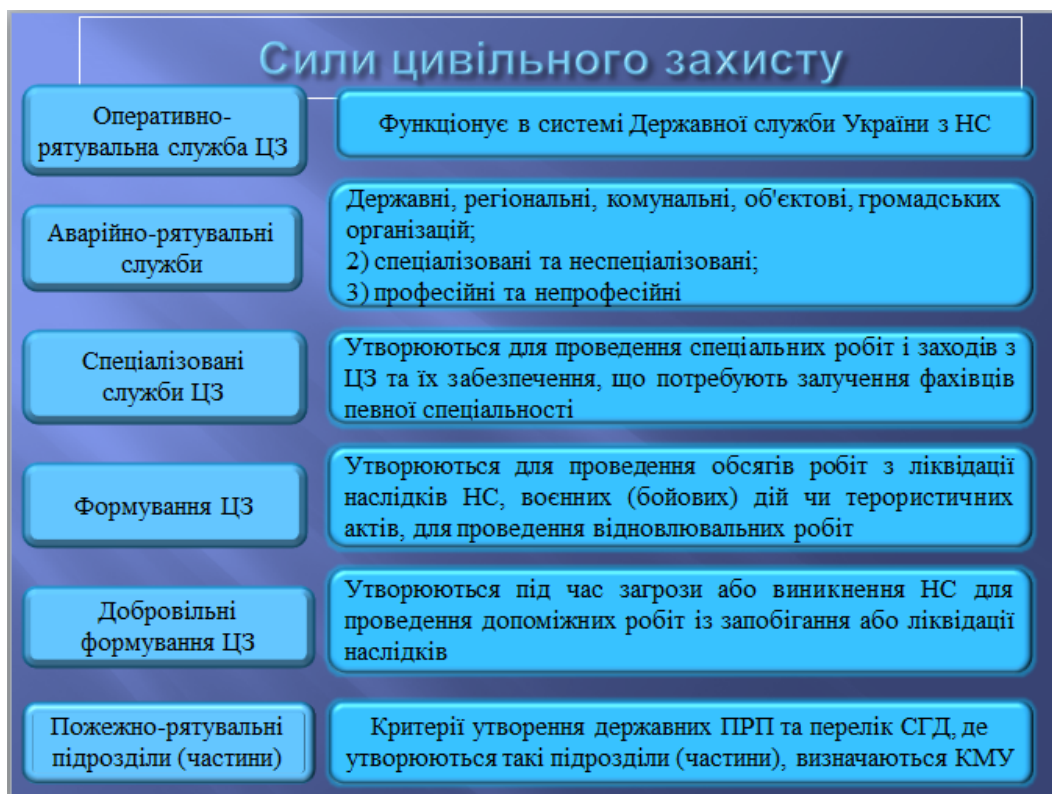


Рис.1.6. Сили цивільного захисту

1.3. Призначення та основні завдання "Системи -112"

1.3.1. Організаційні моделі обробки викликів "Системи 112"

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.

В нашій країні існує значна кількість телефонних номерів, які використовуються населенням, щоб привернути екстрену допомогу у випадку пожежі, надзвичайної ситуації та невідкладних заходів із запобігання їх виникненню, охорони громадського порядку, медичної допомоги, аварійної ситуацій на газовій мережі, та в інших екстрених випадках, що загрожують здоров'ю і життю людей, їх майну або навколишньому природному середовищу. Такий стан справ не завжди дає змогу людині в екстрених ситуаціях швидко розшукати потрібну аварійну службу чи послугу. Звертаючись до однієї з таких служб, у разі загрози або настання екстреної ситуації, найчастіше люди не усвідомлюють необхідності залучення інших для швидкого й ефективного надання допомоги, або вони можуть перебільшувати серйозність ситуації, тому в результаті "хибних викликів" залучають аварійні

служби, участь яких не потрібна [104]. Крім того, система нумерації цих служб періодично змінюється.

На цей час в Україні діє система допомоги населенню, що створена в середині минулого сторіччя та побудована на значній кількості відокремлених відомчих служб екстреної допомоги населенню (протипожежної та рятувальної справи ДСНС – «101», громадської безпеки та охорони правопорядку МВС – «102», швидкої медичної допомоги – «103», служби газу — «104», та інших аварійних служб - водопровідних, каналізаційних, теплових мереж, електромереж тощо), диспетчерські служби яких мають різні телефонні номери виклику, отримують інформацію та реагують тільки на ті НС, що відносяться до їхньої компетенції[104].

Аналіз існуючої в Україні системи надання державних послуг у сфері екстреної допомоги населенню свідчить, що вона морально застаріла, не повною мірою відповідає сучасним вимогам, а також стандартам країн Європейського Союзу.

Зважаючи на це, Урядом України в 2005 році прийняте рішення щодо створення Служби 112 – оновленої системи невідкладної допомоги населенню за європейськими стандартами з метою комплексного вирішення проблеми цивільного захисту в інтересах кожного громадянина України [104].

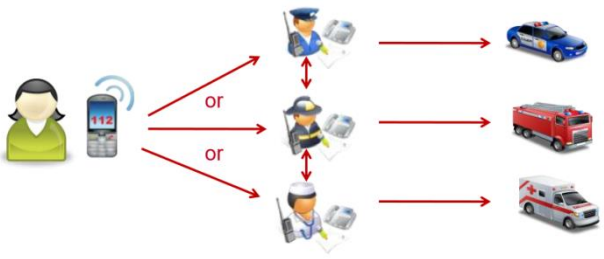
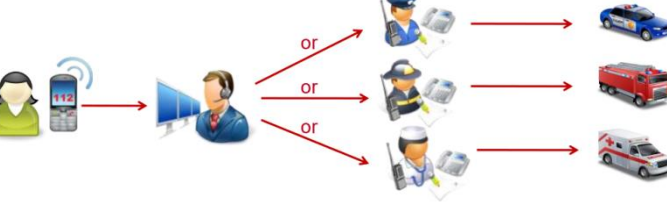
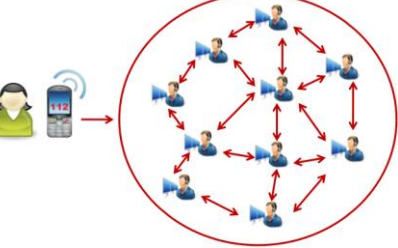
Слід зазначити, що введення системи виклику всіх служб екстреної допомоги саме за єдиним номером «112» є обов’язковою умовою вступу країни в Європейський Союз відповідно до рекомендації СЕРТ (Conference of European Post and Telecommunications – Європейська конференція адміністрацій пошти і зв’язку), членом якої є Україна з 1995 року [109].

Європейський досвід доводить, що Система 112 у більшості випадків розгортається на базі структур, уповноважених у сфері цивільного захисту та рятувальної справи, незалежно від того, на яке відомство в країні покладені ці завдання та кому підпорядковані такі структури [109-111].

При проектуванні Системи 112 у країнах Європейського союзу використовувалися наступні організаційні моделі обробки викликів табл.1[92]:

Таблиця 1.1

Організаційні моделі обробки викликів

№ моделі	Тип організаційної моделі	Країни застосування
1		Австрія, Франція, Німеччина, Італія, Норвегія
2		Великобританія, Ірландія, Нідерланди
3		Румунія
4		У деяких регіонах Іспанії, Бельгії та Туреччини
5		Фінляндія, Швеція
6		Болгарія, Чеська Республіка, Швеція

1. «Модель-1» – виклики з номера 112 переадресовуються безпосередньо до однієї з екстрених служб, якщо необхідно втручання іншої екстреної служби

то виклик перенаправляється до служби відповідної компетенції з НС, або додатково залучається для сумісних дій.

2. «Модель-2» – складається з двох етапів, на першому оператор приймає виклик 112 та переадресує до відповідної служби, а на другому вже відповідна служба безпосередньо збирає та обробляє відповідні дані про НС.

3. «Модель-3» – також має два етапи, але відмінність у тому, що оператор не тільки приймає виклик, а й обробляє дані та класифікує НС і паралельно направляє у екстрені служби.

4. «Модель-4» – складається також з двох етапів, але на відміну від попередньої моделі оператор який обробляє виклики 112 та диспетчери оперативних чергових служб знаходяться в одному приміщенні і при необхідності можуть підключитися безпосередньо до обробки виклику.

5. «Модель-5» – складається з одного етапу і оператор який приймає виклик безпосередньо обробляє дані НС, класифікує та керує відповідними підрозділами екстрених служб.

6. «Модель-6» – розглядається як варіант внутрішнього обміну між регіонами управління та прийому виклику оператором іншого регіону на випадок недоступності, або зайнятості оператора регіону де сталася НС.

«Модель-5» найбільш ефективна система управління екстреними службами. Фактично при цьому всі екстрені служби об'єднані в одну службу порятунку. Проте, ця система має найбільшу вартість (потребує будівництва окремих центрів управління, створення надпотужних програмно-апаратних комплексів диспетчерського управління всіма екстреними службами), її створення передбачає ліквідацію відомих оперативно-диспетчерських служб і, як наслідок, повну переробку законодавчо-нормативної бази діяльності цих служб. На впровадження такої системи потрібен значний час.

1.3.2. Уніфікована модель екстрених повідомлень Системи 112

В Україні відповідно до Закону України “Про систему екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112” та постанови

Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 р. № 1031 було створено уніфіковану модель механізму прийому та обробки інформації екстрених повідомлень за єдиним телефонним номером «112»(Рис.1.7).

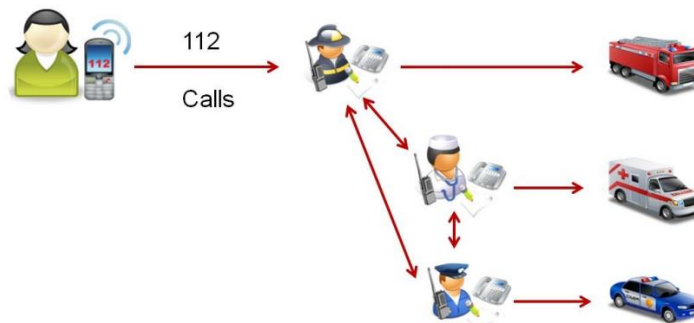


Рис.1.7. Уніфікована модель екстрених повідомлень Системи 112

Система 112 створюється не як заміна існуючих оперативно диспетчерських служб, а як підрозділ, утворений у складі територіального органу ДСНС та координує дії відповідних екстрених служб, що між іншим дозволить у повному обсязі використовувати вже створені відомчі системи моніторингу і спостереження, оперативно-диспетчерського управління, оповіщення та інформування населення. Система 112 ні в якому разі не втручається у спеціальну діяльність екстрених служб. При цьому Система 112 забезпечує більш раціональне використання ресурсів, організовуючи їхню ефективну взаємодію при спільних діях щодо ліквідації наслідків НС в інтересах окремого громадянина.

Створення Системи 112 повинне завершитися введенням в експлуатацію усіх її складових елементів (технологічного, навчального та 25 територіальних центрів), модернізацією обладнання диспетчерських центрів екстрених служб і комунальних (муніципальних) служб допомоги населенню до рівня, що забезпечує належну взаємодію із територіальними центрами 112, а також практичною перевіркою здатності Системи 112 у повному обсязі виконувати свої завдання в кожному регіоні України.

1.3.3. Основні засади функціонування системи 112

Система 112 забезпечує організацію надання екстреної допомоги населенню у разі загрози виникнення, або під час виникнення екстрених ситуацій. Екстрена ситуація - ситуація, що загрожує здоров'ю, життю, майну або навколишньому природному середовищу, громадському порядку, та інші небезпечні події[1].

Система 112 включає утворенні у складі територіальних органів спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань цивільного захисту центри екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112 (ЦЕДН-112), оперативно-диспетчерські служби, підрозділи екстреної допомоги населенню, які з використанням телекомунікаційних мереж, програмних, технічних та інших засобів надають екстрену допомогу населенню.

Під ЦЕДН-112 слід розуміти підрозділ, утворений у складі територіального органу Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) України, який за допомогою програмно-апаратного комплексу та телекомунікаційних мереж забезпечує приймання та оброблення екстрених викликів, передачу інформації про них відповідним оперативно-диспетчерським (диспетчерським) службам аварійно-рятувальних та аварійних служб, правоохоронних органів, центрів екстреної медичної допомоги та медицини катастроф, інших закладів охорони здоров'я системи екстреної медичної допомоги, які доводять її до відповідних підрозділів екстреної допомоги населенню для надання такої допомоги.

Основними принципами функціонування системи 112 є оперативне та цілодобове реагування на екстрені виклики та комплексний підхід до надання екстреної допомоги населенню.

Основними завданнями системи 112 є[125]:

- 1) приймання та оброблення екстрених викликів;
- 2) збір інформації про екстрені ситуації;

3) забезпечення організації надання екстреної допомоги населенню у разі загрози виникнення або виникнення екстреної ситуації;

4) передача інформації про екстрені ситуації відповідним оперативно-диспетчерським службам, які доводять її до відповідних підрозділів екстреної допомоги населенню для надання такої допомоги;

5) забезпечення інформаційної взаємодії служб екстреного виклику з метою організації надання екстреної допомоги населенню;

6) отримання від оперативно-диспетчерських служб інформації про реагування на екстрену ситуацію;

7) отримання від операторів телекомунікацій інформації про номер телефону, з якого здійснюється екстрений виклик, а також місцезнаходження абонента мережі рухомого (мобільного) зв'язку або адресу встановлення телефону (таксофону) фіксованого зв'язку;

8) забезпечення аудіозапису екстрених викликів, ведення реєстру екстрених викликів, видача інформації про них на запит відповідно до Закону України “Про систему екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112”;

9) захист інформації, що обробляється у системі 112.

Взаємодія центрів 112 з оперативно-диспетчерськими службами та підрозділами екстреної допомоги населенню здійснюється згідно з Регламентом проходження інформації у системі 112(додаток 1)[109]. Цей Регламент визначає механізм проходження інформації у системі екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112.

У разі надходження екстреного виклику безпосередньо до оперативно-диспетчерської служби диспетчер приймає, реєструє та обробляє інформацію про екстрену ситуацію, доводить її до відповідних підрозділів екстреної допомоги населенню для надання такої допомоги та надсилає інформацію до ЦЕДН-112.

Оператори телекомунікацій зобов'язані забезпечити маршрутизацію екстрених викликів до ЦЕДН-112.

Оператори ЦЕДН-112:

- приймають та обробляють екстрені виклики за допомогою програмно-апаратного комплексу;
- збирають під час оброблення екстреного виклику інформацію про екстрену ситуацію;
- класифікують екстрену ситуацію;
- заповнюють електронну картку екстреної ситуації (далі - електронна картка).

В електронній картці зазначається така інформація:

- 1) дата та час прийняття екстреного виклику, номер згідно з реєстром екстрених викликів;
- 2) найменування центру 112, посада, прізвище та ініціали оператора, який приймає та обробляє екстрений виклик;
- 3) відомості про екстрений виклик:
 - номер телефону, з якого здійснено екстрений виклик;
 - адреса або місцезнаходження особи, що здійснює екстрений виклик;
 - класифікація екстреної ситуації;
 - короткий опис екстреної ситуації;
 - дані про попередні звернення із зазначеного телефону або від зазначеної особи;
- 4) найменування оперативно-диспетчерських служб, яким передається інформація про екстрену ситуацію;
- 5) підтвердження оперативно-диспетчерських служб про прийняття інформації про екстрену ситуацію від центру 112 та забезпечення реагування на неї:
 - найменування оперативно-диспетчерської служби, посада, прізвище та ініціали диспетчера, який прийняв інформацію про екстрену ситуацію та здійснює її оброблення; дата та час прийняття зазначеної інформації;

- найменування підрозділу екстреної допомоги населенню, який забезпечує реагування на екстрену ситуацію; дата та час прийняття інформації про неї від оперативно-диспетчерської служби та номер її реєстрації у підрозділі;
- час прибуття на місце екстреної ситуації відповідних нарядів (бригад, загонів, частин) у разі негайного реагування на екстрену ситуацію або дані про інший варіант реагування (не підтвердження інформації про екстрену ситуацію, реагування на екстрену ситуацію не належить до повноважень відповідних підрозділів екстреної допомоги населенню, консультація тощо);
- результати надання екстреної допомоги.

До електронної картки автоматично вноситься аудіозапис екстреного виклику, електронна карта з позначенням місця екстреної ситуації, а також інформація, що міститься в базах даних операторів телекомунікацій, зокрема:

- для фіксованого зв'язку - абонентський номер, з якого здійснюється екстрений виклик, прізвище, ім'я та по батькові фізичної особи або найменування юридичної особи, адреса пункту встановлення телефону (таксофону);
- для рухомого (мобільного) зв'язку - абонентський номер, з якого здійснюється екстрений виклик, місцезнаходження особи, що здійснює екстрений виклик.

Після заповнення електронної картки оператор центру 112 передає її відповідним оперативно-диспетчерським службам. У разі пошкодження основних та резервних каналів передачі інформації повідомлення про екстрену ситуацію передається телефоном або шляхом використання наскрізного радіоканалу ультракороткохвильового діапазону.

Оперативно-диспетчерські служби не мають права відмовитися від прийняття інформації про екстрену ситуацію, а центри 112 - від прийняття екстреного виклику.

Диспетчер оперативно-диспетчерської служби приймає, реєструє та обробляє інформацію про екстрену ситуацію, а також доводить її до відповідних підрозділів екстреної допомоги населенню для надання такої допомоги.

У разі надходження інформації про екстрену ситуацію, яка не відноситься до екстреної ситуації або ліквідація якої не належить до повноважень підрозділів екстреної допомоги населенню, диспетчер оперативно-диспетчерської служби робить відповідну відмітку в електронній картці або інформує про це оператора центру 112.

Оперативно-диспетчерські служби зобов'язані передати інформацію про реагування на екстрену ситуацію до центру 112.

У разі потреби оператор центру 112 під час оброблення екстреного виклику може безпосередньо з'єднати особу, що здійснює екстрений виклик, з диспетчером оперативно-диспетчерської служби для уточнення інформації про екстрену ситуацію.

Електронна картка відповідно[109] архівується та зберігається протягом трьох років у базі даних системи 112.

1.3.4. Функціональна структура Системи 112

Типова функціональна структура системи 112 складається з наступних підсистем(рис.1.8):

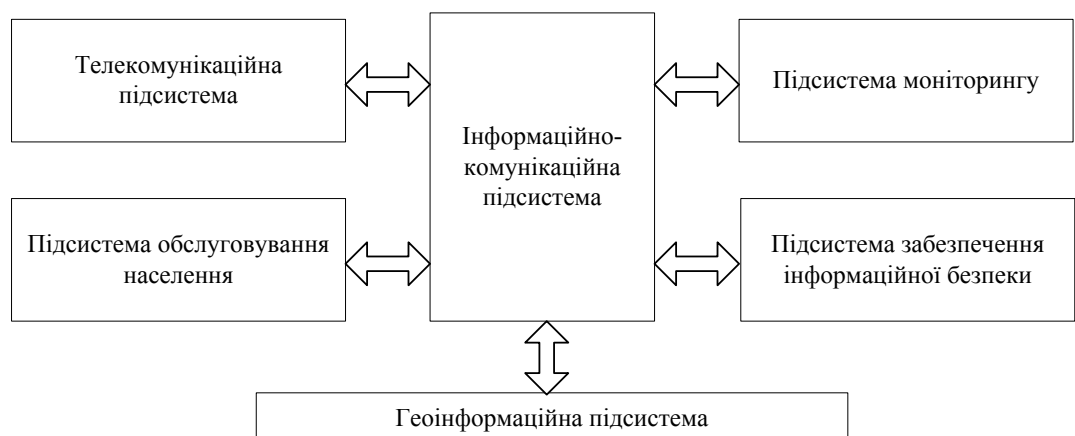


Рис.1.8. Схема функціональної структури “Системи 112”

- *телекомунікаційної підсистеми*, яка забезпечує приймання та оброблення екстрених викликів, від користувачів фіксованого та мобільного зв'язку у вигляді голосових, SMS, MMS повідомлень, а також забезпечує взаємодію між оперативно диспетчерськими службами підрозділів екстреної допомоги населенню;
- *інформаційно-комунікаційної підсистеми*, що забезпечує зберігання і актуалізацію баз даних, обробку інформації про отримані виклики а також інформаційно-аналітичну підтримку прийняття рішень по екстреному реагуванню на прийнятті виклики та планування заходів реагування;
- *підсистеми консультативного обслуговування населення*, яка призначена для надання інформаційно-довідкової допомоги особам з питань безпеки життєдіяльності, в тому числі через мережу Інтернет, соціальні мережі, форуми та інше.
- *геоінформаційної підсистеми*, яка призначена для відображення на основі електронних карт природно-географічних, соціально-демографічних, економічних та інших характеристик територій, місцезнаходження особи, яка звернулася за номером «112», і (або) абонентського пристрою, з якого здійснено виклик (повідомлення про подію), місце події, а також місцезнаходження транспортних засобів підрозділів екстреної допомоги, залучених до реагування на подію;
- *підсистеми моніторингу*, яка призначена для прийому та обробки інформації і сигналів, що надходять від датчиків, встановлених на контрольованих стаціонарних та рухомих об'єктах, у тому числі від автомобільних терміналів системи екстреного реагування при аваріях та терміналів GPS/ГЛОНАСС, встановлених на транспортних засобах чергових підрозділів, залучених до реагування на подію і транспортних засобах, що перевозять небезпечні вантажі;
- *підсистеми забезпечення інформаційної безпеки*, призначеної для захисту інформації та засобів її обробки в системі-112.

У процесі ліквідації НС перед підрозділами ДСНС України виникає потреба виявлення джерела загрози та рівня його небезпеки, встановлення причини появи НС, потенційних шляхів її поширення та тривалості. Важливе значення при цьому має визначення сил і засобів для ліквідації НС у короткі терміни та з достатньою ефективністю.

Ефективним шляхом вирішення завдань є автоматизація та координація всіх етапів процесу ліквідації НС:

- комплексної оцінки й класифікації об'єкта захисту за рівнем небезпеки;
- аналізу і вибору ресурсів ДСНС;
- системного аналізу функціонування підрозділів ДСНС;
- дослідження і вибору шляхів вирішення завдань, що виникають;
- проектування автоматизованих систем управління оперативними підрозділами ДСНС при ліквідації НС;
- розроблення та впровадження інформаційних та телекомунікаційних систем керування.

1.4. Аналітичні моделі процесу функціонування екстрених аварійно рятувальних служб

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) і ін.

Тому можна сказати, що всі екстрені аварійно рятувальні служби утворюють специфічний клас складних соціально-економічних систем, процес функціонування яких є однотипним складним просторово-тимчасовим випадковим процесом.

Потоки викликів оперативних підрозділів задовільно описуються законом Пуассона (стаціонарним і нестаціонарним), тобто в найпростішому випадку ймовірність $P_k(\tau)$ того, що за час τ надійде рівно k викликів підрозділів тієї чи іншої екстреної аварійно рятувальної служби дорівнює:

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} e^{-\lambda\tau} \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (1.1)$$

де λ - середнє число викликів в одиницю часу.

Потоки виїздів підрозділів можна описати емпіричним розподілом

$$P\{\chi = r\} = a_r \quad (r = 0, 1, 2, \dots), \quad (1.2)$$

де χ - випадкова величина, що означає кількість спеціальних автомобілів, які виїжджають за викликом даного типу, a_r - емпірична ймовірність того, що за викликом поїдуть r таких автомобілів.

Основні часові характеристики процесу функціонування екстрених аварійно рятувальних служб - час диспетчеризації, час проходження до місця виклику, час бойової роботи на місці виклику, час зайнятості підрозділів (від моменту виїзду з депо до моменту повернення і включення в бойовий розрахунок). Всі ці (та інші) часові характеристики є безперервними випадковими величинами і задовільно описуються законом Ерланга того чи іншого порядку. Наприклад, для часу зайнятості, маємо:

$$P\{\tau_{зан} < \tau\} = 1 - e^{-\mu\tau} \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(\mu\tau)^k}{k!}, \quad (1.3)$$

де $P\{\tau_{зан} < \tau\}$ - ймовірність того, що час зайнятості $\tau_{зан}$ менше якогось значення τ ; r - порядок закону Ерланга; $\mu = (r+1) / \tau_{ср.зан.}$ - параметр закону Ерланга; $\tau_{ср.зан.}$ - середнє значення часу зайнятості підрозділів.

Критичні стани в процесі функціонування будь-якої оперативної рятувальної служби створюються тоді, коли підрозділам одночасно доводиться обслуговувати відразу декілька викликів. Тому необхідно вміти прогнозувати подібні ситуації.

Імовірність P_m того, що в будь-який момент часу в місті підрозділи даної оперативно-рятувальної служби одночасно будуть обслуговувати m викликів обчислюється так:

$$P_m = (\lambda \tau_{\text{ср.зан.}})^m e^{-\lambda \tau_{\text{ср.зан.}}} / m! \quad (m=0,1,2,\dots), \quad (1.4)$$

де λ - середнє число викликів в одиницю часу, $\tau_{\text{ср.зан.}}$ - середня тривалість обслуговування одного виклику (передбачається, що потік викликів підпорядковується закону Пуассона з параметром λ).

Виходячи з цієї моделі, можна знайти сумарну тривалість T_m одночасного обслуговування m викликів за якийсь час T , частоту таких випадків і ряд інших характеристик досліджуваного процесу.

Найбільш важливою для обґрунтування числа спеціальних автомобілів певного типу тієї чи іншої оперативно-рятувальної служби є математична модель одночасної зайнятості цих автомобілів обслуговуванням, на які надійшли дзвінки. Суть процесу функціонування екстреної оперативної рятувальної служби міста може бути представлена графічними моделями на рис. 1.9 і на рис.1.10[59].

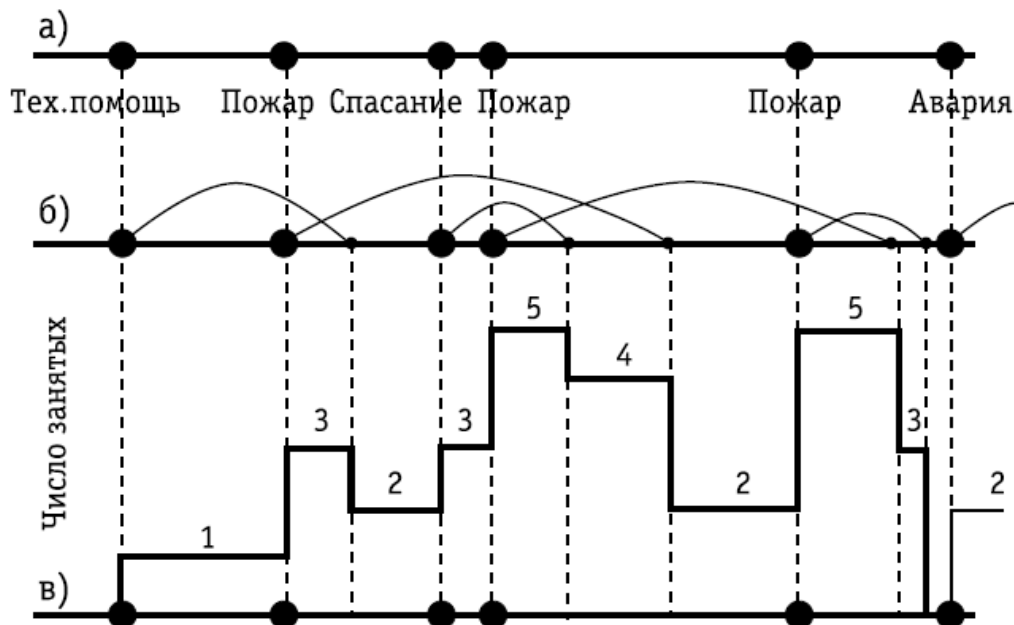


Рис.1.9. Графічні моделі потоку викликів (а), часу обслуговування викликів (б) і роботи підрозділів (в)

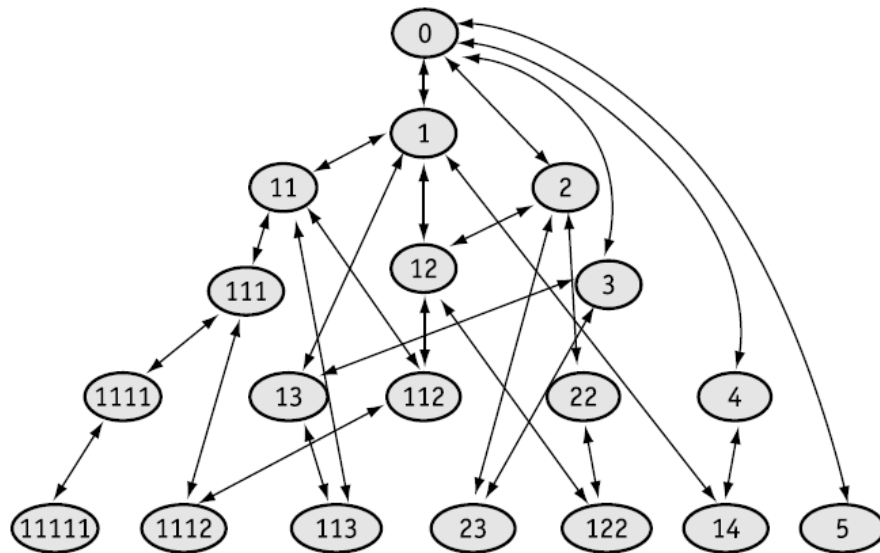


Рис.1.10. Стан оперативно-рятувальної служби для п'яти відділень

При цьому на рис. 1.10 зображений граф станів тільки для п'яти однотипних відділень деякої оперативної рятувальної служби (без вказівки інтенсивностей всіх можливих переходів)[59]. З цієї схеми видно наскільки складний процес функціонування екстрених оперативних рятувальних служб навіть для п'яти відділень, а в будь-якому великому місті їх десятки.

У припущенні, що виконані всі положення попередніх пунктів можна показати, що для цього процесу справедливі формули

$$P_0 = e^{-\lambda \tau_{\text{ср.знач}}}, \quad P_j = \frac{\lambda \tau_{\text{ср.зан}}}{j} \sum_{i=0}^{j-1} (j-i) a_{j-i} p_i \quad (j=1, 2, 3, \dots), \quad (1.5)$$

де P_j - ймовірність того, що в будь-який момент часу в місті одночасно зайняті j спеціальних автомобілів (оперативних відділень) даного типу.

Тоді для того щоб визначити ймовірність того, що в місті одночасно може бути використано більше N однотипних відділень даної оперативної рятувальної служби, потрібно використовувати формулу

$$P_{>N} = 1 - \sum_{j=0}^N p_j. \quad (1.6)$$

Зазначені підходи відкривають шлях до науково обгрунтованого нормування підрозділів будь якої оперативно-рятувальної служби в містах[59].

Використовуючи результати, викладені вище, можна орієнтовно визначити необхідну місту чисельність підрозділів конкретної екстреної

оперативної рятувальної служби. Далі необхідно визначити число пунктів дислокації цих підрозділів (підстанцій швидкої медичної допомоги, пожежних депо, постів поліції та ін.) Число пунктів дислокації повинно, перш за все, забезпечувати заданий час проходження підрозділів до місця виклику.

При цьому повинні враховуватися параметри міського середовища і параметри, що характеризують оперативну обстановку в місті з позицій даної оперативно-рятувальної служби, тобто реальні умови її функціонування в цьому місті.

До параметрів міського середовища відносяться: чисельність населення Q , тис.чол.; загальна площа території міста $S_{\text{заг.}}$, км²; площа забудованої частини міста $S_{\text{заб.}}$, км²; коефіцієнт непрямолінійної вуличної мережі K_n (безрозмірний), який змінюється від 1 до $\sqrt{2} \approx 1,4$; середня швидкість проходження автомобілів екстрених оперативних служб $V_{\text{ср.слід}}$, км/хв.

До параметрів, що характеризують оперативну обстановку в місті, відносяться: середнє число викликів підрозділів оперативної рятувальної служби в од. часу λ , виклик/год; середній час зайнятості підрозділів обслуговуванням одного виклику $\tau_{\text{ср.зан}}$, годину; середній час проходження першого підрозділу оперативної рятувальної служби до місця виклику $\tau_{\text{ср.сл.}}$ хв; ймовірність a_r виїзду за викликом r автомобілів даного типу.

В такому випадку, кожне місто для кожної його оперативної рятувальної служби може бути представлено у вигляді деякого багатовимірного вектора[59]:

$$G\{Q, S_{\text{заг.}}, S_{\text{заб.}}, K_n, V_{\text{ср.слід.}}, \lambda, \tau_{\text{ср.зан.}}, \tau_{\text{ср.сл.}}, a_1, a_2, a_3, \dots\}. \quad (1.7)$$

Авторами[59] показано, що для оцінки числа пунктів дислокації $N_{\text{ПД}}$ підрозділів екстреної оперативної рятувальної служби в місті можна використовувати формулу

$$N_{\text{ПД}} = \frac{\alpha K_n^2 S_{\text{заг.}}}{V_{\text{ср.сл.}}^2 \tau_{\text{ср.сл.}}^2} + \beta \lambda \tau_{\text{ср.зан.}}, \quad (1.8)$$

де α і β безрозмірні емпіричні коефіцієнти, що враховують специфіку конкретного міста. Їх значення зазвичай уточнюються за допомогою імітаційної моделі. Найчастіше значення α лежать в інтервалі від 0,3 до 0,5, а β - в інтервалі від 1 до 1,5.

Представлена сукупність аналітичних моделей дозволяє відповісти на багато питань, що цікавлять проектувальників організаційних структур екстрених оперативних служб, фахівців з проблем безпеки, керівників міста, але цих знань недостатньо для розробки якісних оргпроектів різних оперативних служб міста.

Перш за все, всі розглянуті моделі описують досліджувані процеси тільки в часі, але вони протікають не тільки в часі, але і в просторі, на великих територіях міст, міських систем і утворень. Без урахування просторових характеристик будь-який опис процесів функціонування ЕАРС виявляється істотно неповним. Спроба врахувати їх при обґрунтуванні числа пунктів дислокації підрозділів ЕАРС є корисною, але далеко недостатньою для досягнення мети - побудови раціональних оргструктур ЕАРС міст[59].

Спроби побудувати просторово-часові аналітичні моделі досліджуваних процесів привели до складних диференціальних рівнянь з частковими похідними, точні рішення яких отримати неможливо, а їх чисельні рішення непридатні для практичного використання. Таким чином, складність досліджуваних процесів така, що вони вже недоступні існуючій технології математичного моделювання (маються на увазі аналітичні моделі). Єдиний можливий спосіб їх подальшого дослідження - імітаційне моделювання досліджуваних процесів[59].

Процес функціонування підрозділів будь якої ЕАРС полягає в реагуванні її на виниклі в місті деструктивні події, тобто в обслуговуванні викликів, які надійшли на диспетчерський пункт. Цей складний процес носить випадковий характер і розвивається як в часі, так і в просторі. Тому одиничним елементом цього процесу, що підлягає імітування, є процес обслуговування одного виклику.

Цей елементарний процес підрозділяється на ряд подій і дій. У цьому процесі потрібно передбачити можливість направлення підрозділів ЕАРС до місця чергового виклику не тільки з пункту дислокації, а й безпосередньо з маршруту слідування до пункту дислокації після обслуговування виклику. Для імітації зазначеного «елементарного» процесу в імітаційній моделі використовується наступний алгоритм моделювання (рис. 1.11).



Рис.1.11. Схема алгоритму моделювання обслуговування одного виклику

Так моделюється обслуговування одного виклику за одним протягом досить тривалого проміжку (зазвичай один рік). Для великого міста, потрібно при одній реалізації даного випадкового процесу тривалістю в один рік промоделювати 60-80 тис. викликів. Залежно від цільової установки експерименту на це йде від декількох секунд до декількох хвилин роботи найсучасніших персональних комп'ютерів[59].

1.5. Аналіз методів моделювання надзвичайних ситуацій

Характерні особливості надзвичайних ситуацій (НС), такі як раптовість виникнення, швидкість розвитку, неповнота і невизначеність вихідної інформації, різноманітність і ланцюговий характер наслідків ускладнюють використання для їх вивчення традиційних емпіричних методів.

У зв'язку з цим, для аналізу і прогнозування надзвичайних ситуацій все ширше застосовується математичне моделювання, яке є в багатьох випадках єдино допустимим, як, наприклад, при експертизі особливо небезпечних природних чи техногенних явищ.

Заміна реальної НС її уявним віртуальним образом - математичною моделлю дає можливість безболісно, порівняно швидко і з мінімальними витратами досліджувати всі мислимі сценарії виникнення і розвитку НС, а також прогнозувати її наслідки.

Створення математичної моделі НС включає в себе кілька етапів. Початковим етапом є змістовний опис НС, який складається на основі всіх наявних про неї знань, результатів натурних обстежень подібних ситуацій, консультацій з експертами, вивчення довідкової та спеціальної літератури.

На другому етапі виконується формалізація змістовного опису моделі, математична постановка задачі із зазначенням всіх необхідних вихідних даних і шуканих величин.

На третьому етапі формалізована схема НС повинна бути перетворена в її математичну модель. Для цього всю наявну інформацію необхідно висловити за допомогою співвідношень, нерівностей, рівнянь, алгоритмів. Рівняння, що входять до моделі, доповнюються початковими і граничними умовами, а також нерівностями, що визначають область допустимих значень обчислюваних величин.

На четвертому етапі, досліджується сама модель. шляхом проведення різноманітних розрахунків вивчаються властивості моделі та її поведінку при різних умовах.

На наступному етапі модель застосовується до опису реальних НС. Шляхом зіставлення результатів обчислювальних експериментів з наявними дослідними даними виконується ідентифікація або уточнення параметрів моделі, її тестування, налагодження та перевірка адекватності.

Після того, як адекватність моделі, тобто її достатню відповідність реальності, встановлено, починається використання моделі для аналізу та прогнозування НС, що відбуваються в реальних умовах.

Схема побудови математичної моделі приведена на рис. 1.12[59]



Рис. 1.12. Схема побудови математичної моделі НС

Необхідною умовою отримання досить точної і надійної математичної моделі НС є перевірка її адекватності.

Припустимо, що математична модель вражаючого впливу у деякого фактору НС має вигляд:

$$y_x = \varphi(x, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p), \quad (1.9)$$

де x - інтенсивність цього фактору, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ - p параметрів моделі, які попередньо задаються або визначаються по дослідним даним методом найменших квадратів.

Перевірка адекватності математичної моделі здійснюється шляхом порівняння модельних (розрахункових) значень y_{xi} з емпіричними значеннями y_i , знайденими на m різних рівнях незалежної змінної x_i , де $i = 1, 2, \dots, m$.

Найпростішою попередньої мірою відповідності математичної моделі реальній ситуації є відносне середнє відхилення розрахункових даних від дослідних:

$$\Delta = \frac{S_e}{\bar{y}}, \quad (1.10)$$

де $\bar{y} = \left(\sum_{i=1}^m y_i \right) / m$ - середнє значення дослідних даних,

$$S_e = \sqrt{\frac{Q_e}{m-p}}, \quad Q_e = \sum_{i=1}^m (y_i - y_{xi})^2, \quad (1.11)$$

p - число параметрів моделі.

Задовільним можна вважати значення $\Delta \leq 0,1 \div 0,2$.

Найбільш повну оцінку адекватності математичної моделі можна отримати за допомогою критерію Вілкоксона-Манна-Уїтні. Для перевірки гіпотези про статистичну однорідність вибірок модельних y_{xi} і емпіричних значень досліджуваної характеристики НС з цих вибірок складається загальний варіаційний ряд і підраховується величина

$$S = \sum_{i=1}^m R_i, \quad (1.12)$$

де R_i - ранги, тобто порядкові номери експериментальних значень y_i в загальному варіаційному ряді.

При обсягах вибірок $m > 8$ розподіл випадкової величини S близький до нормального розподілу з параметрами:

$$m_s = \frac{m(2m+1)}{2}, \quad \sigma_s = \sqrt{\frac{m^3}{6}} \quad (1.13)$$

При рівні значимості $\alpha = 0,05$ критична область для гіпотези про однорідність теоретичної і експериментальних вибірок визначається нерівностями:

$$S \leq m_s - 1,96\sigma_s, \quad S \geq m_s + 1,96\sigma_s \quad (1.14)$$

Якщо значення S не влучає в критичну область, то обидві вибірки однорідні, тобто належать одній і тій же генеральній сукупності і тому математичну модель слід визнати адекватною.

Якщо умови дозволяють на кожному з m рівнів незалежної змінної x виконати по n паралельних дослідів (спостережень), результати яких утворюють матрицю спостережень (y_{ij}) , то з'являється можливість виконати дисперсійний аналіз розрахункових і емпіричних даних. Для цього на кожному рівні незалежної змінної x_i обчислимо групові середні значення y_i :

$$y_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_{ij}}{n} \quad (1.15)$$

за якими знайдемо загальну середню значення $\bar{y}$:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^m y_i}{m} \quad (1.16)$$

і заповнимо таблицю результатів дисперсійного аналізу (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Результати дисперсійного аналізу розрахункових і емпіричних даних

Складові дисперсії	Суми квадратів	Числа ступенів свободи	Середні квадрати
Загальна	$Q = \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2$	$f = m - 1$	$S^2 = \frac{Q}{m - 1}$
Дисперсія відтворюваності дослідних даних	$Q_{\text{відтв.}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j)^2$	$f_{\text{відтв.}} = m(m - 1)$	$S_{\text{відтв.}}^2 = \frac{Q_{\text{відтв.}}}{m(m - 1)}$
Дисперсія, обумовлена моделлю	$Q_R = \sum_{i=1}^m (y_{xi} - \bar{y})^2$	$f_R = p - 1$	$S_R^2 = \frac{Q_R}{p - 1}$
Залишкова дисперсія	$Q_{\epsilon} = \sum_{i=1}^m (y_i - y_{xi})^2$	$f_{\epsilon} = m - p$	$S_{\epsilon}^2 = \frac{Q_{\epsilon}}{m - p}$

Прогностичну здатність математичної моделі можна оцінити за допомогою коефіцієнта детермінації:

$$R^2 = \frac{Q_R}{Q} \quad (1.17)$$

Якщо величина R^2 близька до одиниці, то математична модель задовільно описує залежність досліджуваної характеристики НС від незалежної змінної x .

Перевірка відповідності математичної моделі реальній НС виконується за допомогою критерію Фішера. Якщо виконується умова:

$$F = \frac{S_{\text{відм.}}^2}{S_{\text{г}}^2} > F_{\alpha; f_{\text{відм.}}; f_{\text{г}}}, \quad (1.18)$$

де $F_{\alpha; f_{\text{відм.}}; f_{\text{г}}}$ - табличне значення критерію Фішера, то модель на рівні значимості α слід визнати адекватною.

Одна і та ж НС може бути описана різними моделями. Це пов'язано не тільки з різним ступенем деталізації і точності дослідження, але і з різноманіттям типів математичних моделей.

В даний час для моделювання НС все ширше використовуються інформаційні та, зокрема, нейромережеві технології і дані космічного зондування земної поверхні. На цій основі розроблені геоінформаційні системи (ГІС), призначені для оцінки ризику виникнення НС різних видів, аналізу їх розвитку і прогнозування наслідків небезпечних подій природного і техногенного характеру. Створені як локальні ГІС для обслуговування окремих регіонів, так і потужні системи загального призначення. Ці системи включають в себе:

1. Підсистему космічного моніторингу (електронні топографічні карти і засоби роботи з ними);
2. Бази даних про потенційно небезпечні об'єкти, наявних силах і засобах для ліквідації НС та їх наслідків, транспортної інфраструктурі та інших даних;
3. Бази математичних моделей розвитку НС природного і техногенного характеру.

Головною перевагою ГІС є детальна цифрова, координатна і картографічна прив'язка небезпечних об'єктів, об'єктів інфраструктури, установ, житлової забудови і т.д. до місцевості, можливість обліку рельєфу і метеоумов, що дозволяє поліпшити якість прогнозування НС та підвищити ефективність управління силами і засобами ліквідації їх наслідків.

Найважливішим властивістю НС є їх випадковий характер. Випадковим є не тільки момент виникнення НС, а й ступінь впливу вражаючих факторів, а також реакція на цей вплив об'єктів і людей, що потрапили в зону ураження. Випадковий характер мають також просторово-часові фактори, що впливають на тяжкість наслідків НС. До них відносяться:

- розташування осередку вражаючого впливу щодо об'єкта або населеного пункту;
- властивості ґрунтів під будівлями і на навколишній місцевості;
- щільність забудови і розселення людей;
- розподіл виробничого персоналу і населення по місцем перебування протягом доби і протягом року.

Важливим завданням моделювання НС є встановлення просторово-часових залежностей для інтенсивності вражаючих факторів. Ці залежності можуть бути задані з допомогою функцій розподілу ймовірностей виникнення небезпечних подій або функцій розподілу ймовірностей випадкових величин вражаючих факторів.

Ці функції можуть бути виражені аналітично, за допомогою таблиць і карт сейсмо-, радоно-, пожежонебезпечного і іншого районування.

Завданням математичного моделювання НС є також встановлення залежності ймовірності руйнування будівель і споруд, а також ураження людей від відстані (координатні закони) або інтенсивності вражаючих факторів (параметричні закони).

Закони руйнування об'єктів і поразки людей в аналітичному, табличному або графічному вигляді (рис. 1.13) можуть бути знайдені шляхом математичної обробки дослідних даних з використанням понять теорії ймовірностей і,

зокрема, нормального закону розподілу, а також положень математичної статистики.

Таким чином, основним методом аналізу НС є імовірнісний метод. На його основі в залежності від наявної вихідної інформації можуть застосовуватися такі методики дослідження:

- *статистична*, коли в якості ймовірностей несприятливих подій використовуються їх відносні частоти, що визначаються за наявними статистичними даними;

- *теоретико-імовірнісна*, що використовується для оцінки ймовірностей рідкісних подій, за якими статистика практично відсутня;

- *евристична*, заснована на методі експертних оцінок і застосовується у випадках, коли відсутні не тільки статистичні дані, але і будь-які математичні моделі.

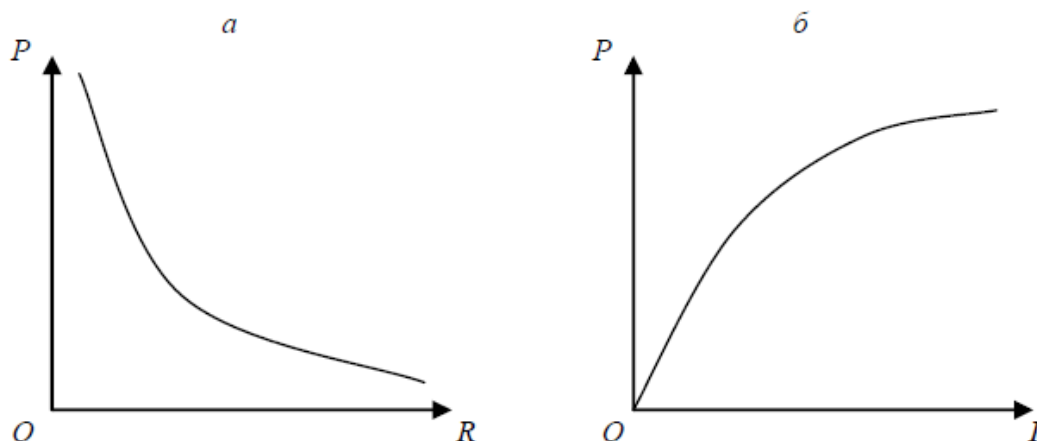


Рис.1.13. Графіки законів руйнування (ураження):
а - координатний, *б* - параметричний (*P* - ймовірність, *R* - відстань від епіцентру НС до об'єкта, *I* - інтенсивність вражаючого фактора)

Методи прогнозування НС найбільш розвинені стосовно небезпечним природним явищам, завдяки функціонуванню загальнодержавної системи моніторингу за передвісниками стихійних лих і катастроф. В даний час отримали розвиток такі підходи до прогнозування НС: *ймовірностно-статистичний підхід*, заснований на поданні небезпечних природних явищ або аварій техногенного характеру як пуассоновського потоку випадкових подій;

- ймовірно-детермінований підхід, заснований на виявленні закономірностей розвитку природних явищ, зокрема, їх циклічності, що дозволяє використовувати підхід для цілей середньо- і довгострокового прогнозування.

Комплексне застосування цих підходів дозволило розробити математичні моделі всіх основних видів НС природного і техногенного характеру. Ці моделі включають в себе приватні моделі виникнення і розвитку НС, моделі вражаючих впливів, руйнувань і інші.

Структура типової математичної моделі НС і схема її використання для прогнозування їх наслідків показані на рис. 1.14[59].

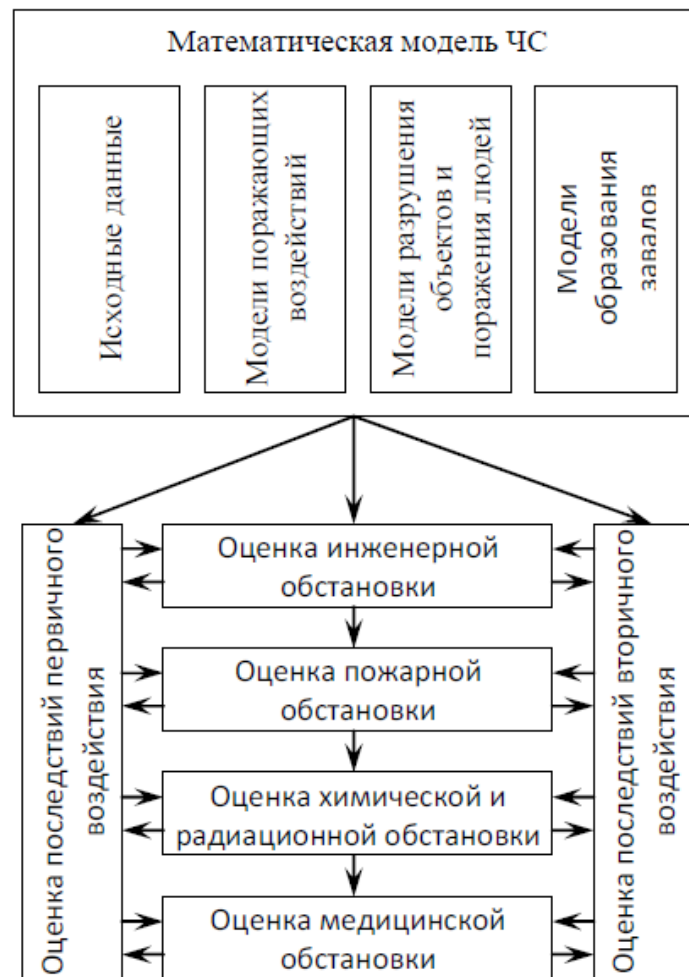


Рис.1.14. Блок-схема структури математичної моделі і її використання для прогнозування наслідків НС

Математичне моделювання дозволяє отримати більш об'єктивну і точну оцінку ризиків, що є необхідною передумовою прийняття обґрунтованих рішень щодо попередження НС, пом'якшення та ліквідації їх наслідків.

1.6. Аналіз методів прогнозування та прийняття рішень в надзвичайних природних ситуаціях

Прогнозування являє собою науково обґрунтоване оцінювання майбутніх станів даного об'єкта – НС.

При прогнозі НС потрібно знати зміну зовнішніх збурюючих впливів, щоб отримувати так званий нормативний прогноз. Ряд таких прогнозів за принципом «якщо-то» іноді називають сценаріями майбутнього, і експертам пропонується вибрати той із сценаріїв, який більшою мірою задовольняє завданню, поставленої перед СППР. Найпростіше отримувати прогноз, виходячи з припущення про те, що все буде йти так, як було до сих пір (гіпотеза збереження статус-кво). Нормативні прогнози часто приймають вид нормативних сценаріїв, кожен з яких відповідає одному з варіантів зміни керуючих реакцій особи, що приймає рішення (ОПР) і збурюючих впливів.

Різні підходи до прогнозу відрізняються за обсягом необхідною для прогнозу апріорною інформацією про досліджуваний об'єкт, про вимірювані і не вимірювані характеристики, про стан і зміну його оточення,

При *детерміністичному підході* передбачається, що вся інформація є вже апріорі або може бути отримана з достатньою точністю.

Стохастичний підхід враховує вплив чинників, що заважають і шуму, причому характеристики, що нас цікавлять розглядаються як випадкові величини, імовірнісні параметри яких отримують за допомогою вибіркового реалізацій.

В даний час в інформаційних технологіях прогнозування та підсистем підтримки прийняття рішень розрізняють два напрямки в розвитку логічного висновку знань [113]:

- розвиток систем логічного висновку, заснованого на правилах;

- розвиток систем логічного висновку, заснованого на прецедентах [59,113].

Практично всі ранні експертні системи моделювали хід прийняття рішення експертом як суто дедуктивний процес з використанням логічного висновку, заснованого на правилах. В аналізі сучасних методів прогнозування та прийняття рішень можна виділити принцип повторного використання рішень, які приймалися раніше в подібних ситуаціях. Потім він або безпосередньо використовує ці рішення, або, при необхідності, адаптує до обставин, що змінилися для конкретної НС.

Це призвело до появи технології логічного висновку, заснованого на прецедентах (по-англійськи - Case-Based Reasoning, або CBR), і в подальшому - до створення програмних продуктів, що реалізують цю технологію.

У ряді ситуацій метод виведення на прецедентах має серйозні переваги в порівнянні з висновком, заснованим на правилах, і особливо ефективний, коли:

- основним джерелом знань про завдання є досвід, а не теорія;
- рішення не унікальні для конкретної ситуації і можуть бути використані в інших випадках;
- метою є не гарантоване вірне рішення, а найкраще з можливих.

Таким чином, висновок, заснований на прецедентах, являє собою метод побудови експертних систем, які роблять висновки щодо даної проблеми або ситуації за результатами пошуку аналогій, що зберігаються в базі прецедентів.

Системи виведення по прецедентах показують дуже хороші результати в найрізноманітніших задачах, але мають ряд істотних недоліків.

По-перше, вони взагалі не створюють будь-яких моделей або правил, узагальнюють попередній досвід, - у виборі рішення вони ґрунтуються на усьому масиві доступних історичних даних, тому неможливо сказати, на основі яких конкретно факторів системи виведення по прецедентах будують свої конкретні відповіді. Можна виділити дві основні проблеми, з якими стикаються подібні системи: пошук найбільш придатних прецедентів і подальша адаптація знайденого рішення.

Основним недоліком таких систем є свавілля, яке допускають системи при виборі міри близькості. Крім того, безпідставним виглядає поширення загальної міри близькості на вибірку даних в цілому.

Ще один недолік методу пов'язаний з конструкцією прецедентів і призначення доречних ваг їх атрибутам, що зменшує можливість застосування таких систем в різних предметних областях.

У більшості випадків методи пошуку прецедентів зводяться до індукції дерев рішень або до алгоритму "найближчого сусіда", доповненому, може бути, використанням знань про предметну область. Що стосується адаптації та використання знайденого рішення, це завдання досі залишається недостатньо формалізованим і сильно залежить від предметної області.

Обидві проблеми - пошук прецедентів і адаптація обраного рішення - вирішуються (повністю або частково) із залученням фонового знання, іншими словами, знання про предметну область (domain knowledge). Існують різні способи отримання інформації про предметну область:

- Залучення експертного знання. Воно може виражатися, наприклад, в обмеженнях, що накладаються на діапазони змін ознак об'єктів, або ж у формулюванні набору правил для розбиття бази прецедентів на класи (побудова класифікатора).

- Отримання необхідних знань з набору наявних даних методами видобутку даних (по-англійськи - Data Mining). Сюди відносяться всі методи виявлення відносин в даних, зокрема, кластеризація, регресія, пошук асоціацій. Використання методів видобутку даних може виділити вузьку групу показників, від яких залежить цікавить дослідника характеристика, і уявити виявлену закономірність в аналітичній формі.

- Формування знань на основі навчальної вибірки, представленій експертом (навчання з учителем). Цей спосіб включає в себе обидва перших.

Спочатку в системах виведення по прецедентах у якості джерела фонового знання виступали експерти - висококваліфіковані фахівці предметних областей, а також текстові матеріали - від підручників до протоколів, і,

зрозуміло, бази даних (імпліцитні джерела знань). Роль експерта (витратна по ресурсам і часу) полягала у вербалізації, тобто перекладі таких джерел в експліцитну форму. Зважаючи, що найважливішим завданням в процесі формалізації вилучення знань є мінімізація ролі експерта, його роль повинні взяти на себе засоби видобутку даних.

Серед видобутих закономірностей на практиці найчастіше зустрічаються відносини еквівалентності і порядку. Перші притаманні, зокрема, завданням класифікації, діагностики та розпізнавання образів. З іншого боку, відносини порядку властиві завданням шкалювання, прогнозування і т.п.

Висновок по прецедентах - не нова технологія, її виникнення простежується в [112,113].

В основі запропонованого підходу лежать інструменти Data Mining, які реалізують дві технології: машинне навчання і візуалізацію (візуальне представлення інформації). Якість візуалізації визначається можливостями графічного відображення значень даних. Варіювання графічного представлення шляхом зміни кольорів, форм та інших елементів спрощує виявлення прихованих залежностей.

Ефективність методів машинного навчання в основному визначається їх здатністю досліджувати більшу кількість взаємозв'язків даних, ніж може людина.

Обидві технології доповнюють один одного в процесі здійснення Data Mining-аналізу. Візуалізація використовується для пошуку винятків, загальних тенденцій і залежностей і допомагає в отриманні даних на початковому етапі проекту. Машинне навчання використовується пізніше для пошуку залежностей у вже налагодженому проекті.

Машинне навчання передбачає використання різних методів, наприклад: дерев рішень; асоціативних правил; генетичних алгоритмів; нейронних мереж.

Дерева рішень призначені для класифікації даних, вони використовують вагові коефіцієнти для розподілу елементів даних на все більш і більш дрібні групи. Метод асоціативних правил класифікує дані на основі набору правил,

подібних правил в експертних системах. Ці правила можна генерувати, використовуючи процес пошуку і перевірки комбінацій правил, або витягувати правила з дерев рішень. В нейронних мережах знання представлені у вигляді зв'язків, що з'єднують набір вузлів. Сила зв'язків визначає залежності між факторами даних.

У табл. 1.3. наведено короткий опис основних алгоритмів Data Mining. Кожен з методів має свої переваги і недоліки.

Таблиця 1.3

Основні алгоритми Data Mining

Алгоритм	Опис
<i>Асоціативні правила</i>	Виявляють причинно наслідкові зв'язки і визначають ймовірності або коефіцієнти достовірності, дозволяючи робити відповідні висновки. Правила представлені в формі «якщо <умови>, то <висновок>». Їх можна використовувати для прогнозування або оцінки невідомих параметрів (значень).
<i>Дерева рішень і алгоритми класифікації</i>	Визначають природні «розбивки» в даних, засновані на цільових змінних. Спочатку виконується розбивка по найбільш важливим змінним. Гілка дерева можна уявити як умовну частину правила. Найчастіше прикладами є алгоритми класифікаційних і регресійних дерев (Classification and regression trees, CART) або хі-квадрат індукція (Chi-squared Automatic Induction, CHAID).
<i>Штучні нейронні мережі</i>	Тут для передбачення значення цільового показника використовується набори вхідних змінних, математичних функцій активації та вагових коефіцієнтів вхідних параметрів. Виконується ітеративний навчальний цикл, нейронна мережа модифікує вагові коефіцієнти до тих пір, поки вихідний параметр, що передбачається відповідає дійсного значення. Після навчання нейронна мережа стає моделлю, яку можна застосувати до нових даних з метою прогнозування.
<i>Генетичні алгоритми</i>	Цей метод використовує ітеративний процес еволюції послідовності поколінь моделей, що включає операції відбору, мутації і схрещування. Для відбору певних особин і відхилення інших використовується «функція пристосованості» (fitness function). Генетичні алгоритми в першу чергу застосовуються для оптимізації топології нейронних мереж і ваг. Однак, їх можна використовувати і самостійно, для моделювання.
<i>Кластерний аналіз</i>	Поділяє гетерогенні дані в гомогенні або напівгомогенні групи. Метод дозволяє класифікувати спостереження за низкою загальних ознак. Кластеризація розширює можливості прогнозування.
<i>Висновок шляхом зіставлення, або висновок, заснований на прецедентах</i>	Ці алгоритми засновані на виявленні деяких аналогій в минулому, найбільш близьких до поточної ситуації, з тим щоб оцінити невідоме значення або передбачити можливі результати (наслідки).

Перевага дерев рішень і асоціативних правил полягає в їх читабельності - вони схожі на пропозиції на природній мові. Однак при великій кількості факторів даних буває дуже складно зрозуміти сенс такого уявлення. Недолік: вони не призначені для широких числових інтервалів. Це пов'язано з тим, що кожне правило або вузол в дереві рішень представляє один зв'язок (залежність, ставлення). Щоб уявити залежності для великого інтервалу значень потрібно занадто багато правил або вузлів. Перевага нейронних мереж в компактному поданні числових відносин для широкого діапазону значень. А недолік - в складності інтерпретації. Існує широкий спектр інструментів для підтримки проектів Data Mining. До них відносяться як загальнодоступні алгоритми візуалізації і машинного навчання, так і складні програмні пакети, де використовуються обидві стратегії, що працюють на паралельних процесорах.

Вартість останніх може досягати декількох сотень тисяч доларів. Пошук найкращого інструменту для Data Mining рішення залежить від ряду умов, таких як мета проекту (наприклад, аналіз споживчого кошика) і розмір досліджуваної бази даних. При виборі інструментів і алгоритмів дуже важлива гнучкість, оскільки в залежності від вибору стратегії може бути отриманий різний результат.

Для аналізу природного середовища в даний час широко застосовуються методи, які отримали в літературі назву інтелектуального аналізу даних (ІАД), цього поняттю відповідають англійські терміни Data Mining (видобуток даних), On line Analytical Processing, OLAP (оперативний аналіз даних), Knowledge Discovery (виявлення знань) або Intelligent Analysis Data (розвідувальний аналіз даних).

Інтелектуальний аналіз даних полягає в застосуванні алгоритмів обробки для виявлення прихованих тенденцій, закономірностей, взаємозв'язків і перспектив розвитку процесу, облік яких допомагає підвищити якість прийнятих рішень. Всі методи, використовувані в даний час в інтелектуальному аналізі даних, є логічним узагальненням різних аналітичних підходів, відомих уже впродовж кількох десятиліть.

Новизна ІАД полягає в розширенні сфери застосування цих методів в управлінні, яке стало можливо завдяки збільшеній доступності даних і здешевленню обчислень. Крім того, до відносно недавнього часу не існувало комп'ютерних методів ІАД з дружнім інтерфейсом користувача. Зростання інтересу до засобів інтелектуального аналізу пояснюється частково і удосконаленнями в області інтерфейсу, які зробили їх доступними для використання фахівцями ділової сфери, але, головним чином, зростанням вимог до результатів аналізу, різким збільшенням обсягу інформації, що переробляється, ускладненням розв'язуваних завдань і тимчасовими обмеженнями аналізу обстановки і прийняття рішень.

Метод самоорганізації прогнозних моделей може розглядатися як метод адаптивного синтезу (адаптації). Якщо апіорна невизначеність відноситься лише до параметрів системи при постійній (наприклад, заданій структурі), то тоді можна застосовувати відомі алгоритми параметричної адаптації і навчання [113]. Якщо ж невизначеною є і структура, то тоді потрібні алгоритми самоорганізації для структурної ідентифікації.

Для самоорганізації прогнозної моделі НС необхідне виконання наступних трьох умов [113]:

- 1) існує початкова організація (безліч опорних функцій);
- 2) є механізм для випадкових змін (мутацій) цієї організації організацій (безліч моделей-претендентів);
- 3) є механізм вибору, за допомогою якого ці мутації можуть бути оцінені з точки зору їх корисності для поліпшення організації (алгоритм самоорганізації).

Для вибору методу прогнозування НС розглянемо класифікацію методів прогнозування (рис.1.15), яку зробило Агентство Американської Екологічної Захисту [113].

Представлена класифікація методів прогнозування є класифікацією послідовного типу, що має на меті наочне уявлення у вигляді ієрархічного дерева сукупності методів сучасного прогнозування як деякої системи.

Кожен рівень класифікації характеризується своєю класифікаційною ознакою. Елементи кожного рівня є найменування приналежних їм підмножин елементів найближчого нижнього рівня, причому підмножин непересічних. Приклад такої класифікації наведено на рис. 1.15.



Рис.1.15. Дерево системи методів сучасного прогнозування

На першому рівні всі методи діляться на три класи за ознакою "інформаційна основа методу". *Фактографічні методи* базуються на фактично наявному інформаційному матеріалі про об'єкт прогнозування і його минулий розвиток. *Експертні методи* базуються на інформації, яку постачають фахівці-експерти в процесі систематизованих процедур виявлення і узагальнення цієї думки. *Комбіновані методи* виділені в окремий клас, щоб можна було відносити до нього методи зі змішаною інформаційною основою, в яких в якості первинної інформації використовуються фактографічна і експертна. Наприклад, при проведенні експертного опитування учасникам представляють цифрову інформацію про об'єкт або фактографічні прогнози, або, навпаки, при екстраполяції тенденції разом з фактичними даними використовують експертні оцінки.

Не слід відносити до комбінованих методів ті методи прогнозування, які до експертної початкової інформації застосовують математичні методи обробки

або початкову фактографічну інформацію оцінюють експертним шляхом. У більшості випадків вони досить добре вкладаються в перший або другий з перерахованих вище класів.

Ці класи розділяються далі на підкласи за принципами обробки інформації. *Статистичні методи* об'єднують сукупність методів обробки кількісної інформації про об'єкт прогнозування за принципом виявлення вмісту математичних закономірностей розвитку і математичних взаємозв'язків характеристик з метою отримання прогнозних моделей. *Методи аналогій* спрямовані на те, щоб виявляти схожість в закономірностях розвитку різних процесів і на цій підставі робити прогнози. *Випереджаючі методи* прогнозування будуються на певних принципах спеціальної обробки науково технічної інформації, що реалізують в прогнозі її властивість випереджати розвиток науково-технічного прогресу.

Експертні методи поділяються на два підкласу. Прямі експертні оцінки будуються за принципом отримання і обробки незалежної узагальненої думки колективу експертів (або одного з них) за відсутності впливів на думку кожного експерта думки іншого експерта і думки колективу.

Експертні оцінки зі зворотним зв'язком в тому чи іншому вигляді втілюють принцип зворотного зв'язку шляхом впливу на оцінку експертної групи (одного експерта) думкою, отриманою раніше від цієї групи або від одного з її експертів.

Третій рівень класифікації розділяє методи прогнозування на види по класифікаційній ознаці "апарат методів". Кожен вид об'єднує в своєму складі методи, що мають в якості основи однаковий апарат їх реалізації. Так, статистичні методи за видами поділяються на методи екстраполяції і інтерполяції; методи, які використовують апарат регресійного і кореляційного аналізу; методи, які використовують факторний аналіз.

Клас методів аналогій підрозділяється на методи математичних і історичних аналогій. Перші в якості аналога для об'єкта прогнозування використовують об'єкти іншої фізичної природи, іншої області науки, галузі

техніки, але мають математичний опис процесу розвитку, що збігається з об'єктом / прогнозуванням. Другі в якості аналога використовують процеси однакової фізичної природи, що випереджають в часі розвиток об'єкта прогнозування.

Випереджаючі методи прогнозування можна розділити на методи дослідження динаміки науково-технічної інформації; методи дослідження та оцінки рівня техніки. У першому випадку в основному використовується побудова кількісно-якісних динамічних рядів на базі різних видів НТІ та аналізу і прогнозування на їх основі відповідного об'єкта. Другий вид методів використовує спеціальний апарат аналізу кількісної та якісної інформації, що міститься в НТІ, для визначення характеристик рівня якості існуючої і проекрованої техніки.

Прямі експертні оцінки за ознакою апарату реалізації діляться на види експертного опитування та експертного аналізу.

У першому випадку використовуються спеціальні процедури формування питань, організації отримання на них відповідей, обробки отриманих відповідей і формування остаточного результату.

У другому - апаратом дослідження є цілеспрямований аналіз об'єкта прогнозування з боку експерта або колективу експертів, які самі ставлять і вирішують питання, що ведуть до поставленої мети.

Експертні оцінки зі зворотним зв'язком у своєму апараті мають три види методів: експертне опитування; генерацію ідей; ігрове моделювання. Перший вид характеризується процедурами регламентованого неконтактного опитування експертів перемешованими зворотними зв'язками в розглянутому вище сенсі. Другий - побудований на процедурах безпосереднього спілкування експертів в процесі обміну думками з поставленої проблеми. Він характеризується відсутністю питань і відповідей і спрямований на взаємне стимулювання творчої діяльності експертів. Третій вид використовує апарат теорії ігор та її прикладних розділів. Як правило, реалізується на

поєднанні динамічної взаємодії колективів експертів і обчислювальної машини, що імітують об'єкт прогнозування в можливих майбутніх ситуаціях.

Нарешті, останній, четвертий, рівень класифікації підрозділяє види методів третього рівня на окремі методи і групи методів за деякими локальними для кожного виду сукупностям класифікаційних ознак, з яких вказати один загальний для всього рівня в цілому неможливо.

1.7. Аналіз сучасного стану систем комп'ютерного моніторингу надзвичайних ситуацій

Події останніх років свідчать, що ризик виникнення надзвичайних ситуацій на території України залишається високим. Територія України зазнає впливу широкого спектру небезпечних природних процесів, явищ. 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.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це комплекс правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання техногенної та природної безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу, експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків.

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

Кодекс цивільного захисту України визначає створення та функціонування системи моніторингу і прогнозування надзвичайних ситуацій,

проте «де-юре» загальнодержавну систему моніторингу джерел надзвичайних ситуацій та їх прогнозування у державі не створено.

На даний час моніторинг і прогнозування надзвичайних ситуацій в Україні здійснюються на рівні регіональних, галузевих або інших самостійних систем, не об'єднаних у єдиний інформаційно-аналітичний комплекс, наприклад: Державної системи моніторингу довкілля, автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки, системи моніторингу епідеміологічної ситуації, системи моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря, систем соціально-гігієнічного та сейсмічного моніторингу, дистанційного зондування Землі, тощо.

Державна система моніторингу довкілля (ДСМД) - це система спостережень, збирання, оброблення, передачі, зберігання й аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень про запобігання негативним змінам довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. Вона створюється з дотриманням міжнародних вимог і є сумісною з аналогічними міжнародними системами.

Структура та рівні державної системи моніторингу довкілля передбачають розбудову таких видів моніторингу навколишнього природного середовища (НПС) в Україні:

- загальний (стандартний) моніторинг НПС - це оптимальні за кількістю параметрів спостереження в пунктах, об'єднаних в єдину інформаційно-технологічну мережу, що дають змогу розробляти управлінські рішення на всіх рівнях;

- оперативний (кризовий), сутність якого полягає у спостереженнях за спеціальними показниками на цільовій мережі пунктів у реальному масштабі часу за окремими об'єктами та джерелами підвищеного екологічного ризику в окремих регіонах, котрі визначено як зони надзвичайної екологічної ситуації, а також у районах аварій із шкідливими екологічними наслідками з метою

забезпечення оперативного реагування на кризові ситуації та прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення безпечних умов життєдіяльності;

– фоновий (науковий) моніторинг НПС - спеціальні високоточні спостереження за всіма компонентами природного довкілля, а також за характером, складом, кругообігом та міграцією забруднювальних речовин, за реакціями організмів на забруднення на рівні окремих популяцій, геосистем і біосфери в цілому. Так моніторинг здійснюється у природних та біосферних заповідниках і на інших територіях, що охороняються.

Оперативна моніторингова інформація регулярно передається територіальними органами суб'єктів ДСМД до регіональних центрів моніторингу довкілля, або державних управлінь охорони навколишнього природного середовища в регіонах. Узагальнена аналітична інформація надається до Мінприроди міністерствами та відомствами-суб'єктами ДСМД. На основі отриманих даних готуються інформаційно-аналітичні огляди про стан довкілля в Україні та окремо за кожним регіоном, які розміщуються на веб-сайті Інформаційно-аналітичного центру державної системи моніторингу довкілля Мінприроди та державних управлінь охорони навколишнього природного середовища в регіонах.

У країні функціонує *система епідеміологічного нагляду з метою проведення профілактичних і протиепідемічних заходів*, направлених на зниження рівня інфекційних хвороб, їх попередження (завезення, поширення заразних, у тому числі карантинних захворювань із-за кордону) і поліпшення епідемічної ситуації, яка включає:

– динамічне спостереження за захворюваністю (поточний і ретроспективний епідеміологічний аналіз) та за імунологічною структурою населення (аналіз стану щепленості тощо);

– спостереження за клінічними проявами інфекцій (облік різних форм і важкості перебігу захворювань, частоти появи і характер ускладнень, лабораторне підтвердження діагнозу);

– оцінка якості і ефективності профілактичних та протиепідемічних заходів і оперативна розробка управлінських рішень щодо покращення епідемічної ситуації.

Система реєстрації, обліку і звітності про інфекційні хвороби, прийнята в нашій країні, забезпечує своєчасну поінформованість територіальних органів Державної санітарно-епідеміологічної служби і органів охорони здоров'я про появлення випадків інфекційних захворювань з метою прийняття всіх необхідних заходів для попередження їх поширення або виникнення епідемічних ускладнень і спалахів серед населення.

Національна система сейсмічних спостережень та підвищення безпеки проживання населення у сейсмонебезпечних регіонах утворена постановою Кабінету Міністрів України «Про створення національної системи сейсмічних спостережень та підвищення безпеки проживання населення у сейсмонебезпечних регіонах» з метою підвищення безпеки проживання населення та експлуатації виробничих фондів у сейсмонебезпечних регіонах країни, здійснення контролю за дотриманням вимог міжнародних договорів України про обмеження та заборону випробувань ядерної зброї, вивчення сейсмічного і геогідродетформаційного стану території України та суміжних держав, координації діяльності органів виконавчої влади щодо забезпечення захисту населення, об'єктів і територій від впливу землетрусів.

Функціонування Системи спрямоване на розв'язання таких завдань:

складання прогнозів землетрусів на основі проведення сейсмічних спостережень і аналізу їх результатів;

оперативне визначення місця, часу і параметрів землетрусів, інших геофізичних явищ та ядерних вибухів на іноземних випробувальних полігонах, що відбулися;

оперативне забезпечення центральних та місцевих органів виконавчої влади, території яких розташовані у сейсмонебезпечних районах, інформацією про землетруси та можливі їх наслідки;

організацію центрального банку геофізичних даних Системи і забезпечення міжрегіонального та міжнародного обміну геофізичною інформацією;

інформаційне забезпечення робіт стосовно сейсмічного районування території України, оцінки потенційної сейсмічної небезпеки, сейсмостійкого будівництва, а також фундаментальних і прикладних досліджень, спрямованих на розв'язання проблем прогнозу землетрусів;

розробка карт сейсмічного районування території України, нормативних актів щодо захисту населення, об'єктів і територій України від впливу землетрусів, функціонування і розвитку Системи.

25 січня 2012 Кабінет Міністрів України затвердив План заходів щодо створення *Єдиної автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки* на період до 2015 року. Серед запланованих заходів - модернізація автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки (АСКРО) у відокремлених підрозділах ДП «НАЕК Енергоатом » (Запорізька АЕС, Хмельницька АЕС, Южно-Українська АЕС) та їх інтеграція в Єдину систему.

АСКРО на сьогоднішній день є найбільш оптимальною системою збору, обробки, зберігання та надання інформації про стан довкілля. Головна перевага системи в тому, що вона дозволяє отримувати дані в режимі реального часу. А програмне забезпечення нової автоматизованої системи дає можливість не тільки аналізувати поточну радіаційну обстановку, але і прогнозувати її з урахуванням метеорологічних параметрів. Сучасний комплекс технічних засобів, на базі якого створена АСКРО, забезпечує високу надійність, оперативність, якість контролю та надання інформації, але тільки в прилеглій зоні АЕС.

Основу АСКРО складають три рівнозначні центральні пункти контролю (ЦПК), розташовані безпосередньо на щиті радіаційного контролю, в кризовому центрі та лабораторії зовнішньої дозиметрії АЕС. Показання на них подаються спеціальними дубльованими каналами зв'язку з периферійних постів спостереження, 12 з яких встановлені в санітарно-захисній зоні (радіус 2,5 км)

та 13 - у зоні спостереження (радіус 30 км) атомної станції. Автоматичний збір інформації з постів проводиться не рідше 1 разу на 3 хв.

Проте, існуючі територіальні і функціональні підсистеми Єдиної державної системи цивільного захисту не забезпечують належного щоденного збирання, оброблення, передавання та аналізу інформації про ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, відпрацювання запобіжних заходів та пропозицій щодо їх проведення[147].

1.8. Системи підготовки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій

В даний час комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень активно використовуються в задачах управління станом довкілля та мінімізації наслідків аварійних викидів забруднюючих речовин. У таких системах вирішальне значення набуває оцінка поточного (аналіз) і майбутнього (прогноз) стану навколишнього середовища, зокрема, атмосфери. У СППР реального часу в першу чергу використовуються короткострокові прогнози метеорологічних умов.

Прикладами таких систем є Європейська система ядерного аварійного реагування РОДОС [300-303], системи ядерного реагування РЕКАСС [129], КАДО [58], система реагування на радіаційні та хімічні викиди АРГОС [246], система реагування на епідемію, поширювані повітряним шляхом VetMet [278] і багато інших.

Лише для порівняно вузького класу задач локального атмосферного перенесення над гладкою поверхнею (на відстані <10 км [182]) можуть бути застосовані спрощені гаусові моделі, в яких можуть використовуватися постійні в просторі і часі значення метеорологічних параметрів, взяті з вимірів. Рішення складніших завдань розрахунку атмосферної дисперсії забруднювача вимагає інформації про просторово-часовому розподілі швидкості, напрямку

вітру, опадів, висоти прикордонного шару і інших характеристик атмосферної турбулентності.

Для вирішення таких завдань в сучасних СППР служать спеціальні модулі атмосферного перенесення (МАП). Типова структура МАП, використовувана в сучасних СППР, представлена на рис. 1.16.

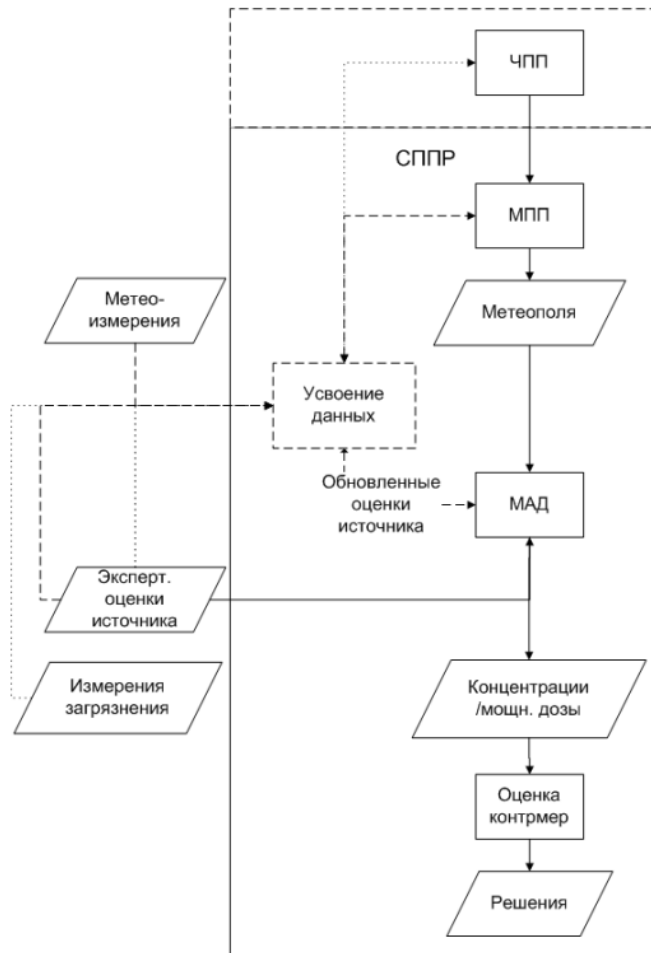


Рис.1.16. Структура модуля атмосферного перенесення СППР

Модель атмосферного перенесення сучасних СППР (Рис.1.16), як правило, складається з метеорологічного препроцесора(МПП) і однієї або декількох моделей атмосферної дисперсії (МАД). Завданням МПП є обчислення полів всіх необхідних метеоелементів на підставі наявних вхідних даних метеорологічних вимірювань і даних чисельного прогнозу погоди (ЧПП). Завданням МАД є обчислення розподілу концентрації та інших характеристик забруднювача (наприклад, потужності доз) на основі метеорологічних полів, попередньо обчислених МПП, і характеристик джерела.

Істотним недоліком існуючих СППР є те, що в більшості випадків (системи РЕКАСС, VetMet, РОДОС-6) метеорологічні поля розраховуються з використанням двох альтернативних джерел метеорологічної інформації – даних вимірювань, або даних чисельного прогнозу погоди. Вимірювання представляють достовірну інформацію про метеорологічні умови в точках розташування метеостанцій, в той час як дані чисельного прогнозу погоди характеризуються більш високим просторовим і часовим інтервалом, ніж мережа вимірювань, тому зневага одним з цих джерел даних веде до погіршення ефективності пропонованих рішень.

Як наслідок описаних відмінностей в прогнозі розповсюдження концентрації, суттєво відрізняються відповідні зони евакуації, розраховані на підставі обох варіантів прогнозу, що призводить до необхідності евакуації надлишкового числа людей і до збитків в державному масштабі.

Тому для підвищення якості розрахунків актуальною є задача використання в розрахунках метеорологічних препроцесорів як даних наявних вимірювань, так і даних чисельного прогнозу погоди.

Проблема використання даних вимірювань в процесі розрахунку математичних моделей відома в англomовній літературі як проблема "асиміляції" даних (data assimilation)[269, 290], тоді як в російськомовній літературі та ж проблема частіше називається проблемою "засвоєння" даних вимірювань [156, 184].

Завдання засвоєння даних в діагностичних метеорологічних моделях відома як задача тривимірного засвоєння даних, і в застосуванні до метеорологічним препроцесорів сучасних СППР ця задача практично не вирішувалася. Спроби вирішення цього завдання були здійснені в системах, представлених в роботах [250], [246], [278].

Засвоєння метеорологічних вимірювань може бути також застосовано в прогностичних моделях ЧПП. Крім того в багатьох випадках ступінь деталізації метеорологічних полів у зовнішніх даних ЧПП (розрахованих, наприклад, національними гідрометслужби) є недостатньою для вирішення практичних

завдань. Тому, крім використання даних ЧПП від зовнішнього постачальника, в сучасних СППР з'явилася тенденція використання власних моделей ЧПП, таких як MM5, WRF, ADREA та інших. Вирішення цього завдання вимагає розробки інформаційних технологій автоматизації розрахункових процесів таких моделей і підвищення їх швидкодії (з урахуванням того, що в СППР реального часу прогноз розповсюдження забруднення на 24 години повинен проводитися менш ніж за 10 хвилин [302]).

Похибка розрахунків моделей атмосферної дисперсії залежить не тільки від точності вхідних метеорологічних даних, але і, в першу чергу, від помилки характеристик джерела (потужність, температура викиду, місце розташування). Як показують дослідження, проведені при підтримки Комісії з ядерного регулювання США та досвід реальних аварій в фазі аварії оцінки потужності джерела на кілька порядків можуть відрізнятися від дійсних значень, і, таким чином, є домінуючим джерелом помилок прогнозів атмосферної дисперсії [307].

Настільки високі рівні помилок характеристик джерела пов'язані з тим, що в більшості сучасних СППР характеристики джерела оцінюються експертно (рис. 1.1), в умовах нестачі інформації про причини викиду, технічних причин і ступеня пошкоджень. При цьому навіть при наявності детальної інформації де відбулися пошкодження, коли може бути використана база даних попереднього обчислення джерел викидів[161], і при зменшенні впливу людського фактора (за допомогою методів, описаних в [65]), помилки оцінених потужностей викиду можуть становити 1-2 порядки [161].

1.8.1. Комп'ютерна імітаційна система CIS-KOSMAS

Комп'ютерна імітаційна система моделювання аварійних служб CIS-KOSMAS призначена для обґрунтування чисельності сил і засобів екстрених та аварійно-рятувальних служб міста, дослідження процесів їх функціонування і

експертизи проектних, організаційних і управлінських рішень, пов'язаних з оперативною діяльністю цих служб.

Створенню даної системи спонукала побудова математичної теорії функціонування екстрених та аварійно-рятувальних служб, розробленої в 70-80-і рр. XX ст. і спирається, головним чином, на теорію марковських випадкових процесів. Основним недоліком цієї теорії є те, що вона, цілком задовільно описуючи процес функціонування служб в часі, не може описувати його в просторі, що в даному випадку надзвичайно важливо.

Для ефективного використання імітаційної моделі необхідно створити так звану імітаційну систему. Це поняття було введено в 1972 р академіком М.М. Мойсеєвим і його співробітниками, коли імітаційне моделювання тільки почало розвиватися як в нашій країні, так і за кордоном.

Під імітаційною системою розуміють сукупність системи моделей (основної та допоміжної), банку даних (загального джерела інформації) та засобів проведення імітаційних експериментів, що включають в свій склад відповідне математичне забезпечення всього процесу імітаційного експериментування.

Ця система створена в кінці 1980-х р і постійно вдосконалюється.

Найважливішим компонентом CIS-KOSMAS є електронна карта конкретного міста, на яку наносять необхідні елементи міського середовища та даної ЕАРС: основні, в тому числі особливо небезпечні і важливі, об'єкти міста; пункти дислокації підрозділів ЕАРС, райони їх обслуговування; лікарні; карту обслуговує банк даних, що містить інформацію про кількість тих чи інших відділень в кожному пункті дислокації і їх характеристиках, чисельності персоналу, про графіки чергування та багато іншого.

Карта є також носієм дуже важливою для діяльності ЕАРС оперативної інформації: розподілу по території міста різних типів деструктивних подій, які формують потоки викликів підрозділів ЕАРС; в різних частинах міста можуть істотно змінюватися швидкісні параметри вуличної мережі; якісь вулиці мають односторонній рух; де в окремі години доби можуть виникати «пробки» і т. д.

Отримання вихідних статистичних даних забезпечує інформаційна система «СТРЕС» (Статистика Роботи Екстрених Служб). Система «СТРЕС» є підсистемою CIS-KOSMAS.

Центральною підсистемою CIS-KOSMAS є, звичайно, імітаційна модель (рис.1.17), докладно відтворює всі етапи процесу функціонування конкретної ЕАРС.

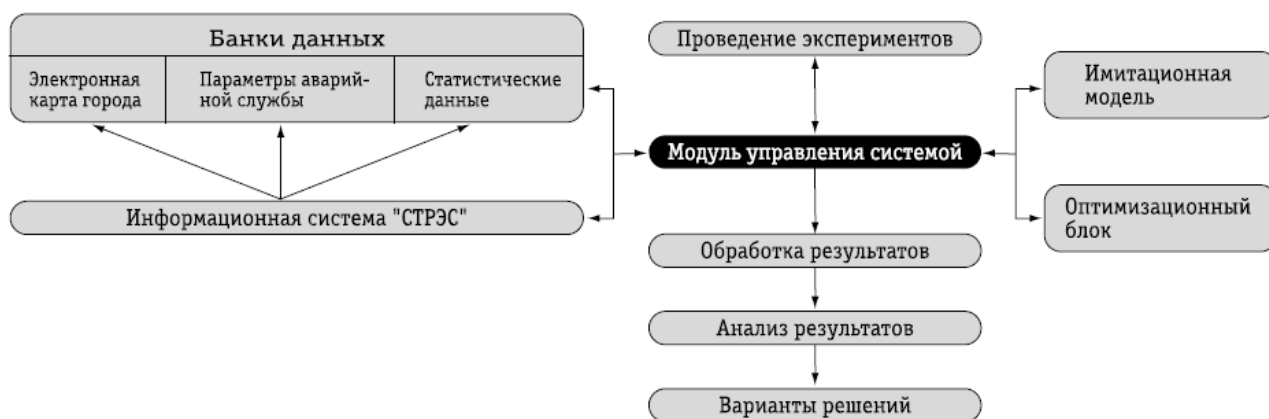


Рис.1.17. Загальна структура імітаційної системи CIS-KOSMAS

Крім імітаційної моделі CIS-KOSMAS оснащена так званим оптимізаційним блоком, де вирішується комплекс допоміжних завдань, відображають окремі сторони досліджуваного процесу. Тут вирішуються завдання: вибору оптимального маршруту проходження спеціальних автомобілів до місця виклику; визначення меж району виїзду для кожного пункту дислокації підрозділів ЕАРС; розрахунку числа пунктів дислокації підрозділів ЕАРС; визначення зон покриття території міста з фіксованим часом проходження спеціальних автомобілів в граничні точки зони та ін.

В CIS-KOSMAS є модуль управління цією системою, в який, зокрема, вводиться програма проведення імітаційних експериментів, що містить блоки обробки результатів експериментів, їх аналізу, графічного зображення більшості з отриманих результатів та ін.

Користувач CIS-KOSMAS має можливість активно взаємодіяти з системою, змінювати умови експериментів, управляти багатьма вихідними даними.

CIS-KOSMAS може показати, як функціонувала дана ЕАРС в минулому, як функціонує вона в момент проведення експериментів і, найголовніше, що може статися з нею в майбутньому. CIS-KOSMAS відповідає на численні запитання експертів типу «Що буде, якщо ...?» (Якщо різко зросте обсяг роботи, тобто збільшиться щільність потоку викликів; якщо змінити кордони районів обслуговування підрозділів ЕАСС; якщо передислокувати техніку того чи іншого виду з одних пунктів дислокації в інші; якщо закрити ряд пунктів дислокації або, навпаки, додати ряд нових; якщо змінити організацію чергувань особового складу і т.д.).

Система «CIS-KOSMAS» дозволяє:

- вводити і скасовувати всі дані, що характеризують параметри міста, екстреної служби і оперативної обстановки в місті;
- моделювати різні реальні і гіпотетичні ситуації, які виникають або можуть виникнути в місті при зміні параметрів міського середовища або екстреного;
- аналізувати статистичні дані, накопичені в процесі моделювання і отримувати допомогу комп'ютера при аналізі результатів моделювання;
- досліджувати і порівнювати різні варіанти диспетчеризації оперативних підрозділів;
- вирішувати оптимізаційні задачі по визначенню місць дислокації нових депо, лікарень, розподілу техніки по пунктам дислокації, за визначенням варіантів диспетчеризації, за визначенням графіків чергувань персоналу і ін.);
- здійснювати розрахунок числа депо в залежності від часу проходження підрозділів до місця виклику, оперативних відділень різних типів, персоналу.
- Визначати зони покриття міста в залежності від часу проходження до місця виклику;
- визначати оптимальні межі районів обслуговування підрозділів;
- визначати тимчасові і імовірнісні характеристики реакції оперативних підрозділів на різні за складністю ситуації, що виникають на міських об'єктах;
- проводити аналіз зон ризику міської території та інше.

Взагалі кажучи, кожна ЕАРС міста повинна мати власну систему «CIS-KOSMAS» («CIS-KOSMAS-101» - для протипожежної служби, «CIS-KOSMAS-102» - для поліцейських служб, «CIS-KOSMAS-103» - для служби швидкої медичної допомоги та ін.), за допомогою якої експерти будуть періодично проводити експертизи діяльності цієї ЕАРС і виробляти варіанти управлінських рішень щодо її вдосконалення. Таким чином, «CIS-KOSMAS» можна розглядати як інструмент підтримки рішень, прийнятих адміністрацією міста з розвитку конкретної ЕАРС.

Для ефективного практичного використання система «CIS-KOSMAS» повинна бути забезпечена актуальною, достовірною і різноманітною інформацією. Значну частину цієї інформації CIS-KOSMAS отримує зі своєї підсистеми «СТРЕС» (Статистика роботи екстрених служб). Інформаційна система «СТРЕС», в свою чергу отримує і обробляє початкову інформацію з бази даних АСУ відповідної ЕАРС міста.

Саме «СТРЕС» дає інформацію о часовому і просторовому розподілі різних деструктивних подій (ДС) в місті, про всіх початкових характеристиках процесу реагування ЕАРС на виникаючі ДС; «СТРЕС» здійснює ідентифікацію та верифікацію всіх математичних моделей, використаних в «CIS-KOSMAS» і виконує багато інших функцій. Структурно-логічна схема інформаційної системи «СТРЕС» представлена на рис. 1.18.

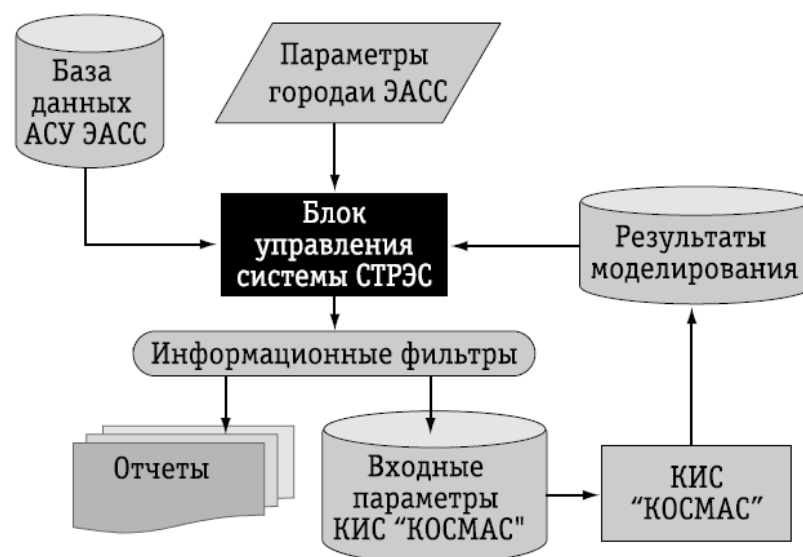


Рис.1.18. Структурно-логічна схема інформаційної системи «СТРЕС»

Автоматизована ІС «СТРЕС» є не тільки підсистемою CIS-KOSMAS а й має важливе самостійне значення як технологія збору, обробки та аналізу статистики різних деструктивних подій і діяльності ЕАРС, зокрема, статистики пожеж та діяльності протипожежних служб міст, територій, регіонів, країн.

1.8.2. Європейська система ядерного реагування РОДОС

Задачі, які вирішуються СППР в області екологічної безпеки, діляться на дві наступні категорії: задачі реагування на аварійні ситуації в реальному часі, і задачі, пов'язані з довгостроковими ризиками, які вимагають аналізу довготривалих рутинних джерел забруднень або малоймовірних аварійних ситуацій.

Система РОДОС придатна для вирішення обох класів задач, і модель атмосферного переносу цієї системи містить практично всі види метеорологічних моделей, які застосовуються в сучасних СППР.

СППР RODOS розробляється з 1992 року в рамках наукових програм Європейської комісії [302].

Розробка система переслідувала наступні цілі:

1. Створити інтегровану комплексну систему підтримки прийняття рішень, яка може використовуватися на території всієї Європи для реагування на всіх стадіях радіаційних аварій – від ранній стадії (кілька годин-днів) до середньої (роки) і пізньої (десятиліття) стадій.
2. Створити загальну структуру для подальшої інтеграції нових моделей і алгоритмів підтримки прийняття рішень.
3. Забезпечити більшу прозорість процесу прийняття рішень для кращого розуміння громадськістю післяаварійних контрзаходів.
4. Встановити міжнародний інформаційний обмін даними моніторингу та прогнозами наслідків будь-яких майбутніх аварій.

5. Сприяти більш узгодженим і гармонійному реагуванню на будь-які можливі аварії в Європі за рахунок розробки та впровадження системи.

У 1998 році була завершена розробка першої пілотної версії системи, розрахованої на установку на робочих станціях Hewlet Packard і роботу в середовищі HP-Unix. Надалі розвиток цієї системи вівся аж до 2008 р, коли була розроблена остання версія RODOS 6 Final. Паралельно в 2006 р була розпочата розробка абсолютно нової (щодо програмної реалізації) мультиплатформенної розподіленої версії системи, яка є десктоп-додатком. Перша офіційна версія оновленої системи була випущена в 2008 році. Оновлена версія системи розроблена на Java основі, тому отримала назву J-РОДОС (Java-РОДОС) [300-303].

Подальший розвиток системи триває і зараз, і її нові версії періодично подаються головним розробником РОДОС – Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (FZK) - від імені Консорціуму розробників РОДОС, який включає ще 20 установ різних європейських країн.

Завдання, що виконуються системою РОДОС, можуть бути охарактеризовані наступними чотирма рівнями:

1. Рівень 0: огляд і перевірка радіологічних даних разом з географічною та демографічною інформацією та подання їх особам, які приймають рішення.
2. Рівень 1: аналіз і прогнозування поточної і майбутньої радіологічної ситуації, яка базується на інформації про джерело викиду, даних моніторингу (радіологічного, метеорологічного) і даних розрахунків моделей.
3. Рівень 2: моделювання потенційних контрзаходів (наприклад, укриття, евакуація, поширення йодних таблеток, переселення, дезактивація, заборона на окремі продукти харчування) для визначення їх ефективності, переваг і недоліків.

4. Рівень 3: оцінка та ранжування альтернативних стратегій контрзаходів за рахунок балансування їх переваг і недоліків (Наприклад, витрати, запобігла доза, зниження стресів), приймаючи до уваги вимоги осіб, які приймають рішення.

Архітектура системи РОДОС складається з трьох підсистем: Підсистема аналізу радіологічної обстановки, Підсистема моделювання контрзаходів і Підсистема оцінки стратегій. Взаємодія всіх програмних модулів і інтерфейсів, а також управління інтерактивним і автоматичним режимом виконання програми, контролюється спеціально ядром системи.

Параметри моделей і бази даних РОДОС можуть бути адаптовані для різних АЕС і різних географічних, кліматичних і екологічних умов. Оперативне використання системи вимагає інтеграції в реальному часі з даними мережі радіологічного та метеорологічного моніторингу, а також з даними метеорологічних прогнозів національних служб прогнозування погоди. Система РОДОС включає також базу даних сценаріїв аварійних викидів в атмосферу з реакторів різних типів.

Підсистема аналізу радіологічної обстановки постійно проводить оцінку і прогноз радіаційної ситуації. Основними інтегрованими в цій підсистемі модулями є:

1. Модуль атмосферного переносу, який складається з ланцюжка моделей атмосферного переносу в локальному масштабі до 100 км, який включає МПП [300], і три альтернативні моделі атмосферного переносу - АТСТЕП [302], РІМПАФ [303] і ДІПКОТ [308], а також і модель глобального переносу MATCH.
2. Гідрологічний модуль, в якому розраховується поширення радіоактивних забруднень у водних системах.
3. Радіоекологічні та дозові моделі, які розраховують дозові навантаження для всіх шляхів опромінення (FDMT, FDMA).

Підсистема моделювання контрзаходів проводить розрахунки обсягу і тривалості контрзаходів згідно з установленими нормативами (які

можуть відрізнятися в різних країнах), а також наслідків контрзаходів. Ця підсистема включає наступні моделі:

1. Моделі ефективності укриття, евакуації, поширення йодних таблеток, переселення, дезактивації і сільськогосподарських контрзаходів.
2. Радіоекологічні та дозові моделі для обчислення корисності реалізації контрзаходів.
3. Моделі для обчислення детермінованих і стохастичних ефектів впливу на здоров'я і для оцінки вартості контрзаходів і впливу наслідків аварії на здоров'я населення.

Підсистема вибору контрзаходів забезпечує оцінку і ранжування різних стратегій контрзаходів шляхом балансування їх відповідних переваг і недоліків, беручи до уваги існуючі обмеження (можливість виконання, сприйняття в суспільстві), пріоритети осіб, які приймають рішення, соціо-психологічні та політичні аспекти.

Розглянемо основні види вхідних і вихідних даних модуля атмосферного перенесення на прикладі МАП системи РОДОС [300].

Вхідні дані МАП можна умовно класифікувати наступним чином:

1. Метеорологічні дані:

1.1. Дані моделей чисельного прогнозу погоди (тривалість прогнозу близько 5-7 діб; як правило, прогнози оновлюються не частіше 4 разів на добу, час початку прогнозів, називають також часом аналізу, - 0, 6, 12, 18 г. за Гринвічем).

1.1.1. Стандартні дані: двовимірні поля вітру, температури, тиску, вологості, двовимірні поля опадів; просторову роздільну здатність: 10-100 км, тимчасовий дозвіл: ≈ 1 ч.

1.1.2. Необов'язкові дані: двовимірні поля хмарності, радіаційного балансу, турбулентного потоку тепла, висоти шару перемішування.

1.2. Дані метеорологічних вимірювань:

- 1.2.1. Зміни стандартних наземних синоптичних метеостанцій (часовий інтервал 3 ч): швидкість і напрямок вітру на висоті 10 м, температура, вологість (точка роси) на висоті 2м, хмарність.
- 1.2.2. Вимірювання радіозондів (часовий інтервал 6-12 год): швидкість, температуру, вологість на рівнях тиску, висота рівнів тиску.
- 1.2.3. Вимірювання метеорологічних щогл і автоматичних метеостанцій (часовий інтервал ≈ 10 хв): швидкість, температура на декількох рівнях в нижньому 200 м шарі атмосфери, вимірювання радіаційного балансу, середньоквадратичних флуктуацій напрямку вітру.
- 1.2.4. Вимірювання детальних вертикальних профілів (тимчасовий інтервал ≈ 10 хв) середньої швидкості, температури, середньоквадратичних пульсацій швидкості, висоти прикордонного шару (наприклад, за допомогою акустичних профайлерів типу SODAR).

2. Дані характеристик джерела викиду:

- 2.1. Дані моніторингу потужності викиду з труби.
- 2.2. Описові дані, що характеризують причини аварії.
- 2.3. Попередньо розраховані сценарії викиду в залежності від причин і характеристик аварії [292].

3. Дані моніторингу забруднення:

- 3.1. Дані моніторингу концентрацій і / або інших характеристик, наприклад, потужності доз радіаційного випромінювання.
- 3.2. Дані, що характеризують форму хмари забруднення (дані супутникових знімків, лідарів, і т.д.).

Вихідні дані модуля атмосферного переносу можна розділити на наступні основні категорії:

1. Дані розрахунків МПП:

- 1.1. Тривимірні поля швидкості, напрямку вітру, температури, коефіцієнта турбулентної дифузії та інших характеристик на сітці МПП (детальність сітки $\approx 0,1-10$ км, часовий інтервал: $\approx 0,1 - 1$ год.).
- 1.2. Двовимірні поля категорії стійкості, висоти шару перемішування, підземних потоків імпульсу і тепла на сітці МПП.
2. Дані розрахунків МАД:
 - 2.1. Просторово-часові розподіли миттєвої і інтегральної концентрації забруднювача в повітрі, розраховані на сітці МАД, а також в окремих додаткових точках (детальність сітки $\approx 0,1-10$ км, часовий інтервал: $\approx 0,1-1$ ч).
 - 2.2. Просторово-часові розподіли інших характеристик забруднення, наприклад, потужності доз в повітрі, часу приходу хмари і ін, розраховані на сітці МАД, а також в окремих додаткових точках.
 - 2.3. Просторово-часові розподілення щільності випадінь забруднювача на поверхню Землі.

Модулі атмосферного переносу більшості операційних СППР працюють в двох режимах: прогностичному та діагностичному [80].

1.8.3. Комплекс оперативного аналізу дозиметричної обстановки (КАДО)

Комплекс оперативного аналізу дозиметричної обстановки (КАДО) створений Інститутом радіаційного захисту Академії технологічних наук України (Київ) і призначений для розрахунку наслідків газоаерозольних викидів з АЕС у межах її зони спостереження на ранній стадії аварії [58]. Використовується на Рівненській АЕС з 2003 р..

Він включає такі основні модулі:

- модуль розрахунку атмосферного переносу та випадінь на поверхню ґрунту. Модуль розраховує поля об'ємних питомих активностей радіонуклідів у приземному шарі повітря та поверхневих питомих активностей радіонуклідів у

випадіннях на поверхню ґрунту. В його основу покладена нестационарна модель атмосферного переносу домішок, призначена для розрахунку наслідків можливих аварійних викидів на відстанях до 30 км.

- модулі розрахунку доз зовнішнього опромінення від радіоактивної хмари та від випадінь на поверхню ґрунту. Модуль розраховує ефективні дози і еквівалентні дози в органах (тканинах), які формуються зовнішнім опроміненням від радіонуклідів в хмарі викиду і радіонуклідів, що випали на поверхню ґрунту.

- модулі розрахунку доз внутрішнього опромінення за рахунок інгаляційного надходження та за рахунок перорального надходження при споживанні забруднених продуктів харчування. Модулі розраховують ефективні дози і еквівалентні дози в органах (тканинах), що формуються внутрішнім опроміненням радіонуклідів. Розрахунок виконується для кожного радіонукліда, що входить до складу викиду, а також їх дочірніх радіонуклідів, що утворюються в процесі радіоактивного розпаду.

- модуль контрзаходів.

До допоміжних модулів КАДО відносяться:

- модуль даних про радіонукліди. Містить докладні радіонуклідні дані (постійні радіоактивного розпаду, ланцюжки розпадів, спектральні характеристики), необхідні для виконання розрахунків радіаційної та дозиметричної обстановки.

- інформаційно-довідковий модуль. Виконує відображення даних (що зберігаються в модулі даних про радіонукліди), а також містить значення допустимих рівнів надходження та концентрації для радіонуклідів, наведених у НРБУ-97 [58].

- геоінформаційний модуль. Містить картографічну інформацію по Рівненській та Волинській областям у радіусі 50 км від РАЕС і включає основні картографічні шари (межі областей і районів, рельєф місцевості, рослинність, водні об'єкти, населені пункти, автомобільні та залізні дороги).

СППР КАДО використовує розрахункові методики, здатні обробляти метеорологічні та радіологічні початкові дані в режимі реального часу. При цьому модуль розрахунку атмосферного переносу використовує не дані чисельного прогнозу погоди, а лише дані вимірювання метеостанції, що значно обмежує достовірну розрахункову область та часто призводить до некоректних результатів.

КАДО отримав високу оцінку експертів Міжнародного агентства з атомної енергії під час місії OSART (Operational Safety Review Team) і експертів трьох місій ВАО АЕС (Всесвітня асоціація організацій атомних електростанцій).

В майбутньому планується подальший розвиток і вдосконалення КАДО:

1. Формування банку сценаріїв викидів в атмосферу при різних аваріях на АЕС з реакторами ВВЕР.
2. Розвиток і вдосконалення блоку атмосферного переносу з метою врахування фізико-географічних особливостей району розташування АЕС (складний рельєф, наявність великих водойм і неоднорідностей підстильної поверхні).
3. Включення перорального шляху надходження радіонуклідів в організм людини в блок розрахунку доз опромінення.
4. Автоматизоване введення поточної метеорологічної інформації з метою експлуатації системи в режимі реального часу.
5. Можливість асимілювати дані радіаційного моніторингу в зоні спостереження АЕС для оперативного уточнення характеристик радіоактивного забруднення місцевості і уточнення параметрів джерела викиду (рішення оберненої задачі атмосферного переносу і дозиметрії).

1.8.4. Програмно-технічний комплекс RECASS NT

RECASS NT – програмно-технічний комплекс Федерального інформаційно-технічного центру Росгідромету для підтримки прийняття рішень

в умовах забруднення природного середовища при радіаційних, хімічних аваріях, а також при викидах вулканічного попелу та продуктів горіння лісових і торф'яних пожеж [308].

Оснoву програмно-технічного комплексу становить система аналізу і прогнозу забруднення навколишнього середовища, яка забезпечує:

1. Безперервне ведення бази поточних і прогностичних даних про стан атмосфери і поверхневих вод, їх забруднення.
2. Моделювання поширення аварійних і природних забруднень в атмосфері, їх випадінь на поверхню землі і перенесення поверхневими водами.
3. Розрахунок очікуваних доз для населення і вироблення рекомендацій щодо контрзаходів для захисту населення при радіаційних аваріях і викидах токсичних речовин.
4. Підготовку в заданому форматі звітних форм і довідок з прогнозом аварійного забруднення, рекомендаціями щодо контрзаходів і розсилку їх зацікавленим організаціям і відомствам.

Система функціонує з використанням технології клієнт-сервер. При цьому сервер відповідає за управління базами даних і розрахунки, а клієнтська частина надає графічний інтерфейс користувача та служить для збору даних і представлення результатів [308].

Система RECASS NT включає:

- інтегровану базу даних;
- функціональні підсистеми контролю, прогнозу і аналізу, оцінки;
- телекомунікаційну підсистему;
- клієнтську частину системи.

Інтегрована база даних (БД) системи RECASS NT складається з трьох основних частин:

- оперативної БД де зберігається та постійно оновлюється така інформація: дані постів метеорологічних спостережень, систем моніторингу, поля аналізу та прогнозу метеорологічних величин, що надходять у вигляді

сіток із спеціалізованих прогностичних центрів по Глобальній Мережі телезв'язку;

- бази системних даних, до якої входять електронні карти, дані по рельєфу, адміністративний поділ та інша інформація, що використовується в ході розрахунків і при відображенні та аналізі результатів;

- бази даних результатів розрахунків. У цій базі даних у спеціальному вигляді зберігаються результати розрахунків системи.

Функціональна підсистема складається з таких основних модулів:

- модуль атмосферного переносу системи RECASS NT дозволяє моделювати забруднення атмосфери та підстилаючої поверхні аварійними викидами, процес перенесення та розсіювання домішок в атмосфері до 100 км;

- модель транскордонного атмосферного переносу (близько 1000 км);

- гідрологічний модуль, що забезпечує прогноз забруднення річок і водойм при атмосферному випаданні забруднень на водну поверхню або при прямому скиданні у воду;

- модуль розрахунку доз дозволяє прогнозувати дози зовнішнього опромінення від радіоактивної хмари та радіоактивних випадінь, внутрішнього опромінення, дози обумовлені інгаляцією радіоактивних речовин під час проходження радіоактивної хмари, а також токсикологічний вплив хімічних речовин, обумовлений інгаляцією речовин під час проходження хмари;

- модуль вироблення рекомендацій заходів захисту населення та оптимальних строків їх застосування для населених пунктів, що знаходяться в зоні захисних заходів.

1.8.5. Система ARGOS

Система ARGOS [245] використовується для оцінки наслідків та підтримки прийняття рішень після ядерної, радіаційної або хімічної аварії в Скандинавських країнах, а також у Канаді, Бразилії та Австралії.

ARGOS має дворівневу клієнт-серверну архітектуру, яка складається з бази даних під управлінням MS SQL та власне програмного додатку, що може виконуватися на ПК зі встановленою ОС Microsoft Windows. До системи інтегровані такі моделі [245]:

- RIMPUFF – модель атмосферного переносу на малі та середні відстані. Включає в себе метеорологічний препроцесор, який обчислює поля метеорологічних параметрів (випадіння, стабільність, 3D вітер і т.д.) на основі даних, наданих моделями чисельного прогнозу погоди, метеостанцій або їх комбінації. Розраховані моделлю поля гамма доз, концентрації та випадіння, можуть бути використані як вхідні дані для подальших моделей розрахунку доз від споживання та міської дозової моделі ERMIN.

- Моделі розрахунку атмосферного переносу на великі відстані, розташовані в метеорологічних організаціях, слабо інтегровані до ARGOS. Тобто вони можуть бути дистанційно запущені безпосередньо запитом з ARGOS. Після закінчення розрахунків СППР завантажить результати для подальшої обробки та візуалізації.

- Модель дисперсії в міських умовах враховує вплив будівель. Будівлі скорочують область викиду, в той час як локальні турбулентності в певних місцях створюють більші концентрації та поширюють викид у більш широких кутах. Важливою частиною підтримки моделі дисперсії в міських умовах є 3D GIS-модуль в ARGOS, який може відобразити рух пувів у міській забудові.

- Модулі для моделювання переносу радіонуклідів у харчових ланцюжках та розрахунку доз, моделювання контрзаходів у сільському господарстві.

- Модель ERMIN – інструмент для розрахунку стратегій контрзаходів, у населених районах. На підставі розрахунків можна оцінити різні стратегії контрзаходів, щодо відверненої дози, вартості контрзаходів, дози для робітників і кількості вироблених відходів.

- Хімічний та біологічний модуль включає в себе базу даних та модель джерела, а також інтерфейси до моделі RIMPUFF.

ARGOS може бути інтегрованим до сервіс-орієнтованої архітектури. Запит на розрахунок прогнозу може бути надісланий з інших додатків, через веб-сервіси можуть бути організовані запити на імпорт та експорт даних. Також система може бути налаштована для автоматичного прогнозування одного або декількох сценаріїв з використанням даних останнього чисельного прогнозу погоди.

1.8.6. Система NARAC

NARAC надає інструменти та сервіси для моделювання атмосферного переносу у випадку хімічної, біологічної, радіологічної та ядерної аварії. NARAC може симулювати вітрові ефекти при різних сценаріях, у тому числі при пожежах, промислових і транспортних аваріях, вибухах «брудних бомб», розливах небезпечних матеріалів, аваріях на АЕС та ядерних вибухах [254].

NARAC використовує ряд моделей чисельного моделювання для моделювання подій різного типу, масштабу (місцеві, регіональні, континентальні та глобальні) та часу відгуку. Прості швидкі моделі використовуються для виконання скринінгових розрахунків і отримання початкових результатів в автономному режимі. Більш докладні тривимірні моделі дисперсії, в поєднанні з даними спостережень і чисельного прогнозу погоди, використовуються як для близького до реального часу моделювання, так і для докладних оцінок.

Моделі атмосферної дисперсії та випадіння розраховують такі величини, як інтегрована або усереднена за часом концентрація в повітрі, пік концентрації в повітрі в будь-якому інтервалі протягом часу експозиції і накопичене на поверхні випадіння. Ці величини перетворюються в продукти, які корисні для широкого кола користувачів, у тому числі аварійно-рятувальних служб, науковців, менеджерів надзвичайних ситуацій, та осіб, які приймають рішення.

Результати містять карти, що показують області, в яких перевищені границі доз, області необхідних контрзаходів (укриття, евакуація, переселення), оцінки кількості постраждалого населення, а також географічну прив'язку

даних (наприклад, дороги, політичні кордони, рельєф, водойми, аерофотозйомка, життєво важливі об'єкти). Програмне забезпечення генератора звітів NARAC використовується для обробки результатів та створення звіту, який поєднує в собі карти, таблиці, припущення та пояснювальний текст.

Програмне забезпечення системи NARAC використовує багаторівневу розподілену архітектуру, що забезпечує доступ в реальному часі до глобальних метеорологічних і географічних баз даних та інструментів атмосферних моделей. Програмна інфраструктура складається з двох основних компонентів: Центральна система NARAC і Корпоративна система NARAC.

Центральна система (ЦС) NARAC поєднує в собі три основних підсистеми:

- Підсистема метеорологічних даних керує збором, архівацією, обробкою та вибіркою необхідних метеорологічних вимірювань, даних чисельного прогнозу погоди із зовнішніх джерел, а також локальної мезомасштабної моделі COAMPS.

- Підсистема геопросторових даних управляє реєстрацією, архівуванням та обробкою географічних наборів даних для їх подальшого використання моделями, а також при аналізі результатів моделей та візуалізації продуктів.

- Підсистема виконання моделей управляє життєвим циклом, параметрами та допоміжними базами даних, що використовуються атмосферними моделями, інструментами попередньої обробки вхідних даних і пост-обробки результатів. Генерація продуктів та аналіз результатів моделювання також здійснюється підсистемою виконання моделей.

Центральна система(ЦС) NARAC використовує розподілений клієнт-серверний фреймворк на основі технології CORBA. ЦС була спроектована та розроблена з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. Основні сервіси написані мовою C++, для клієнтів з інтерфейсом користувача та серверів з підтримкою віддаленого доступу використовується мова Java, а основні атмосферні моделі написані мовою Fortran 90. Основні сервіси ЦС працюють на платформах Unix/Linux.

Корпоративна система (КС) NARAC надає доступ віддаленим користувачам до центральної системи NARAC, дозволяє обмінюватися результатами та інформацією з іншими користувачами та працювати в автономному режимі, якщо до ЦС не можливо встановити доступ. КС складається з трьох компонентів: середній, або корпоративний рівень, NARAC Web і NARAC iClient. Обмін інформацією між ЦС і середнім рівнем, а також між середнім рівнем та інструментами NARAC Web та NARAC iClient здійснюється у форматі XML та HTML.

Середній рівень обробляє всі зовнішні підключення користувачів до NARAC, запити на розрахунки і направляє їх до центральної системи, зберігає і обробляє результати розрахунку запитів та постачає їх у вигляді файлів даних або веб-сторінок, регулює доступ і питання безпеки даних.

NARAC Web і iClient – це інструменти для кінцевих користувачів, які мають віддалений доступ до ЦС NARAC через середній рівень. NARAC Web являє собою захищений веб-сайт, який дозволяє віддаленим користувачам вводити прості сценарії викидів, автоматично запускати моделі, а також переглядати та управляти результатами моделей. iClient є більш складним настільним додатком, що забезпечує доступ до NARAC і роботу в автономному режимі з використанням місцевих моделей на машині користувача. iClient був розроблений з використанням Java і веб-технологій, щоб забезпечити платформи-незалежний інструмент для управління в надзвичайних ситуаціях.

Висновки до розділу 1 та постановка проблеми і завдань дослідження

1. Розглянуті основні організаційні моделі обробки екстрених викликів при взаємодії декількох оперативних служб в “Системі-112”. Слідє відмітити, що з досвіду роботи, екстрених оперативних служб, для надання ефективної допомоги при подіях або НС в 10 відсотках випадків потрібне залучення більш ніж однієї екстреної оперативної служби.

2. Розглянуті аналітичні моделі процесу функціонування екстрених аварійно рятувальних служб.

3. Проведено аналіз методів моделювання прогнозування та прийняття рішень в надзвичайних ситуаціях.

4. Проведено аналіз сучасного стану комп'ютерного моніторингу надзвичайних ситуацій.

5. Розглянуто комп'ютерну систему імітаційного моделювання аварійних служб CIS-KOSMAS, її структурні компоненти та підсистеми і ефективність використання при моделюванні роботи екстрених аварійно-рятувальних підрозділів.

6. Проведений порівняльний аналіз комп'ютерних систем підготовки прийняття рішень на основі моделювання метеорологічних процесів РОДОС, РЕКАСС, КАДО, АРГОС, NARAC.

7. Розглянуті інформаційні технології розвитку системи підтримки прийняття рішень JRODOS для управління аварійними надзвичайними ситуаціями за межами майданчиків АЕС

Таким чином, провівши системологічний аналіз проблеми керування службою надзвичайних ситуацій в дисертаційній роботі необхідно вирішити науково-технічну проблему забезпечення аварійно-рятувальних підрозділів та оперативних служб експрес інформацією про можливість виникнення НС, або стан навколишнього середовища в місці виникнення НС та прилеглих територіях. Достовірність та оперативність такої інформації допомагає в підготовці прийняття рішень для оперативного реагування та ефективності дії оперативних служб. Наявні системи, наприклад такі як JRODOS, володіють інформацією про стан навколишнього середовища та зону можливого зараження лише в 30 км. зоні АЕС. В той час, як надзвичайна ситуація, може виникнути і при транспортуванні небезпечних речовин в будь-якому місці.

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.

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.

Вирішення даної проблеми має і велике соціальне значення.

Дана проблема має міжвідомчий характер і може бути виділена в самостійний об'єкт дослідження, моделювання з обговоренням методологічних, теоретичних, організаційних, технічних і соціальних аспектів.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

2.1. Прогностичні і діагностичні метеорологічні моделі

Модулі атмосферного переносу більшості операційних СППР працюють в двох режимах: прогностичному та діагностичному [300].

Як згадувалося вище, 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. Наведемо основні рівняння, фізичні параметризації і методи вирішення цих моделей.

2.1.1. Основні методи розрахунку прогностичних моделей

В основі моделей чисельного прогнозу погоди лежать наступні рівняння гідротермодинаміки атмосфери (рівняння мезометеорології) [298]:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{G} + \vec{F}_k - \frac{1}{\rho} \nabla P - \frac{\partial}{\partial x_\alpha} \langle \vec{u}' u'_\alpha \rangle \quad (2.1)$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{L}{c_p} \Phi + Q_r - \frac{\partial \langle u'_\alpha \vartheta' \rangle}{\partial x_\alpha} \quad (2.2)$$

$$\frac{dq}{dt} = -\Phi - \frac{\partial \langle u'_\alpha q' \rangle}{\partial x_\alpha} \quad (2.3)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m}{\rho} \right) = \Phi - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle m' u'_\alpha \rangle}{\partial x_\alpha} \quad (2.4)$$

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \operatorname{div} \vec{u} = 0 \quad (2.5)$$

У рівняннях (2.1) - (2.5) за індексом α мається на увазі підсумовування; метеорологічні змінні передбачаються усередненими по Рейнольдсу, але для простоти запису оператор усереднення (трикутні дужки) виписаний лише по

відношенню до турбулентних потоків; $\bar{u} = (u_1, u_2, u_3) = (u, v, w)$ - вектор середньої по ансамблю реалізацій в розкладанні Рейнольдса швидкості частинки, а $\bar{u}' = (u'_1, u'_2, u'_3) = (u', v', w')$ - пульсаційна складова (по відношенню до всіх інших метеорологічних змінних мається на увазі аналогічне розкладання); оператор похідної по часу відноситься до властивостей матеріальної частинки середовища і виражається через часткові похідні наступним чином:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u_\alpha \frac{\partial}{\partial x_\alpha};$$

ρ - густина повітря, $\vec{F}_k$ - сила Коріоліса, $\vec{G}$ - гравітаційна сила, P - тиск. Ліва частина являє собою зміну швидкості частинки вздовж траєкторії.

Права частина (2.1) складається з гравітаційної сили, сили Коріоліса, сили тиску оточуючого повітря на частку і тензора турбулентних напруг за рахунок взаємодії турбулентних пульсацій (залишена тільки вертикальна похідна тензора турбулентних напруг, оскільки в атмосфері зазвичай вертикальний турбулентний обмін набагато інтенсивніше горизонтального). Тензор в'язких напруг відсутній, оскільки в атмосфері завжди числа Рейнольдса великі, і в'язкими членами можна знехтувати. У рівнянні (2.2) $\vartheta = T(p_0 / p)^{\frac{R}{c_p}}$ - потенційна температура, c_v - теплоємність при постійному об'ємі, c_p - теплоємність при постійному тиску, R - універсальна газова стала, L - прихована теплота конденсації (сублімації), Q_r - радіаційна складова потоку тепла, що дорівнює дивергенції різниці потоків падаючого на Землю і що випускається в космос випромінюванням: $Q_r = (1 / \rho c_p)(\partial(F_D - F_U) / \partial z)$; швидкість утворення рідкої фази $\Phi = 0$; $q < q_n$ і $\Phi = -\frac{dq_n}{dt} + \Delta_\alpha q_n$, $q \geq q_n$, де q_n - насичуюча питома вологість, m - водність. Останні члени в правих частинах рівнянь (2.1) - (2.4) являють собою турбулентні потоки відповідних змінних.

Для замикання рівнянь (2.1) - (2.5) необхідно параметризувати ряд членів, таких як радіаційні потоки тепла, турбулентні потоки тепла і імпульсу. Розглянемо деякі підходи, які використовуються для параметризації цих потоків.

Турбулентні потоки параметризуються за допомогою градієнтних співвідношень [145]:

$$\begin{cases} -\langle u'_i u'_j \rangle = \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \left(k + \nu_t \frac{\partial u_\alpha}{\partial x_\alpha} \right), \\ -\langle u'_i \phi' \rangle = \frac{\nu_t}{\sigma_\phi} \frac{\partial \phi}{\partial x_i}, \end{cases} \quad (2.6)$$

де ν_t - турбулентна в'язкість, ϕ - скалярна величина, $k = \frac{1}{2} \sum_i \langle u_i'^2 \rangle$ - турбулентна кінетична енергія. Турбулентну в'язкість можна обчислити з відомого співвідношення: $\nu_t = C_\mu \sqrt{k} l$ [302]. Тут l - масштаб турбулентності, для якого можна використовувати алгебраїчні співвідношення, C_μ - константа. В іншому підході використовується зв'язок турбулентної в'язкості зі швидкістю дисипації турбулентної енергії ε : $\nu_t = C_\mu^1 k^2 / \varepsilon$. Для k і ε виписуються окремі рівняння [302].

Відзначимо, що в метеорологічних задачах часто можна знехтувати всіма похідними, що входять в параметризацію турбулентних потоків (2.6), крім похідних по вертикалі. але в мікромасштабних завданнях, пов'язаних, наприклад, з обтіканням будівель, необхідно враховувати всі члени, що входять до співвідношення (2.6).

Для більш повного врахування впливу радіаційних потоків в рівнянні для температури (2.2) необхідно вирішувати рівняння поширення випромінювання в атмосфері. Рішення цих рівнянь є трудомістким завданням, навіть якщо обмежитися одновимірними приближеннями, як це запропоновано в [309].

Параметризація фізичних процесів, пов'язаних з фазовими переходами в атмосфері (член Φ в рівнянні (2.2)), вимагає врахування різноманітних мікрофізичних явищ, в тому числі таких, як процеси в переохолоджених середовищах.

Детальний огляд відповідних моделей міститься в роботі [303]. Відзначимо, що навіть при найбільш повному описі мікрофізичних процесів концентрації рідкої вологи в повітрі, отримані мезомасштабною моделлю на

сітці з горизонтальним дозволом ~ 10 км, не описують утворення конвективних хмар.

Так, наприклад, для утворення купчастих хмар частка повітря повинна досягти рівня конденсації (певної висоти), що трапляється за рахунок впливу на потік неоднорідностей рельєфу розміром ~ 1000 м. Тому при моделюванні метеорологічних процесів з кроком ~ 10 - 100 км для точного прогнозування опадів на додаток до рівняння (2.2), що описує мікрофізичні процеси, використовуються різні параметризації процесів утворення купчастої хмарності.

Рівняння (2.1) - (2.6) охоплюють динаміку атмосферних процесів в дуже широкому діапазоні масштабів - від $0,1$ м до 10^6 м. Але конкретні параметризації фізичних процесів радіаційного переносу, купчастої хмарності і турбулентності залежать від масштабу завдання.

Так, при моделюванні з кроком сітки $h < 100$ м немає необхідності у використанні параметризацій купчастої хмарності, при кроці сітки $h \sim 10$ - 100 км k - ϵ параметризація процесів турбулентного перемішування годиться тільки для вертикальних потоків, тоді як для горизонтальних потоків використовуються більш прості моделі, наприклад, модель Смагоринського.

Масштаби задачі визначають не тільки параметризації, які доцільно використовувати в метеорологічній моделі, але і ряд інших деталей, пов'язаних з моделюванням метеорологічних процесів. При моделюванні з кроком сітки $\sim 10^2$ - 10^5 м неоднорідності висоти рельєфу можуть бути враховані шляхом введення вертикальної σ -координати замість вертикальної z -координати [298].

$$\sigma = \frac{z - z_g(x, y)}{H - z_g(x, y)} \quad (2.7)$$

де z_g - висота підстилаючої поверхні над рівнем моря, а H - висота верхньої межі області. У цій системі координат рівень $\sigma = 0$ збігається з нижньою межею області, а рівень $\sigma = 1$ з верхньою межею і, таким чином,

задача розглядається в прямокутній області, що особливо зручно при апроксимації граничних умов.

При моделюванні мікомасштабних особливостей атмосферної циркуляції в умовах міської забудови з кроком сітки $h < 100$ м σ - система координат не дозволяє описати вплив будівель на рух повітря в міському приземному шарі. У моделях, призначених для моделювання таких процесів, доцільно використовувати z -систему координат, що призводить до появи нерегулярних осередків на границі області, які потребують складного геометричного опису.

Опишемо коротко методи чисельного рішення рівнянь (2.1) - (2.6). Питанням апроксимації диференціальних операторів, що входять в ці рівняння, присвячені численні роботи, в тому числі [155,300-304].

Оскільки рівняння (2.1) - (2.6) описують дуже широкий спектр атмосферних рухів, включаючи звукові і гравітаційні хвилі, використання явних схем апроксимації призводить до обмежень на крок за часом τ , що накладаються стійкістю. Як правило, найжорсткішою умовою є наступне обмеження, пов'язане зі звуковими хвилями, наведене в [298]:

$$\tau < \min(h_x, h_y, h_z) / c_s, \quad (2.8)$$

де h_x, h_y, h_z - кроки сітки у відповідних напрямках, $c_s \approx 300$ м/с - швидкість звуку в повітрі. Якщо ж звукові і гравітаційні хвилі відфільтровані відповідними спрощеннями (спрощення Буссінеска, умова гідростатики згідно роботі [298], тоді основним обмеженням є умова Куранта:

$$\tau < \min\left(\frac{h_x}{|u|}, \frac{h_y}{|v|}, \frac{h_z}{|w|}\right). \quad (2.9)$$

Оскільки в атмосфері практично завжди $c_s / U \ll 1$, умова (2.9), звичайно, дозволяє застосовувати набагато більші кроки інтегрування по порівняно з умовою (2.8).

Неявні схеми абсолютно стійкі, однак обмеження на крок інтегрування залишаються за рахунок вимоги до точності результатів. Для нелінійних

рівнянь проблема оптимального вибору кроку інтегрування не вирішена і вимагає залучення емпіричного досвіду. В деяких роботах [317] передбачається, що обмеження, що накладаються умовою Куранта (2.9) при використанні неявних схем, можуть бути достатні для опису основних мезомасштабних властивостей атмосферної циркуляції.

У більшості сучасних мезомасштабних метеорологічних моделей використовуються явні схеми, що неминуче призводить до обмеженням на крок, що накладаються умовою (2.8). Застосування неявних схем вимагає використання ефективних методів вирішення систем лінійних рівнянь. Методи, засновані на ідеї методу сполучених градієнтів з різного роду передобумовленнями, широко використовуються для вирішення систем рівнянь в часткових похідних. В метеорологічних додатках ці методи, хоча і застосовуються [302], проте їх використання ускладнене анізотропією кроків сітки (вертикальний крок багато менше горизонтального), що призводить до деградації багатьох передобумовлень [296].

2.1.2. Основні принципи розрахунку діагностичних моделей

Як можна бачити з представлених в попередньому пункті списків вхідних і вихідних даних МАП СППР, метеорологічний препроцесор деталізує поля метеорологічних елементів, отримані від зовнішньої моделі ЧПП, оскільки крок сітки МПП як правило, в декілька разів менше кроку сітки ЧПП. Також МПП обчислює деякі додаткові параметри (наприклад, коефіцієнти турбулентної дифузії), яких може не бути в списку метеорологічних полів, що обчислюються моделлю ЧПП. В цілому в роботі стандартних метеорологічних препроцесорів можна виділити два основних етапи [240, 301]:

1. Обробка вимірювань, вертикальна екстраполяція приземних значень; просторова інтерполяція метеорологічних елементів в вузли сітки МПП.
2. Корекція полів, отриманих за допомогою інтерполяції з використанням діагностичної метеорологічної моделі.

На першому етапі з наявних вимірювань на підставі теорії атмосферного пограничного шару обчислюються різні додаткові параметри. Наприклад, на підставі вимірів наземної синоптичної метеостанції можуть бути обчислені потоки тепла і імпульсу. Для цього використовується теорія приземного шару атмосфери [54] в наступній формі:

$$U(z_1) = \frac{u_*^0}{k} \left[\ln \left(\frac{z_1}{z_0} \right) - \psi_m \left(\frac{z_1}{L} \right) + \psi_m \left(\frac{z_0}{L} \right) \right], \quad (2.10)$$

$$T_v^s - T_v(z_1) = \frac{q_v^0}{k u_*} \left[\ln \left(\frac{z_1}{z_{0T}} \right) - \psi_T \left(\frac{z_1}{L} \right) + \psi_T \left(\frac{z_{0T}}{L} \right) \right], \quad (2.11)$$

де $U(z_1)$, $T_v(z_1)$ - дані вимірювань прибережної метеостанції на висоті z_1 , T_v^s - температура підстилаючої поверхні, $u_*^0 = \sqrt{\langle u'w' \rangle}$ і $q_v^0 = \langle w'T' \rangle$ - динамічна швидкість (характеризує потік імпульсу) і кінематичний потік тепла у поверхні Землі, z_0 , z_{0T} - динамічний і температурний параметри шорсткості, ψ_m , ψ_T - універсальні функції, а масштаб Моніна-Обухова є функцією потоків тепла і імпульсу:

$$L = -\frac{1 T_s (u_*^0)^3}{k g q_v^0}. \quad (2.12)$$

Висота приграничного шару атмосфери може бути обчислена (якщо немає прямих вимірювань цієї величини) з напів-емпіричних співвідношень, і також є функцією потоків тепла, імпульсу і, крім того, числа Коріоліса.

Геострофічний вітер може бути взятий або з даних ЧПП, або також обчислюється з напів-емпіричних співвідношень, що описують атмосферний приграничний шар.

Після побудови вертикальних профілів швидкості і напрямку вітру, температури, вологості і тиску, отримані значення інтерполюються по горизонталі на рівнях МПП з вагами пропорційними квадрату відстані $1/r^2$. Таким чином, будується поле першого наближення, яке потім коригується з допомогою діагностичної вітрової моделі.

Існуючі діагностичні моделі можна розділити на дві великих категорії [298, 317]. До першої категорії відносяться моделі, в яких знаходиться

вирішення завдання мінімізації функціонала якості в обчислювальній області G , що характеризує квадратичну форму різниці першого наближення $\bar{u}_1 = (u_1, v_1, w_1)$ і шуканого поля швидкості $\bar{u} = (u, v, w)$ який задовольняє також умові без дивергентності потоку:

$$J = \int_G [\alpha_1^2 (u - u_1)^2 + \alpha_1^2 (v - v_1)^2 + \alpha_1^2 (w - w_1)^2] dV \rightarrow \min, \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (2.14)$$

Рішення задачі (2.13) - (2.14) зводиться до вирішення рівняння Пуассона для множників Лагранжа.

У другому підході до діагностичного моделювання, згідно [302], рівняння руху лінеарізують щодо поля першого наближення, таким чином, відхилення шуканого рішення щодо поля першого наближення передбачаються малим. Це припущення обґрунтовано або при наявності великої кількості вимірювань, що беруть участь в побудові поля першого наближення, або в разі, коли підстилаюча поверхню не дуже складна.

Порівнянню різних діагностичних моделей з результатами вимірювань присвячено роботи [298, 317, 255]. В деяких роботах [298] перевага віддається моделям, що використовують формальні методи інтерполяції в порівнянні з моделями, які використовують лінеаризовані рівняння динаміки атмосфери.

У ряді робіт результати діагностичних моделей порівнюються з результатами, розрахованими нестационарними (прогностичними) моделями [300, 298, 311, 317]. Нестационарні метеорологічні моделі набагато повніше і точніше описують фізичні процеси в атмосфері, і область їх застосування набагато ширше області застосовності діагностичних моделей. Зокрема, прогностичні моделі показують істотно кращі результати в розрахунках міського прикордонного шару [240, 301]. У більшості робіт точність діагностичних моделей визнається цілком задовільною для більшості практичних застосувань [297, 323].

2.2. Моделі атмосферної дисперсії

Майже третя частка промислових об'єктів, які розміщені на території України є потенційно небезпечними об'єктами, які пов'язані з виробництвом, зберіганням, транспортуванням та переробкою небезпечних хімічних речовин (НХР). Ризик виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру на таких підприємствах надзвичайно високий, оскільки рівень зносу обладнання у більшості хімічних підприємств наближається до критичного.

Аварії на таких об'єктах, як правило, супроводжуються забрудненням навколишнього середовища отруйними речовинами, а також пожежами та вибухами. При цьому площа зони зараження вимірюється квадратними кілометрами, а втрати незахищеного населення в цій зоні може досягати 100%, становлячи сотні і тисячі людей.

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

На даному етапі пожежно-рятувальні підрозділи Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) користуються методикою розрахунку зон хімічного зараження[142], яка не відповідає сучасним вимогам. Так, існуюча методика не призначена для розрахунку кількості токсичної речовини в зоні зараження, неможливий розрахунок зон з верхніми і нижніми концентраційними границями спалахування. В результаті при складанні планів ліквідації аварії випадають з аналізу найважливіші вражаючі фактори, пов'язані з виникненням пожежі або вибуху газоповітряної суміші[112].

Математичному моделюванню атмосферної дисперсії домішок в атмосфері присвячені роботи Згуровського М.З., Берлянда М.Е., Бизової Н.Л., Колмогорова А.Н., Марчука Г.И., Гаргера Е.К., Іванова В.Н., Яглома А.Н., Моніна А.С., Соловей В.В., Прохача Е.Ю., Беляєва М.М тощо[54, 113, 60, 61, 145].

Існуючі моделі можна розділити на три категорії: Ейлерові, Лагранжові і Лагранжові-Ейлерові. Розглянемо кожен з цих класів моделей окремо.

2.2.1. Ейлерові моделі.

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

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_{\alpha} \frac{\partial c}{\partial x_{\alpha}} + \frac{\partial}{\partial x_{\alpha}} \langle u'_{\alpha} c' \rangle = f^s(x, y, z, t), \quad (2.15)$$

де, c – середня концентрація, штрихами позначені пульсаційні складові, а трикутними дужками - оператор усереднення по Рейнольдсу. Права частина рівняння (2.15) описує джерело забруднення.

Параметризація турбулентних потоків концентрації найчастіше здійснюється з використанням тих же напівемпіричних градієнтних співвідношень, які використовувалися раніше для замикання системи рівнянь метеорології (2.6).

До недоліків ейлерових моделей слід віднести наступне:

1. Як відзначається в деяких роботах (наприклад, [309]), використання градієнтних співвідношень не обґрунтоване для ряду турбулентних течій.
2. Навіть в разі застосування градієнтної гіпотези, введення коефіцієнта турбулентної дифузії, строго кажучи, є виправданим на досить великих відстанях від джерела.

Прикладом широко використовується ейлерової моделі є модель CMAQ [255], яка використовується для оцінки мезомасштабного ($\sim 1-100$ км) поширення забруднень, і багато інших.

2.2.2. Лагранжові та лагранжово-ейлерові моделі

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

$$x_i^{n+1} = x_i^n + (u_i + u'_i)\tau, \quad (2.16)$$

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 [113]. 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:

$$c(x, y, z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \sum_{p=1}^N \frac{M_p}{\sigma_{xp}\sigma_{yp}\sigma_{zp}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(x_p - x)^2}{\sigma_{xp}^2}\right] \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(y_p - y)^2}{\sigma_{yp}^2}\right] \times \\ \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(z_p - z)^2}{\sigma_{zp}^2}\right] + \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(z_p + z - 2z_g)^2}{\sigma_{zp}^2}\right] \right\}, \quad (2.17)$$

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

Тут (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 $\Upsilon(t, \lambda, \dots)$ в узагальненому вигляді відповідає за облік процесів радіоактивного розпаду, сухого і вологого осадження. Наприклад, для благородних газів, коли сухе і вологе осадження відсутні $\Upsilon(t, \lambda, \dots) = \exp(-\lambda(t - (i-1)\tau))$, де λ - постійна радіоактивного розпаду. Параметри дисперсії розраховуються на підставі тейлорової теорії турбулентної дифузії [54]. У формулі (2.17) передбачається повне відбиття від поверхні Землі.

Прикладом широко використовуваних в СППР лагранжевих моделей є модель ДИПКОТ [83], яка використовується в системі РОДОС для розрахунку поширення атмосферного перенесення над складною підстильною поверхнею, модель Великобританського гідрометцентру NAME [270], використовувалася для оперативного прогнозування поширення вулканічного пилу над Європою, і багато інших.

На практиці в СППР найчастіше використовуються лагранжево-ейлерові моделі. До цих моделей відносяться, наприклад, моделі РИМПАФ [214], CALPUFF [198], спеціальна версія моделі ДИПКОТ та інші.

У лагранжево-ейлерових моделях тривалий викид речовини представляється у вигляді послідовності миттєвих викидів. У них також спочатку розраховуються координати частинок, відповідних миттєвим викидів, а потім, на підставі співвідношення (2.17), концентрації в обраних точках.

Однак, на відміну від лагранжевих моделей, в лагранжево-ейлерових моделях в рівнянні руху частинки (2.16) не враховується флуктуаційна складова швидкості частинки. Параметри дисперсії $\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$ параметризуються, наприклад, з використанням емпіричних співвідношень виду [214].

$$\sigma_x = \alpha_x l^{b_x},, \quad (2.18)$$

де l - відстань, пройдена часткою, α_x, b_x є функціями категорії стійкості і висоти викиду. Використання цих співвідношень дозволяє зменшити кількість частинок в порівнянні з лагранжевими моделями.

У ряді лагранжево-ейлерових моделей (так звані моделі кінцевого хмари - наприклад, модель АТСТЕП [177]) тривалий викид представляється у вигляді послідовності викидів досить великої тривалості, які вже не можна вважати миттєвими. Тоді розподіл речовини в частках можна вважати гаусовим тільки в вертикальному і в поперечному до вектору швидкості вітру напрямках. Це призводить до більш складним співвідношенням для концентрації в порівнянні з співвідношенням (2.17) і дозволяє ще більше скоротити число частинок.

Перевагою лагранжево-ейлерових моделей є швидкість розрахунку, а недоліком - складність застосування в умовах складної топографії. Стохастичні лагранжеві моделі є більш ресурсомісткими, ніж лагранжево-ейлерові моделі, оскільки їх застосування вимагає використання більшого числа частинок.

Основною перевагою лагранжевих моделей є їх можливість застосування до процесів атмосферного переносу в широкому діапазоні масштабів і до процесів в умовах складної підстильної поверхні. Порівнюючи з ейлеровими моделями, лагранжеві моделі мають перевагу в точності розрахунків, особливо поблизу джерела [173].

Розглянемо приклади широко використовуваних лагранжевих і лагранжево-ейлерових моделей. У моделі АТСТЕП [177], що використовується в системі РОДОС, тимчасова залежність потужності безперервного викиду забруднювача апроксимується ступінчастою функцією, в якій довжини часових проміжків сталості функції однакові і рівні $\Delta t \approx 600$ с. Рішення завдання атмосферної дифузії з викидом, функція джерела якого збігається з функцією джерела вихідної задачі на i -м проміжку сталості ступінчастої функції, апроксимується тривимірним розподілом ("пуфом").

Це гауссовий розподіл в поперечному (по відношенню до вектора швидкості вітру) перетині і витягнуто в поздовжньому напрямку. Початковий розмір пуфа (ширина поздовжнього розподілу) в момент часу t_i^0 , відповідному

закінченню i -го інтервалу постійності функції джерела, приблизно дорівнює $L_i^0 \approx \Delta t$.

Поле вітру переносить кожен пух, а також деформує і перевертає його. Параметри гаусового розподілу, що характеризують розмір пуфа в поперечному і вертикальному напрямку σ_y, σ_z , змінюються згодом за рахунок процесів турбулентного перемішування. Розмір поздовжнього розподілу також збільшується з часом за рахунок турбулентного перемішування на величину $\sigma_x(t): L_i(t) = L_i^0 + \sigma_x(t) + d(t)$. Тут останній член формально враховує деформацію пуфа в горизонтально неоднорідному потоці.

Параметри розподілу $\sigma_y(t), \sigma_z(t)$ змінюються разом з пройденою пухом відстанню по ступеневій залежності (2.18) відповідно до параметризації Карлсруе [214]. На верхній і нижній межі області ставляться умови повного відображення. Початкові підйом і зміщення хмари щодо джерела в разі теплового викиду обчислюються в залежності від початкових температури і швидкості викиду за допомогою формул Брігса в припущеннях про сталість швидкості і градієнта температури по висоті. При цьому не враховується початкове розбавлення викиду на стадії теплового підйому.

У моделі РИМПАФ [214], що входить до складу МАП системи РОДОС, безперервний викид речовини представляється у вигляді послідовності миттєвих викидів - частинок. Частинки переносяться вітром і ростуть за рахунок турбулентного перемішування. На відміну від моделі АТСТЕП розподіл речовини в кожній частинці гауссовий у всіх трьох напрямках. Швидкість зростання параметрів розподілу $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ розраховується з використанням параметризації Карузерса, заснованої на міркуваннях подібності. Відповідно до цієї параметризації, швидкість росту параметрів $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ визначається локальними властивостями турбулентних пульсацій в місці знаходження частки, які, в свою чергу, визначаються масштабом Монина-Обухова, висотою прикордонного шару і висотою над рівнем Землі. Решта

важливі для цієї роботи деталі моделі РИМПАФ повністю аналогічні моделі АТСТЕП.

Таким чином, на відміну від АТСТЕП в РИМПАФ швидкість росту $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ безперервно залежить від параметрів задачі, що є суттєвою перевагою РИМПАФ в порівнянні з АТСТЕП. Але застосування параметризацій РИМПАФ вимагає акуратного визначення всіх необхідних параметрів, що є завданням МПП.

Модель атмосферного перенесення CALPUFF [198] також відноситься до сімейства лагранжево-ейлерових моделей. Загальні принципи розрахунку, застосовувані в цій моделі, схожі з алгоритмами моделей РИМПАФ і АТСТЕП. Однак, на відміну від моделей РИМПАФ і АТСТЕП, CALPUFF описує поширення забруднень не тільки від точкових, але і від лінійних і площадних джерел. Іншою важливою перевагою цієї моделі є те, що вона описує процеси поширення домішок за межами атмосферного прикордонного шару і зворотне залучення домішок в прикордонний шар. Тому модель CALPUFF може застосовуватися для опису процесів переносу з масштабами від 0,1 до 1000 км.

У лагранжевій моделі атмосферного переносу ДИПКОФ [83], що входить до складу МАП системи РОДОС, розраховуються траєкторії стохастичного або детермінованого руху частинок. Автономна версія цієї моделі верифікована на підставі порівняння з даними натурних і лабораторних експериментів по атмосферному переносу домішок. Модель працює в двох режимах: стохастичному (в цьому випадку ДИПКОФ є лагранжевою моделлю) і детерміністичному. В останньому випадку ДИПКОФ є лагранжево-ейлеровою моделлю, і використовувані алгоритми розрахунку практично ідентичні алгоритмам моделей РИМПАФ і АТСТЕП.

У статистичний режимі флуктуаційні компоненти швидкості вітру безпосередньо впливають на траєкторії частинок і, таким чином, рух частинок описується рівнянням (2.16).

Припускаючи, що: а) зміна швидкості і координати частинки є марковим процесом, і б) зміни кожної з компонент швидкості не залежать від двох інших

компонент, флуктуаційна компонента швидкості u'_i оцінюється з одновимірною рівняння Ланжевена

$$du'_i(t) = a_i dt + b_i dW_i, \quad (2.18)$$

де a_i - дрейфовий член в трьох напрямках, ($i = x, y, z$), dW_i - випадкова величина, розподілена по Гауса і з середнім значенням, рівним dt .

Для визначення членів a_i, b_i (дрейфові члени) передбачається, що прискорення частинок не корелюють, а швидкості частинок корелюють тільки на протязі проміжку часу порядку лагранжевого масштабу турбулентності T_{Lui} , який є характерним тимчасовим масштабом енергомістких вихорів.

Припускаючи, що ейлерові статистичні характеристики нам відомі, значення дрейфовий членів знаходимо з рівняння Фоккера-Планка-Колмогорова [15],

$$\frac{\partial P_a}{\partial t} + \frac{\partial(u'_i P_a)}{\partial x_i} = -\frac{\partial(a_i P_a)}{\partial u'_i} + \frac{1}{2} \frac{\partial(b_i^2 P_a)}{\partial u'^2_i},$$

де P_a - ейлерова щільність розподілу ймовірності, яка вважається відомою. У розрахунках використовується спрощення цього рівняння. Вважаючи турбулентність стаціонарною ($\partial P_a / \partial t = 0$) і інтервал Δt досить малим, так що швидкість частинки можна вважати що не залежить від положення ($\partial u'_i / \partial x_i = 0$) отримують такі співвідношення:

$$a_i = \left[\frac{\partial}{\partial u'_i} \left(\frac{1}{2} b_i^2 P_a \right) + \varphi_i \right] / P_a; \quad \partial \varphi_i / \partial u'_i = -u'_i \partial P_a / \partial x_i,$$

які і використовуються в розрахунках. Член b_i оцінюється з теорії подібності Колмогорова: $b_i = (0.5 \cdot C_0 \varepsilon)^{1/2}$, або $b_i = (2\sigma_{ui}^2 / T_{Lui})^{1/2}$. Тут ε - швидкість дисипації турбулентної кінетичної енергії, σ_{ui} - характеризують флуктуації компонент швидкості, а T_{Lui} - лагранжевий масштаб часу, $C_0 \approx 3$ - постійна лагранжевої структурної функції.

Ейлерові функції розподілу горизонтальних компонент швидкості приймаються гауссовими $P_a = (1/\sqrt{2\pi}\sigma_{ui}) \exp(-u'^2_i / 2\sigma_{ui}^2)$. В цьому випадку

передбачається: $\varphi = 0$, $a_1 = -u' / T_{Lu1}$, $a_2 = -u'_2 / T_{Lu2}$. Для визначення щільності розподілу вертикальної компоненти швидкості використовується суперпозиція двох гауссових розподілів, що дозволяє врахувати умови в конвективному прикордонному шарі, що призводять до порушення симетричності функції розподілу.

У разі необхідності в рівнянні руху частинки може окремо враховуватися також низькочастотна флуктуаційна компонента швидкості вітру u'_{ti} (меандрірованіє). Для цього в правій частині рівняння (2.16) слід включити відповідний член. Така необхідність може виникнути, наприклад, при великій різниці між часовим інтервалом, з яких надходять дані чисельного прогнозу погоди (≈ 1 г), і характерним тимчасовим масштабом турбулентних пульсацій, який параметризується за допомогою флуктуаційних компонент швидкості (≈ 10 с). Значення u'_{ti} обчислюється також з рівняння Ланжевена, але з використанням інших статистичних характеристик в порівнянні з тими, що були описані вище. Наприклад, для розрахунків експерименту ETEX, використовувалися статистичні характеристики меандрірованія, отримані в роботі [190] для цього експерименту.

Середні флуктуації компонент швидкості і лагранжевий часовий масштаб турбулентності при нейтральній стратифікації обчислюються в моделі ДИПКОТ з напів-емпіричних співвідношень

$$\begin{cases} \sigma_{u1} = 2,7u_*(1 - 0,5z/h) \\ \sigma_{u2} = 2u_*(1 - 0,5z/h) \\ \sigma_{u3}^2 = 2,5u_*(1 - z/h)^{3/2} \\ T_{Lu3} = 0,4u_*z(1 + 5z/L) / \sigma_w^2, \quad z/h < 0,1 \\ T_{Lu3} = 26\sigma_{u2} / U [\ln(z/z_0)]^2, \quad z/h \geq 0,1 \\ T_{Lu1} = T_{Lu2} = 7,5 * T_{Lu3} \end{cases} \quad (2.19)$$

де z - висота над рівнем Землі, u_* - динамічна швидкість, w_* - конвективний масштаб швидкості, h - висота прикордонного шару. При стійкій і нестійкій стратифікації використовуються аналогічні співвідношення.

Концентрація радіонукліду в довільній просторовій точці тривимірної області (x, y, z) в момент часу t обчислюється як сума від вкладів всіх частинок за формулою (2.17).

Параметри розподілу $\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$ визначаються на підставі теорії однорідної дифузії Тейлора [8]

$$\sigma_{xp}^2 = 2\sigma_{u1}^2 \int_0^t \int_0^\zeta R(\zeta) d\zeta dt = 2\sigma_{u1}^2 T_{Lu1} \left(t + T_{Lu1} \exp\left(-\frac{t}{T_{Lu1}}\right) - T_{Lu1} \right), \quad (2.20)$$

де $R(\zeta) = \exp(-\zeta / T_{Lu1})$ лагранжева автокореляційна функція. Для застосування в разі неоднорідної турбулентності рівняння (2.20) переписується в диференціальній формі і інтегрується з урахуванням в залежності σ_{u1}, T_{Lu1} від положення частки.

Відзначимо, що в метеорології можливість подання флуктуаційної компоненти швидкості u' у вигляді випадкової величини, характеризується тим чи іншим розподілом що є гіпотезою, яку неможливо перевірити в зв'язку з тим, що час, протягом якого швидкість в даній точці можна вважати стаціонарною випадковою функцією, обмежена [54]. Більш загальним підходом до опису таких явищ є теорія гіпервипадкових функцій, представлена в роботах [16, 18].

2.3. 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.

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:

$$\Delta U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0 \quad (2.21)$$

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

I роду (Діріхле): $U(x, y) \Big|_{\Gamma} = f_1(x, y) \quad (2.22)$

II роду (Неймана): $\frac{\partial U}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = f_2(x, y) \quad (2.23)$

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

Поряд з цим визначенням існує й інший критерій гармонічності функції [135]. За теоремою про середнє для гармонічних функцій вимоги неперервності і, навіть, наявності похідних не є апіорі необхідними [138].

Теорема (І. Привалова). Неперервна функція $U(x, y)$ в області D є гармонічна тоді і тільки тоді, коли в будь-якій точці $(x_0, y_0) \in D$, починаючи з достатньо малого радіуса r , виконується властивість середнього, тобто:

$$U(x_0, y_0) = \frac{1}{L_{\ell}} \oint U d\ell, \quad (2.24)$$

де ℓ – коло, що належить D , з радіусом r та центром в точці (x_0, y_0) ;

L - довжина кола ℓ .

Середнє по площі круга з радіусом r також дорівнює значенню гармонічної функції в центрі. Для тривимірного інтегрального критерія гармонічності функції від трьох змінних розглядається середнє по площі сфери або по об'єму кулі відповідно [135].

Саме на цьому критерію і побудована більшість наближених методів відновлення гармонічних функцій.

Відомо, що відповідною заміною шуканої функції до рівняння Лапласа можна звести рівняння Пуассона [135]:

$$\Delta W(x, y) = q; W(x, y)|_{\Gamma} = f(x, y).$$

$$W(x, y) = U(x, y) + \frac{1}{4} q(x^2 + y^2)$$

$$\Delta U(x, y) = 0; U(x, y)|_{\Gamma} = f(x, y) - \frac{1}{4} q(x^2 + y^2).$$

Круг фізичних задач, що описуються цими рівняннями, достатньо великий: теплопровідність (стаціонарний випадок), розподіл електричного (або магнітного) потенціалу, кручення призматичних стержнів, потенціальний рух нестисливої рідини та інші [4].

2.4. Детерміновані методи відновлення гармонічної функції

2.4.1. Метод скінченних різниць

МСП історично з'явився першим як наближений метод розв'язання диференціальних рівнянь з частинними похідними. Задача зводиться до побудови системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) за допомогою апроксимації частинних похідних скінченно-різницевиими аналогами в кожному вузлі сітки, що покриває досліджувану область [99, 118, 135, 139]. Тому цей метод має другу назву - метода сіток. Поява методу завдячує роботі Річардсона у 1910р. В цьому напрямку слід також відмітити фундаментальні роботи Н.С. Бахвалова, Е.А. Волкова, М.К. Гавурина, С.К. Годунова, А.А. Дородніцина, О.О. Ладиженської, Л.А. Люстерника, І.Н. Молчанова, В.С. Рябенського, О.А. Самарського, С.Л. Соболева, А.Н. Тихонова, Н.Н. Яненко, Р. Куранта, П. Лакса, Г. Леві, В. Вазова, Дж. Форсайта, К. Фрідрікса та інших.

В загальному випадку розмірність області, в якій необхідно знайти розв'язок ДРЧП, дорівнює числу незалежних змінних. У випадку (2.21) двох незалежних змінних x та y досліджувана область двовимірна. На першому

етапі розв'язку згідно з характером розв'язуваної задачі, типом крайових умов та геометрії досліджуваної області вибирають сітку вузлових точок. Першими почали застосовувати сітки з квадратними та прямокутними комірками. Нехай досліджувана область покрита сіткою з квадратними комірками із шагом h . Геометричний спосіб покриття показано на рис. 2.1.

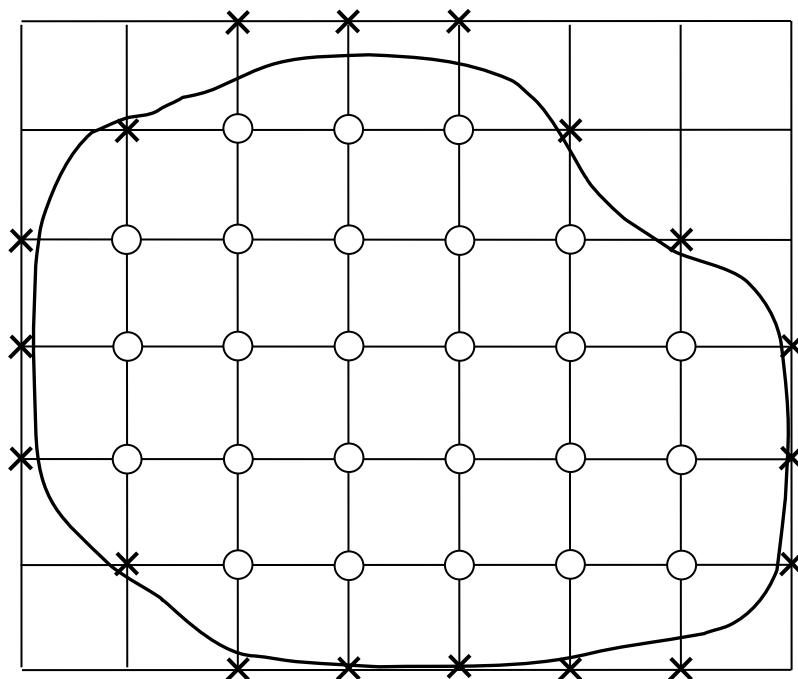


Рис. 2.1 Сіткова дискретизація області з границею Γ

○ - внутрішні вузли; × - граничні вузли

Розглянемо задачу (2.21) – (2.22). Припустимо на деякий час, що шукана функція $U(x, y)$ аналітична. В сусідніх вузлах до деякого внутрішнього вузла (x, y) в обох напрямках по x розкладемо її в ряд Тейлора за формулою:

$$U(x \pm h, y) = U(x, y) + \frac{\partial U(x, y)}{\partial x} (\pm h) + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 U(x, y)}{\partial x^2} h^2 + \dots \quad (2.25)$$

Якщо формулу (2.25) обірвати на третьому члену, то з суми $U(x + h, y)$ і $U(x, y + h)$ отримаємо центральну скінченно-різницеву апроксимацію другої похідної по x для функції $U(x, y)$:

$$\frac{\partial^2 U(x, y)}{\partial x^2} \approx \frac{U(x + h, y) - 2U(x, y) + U(x - h, y)}{h^2} \quad (2.26)$$

Центральна скінченно-різницева апроксимація для другої похідної по y знаходиться аналогічно:

$$\frac{\partial^2 U(x, y)}{\partial y^2} \approx \frac{U(x, y+h) - 2U(x, y) + U(x, y-h)}{h^2}. \quad (2.27)$$

Замінюючи похідні (2.26) і (2.27) в лапласіані (2.21) отримаємо

$$\Delta U(x, y) \approx \frac{1}{h^2} [U(x+h, y) + U(x-h, y) + U(x, y+h) + U(x, y-h) - 4U(x, y)] + O(h^2), \quad (2.28)$$

де похибка такої заміни має порядок $O(h^2)$.

З (2.28) маємо, що диференціальному рівнянню (2.21) відповідає наступне рівняння в скінченних різницях, що має вигляд арифметичного середнього чотирьох значень:

$$U(x, y) = \frac{1}{4} [U(x+h, y) + U(x-h, y) + U(x, y+h) + U(x, y-h)]. \quad (2.29)$$

Сукупність вузлів, які залучаються до заміни (2.21) в будь-якому внутрішньому вузлі (x, y) різницевою схемою, називають шаблоном. Геометрична схема скінченно-різницевого п'ятиточкового шаблону (2.28) показана на рис. 2.2а. Відмітимо, що двовимірний шаблон будується суперпозицією двох одновимірних: по x (2.26) та по y (2.27).

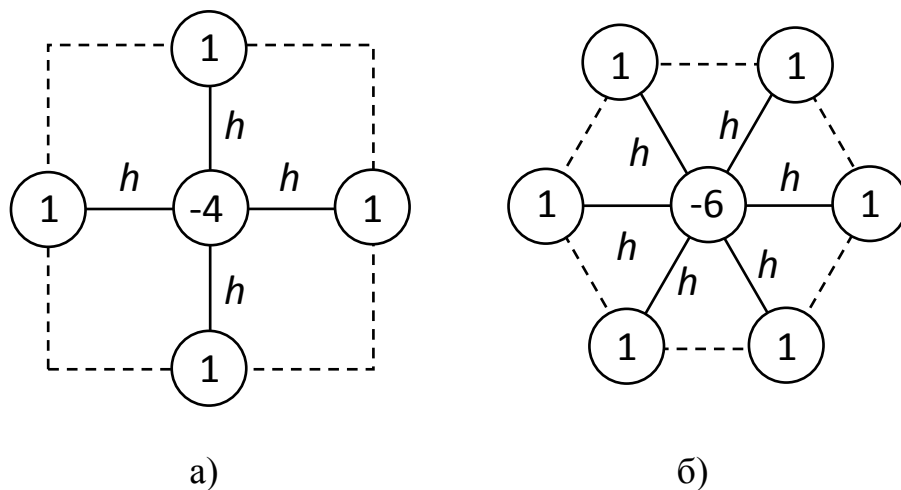


Рис. 2.2. Шаблони МСР для рівномірної сітки

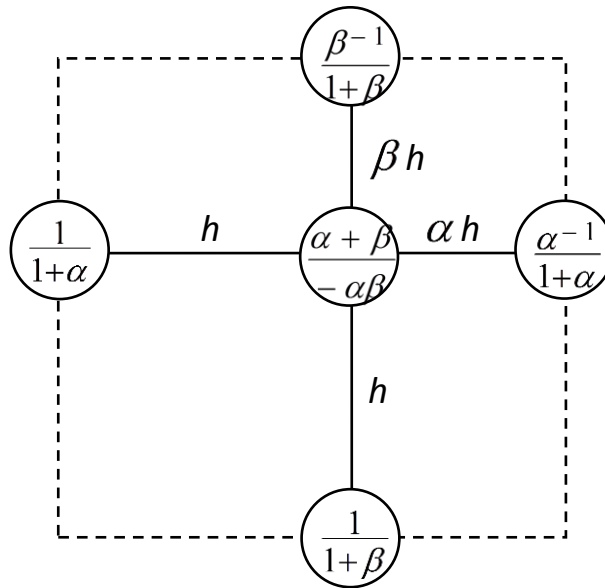


Рис. 2.3. Шаблон МСР для нерівномірної ортогональної сітки

Використовуються й інші шаблони [57, 124, 45] в залежності як від типу граничних умов, так і від геометрії області. Шаблон для задачі (2.21)-(2.22) у випадку рівномірної трикутної сітки показаний на рис. 2.2б; шаблон для задачі (2.21)-(2.22), що застосовується у випадку нерівномірної ортогональної сітки або для апроксимації поблизу границі – на рис. 2.3. Барицентрична інтерпретація коефіцієнтів шаблонів показує, які маси треба помістити у вузли шаблону, щоб центр ваги був в контрольній точці.

Складемо систему рівнянь (2.29) для всіх внутрішніх точок $U(x_i, y_j)$:

$$U_{ij} = \frac{1}{4} (U_{i+1,j} + U_{i-1,j} + U_{i,j+1} + U_{i,j-1}) \quad (2.30)$$

В граничних вузлах сітки A_h можна покласти

$$U(A_h) = U(A) = f_1(A), \quad (2.31)$$

де A - найближча до A_h точка границі Γ (рис.2.4).

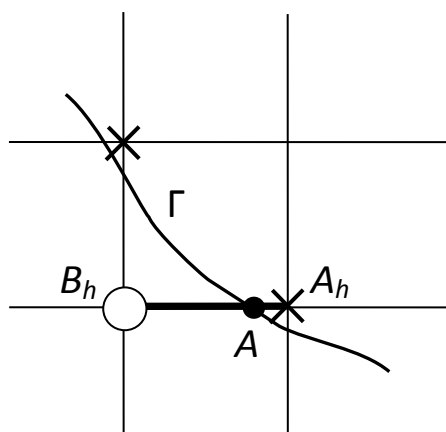


Рис. 2.4. Апроксимація МСР в граничних вузлах

Розв'язок системи рівнянь (2.30) і буде розв'язком задачі (2.21) – (2.22).

Система (2.30) є неоднорідною. Вона завжди сумісна і має єдиний розв'язок. Методи розв'язування систем різницевих рівнянь поділяються на прямі та ітераційні. До прямих методів можна віднести правило Крамера чи метод виключення Гаусса. Прямі методи дають змогу отримати точний розв'язок за наперед визначену кількість арифметичних операцій з точністю до похибок округлення. Проте, внаслідок того, що системи рівнянь сильно розріджені, прямі методи мають відповідні модифікації [100] (метод Холецкого, метод LDL^T -факторизації, метод зворотного ходу Гаусса та інші). Прямі методи ефективні при розв'язанні СЛАР відносно невисоких порядків, у випадку великих та свержвеликих СЛАР прямі методи неефективні. До того ж при криволінійній границі Γ , значення функції U в граничних вузлах сітки обрані занадто грубо.

Тому найчастіше використовують ітераційні методи, в яких за допомогою багаторазового повторення досить простого алгоритму отримують результат, який поступово наближається до шуканого точного розв'язку, з послідовним коригуванням і граничних значень. [171]. Для цього спочатку вибирається початкове (нульове) наближення функції $U_{ij}^{(0)}$. Зазвичай це середнє значення по границі Γ . Далі функція у внутрішніх вузлах k -го наближення $U_{ij}^{(k)}$

($k = 1, 2, \dots$) області знаходиться за формулою (2.30) арифметичним середнім чотирьох сусідніх значень $(k-1)$ -го наближення. Перерахування $U_{ij}^{(k)}$ проводиться за один крок при довільному порядку обходу усіх вузлів, наприклад, по стовпчиках або по рядках від якогось краю. Ітераційний процес закінчується коли $\left| U_{ij}^{(k+1)} - U_{ij}^{(k)} \right| \leq \varepsilon$ для всіх i і j , де ε - наперед задана похибка обчислень. Коли протягом реалізації обчислень на кожному даному кроці використовують лише результати попереднього кроку, то цей метод пов'язують з ім'ям Якобі і називають методом одночасного зміщення. Цей метод дуже повільний, проте він завжди сходиться до точного розв'язку [187], незалежно від вибору початкового наближення. Питання лише у кількості ітерацій. Чим краще нульове наближення, тим менше необхідно ітерацій. Обчислення також прискорюються, якщо на кожній ітерації використовувати уточнені вузлові значення відразу ж після їх отримання (вже на даному кроці). Така ітераційна схема називається процесом Лібмана (методом послідовних зміщень). Щодо граничних вузлів A_h сітки, то, прийнявши (2.31) за нульове наближення, значення функції $U(A_h)$ послідовно виправляємо за архімедовим "правилом важеля" (рис. 2.4). Обчислювальну формулу можна записати у вигляді:

$$U^{(k)}(A_h) = U(A) + \frac{U^{(k-1)}(B_h) - U(A)}{h + \delta} \delta, \quad (k = 1, 2, \dots),$$

де A - найближча до A_h точка границі Γ ; B_h - найближчий до A_h внутрішній вузол сітки; δ - відстань між A та A_h , при чому $\delta > 0$, якщо A_h внутрішня точка досліджуваної області, $\delta < 0$ - якщо A_h зовнішня.

Швидкість збіжності та можлива точність МСР залежать окрім як від початково прийнятого наближеного значення функції (нульовий крок), ітераційного методу, густини сітки, так і від вибраного геометричного шаблону.

За останні десятиліття більшу популярність отримали сітки з трикутними

комірками. В даному випадку маємо семивузловий скінченно-різницеви́й шаблон [45] (рис. 2.26). Такі сітки більш гнучкі і краще адаптуються до геометрії області.

Важливим напрямком теорії МСР є побудова різницеви́х розв'язків з високим порядком точності. Тут можна виділити два основних підходи:

1. Використання багатоточкових різницеви́х схем.
2. Застосування екстраполяційного методу Річардсона, який використовує розв'язки задач на послідовності вкладених сіток.

Слід відзначити, що обчислювальна реалізація багатоточкових різницеви́х схем є більш складною задачею. У той же час в екстраполяційному методі Річардсона використовуються найпростіші різницеві схеми. Складаючи лінійну комбінацію розв'язків цих різницеви́х схем на послідовності сіток, можна отримати розв'язок з високим порядком точності.

Привабливість МСР в тому, що його можна застосувати до будь-якої системи диференційних рівнянь, але нажалі урахування граничних умов задачі та геометрії досліджуваної області - операція, яка буває громіздкою і часто важко програмується.

2.4.2. Метод скінченних елементів

Хорошою альтернативою розв'язання ДРЧП є МСЕ [115, 116, 73, 151, 172, 179, 181], що був започаткований Р. Курантом та розвинутий Дж. Аргірісом, Р. Клафом, Г. Мартином, Дж. Сингом, М. Тернером, Л. Топпом. Вагомий внесок у розвиток МСЕ зробили Б.Г. Гальоркін та С.Г. Міхлін. Важливі результати мають І.І. Ворович, В.Г. Корнеєв, Г.І. Марчук, Ж.Л. Обен, Л.О. Розин, Л.А. Руховець, К. Фрідрікс. Плідні праці в цьому напрямку і у українських фахівців: В.А. Баженов, А.Т. Василенко, В.Н. Вовк, Я.М. Григоренко, В.С. Дейнека, С.Ю. Єременко, Б.Я. Кантор, В.В. Киричевський, В.Н. Кислоокій, Б.М. Лісіцин, М.В. Марчук, І.Н. Молчанов, Ю.І. Немчинов, Л.Д. Николенко, Я.Г. Савула, О.С. Сахаров, І.В. Сергієнко, В.В. Скопечський, А.В. Фролов, А.Н. Хомченко, Г.А.

Шинкаренко та інші.

В наш час МСЕ представляє собою комбінацію ідеї скінченно-елементної дискретизації з тим чи іншим варіаційним методом або методом зважених нев'язок [179, 239, 249, 265, 166]. Найбільш відомі методи розв'язання ДРЧП – це методи Ритца, Бубнова-Гальоркіна. В спрощеному трактуванні в варіаційних та проєкційних методах наближений розв'язок шукається у вигляді:

$$X = \sum_{k=1}^N c_k P_k, \quad (2.32)$$

де c_k - відомі параметри задачі; P_k - називаються базисними функціями. В проєкційних методах в якості базисних функцій традиційно використовували алгебраїчні та тригонометричні поліноми. Проте розв'язання багатьох таких задач на ЕОМ виявилось не можливим, у зв'язку з тим, що похибки округлення в ході обчислень "забивають" правильний розв'язок [3].

В 1943 р. Р. Курантом [261] вперше було запропоновано розв'язання задачі кручення пружного стержня довільного перетину на основі принципу мінімізації потенціальної енергії за допомогою дискретизації досліджуваної області на трикутники та побудови інтерполяційних поліномів на кожному з трикутників. Це приводить розв'язання задачі до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Перший формальний виклад методу було дано в роботі Тернера, Клафа і Топпа [321].

Побудова скінченно-елементної моделі розв'язку складається з декількох етапів. По-перше, проводиться дискретизація досліджуваної області: фіксується скінченне число точок (вузлові точки або просто вузли), в яких визначають значення функції. Ці точки обумовлюють розбиття області на скінченне число підобластей (які називаються скінченні або дискретні елементи), що не перетинаються. Таким чином область дискретизується сукупністю дискретних елементів, зв'язаних між собою належним чином у вузлах на границі елементів. Далі шукану функцію локально апроксимують на кожному елементі неперервними функціями, що однозначно визначаються значеннями функції

або значеннями її похідних у вузлових точках елемента.

Дискретні елементи мають просту геометричну форму: найчастіше використовують трикутники, квадрати, прямокутники. Завдяки цьому МСЕ отримав велику популярність в багатьох областях фізики та техніки.

Важливою особливістю МСЕ є те, що апроксимація функції на елементі за допомогою її вузлових значень не залежить від поведінки функції на інших елементах. Тобто локальну апроксимацію функції на дискретному елементі можна розглядати ізольовано від всій сукупності.

Фактично, якщо вибрано тип дискретного елемента і визначені базисні функції, то наступні розрахунки – це справа техніки. Проте вибір базисних функцій представляє собою питання, що потребує розумного підходу до вирішення, а отже неможливе без втручання людини [115].

Ще Курант запропонував використовувати спеціальні локальні базисні функції. Основна їх особливість в МСЕ полягає в тому, що кожна з них "ортогональна" майже всім іншим, крім деякого скінченного числа, що не залежить від їх загальної кількості. Тоді після ансамблювання дискретних елементів розв'язуючі СЛАР, що складаються з матриць усіх елементів, розріджені, "майже" діагональні. Такі матриці вимагають менше об'єму пам'яті ЕОМ, так як не має потреби зберігати нульові коефіцієнти. Отримані в МСЕ сіткові апроксимації близькі по структурі до звичайних різницевих схем, а в деяких найпростіших випадках співпадають з ними.

В якості базисних функцій беруться кусково-поліноміальні функції, які в кожній комірці сітки є інтерполяційними поліномами Лагранжа (вузлові значення включають тільки значення функції) або Ерміта (вузлові значення включають ще і значенні похідних) [151]. В роботі розглядаються тільки лагранжеві елементи, тому надалі всі вимоги та характеристики базисів наведені для цих елементів.

В роботах Ф. С'ярле [181] та Д. Ши [239] показано, що норма похибки скінченно-елементного розв'язку завжди буде менше за норму похибки для відповідної інтерполяційної функції, помноженої на деяку постійну, тому

інтерполяційні властивості базисних функцій мають важливе значення при розв'язанні задач.

Незалежно від геометрії дискретного елемента базисні функції повинні вибиратися таким чином, щоб забезпечувалася неперервність шуканої величини на границі розділу елементів. Тобто повинен зберігатися закон зміни функцій вздовж границь. Два вузли єдиним чином визначають лінійну зміну, три вузли – квадратичну, чотири – кубічну.

Порядок поліному залежить від числа використаних в кожному вузлі елемента даних про шукану функцію. При заданих значеннях функції у вузлових точках в загальному випадку кількість вузлів на сторонах дискретного елемента визначає степінь поліному. Сукупна кількість вузлів дискретного елемента визначає кількість членів поліному для однозначного знаходження коефіцієнтів поліному. Питання про те, які члени поліному треба залишити, не є однозначним [115, 151, 68], і як показує досвід для різних задач потребує окремого аналізу [235].

Для усіх функцій $P_i(x, y)$ базису дискретного елемента повинна виконуватися наступна інтерполяційна умова:

$$P_i(x_j, y_j) = \delta_{ij}, \quad (i, j = \overline{1, N}), \quad (2.33)$$

де δ_{ij} - символ Кронекера, N - кількість вузлів дискретного елемента.

В межах дискретного елемента повинен зберігатися ваговий баланс:

$$\sum_{i=1}^N P_i(x, y) = 1. \quad (2.34)$$

Для тієї чи іншої проекційної або варіаційної задачі вимоги, що пред'являються до базисів, доповнюються відповідними умовами задачі.

Лінійні базисні функції на трикутнику

Найпростішими та найпершими є симплекс-елементи. Це відрізок прямої

лінії для одномірного, трикутник для двовимірного та тетраедр для тривимірного випадку [82]. Особливості їх застосування розглянуті в роботах Галлагера [273], Тернера [321], Вісмана [325], Одена [297], Феліппа [270], Фріда [271].

Двовимірному симплекс-елементу відповідає лінійна по x та по y інтерполяційна функція від двох змінних:

$$U(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y. \quad (2.35)$$

Нехай (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) – координати вузлів симплекса, з прийнятою в літературі нумерацією проти годинникової стрілки. Вузлові значення позначимо через U_1, U_2, U_3 (рис.2.5).

Отже згідно з прийнятою інтерполяцією (2.35) маємо систему:

$$\begin{cases} U_1 = \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 y_1 \\ U_2 = \alpha_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 y_2 \\ U_3 = \alpha_1 + \alpha_2 x_3 + \alpha_3 y_3 \end{cases}$$

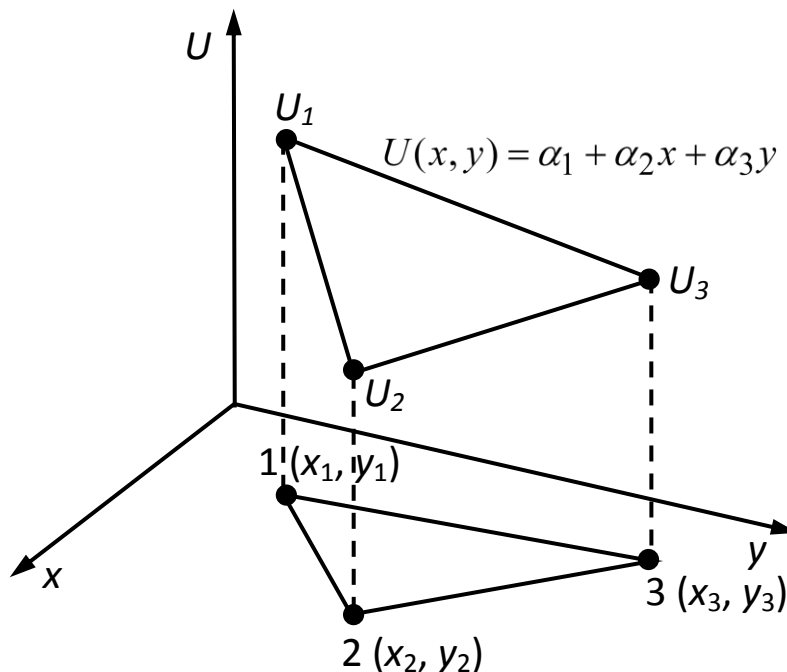


Рис. 2.5. Двовимірний симплекс-елемент

Тоді маємо:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2A} [(x_2 y_3 - x_3 y_2) U_1 + (x_3 y_1 - x_1 y_3) U_2 + (x_1 y_2 - x_2 y_1) U_3],$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2A} [(y_2 - y_3) U_1 + (y_3 - y_1) U_2 + (y_1 - y_2) U_3],$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{2A} [(x_3 - x_2) U_1 + (x_1 - x_3) U_2 + (x_2 - x_1) U_3],$$

де $2A$ - це подвійна площа симплекса 123, що виражається через координати трьох вузлів співвідношенням:

$$2A = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}$$

Підставимо значення $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ в (2.35) та приведемо до виду (2.32):

$$U(x, y) = P_1 U_1 + P_2 U_2 + P_3 U_3, \quad (2.36)$$

$$\text{де } P_1 = \frac{1}{2A} (a_1 + b_1 x + c_1 y), \begin{cases} a_1 = x_2 y_3 - x_3 y_2 \\ b_1 = y_2 - y_3 \\ c_1 = x_3 - x_2 \end{cases}$$

$$P_2 = \frac{1}{2A} (a_2 + b_2 x + c_2 y), \begin{cases} a_2 = x_3 y_1 - x_1 y_3 \\ b_2 = y_3 - y_1 \\ c_2 = x_1 - x_3 \end{cases} \quad (2.37)$$

$$P_3 = \frac{1}{2A} (a_3 + b_3 x + c_3 y), \begin{cases} a_3 = x_1 y_2 - x_2 y_1 \\ b_3 = y_1 - y_2 \\ c_3 = x_2 - x_1 \end{cases}.$$

Функції $P_i(x, y)$, $i = \overline{1,3}$ називаються базисними функціями або координатними функціями, або функціями форми, бо вони мають вигляд інтерполянта на елементі. Легко бачити, що для цього базису виконуються умови (2.33) та (2.34).

Як вже зазначалося в МСЕ кожний елемент розглядається окремо з

наступним їх ансамблюванням, тому кожний елемент зручно розглядати в локальній системі координат, прив'язаної до геометрії дискретного елемента. Для трикутного елемента найбільш зручні та природні барицентричні координати [279]. Положення будь-якої точки $M(x, y)$ всередині трикутника 123 (рис. 2.6) можна однозначно задати трьома числами ξ_1, ξ_2, ξ_3 , що зіставлені із декартовими координатами вершин трикутника (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) [48]:

$$x = \xi_1 x_1 + \xi_2 x_2 + \xi_3 x_3; \quad (2.38)$$

$$y = \xi_1 y_1 + \xi_2 y_2 + \xi_3 y_3.$$

$$\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1. \quad (2.39)$$

Це означає, що якщо в вершинах трикутника помістити деякі маси ξ_1, ξ_2, ξ_3 , то координати центра ваги трикутника M будуть задаватися трьома числами ξ_1, ξ_2, ξ_3 . Кожній сукупності координат ξ_1, ξ_2, ξ_3 (котрі взагалі кажучи не є незалежними) відповідає лише єдина пара декартових координат (x, y) . Барицентричні координати на симплексі є окремим випадком загальних однорідних координат. Вони афінно інваріантні.

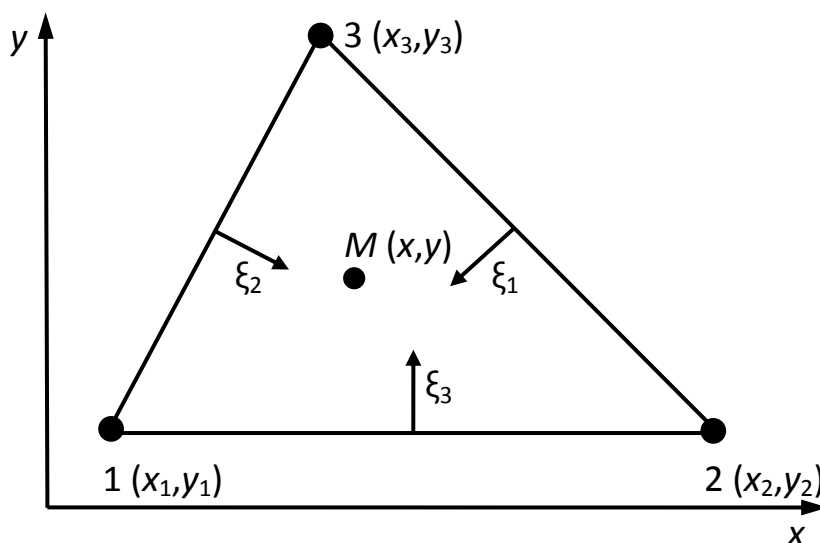


Рис.2.6. Барицентричні координати точки $M(x, y)$

Зауважимо, що вузол 1 має координати $\xi_1 = 1$, $\xi_2 = \xi_3 = 0$ і т.д. Лінійний зв'язок між барицентричними та декартовими координатами означає, що лінії $\xi_1 = \text{const}$ представляють собою прямі, паралельні стороні 2-3, на якій $\xi_1 = 0$. Барицентричні координати, в залежності від розмірності простору, описують лінійну зміну довжини елемента (одновимірний випадок), площі (двовимірний випадок) або об'єму (тривимірний випадок).

Розв'язуючи рівняння (2.38) і (2.39) відносно ξ_i отримуємо:

$$\xi_i = \frac{1}{2A} [a_i + b_i x + c_i y], \quad i = \overline{1,3}. \quad (2.40)$$

де $2A = x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)$,

$$a_1 = x_2 y_3 - x_3 y_2; \quad b_1 = y_2 - y_3; \quad c_1 = x_3 - x_2. \quad (2.41)$$

Інші коефіцієнти a_2, b_2, c_2 та a_3, b_3, c_3 мають вигляд (2.41), індекси яких визначаються циклічною перестановкою.

Таким чином з (2.37) та (2.40) маємо:

$$P_1(x, y) = \xi_1, \quad P_2(x, y) = \xi_2, \quad P_3(x, y) = \xi_3. \quad (2.42)$$

Барицентричні координати, як вже зазначалося, вводяться, виходячи з міркувань, пов'язаних з розміщенням центру мас. Проте існують й інші підходи. Найбільш наочним є геометричний підхід (рис. 2.7) [48].

Враховуючи (2.42) та можливість знаходження площі через визначник третього порядку [170] маємо:

$$P_1 = \xi_1 = \frac{\text{площа } \Delta M23}{\text{площа } \Delta 123} = \frac{1}{2A} \begin{vmatrix} 1 & x & y \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}$$

$$P_2 = \xi_2 = \frac{\text{площа } \Delta M31}{\text{площа } \Delta 123} = \frac{1}{2A} \begin{vmatrix} 1 & x & y \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_1 & y_1 \end{vmatrix}, \quad (2.43)$$

$$P_3 = \xi_3 = \frac{\text{площа } \Delta 12M}{\text{площа } \Delta 123} = \frac{1}{2A} \begin{vmatrix} 1 & x & y \\ 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \end{vmatrix}.$$

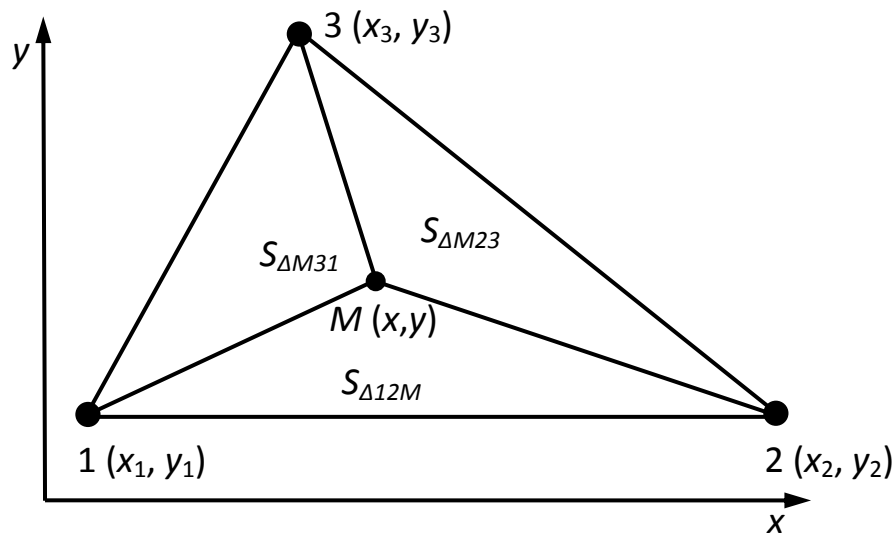


Рис. 2.7. Геометричний підхід до знаходження базису двовимірного симплекс-елементу

Слабкою стороною МСЕ є те, що він представляє собою схему дискретизації всього тіла, вимагаючи великого об'єму пам'яті та значної потужності ЕОМ для громіздких розрахунків, навіть при розв'язанні простих задач. МСЕ доцільно та ефективно застосовувати при наявності розробленого спеціального пакету програм.

Основного недоліку МСЕ, як і МСР (дискретизації всієї області) позбавлений метод граничних елементів (МГЕ) [51, 108]: диференціальні рівняння апроксимуються еквівалентною системою інтегральних рівнянь, що включають лише значення змінних на границі досліджуваної області. Отже в даному випадку дискретизації потребує не вся область, а лише границя, так що область стає одним великим складним "елементом" в сенсі МСЕ.

Однак побудова граничних інтегральних рівнянь і їх розв'язок можуть виявитися більш складними математично, ніж розв'язання переліченими вище методами.

2.5. Розвиток інтерполяційних ідей в МСЕ

Область застосування МСЕ суттєво розширилась, коли наприкінці 60-х років було показано, що рівняння, які визначають елементи в задачах будівельної механіки, розповсюдження тепла, гідромеханіки, можуть бути отримані за допомогою таких варіантів методу зважених нев'язок, як метод Гальоркіна та метод найменших квадратів. Визначення цього факту зіграло важливу роль в теоретичному обґрунтуванні МСЕ, тому що дозволило застосовувати його при розв'язуванні багатьох типів диференціальних рівнянь. Таким чином, МСЕ із чисельної процедури розв'язування задач будівельної механіки перетворився в загальний метод чисельного розв'язування диференціальних рівнянь.

З появою унітарного базису білінійної інтерполяції відновився інтерес до прямокутних (квадратних) комірок. Стало зрозуміло, що при дискретизації плоскої області довільної конфігурації квадратні комірки зручні всередині області, а трикутні – у приграничній смузі. Інша можливість апроксимувати криву границю області пов'язана з введенням криволінійних координат у чотирикутник. Перша спроба використати білінійні функції форми для введення неортогональних координат була зроблена Тайгом в 1961 р. [311]. Він застосував білінійний базис для деформування прямокутника у довільний чотирикутник. В 1964 р. білінійні апроксимації з тією ж метою успішно застосовували Галлагер, Раттінгер і Арчер [195]. В 1966 р. Айронс узагальнив цю ідею на інші скінченні елементи [286]. Подальший розвиток метода пов'язаний з працями О.Зенкевича [56, 62, 327, 328].

Так з'явилась зручна форма відображення скінченного елемента (СЕ) – параметричне відображення, коли залежність між локальними координатами елемента (ξ, η) та глобальними координатами (x, y) записується з використанням інтерполяції того ж виду, що і функція, якою апроксимується польова функція (ізопараметричне перетворення).

Розглянемо процедуру побудови базису білінійної інтерполяції матричним методом. У *локальній системі координат* $\xi O \eta$ такий елемент – це

квадрат розмірами 2×2 з чотирма вузлами у вершинах, де $|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$ (рис. 2.8).

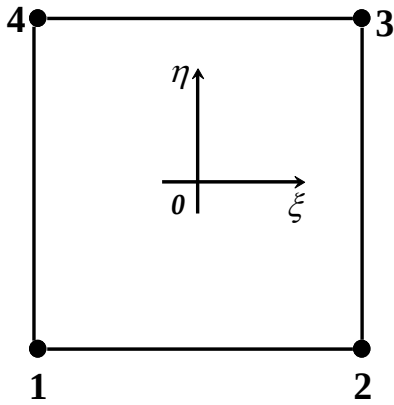


Рис.2.8. Елемент з білінійним базисом

Матричний метод був розвинений в працях Вандермонда, Коші, Лагранжа стосовно задач інтерполяції функцій одного аргументу. У МСЕ він вважається основним методом побудови інтерполяційних поліномів для функцій двох і трьох аргументів. Процедура побудови базису для СЕ з 4-ма вузлами починається з вибору 4-параметричного поліному з двома аргументами:

$$\varphi(\xi, \eta) = \alpha_1 + \alpha_2 \xi + \alpha_3 \eta + \alpha_4 \xi \eta. \quad (2.44)$$

Базисні функції білінійної інтерполяції $N_i(\xi, \eta)$ ($i=1,2,3,4$) повинні задовольняти інтерполяційній гіпотезі

$$N_i(\xi_k, \eta_k) = \delta_{ik}, \quad i, k = \overline{1,4}, \quad (2.45)$$

де δ_{ik} – символ Кронекера.

Використання (2.45) приводить до системи лінійних алгебраїчних рівнянь 4×4 відносно параметрів α_j :

$$\alpha_1 + \alpha_2 \xi_k + \alpha_3 \eta_k + \alpha_4 \xi_k \eta_k = \delta_{ik}, \quad (2.46)$$

де i – номер базисної функції;

k – номер вузла.

Знайдемо невідомі параметри α_j і запишемо інтерполяційний поліном (2.44) у вигляді [148]:

$$\varphi(\xi, \eta) = N_1(\xi, \eta)\Phi_1 + N_2(\xi, \eta)\Phi_2 + N_3(\xi, \eta)\Phi_3 + N_4(\xi, \eta)\Phi_4 = [N_i]\{\Phi_i\}, \quad (2.47)$$

де $[N_i]$ – матриця-рядок базисних функцій СЕ ($i=1,2,3,4$);

$\{\Phi_i\}$ – матриця-стовпець граничних значень функції, що інтерполюється.

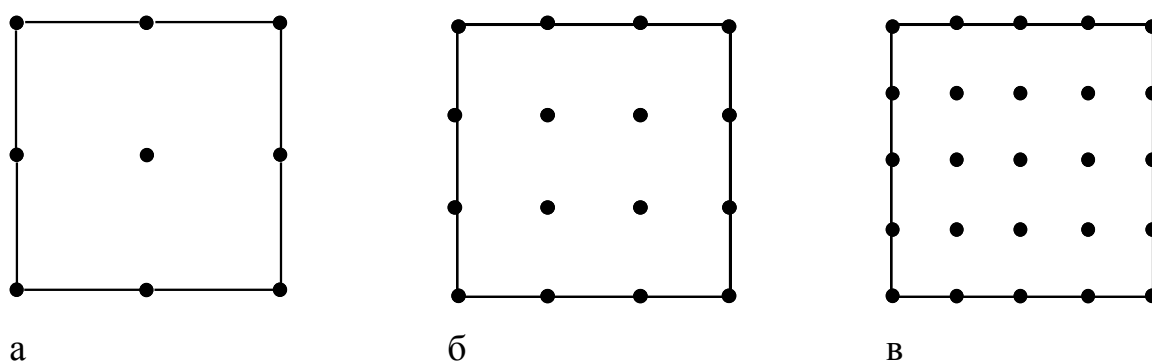
Отримуємо білінійний базис на СЕ-4:

$$N_i = \frac{1}{4}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta), \quad i = 1, 2, 3, 4; \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1. \quad (2.48)$$

В напрямках координатних осей функція змінюється лінійно (рис. 2.8). Звідси назва – білінійна інтерполяція.

Білінійний елемент успішно використовується для апроксимації функцій з малим градієнтом. Для функцій, що швидко змінюються, отримати більш точну апроксимацію у МСЕ можна послідовним подрібненням сітки білінійних елементів. Але це призводить до зростання обчислювальної похибки. З іншого боку, збільшення точності наближення може бути досягнуто послідовним збільшенням степеню базисних функцій [62]. 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 [56, 62, 217].

Для апроксимації функцій двох аргументів можна використовувати традиційний спосіб, тобто побудувати інтерполяцію за Лагранжем (факторизація двох одновимірних поліномів Лагранжа відповідного степеня) і отримати лагранжеві скінченні елементи (рис.2.9).



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

Рис.2.9. 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 ансамблюванні скінченних елементів. Ці недоліки відсутні у *серендипових скінченних елементів (CSE)*. Первісна мета створення CSE – можливість перетворення довільного чотирикутника в квадрат і зменшення обсягу обчислень за рахунок вилучення “зайвих” внутрішніх вузлів. Такий криволінійний елемент з’явився при розрахунках споруд в роботі [267] і отримав назву «серендиповий скінченний елемент».

Висновок до розділу 2

1. Сучасні вимоги до ліквідації аварій пов’язаних з викидом(виливом) небезпечних хімічних речовин передбачає наявність інформації, як про саму хімічну речовину, площу зараження так і про величину приземної концентрації в зонах зараження.
2. Розглянуто і проведений аналіз моделей атмосферної дисперсії, які найбільш часто використовуються в сучасних системах підтримки прийняття рішень екологічної безпеки.
3. Розглянутий підхід до відновлення гармонічної функції за допомогою детермінованих методів таких як метод скінченних різниць, метод скінчених елементів. Такий підхід дозволяє отримати значення функції на більш широкій множині точок.
4. Приведений розвиток інтерполяційних властивостей у методі скінчених елементів. Завдяки чому область застосування метода скінчених елементів суттєво розширилася. Це дозволили застосовувати його для розв’язання багатьох типів диференціальних рівнянь. Таким чином, метод скінчених елементів із чисельної процедури розв’язання задач будівельної механіки перетворився в загальний метод чисельного розв’язування диференціальних рівнянь.

РОЗДІЛ 3

СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНІ МОДЕЛІ КОНЦЕНТРАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРІ ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

3.1. Серендипові скінченні елементи

Серендипові скінченні елементи вперше були отримані у 1968 р. Ергатудисом, Айронсом, Зенкевичем і Ахмадом [242, 267, 268], які розглянули множину «ізопараметричних» елементів з криволінійними границями. Винахідливим підбором поліномів за допомогою заданих граничних точок ці автори несподівано відкрили, як за допомогою спеціального перетворення координат випрямляти викривлений елемент. Зенкевич запропонував вдалу назву “serendipity” family, і цей термін зразу ж прижився в науково-технічній літературі. Назва цих елементів походить від англійського слова “**serendipity**”, яке має значення - “дар несподіваних відкриттів, знахідок”. Це слово ввів у англійську мову в 1754 р. англійський письменник Горацій Уолпол, який у своєму приватному листі переказав перську казку “Три принци зі Серендипа” (Serendip – стародавня назва острова Цейлон) [190].

За допомогою матричних методів на серендипових елементах отримані базиси, які називаються **стандартними** [324]. Розглянемо основні властивості наведених в літературі [56, 62, 217] базисів вищих порядків.

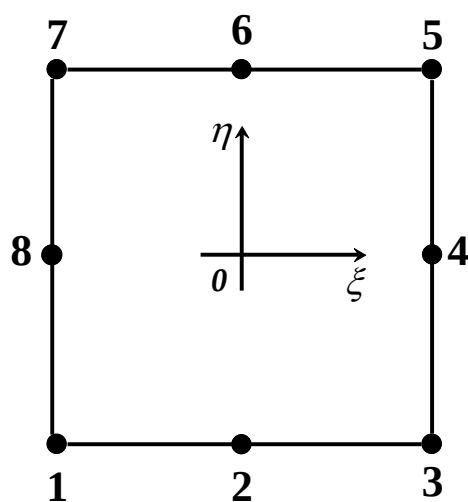


Рис.3.1. CSE-8

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

Біквадратичний елемент

серендипової сім'ї – CSE-8 (рис. 3.1). В англійській літературі [243] його позначають Q8 (quadrilateral).

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:

$$\varphi(\xi, \eta) = \alpha_1 + \alpha_2 \xi + \alpha_3 \eta + \alpha_4 \xi^2 + \alpha_5 \xi \eta + \alpha_6 \eta^2 + \alpha_7 \xi^2 \eta + \alpha_8 \xi \eta^2, \quad (3.1)$$

де α_i ($i = \overline{1, 8}$) невідомі коефіцієнти, які знаходять методом оберненої матриці [250, 271].

Розв'язавши СЛАР і виконавши відповідні перетворення, отримуємо функції форми у наступному вигляді (*стандартна модель*) [171]:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(\xi_i \xi + \eta_i \eta - 1), \quad i = 1, 3, 5, 7; \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1. \quad (3.2)$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta), \quad i = 2, 6; \quad \eta_i = \pm 1. \quad (3.3)$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{2}(1 - \eta^2)(1 + \xi_i \xi), \quad i = 4, 8; \quad \xi_i = \pm 1. \quad (3.3)$$

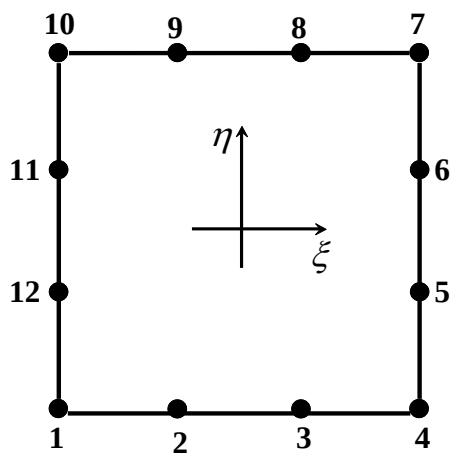


Рис.3.2. ССЕ-12

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

Бікубічний елемент

серендипової сім'ї – ССЕ-12 (рис. 3.2).

В англійській літературі його позначають Q12.

ССЕ з бікубічною інтерполяцією – це квадрат з 12-ма регулярно розташованими вузлами і система базисних функцій, яка відповідає цим вузлам. Інтерполяційний поліном для ССЕ-12 має 12 параметрів:

$$\begin{aligned} \varphi(\xi, \eta) = & \alpha_1 + \alpha_2 \xi + \alpha_3 \eta + \alpha_4 \xi^2 + \alpha_5 \xi \eta + \alpha_6 \eta^2 + \alpha_7 \xi^3 + \alpha_8 \xi^2 \eta + \\ & + \alpha_9 \xi \eta^2 + \alpha_{10} \eta^3 + \alpha_{11} \xi^3 \eta + \alpha_{12} \xi \eta^3, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де α_i ($i = \overline{1, 12}$) – невідомі коефіцієнти, які знаходять методом оберненої матриці.

Базисні функції у *стандартній моделі* для ССЕ-12 записуються наступним чином [267]:

$$N_i = \frac{1}{32} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (9\xi^2 + 9\eta^2 - 10), \quad i = 1, 4, 7, 10; \quad \xi_i; \eta_i = \pm 1. \quad (3.5)$$

Для вузлів на сторонах 1-4 і 7-10:

$$N_i = \frac{9}{32} (1 - \xi^2) (1 + \eta_i \eta) (1 + 9\xi_i \xi), \quad i = 2, 3, 8, 9; \quad \xi_i = \pm \frac{1}{3}; \quad \eta_i = \pm 1. \quad (3.6)$$

Для вузлів на сторонах 4-7 і 10-1:

$$N_i = \frac{9}{32} (1 - \eta^2) (1 + \xi_i \xi) (1 + 9\eta_i \eta), \quad i = 5, 6, 11, 12; \quad \xi_i = \pm 1; \quad \eta_i = \pm \frac{1}{3}. \quad (3.7)$$

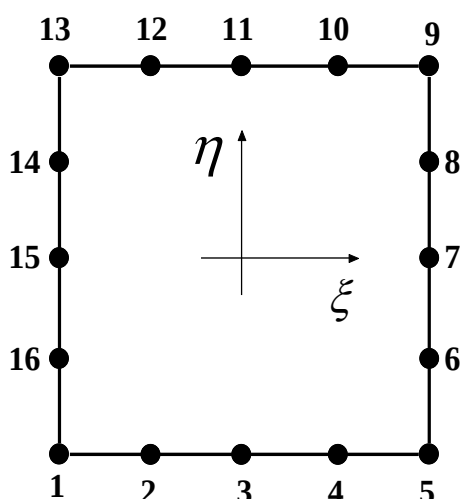


Рис.3.3. ССЕ-16

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

Скінченний елемент серендипової сім'ї **четвертого степеня** – ССЕ-16 (або Q16) (рис. 3.3).

Серендипів скінченний елемент четвертого степеня – це квадрат з 16-ма регулярно розташованими вузлами і система базисних функцій, яка відповідає цим вузлам.

Стандартний інтерполяційний поліном для даного елемента, у

відповідності до кількості вузлів, повинен мати 16 параметрів:

$$\begin{aligned} \varphi(\xi, \eta) = & \alpha_1 + \alpha_2\xi + \alpha_3\eta + \alpha_4\xi^2 + \alpha_5\xi\eta + \alpha_6\eta^2 + \alpha_7\xi^3 + \alpha_8\xi^2\eta + \\ & + \alpha_9\xi\eta^2 + \alpha_{10}\eta^3 + \alpha_{11}\xi^4 + \alpha_{12}\xi^3\eta + \alpha_{13}\xi\eta^3 + \alpha_{14}\eta^4 + \alpha_{15}\xi^4\eta + \alpha_{16}\xi\eta^4, \end{aligned} \quad (3.8)$$

де α_i ($i = \overline{1, 16}$) – невідомі коефіцієнти, які можна знайти методом оберненої матриці.

Зауважимо, що, на жаль, у відомих монографіях [113, 114, 328] з МСЕ не наведено у явному вигляді системи базисних функцій для цього елемента, які б реалізовували інтерполяційний поліном з 16-ма параметрами.

Крім того, існує твердження [114], яке вже стало хрестоматійним, що при побудові серендипових СЕ ступеня $p \geq 4$ неминуче потрібно вводити внутрішні вузли або додавати базисні функції, асоційовані з параметрами, що не включені у зв'язки між елементами. Це пов'язано з одним з існуючих визначень серендипового елемента, в якому стверджується, що серендиповий елемент ступеня p повинен мати неповний поліном $(p+1)$ -го степеня (відповідно і повний поліном степеня p). Звідси і виникає необхідність в додаткових внутрішніх вузлах. З авторами [113] можна погодитися лише в тому, що число параметрів інтерполяційного полінома серендипова СЕ вищого порядку, як правило, перевищує число вузлів, проте, при побудові серендипових інтерполяцій зовсім не обов'язково використовувати додаткові “внутрішні” вузли [222, 224, 230]. В подальшому буде показано, що новий підхід до конструювання базисних функцій ССЕ забезпечує пряму побудову інтерполянта будь-якого порядку.

Відома з літератури модель для ССЕ-16 [243], яка отримана матричним методом, має 17 параметрів в інтерполяційному поліномі та 17 базисних функцій, тому що була отримана за допомогою додаткового 17-го вузла, розташованого в центрі елемента. Саме цю модель будемо вважати

стандартною. На жаль, в [243] на стор. 241 функції наведені з помилкою (можливо, друкарською) [15], яку тут виправлено:

$$N_i = \frac{1}{12}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(4\xi_i \xi^3 - 4\xi_i \xi + 4\eta_i \eta^3 - 4\eta_i \eta + 3\xi_i \xi \eta_i \eta), \quad (3.9)$$

$$i = 1, 5, 9, 13, \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1.$$

$$N_i = \frac{4}{3}(1 - \xi^2)(1 + 4\xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)\xi_i \xi, \quad (3.10)$$

$$i = 2, 4, 10, 12, \quad \xi_i = \pm \frac{1}{2}, \quad \eta_i = \pm 1.$$

$$N_i = -\frac{1}{2}(1 - \xi^2)(4\xi^2 - \eta_i \eta)(1 + \eta_i \eta), \quad (3.11)$$

$$i = 3, 11, \quad \eta_i = \pm 1,$$

$$N_{17} = (1 - \xi^2)(1 - \eta^2).$$

Всі інші функції отримуються за допомогою циклічної перестановки ξ та η у відповідних N_i .

Функції форми (базисні функції) $N_i(\xi, \eta)$ 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. Саме тому базисні функції ССЕ вищих порядків повинні мати наступні властивості:

Властивість 1. Базисні функції повинні бути локальними, або фінітними, що означає, що ці функції задані тільки в межах даного елемента.

Властивість 2. Базисні функції ССЕ задовольняють **інтерполяційній гіпотезі типу Лагранжа**:

$$N_i(\xi_k, \eta_k) = \delta_{ik}, \quad i, k = \overline{1, n}, \quad (3.12)$$

де δ_{ik} - символ Кронекера;

n - кількість вузлів.

Властивість 3. Системи базисних функцій задовольняють **умові збереження вагового балансу** [63]:

$$\sum_{i=1}^n N_i(\xi, \eta) = 1, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3.13)$$

Властивість 4. Базисні функції повинні задовольняти критерію **сумісності**: вони повинні забезпечувати неперервність поля самих змінних та їх похідних до $(n-1)$ -го порядку на границі між елементами (де n – порядок старшої похідної в функціоналі енергії). Базисна функція серендипового СЕ вздовж границь елемента є повним поліномом i , як наслідок, має місце неперервність базисної функції на границі між елементами (зберігається C^0 -**гладкість апроксимації**) [114, 251].

Властивість 5. Базисні функції повинні бути **геометрично ізотропними** [150]: представлення залежної змінної на елементі не повинно залежати від системи координат, що використовується, тобто повинно бути геометрично інваріантним для ортогональних перетворень системи координат. Поліноми повні, а також доповнені симетричними парами, дають геометрично інваріантне представлення, і є геометрично ізотропними.

При виконанні цих критеріїв із збільшенням числа скінченних елементів, які моделюють конструкцію, результати розрахунку монотонно сходяться до точного розв'язку.

Для того, щоб зменшення розмірів елементів призводило до збіжності, функції повинні задовольняти наступній властивості:

Властивість 6. Функції форми повинні задовольняти критерію **повноти** або **критерію сталості похідних** [114]. Для збіжності МСЕ необхідно, щоб у кожній точці елемента, шляхом підбору відповідних вузлових значень φ , можна було отримати будь-яке довільне стає значення перших похідних (для функціоналів, до яких входять похідні першого порядку). Переміщення жорсткого тіла (тобто, переміщення, які не деформують елемент) можливі

завдяки наявності постійних членів в представленні ξ та η . Деформації, будучи першими похідними від переміщень, апроксимуються на кожному елементі константами та, відповідно, мають кусково-сталий вид в усій області, що розглядається.

Таким чином, для збіжності МСЕ необхідно, щоб функція переміщень враховувала рух жорсткого тіла та рівномірну деформацію на елементі. Ці умови полягають в критерії повноти.

Множина функцій форми називається **повною**, якщо ці функції можуть точно апроксимувати будь-яку лінійну функцію, що задана у вигляді:

$$\varphi = \alpha_0 + \alpha_1 \xi + \alpha_2 \eta, \quad (3.14)$$

де α_i - довільні константи.

Функція (3.14) буде точно апроксимуватись, якщо будуть виконуватись наступні умови [114, 150]:

$$\sum_{i=1}^n N_i = 1; \quad \sum_{i=1}^n N_i \xi_i = \xi; \quad \sum_{i=1}^n N_i \eta_i = \eta. \quad (3.15)$$

Властивість 7. У всіх стандартних базисах кількість ступенів вільності інтерполяційного поліному (кількість параметрів, кількість мономів в інтерполяційному поліномі) дорівнює кількості вузлів n на СЕ [125, 151, 242, 256].

Ці властивості притаманні і лагранжевим елементам, але при інших рівних умовах, серендипові елементи дозволяють зменшити розмір розв'язувальної системи рівнянь, тому що у ССЕ немає внутрішніх вузлів [113].

Недоліками стандартних базисів є лінійчатість некутових функцій в напрямку, перпендикулярному до сторони їх розташування, звідки виникають наступні властивості:

Властивість 8. Надлишкова кількість кратних нулів у вузлах на границі ССЕ, що призводить до надмірної жорсткості моделі [178].

Властивість 9. Наявність від'ємних значень у повузловому розподілі рівномірної масової сили.

Для ССЕ *вузлова доля рівномірної масової сили* визначається подвійним інтегралом по області ω скінченного елемента від відповідної базисної функції, зваженої з поверхневою щільністю γ :

$$P_i = \iint_{\omega} \gamma N_i(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad \gamma = \frac{1}{4}. \quad (3.16)$$

Повузловий розподіл навантажень рівномірної масової сили, обчислений за допомогою формули (3.16), будемо вважати *теоретичним* розподілом навантажень.

Із сім'ї серендипових скінченних елементів тільки білінійний елемент ССЕ-4 має повузловий розподіл, який відповідає здоровому глузду (у всіх вузлах по 0,25). У розподілах ССЕ вищих порядків виникає протиприродний “негативізм” (табл.3.1) [114].

Таблиця 3.1

Розподіл рівномірної масової сили у стандартних моделях

Елемент	Номер вузла	P_i
ССЕ-8	1	$-\frac{1}{12}$
	2	$\frac{4}{12}$
ССЕ-12	1	$-\frac{2}{16}$
	2	$\frac{3}{16}$
ССЕ-16	1	$-\frac{11}{180}$
	2	$\frac{32}{180}$
	3	$-\frac{28}{180}$
	17	$\frac{80}{180}$

Практично ніхто із фахівців з методу скінченних елементів, за винятком О. Зенкевича, не звертає увагу на від’ємні значення у повузлових розподілах

рівномірної масової сили [66, 147, 171]. Та й сам О. Зенкевич пропонує змиритися з цим фактом, тому що переваг у SSE більше, ніж недоліків. Але ця ситуація не влаштовує прихильників механічних аналогій. У рамках традиційного матричного аналізу уникнути цих недоліків і отримати тільки додатні значення у повузловому розподілі неможливо.

З аналізу таблиці 3.1 стає зрозумілим, що необхідно дослідити можливість побудови моделей SSE, які матимуть природні повузлові розподіли рівномірної масової сили. Ця задача має самостійне значення, а також є важливою при конструюванні кубатур типу Ньютона-Котеса. Як видно з формули (3.16), теоретичний розподіл вузлових навантажень – це результат інтегрального усереднення базису. Базис поліноміальний, інтегрування точне, тому джерелом аномалій є геометричні особливості серендипових поверхонь. Зі стандартного означення SSE [113, 150] випливає, що всі функції $N_i(\xi, \eta)$ (крім кутових), які асоціюються з деякою стороною SE, повинні **обов’язково** змінюватись **лінійно** в напрямку, перпендикулярному до цієї сторони [228]. Таке обмеження ніяк не обґрунтоване, хоча мотиви творців SSE зрозумілі: при підборі многочленів з двома аргументами дуже зручно скористатися одновимірною лагранжевою інтерполяцією і добре відомим методом відокремлювання змінних. Саме тому у стандартних моделях з усіма проміжними вузлами асоціюються лінійчаті поверхні (з нульовою гауссовою кривиною). Нездатні прогинатися лінійчаті поверхні сковують модель SSE (жорстка модель). Кількість таких поверхонь зростає із збільшенням порядку елемента. Так, на SSE другого порядку їх 50%, третього порядку – 67%, четвертого – 75%. При такій поведінці “проміжних” поверхонь ваговий баланс (3.13) зберігається тільки за рахунок утворення глибоких провалів на “кутових” поверхнях $N_i(\xi, \eta)$, звідки і з’являються від’ємні значення у розподілі рівномірної масової сили в стандартних моделях. Все це супроводжується появою небажаних кратних нулів у вузлах, де дорівнює нулю не тільки сама

функція $N_i(\xi, \eta)$, а ще і її частинні похідні. До речі, ці якості поліномів зовсім не передбачені інтерполяційною гіпотезою типу Лагранжа.

До цього часу ніхто не звертав уваги на те, що саме лінійчаті поверхні проміжних функцій викликають неприродний розподіл рівномірної масової сили у стандартних моделях. У наступних розділах покажемо нові методи конструювання базисів, які за допомогою керування серендиповою поверхнею (і відходу від її лінійчатості) дозволяють отримувати нові альтернативні моделі ССЕ з кращими характеристиками. Ця можливість виникає завдяки побудові багатопараметричних моделей. У даній роботі **багатопараметричною апроксимацією** будемо називати таку, в якій інтерполяційний поліном має ступенів вільності (мономів, параметрів) більше, ніж кількість вузлів на елементі. За допомогою таких “позавузлових” ступенів вільності можна позбутися недоліків, які притаманні стандартним серендиповим моделям, наприклад, протиприродного розподілу рівномірної масової сили по вузлах.

О. Зенкевич і К. Морган пишуть у своїй монографії [113] про так звані ієрархічні форми базисних функцій, які можуть бути отримані за допомогою адитивного уточнення. Це означає, що автори визнають неоднозначність апроксимації функції двох аргументів на серендипових елементах вищих порядків, про яку казали автори [53]. Однак базиси не наводять.

Одне з визначень серендипових елементів – це лагранжеві елементи без внутрішніх вузлів. Перетворення лагранжева СЕ в серендиповий називають редукцією [178], конденсацією [150], вилученням внутрішніх параметрів [143]. 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. [313] 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 [113] побудови базису двовимірного ССЕ-8 (рис.3.1). Спочатку, використавши відповідний поліном Лагранжа другого степеня по одному з напрямів $l_2(x) = (1 - x^2)$ і, помноживши його на лінійний поліном Лагранжа по іншому напрямку $l_1(y) = \frac{1}{2}(1 - y)$, отримуємо базисну функцію для проміжного вузла 2:

$$N_2 = \frac{1}{2}(1 - x^2)(1 - y). \quad (3.17)$$

Аналогічно будуємо базисну функцію для вузла 8:

$$N_8 = \frac{1}{2}(1 - y^2)(1 - x). \quad (3.18)$$

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 $\overline{N}_1(x, y) = \frac{1}{4}(1 - x)(1 - y)$ і “проміжних” функцій (3.17) і (3.18). Вибір вагового коефіцієнту 0,5 лінійної комбінації обумовлюється інтерполяційною гіпотезою Лагранжа. Таким чином,

$$N_1(x, y) = \overline{N}_1(x, y) - \frac{1}{2}(N_2 + N_8). \quad (3.19)$$

Після нескладних перетворень отримуємо функцію стандартного базису SSE-8:

$$N_1(x, y) = \frac{1}{4}(1-x)(1-y)(-1-x-y). \quad (3.20)$$

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 [321] 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 Уачспресом на трикутних елементах з шістьма вузлами.

Однак цей метод на SSE взагалі не застосовувався [261, 293].

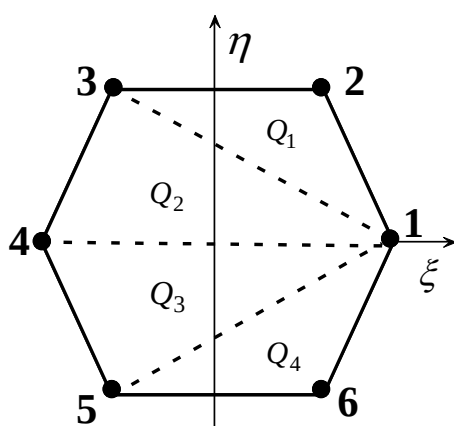


Рис.3.4. Побудова функції N_1

гексагонального елемента з використанням
техніки “добутку площин”

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 .

У 80-ті роки минулого століття японські вчені Інституту Досліджень Атомної Енергетики (JAERI) звернулися до ідеї розбиття області на шестикутники (рис. 1.6) при розрахунках теплопровідності і нейтронної дифузії у швидкодіючих реакторах [287]. При побудові базисних функцій японські дослідники

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

$$N_1(\xi, \eta) = q_1(\xi, \eta)q_2(\xi, \eta)q_3(\xi, \eta)q_4(\xi, \eta). \quad (3.21)$$

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 [82, 206, 210, 211, 213, 214, 217, 218, 219, 225]. Цей універсальний метод охоплює плоскі та просторові СЕ різної конфігурації в декартовій, полярній та циліндричній системах координат [118, 131, 193, 201, 208, 209, 215, 226, 231]. З ймовірнісним методом тісно пов'язаний і метод барицентричного усереднення [62, 116, 156, 211, 213]. 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 [25, 72, 220, 225].

За допомогою *прямого геометричного конструювання* базисів ССЕ [76, 118, 132, 200-203] 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 (3.16), обчислюють повузловий розподіл рівномірної масової сили. Саме тому у стандартних та отриманих альтернативних моделях не змогли позбутися від'ємних значень у повузловому розподіл 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 [11, 23, 21, 27, 42, 45]. Об'єднання двох підходів в один ефективний метод є природним наслідком історичного розвитку алгебри і геометрії. Так само, як і метод Уачспреса (“products of planes”), цей метод «добутку» площин і поверхонь другого порядку своїм корінням йде в епоху Жирара і Декарта (17 ст.), які вперше висловили (без доведення) основну теорему алгебри (ОТА). Маклорен і Ейлер уточнили формулювання ОТА, надавши їй сучасну форму: будь-який многочлен з дійсними коефіцієнтами можна розкласти в добуток лінійних та квадратичних множників. В цій теоремі неважко побачити не тільки чіткий геометричний зміст, але і спосіб геометричного конструювання інтерполяційних поліномів зі спеціальними умовами. Як відомо [114], серендипові поліноми мають дійсні коефіцієнти, тому базис ССЕ можна отримати перемножуючи лінійні та нелінійні поліноми, які асоціюються з площинами та нелінійними поверхнями.

Комбінований алгебро-геометричний метод дозволив розв'язувати новий клас задач на серендипових елементах – обернені задачі апроксимацій вищих порядків з додатковими умовами [11, 26, 221, 196, 228].

3.2. Моделі біквадратичного серендипового скінченного елемента

При наближенні функції за допомогою біквадратичного серендипового елемента інтерполяційний поліном (3.1) може бути записаний у вигляді:

$$\varphi(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^8 \Phi_i \cdot N_i(\xi, \eta), \quad (3.22)$$

де $N_i(\xi, \eta)$ – базисна функція, що відповідає вузлу i на СЕ ($i = \overline{1, 8}$);

Φ_i – вузлове значення шуканої функції у вузлі i .

Інтерполяційний поліном стандартного базису біквадратичного серендипового скінченного елемента має 8 параметрів (рис. 3.5а). На жаль, це єдиний базис біквадратичної інтерполяції, відомий авторам монографій і

підручників з МСЕ [66, 113, 114, 143, 147, 327, 328]. З цих монографій складається враження, що для елементів серендипової сім'ї число параметрів інтерполяційного полінома і число вузлів завжди співпадають, тому і базис існує єдиний. І це дійсно так, якщо обмежуватись інтерполяційним поліномом найменшого степеня. Якщо ж зняти це обмеження, як було запропоновано авторами [53], то задача серендипової інтерполяції буде розв'язуватись неоднозначно. Зенкевич і Морган пишуть у своїй монографії [113]: “Повышение точности приближения может быть достигнуто последовательным повышением степени базисных функций (при фиксированной сетке конечных элементов)...В этом плане обсуждаются так называемые иерархические формы, когда функции высших степеней последовательно получаются с помощью добавления соответствующих слагаемых. Такие формулировки, как правило, оказываются наиболее эффективными в вычислительном отношении”. Базисні функції, які отримані за допомогою адитивного уточнення, автори [113] називають *ієрархічними*. Це означає, що автори [113] визнають неоднозначність апроксимації функції двох аргументів на серендипових елементах вищих порядків. Ієрархія моделей може досягатися адитивним уточненням інтерполяційного полінома без введення внутрішніх вузлів. Альтернативні (або *модифіковані*) моделі ССЕ-8 можна отримати, якщо до стандартного полінома додати дев'ятий параметр $\alpha_9 \xi^2 \eta^2$ (рис. 3.5б).



Рис.3.5. Схема Паскаля для ССЕ-8
а – стандартний базис (8 параметрів); б – модифікований базис (9 параметрів)

Щоб побудувати моделі ССЕ зі заздалегідь визначеним повузловим розподілом рівномірної масової сили необхідно розв'язати *обернену задачу*.

Розв'язок оберненої задачі серендипових апроксимацій був отриманий за допомогою нового *комбінованого алгебро-геометричного методу* [11,22].

Реалізація цього методу відбувається в два етапи:

1) серендипові поліноми мають дійсні коефіцієнти, тому з *геометричних* міркувань базисна функція *a priori* записується як добуток лінійних і нелінійних поліномів з невідомими коефіцієнтами;

2) у відповідності до гіпотези Лагранжа (3.12) і гіпотези про рівність теоретичного значення повузлового розподілу рівномірної масової сили (3.16) заданому значенню p_i будується система рівнянь, яку вдається звести до системи *алгебраїчних* рівнянь.

Розглянемо реалізацію алгебро-геометричного методу на прикладі побудови базисних функцій біквадратичного серендипового елемента ССЕ-8. Кутова базисна функція $N_1(\xi, \eta)$ може бути записана в наступному вигляді:

$$N_1(\xi, \eta) = K_1(1 - \xi)(1 - \eta)(A\xi + B\eta + C\xi\eta + 1). \quad (3.23)$$

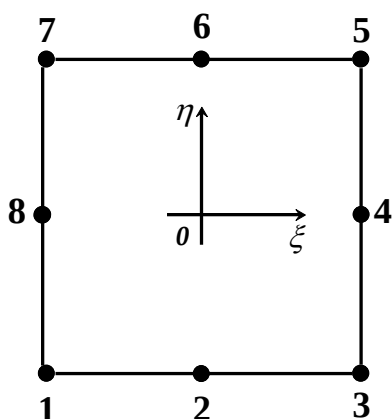


Рис.3.6 ССЕ-8

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

Перші два лінійні множники асоціюються зі сторонами квадрата 3-5 та 5-7 (рис.3.6), які протилежні вузлу 1. Вибір полінома в останніх дужках обумовлений граничними умовами – апроксимуючий поліном на границі елемента, у відповідності до властивості 2 (3.12) – інтерполяція Лагранжа, повинен мати другий степінь (3 вузла на стороні елемента).

Керуючись тими ж міркуваннями, базисну функцію для “проміжного” вузла (наприклад, N_2) запишемо у вигляді:

$$N_2(\xi, \eta) = K_2(1 - \xi^2)(1 - \eta)(D\eta + 1). \quad (3.24)$$

Перші дві дужки асоціюються зі сторонами квадрата 3-5, 5-7 та 7-1 (рис.3.6), які протилежні вузлу 2. Додатковий множник в останніх дужках (який не порушує умови інтерполяції за Лагранжем) необхідний для того, щоб в інтерполяційному поліномі з'явився додатковий доданок $\alpha_9 \xi^2 \eta^2$, без якого неможливо створення альтернативного базису.

Для знаходження невідомих коефіцієнтів A, B, C, D, K_1, K_2 використаємо апарат алгебри і запишемо систему рівнянь, яка утворена за допомогою інтерполяційної гіпотези Лагранжа (3.12) та гіпотези про рівність теоретичного значення повузлового розподілу рівномірної масової сили (3.16) заданому значенню параметра p_i :

$$\left. \begin{aligned} N_1(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 1; \\ N_1(\xi_k, \eta_k) &= 0, \quad k = 2, 8; \\ N_2(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 2; \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_1 d\xi d\eta &= p, \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_2 d\xi d\eta &= p_2, \end{aligned} \right\} \quad (3.25)$$

де k – номер вузла;

p – значення рівномірної масової сили у вузлі 1;

p_2 – значення рівномірної масової сили у вузлі 2.

Зважаючи на те, що $4p + 4p_2 = 1$, отримуємо залежність $p_2 = \frac{1}{4} - p$. Тоді систему (3.25) можна записати з одним параметром p наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} N_1(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 1; \\ N_1(\xi_k, \eta_k) &= 0, \quad k = 2, 8; \\ N_2(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 2; \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_1 d\xi d\eta &= p, \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_2 d\xi d\eta &= \frac{1}{4} - p, \end{aligned} \right\} \quad (3.26)$$

Наявність змінної p у правій частині двох останніх рівнянь дозволяє отримати $N_i(\xi, \eta)$ у вигляді функцій зі змінним параметром p , який є середнім інтегральним значенням кутової базисної функції, його можливо трактувати і механічно, і теплотехнічно, він також має і ймовірнісний зміст.

Розв'язавши систему (3.26), отримуємо наступні функції:

$$N_1 = \frac{1}{16}(1 - \xi)(1 - \eta)[(36p - 1)(1 + \xi + \eta) + (36p + 3)\xi\eta]; \quad (3.27)$$

$$N_2 = \frac{1}{16}(1 - \xi^2)(1 - \eta)[(5 - 36p) - (36p + 3)\eta]. \quad (3.28)$$

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

$$N_i = \frac{1}{16}(1 + \xi_i\xi)(1 + \eta_i\eta)[(36p - 1)(1 - \xi_i\xi - \eta_i\eta) + (36p + 3)\xi_i\xi\eta_i\eta], \quad (3.29)$$

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

$$N_i = \frac{1}{16}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i\eta)[(5 - 36p) + (36p + 3)\eta_i\eta], \quad (3.30)$$

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

$$N_i = \frac{1}{16}(1 - \eta^2)(1 + \xi_i\xi)[(5 - 36p) + (36p + 3)\xi_i\xi], \quad (3.31)$$

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

Перевірка підтверджує, що отримані моделі задовольняють властивостям 1-6. Таким чином, за допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу вперше отримано альтернативні моделі для ССЕ-8. Інтерполяційний поліном цих моделей має додатковий елемент $\alpha_9\xi^2\eta^2$ (рис.3.5б), завдяки якому з'являється можливість керування інтегральними властивостями моделі.

Перевагою узагальненого комбінованого алгебро-геометричного методу є той факт, що, змінюючи значення параметра p , отримуємо безліч базисів на ССЕ-8 і маємо можливість обирати базис для кожної конкретної задачі, який найкращим чином буде відповідати умовам задачі, що розв'язується.

3.3. Моделі бікубічного серендипового скінченного елемента

При наближенні функції за допомогою бікубічного серендипового елемента ССЕ-12 (рис.3.7) інтерполяційний поліном (3.4) може бути записаний у вигляді:

$$\varphi(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{12} \Phi_i \cdot N_i(\xi, \eta), \quad (3.32)$$

де $N_i(\xi, \eta)$ – базисна функція, що відповідає вузлу i на СЕ ($i = \overline{1, 12}$),

Φ_i – вузлове значення шуканої функції у вузлі i .

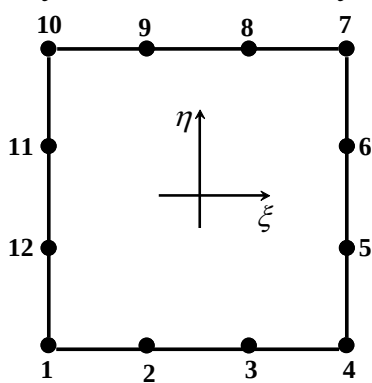


Рис.3.7. ССЕ-12
($|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$)

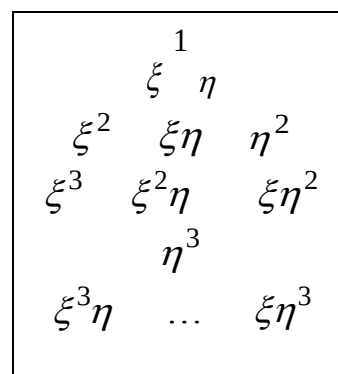
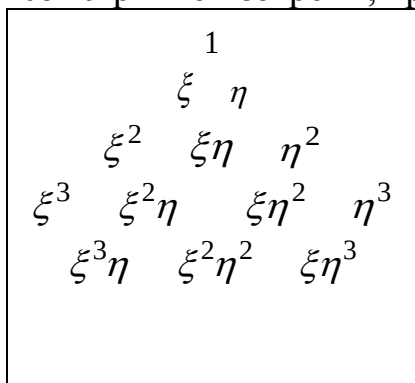
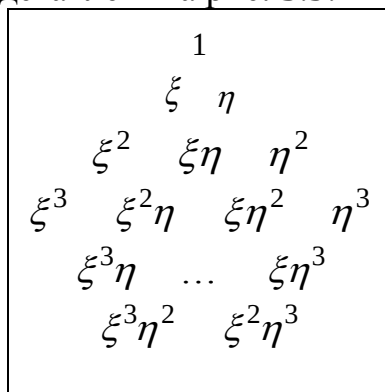


Рис.3.8. Схема Паскаля для стандартного полінома ССЕ-12

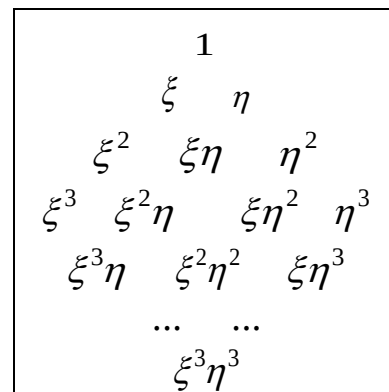
Інтерполяційний поліном стандартного базису (3.5)-(3.7) має 12 параметрів (рис. 3.8). Альтернативні (або **модифіковані**) моделі ССЕ-12 можна отримати за допомогою ієрархічного, тобто, адитивного ускладнення інтерполяційного полінома. Всі можливі комбінації параметрів ієрархічних моделей, які можна отримати без введення внутрішніх вузлів і без порушення геометричної ізотропії, представлені на рис. 3.9.



а



б



в

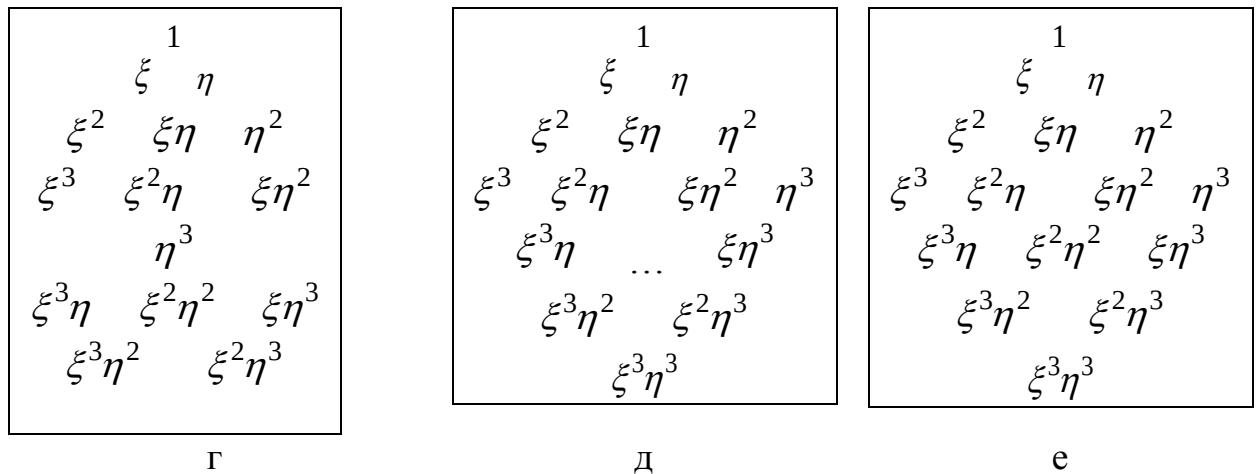


Рис.3.9. Схеми Паскаля для багатопараметричних поліномів CSE-12

а – 13 параметрів; б, в – 14 параметрів; г, д – 15 параметрів; е – 16 параметрів

Деякі автори вважають [150], що серендипів поліном n -го порядку – це неповний поліном $\varphi(\xi, \eta)$ $(n+1)$ -го порядку. Інші автори [66, 113], які згадують про існування ієрархічних форм базисних функцій, вважають, що при побудові серендипового полінома n -го порядку можна використовувати мономи більш високих порядків $(n+2), (n+3), \dots$

Використаємо комбінований алгебро-геометричний метод, який був описаний у підрозділі 3.2 для побудови альтернативної моделі CSE-12 з 13-ма параметрами [22]. Базисні функції будемо шукати у вигляді:

$$N_1 = K_1(1-\xi)(1-\eta)(A\xi^2 + B\xi\eta + C\eta^2 + D\xi + E\eta + 1), \quad (3.33)$$

$$N_2 = K_2(1-\xi^2)(1-\eta)(F\xi + G\eta + 1). \quad (3.34)$$

Система рівнянь для пошуку невідомих коефіцієнтів $A, B, C, D, E, F, G, K_1, K_2$ будується аналогічно системі (3.26):

$$\left. \begin{aligned} N_1(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 1; \\ N_1(\xi_k, \eta_k) &= 0, \quad k = 2, 3, 11, 12; \\ N_2(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 2; \\ N_2(\xi_k, \eta_k) &= 0, \quad k = 3; \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_1 d\xi d\eta &= p; \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_2 d\xi d\eta &= \frac{1}{8} - \frac{1}{2} p, \end{aligned} \right\} \quad (3.35)$$

Для запису правої частини останнього рівняння системи (3.35) використане співвідношення $4p + 8p_2 = 1$, звідки $p_2 = \frac{1}{8} - \frac{1}{2} p$.

Отримані розв'язки системи (3.35) дозволяють записати базисні функції, які залежать від параметра p :

$$N_1 = \frac{1}{32} (1 - \xi)(1 - \eta) [9\xi^2 + 9\eta^2 + (72p + 9)(\xi\eta + \xi + \eta) + 72p - 1], \quad (3.36)$$

$$N_2 = \frac{9}{64} (1 - \xi^2)(1 - \eta) [(1 - 8p) - 6\xi - (8p + 1)\eta]. \quad (3.37)$$

Узагальнені формули для 13-параметричних базисів, які отримані за допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу для SSE-12 мають вигляд:

$$\begin{aligned} N_i(\xi, \eta) &= \frac{1}{32} (1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta) \times \\ &= \times [9(\xi^2 + \eta^2) + 9(8p + 1)(\xi_i \xi \eta_i \eta - \xi_i \xi - \eta_i \eta) + 72p - 1], \end{aligned} \quad (3.38)$$

$i = 1, 4, 7, 10; \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1.$

$$\begin{aligned} N_i(\xi, \eta) &= \frac{9}{64} (1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta) [18\xi_i \xi + (8p + 1)\eta_i \eta + 1 - 8p], \\ i &= 2, 3, 8, 9; \quad \xi_i = \pm \frac{1}{3}, \quad \eta_i = \pm 1. \end{aligned} \quad (3.39)$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{9}{64} (1 - \eta^2)(1 + \xi_i \xi) [18\eta_i \eta + (8p + 1)\xi_i \xi + 1 - 8p], \quad (3.40)$$

$$i = 5, 6, 11, 12; \quad \xi_i = \pm 1, \quad \eta_i = \pm \frac{1}{3}.$$

Перевірка підтверджує, що ці моделі задовольняють властивостям 1-5 (підрозділ 3.1).

Запишемо базисні функції $N_1(\xi, \eta)$ та $N_2(\xi, \eta)$ у вигляді:

$$\begin{aligned} N_1 = & \left(\frac{9}{4}p - \frac{1}{32} \right) + \frac{5}{16}\xi + \frac{5}{16}\eta - \frac{9}{4}p\xi^2 - \frac{5}{16}\xi\eta - \frac{9}{4}p\eta^2 - \frac{9}{32}\xi^3 - \frac{9}{32}\xi^2\eta - \\ & - \frac{9}{32}\xi\eta^2 - \frac{9}{32}\eta^3 + \frac{9}{32}\xi^3\eta + \frac{9}{32}\xi\eta^3 + \left(\frac{9}{32} + \frac{9}{4}p \right) \xi^2\eta^2; \end{aligned} \quad (3.41)$$

$$\begin{aligned} N_2 = & \left(\frac{9}{64} - \frac{9}{8}p \right) - \frac{27}{32}\xi - \frac{9}{32}\eta + \left(\frac{9}{8}p - \frac{9}{64} \right) \xi^2 + \frac{27}{32}\xi\eta + \left(\frac{9}{8}p + \frac{9}{64} \right) \eta^2 - \\ & - \frac{27}{32}\xi^3\eta + \left(-\frac{9}{8}p - \frac{9}{64} \right) \xi^2\eta^2. \end{aligned} \quad (3.42)$$

Аналіз формул (3.41) і (3.42) показує, що, змінюючи параметр p , отримуємо безліч базисів на SSE-12, які мають 13 параметрів в інтерполяційному поліномі (відповідна схема Паскаля наведена на рис. 3.9а).

При $p = -\frac{1}{8}$ зникає $\alpha_{13}\xi^2\eta^2$ і отримуємо стандартний базис (3.5)–(3.7).

При лагранжевій інтерполяції ставиться задача “побудувати інтерполяційний поліном як можна нижчого степеня...” [97]. Якщо зняти це обмеження при побудові серендипового інтерполяційного полінома, то на одному скінченному елементі можна побудувати безліч базисних функцій. Ще у 1959 р. Березін І.С. і Жидков М.П. у першому виданні книги [53] зауважили, що зовсім не обов’язково вимагати, щоб порядок інтерполяційного полінома був найменший, можна розглядати такі системи вузлів, для яких розв’язок поставленої задачі не буде єдиним.

За допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу побудуємо інтерполяційний поліном бікубічного СЕ з 15-ма параметрами. Для цього функції форми для вузлів 1 і 2 запишемо у вигляді:

$$N_1 = K_1(1-\xi)(1-\eta)(A\xi\eta + B\xi + C\eta + 1)(D\xi + E\eta + 1), \quad (3.43)$$

$$N_2 = K_2(1-\xi^2)(1-\eta)(F\xi + G\eta + 1). \quad (3.44)$$

У цьому випадку система (3.35) має чотири розв'язки: два “симетричні” випадки (пряма $D\xi + E\eta + 1 = 0$ проходить через вузли 2,12 або 3,11) та два “несиметричні” випадки (пряма $D\xi + E\eta + 1 = 0$ проходить через вузли 2,11 або 3,12). Запишемо базисні функції $N_1(\xi, \eta)$, $N_2(\xi, \eta)$ для одного з “симетричних” випадків:

$$N_1 = \frac{1}{128}(1-\xi)(1-\eta)(3\xi + 3\eta + 4) \times \\ \times (9(8p-1)\xi\eta + 3(24p+1)\xi + 3(24p+1)\eta + (72p-1)). \quad (3.45)$$

$$N_2 = \frac{9}{64}(1-\xi^2)(1-\eta)[-6\xi - (8p+1)\eta + 1 - 8p]. \quad (3.46)$$

Змінюючи параметр p , отримуємо безліч 15-параметричних базисів, які мають набір параметрів, як на рис. 3.9г і задовольняють властивостям 1-5.

3.4. Розвинення алгебро-геометричного методу для побудови модифікованих базисів на площині

При розв'язанні задач по методу скінченних елементів зустрічаються об'єкти, у яких в одному місці градієнт досліджуваного поля маленький, а в деяких інших – великий. За звичай використовують згущення сітки в місцях великого градієнта. Однак, чим густіша сітка, тим більша кількість рівнянь. Розроблені спочатку серендипові елементи мали однакову кількість вузлів по різним координатним напрямкам [150]. Пізніше виникла ідея – чи не можна зробити СЕ з різною кількістю вузлів на різних сторонах. Наприклад, квадратично-лінійний (кількість вузлів по сторонах 3 і 2) або кубічно-квадратичний (кількість вузлів 4 і 3) елементи. В 1971 році Тейлор [313] запропонував алгоритм для СЕ з *рівною* або *нерівною* кількістю вузлів в двох (або трьох) напрямках. Модифіковані елементи більш ефективні з обчислювальної точки зору, ніж лагранжеві прямокутні та повні трикутні елементи. Більше того, використання елементів з різною кількістю вузлів вздовж кожної сторони дозволяє узгоджувати елементи низького порядку в

областях, де не передбачається різкої зміни характеристик, з елементами більш високого порядку в інших областях.

Таким чином, завдяки алгоритму, запропонованому в [313], можна сконструювати елементи, інтерполяційні функції яких будуть представлені поліномами різного степеня по кожній з двох координат [171]. Наприклад,

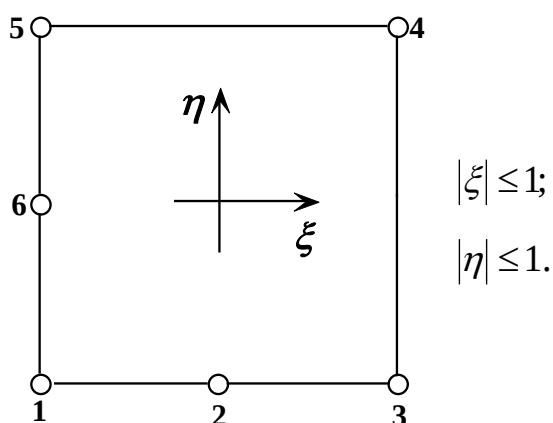


Рис.3.10. Квадратично-лінійний скінченний елемент

інтерполяційний поліном, лінійний по ξ і квадратичний по η . Відповідний елемент має 6 вузлів. Використовуючи комбінований алгебро-геометричний метод, побудуємо іншу модель *квадратично-лінійного* елемента: по двох *суміжних* сторонах СЕ в ній відбувається квадратична інтерполяція, по двох інших – лінійна. Відповідний елемент має 6 вузлів, його зображено на рис. 3.10.

Кутова базисна функція $N_1(\xi, \eta)$, враховуючи симетрію відносно діагоналі 1-4 може бути записана в наступному вигляді:

$$N_1(\xi, \eta) = K_1(1 - \xi)(1 - \eta)(1 + A\xi + A\eta + B\xi\eta). \quad (3.47)$$

Вибір полінома в останніх дужках обумовлений граничними умовами – апроксимуючий поліном на границі елемента, у відповідності до властивості 2 (3.12) – інтерполяція Лагранжа, повинен мати другий степінь по обох координатах (по 3 вузла на суміжних сторонах елемента).

Керуючись тими ж міркуваннями, базисну функцію N_2 запишемо у вигляді:

$$N_2(\xi, \eta) = K_2(1 - \xi^2)(1 - \eta)(D\eta + 1). \quad (3.48)$$

Базисну функцію N_3 , враховуючи необхідність мати інтерполяцію різного степеня для різних координат, запишемо у вигляді:

$$N_3(\xi, \eta) = \frac{1}{4} \xi(1 + \xi)(1 - \eta). \quad (3.49)$$

Нарешті, функція N_4 повинна бути лінійною по обох координатах:

$$N_4(\xi, \eta) = \frac{1}{4} (1 + \xi)(1 + \eta). \quad (3.50)$$

Функції N_5 та N_6 можуть бути отримані відповідно з функцій N_3 та N_2 циклічною перестановкою ξ і η .

Зважаючи на те, що $\sum_{i=1}^6 p_i = 1$, а p_3 , p_4 та p_5 можуть бути обчислені за допомогою (3.16), отримуємо систему для знаходження невідомих коефіцієнтів з (3.47) та (3.48) у наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} N_1(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 1; \\ N_1(\xi_k, \eta_k) &= 0, \quad k = 2, 6; \\ N_2(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 2; \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_1 d\xi d\eta &= p, \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_2 d\xi d\eta &= \frac{7}{24} - \frac{1}{2} \cdot p, \end{aligned} \right\} \quad (3.51)$$

де k – номер вузла;

p – значення рівномірної масової сили у вузлі 1.

Розв'язавши систему (3.51), отримуємо наступні функції квадратично-лінійної моделі:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{16} (1 - \xi)(1 - \eta)((36p + 3)\xi\eta + (36p - 1)(\xi + \eta + 1)); \\ N_2 &= -\frac{1}{32} (1 - \xi^2)(1 - \eta)((36p + 3)\eta + 36p - 13); \\ N_3 &= \frac{1}{4} (1 + \xi)(1 - \eta)\xi; \\ N_4 &= \frac{1}{4} (1 + \xi)(1 + \eta); \\ N_5 &= \frac{1}{4} (1 - \xi)(1 + \eta)\eta; \end{aligned} \quad (3.52)$$

$$N_6 = -\frac{1}{32}(1-\xi)(1-\eta^2)((36p+3)\xi + 36p-13).$$

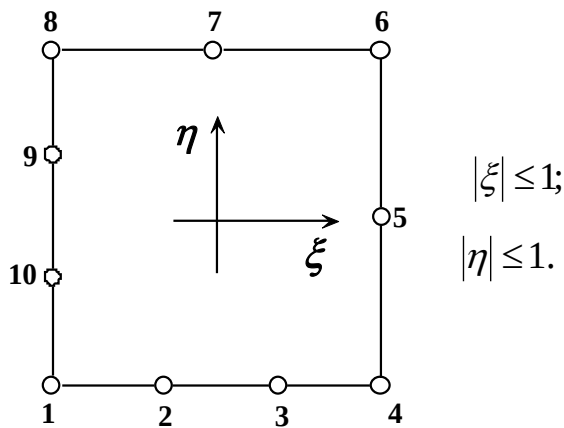


Рис.3.11. Кубічно-квадратичний
скінченний елемент

Перевірка підтверджує, що отримані функції задовольняють властивостям 1-5 (підрозділ 3.1). Таким чином, за допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу отримано квадратично-лінійну модель для ССЕ. Завдяки тому, що функції N_1 , N_2 та N_6 залежать від параметра p , це дозволяє керувати властивостями моделі.

Побудуємо модель *кубічно-квадратичного* елемента: по двох *суміжних* сторонах СЕ в ній відбувається кубічна інтерполяція, по двох інших – квадратична. Відповідний елемент має 10 вузлів, його зображено на рис. 3.11.

Базисні функції цієї моделі, з урахуванням граничних умов, можуть бути записані в наступному вигляді:

$$\begin{aligned} N_1(\xi, \eta) &= K_1(1-\xi)(1-\eta)(1+A\xi+A\eta+B\xi\eta+C\xi^2+C\eta^2); \\ N_2(\xi, \eta) &= K_2(1-\xi^2)(1-\eta)(1+D\xi+E\eta); \\ N_4(\xi, \eta) &= K_4(1+\xi)(1-\eta)(1+F\xi+G\eta+V\xi\eta+H\xi^2); \\ N_5(\xi, \eta) &= K_5(1+\xi)(1-\eta^2)(1+W\xi); \\ N_6(\xi, \eta) &= K_6(1+\xi)(1+\eta)(1+R\xi+U\eta+P\xi\eta). \end{aligned} \tag{3.53}$$

Систему рівнянь для знаходження невідомих коефіцієнтів з (3.53) запишемо у наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} N_i(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad i = k; \\ N_i(\xi_k, \eta_k) &= 0, \quad i \neq k; \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_i d\xi d\eta &= p_i; \\ \sum_{i=1}^{10} p_i &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (3.54)$$

де i, k – номер вузла;

p_i – значення рівномірної масової сили у вузлі i ; $i, k = 1, 2, 4, 5, 6$.

Розв'язавши систему (3.54), отримуємо наступні функції кубічно-квадратичної моделі:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{32} (1 - \xi)(1 - \eta)(9\xi^2 + 9\eta^2 + (72p_1 + 9)(\xi + \eta + \xi\eta) + 72p_1 - 1); \\ N_3 &= -\frac{1}{64} (1 - \xi^2)(1 - \eta)(-54\xi + (36p_1 + 72p_4 + 7)\eta + 36p_1 + 72p_4 - 11); \\ N_4 &= \frac{1}{64} (1 + \xi)(1 - \eta) \times \\ &\quad \times (18\xi^2 - (144p_4 + 15)(\xi + \xi\eta) + (144p_4 - 1)\eta + 144p_4 - 3); \\ N_5 &= \frac{1}{16} (1 + \xi)(1 - \eta^2)(5\xi + 3); \\ N_6 &= \frac{1}{16} (1 + \xi)(1 + \eta)(-\xi - \eta + 5\xi\eta + 1). \end{aligned} \quad (3.55)$$

Інші функції можуть бути отримані циклічною перестановкою ξ і η .

Перевірка підтверджує, що отримані функції задовольняють властивостям 1-5 (підрозділ 3.1). Таким чином, за допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу отримано кубічно-квадратичну модель для ССЕ. Завдяки тому, що функції N_1 , N_3 та N_4 залежать від параметрів p_1 та p_4 , властивостями моделі можна керувати.

3.5. Моделі серендипового скінченного елемента четвертого порядку

При наближенні функції за допомогою ССЕ-16 (рис.3.12) інтерполяційний поліном (3.8) може бути записаний у вигляді:

$$\varphi(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{16} \Phi_i \cdot N_i(\xi, \eta), \quad (3.56)$$

де $N_i(\xi, \eta)$ – базисна функція, що відповідає вузлу i на СЕ ($i = \overline{1, 16}$),
 Φ_i – вузлове значення шуканої функції у вузлі i .

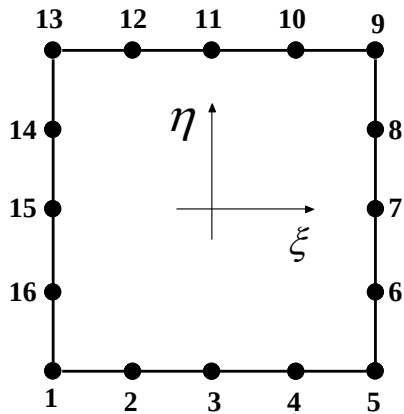


Рис.3.12. ССЕ-16 ($|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$)

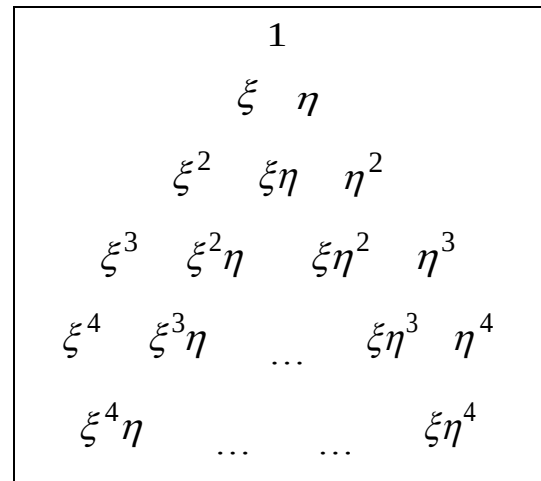


Рис.3.13. Схема Паскаля для
 полінома ССЕ-16 з 16-ма параметрами

Інтерполяційний поліном цього елемента має 16 параметрів, які наведені на рис. 3.13.

В підрозділі 3.1 наведено базисні функції (3.9) – (3.11), які отримані за допомогою внутрішнього 17-го вузла. Побудуємо нові базиси на ССЕ-16 за допомогою *модифікованої процедури Тейлора* без включення внутрішніх вузлів [41, 230].

Спочатку скористаємося традиційною процедурою Тейлора [313] на ССЕ-16, але на відміну від рекомендацій авторів [113] не включимо внутрішній вузол, що розташований в центрі елемента (*перша модифікація*). Побудова “проміжної” функції здійснюється методом відокремлення змінних. При цьому поліном Лагранжа 4-го степеня вздовж одного напрямку перемножують з лінійним поліномом Лагранжа вздовж другого і отримують відповідні базисні функції:

$$N_2 = -\frac{2}{3}(1 - \xi^2)(1 - 2\xi)(1 - \eta)\xi, \quad (3.57)$$

$$N_{16} = -\frac{2}{3}(1 - \eta^2)(1 - 2\eta)(1 - \xi)\eta, \quad (3.58)$$

$$N_3 = \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 - 4\xi^2)(1 - \eta), \quad (3.59)$$

$$N_{15} = \frac{1}{2}(1 - \eta^2)(1 - 4\eta^2)(1 - \xi), \quad (3.60)$$

$$N_4 = \frac{2}{3}(1 - \xi^2)(1 + 2\xi)(1 - \eta)\xi, \quad (3.61)$$

$$N_{14} = \frac{2}{3}(1 - \eta^2)(1 + 2\eta)(1 - \xi)\eta. \quad (3.62)$$

Для “кутової” функції, наприклад, $N_1(x, y)$, скористаємося лінійною комбінацією функції білінійної інтерполяції $\bar{N}_1(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta)$ і “проміжних” функцій (3.57)-(3.62). Вибір вагових коефіцієнтів лінійної комбінації обумовлюється інтерполяційною гіпотезою Лагранжа (рис. 3.14) [207]:

$$N_1 = \bar{N}_1 - \frac{3}{4}(N_2 + N_{16}) - \frac{1}{2}(N_3 + N_{15}) - \frac{1}{4}(N_4 + N_{14}). \quad (3.63)$$

Отримуємо базисну функцію (рис. 3.15):

$$N_1 = -\frac{1}{12}(1 - \xi)(1 - \eta)(4\xi^3 + 4\eta^3 - \xi - \eta + 3). \quad (3.64)$$

Ця функція має шістнадцять параметрів, задовольняє умові Лагранжа, але має від’ємні значення у повузловому розподілі рівномірної масової сили для вузлів в вершинах квадрату ($p_1 = -\frac{31}{180}$).

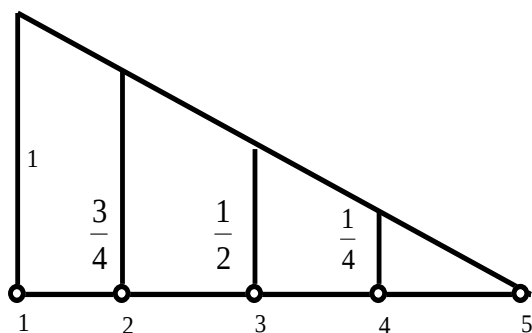


Рис.3.14. Вагові коефіцієнти N_1

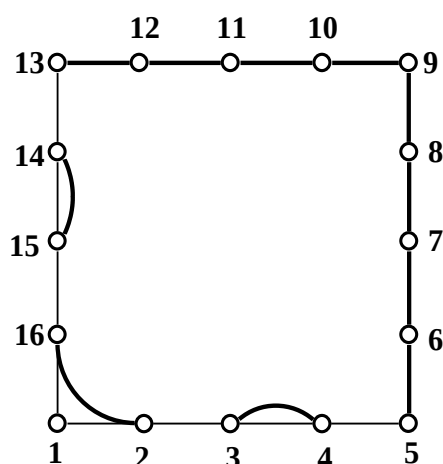


Рис.3.15. Лінії нульового рівня базисної функції N_1

Можна отримати іншу кутову базисну функцію, якщо при побудові проміжних базисних функцій відмовитись від одномірних лагранжевих поліномів.

Друга модифікація процедури Тейлора: використання у якості проміжних таких функцій, в яких змінні не відокремлюються:

$$N_2 = \frac{1}{3}(1 - \xi^2)(1 - 2\xi)(1 - \eta)(-1 - 2\xi - \eta), \quad (3.65)$$

$$N_{16} = \frac{1}{3}(1 - \eta^2)(1 - 2\eta)(1 - \xi)(-1 - 2\eta - \xi), \quad (3.66)$$

$$N_3 = \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 - 4\xi^2)(1 - \eta), \quad (3.67)$$

$$N_{15} = \frac{1}{2}(1 - \eta^2)(1 - 4\eta^2)(1 - \xi), \quad (3.68)$$

$$N_4 = \frac{1}{3}(1 - \xi^2)(1 + 2\xi)(1 - \eta)(-1 + 2\xi - \eta), \quad (3.69)$$

$$N_{14} = \frac{1}{3}(1 - \eta^2)(1 + 2\eta)(1 - \xi)(-1 + 2\eta - \xi). \quad (3.70)$$

За формулою (3.63) отримуємо базисну функцію серендипового скінченного елемента ССЕ-16 в моделі, яку можна назвати “базис з колом”:

$$N_1 = -\frac{1}{12}(1 - \xi)(1 - \eta)(1 + \xi + \eta)(4\xi^2 + 4\eta^2 - 5). \quad (3.71)$$

Модель (3.65)-(3.71) має 19 параметрів в інтерполяційному поліномі. Ця модель має природний розподіл вузлових навантажень з додатними значеннями в усіх вузлах. Побудувати альтернативні моделі ССЕ, які будуть мати природний розподіл рівномірної масової сили можна також за допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу.

В альтернативних поліномах кількість параметрів збільшується порівняно зі стандартним базисом за рахунок так званих “позавузлових” параметрів. Це забезпечується появою доданків більш високих степенів і дозволяє суттєво змінювати властивості інтерполяційного полінома. Використаємо комбінований алгебро-геометричний метод [22], який був описаний у підрозділі 3.2, для

побудови альтернативних моделей SSE-16. Використовуючи умову, що вздовж сторони квадрата функції повинні змінюватись за законом параболи четвертого порядку, запишемо $N_1(\xi, \eta)$, $N_2(\xi, \eta)$ та $N_3(\xi, \eta)$ у вигляді:

$$N_1(\xi, \eta) = k_1(1 - \xi)(1 - \eta)(A\xi^2 + B\eta^2 + C\xi\eta + D\xi + E\eta + 1)(F\xi + G\eta + 1); \quad (3.72)$$

$$N_2(\xi, \eta) = k_2(1 - \xi^2)(1 - \eta)(L\xi^2 + M\xi\eta + N\xi + V\eta + 1); \quad (3.73)$$

$$N_3(\xi, \eta) = k_3(1 - \xi^2)(1 - \eta)(W\xi^2 + Q\eta + 1). \quad (3.74)$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів складемо систему алгебраїчних рівнянь, використовуючи гіпотезу Лагранжа та інші властивості базисних функцій (k – номер вузла):

$$\left. \begin{aligned} N_1(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 1; \\ N_1(\xi_k, \eta_k) &= 0, \quad k = 2, 3, 4, 14, 15, 16; \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_1(\xi_k, \eta_k) d\xi d\eta &= p_1; \\ N_2(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 2; \\ N_2(\xi_k, \eta_k) &= 0, \quad k = 3, 4; \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_2(\xi_k, \eta_k) d\xi d\eta &= p_2; \\ N_3(\xi_k, \eta_k) &= 1, \quad k = 3; \\ N_3(\xi_k, \eta_k) &= 0, \quad k = 2, 4; \\ \iint_{\omega} \frac{1}{4} N_3(\xi_k, \eta_k) d\xi d\eta &= p_3; \\ 4p_1 + 8p_2 + 4p_3 &= 1; \\ 4k_1 + 8k_2 + 4k_3 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (3.75)$$

Прирівнюючи в системі (3.75) подвійні інтеграли до змінних p_i , ми отримуємо базисні функції у вигляді виразів, які залежать від цих змінних, тобто розв'язуємо обернену задачу з параметром. Система (3.75) має дев'ять різних розв'язків, тобто стільки, скільки існує комбінацій прямої, що асоціюється з поліномом $F\xi + G\eta + 1$, та лінії другого порядку, що асоціюється

з поліномом $A\xi^2 + B\eta^2 + C\xi\eta + D\xi + E\eta + 1$, які проведені через вузли 2-4 та 14-16 (рис. 3.16, 3.17). Ці комплекти коефіцієнтів дозволяють побудувати дев'ять варіантів базисів. Всі вони задовольняють інтерполяційній гіпотезі Лагранжа, однак тільки три з них мають симетрію відносно діагоналі 1-9 квадрата СЕ (рис. 3.18, 3.19).

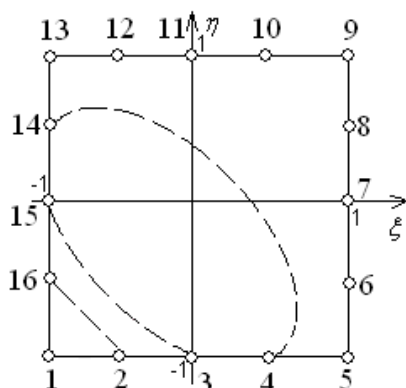


Рис.3.16. До побудови симетричної функції N_1

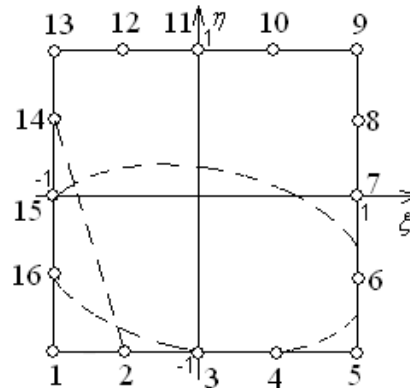


Рис.3.17. До побудови несиметричної функції N_1

Графіки симетричної (рис. 3.7) та несиметричної функції N_1 (рис. 3.8) зображені так, як вони виглядають вздовж діагоналі 9-1 квадрата.

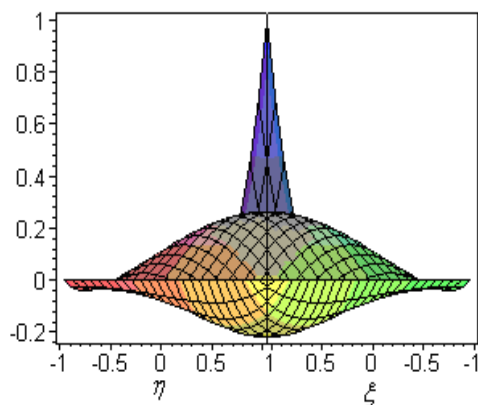


Рис.3.18. Візуалізація симетричної базисної функції N_1

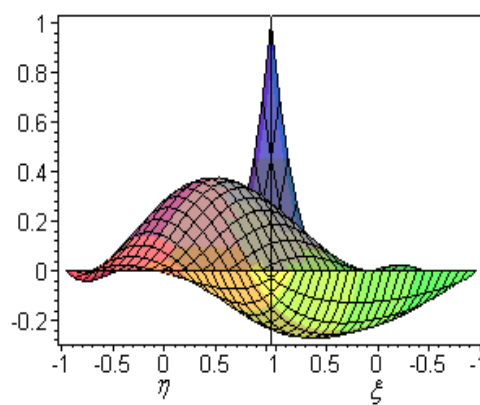


Рис.3.19. Візуалізація несиметричної базисної функції N_1

Інтерполяційні властивості несиметричних функцій N_1 потребують додаткового дослідження [223].

Наведемо один з трьох симетричних варіантів розв'язку (3.75), який дозволяє записати функції у вигляді:

$$N_1(\xi, \eta) = \frac{1}{240} (1 - \xi)(1 - \eta)(2\xi + 2\eta + 1) \times \\ \times (-40\xi^2 + (540p_1 + 13)\xi\eta - 40\eta^2 + (540p_1 - 7)(\xi + \eta) + 540p_1 + 33). \quad (3.76)$$

$$N_2(\xi, \eta) = \frac{1}{480} (1 - \xi^2)(1 - \eta) \times \\ \times (640\xi^2 - (540p_1 + 540p_3 - 263)\xi\eta - (540p_1 + 540p_3 + 57)(\xi + \eta + 1)). \quad (3.77)$$

$$N_3(\xi, \eta) = \frac{1}{20} (1 - \xi^2)(1 - \eta)(-40\xi^2 + (45p_3 - 3)\eta + 45p_3 + 7). \quad (3.78)$$

З метою зменшення кількості керуючих параметрів, враховуючи те, що параметри p_i зв'язані залежністю $4p_1 + 8p_2 + 4p_3 = 1$, функція $N_2(\xi, \eta)$ представлена в (3.77) залежною від p_1 та p_3 .

Запишемо базисні функції $N_1(\xi, \eta)$, $N_2(\xi, \eta)$ та $N_3(\xi, \eta)$ у вигляді:

$$N_1 = \left(\frac{9}{4}p_1 + \frac{11}{80}\right) + \left(\frac{9}{2}p_1 + \frac{13}{120}\right)\xi + \left(\frac{9}{2}p_1 + \frac{13}{120}\right)\eta - \left(\frac{9}{4}p_1 + \frac{113}{240}\right)\xi^2 - \\ - \frac{5}{12}\xi\eta - \left(\frac{9}{4}p_1 + \frac{113}{240}\right)\eta^2 - \left(\frac{9}{2}p_1 + \frac{13}{120}\right)\xi^3 - \left(\frac{9}{2}p_1 - \frac{37}{120}\right)\xi^2\eta - \\ - \left(\frac{9}{2}p_1 - \frac{37}{120}\right)\xi\eta^2 - \left(\frac{9}{2}p_1 + \frac{13}{120}\right)\eta^3 + \frac{1}{3}\xi^4 + \frac{1}{3}\xi^3\eta + \left(\frac{9}{4}p_1 + \frac{31}{80}\right)\xi^2\eta^2 + \\ + \frac{1}{3}\xi\eta^3 + \frac{1}{3}\eta^4 - \frac{1}{3}\xi^4\eta + \left(\frac{9}{2}p_1 - \frac{9}{40}\right)\xi^3\eta^2 + \left(\frac{9}{2}p_1 - \frac{9}{40}\right)\xi^2\eta^3 - \frac{1}{3}\xi\eta^4; \quad (3.79)$$

$$\begin{aligned}
N_2 = & \left(-\frac{9}{8}p_1 - \frac{9}{8}p_3 - \frac{19}{160} \right) - \left(\frac{9}{8}p_1 + \frac{9}{8}p_3 + \frac{19}{160} \right) \xi + \\
& + \left(\frac{9}{8}p_1 + \frac{9}{8}p_3 + \frac{697}{480} \right) \xi^2 + \frac{2}{3} \xi \eta + \left(\frac{9}{8}p_1 + \frac{9}{8}p_3 + \frac{19}{160} \right) \eta^2 + \\
& + \left(\frac{9}{8}p_1 + \frac{9}{8}p_3 + \frac{19}{160} \right) \xi^3 - \frac{4}{3} \xi^2 \eta + \left(\frac{9}{8}p_1 + \frac{9}{8}p_3 - \frac{263}{480} \right) \xi \eta^2 - \frac{4}{3} \xi^4 - \\
& - \frac{2}{3} \xi^3 \eta - \left(\frac{9}{8}p_1 + \frac{9}{8}p_3 + \frac{19}{160} \right) \xi^2 \eta^2 + \frac{4}{3} \xi^4 \eta - \left(\frac{9}{8}p_1 + \frac{9}{8}p_3 - \frac{263}{480} \right) \xi^3 \eta^2; \quad (3.80)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N_3 = & \left(\frac{9}{4}p_3 + \frac{7}{20} \right) - \frac{1}{2} \eta - \left(\frac{9}{4}p_3 + \frac{47}{20} \right) \xi^2 - \left(\frac{9}{4}p_3 - \frac{3}{20} \right) \eta^2 + \\
& + \frac{5}{2} \xi^2 \eta + 2 \xi^4 + \left(\frac{9}{4}p_3 - \frac{3}{20} \right) \xi^2 \eta^2 - 2 \xi^4 \eta. \quad (3.81)
\end{aligned}$$

Записані в такому вигляді базисні функції дозволяють легко аналізувати структуру інтерполяційного полінома, до складу якого входить два незалежних параметри p_1 та p_3 . Змінюючи ці параметри довільним чином, отримуємо безліч базисів на SSE-16, які мають 19 параметрів в інтерполяційному поліномі. Відповідна схема Паскаля – на рис. 3.20.

		1		
		ξ	η	
	ξ^2	$\xi\eta$	η^2	
ξ^3	$\xi^2\eta$	$\xi\eta^2$	η^3	
ξ^4	$\xi^3\eta$	$\xi^2\eta^2$	$\xi\eta^3$	η^4
$\xi^4\eta$	$\xi^3\eta^2$	$\xi^2\eta^3$	$\xi\eta^4$	

Рис. 3.20. Схема Паскаля для полінома
SSE-16 з 19-ма параметрами

		1		
		ξ	η	
	ξ^2	$\xi\eta$	η^2	
ξ^3	$\xi^2\eta$	$\xi\eta^2$	η^3	
ξ^4	$\xi^3\eta$	$\xi^2\eta^2$	$\xi\eta^3$	η^4
$\xi^4\eta$	...	...	$\xi\eta^4$	

Рис.3.21. Схема Паскаля для
полінома SSE-16 з 17-ма
параметрами

Аналіз моделі (3.79) – (3.81) показує, що при деяких значеннях параметрів p_1 та p_3 кількість параметрів в інтерполяційному поліномі зменшується, що дає можливість керувати інтерполяційними можливостями моделі. Так, при $p_1 = \frac{1}{20}$, $p_3 = \frac{59}{135}$ в інтерполяційному поліномі зникають доданки $\alpha_{17}\xi^3\eta^2$ і $\alpha_{18}\xi^2\eta^3$, в поліномі залишається 17 параметрів (рис. 3.21). Якщо $p_1 = -\frac{31}{180}$, $p_3 = \frac{1}{15}$ – зникає параметр $\alpha_{13}\xi^2\eta^2$, залишається 18 параметрів.

Узагальнені формули для 19-параметричних базисів, отримані за допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу для SSE-16, і до складу яких входять два параметри, мають вигляд:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{240} (1 + \xi_i \xi) (1 + \eta_i \eta) (-2\xi_i \xi - 2\eta_i \eta + 1) \times \\ \times (-40\xi^2 + (540p_1 + 13)\xi_i \xi \eta_i \eta - 40\eta^2 - (540p_1 - 7)(\xi_i \xi + \eta_i \eta) + 540p_1 + 33); \quad (3.82) \\ i = 1, 5, 9, 13; \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1.$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{480} (1 - \xi^2) (1 + \eta_i \eta) (640\xi^2 - 2 \cdot (540p_1 + 540p_3 - 263)\xi_i \xi \eta_i \eta - \\ - (540p_1 + 540p_3 + 57)(-2\xi_i \xi - \eta_i \eta + 1)); \quad (3.83) \\ i = 2, 4, 10, 12; \quad \xi_i = \pm \frac{1}{2}, \quad \eta_i = \pm 1.$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{20} (1 - \xi^2) (1 + \eta_i \eta) (-40\xi^2 - (45p_3 - 3)\eta_i \eta + 45p_3 + 7); \quad (3.84) \\ i = 3, 11; \quad \eta_i = \pm 1.$$

Інші базисні функції можна отримати з (3.83) та (3.84) за допомогою циклічної перестановки змінних.

Висновки до розділу 3

1. Традиційний алгебраїчний підхід до побудови базисних функцій не дає можливості виявити існування множини моделей на одному елементі. Тому виникає хибна думка, що існують єдині моделі елементів вищого порядку, з усіма недоліками яких необхідно змиритись.

2. Запропоновані в 70-х роках минулого століття неалгебраїчні методи побудови базисних функцій або привели до стандартних базисів (процедура Тейлора, метод вилучення внутрішніх параметрів), або не застосовувалися до SSE (метод Уачспреса).

3. Нестандартні (альтернативні) серендипові моделі були отримані за допомогою розробленого А.Н. Хомченком ймовірісно-геометричного методу конструювання базисних функцій, а також прямим геометричним конструюванням базисів.

4. Для розв'язання оберненої задачі – побудувати моделі SSE із заздалегідь визначеним повузловим розподілом рівномірної масової сили, в якому були б відсутні від'ємні значення, був розроблений новий комбінований алгебро-геометричний метод. Цей метод не тільки допоміг отримати нескінченну множину нових моделей SSE вищих порядків, але й дозволив розв'язувати новий клас задач на серендипових елементах – обернені задачі апроксимацій вищих порядків з додатковими умовами.

5. Запропонований новий метод побудови альтернативних моделей для серендипових елементів вищих порядків. Він об'єднує переваги геометричного моделювання та алгебраїчного аналізу функцій, тому отримав назву “комбінований алгебро-геометричний” метод.

6. Завдяки розвиненню методу Уачспреса побудови базисних функцій (“products of planes”), в “добутку” поверхонь беруть участь не тільки площини, а також і поверхні другого порядку. Це дозволяє не тільки отримувати нові, альтернативні базисні функції, але й візуалізувати процес формоутворення базисних функцій. При цьому можна визначити, які саме

поверхні утворюють базисну функцію, лінії нульового рівня та ввести стереометричну термінологію.

7. Завдяки розв'язанню оберненої задачі, всі базисні функції отримані з керуючим параметром p , що дозволяє побудувати нескінченну множину моделей біквадратичного ССЕ і досліджувати їх властивості в залежності від параметра. Це дає можливість обирати базис для кожної конкретної задачі, який найкращим чином буде відповідати умовам задачі, що розв'язується.

8. За допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу вперше отримана нескінченна множина альтернативних моделей бікубічного ССЕ з керованою кількістю параметрів інтерполяційного полінома.

9. За допомогою комбінованого алгебро-геометричного методу вперше отримані модифіковані моделі ССЕ на площині: квадратично-лінійна та кубічно-квадратична.

10. Побудовані нові базиси на ССЕ-16 з 19-ма параметрами в інтерполяційному поліномі за допомогою модифікованої процедури Тейлора без включення внутрішніх вузлів.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИХ МОДЕЛЕЙ

4.1. Постановка задачі та вибір інструментальних програмних засобів

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. Найбільш відомі серед них[81]: ANSYS, COSAR, COMET Acoustic, COSMOS, LS-DYNA, STARDYNA, NASTRAN, GENESYS, SAP, STRUDL, ASKA, TITUS, ПОЛЕ, ПРОЧНОСТЬ, ГАММА, МИПЕЛА, AUTRA, FORTU та ін.. 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[81].

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 [81,188].

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 [82,93].

Тому побудова вузькоспеціалізованого прикладного програмного забезпечення з функціональними можливостями, відсутніми у стандартних інструментальних засобах є актуальною задачею.

В якості інструментального середовища для розробки програмного забезпечення була обрана система візуального об'єктно-орієнтованого проектування Delphi.

До головних її характеристик і переваг можна віднести:

1) розширена палітра компонентів для багаторазового використання, що звільняє від необхідності розробки стандартних компонентів загального призначення;

2) підтримка стандарту ActiveX, що дозволяє імпортувати компоненти безпосередньо на палітру, полегшуючи доступ до імпортованих об'єктів та інструментів;

3) шаблони додатків і форм полегшують розробку діалогових панелей, які часто використовуються, дозволяючи інтерфейсу набути інтуїтивно – зрозумілого вигляду для користувача;

4) візуальне середовище не містить інтерпретатор і не створює проміжний Р-код, що дозволяє після компіляції швидко отримати файл готовий до запуску.

Для розробки додатків в області двовимірної і тривимірної графіки використовувався один з найбільш популярних прикладних програмних інтерфейсів OpenGL, підтримуваний більшістю виробників, як апаратних, так і програмних платформ.

Цей інтерфейс містить понад 250 функцій, які можуть використовуватися для малювання складних тривимірних сцен з простих примітивів. Широко застосовується індустрією комп'ютерних ігор і віртуальної реальності, у графічних інтерфейсах (Compiz, Clutter), при візуалізації наукових даних, в системах автоматизованого проектування тощо.

Програмна реалізація OpenGL отримує графічні запити від процедури візуалізації і будує кольорове зображення тривимірної графіки. Потім вона

передає це зображення GDI (Graphics Device Interface) інтерфейсу Windows для представлення графічних об'єктів і передачі їх на пристрої відображення, такі як монітори і принтери.

4.2. Основні структурні компоненти розробленої підсистеми

Структурно розроблену підсистему можна представити у вигляді складових еволюціонуючої системи підтримки прийняття рішень (СППР) [95] на рис.4.1.



Рис.4.1. Структурна схема еволюціонуючої 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 скінченних 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.4.2.

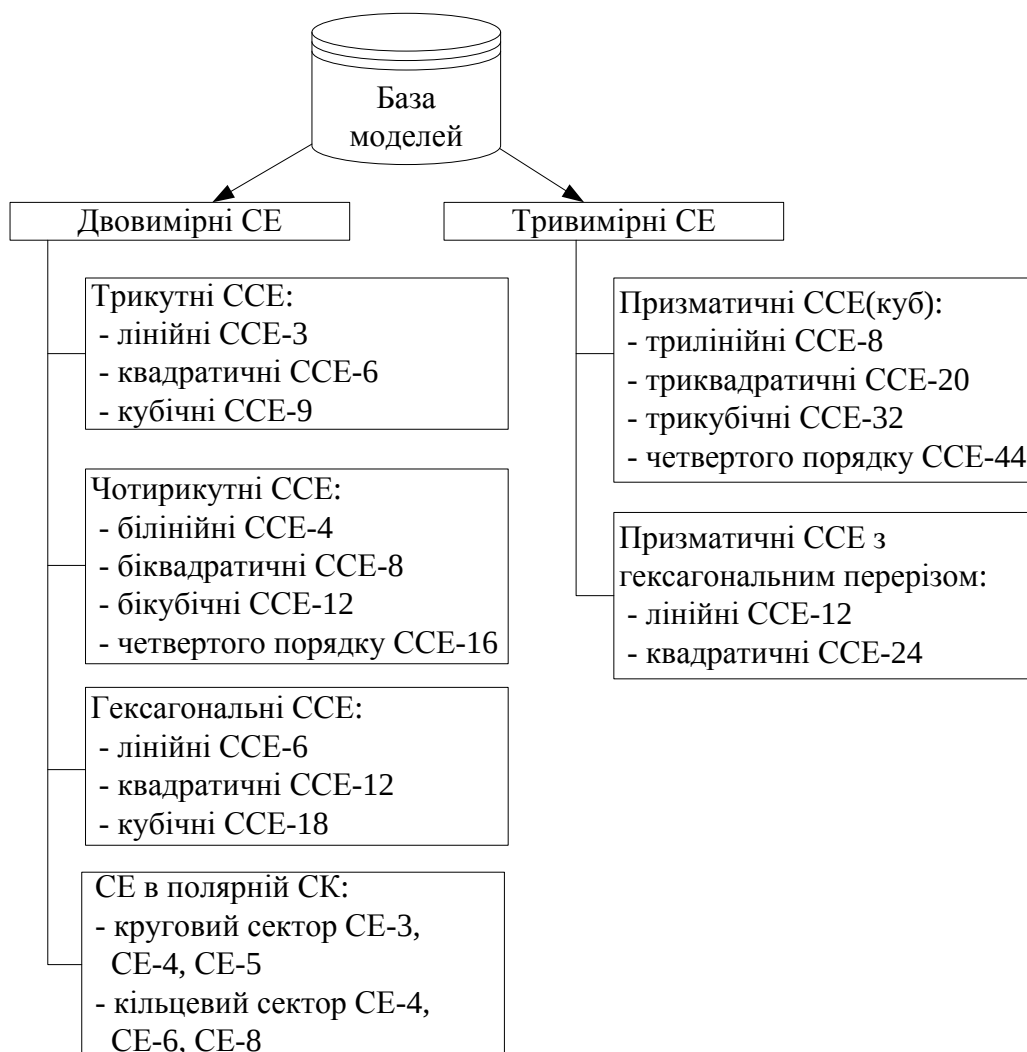


Рис.4.2. Типи моделей, що становлять базу моделей

Ядро візуалізації і рішення задач методом скінченних елементів включає в себе основні етапи вирішення завдань, які передбачені в системах, що реалізують МСЕ [95]. Всі пакети, що реалізують метод скінченних елементів, складаються з інформаційної та обчислювальної частин (рис. 4.3).

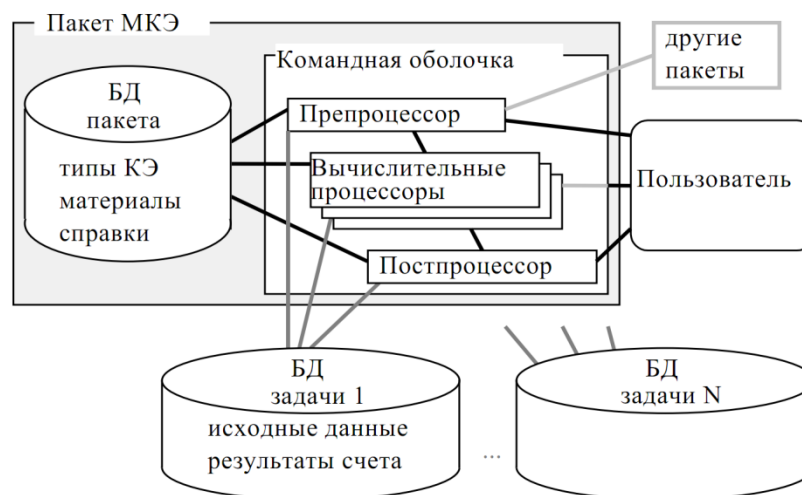


Рис.4.3. Пакет МСЕ. Загальна структура

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.

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.

4.3. Процедура візуалізації серендипових поверхонь

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.4.4.

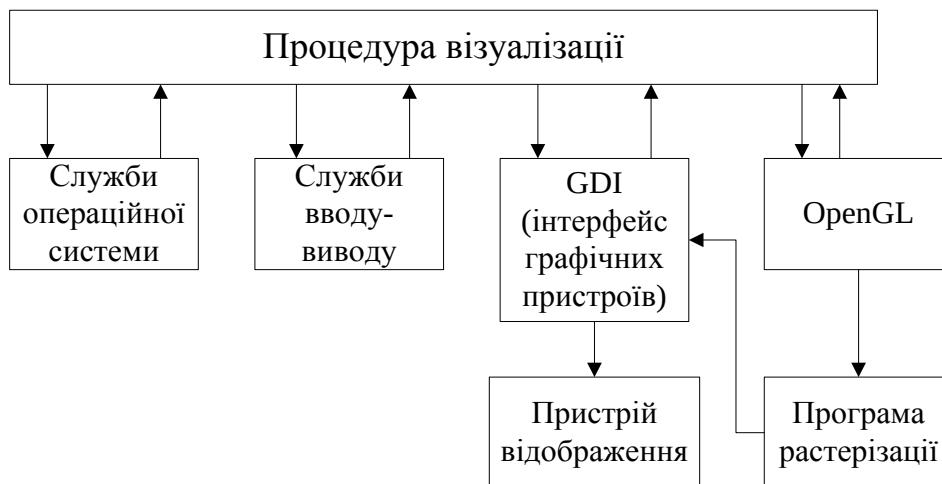


Рис.4.4. Місце OpenGL в процедурі візуалізації

В цілому, для відображення тривимірних компонентів побудови серендипових поверхонь у вікно виводу процедури візуалізації координати вершин піддаються перетворенням, які представлені на схемі (рис.4.5):

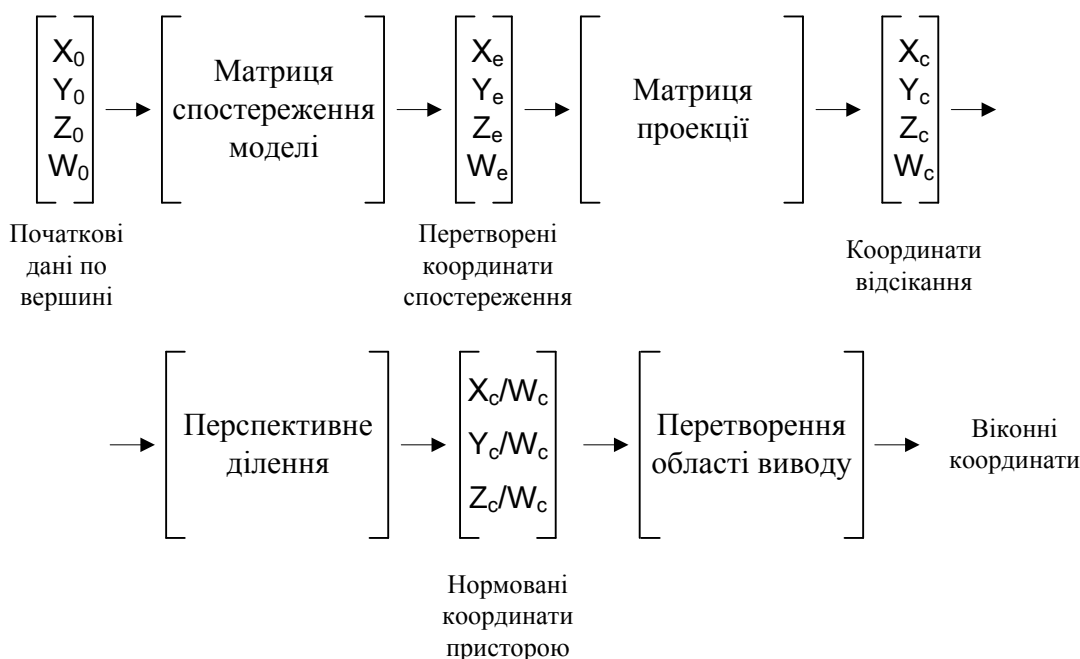


Рис.4.5. Конвеєр перетворення вершин

Розглянемо роботу конвеєра перетворення вершин. Спочатку вершини записуються у матрицю початкових даних, трьома першими значеннями якої є координати X , Y та Z , а четверте число - це масштабний коефіцієнт W . Після цього будується добуток матриці початкових даних і матриці спостереження моделі, що дає перетворені координати системи спостереження. Потім матриця координат системи спостереження перемножується з матрицею проєкції і отримуємо матрицю координат відсікання. Таким чином, ефективно усуваються дані, що не входять в об'єм, що спостерігається. Далі елементи матриці координат відсікання діляться на масштабний коефіцієнт W і отримуємо матрицю нормованих координат пристрою. В залежності від виконаних перетворень значення W може модифікуватися матрицею проєкції або матрицею спостереження моделі. Нарешті, за допомогою перетворення поля виводу трійка координат відображається на двовимірну площину екрану[82,84].

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:

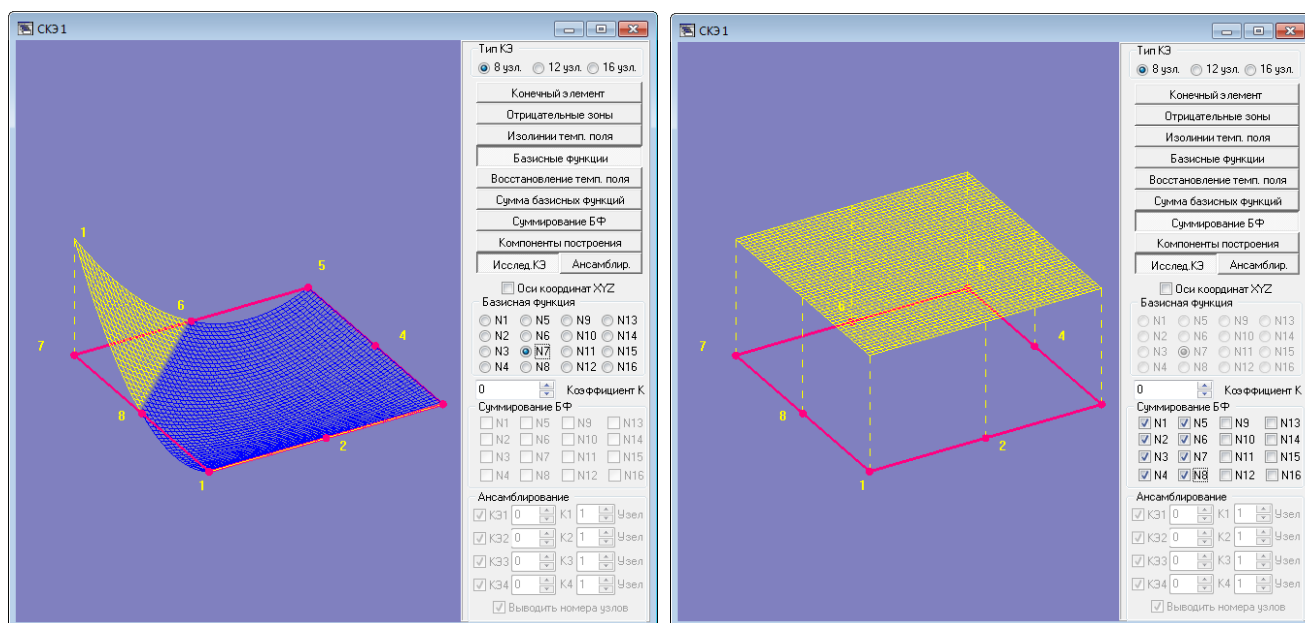
- задаються цілі числа n і m що визначають індексну сітку (i, j) в якій $i = \overline{0, n}$, $j = \overline{0, m}$;
- виконується дискретизація параметрів $\xi = \xi_0, \xi_1, \dots, \xi_n$, $\eta = \eta_0, \eta_1, \dots, \eta_m$ і створюється параметрична сітка $\{\xi_i, \eta_j\}$. У найпростішому 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.4.6а).



а) функція форми для вузла 7

б) сума функцій SCE-8

Рис.4.6. Головне вікно процедури візуалізації

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 МСЕ. Так наприклад:

Властивість 1. Базисні функції SCE-8 задовольняють інтерполяційній гіпотезі типу Лагранжа [114,115] (рис. 4.6.а):

$$N_i(\xi_k, \eta_k) = \delta_{ik}, \quad i, k = \overline{1, 8}, \quad (4.1)$$

де δ_{ik} - символ Кронекера.

Властивість 2. Система функцій задовольняє умові збереження вагового балансу [114,115] (рис. 4.6.б):

$$\sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) = 1. \quad (4.2)$$

Властивість 3. Базисна функція серендипового SSE-8 вздовж границь елемента є повним поліномом третього порядку і, як наслідок, має місце неперервність базисної функції на границі між елементами [114,115].

Наочно переконатися у виконанні третьої властивості (збереження C^0 - гладкості апроксимації на границі SE) дозволяє комп'ютерна візуалізація процедури об'єднання в ансамбль чотирьох функцій форми різних альтернативних моделей SSE-8, які відповідають загальному вузлу для чотирьох квадратів (рис.4.7).

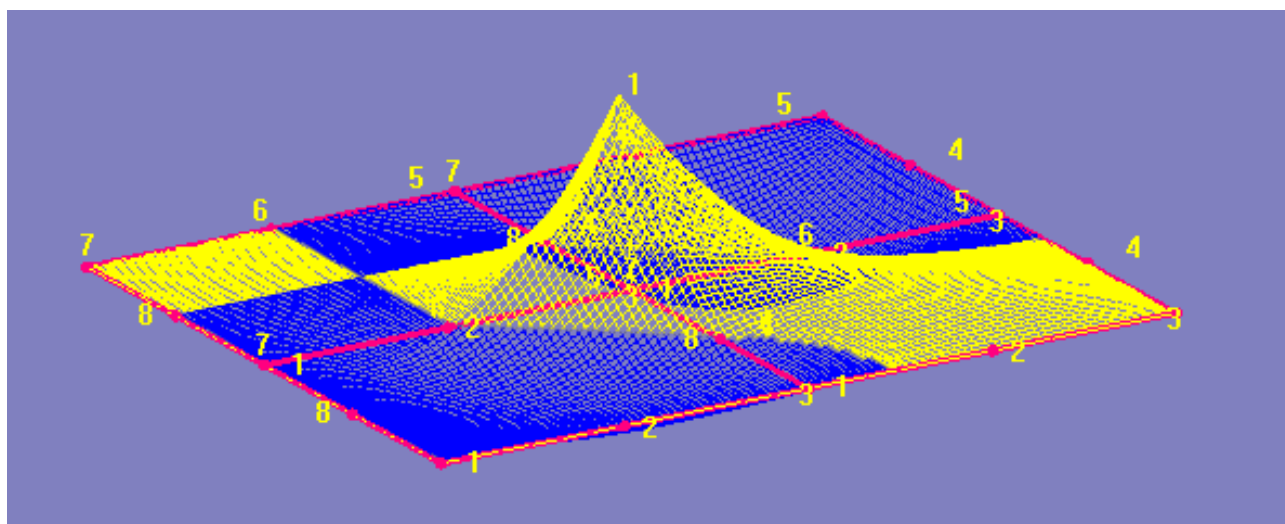


Рис. 4.7. Об'єднання в ансамбль чотирьох моделей SSE-8 при $K = 0; \frac{1533}{1000}; \frac{75}{100}; 1$ - починаючи з лівого нижнього квадрата проти годинникової стрілки

Властивість 4. Базисні функції геометрично ізотропні [114,115] (рис. 4.6.a): представлення залежної змінної на елементі не залежить від системи координат, що використовується, тобто геометрично ізотропне для ортогональних перетворень системи координат.

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

Наявність керуючого параметра K у формулах (36-38) дозволяє будувати всю множину альтернативних моделей SSE-8, використовуючи алгоритм процедури візуалізації (рис.4.8).

Алгоритм роботи процедури візуалізації представлений на рис. 4.8.

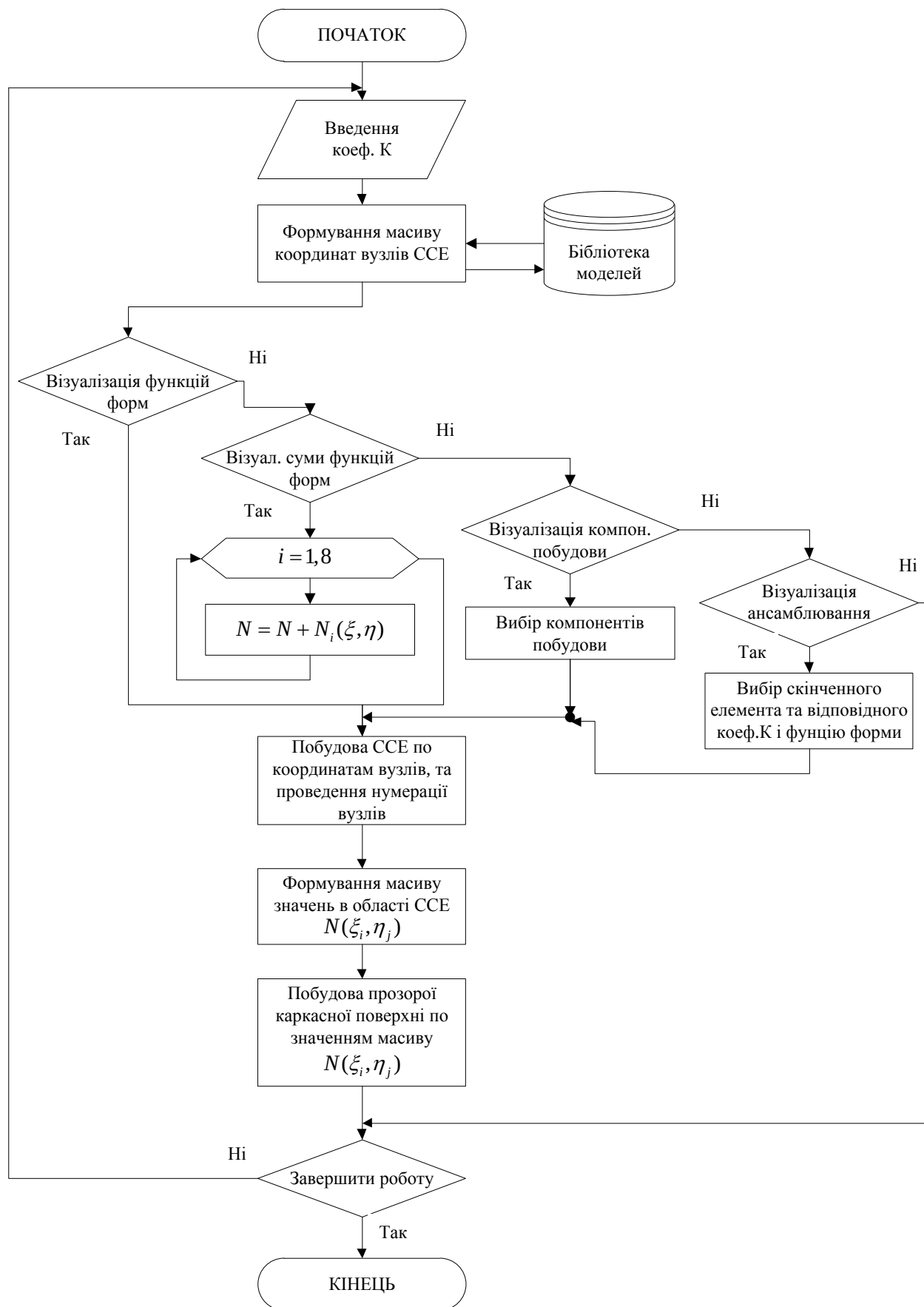


Рис.4.8. Алгоритм процедури візуалізації

За допомогою розробленого алгоритму можна розміщувати в одному екранному вікні як окрему базисну функцію, так і компоненти її побудови. Наприклад, у формулах (3.3)-(3.5) при $K = 0$ отримаємо стандартний базис SSE-8 (рис. 4.9).

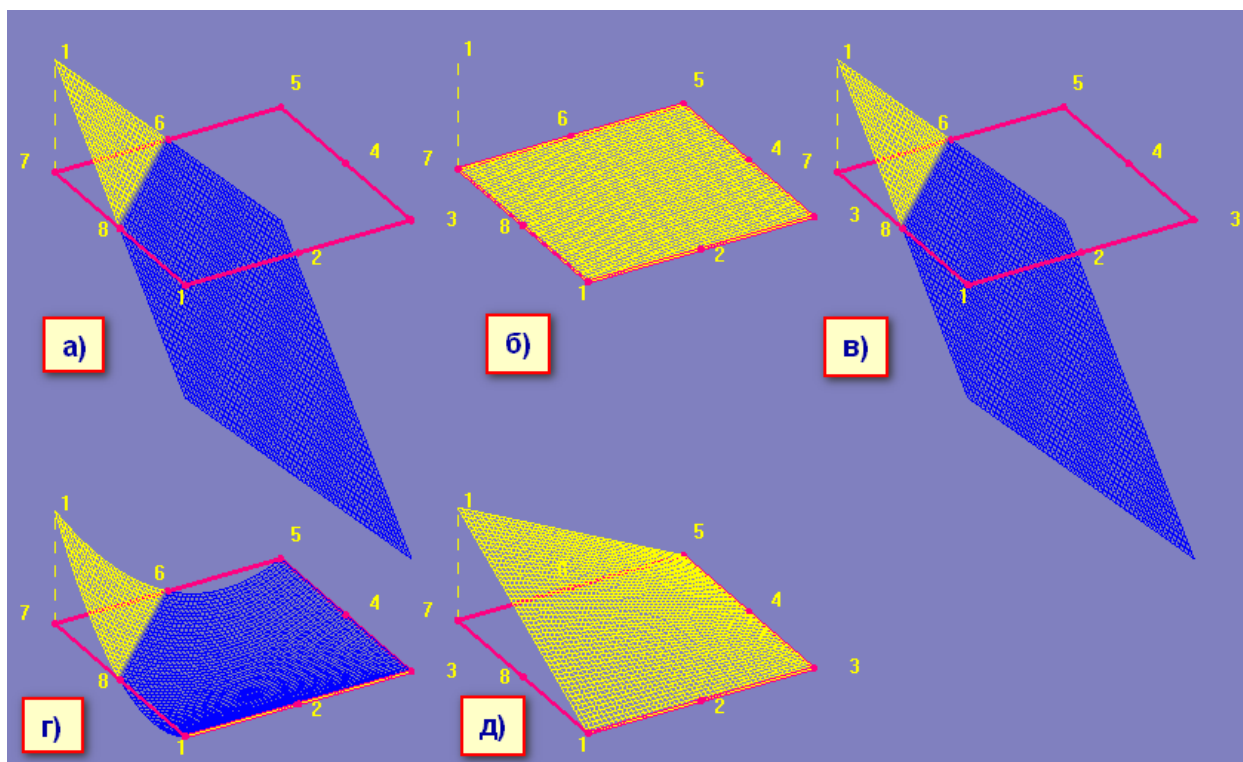


Рис. 4.9. Візуалізація компонентів побудови стандартного базису SSE-8

Використовуючи екранну копію (рис. 4.9), можна спостерігати процедуру отримання поверхні стандартної “кутової” функції біквадратичного елемента. При побудові функції форми для вузла 7 (рис.4.9г) в якості множників використано площину $f_1^{(1)} = -1 - \xi + \eta$ (рис. 4.9а) та гіперболічний параболоїд (гіпар) $f_1^{(2)} = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)$ (рис. 4.9д).

Аналогічно можна побудувати будь-яку “проміжну” функцію форми SSE-8 для вузлів 2,4,6,8.

Нагадаємо, що інтерполяційний поліном стандартного базису має кількість параметрів, яка відповідає кількості вузлів SSE. Відповідна схема Паскаля для біквадратичного елемента показана на рис.4.7а.

Розглянемо процес побудови альтернативної моделі при $K = 1$ (рис. 4.10).
Базисна функція для вузла 7 у цій моделі має вигляд:

$$N_7(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)(-1 - \xi + \eta + (1 + \xi)(1 - \eta)). \quad (4.3)$$

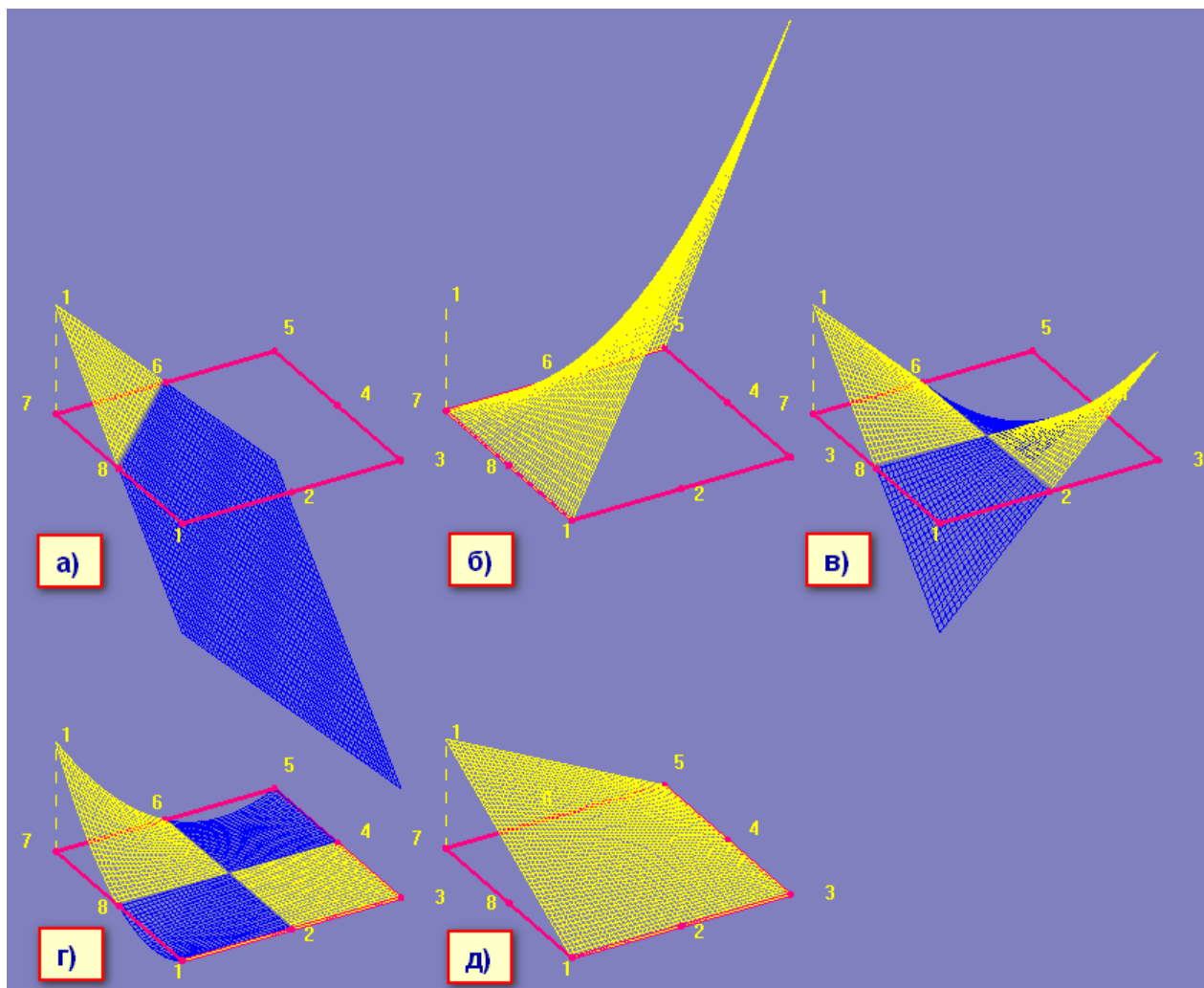


Рис.4.10. Візуалізація компонентів побудови альтернативного базису CSE-8

На рис. 4.10 показана геометрична процедура побудови модифікованого базису. Спочатку будується поверхня, яка є сумою двох поверхонь (рис. 4.10в): площини $f_1^{(1)} = -1 - \xi + \eta$ (рис.4.10а) і гіпара $f_1^{(2)} = (1 + \xi)(1 - \eta)$ (рис. 4.10б). Остаточно базисну функцію для вузла 7 (рис.4.10г) отримуємо як суперпозицію гіпару $f_1^{(2)} = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 + \eta)$ (рис. 4.10д) і поверхні $f_1^{(1+2)} = f_1^{(1)} + f_1^{(2)}$, що зображена на рис.4.10в. Зауважимо, що на відміну від стандартної поверхні (рис. 4.9), де використовувався лише добуток двох поверхонь, у

альтернативному базисі при побудові використовується ще один гіперболічний параболоїд (рис. 4.10б).

Використання при конструюванні функції форми додаткової поверхні (рис. 4.10б) приводить до появи “прихованого” параметра $\xi^2 \eta^2$. На відміну від стандартної моделі, цей базис має 9 мономів у інтерполяційному поліномі (рис.4.10б). Саме “приховані” параметри дозволяють будувати ієрархічні форми базисних функцій. Нагадаємо, що О. Зенкевич і К. Морган називають ієрархічними базисні функції, які отримані адитивним уточненням. У монографії [116] автори пишуть наступне: ”Повышение точности приближения может быть достигнуто последовательным повышением степени базисных функций (при фиксированной сетке конечных элементов)...”. Саме це відбувається в аналітичному методі побудови ієрархічних форм базисних функцій.

“Приховані” параметри [27] дозволяють отримати нові моделі ССЕ вищих порядків, які не тільки задовольняють основним властивостям базисів МСЕ, а і реалізують додаткові умови:

- реалізують експериментальний спектр навантажень при $K = 1.533$;
- задовольняють інтегральним критеріям гармонічності Привалова і Кьобе при $K = 1.2$ та $K = 1.333$ відповідно;
- отримані за допомогою альтернативної моделі з коефіцієнтом $K = 1.25$ матриці жорсткості мають мінімальний слід, що, як відомо, забезпечує більш високу точність розв’язку при розрахунках у методі скінченних елементів [32].

4.4. Процедура візуалізації ліній нульового рівня

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 поведження 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 (3.29)-(3.31) 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 описаний в [240] ефективний чисельний “метод маркірованих квадратів”. Метод заснований на просторовій інтерполяції функції двох змінних між вузловими значеннями $N(\xi_i, \eta_j)$ на прямокутній сітці:

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

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.4.11.

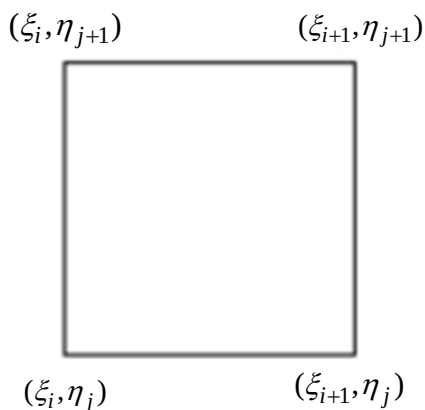


Рис.4.11. Прямокутна комірка

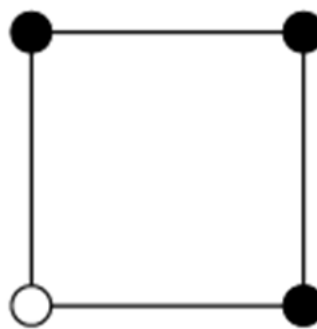


Рис.4.12. Маркірування кутів комірки

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 :

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

Цю ситуацію схематично можна представити у вигляді розкраски (маркірування) [240] кутів комірки: білим кольором маркірується кут, в якому значення більше заданого, а чорним – кути, в котрих значення менше заданого (Рис.4.12). 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.4.13.

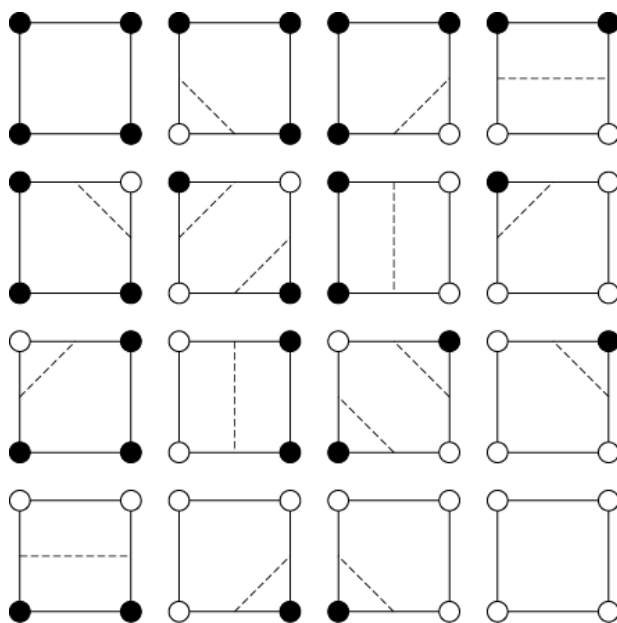


Рис. 4.13. 16 варіантів перетину комірки лінією рівня

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 :

$$N(\xi_i, \eta_j) = a, \quad a > t,$$

$$N(\xi_{i+1}, \eta_j) = b, \quad b < t.$$

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 згладжену 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.4.14-4.16, а бікубічного SSE-12 на рис.4.17-4.19.

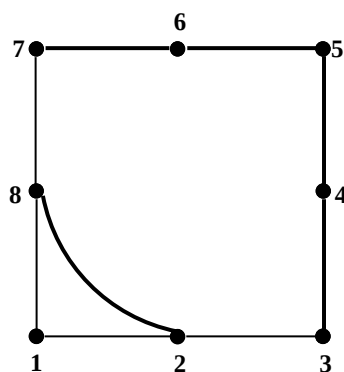


Рис.4.14. Модифіковані базиси з гіперболами при $K \in (-2; 0)$

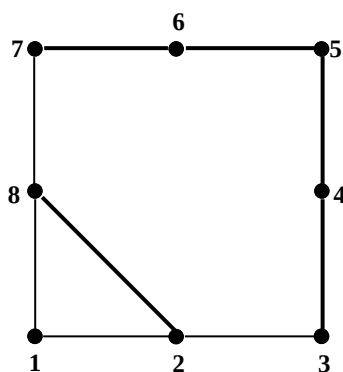


Рис. 4.15. Стандартний базис з прямою при $K = 0$

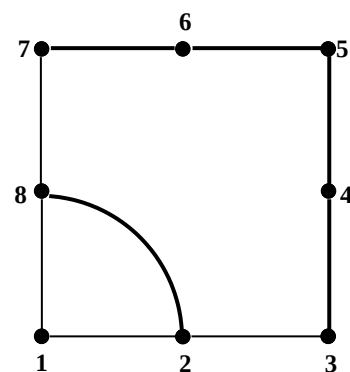


Рис. 4.16. Модифіковані базиси з гіперболами при $K \in (0; 1)$

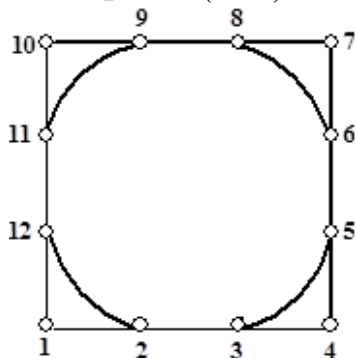


Рис. 4.17. Стандартний базис з колом при $K = 0$

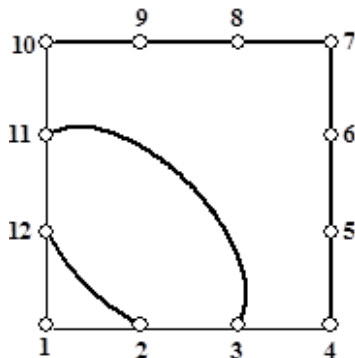


Рис. 4.18. Модифіковані базиси з еліпсами при $K \in (0; 1)$

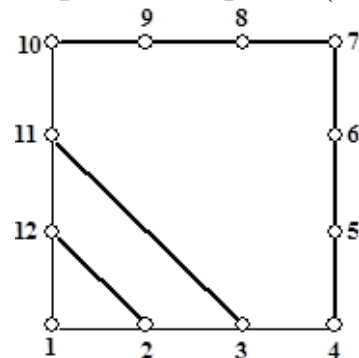


Рис. 4.19. Модифікований базис з паралельними прямими при $K = 1$

Алгоритм роботи процедури візуалізації представлений на рис. 4.20.

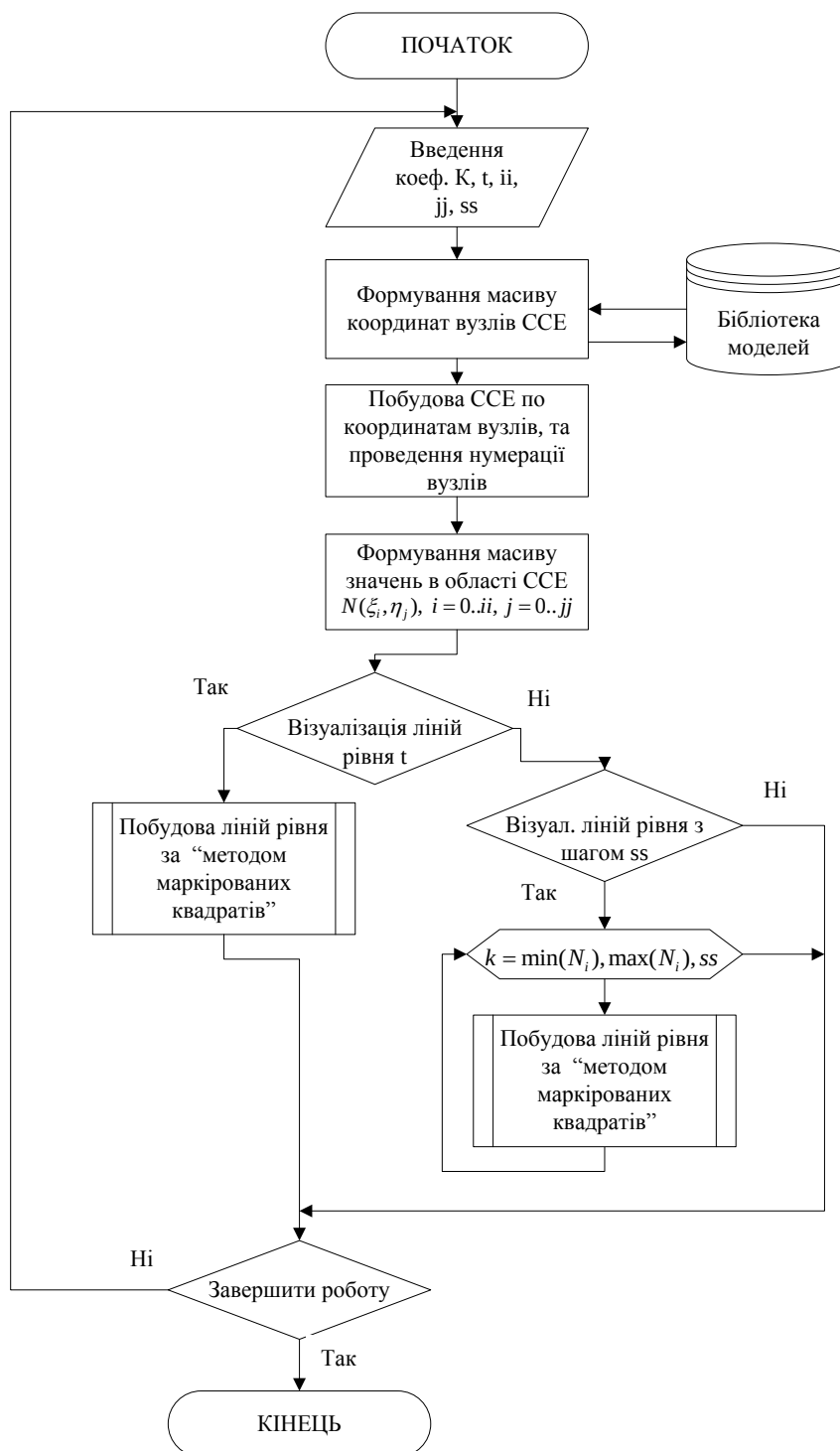


Рис.4.20. Алгоритм процедури візуалізації ліній нульового рівня

Наявність керуючого параметра k у формулах (3.29-3.31, 3.38-3.40) дозволяє будувати всю множину альтернативних моделей ССЕ-8, ССЕ-12, використовуючи алгоритм процедури візуалізації (рис. 4.20).

4.5. Процедура візуалізації фізичних полів застосовуючи просторові скінченні елементи серендипової сім'ї

Завдяки відкритій технології та модульному принципу нарощування підсистема дослідження легко розвивається і для просторових скінчених елементів. Це дає можливість більш детально досліджувати цілий спектр різноманітних просторових моделей.

Розглянемо просторові скінченні елементи серендипової сім'ї з трилінійною (рис.4.21) та трикубичною (рис.4.22) інтерполяцією.

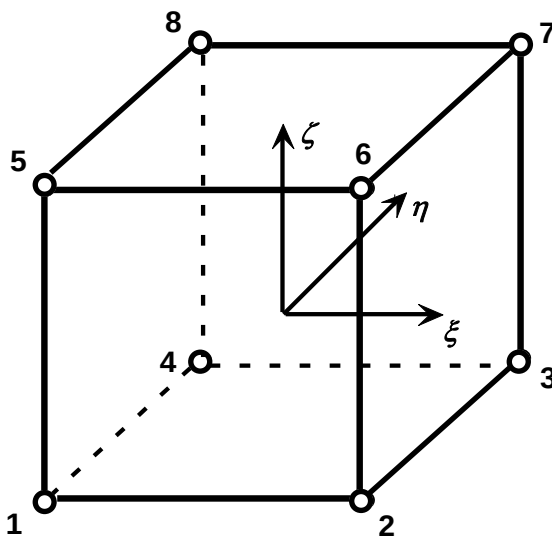


Рис. 4.21. CSE-8 ($|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1, |\zeta| \leq 1$)

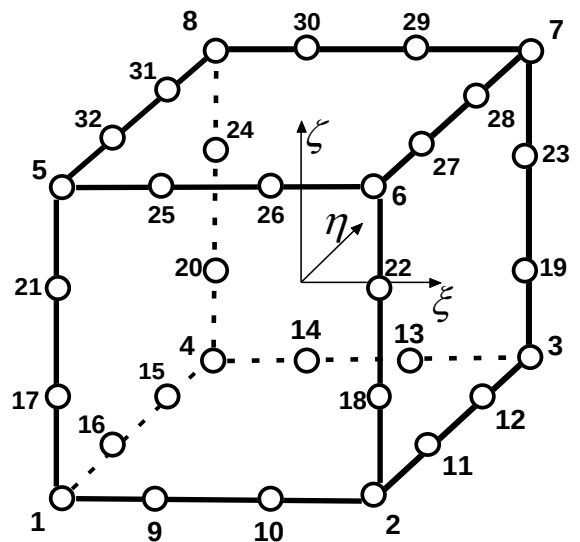


Рис. 4.22. CSE-32 ($|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1, |\zeta| \leq 1$)

Узагальнені формули для побудови базисних функцій трилінійного скінченного елемента CSE-8 мають вигляд:

$$N_i = \frac{1}{8}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta), \quad \xi_i, \eta_i, \zeta_i = \pm 1, \quad i = \overline{1, 8}. \quad (4.4)$$

А також запишемо узагальнені формули для побудови базисних функцій трикубичного елемента CSE-32:

$$N_i(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{64}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta) \left(9(\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2) - 19 \right), \quad (4.5)$$

$$\xi_i, \eta_i, \zeta_i = \pm 1; \quad i = \overline{1, 8};$$

$$N_i(\xi, \eta, \zeta) = \frac{9}{64}(1 - \xi^2)(1 + 9\xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta), \quad (4.6)$$

$$\xi_i = \pm \frac{1}{3}, \quad \eta_i, \zeta_i = \pm 1, \quad i = 9, 10, 13, 14, 25, 26, 29, 30.$$

Решта функцій утворюються із (4.6) шляхом циклічного переставлення ξ, η, ζ .

Для більш детального дослідження нових моделей просторових серендипових скінченних елементів виникла потреба в розробці процедури візуалізації.

Наприклад, температура T в будь-якій внутрішній точці бруска в формі куба при використанні CSE-32 визначається за допомогою аналітичної залежності:

$$T = \sum_{i=1}^{32} N_i(\xi, \eta, \zeta) \cdot T_i, \quad (4.7)$$

де N_i – базисні функції, T_i – температура у відповідній вузловій точці.

Завдання відображення значення функції двох змінних і ліній рівня, яку ми розглядали в попередніх підрозділах, можна розширити на випадок трьох змінних.

Розглянемо функцію f визначену в просторі трьох незалежних змінних. У кожній точці простору функція характеризується деяким скалярним значенням $f(\xi, \eta, \zeta)$, і ми говоримо, що функція f визначає скалярне поле (scalar field). Наприклад, функція f може характеризувати щільність речовини в кожній точці простору або інтенсивність поглинання рентгенівських променів тканинами тіла людини, яка вимірюється методами комп'ютерної томографії, або коефіцієнт прозорості в кожній точці скляної виливки.

Візуалізація скалярного поля - завдання набагато складніша, ніж візуалізація функції двох змінних, і на те є дві основні причини. По-перше, скалярний поле характеризується набагато більшим масивом даних, отже, для виконання навіть рутинних операцій на зразок читання файлу або канонічних перетворень доводиться винаходити спеціальні прискорені методи. По-друге, при візуалізації функції двох змінних можливо використовувати третю координату тривимірного простору для представлення значення функції. В

результаті отримуємо наочне зображення поведінки функції на області зміни незалежних змінних у вигляді рельєфу. При роботі з функцією трьох змінних руки у нас зв'язані - всі три координати тривимірного простору вже зайняті трьома незалежними змінними. Тим не менше можна поширити методи візуалізації функції двох змінних і на візуалізацію скалярних полів[240].

Будемо вважати, що в нашому розпорядженні є масив значень функції, сформований або по результатам вимірювань реального процесу, або обчисленням аналітично заданої функції в точках (ξ_i, η_j, ζ_k) . Такий масив представляє об'ємну множину даних вибірок знятих на рівномірній сітці за координатами ξ, η, ζ (рис.4.23). Отже, маємо

$$f_{ijk} = f(\xi_i, \eta_j, \zeta_k),$$

$$\text{де } \xi_i = \xi_0 + i\Delta\xi, \quad \eta_j = \eta_0 + j\Delta\eta, \quad \zeta_k = \zeta_0 + k\Delta\zeta.$$

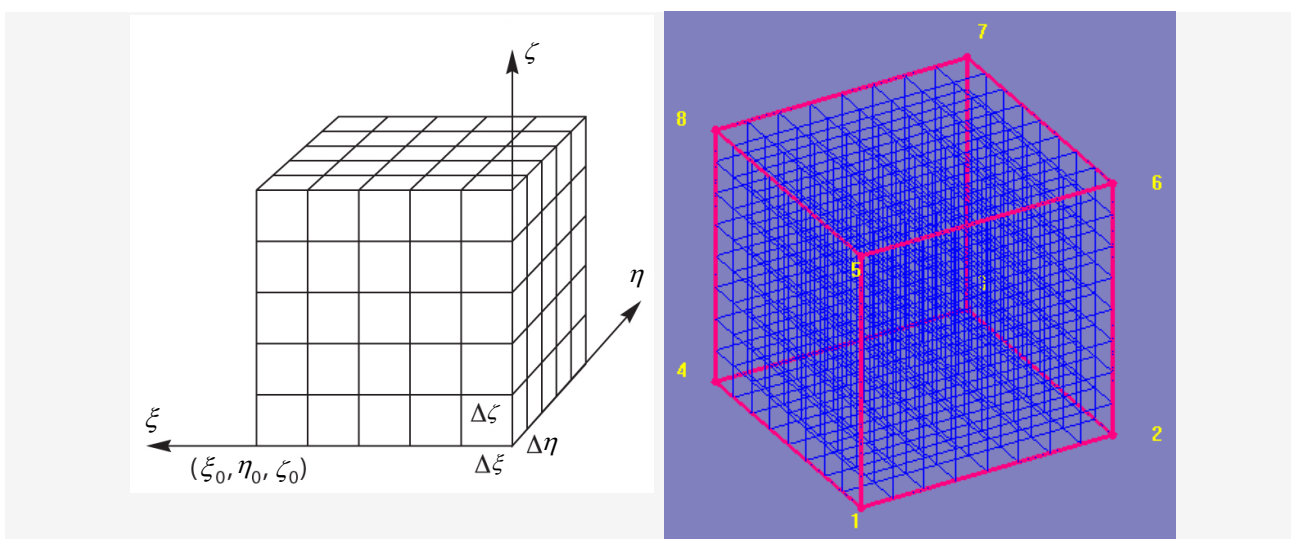


Рис. 4.23. Об'ємна множина даних

Кожне значення f_{ijk} можна вважати результатом усереднення скалярного поля в правильному паралелепіпеді зі сторонами $\Delta\xi, \Delta\eta, \Delta\zeta$, центр якого знаходиться в точці (ξ_i, η_j, ζ_k) . Такий елементарний паралелепіпед будемо називати воксель (voxel) за аналогією з пікселем - елементарної області двовірної площини[240].

Тривимірний масив значень скалярного поля, відповідних вокселів, представляє структуровану множину даних (structured data set), оскільки при

його зберіганні немає сенсу зберігати ще й інформацію про розміщення кожної вибірки в просторі. Терміни структурована множина даних і множина пікселів (Set of voxels) найчастіше використовують як синоніми.

Дані, зняті в довільних точках простору, повинні зберігатися разом з координатами відповідних точок, а тому їх прийнято називати неструктурованою множиною даних. Візуалізація неструктурованої множини даних виконується трохи складніше, але, в кінці кінців, все зводиться до тих же самим методам.

Способів наочного представлення скалярного поля можна придумати навіть більше, ніж способів відображення функції двох змінних. Однак з усієї безлічі найбільшу популярність завоювали два - безпосереднє відображення об'єму і побудова ізоповерхні. При безпосередньому відображенні об'єму у формуванні зображення "приймає участь" кожен Воксель, а при побудові ізоповерхні в конкретному зображенні використовується тільки підмножина вокселів[14]. Для функції $f(\xi, \eta, \zeta)$ ізоповерхня визначається рівнянням в неявній формі:

$$f(\xi, \eta, \zeta) = c,$$

де c - рівень ізоповерхні.

Нехай є масив вибірок $\{f_{i,j,k}\}$ скалярного поля $f(\xi, \eta, \zeta)$ - множина вокселів. Потрібно за цими вибірками побудувати ізоповерхню у формі полігональної сітки. Для заданого значення c може існувати єдина ізоповерхня, ніякої ізоповерхні або декілька. Враховуючи, що графічна система найкраще справляється з завданням відображення тривимірних трикутників, застосуємо метод, який дозволить відшукати вершини ізоповерхні і апроксимувати її множиною трикутників. Цей метод отримав найменування методу маркірованих кубиків і вперше був запропонований в 1987 році на конференції SIGGRAPH Вільямом Лоренсеном і Харві Клайном [293].

Будемо вважати, що вибірки зняті на рівномірній сітці, вузли якої збігаються з центрами вокселів. Вісім сусідніх вузлів просторової сітки утворюють одну комірку в формі кубика (рис. 4.24). Воксель (i, j, k) в кутку цієї

комірки має значення f_{ijk} . Тепер на основі наявних значень вокселів слід проаналізувати, чи проходить ізоповерхня через дану комірку, і якщо проходить, то відшукати координати вершин відповідної ділянки.

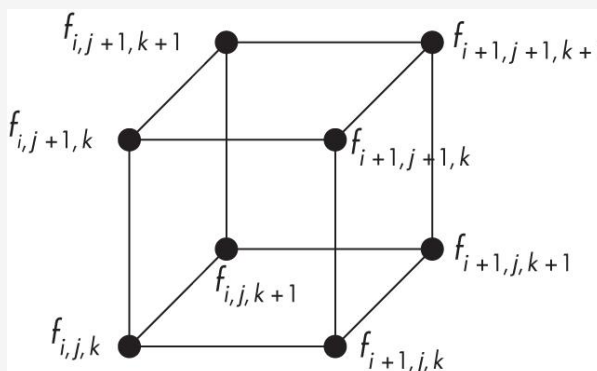


Рис. 4.24. Комірка вокселів

Для даного значення рівня ізоповерхні s можна промаркувати чорним і білим кольором вершини комірки в залежності від того, перевищує значення відповідного вокселя s чи ні. Існує $2^8=256$ можливих варіантів маркування окремої комірки. Але взявши до уваги наявну симетрію окремих варіантів, все розмаїття зводиться до 14 унікальних випадків (рис. 4.25).

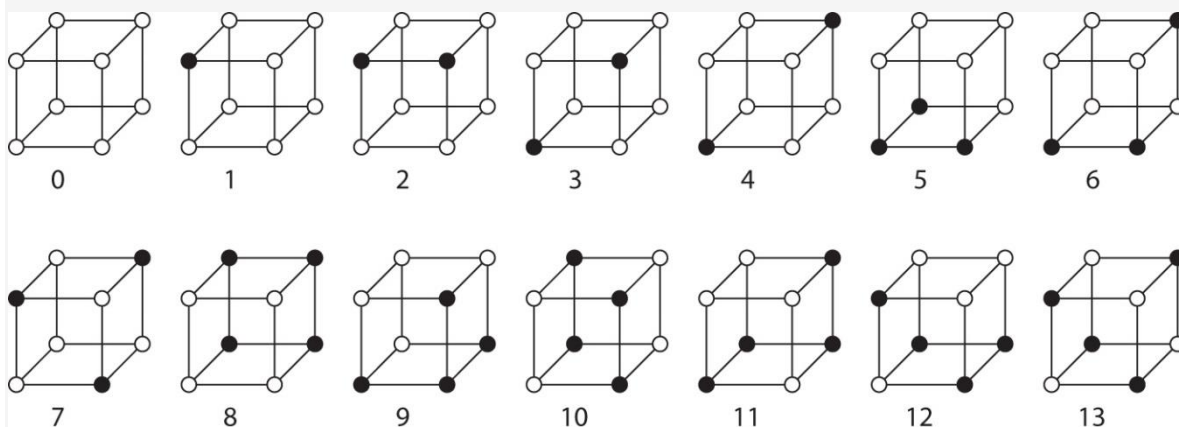


Рис. 4.25. Варіанти маркування комірок вокселів

Точки перетину поверхні з ребрами комірки можна обчислити, використовуючи той же метод інтерполяції, який застосовувався при обробці квадратних комірок у методі маркованих квадратів [240]. Після визначення

координат точок перетину формується ділянку ізоповерхні у вигляді одного або декількох трикутників (рис.4.26).

Кубічні комірки вокселів можна обробляти незалежно один від одного. Значення кожного внутрішнього вокселя (тобто вокселя, не розташованого по краях області існування скалярного поля) впливає на розташування ділянок ізоповерхні у восьми сусідніх комірках. Найпростіший алгоритм - обробляти осередок послідовно, рядок за рядком, шар за шаром.

Після обробки чергової комірки сформована в ній ділянка ізоповерхні у вигляді одного або декількох трикутників передається в конвеєр візуалізації графічної системи. Оскільки до цього алгоритму досить просто можна застосувати паралельну обробку, метод маркірованих кубиків широко використовується для візуалізації тривимірних даних. Цей метод одночасно служить і для стиснення інформації, наявної у вихідному масиві вокселів, а також для моделювання.

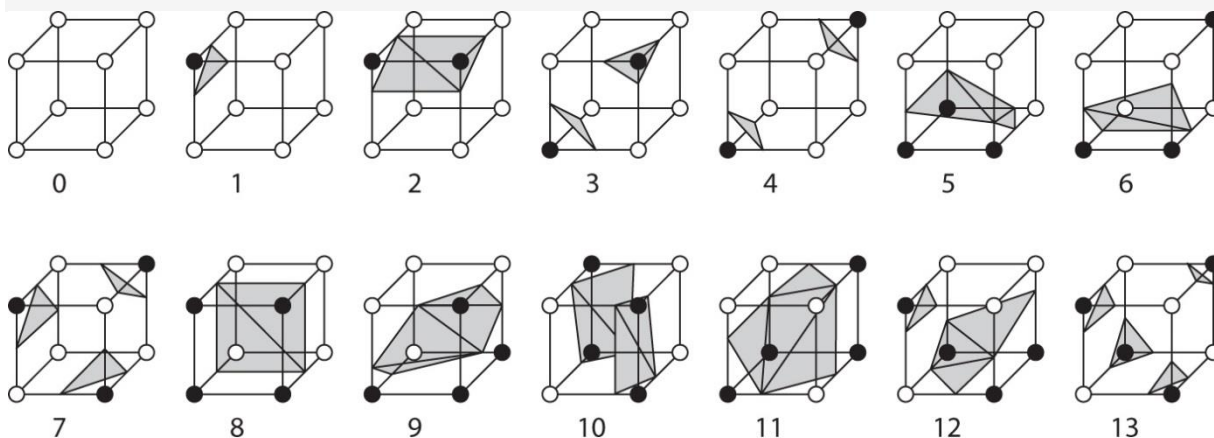


Рис. 4.26. Елементарні ділянки ізоповерхні в осередках вокселів

В процедурі візуалізації температурних полів при застосуванні просторових серендипових скінчених елементів реалізований гнучкий механізм, що задає кількість точок розбиття з метою швидкого ескізного зображення як ізоповерхні, так і об'ємного зображення скалярного поля температур. Сукупність таких точок утворюють комірки, вершини яких

розглядаються за викладеним вище методом для побудови температурних полів. Завдяки гнучкому механізму вибору числа інтервалів дискретизації, та лінійної інтерполяції трьох змінних між вузовими значеннями ми отримуємо реалістичну згладжену ізоповверхню тривимірного скалярного поля. Для відображення температури в осередках вокселів використовується колір зображення (рис.4.27), де кожне значення температури передається на екрані монітора своїм кольором. Ділянки із зниженою температурою, передаються "холодними" кольорами (синіми), а з підвищеною температурою - "теплыми" кольорами (рожевим, червоним). Розроблена процедура в інтерактивному режимі дозволяє змінювати температуру у базових вузових точках, що дає змогу перевіряти нові моделі на різних класах задач, виявляти аномалії та проводити порівняння з іншими моделями та методами розрахунку.

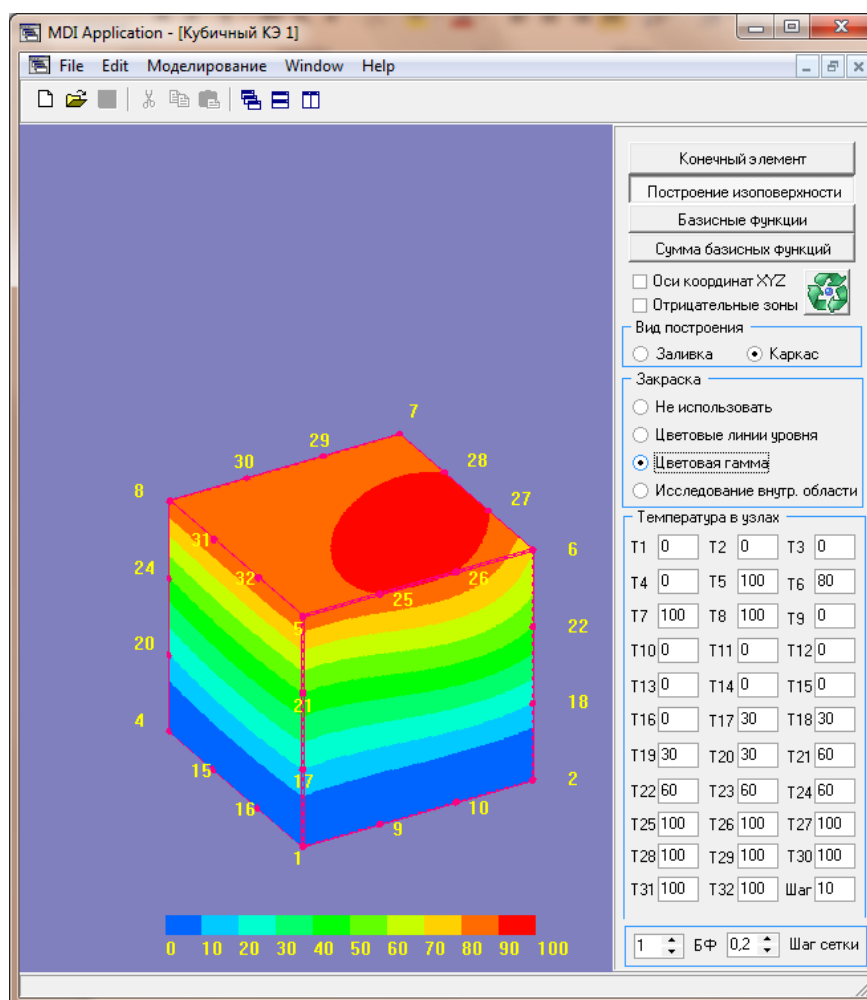


Рис. 4.27. Візуалізація температурного поля використовуючи SSE-32

Алгоритм роботи процедури візуалізації представлений на рис. 4.28.

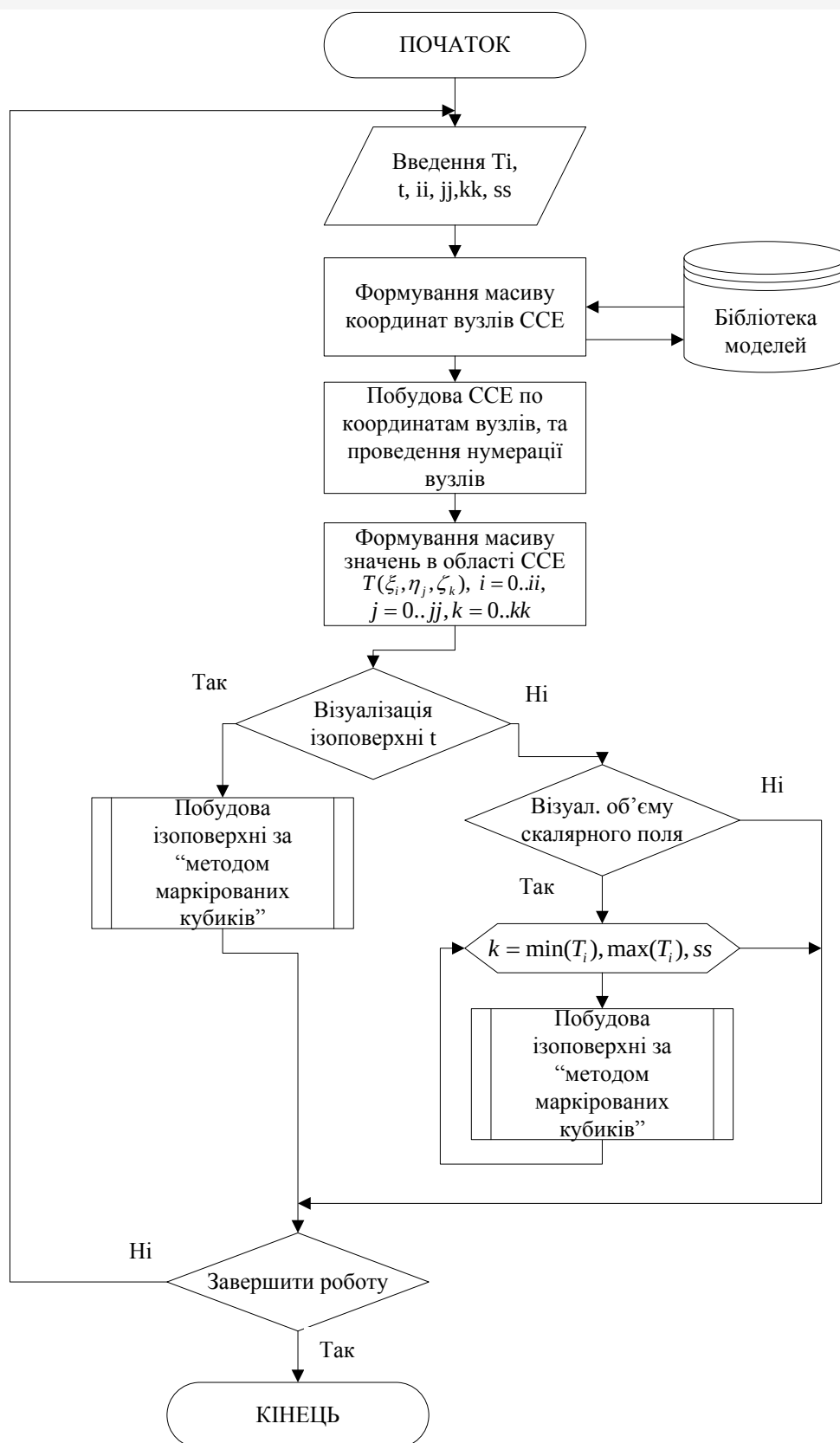


Рис.4.28. Алгоритм процедури візуалізації

Висновки до розділу 4

1. Проведений аналіз програмних систем призначених для автоматизації чисельного розрахунку за допомогою скінчених елементів свідчить про те, що як правило вони є закритими і не дозволяють втручатися в процес розрахунку на рівні методів розв'язку, а також досліджувати задачі, розв'язок яких не був передбачений розробниками.

2. Розроблена автоматизована підсистема дослідження моделей скінчених елементів, яка дає користувачеві можливість подальшого дослідження отриманих моделей, вирішувати практичні прикладні задачі, проводити порівняльну характеристику альтернативних моделей і дозволяє приймати рішення щодо подальшого застосування та оптимізації обчислювальних властивостей моделей.

3. Під час розробки програмного забезпечення використовувалися сучасні інструментальні програмні засоби та технології на базі об'єктно-орієнтованого проектування Delphi та для розробки додатків в області двовимірної і тривимірної графіки використовувався один з найбільш популярних прикладних програмних інтерфейсів OpenGL, підтримуваний більшістю виробників, як апаратних, так і програмних платформ.

4. Розроблена система управління базою моделей скінчених елементів, в яку занесені СЕ серендипової сім'ї другого, третього та червертого порядку, яка дозволяє обслуговувати широкий спектр моделей, які підтримують різноманітні класи задач.

5. Розроблені процедури візуалізації дозволяють досліджувати наявні моделі на виконання властивостей притаманних функціям форми у МСЕ будувати нові моделі змінюючи керуючий параметр K та проводити оптимізацію при вирішенні прикладних задач.

РОЗДІЛ 5

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ КЕРУВАННЯ ОПЕРАТИВНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ

5.1. Використання геоінформаційних технологій для вирішення задач при надзвичайні ситуаціях

Стан захищеності населення, об'єктів економіки і навколишнього природного середовища від надзвичайних ситуацій багато в чому залежить від завчасної, ретельного опрацювання заходів щодо попередження і ліквідації НС природного і техногенного характеру.

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.).

Будь-яка 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 прийнять 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.

5.2. Основні можливості космічних навігаційних систем

Автоматизована комп'ютерна обробка різномірної просторової географічної інформації з використанням ГІС- технологій викликала необхідність отримання високоточних координат. В даний час високоточне визначення місця розташування на місцевості як в статиці так і в русі досягається використанням даних з систем супутникового позиціонування, які потім інтегруються в ГІС.

Техніка навігаційних визначень за сигналами штучних супутників Землі (ШСЗ) стала відпрацьовуватися починаючи з 1957р. Супутникові радіонавігаційні системи першого покоління з'явилися на початку 60-х років. В даний час в світі функціонують три основні системи супутникового позиціонування з різним ступенем навігаційного покриття і рівнем сервісу надання навігаційних послуг - GPS(США), ГЛОНАСС (Росія), Galileo

(Європейський Союз). Розглянемо основні принципи організації систем супутникового позиціонування.

5.2.1. Система глобального позиціонування GPS

Супутникова навігаційна система GPS(Global Positioning System) була спочатку розроблена США для використання у військових цілях. Проект супутникової мережі для визначення координат в режимі реального часу в будь-якій точці земної кулі був названий Navstar (Navigation system with timing and ranging - навігаційна система визначення часу і дальності), тоді як аббревіатура GPS з'явилася пізніше, коли система стала використовуватися не тільки в оборонних, але і в цивільних цілях. Перші кроки по розгортанню навігаційної мережі були зроблені в середині сімдесятих, комерційна ж експлуатація системи в сьогодиншньому вигляді почалася з 1995 р. Система GPS в цілому складається з трьох сегментів: космічного, керуючого, призначеного для користувача (рис.5.1).

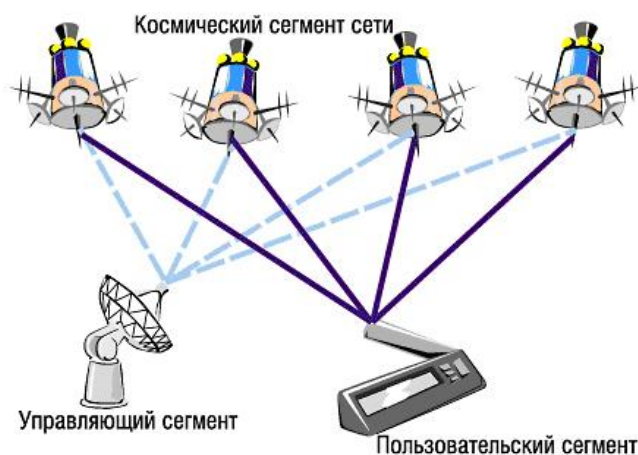


Рис.5.1. Сегменти навігаційної системи

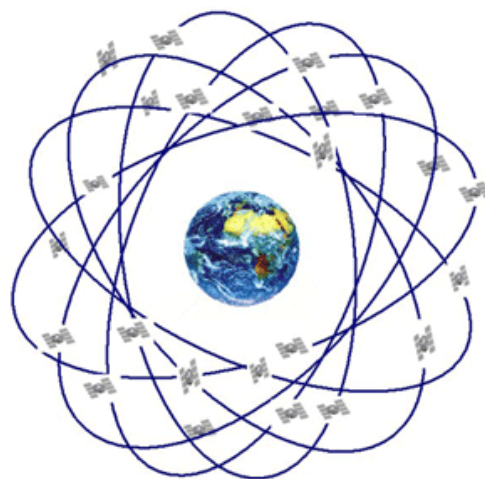


Рис.5.2. Космічний сегмент системи GPS

Відповідно до Інтерфейсного контрольного документу GPS (ICD-200C-002, 25.9.97), основними розробниками і творцями (contractors) системи є:

– по космічному сегменту - Rockwell International Space System Division (НКА Блок-МІ / ІІА / ІІФ), Martin Marietta Astro Space Division (Блок-ПК);

- по сегменту управління - IBM, Federal Systems Company;
- по сегменту споживачів - Rockwell International, Collins Avionics & Communication Division.

Основою космічного сегменту є 24 GPS- супутники, що рухаються над поверхнею Землі по 6 орбітальним траєкторіях (по 4 супутника на кожній) (рис.5.2), на висоті 20180 км, Нахил траєкторій становить 55 градусів. Супутники GPS розподілені по шести орбітальним площинах. Орбіти супутників забезпечують одночасну видимість від чотирьох до дванадцяти апаратів в будь-якій точці земної поверхні. Термін служби кожного з них становить 10 років, їх замінюють у міру виходу з ладу.

GPS супутники передають три навігаційних сигналу на двох частотах L1 і L2. «Цивільний» сигнал C/A, який передається на частоті L1 (1575.42 МГц), доступний всім користувачам, і забезпечує точність позиціонування 3-10 метрів. Високоточний «військовий» P-код, передається на частотах L1 і L2 (1227.60 МГц) і його точність на порядок вище «громадянського» сигналу. Використання сигналу, що передається на двох різних частотах, дозволяє також частково компенсувати іоносферні затримки. В останній модифікації супутників «GPS IIR-M» реалізований новий «цивільний» сигнал L2C, покликаний підвищити точність GPS вимірювань.

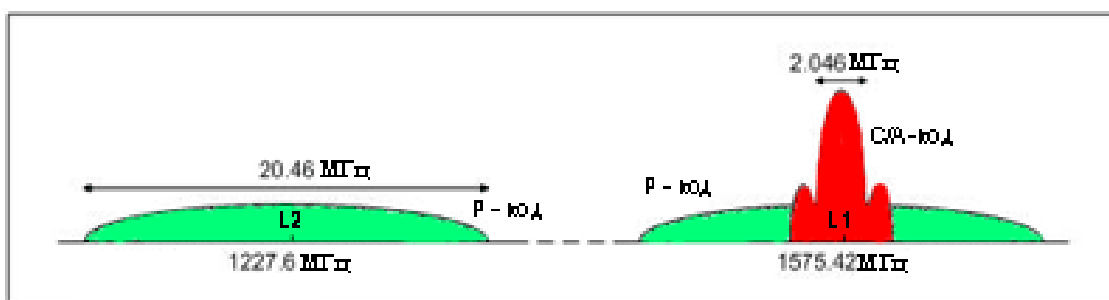


Рис.5.3. Навігаційні сигнали

Ідентифікація навігаційних сигналів здійснюється за номером, відповідним «псевдошумовому коду» (PRN - pseudo-random noise), унікального для кожного супутника. У технічній специфікації GPS системи спочатку було закладено 32 кода. На етапі розробки системи і початковому періоді її експлуатації, планувалося, що кількість робочих супутників не перевищуватиме

24-х. Вільні коди виділялися для нових GPS супутників, що знаходяться на етапі введення в експлуатацію. І цієї кількості було достатньо для нормального функціонування системи. Але в даний час, на орбіті знаходиться вже 32 супутника, з яких 31 функціонує в робочому режимі, передаючи навігаційний сигнал на Землю. «Надмірність» супутників дозволяє забезпечити користувачеві обчислення позиції в умовах, де «видимість» неба обмежена висотними будівлями, деревами або горами.

У керуючий сегмент GPS входять 5 контрольних центрів (включаючи майстер-центр), дислокованих на американських військових базах. Станції спостереження, розташовані на Гаваях, атолі Кваджелейн (Kwajalein), островах Вознесіння (Ascension Island) і Дієго-Гарсія (Diego Garcia) та в Колорадо-Спрінгс (Colorado Springs), три наземні антени (на островах Вознесіння, Дієго-Гарсія і атолі Кваджелейн), а також головна контрольна станція, розташована на базі Falcon військово-повітряних сил США в Колорадо. Станції спостереження стежать за супутниками, записуючи всю інформацію про їх рух, яка передається на головну командну станцію для коректування орбіт і навігаційної інформації.

Призначений для користувача сегмент є самий насичений - в нього входять десятки і сотні тисяч стаціонарних і персональних GPS- приймачів, які продаються у вигляді автономних пристроїв, модулів розширення до портативних комп'ютерів або ж вбудовуються в певні види обладнання (годинник, стільникові телефони та ін. пристрої). Призначені для користувача приймачі дозволяють визначити координати місця, реєструючи видимими в даній точці супутниками сигнали.

5.2.2. Система глобального позиціонування ГЛОНАСС

Глобальна навігаційна супутникова система (ГЛОНАСС) - радянська і російська супутникова система навігації, розроблена на замовлення Міністерства оборони СРСР. Розробка ГЛОНАСС почалася в СРСР в 1976 році.

Спочатку система створювалася для військових потреб, але потім знайшла цивільне застосування. Її використовують для керування транспортними потоками на всіх видах транспорту, для контролю перевезень цінних і небезпечних вантажів, для контролю рибальства в територіальних водах, під час пошуково-рятувальних операцій, для проведення геодезичних зйомок, при прокладці нафто- і газопроводів, ліній електропередач, в будівництві і т.д.

Система ГЛОНАСС має свій початок з введення на орбіти перших космічних апаратів в 1982 році. До 1993 року система мала в своєму складі вже 12 супутників, які дозволяли проводити глобальні безперервні двомірні і дискретні тривимірні визначення місця знаходження.

Повністю розгорнуте до теперішнього часу орбітальне угруповання системи ГЛОНАСС складається з 24 супутників на кругових орбітах з нахилом 64,8 градуса на висоті 19100 км і періодом обігу 11 годин 15 хвилин. Супутники системи рівномірно розміщуються в трьох орбітальних площинах, рознесених по довготі на 120 градусів в кожній по 8 супутників (рис.5.4). Саме така орбітальна побудова дозволила створити суцільне радіонавігаційне поле над поверхнею Землі до висот 2000 км. В межах таких висот користувач в будь-який момент часу може прийняти радіонавігаційні сигнали щонайменше від 4 супутників, що утворюють близьку до оптимальної конфігурацію.

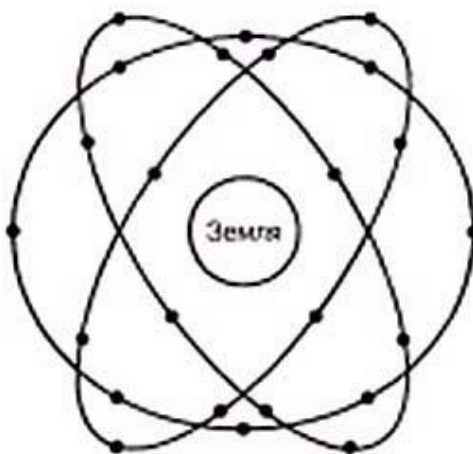


Рис. 5.4. Космічний сегмент системи ГЛОНАСС

Приймачі ГЛОНАСС дозволяють визначити:

- горизонтальні координати з точністю 50-70 м (ймовірність 99,7%),
- вертикальні координати з точністю 70 м (ймовірність 99,7%),
- вектор швидкості з точністю 15 см / с (ймовірність 99,7%),
- точний час з точністю 0,7 мкс (ймовірність 99,7%).

Кожен супутник передає сигнали двох видів: відкриті зі звичайною точністю і захищені з підвищеною точністю. Перший вид сигналу доступний кожному приймачу ГЛОНАСС, другий - тільки авторизованій апаратурі Збройних сил РФ.

На даний момент в системі ГЛОНАСС налічується 29 космічних апаратів, з яких 24 використовуються за цільовим призначенням, один - на етапі льотних випробувань, один - на етапі введення в систему, три - в орбітальному резерві.

5.2.3. Система глобального позиціонування Galileo

Галілео (Galileo) - європейський проект супутникової системи навігації. Європейська система призначена для вирішення навігаційних завдань для будь-яких рухомих об'єктів з точністю менше одного метра. Крім країн європейського співтовариства досягнуті домовленості на участь в проекті з державами - Китай, Ізраїль, Південна Корея. Крім того, ведуться переговори з представниками Аргентини, Австралії, Бразилії, Чилі, Індії, Малайзії, Росії та України.

Очікується, що «Галілео» прийде до ладу, коли на орбіту будуть виведені всі 30 запланованих супутників (27 операційних і 3 резервних). Компанія Arianespace уклала договір на 10 ракет-носіїв «Союз» для запуску супутників, починаючи з 2010 року. Космічний сегмент буде обслуговуватися наземною інфраструктурою, що включає в себе три центри управління і глобальну мережу передавальних і приймальних станцій.

На відміну від американської GPS і російської ГЛОНАСС, система Галілео не контролюється національними військовими відомствами, проте, в

2008 році парламент ЄС прийняв резолюцію «Значення космосу для безпеки Європи», згідно з якою допускається використання супутникових сигналів для військових операцій, що проводяться в рамках європейської політики безпеки. Розробку системи здійснює Європейське космічне агентство.

Супутники «Галілео» будуть виводитися на орбіти заввишки 23 222 км (або 29 600,318 км від центру Землі), проходити один виток за 14 год 4 хв і 42 с і обертатися в трьох площинах, нахилених під кутом 56° до екватора, що забезпечить одночасну видимість з будь-якої точки земної кулі принаймні чотирьох апаратів. Тимчасова похибка атомного годинника, встановлених на супутниках, становить одну мільярдну частку секунди, що забезпечить точність визначення місця приймача близько 30 см на низьких широтах. За рахунок більш високої, ніж у супутників GPS орбіти, на широті Полярного кола буде забезпечена точність до одного метра.

Перший дослідний супутникової системи Галілео був доставлений на космодром Байконур 30 листопада 2005 року. 28 грудня 2005 року в 8:19 за допомогою ракети-носія «Союз-ФГ» космічний апарат GIOVE-A був виведений на розрахункову орбіту.

В даний час орбітальне угруповання системи "Галілео" складається з 12 космічних апаратів. Вони виводилися попарно на ракетах-носіях "Союз-СТ" виробництва РФ, які стартували з космодрому Куру у Французькій Гвіані. Планується до 2020 року вивести решту запланованих супутників.

Успішний запуск проекту Galileo дозволить збільшити більше ніж в два рази кількість робочих навігаційних супутників, доступних користувачам. Подібне збільшення кількості супутників принесе користь не тільки при роботі в автономному режимі, але і поліпшить якість визначення координат і здатність GPS-апаратури дозволяти неоднозначність по фазі несучої для відстеження супутникового сигналу(табл.5.1).

Супутникова радіонавігаційна система Galileo є унікальним глобальним проектом системи масового обслуговування XXI століття. Її параметри без перебільшення можна, назвати видатними. В перспективі комбінований

приймач користувача, приймає і дешифрує сигнали трьох незалежних навігаційних систем Galileo, GPS і ГЛОНАСС, отримує технічну можливість одночасно спостерігати і використовувати для визначення місцезнаходження і навігації більше 30 навігаційних космічних апарати різних систем без втрати реальної здатності обчислення координат в будь-яких умовах затінення горизонту в містах, гірських і лісових масивах.

Таблиця.5.1

Порівняльні характеристики GPS і Galileo(по одній частоті)

Параметри	GPS	Galileo
Кількість супутників	24	30
Кількість орбітальних площин	6	3
Розподіл супутників по орбітальним площинах	Нерівномірний	Рівномірний
Нахил орбітальних площин	53-56 ⁰	54 ⁰
Радіус орбіти	26561,75	29398,137
Частота	L1(1575.42 МГц)	E1(1575.42 МГц)

5.3. Структура автоматизованої геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень керування оперативними підрозділами

АГІС ППР дозволить підвищити ефективність діяльності сил і засобів підрозділів ДСНС шляхом:

- скорочення часу на обробку заявок про НС, а також прийняття управлінських рішень з реагування на них;
- усунення помилок в диспетчеризація сил і засобів;
- забезпечення можливості залучення сил і засобів в кількості, необхідному для гасіння пожеж (ліквідації наслідків НС) на об'єктах міста з можливістю залучення додаткових сил і засобів;
- організації дієвого контролю за несенням служби в повсякденних умовах і готовністю сил і засобів до бойових дій;

- підвищення обґрунтованості прийнятих рішень на основі розширення складу функціональних завдань і збільшення обсягів оперативної інформації;
- оперативного отримання та аналізу даних про райони надзвичайної ситуації, представлених у вигляді картографічної інформації, схем розміщення, планів об'єктів;
- прискорення підготовки проектів управлінських рішень шляхом автоматизованого формування необхідних документів, в тому числі графічних;
- зниження частоти помилок при прийомі і обробці інформації.

АГІС ППР забезпечує інформаційну підтримку наступних видів діяльності:

- прийому і обробки заявок про пожежі (НС), включаючи формування наказів на залучення сил і засобів до їх ліквідації;
- обліку і контролю за станом і дислокацією підрозділів ДСНС, визначення порядку притягнення сил і засобів до ліквідації НС на об'єктах;
- управління бойовими діями при пожежі(НС), обліку в установленому порядку зміни обстановки, застосування сил і засобів, а також реєстрації необхідної інформації.

Рішення основних задач в АГІС ППР забезпечується цільовими функціональними підсистемами (рис. 5.5):

- підсистемою оперативного управління аварійно-рятувальними підрозділами при ліквідації надзвичайної ситуації;
- підсистемою підтримки управлінських рішень по оперативному застосування сил і засобів;
- підсистемою попереднього планування і аналізу бойових дій.

Підсистема оперативного управління аварійно-рятувальними підрозділами при ліквідації надзвичайної ситуації включає в себе наступні комплекси функціональних задач (КФЗ):

КФЗ «Виїзд», що забезпечує наступні можливості:

- прийом, обробку первинної заявки і формування наказу на виїзд залучених ліквідації сил та засобів з урахуванням пори року і режиму їх роботи. При формуванні наказу на виїзд повинна забезпечуватися можливість відкликання аварійно рятувальної техніки з інших місць ведення дій і включення їх до наказу;

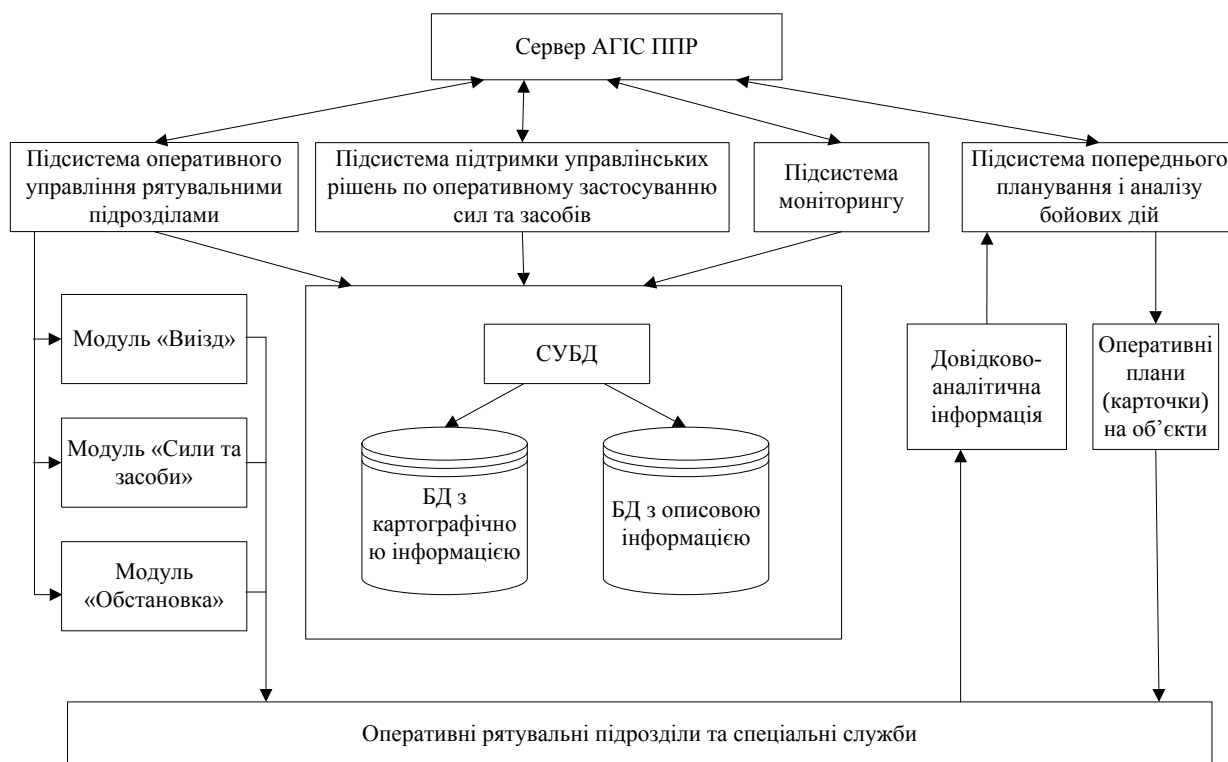


Рис.5.5. Структурна схема АГІС ППР

- передачу тексту наказу на виїзд безпосередньо до підрозділів з використанням електронної пошти або модемного зв'язку.

КФЗ «Сили і засоби», який забезпечує:

- оперативне коректування наявності і стану сил та засобів;
- прийом, зберігання і обробку стройових записок з пожежних підрозділів і рятувальних формувань з використанням електронної пошти або модемного зв'язку;

- отримання різної довідкової інформації за встановленими формами, як по окремих видах і станом пожежної (аварійно-рятувальної) техніки і озброєнні у вигляді довідкових таблиць, так і за розподілом сил та засобів по об'єктах міста.

КФЗ «Обстановка» автоматизує процес реєстрації всіх робіт, що проводяться під час НС, а також отримання довідок по пожежі (НС), необхідних для забезпечення безперервного управління бойовими діями.

Геоінформаційна підсистема підтримки управлінських рішень по оперативному застосуванню сил і засобів на основі використання баз даних з картографічної та описової інформації забезпечує виконання наступних функцій:

- відображення картографічних шарів багат шарового цифрового плану об'єкта з можливістю настройки параметрів відображення;
- відображення по завершенні введення заявки про НС фрагмента карти з центром в точці, що відповідає центру об'єкта де виникла НС;
- відображення джерел зовнішнього протипожежного водопостачання на електронній карті в заданому радіусі від об'єкта (100 - 2000 м), їх місце розташування і тактико-технічні характеристики;
- відображення просторових вимірів;
- автоматична генералізація векторних даних;
- реляційне з'єднання з базами даних за зовнішніми ключами таблиці атрибутів;
- обчислення прямокутних і географічних координат об'єкту;
- довідка про об'єкти під курсором з отриманням інформації по базах даних;
- пошук об'єкта по таблиці з відображенням на карті;
- пошук об'єкта за назвою, включаючи визначення його адреси або координат, при візуалізації плану (карти) він повинен панорамуватися до цього об'єкта, об'єкт при цьому слід виділити підсвічуванням;
- вибірка з БД просторових об'єктів, що відповідають заданим критерієм. Критерієм є певні значення атрибутів (наприклад, вибірка всіх виробничих об'єктів, що мають сховища ПММ).

Геоінформаційна підсистема попереднього планування і аналізу бойових дій повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- створення, накопичення і оперативне отримання з використанням факсимільного і модемного зв'язку документа по об'єкту пожежі (НС) з графічним відображенням його генплану поверхових планів, прогнозом розвитку пожежі, характеристикою небезпечних речовин і матеріалів, із зазначенням місць їх зберігання (використання), короткою описовою частиною, а також схемою розстановки сил і засобів з можливістю виведення на друк;

- отримання звітної документа встановленого зразка по конкретній події з можливістю виведення його на друк;

- формування карток бойових дій (описів пожеж) пожежних підрозділів та аварійно-рятувальних формувань, отримання довідкової та аналітичної інформації щодо використання технічних засобів, матеріалів.

Крім перерахованих, до складу АГІС ППР входить підсистема створення і коригування баз даних інформаційно-довідкової інформації та геоінформаційних баз даних, яка повинна забезпечувати створення, зберігання та оновлення нормативно-довідкової інформації, використовуваної при вирішенні функціональних завдань системи. Підсистема також забезпечує формування та підтримання в актуальному стані на цифровій карті різних тематичних шарів, в їх числі:

- категоровані об'єкти з можливістю перегляду генпланів і поверхових планів цих будівель.

- шар території з кордонами зон обслуговування, закріпленими за відповідними оперативними підрозділами ДСНС;

- категоровані за функціональним призначенням об'єкти з зазначенням наявності та кількості людей;

- об'єкти з наявністю небезпечних речовин і матеріалів із зазначенням місць їх зберігання;

- джерела зовнішнього протипожежного водопостачання;

- органи управління, опорні пункти і підрозділи ДСНС.

Таким чином, застосування ГІС-технологій як інтегруючої платформи створює єдиний інформаційний простір, що містить всі необхідні дані для ефективного оперативного управління пожежними підрозділами і рятувальними формуваннями.

Головна роль в АГІС ППР відводиться картографічному матеріалу, саме електронні плани житлових будинків та інших об'єктів міста є основою для застосування геоінформаційних технологій.

5.4. Розробка підсистеми моніторингу ГІС ППР

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[147]:

- 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(рис.5.6)[147].



Рис.5.6. Схема системи моніторингу небезпечних техногенних і природних процесів

Основними завданнями, що виконуються цією функціональною підсистемою, є:

1) у режимі повсякденного функціонування:

– забезпечення спостереження, гідрометеорологічного прогнозування та здійснення контролю за станом навколишнього природного середовища та небезпечних процесів, що можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах і прилеглих до них територіях, а також на територіях, на яких існує загроза виникнення геологічних та гідрогеологічних явищ і процесів;

- безперервний збір, оброблення та аналіз інформації про небезпечні техногенні та природні процеси;
 - визначення ризиків виникнення небезпечних техногенних та природних процесів;
 - забезпечення проведення планових заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;
 - створення інформаційної бази даних про небезпечні техногенні та природні процеси;
 - забезпечення створення програмно-моделюючих комплексів за окремими видами надзвичайних ситуацій;
 - організація обміну оперативною інформацією;
 - розроблення методології та методик прогнозування ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій та оцінки їх розвитку;
 - інформаційно-аналітична підтримка діяльності центральних і місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування з питань цивільного захисту;
 - розроблення пропозицій для прийняття управлінських рішень щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;
 - інші завдання з питань моніторингу та прогнозування.
- 2) у режимі підвищеної готовності:
- посилення спостереження та контролю за гідрометеорологічною обстановкою, ситуацією на потенційно небезпечних об'єктах, території об'єктів підвищеної небезпеки та/або за його межами, території, на якій існує загроза виникнення геологічних та гідрогеологічних явищ і процесів, а також здійснення постійного прогнозування можливості виникнення надзвичайних ситуацій та їх масштабів;
 - безперервний збір, оброблення та аналіз інформації про небезпечні процеси та об'єкти, на яких існує загроза виникнення надзвичайних ситуацій;

- посилення режиму обміну оперативною інформацією про загрозу розвитку надзвичайних ситуацій;

- інформаційно-аналітична підтримка діяльності центральних і місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування про небезпечні процеси та загрозу розвитку надзвичайних ситуацій;

- розроблення пропозицій для прийняття управлінських рішень щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;

- інші завдання з питань моніторингу та прогнозування.

3) у режимі надзвичайної ситуації:

- спостереження та контроль за розвитком надзвичайної ситуації, що сталася;

- визначення зони надзвичайної ситуації;

- здійснення постійного прогнозування зони можливого поширення надзвичайної ситуації та масштабів можливих наслідків;

- інформаційно-аналітична підтримка діяльності центральних і місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування про розвиток надзвичайної ситуації, що сталася;

- розроблення конкретних заходів для прийняття управлінських рішень щодо ліквідації надзвичайної ситуації, що сталася;

- проведення процедури оптимізації заходів з подолання наслідків надзвичайної ситуації;

- інші завдання з питань моніторингу та прогнозування.

4) у режимі надзвичайного стану проводяться заходи, що передбачені для режиму надзвичайної ситуації згідно ст. 1 Закону України «Про правовий режим надзвичайного стану» стосовно виникнення надзвичайних ситуацій техногенного або природного характеру загальнодержавного рівня.

5) в умовах воєнного стану в Україні або в окремих її місцевостях проводяться заходи, що передбачені для режимів функціонування у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру,

а також у разі виникнення небезпеки для населення під час ведення воєнних дій або внаслідок цих дій.

Для побудови підсистеми моніторингу, будемо використовувати 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 [90].

Модульне програмування володіє наступними перевагами[27]:

- 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 3, 4 для моніторингу концентрації небезпечних речовин в атмосфері, прогнозування подальшого розвитку надзвичайної ситуації та керуванням і моніторингом задіяних сил та засобів можна запропонувати наступну структуру підсистеми, представлену на рисунку 5.7.

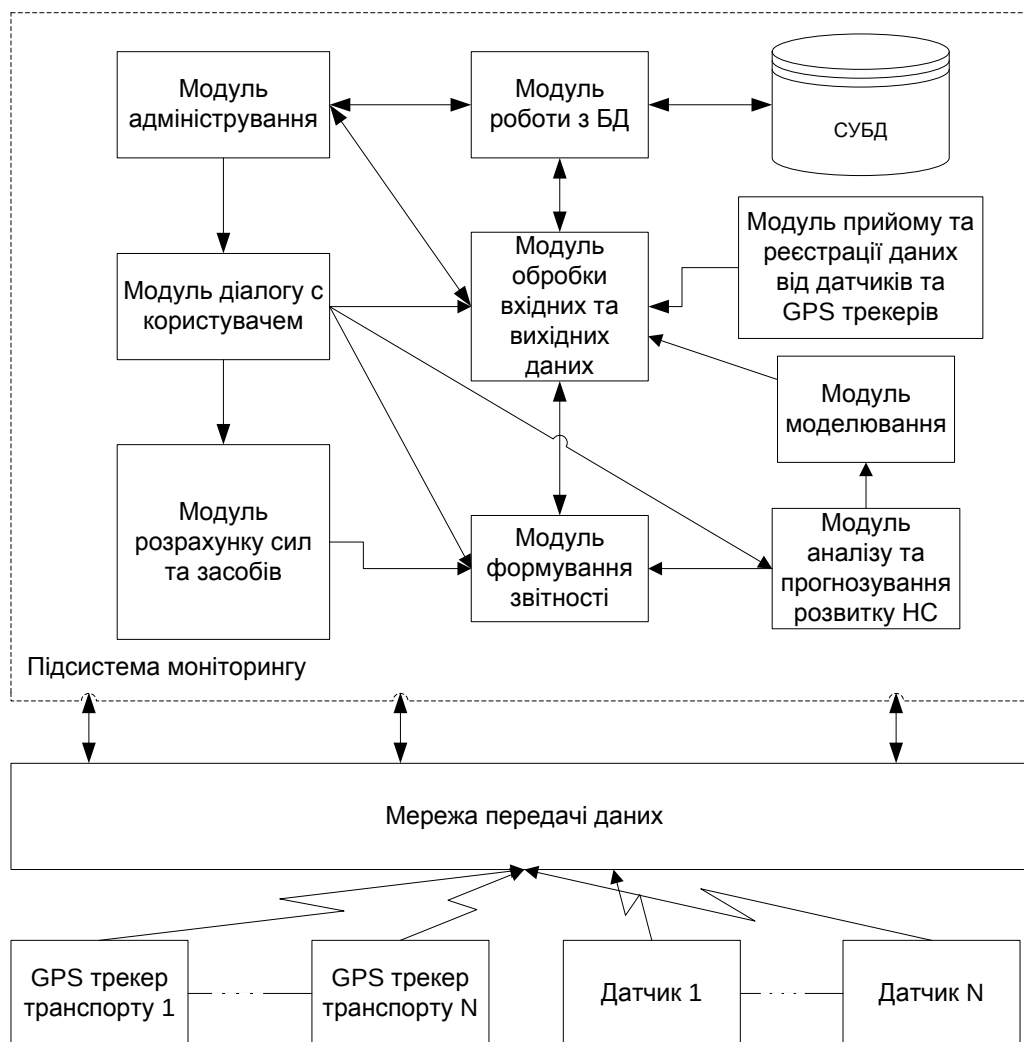


Рис.5.7. Підсистема моніторингу

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.

– 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 сил та засобах для ліквідації надзвичайної ситуації.
 - Модуль моделювання. Призначений для роботи з різноманітними моделями, які занесенні 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, змінінню 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[85]. 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, первинна обробка за допомогою концентратора, зберігання в пам'яті та передача при запитах на сервер через GSM/GPRS канал (Рис.5.8). Комунікаційним каналом «датчики-концентратор» служить RS485, або радіомодуль (RF 2.4 ГГц, IEEE802.15.4).

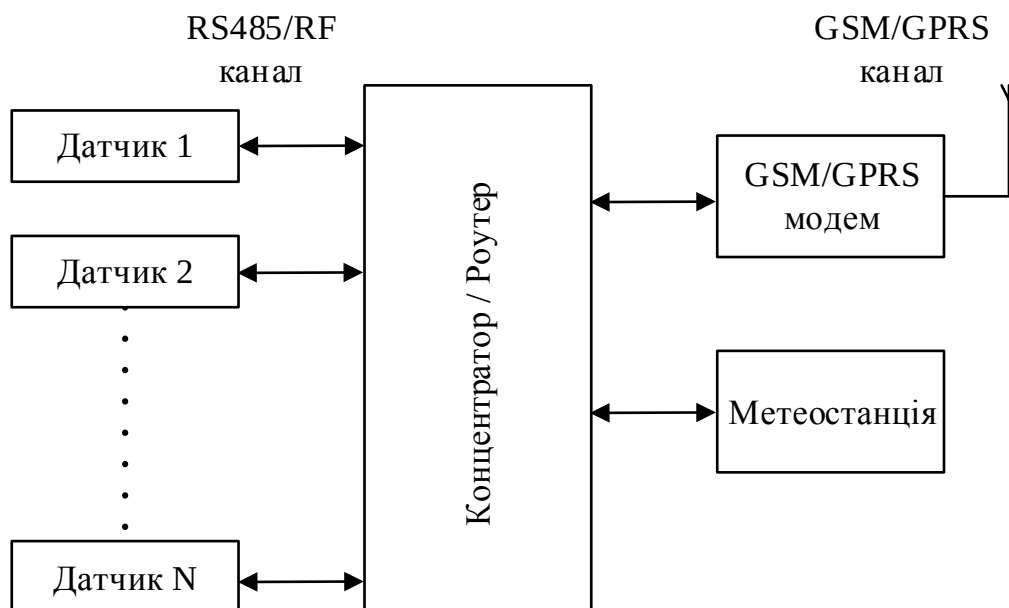


Рис.5.8. Пост збору та передачі інформації

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.5.9) 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 НХР.

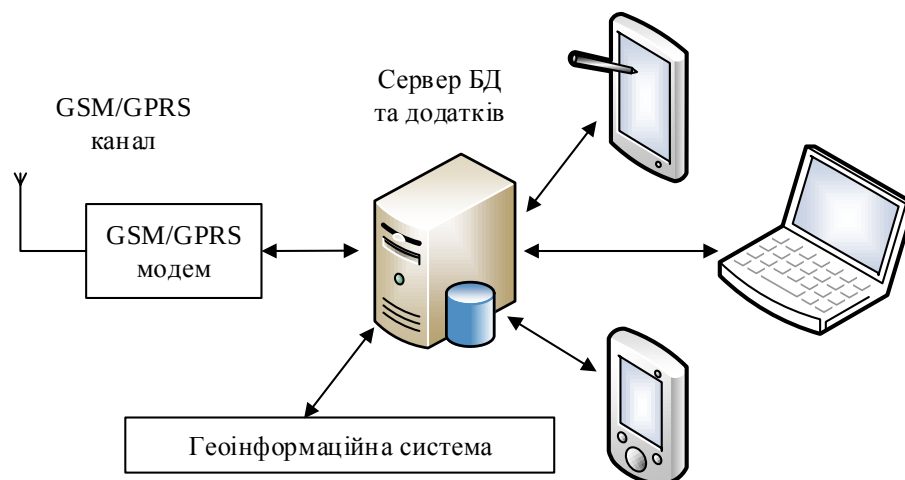


Рис.5.9. Підсистема обробки та аналізу інформації

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.5.10).

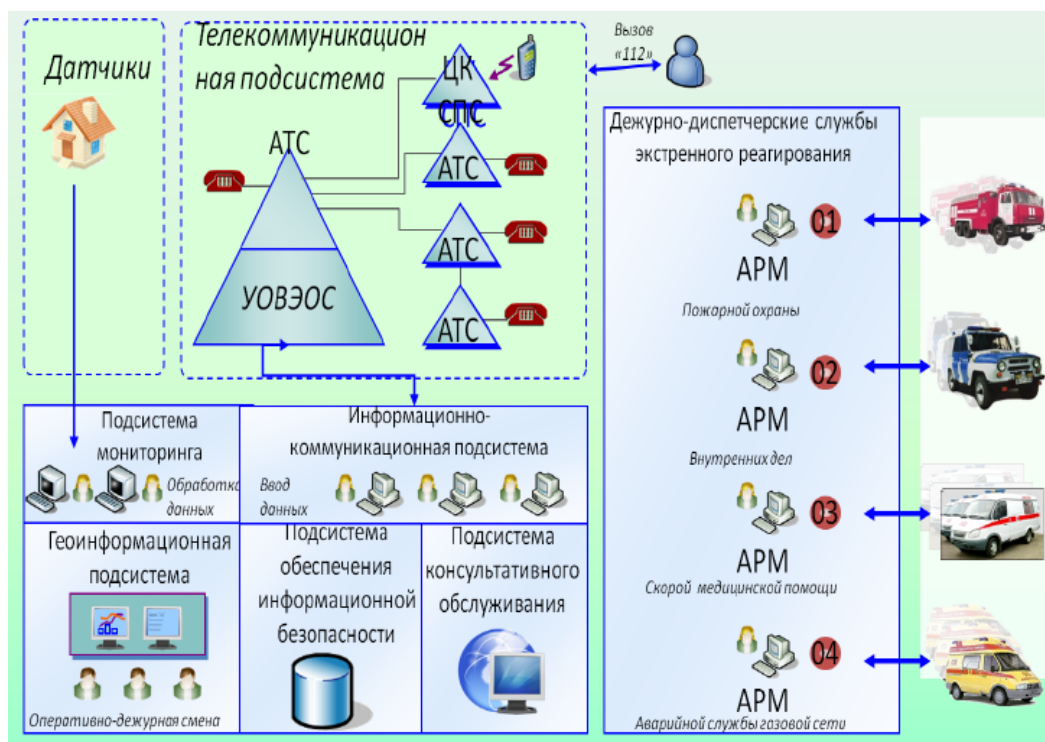


Рис.5.10. Загальна структурна схема “Системи -112”

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 4, 5 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.5.11).

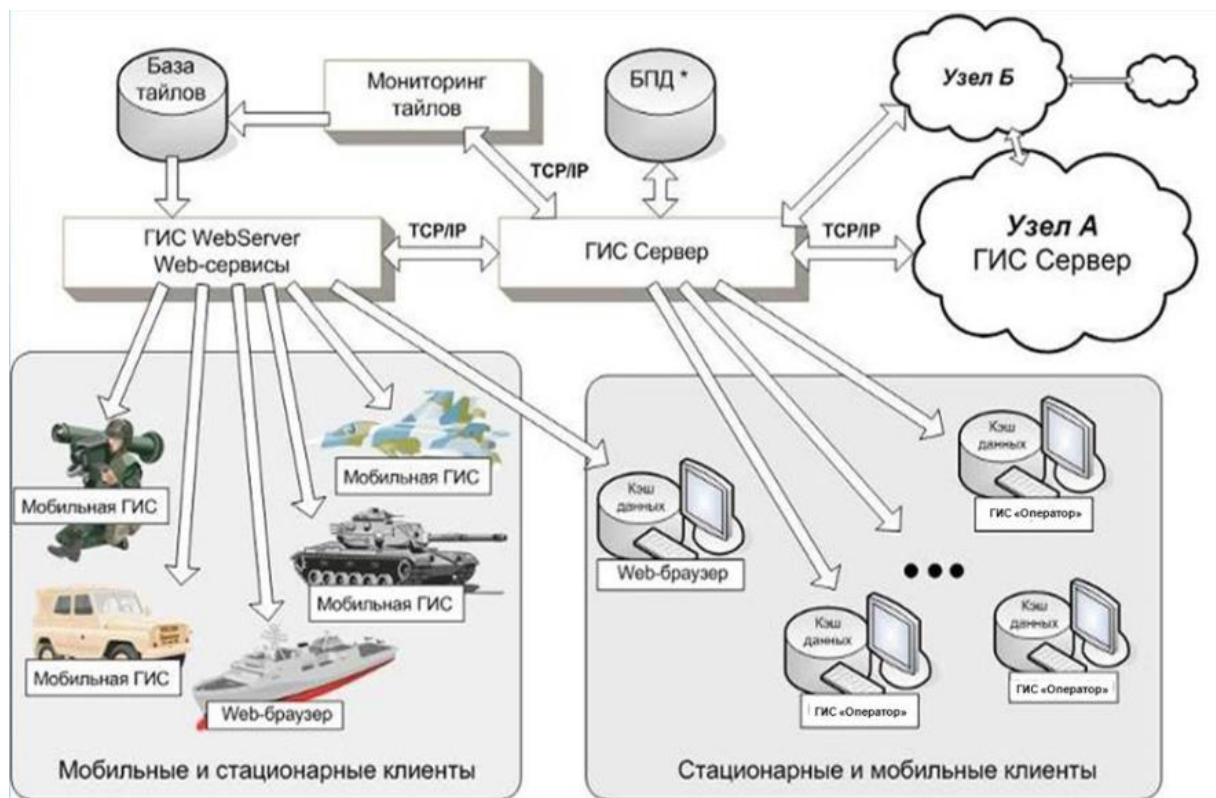


Рис.5.11. Взаємодія мобільних підрозділів з ГІС ППР.

5.5. Розробка моделі зберігання та представлення даних підсистеми моніторингу ГІС ППР

У ході аналізу декількох видів моделей подання даних: ієрархічної, мережної, реляційної, багатовимірної, постріляційної, об'єктної, та враховуючи вимоги до створення[26] був зроблений висновок про те, що найбільш придатною моделлю буде саме реляційна модель даних [32-34]. Такий вибір обумовлюється наступними факторами [32]:

1. Наявність невеликого набору абстракцій, які дозволяють порівняно просто моделювати велику частину поширених предметних областей і

допускають точні формальні визначення, залишаючись інтуїтивно зрозумілими.

2. Наявність простого і в той же час потужного математичного апарату, що спирається головним чином на теорію множин і математичну логіку і забезпечує теоретичний базис реляційного підходу до організації баз даних.

3. Можливість ненавігаційного маніпулювання даними без необхідності знання конкретної фізичної організації баз даних у зовнішній пам'яті.

4. Наявність великої кількості СУБД, що дозволяють вирішувати різноманітні завдання.

5. Простота, зрозумілість та зручність фізичної реалізації на ЕОМ.

На підставі проведеного аналізу була побудована логічна схема моделі даних, наведена на малюнку 5.12.

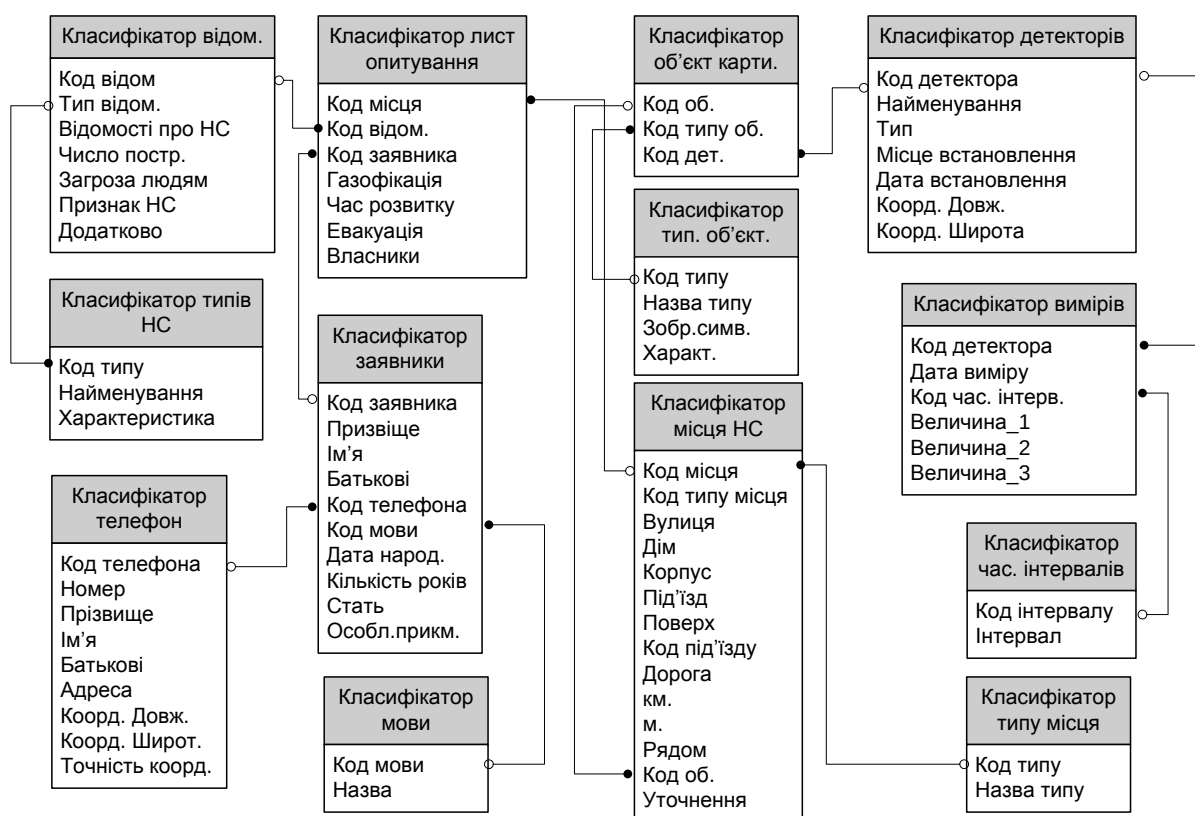


Рис. 5.12. Логічна схема моделі даних

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 місце 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.

При проектуванні бази даних необхідно розглянути питання забезпечення цілісності бази даних. Цілісність бази даних – властивість бази даних, що означає, що БД містить повну й несуперечливу інформацію, необхідну для коректного функціонування додатків [32]. Для забезпечення цілісності накладають обмеження цілісності.

При розгляді цілісності даних, що зберігаються в базі, можна розглядати різні аспекти даного поняття, такі як: цілісність на рівні доменів, відносин, зв'язків і всієї бази даних в цілому [32–34].

1. Перша категорія - засоби забезпечення доменної цілісності. Вони відповідають за те, щоб у відповідному полі бази даних були допустимі значення. У базах даних така цілісність зазвичай забезпечується умовами на значення, заборонаю порожніх значень, тригерами і збереженими процедурами, а також ключами. Для розробленої схеми бази даних такими засобами будуть встановлення обмежень на позитивне значення всіх числових атрибутів, заборонаю порожніх значень всіх атрибутів, що входять в альтернативні ключі [32–33];

2. Друга категорія - сутнісна цілісність. Головне завдання тут - зробити так, щоб дані про один екземпляр сутності не потрапили до бази даних два рази. Забезпечується обмеженням унікальності та первинним ключем. Це досягається за рахунок визначення в сутності первинних ключів, які перешкоджають попаданню одного примірника сутності два рази в базу даних [32].

3. Третя категорія - посиальна цілісність, забезпечується системою первинних і зовнішніх ключів. Наприклад, за допомогою цих засобів можна гарантувати, що у нас не буде показань детекторів, яких немає в базі даних, в розробленій базі даних це досягається введенням різних стратегій обмеження цілісності на міжсутностні зв'язки. Для батьківських сутностей такою стратегією буде каскадна стратегія, що передбачає каскадне редагування та видалення всіх об'єктів дочірніх сутностей, які залежать від зміненого або видаленого примірника батьківської сутності. Для дочірніх сутностей в основному використовується стратегія заборони, однак у деяких випадках може застосовуватися і стратегія «set null». Таким чином дані стратегії обмеження цілісності дозволяють забезпечити цілісність і несуперечність даних на рівні міжсутностних зв'язків [33].

4. Четверта категорія - засоби декларативного і процедурного характеру. Засоби декларативного характеру створюються як складові частини об'єктів при їх визначенні в базі даних (наприклад, умова на значення при визначенні таблиці в базі даних). Засоби процедурного характеру (тригери і процедури) реалізуються як окремі програмні модулі. У загальному випадку декларативні обмеження менш функціональні, але більш економні з точки зору ресурсів і навпаки. Дані засоби для розробленої бази даних можуть застосовуватися, наприклад, для автоматичного створення ідентифікаторів кожної. Власне кажучи, для перевірки вставки кортежів залежних сутностей і т.д. Такі засоби робляться шляхом створення тригерів і збережених процедур. Однак дані засоби можливо створювати лише за умови їх підтримки обраної СУБД [32].

Крім того, при створенні обмежень цілісності необхідно подбати про те, щоб помилки, що виникають при порушеннях цілісності, перехоплювалися клієнтським додатком. Такий спосіб подвійної перевірки даних, що вставляються або змінюються в базі даних, дозволяє підвищити надійність системи, що розробляється і запобігти можливості попадання некоректних даних в систему.

Не менш важливий аспект проектування та створення бази даних – це безпека збережених даних [32-34].

У сучасних СУБД підтримується один з двох найбільш загальних підходів до питання забезпечення безпеки даних: виборчий підхід і обов'язковий підхід. В обох підходах одиницею даних або "об'єктом даних", для яких повинна бути створена система безпеки, може бути як вся база даних цілком, так і будь-який об'єкт всередині бази даних.

Ці два підходи відрізняються наступними властивостями:

- У разі виборчого управління деякий користувач володіє різними правами (привілеями чи повноваженнями) при роботі з цими об'єктами. Різні користувачі можуть мати різні права доступу до одного і того ж об'єкту. Виборчі права характеризуються значною гнучкістю [32].

- У разі обов'язкового управління, навпаки, кожному об'єкту даних присвоюється певний класифікаційний рівень, а кожен користувач має деякий рівень допуску. При такому підході доступ до певного об'єкту даних мають тільки користувачі з відповідним рівнем допуску [32-34].

Для реалізації виборчого принципу передбачені наступні методи. У базу даних вводиться новий тип об'єктів БД – це користувачі. Кожному користувачеві в БД присвоюється унікальний ідентифікатор. Для додаткового захисту кожен користувач крім унікального ідентифікатора постачається унікальним паролем, причому якщо ідентифікатори користувачів у системі доступні системному адміністратору, то паролі користувачів зберігаються частіше за все в спеціальному кодованому вигляді і відомі тільки самим користувачам.

Користувачі можуть бути об'єднані в спеціальні групи користувачів. Один користувач може входити в кілька груп. У стандарті вводиться поняття групи PUBLIC, для якої повинен бути визначений мінімальний стандартний набір прав. За замовчуванням передбачається, що кожен новостворюваний користувач, якщо спеціально не вказано інше, належить до групи PUBLIC.

Привілеї або повноваження користувачів або груп - це набір дій (операцій), які вони можуть виконувати над об'єктами БД [32].

Об'єктами БД, які підлягають захисту, є всі об'єкти, що зберігаються в БД: таблиці, подання, збережені процедури і тригери. Для кожного типу об'єктів є свої дії, тому для кожного типу об'єктів можуть бути визначені різні права доступу. На самому елементарному рівні концепції забезпечення безпеки баз даних виключно прості. Необхідно підтримувати два фундаментальних принципи: перевірку повноважень і перевірку автентичності (аутентифікацію) [35].

Перевірка повноважень заснована на тому, що кожному користувачеві або процесу інформаційної системи відповідає набір дій, які він може виконувати по відношенню до певних об'єктів. Перевірка автентичності означає достовірне підтвердження того, що користувач або процес, який намагається виконати санкціонована дія, дійсно той, за кого він себе видає.

Система призначення повноважень має в деякому роді ієрархічний характер. Найвищі права і повноваження має системний адміністратор або адміністратор сервера БД. Традиційно тільки цей тип користувачів може створювати інших користувачів і наділяти їх певними повноваженнями.

СУБД в своїх системних каталогах зберігає як опис самих користувачів, так і опис їх привілеїв по відношенню до всіх об'єктів.

Далі схема надання повноважень будується за наступним принципом. Кожен об'єкт в БД має власника - користувача, який створив цей об'єкт. Власник об'єкта має всі права-повноваження на даний об'єкт, у тому числі він має право надавати іншим користувачам повноваження по роботі з даним об'єктом або забирати у користувачів раніше надані повноваження.

У стандарті SQL визначені два оператори: GRANT і REVOKE відповідно до надання та скасування привілеїв [32].

Таким чином, для підсистеми моніторингу ГІС ППР можна виділити 4 типи користувачів: адміністратор системи, оператори аварійно рятувальної служби, інженери служби проектування та ремонту, аналітики. Для кожного з виділених користувачів необхідно призначити список привілеїв.

Адміністратор системи має повний набір привілеїв з усіма об'єктами бази даних, тобто він може здійснювати операції вставки, модифікації і видалення для всіх об'єктів створеної бази даних. Також адміністратор може створювати нових користувачів, а також змінювати стратегії обмеження цілісності в розробленій базі даних. Також на адміністратора покладається функція з резервного копіювання даних і відновлення їх у разі втрати, а також функція ведення журналу транзакцій.

Оператори аварійно-рятувальної служби мають право вставляти, змінювати і видаляти дані з усіх сутностей бази даних. Такі права призначаються даному користувачеві адміністратором системи без права їх передачі іншим користувачам.

Користувач «інженери служби проектування та ремонту» має право на читання даних з усіх сутностей бази даних, а також вносити зміни в сутності «Класифікатор детекторів». Даний користувач необхідний для забезпечення доступу фахівців до даних, необхідних для роботи.

Аналітик має право на читання даних з усіх сутностей бази даних. Це дозволить йому бачити всю інформацію про проведені виміри та формувати аналітичні звіти та прогнози.

Висновки до розділу 5

1. Побудована структура підсистеми моніторингу ГІС ППР, виділені основні модулі та зв'язки між ними. Підсистема забезпечує безперервний збір, оброблення та аналіз інформації про небезпечні техногенні та природні процеси, організовує обмін оперативною інформацією, прогнозування зони

можливого поширення надзвичайної ситуації та масштабів можливих наслідків.

2. Розроблена модель зберігання та представлення даних на підставі реляційного підходу. Виділено основні сутності моделі, зв'язки між ними.

3. Проведено аналіз обмежень цілісності розробленої моделі даних. Проаналізовано питання безпеки даних, а також виділені основні користувачі.

4. Спроектовано пост збору та передачі інформації, в апаратну частину якого входять датчики, які дозволяють поводити заміри концентрації небезпечних речовин та за допомогою GSM/GPRS каналу передавати дані на сервер геоінформаційної системи для подальшої обробки та візуалізації зони зараження на карті місцевості в реальному часі.

5. Розроблена підсистема обробки та аналізу інформації, яка 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. Оброблена та проаналізована інформація передається безпосередньо до ГІС системи ДСНС “Системи 112”.

6. Завдяки розробленій підсистемі моніторингу отримуємо можливість проводити експрес-діагностику 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.

РОЗДІЛ 6

ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТІХНОЛОГІЙ ТА СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИХ АПРОКСИМАЦІЙ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1. Застосування альтернативних серендипових моделей при вирішенні задачі кручення стержнів

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 [67,162]. 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 [57].

Розглянемо задачу про кручення стержня квадратного перерізу, яка приведена в [162]. Нехай дано: модуль зсуву $\mu = 0,8 \cdot 10^7 \text{ Н / см}^2$; відносний кут

закручування (кут крутки) 1^0 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 [239]:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -2\mu\theta, \quad \phi|_{\Gamma} = 0. \quad (6.1)$$

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

$$\chi = \int_V \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 - (2\mu\theta)\phi \right) dV. \quad (6.2)$$

Функціонал может быть записан в виде:

$$\chi = \int_V \left(\frac{1}{2} \{g\}^T [D] \{g\} - (2\mu\theta)\phi \right) dV, \quad (6.3)$$

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

Мінімізація χ по $\{\Phi\}$ призводить до системи лінійних рівнянь:

$$\sum_{e=1}^E \int_{V^{(e)}} [g^{(e)}]^T [D^{(e)}] [g^{(e)}] dV = \sum_{e=1}^E \int_{V^{(e)}} [N^{(e)}]^T (2\mu\theta) dV, \quad (6.4)$$

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

$[N_i, N_j, \dots, N_r]$ – 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:

$$\tau_{zx} = \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad \tau_{zy} = -\frac{\partial \phi}{\partial x}. \quad (6.5)$$

Крутний момент пропорційний обсягу, охоплених поверхнею напружень:

$$M = 2 \iint_{\Omega} \phi \, dx \, dy, \quad (6.6)$$

де Ω – перетин стержня.

В силу симетрії області розв'язання в [162] виконується на 1/8 частини квадрата, заштрихованої на рис. 6.1. Розбиття заштрихованої області проводиться методом триангуляції (рис. 6.2).

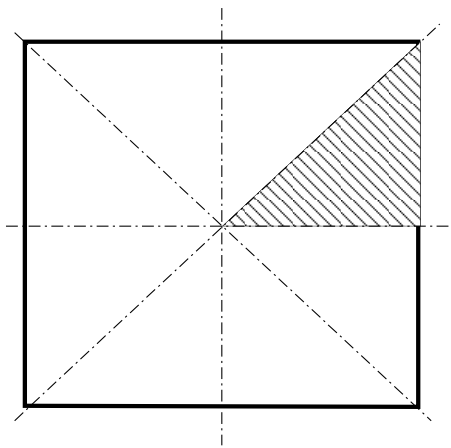


Рис. 6.1. Переріз квадратного стержня

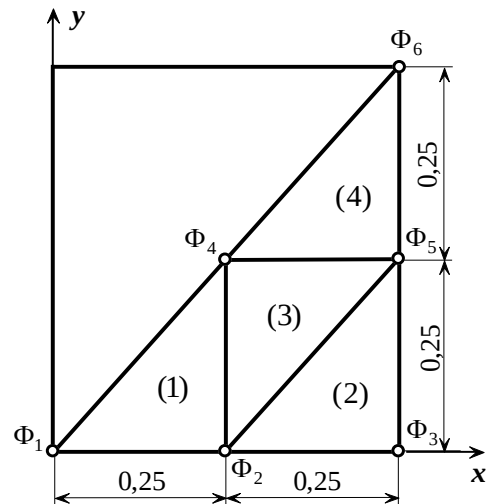


Рис. 6.2. Розбиття перерізу на трикутні СЕ

В результаті отримано наближене розв'язання, показане на рис. 6.3 [162].

В [187] ця задача вирішувалася методом Рітца. На рис. 4 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 [187]:

$$\phi = \frac{32\mu\theta b^2}{\pi^4} \sum_{m=1,3,\dots} \sum_{n=1,3,\dots} \frac{\sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}}{mn(m^2\alpha^2 + n^2)}; \quad (6.7)$$

$$M = \frac{32\mu\theta}{\pi^4} \frac{8ab^3}{\pi^2} \sum_{m=1,3,\dots} \sum_{n=1,3,\dots} \frac{1}{m^2 n^2 (m^2\alpha^2 + n^2)}; \quad (6.8)$$

Надалі розв'язання (6.7) - (6.8) будемо називати точним.

Навіть візуальне порівняння рис. 6.3 і рис. 6.4 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.

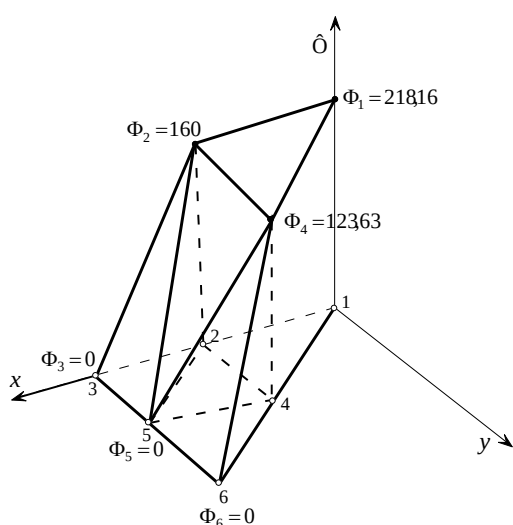


Рис. 6.3. Вузові значення функції напружень при тріангуляції

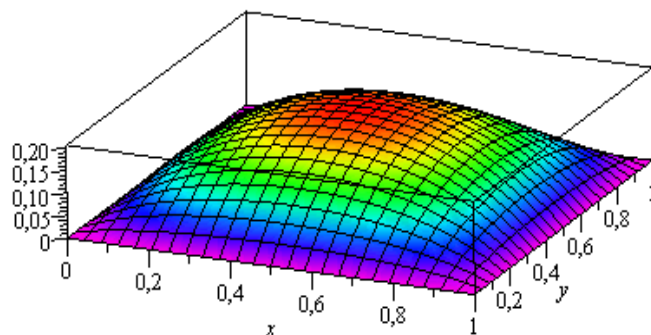


Рис. 6.4. Поверхня напружень, задається формулою (7) (по вертикальній координаті масштаб 1:1000)

Для уточнення значень напружень застосуємо процедуру методу скінченних елементів з біквадратичними скінченими елементами (СКЕ-8) (рис.6.5). Розбиття 1/4 частини перерізу стержня на квадрати показано на рис.6.6.

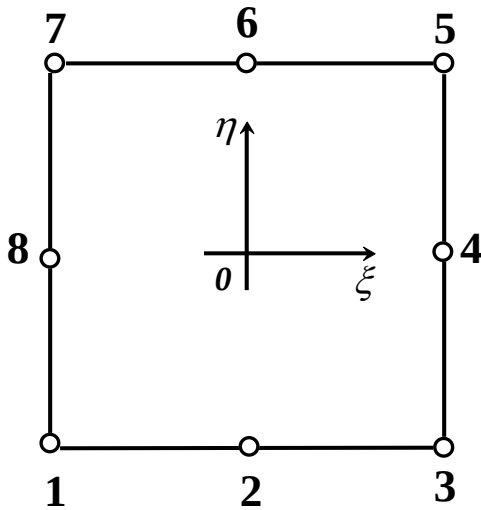
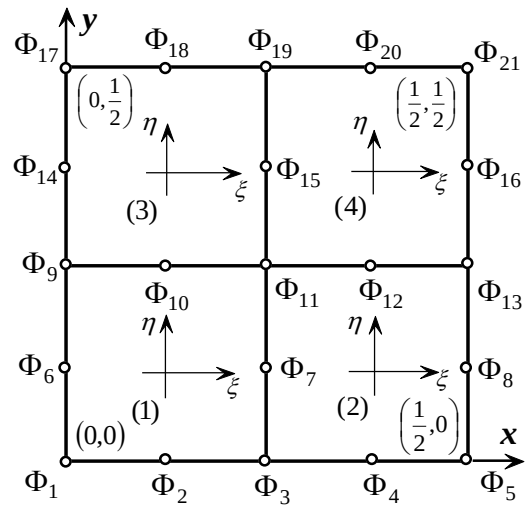
Рис.6.5. CCE-8 ($|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$)

Рис.6.6. 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 3, 4:

$$N_i = \frac{1}{16}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta) \left[(36p - 1)(1 - \xi_i \xi - \eta_i \eta) + (36p + 3)\xi_i \xi \eta_i \eta \right], \quad (6.9)$$

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

$$N_i = \frac{1}{16}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta) \left[(5 - 36p) + (36p + 3)\eta_i \eta \right], \quad (6.10)$$

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

$$N_i = \frac{1}{16}(1 - \eta^2)(1 + \xi_i \xi) \left[(5 - 36p) + (36p + 3)\xi_i \xi \right], \quad (6.11)$$

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

Розв'язання задачі проведемо використовуючи підсистему дослідження скінчених елементів розроблену в розділі 5, пакет Maple та алгоритм рис.6.7.

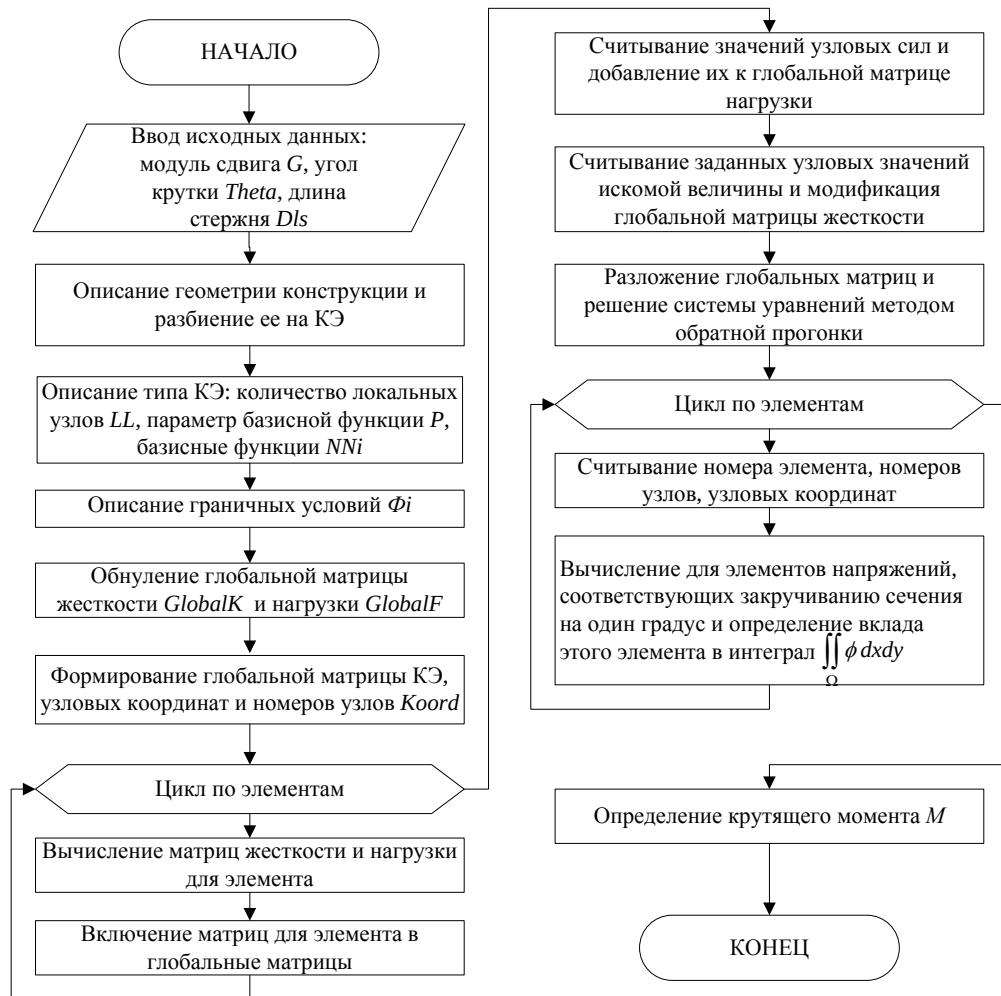


Рис.6.7. Блок-схема розв'язання задачі про кручення стержня

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 кручения 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 := Rek2 :                # Кол. КЭ в области сечения
   if LL = 4 then
       FF := (Rek + 1)2      # Кол. глобальных узлов Φ
   elif LL = 8 then
       FF := (Rek · 2 + 1)2 - Rek2
   end if:
  
```

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

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

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 СЕ Koord[x1, y1, x2, y2, x3, y3, x4, y4, x5, y5, x6, y6, x7, y7, x8, y8, Фn1, Фn2, Фn3, Фn4, Фn5, Фn6, Фn7, Фn8]:

```

> 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:
end do:

```

Потім застосувавши метод, розкладання глобальних матриць, вирішимо систему рівнянь методом зворотної прогонки [16] 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)) :
  SDVIG[1, i] := factor(SDVN[1, 1]) :
  SDVIG[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:

$$\Delta\phi = \frac{1}{n} \sum_i \frac{|\phi_i - \Phi_i|}{\phi_i} \cdot 100\%, \quad (6.12)$$

де ϕ_i – точне значення, отримане за допомогою формули (6.7);

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:

$$\Delta M = \frac{|M - M_p|}{M} \cdot 100\%, \quad (6.13)$$

де M – точне значення, отримане за допомогою формули (6.8);

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 6.1.

Таблиця 6.1.

Залежність відносної похибки чисельного розв'язку від параметра p

Значення параметру p	Значення M	Відносна похибка, ΔM , %	Відносна похибка, $\Delta \varphi$, %
-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. 6.8 показана залежність відносної помилки при розрахунку крутного моменту M і функції напружень ϕ від параметра p . За графіком функції напружень (круглі точки на рис. 6.8) видно, що при зміні параметра $p \in [-0,5; 0,5]$ мінімум досягається двічі: при $p = -1/12$, що відповідає стандартному базису ССЕ-8 [162], і при $p = 1/18$ (цьому базису відповідає матриця жорсткості з мінімальним слідом [174]). Розв'язок, отриманий при $p = 1/18$, в чотири рази точніше.

Для відносної похибки при обчисленні крутного моменту (крива, показана хрестиками на рис. 6.8) 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.

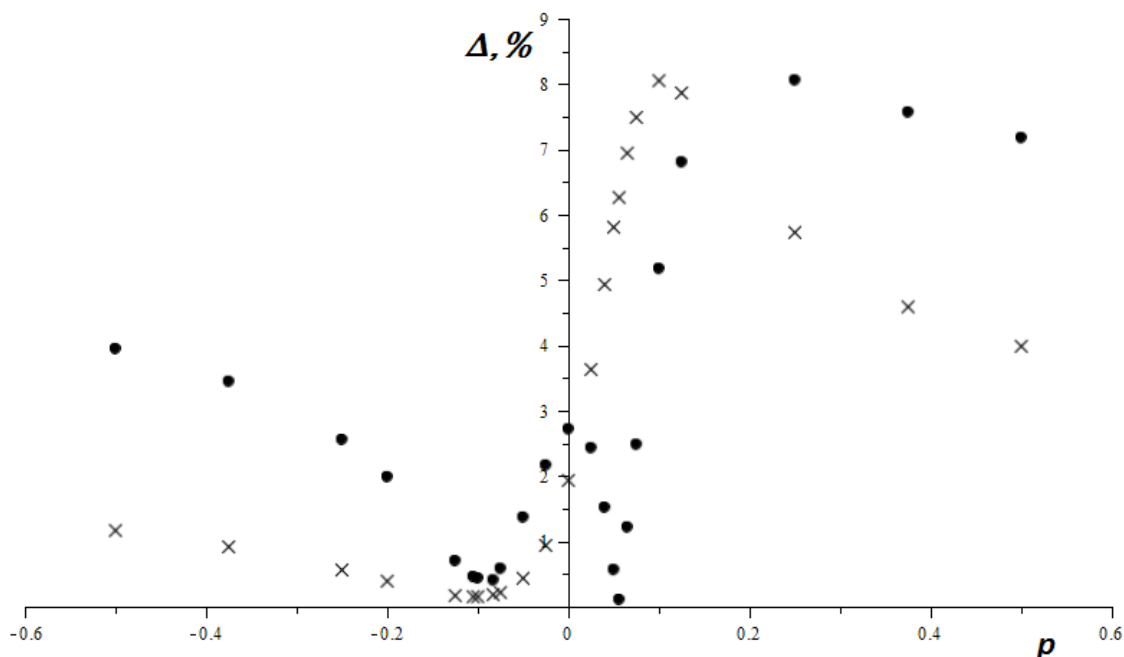


Рис. 6.8. Залежності похибки обчислень функції напружень і крутного моменту від параметра p

6.2. Дослідження точності моделювання температурних полів

При вирішенні температурних задач використовується рівняння теплопровідності в одному з видів:

Для лінійних задач:

а) в плоскому випадку

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q; \quad (6.14)$$

б) у випадку осісиметричному

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q. \quad (6.15)$$

Для нелінійних задач:

а) в плоскому випадку

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q(T); \quad (6.16)$$

б) у випадку осісиметричному

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q(T). \quad (6.17)$$

Тут T - температура; $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z, \lambda_r$ - компоненти тензора теплопровідності в лінійній постановці; $\lambda(T)$ - теплопровідність, як функція температури; $q(T)$ - питома потужність тепловиділення.

Розглянемо задачу де необхідно визначити температуру в центрі квадратної пластини із заданими граничними умовами (Рис.6.9).

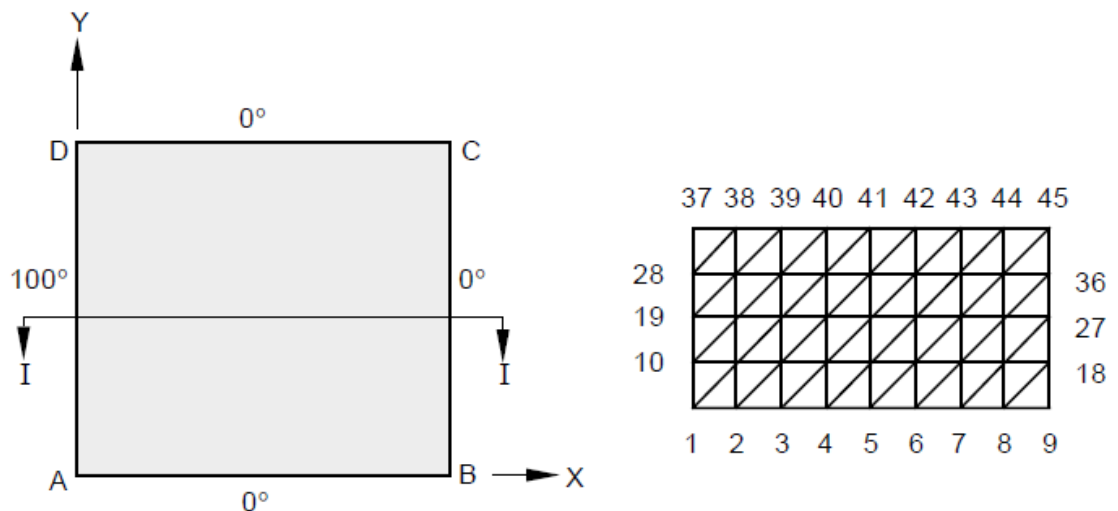


Рис. 6.9. Квадратна пластина

Тобто необхідно визначити температуру в вузловій точці під номером 41. Провівши розбиття області на скінченні елементи за допомогою розробленої автоматизованої системи дослідження скінченно-елементних моделей проведемо розрахунки температурного поля та порівняємо з точним значення яке отримано розв'язавши рівняння (6.18).

$$T(x,y) = \frac{2T_0}{\pi} \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left[\frac{1}{(2n+1)} \sin \left[(2n+1) \frac{\pi x}{a} \right] \right] \sinh \left[(2n+1) \left(a - y \right) \frac{\pi}{a} \right]}{\sinh \left[(2n+1) \pi \right]} \right] \quad (6.17)$$

Температурне поле представимо у вигляді ізоповерхні (Рис.6.10).

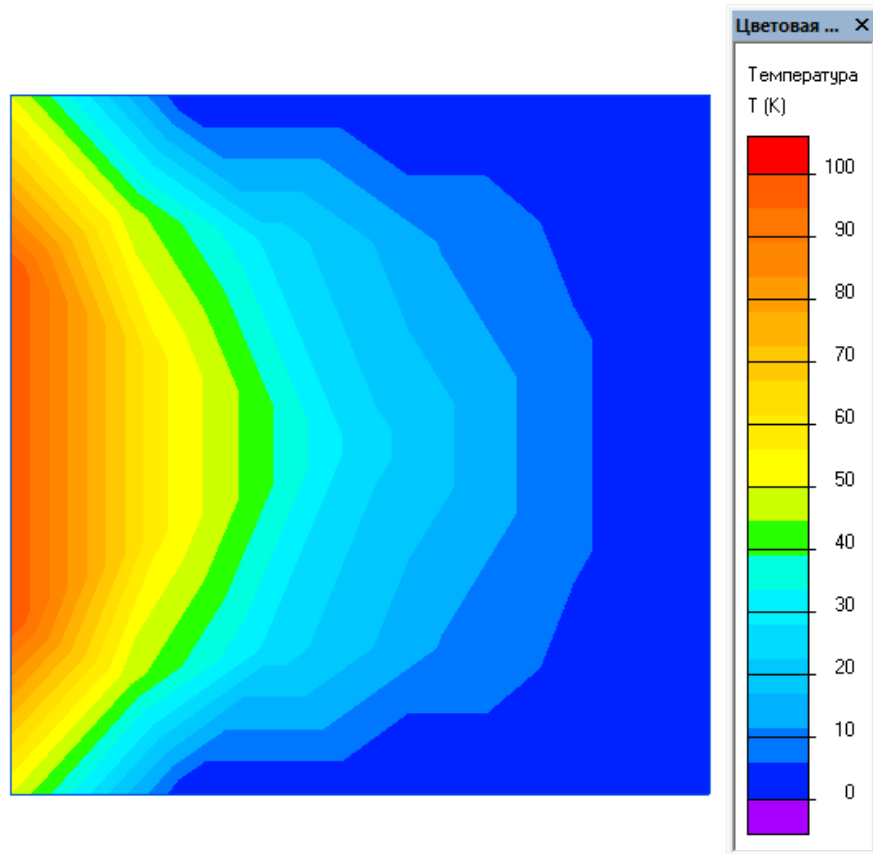


Рис. 6.10. Температурне поле пластини

Провівши розрахунки, як аналітично в вузловій точці так і використовуючи метод скінчених елементів отримуємо значення представлене в таблиці 6.2.

Таблица 6.2.

Залежність відносної похибки чисельного розв'язку від параметра p

Значення параметру p	Значення T	Відносна похибка, ΔM , %
-0,50	23,28	1,66
-0,375	24,17	0,81
-0,25	25,11	0,46
-0,20	25,44	0,39
-0,125	25,88	0,15
-0,105	25,91	0,04

Таким чином використовуючи дані температури в вузлових точках від датчиків, які можуть бути встановлені як на стаціонарних об'єктах так і на мобільних, отримаємо температурне поле в контрольованій зоні.

6.3. Моделювання поширення концентрації небезпечних речовин

Застосовуючи розглянуті в розділах 2,3 методи та моделі проведемо експрес-діагностику концентрації небезпечних речовин в приземному шарі м.Херсона за даними, які поступають від датчиків розташованих з географічними координатами представленими на рис.6.11.

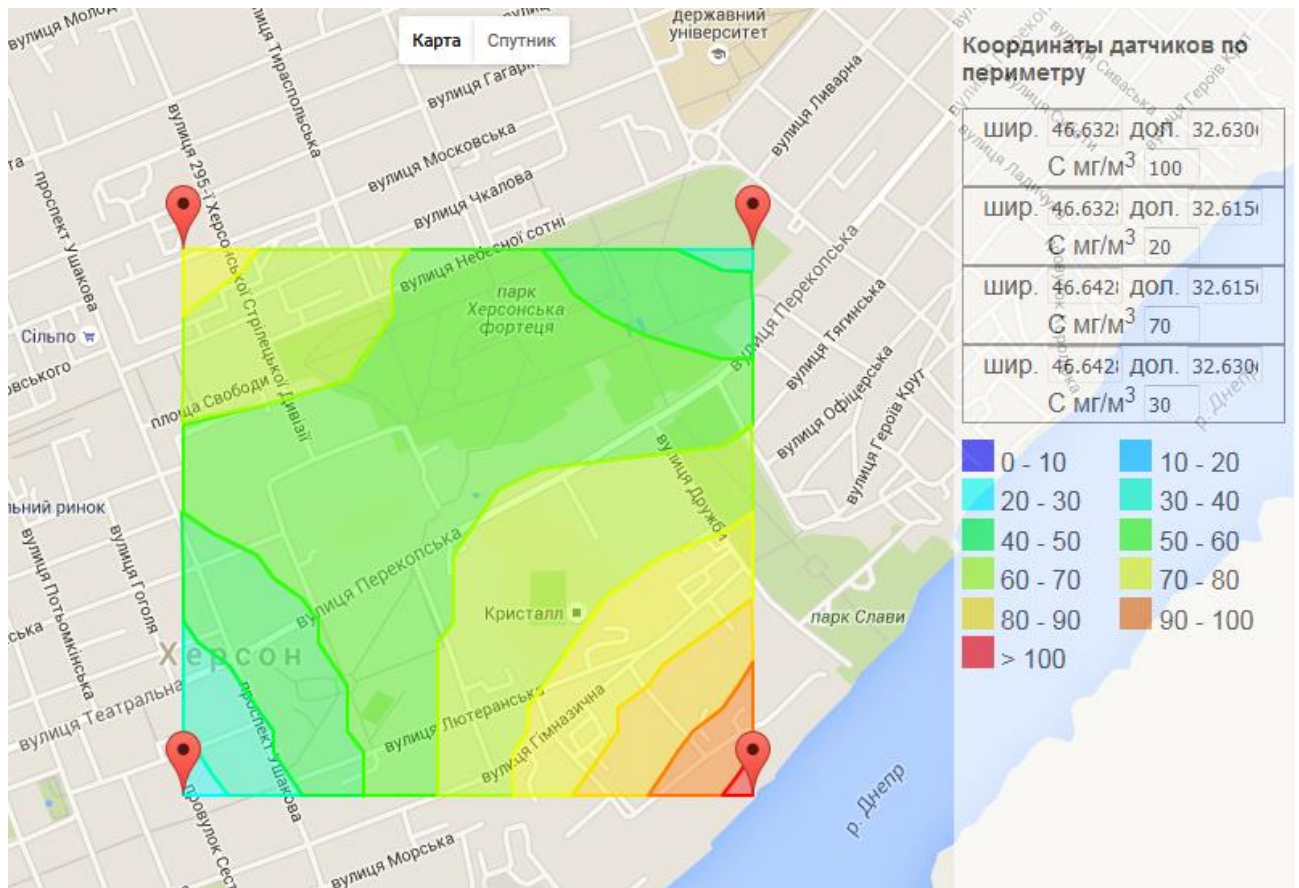


Рис. 6.11. Поширення концентрації небезпечних речовин

Для проведення експрес-діагностування, застосуємо стандартний базис білінійного скінченного елемента (6.18).

$$N_i = \frac{1}{4}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta), \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1 \quad (6.18)$$

На відміну від традиційної поелементної процедури метода скінченних елементів поле приземної концентрації небезпечної речовини (рис.6.11) можна побудувати лише за допомогою одного елемента (експрес-методика), що буває дуже важливо при визначенні нульового наближення розв'язку задачі, яка досліджується. Для визначення концентрації не тільки в приземному шарі необхідно застосовувати просторові скінчені елементи. При цьому датчики розташовують, як в приземному шарі, так і в просторі – висотні будівлі, антени мобільного зв'язку, а також різноманітних літальних апаратах, які в динамічному режимі передають дані до ГІС ПІР.

Концентрація C в будь-якій внутрішній точці при використанні СЕ-4 визначається за допомогою аналітичної залежності(6.19):

$$C = \sum_{i=1}^4 N_i(\xi, \eta) \cdot C_i \quad (6.19)$$

Білінійний елемент успішно використовується для апроксимації функцій з малим градієнтом. Для функцій, що швидко змінюються, отримати більш точну апроксимацію у МСЕ можна послідовним подрібненням 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, так наприклад ССЕ-8, ССЕ-12, ССЕ-16.

Методика, яка на сьогоднішній день використовується державною службою з надзвичайних ситуацій дозволяє лише експрес розрахунок зони можливого поширення небезпечних речовин під час виникнення надзвичайної ситуації(Рис.6.12).

Тому для визначення концентрації небезпечних речовин пропонується використовувати дискретні методи відновлення гармонічної функції.

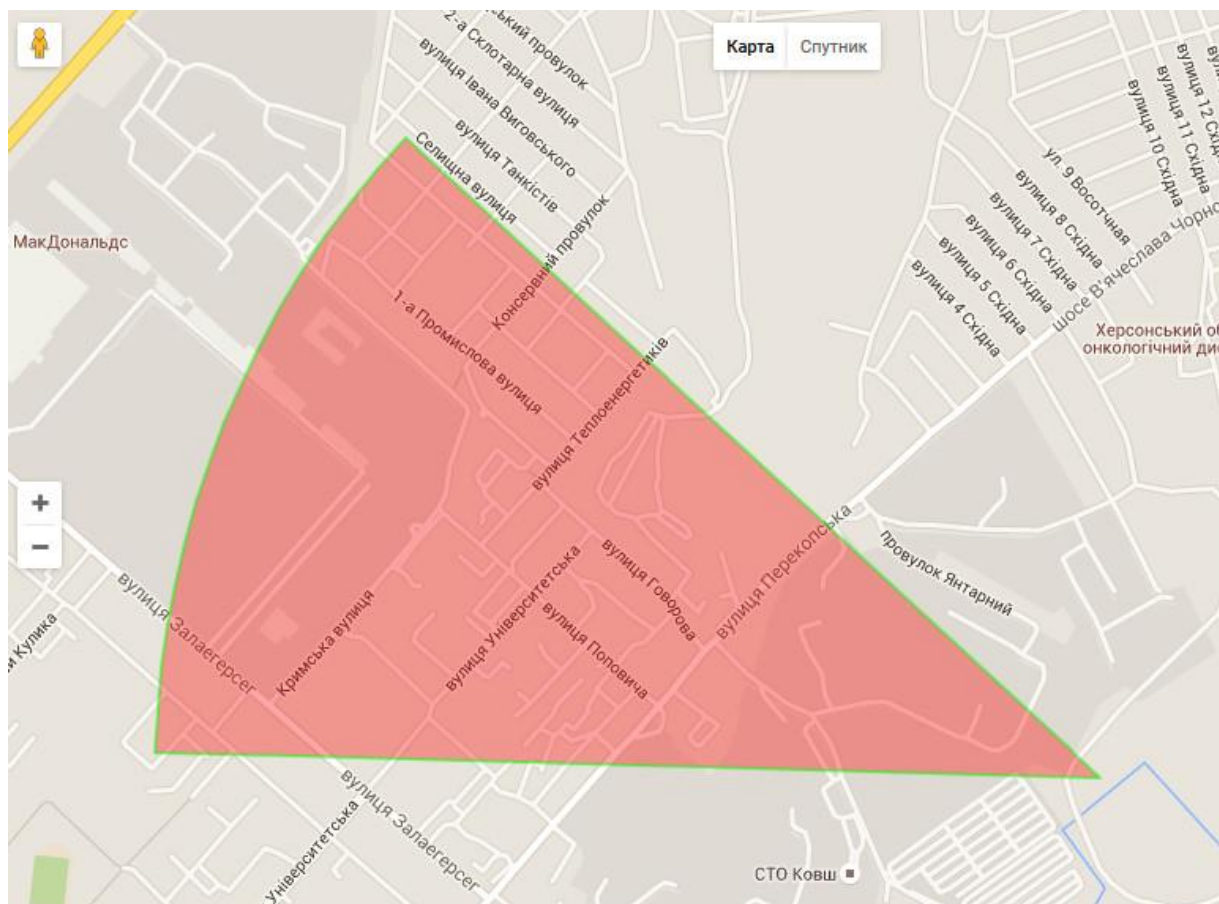


Рис. 6.12. Зона поширення небезпечних речовин

Висновки до розділу 6

1. Проведені за допомогою метода скінченних елементів та розробленої підсистеми, чисельні розрахунки показали, що альтернативні моделі дають більшу точність апроксимації, ніж стандартні моделі. В якості модельних задач розв'язано задачу Діріхле для рівняння Пуассона, а також задачу теплопровідності.

2. В роботі розроблений алгоритм і програмна реалізація в Maple рішення задачі про крутіння стержня некругової перетину з використанням альтернативних серендипових моделей біквадратичних КЕ. Розроблена процедура дозволяє проводити дослідження альтернативних моделей при

вирішенні практичного завдання і порівнювати отримані результати зі стандартним базисом цього елемента.

3. Проведено дослідження моделювання температурних полів при застосуванні альтернативних моделей серендипових скінчених елементів другого, третього та четвертого порядку.

4. Використовуючи розроблену геоінформаційну підсистему проведено моделювання концентрації небезпечних хімічних речовин в атмосфері внаслідок надзвичайної ситуації.

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 функцій, 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексеева В.М. Избранные задачи. Сборник / Под ред. В.М. Алексеева. – М.: Мир, 1977. – 597 с.
2. Алоян А.Е. Модели и методы в задачах охраны окружающей среды / Арташ Еремович Алоян, Владимир Викторович Пененко. – Новосибирск: Наука, 1985. – 256 с
3. Андреев В.Б., Руховец Л.А. Проекционные методы. – М.: Знание, 1986. – 32 с
4. Арутюнян Н.Х., Абрамян Б.Л. Кручение упругих тел. –М.: Физматгиз, 1963. –686 с.
5. Астионенко И. А. Исследование линейной независимости систем базисных функций полигонального элемента / И. А. Астионенко, П. И. Гучек, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій: Матеріали науково-практичної конференції, 15-18 травня 2006 р., Євпаторія. Т.4. — Херсон : Вид-во Херсонського морського інституту, 2006. — С. 84—87.
6. Астионенко И. А. О серендиповых элементах с естественным спектром узловых нагрузок / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. — Харківський державний університет харчування та торгівлі. — 2007. — Випуск 17. — С. 97—102.
7. Астионенко И. А. Обратные задачи серендиповых аппроксимаций / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2009. — Вып. 2 (35). — С. 36—42.
8. Астионенко И. А. Оптимизация спектров узловых нагрузок на серендиповых элементах высших порядков // И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // П'ята міжнародна науково-практична конференція “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем”. 14-16 листопада 2007. Тези доповідей. — Дніпропетровськ : ДНУ, 2007. — С. 11.
9. Астионенко И. А. Парадоксы серендиповых аппроксимаций / И. А. Астионенко, А. Н. Хомченко // Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики: Праці XIV міжнародного симпозіуму 8-12 червня 2009 р. Ч. 2. — Харків-Херсон , 2009. — С. 218—221.
10. Астионенко И. А. Полиномиальная интерполяция на многоугольных областях: обзор / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті:

Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 25-27 травня 2009 р., Херсон Т.2. — Херсон : ХДМІ, 2009. — С. 5—6.

11. 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. — 2008. — Вып. 2 (31). — С. 24—30.

12. Астионенко И. А. Серендиповы модели суперпараметрических аппроксимаций / И. А. Астионенко // *Materialy V mezinarodni vedecko – prakticka konference “Aplikovane vedecke novinky – 2009”*. — Praha : Education and Science, 2009. — Dil. 5. Matematika. — P. 48—54.

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

14. 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. — 2008. — Вып. 2 (31). — С. 24—30

15. Астионенко И. А. Дутые моды и серендиповы аппроксимации высших порядков / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2010. — Вып. 2 (38). — С. 385—388

16. Астионенко И. А. Дутые моды и серендиповы аппроксимации высших порядков / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2010. — Вып. 2 (38). — С. 385—388.

17. Астионенко И. А. Конструирование многопараметрических полиномов на бикубическом элементе серендипова семейства / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Научные ведомости. Серия : математика, физика. — Белгород : БелГУ, 2009. — Вып. 16. — № 5(60). — С. 15—31.

18. Астионенко И. А. Конструирование суперпараметрических полиномов на элементах серендипова семейства / И. А. Астионенко // *Materialy V Miedzynarodowej naukowí–praktycznej konferencji “Nauka: teoria i praktyka – 2009”*. — Przemysl : Nauka i studia, 2009. — Vol. 6. Matematyka.— P. 3—9.

19. Астионенко И. А. Многопараметрические серендиповы элементы в 2D / И. А. Астионенко, П. И. Гучек, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко //

Вестник Херсонского национального технического университета. — 2010. — Вып. 3 (39). — С. 40—47.

20. Астионенко И. А. Моделирование физических полей с распределенными параметрами в многоугольных областях / И. А. Астионенко, П. И. Гучек, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. — 2006. — Вып. 1 (17). — С. 5—11.

21. Астионенко И. А. О серендиповых элементах с естественным спектром узловых нагрузок / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. — Харківський державний університет харчування та торгівлі. — 2007. — Випуск 17. — С. 97—102

22. Астионенко И. А. Обратные задачи серендиповых аппроксимаций / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2009. — Вып. 2 (35). — С. 36—42

23. Астионенко И. А. Оптимизация спектров узловых нагрузок на серендиповых элементах высших порядков // И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // П'ята міжнародна науково-практична конференція “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем”. 14-16 листопада 2007. Тези доповідей. — Дніпропетровськ : ДНУ, 2007. — С. 11

24. Астионенко И. А. Парадоксы серендиповых аппроксимаций / И. А. Астионенко, А. Н. Хомченко // Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики: Праці XIV міжнародного симпозіуму 8-12 червня 2009 р. Ч. 2. — Харків-Херсон, 2009. — С. 218—221

25. Астионенко И. А. Полиномиальная интерполяция на многоугольных областях: обзор / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 25-27 травня 2009 р., Херсон Т.2. — Херсон : ХДМІ, 2009. — С. 5—6

26. Астионенко И. А. Серендиповы модели суперпараметрических аппроксимаций / И. А. Астионенко // Materialy V mezinarodni vedecko – prakticka konference “Aplikovane vedecke novinky – 2009”. — Praha : Education and Science, 2009. — Dil. 5. Matematika. — P. 48—54

27. Астионенко И. А. Серендиповы элементы: ретроспектива и современные концепции / И. А. Астионенко, А. Н. Хомченко // Проблеми інформаційних технологій. — 2009. — №1 (005). — С.140—144

28. Астионенко И. А. Теоремы и задачи теории многопараметрических серендиповых аппроксимаций / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Восьма міжнародна науково-практична конференція “Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем”. Тези доповідей. — Дніпропетровськ : Вид-во ДНУ, 2010. — С. 10—11..

29. Астионенко И. А. Трикубическая интерполяция по Кунсу как задача на геометрическую вероятность / И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Вісник Харківського національного університету. Серія “Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління”. — 2010. — Вип. 15. — № 926 — С. 25—30.

30. 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.

31. Астионенко И. А. Исследование линейной независимости систем базисных функций полигонального элемента/ И.А. Астионенко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомченко// Інтелектуальні 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.

32. 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.

33. 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.

34. 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.

35. 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 Евро-пейского ун-та, 2006. -С. 15-16.

36. 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.

37. Астионенко И. А. Исследование линейной независимости систем базисных функций полигонального элемента / И.А. Астионенко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомченко // Інтелектуальні 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.

38. 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.

39. Астионенко И. А. Моделирование физических полей с распределенными параметрами в многоугольных областях / И.А. Астионенко, П.И. Гучек, Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомченко//Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: ХНТУ, 2006. – № 1 (17). – С. 5-11.

40. Астионенко И. А. Управляемые серендиповы поверхности, сохраняющие межэлементную непрерывность / И. А. Астионенко, Н. А. Козуб, Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Вісник Запорізького національного університету : Серія: Фізико-математичні науки. — 2008. — Вип. 17.— № 1.— С. 8—11.

41. Астіоненко І. О. Інтерполяційна процедура Тейлора для побудови базисів серендипових скінченних елементів: модифікація / І. О. Астіоненко, О. І. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту : Матеріали міжнародної наукової конференції, 18-22 травня 2009 р., Євпаторія. Т. 1. — Херсон : ХНТУ, 2009. — С. 9—12.

42. Астіоненко І. О. Багатопараметричні інтерполяційні поліноми бікубічного елемента серендипової сім'ї / І. О. Астіоненко // Вісник Запорізького національного університету: Серія: Фізико-математичні науки. — 2009. — № 1. — С. 14—21

43. Астіоненко І. О. Явище стійкості інтегральних середніх на бікубічному серендиповому елементі / І. О. Астіоненко // Матеріали II

Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформатика та системні науки» ІСН-2011 17-19 березня 2011 р. — Полтава : РВВ ПУЕТ, 2011. — С. 16—19.

44. Астіоненко І. О. Ймовірісно-геометричний метод побудови серендипового базису / І. О. Астіоненко, О. І. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Матем. та прогр. забезп. інтелект. систем : тези. — Дніпропетровськ : ДНУ, 2009. — С. 20—21.

45. Астіоненко І. О. Неоднозначність серендипових моделей у задачах наближення функцій двох аргументів / І. О. Астіоненко // Вісник Запорізького національного університету : Серія: Фізико-математичні науки. — 2010. — № 1. — С. 25—29.

46. 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.

47. Балк М. Б. Геометрия масс / М. Б. Балк, В. Г. Болтянский. — М. : Наука, 1987. — 160 с.

48. Балк М.Б., Болтянский В.Г. Геометрия масс. — М.: Наука, 1987. — 159 с

49. Бахвалов Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. — М. : Наука, 2000. — 622 с.

50. Бахвалов С. В. Аналитическая геометрия / С. В. Бахвалов, Л. И. Бабушкин, В. П. Иваницкая. — М. : Просвещение, 1970. —376 с.

51. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Метод граничных элементов в прикладных науках. — М.: Мир, 1984. — 494 с

52. 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.

53. Березин И. С. Методы вычислений / И. С. Березин, Н. П. Жидков — М. : Физматгизд., 1962. — Т.1. — 464 с.

54. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 448 с.

55. Бернштейн С. Н. Конструктивная теория функций (1905-1930) / С. Н. Бернштейн.— М. : Изд-во Академии наук СССР, 1952.— Т. 1.— 580 с.

56. Блехман И. И. Прикладная математика: предмет, логика, особенности подходов / И. И. Блехман, А. Д. Мышкис, Н. Г. Пановко. — К. : Наукова думка, 1976. — 272 с.

57. Божидарник В.В., Сулим Г.Т. Элементы теории пружности. – Львів: Світ, 1994. – 560 с
58. Бончук Ю.В. Программный комплекс анализа дозиметрической обстановки при аварийных выбросах АЭС Украины / Ю.В. Бончук, Н.Н. Талерко, А.Г. Кузьменко // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2009. – № 12. – С. 30 – 38
59. Брушлинского Н.Н. Брушлинского Н.Н. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства/ Под ред. Н.Н. Брушлинского. — М.: Стройиздат, 1988. — 413 с.
60. Бруцкий Е.В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Евгений Васильевич Бруцкий. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 444 с.
61. Бызова Н.Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примесей / Н.Л. Бызова, Е.Г. Гаргер, В.Н. Иванов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 273 с.
62. Валько Н. В. Интегральный критерій гармонічності функції та моделі методу барицентричного усереднення / Н. В. Валько, А. Н. Хомченко // Питання прикладної математики і математичного моделювання : зб. наук. праць. — Дніпропетровськ : ДНУ, 2004. — С. 36—47
63. Валько Н. В. Интегральный критерій гармонічності функції та моделі методу барицентричного усереднення / Н. В. Валько, А. Н. Хомченко // Питання прикладної математики і математичного моделювання : зб. наук. праць. — Дніпропетровськ : ДНУ, 2004. — С. 36—47.
64. Вендров А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем / М.: Финансы и статистика.- 2000.- е. 352с.
65. Верлань А.Ф. Особенности оперативного тестирования на рабочем месте операторов систем поддержки принятия решений (СППР) / А.Ф. Верлань, М.Ф. Сопель, Ю.О. Фуртат // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки. – 2010. – №3. – С. 37–45
66. Виноградов И.М. Математическая энциклопедия/ Гл. ред. И.М. Виноградов. – М.: Сов. энциклопедия, 1977. –Т.1. – 1152 с.
67. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер. — М. : Мир, 1984. — 428 с
68. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер.— М. : Наука, 1988.— 552 с.
69. Гаргер Е.К. Вторичный подъем радиоактивного аэрозоля в приземном слое атмосферы / Евгений Константинович Гаргер – Чернобыль: Институт проблем безопасности АЭС, 2008. – 192 с

70. Гнеденко Б. В. Из истории науки о случайном /Б. В. Гнеденко. — М. : Знание, 1981.— 64 с.
71. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей / Б. В. Гнеденко. — М. : Наука, 1971. — 340 с.
72. Горюнкова А.А. Горюнкова А.А. Основные элементы автоматизированной системы мониторинга воздуха крупных промышленных городов // Экологические системы и приборы. – 2011. – № 12. – С. 54-57.
73. Грэхем Р. Конкретная математика. Основание информатики. / Р. Грэхем, Д. Кнут, О. Паташник. — М. : Мир, 1998. — 703 с.
74. Гупал А. М., Пономарев А. А., Цветков А. М. Об одном методе индуктивного вывода с подрезанием деревьев решений // Кибернетика и системный анализ. – 1993. – № 5. –С. 174-178.
75. Гучек П. Й. Комп'ютерна візуалізація ліній нульового рівня серендипових по-верхонь / П. Й. Гучек // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2012. – Вып. 2 (45). – С. 116-121.
76. Гучек П. Й. 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.
77. Гучек П. Й. Моделирование конечных элементов серендипова семейства для исследования температурных полей / П. И. Гучек, Е. И. Литвиненко, М. С. Буба, А. Н. Хомченко // Проблемы пожарной безопасности. Збірник наукових праць. — К. : МВС України., 1995. — С. 75-77.
78. Гучек П. Й. О физической адекватности процедуры конденсации на элементе Q16 / П. И. Гучек, В. В. Крючковский, А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2014. – Вып. 3 (50). – С. 269-272.
79. Гучек П. Й. Алгоритми візуалізації температурних полів у просторі / П. Й. Гучек // Проблеми інформаційних технологій . – 2012. – №1. – С. 96-102.
80. Гучек П. Й. Геометричне конструювання базису дискретного елемента з 8 вузлами у полярній системі координат / П. Й. Гучек, А. Н. Хомченко, О. І. Литвиненко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2011. – Вып. 2 (41). – С. 300-303.
81. 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.

82. 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.

83. 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.

84. Гучек П. Й. Компьютерное моделирование и визуализация функций формы конечных элементов // 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.

85. 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.

86. Гучек П. Й. Автоматизація процесу прийняття рішень оперативними підрозділами в надзвичайних ситуаціях / П.Й. Гучек // Zbior raportow naukowych. „Inzynieria i technologia. Wspolczesna nauka.Nowy wyglad.„ (30.01.2015 - 31.01.2015) Wrocław - Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. <<Diamond trading tour>>, 2015. – С.19-21.

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

88. 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.

89. 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.

90. 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 : Зб. наук. пр. – Харків:ХІПБ МВС України, 1998. – 2-13 с

91. 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.
92. Гучек П. Й. Інформаційні технології та організаційні моделі обробки викликів «Системи - 112» /П. Й. Гучек // Проблеми інформаційних технологій . – 2015. – №1. – С. 160-165.
93. 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.
94. 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.
95. Гучек П. Й. Система управління базою моделей скінченних елементів / П.Й. Гучек, О.І. Литвиненко // Проблеми інформаційних технологій . – 2012. – №2. – С. 54-58.
96. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных, 6-е издание: Пер. с англ. - К.; М.; СПб.: Издательский дом «Вильямс», 1999. - 848 с.
97. Демидович Б. П. Основы вычислительной математики / Б. П. Демидович, И. А. Марон. — М. : Наука, 1970. — 664 с.
98. Демидович Б. П. Численные методы анализа / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. — М. : Наука, 1967. — 368 с.
99. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. – М.: Наука, 1967. – 368 с.
100. Джордж А., Лю Дж. Численное решение больших разреженных систем уравнений. – М.: Мир, 1984. – 333 с.
101. Диго С. М. Проектирование баз данных. - М.: Финансы и статистика, 1988.
102. Диго С. М. Создание и использование баз данных. - М.: Финансы и статистика, 1995. - 207 с.
103. Довгий С.О. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень / С.О. Довгий, П.І. Бідюк, О.М. Трофимчук, О.І. Савенков. – К.: Азимут-Україна, 2011. – 608 с
104. Додонов О.Г. Концептуальні рішення створення автоматизованої системи екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером

«112» / О.Г. Додонов, О. В. Коваль, Р. І. Дзюбаненко, П. А. Цепков, Ю. О. Жидовленко, М. О. Маюров //Реєстрація, зберігання і оброб. даних.–2010. – Т. 12, № 2. – С. 165–180.

105. Дюк В. А. Формирование знаний в системах искусственного интеллекта: геометрический подход . – Вестник Академии Технического Творчества. – СПб, 1996, №2. - с.46-67.

106. Дюк В. А., Самойленко А. П. Data Mining:учебный курс. – СПб: "Питер". – 2001. – С.368.

107. Жермен-Лакур П. Математика и САПР: В 2 т./ П. Жермен-Лакур, П.Л. Жорж, Ф. Пистр, П. Безье – М.: Мир, 1989. – Т.2: Вычислительные методы. Геометрические методы.– 264 с

108. Журавчак Л.М., Грицько Є.Г. Метод граничних елементів у прикладних задачах математичної фізики. – Львів: Карпатське відділення Інституту геофізики НАН України, 1996. – 220 с

109. Закон України «Про систему екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112» №4499-VI від 13 березня 2012 р.– Режим доступу:<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/4499-17>

110. Закон України “ Про систему екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112” / Відомості Верховної Ради України, 2012 р., № Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/4499-17>

111. Закон України “Про правовий режим надзвичайного стану ” / Відомості Верховної Ради України, 2000 р., № 3 ст.176. Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1550-14>

112. Захаренко О.В. Определение зон безопасного размещения пожарно-спасательных сил при ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах химической промышленности: дис. на соиск. уч. кан. техн. наук: 21.02.03/ Захаренко Ольга Владимировна; Университет гражданской защиты. – Х., 2008.–158 с.

113. Згуровский М.З. Численное моделирование распространения загрязнений в окружающей среде / М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В.К. Хрущ, Н.Н. Беляев. – Киев: Наукова думка, 1997. – 368 с.

114. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. — М. : Мир, 1986. — 318 с.

115. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. — М. : Мир, 1975. — 541 с.

116. Зенкевич О. Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. - М.: Мир, 1986. -318 с

117. Зуб П. М. Компьютерная реализация методов барицентрического усреднения для задач эллиптического типа / П. М. Зуб, И. А. Лурье, А. Н.

Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2002. — Вып. 1 (14). — С. 46—49.

118. Калиткин Н.Н. Численные методы. -М.: Наука, 1978. -512 с.

119. Камаева Л. И. О моделировании конечных элементов серендипова семейства / Л. И. Камаева, А. Н. Хомченко // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Всесоюзн. межвуз. сб. — Горький : ГГУ, 1985. — Вып. 31. — С. 14—17.

120. Кендалл М. Геометрические вероятности /М. Кендалл, П. Моран. — М. : Наука, 1972. — 192 с.

121. Киселев М., Соломатин Е. Средства добычи знаний в бизнесе и финансах. — Открытые системы. — № 4. — 1997. — С.41—44.

122. Клейнман Р. Низкочастотное электромагнитное рассеяние /Р. Клейнман //Численные методы теории дифракции. Сборник статей. — М. : Мир, 1982. — С. 172—198.

123. Ковалец И.В. Технология моделирования метеорологических процессов с усвоением данных измерений для систем поддержки принятия решений: дис. на соиск. уч. докт. техн. наук: 05.13.06/ Ковалец Иван Васильевич; Институт проблем математических машин и систем. — К., 2011.— 350 с.

124. Ковальов С.М., Ахматшина О.І. Локальне згущення триангуляційної сітки// Геометричне та комп'ютерне моделювання. - Харків: ХДУХТ, 2004. — Вип. 4. - С. 37-45

125. Кодекс цивільного захисту України / Відомості Верховної Ради України, 2013 р., № 34-35, ст.458. Режим доступу:
<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5403-17/paran48#n48>

126. Коннор Дж. Метод конечных элементов в механике жидкости /Дж. Коннор, К. Бреббиа. — Л. : Судостроение, 1979. — 264 с

127. Корнеев В.В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / М.:-<<Нолидж>>, 2000.-352с.

128. Корнейчук Н. П. Экстремальные задачи теории приближения / Н. П. Корнейчук. — М. : Наука, 1976. — 320 с.

129. Косых В.С. Интеграция системы поддержки принятия решений в случае радиационных аварий RECASS NT с аналогичными системами, действующими в других странах / В.С. Косых, А.В. Крылова // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2009. — №2. — С. 128—147

130. Крылов В.И. Шульгина Л.Т. Справочная книга по численному интегрированию. — М.: Наука, 1966. — 372 с

131. 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.

132. Литвиненко Е. И. Геометрическое моделирование трехмерных серендиповых КЭ / Е. И. Литвиненко, А. Н. Хомченко // Прикладная геометрия и инженерная графика. — Мелитополь : ТГАТА, 1997. — Вып. 4. — Т.1. — С. 40—42.

133. Литвиненко Е. И. Математические модели и алгоритмы компьютерной диагностики физических полей : дис...канд. техн. наук : 05.13.06 / Елена Ивановна Литвиненко. — Херсон , 1999. — 172 с.

134. Литвиненко Е.И. Методичні вказівки для студ. II курсу спец. 090807 - фізична та біомед. електроніка/ Е.И. Литвиненко, А.Н. Хомченко, П.И. Гучек.— Херсон: "Вета-Поліпрінт", 2001. – 25 с.

135. Лященко М.Я., Головань М.С. Чисельні методи. -К.: Либідь, 1996. -288 с.

136. Майстров Л. Е. Развитие понятия вероятности / Л. Е. Майстров. — М. : Наука, 1980. — 269 с.

137. Марка Д. Методология структурного анализа и проектирования / М.: МетаТехнология, 1993. - 240 с.

138. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды/ Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.

139. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. -М.: Наука, 1989. -608 с.

140. Марчук Г. И. Введение в проекционно-сеточные методы / Г. И. Марчук, В. И. Агошков. — М. : Наука, 1981. — 416 с.

141. Мельников А.В. Система обработки информации и управления: архитектура и про-граммное обеспечение / Сб.науч. тр. Юж.-Уральского гор.ун-та.- Челябинск, Изд. ун-та, 1998,- 147 с.

142. Методика прогнозування наслідків виливу(викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті (затверджена спільним наказом МНС України, Міністерства аграрної політики, Міністерства економіки, Міністерства екології і природних ресурсів від 27.03.2001 N 73/82/64/122). – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0326-01>.

143. Мешалкин Е.К. Принципы построения и архитектура автоматизированной системы поддержки принятия решений при тушении пожаров / Е.К. Мешалкин, В.Т. Олейников, А.П. Абрамов // Пожарная безопасность. – 2001. – №4. – С. 118-123.

144. Митчелл Э. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными / Э. Митчелл, Р. Уэйт. — М. : Мир, 1981.— 216 с.

145. Монин А.С. Статистическая гидромеханика, Том 1 / А.С. Монин, А.М. Яглом. – Л.: Гидрометеиздат, 1992. – 696 с.
146. Натансон И. П. Конструктивная теория функций / И. П. Натансон. — Л. : Гос. изд-во технико-теорет. литературы, 1949. — 688 с.
147. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році / [Електронний ресурс].–Режим доступу:http://www.mns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf.
148. Немчинов Ю. И. Расчет пространственных конструкций (метод конечных элементов) / Ю. И. Немчинов. — К. : Будівельник, 1980. — 232 с.
149. Никольский С. М. Приближение функций многих переменных и теоремы вложения / С. М. Никольский. — М. : Наука, 1977. — 456 с
150. Норми радіаційної безпеки України, НРБУ-97. – Офіц. вид. – К.:М-во охорони здоров'я України, 1997. – 127 с.
151. Норри Д. Введение в метод конечных элементов / Д. Норри, Ж. де Фриз. — М. : Мир, 1981. — 304 с.
152. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред / Дж. Оден. — М. : Мир, 1976. — 464 с.
153. Одинцов И.О. Профессиональное программирование. Системный подход / СПб.:БХВ,2002.-512с.
154. Олейников В.Т. Олейников В.Т. Инфокоммуникационные технологии в системе оперативного управления подразделениями гарнизона пожарной охраны при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ / В.Т. Олейников// Сборник “Информационные технологии, связь и защита информации МЧС России – 2015”. – С. 95-98. Режим доступа: <http://www.mchs.informost.ru/2015/pdf/2-29.pdf>
155. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / Сухас Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 150 с
156. Пененко В.В. Вариационное усвоение данных в реальном времени / В.В. Пененко // Вычислительные технологии. – 2005. – т. 10., Спец. выпуск. – С. 9–20
157. Понтрягин Л. С. Основы комбинаторной топологии / Л. С. Понтрягин — [2-е изд.] —М. : Гостехиздат, 1976. — 143 с
158. Попов Б. А. Приближение функций для технических приложений / Б. А. Попов, Г. С. Теслер. — К. : Наукова думка, 1980. — 352 с.
159. Постанова Кабінету Міністрів України від 17.10.2012 №1031 “Про затвердження Порядку функціонування системи екстреної допомоги населенню за єдиним телефонним номером 112” Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1031-2012-%D0%BF/paran12#n12>

160. Постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.2014 №11 “ Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту” Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF/para10#n10>

161. Постанова Кабінету Міністрів України від 11.03.2015 №101 “ Про затвердження типових положень про функціональну і територіальну підсистеми єдиної державної системи цивільного захисту” Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/101-2015-%D0%BF/para12#n12>

162. Привалов И. И. Математический сборник / И. И. Привалов. —М. : 1925. — Т.32 — С. 464—471.

163. Про заходи щодо виконання у 2005 році Програми діяльності Кабінету Міністрів України «Назустріч людям»: за станом на 06 травня 2005 р. / Верховна Рада України. Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2005. – 5 с.

164. Прусов В.А. Теоретичне дослідження одного чисельного методу розв’язання задачі конвективної дифузії / В.А. Прусов, А.Ю. Дорошенко, Р.І. Черниш [та ін.] // Кібернетика і системний аналіз. – 2008. – №2. – С. 161–170.

165. Прусов В.А. Вибір параметра модифікованого адитивно-усередненого методу розщеплення / В.А. Прусов, А.Ю. Дорошенко, Р.І. Черниш // Кібернетика і системний аналіз. – 2009. – №4. – С. 98–105.

166. Прусов В.А. Метод чисельного розв’язку багатовимірної задачі конвективної дифузії / В.А. Прусов, А.Ю. Дорошенко, Р.І. Черниш // Кібернетика і системний аналіз. – 2009. - №1. – С. 100–107.

167. Райт Ричард С. OpenGL. / Ричард С. Райт, Бенджамин Липчак. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2006. – 1040 с.

168. Рассказов А. О. Расчет оболочек типа гиперболических параболоидов / А. О. Рассказов. — К. : КГУ, 1972. — 175 с.

169. Розин Л. А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам / Л. А. Розин. — М. : Стройиздат, 1977. — 132 с.

170. Рубан П.И., Гармаш Е.Е. Руководство к решению задач по аналитической геометрии. – М.: Высшая школа, 1963. – 314 с

171. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1989. – 616 с

172. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. — М. : Мир, 1979. — 392 с.

173. Секей Г. Парадоксы в теории вероятностей и математической статистике / Г. Секей. — М. : Мир, 1990. — 240 с.

174. Секулович М. Метод конечных элементов / М. Секулович. — М. : Стройиздат, 1993. — 664 с.

175. Семенчин Е.А. Стохастические методы решения обратных задач в математической модели атмосферной диффузии / Е.А. Семенчин, М.В. Кузякина. – М.: Физматлит, 2012. – 176 с.
176. 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.
177. Степаненко С.Н. Решение уравнения турбулентной диффузии для стационарного точечного источника / С.Н. Степаненко, В.Г. Волошин, С.В. Типцов // Український гідрометеорологічний журнал. – 2008. – №3. – С. 13–24
178. Степаненко С.Н. Анализ функции плотности распределения концентрации в гауссовых моделях рассеяния примесей в атмосфере / С.Н. Степаненко, В.Г. Волошин // Український гідрометеорологічний журнал. 2008. – № 3. – С. 5–11
179. Стренг Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фикс. — М. : Мир, 1977. — 349 с.
180. Субботин Ю. Н. Численные методы приближения функций и математический эксперимент / Ю. Н. Субботин // Число и мысль. Сб. статей. — М. : Знание, 1987. — Вып. 10. — С. 101—126.
181. Сьярле Ф. Метод конечных элементов для эллиптических задач. - М.: Мир, 1980. -512 с
182. Талерко Н.Н. Физические особенности и ограничения моделей атмосферного переноса радионуклидов для разных пространственно-временных масштабов / Н.Н. Талерко // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2009. – № 11. – С. 57–62
183. Тиман А. Ф. Теория приближения функций действительного переменного / А. Ф. Тиман. — М. : Физматгиз, 1960. — 626 с.
184. Тимченко И.Е. Системные методы в гидрофизике океана / Игорь Евгеньевич Тимченко. – К.: Наукова думка, 1988. – 240 с
185. Тихомиров В. М. Некоторые вопросы теории приближений / В. М. Тихомиров. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. — 304 с.
186. Тихонов А. Н. Вводные лекции по прикладной математике / А. Н. Тихонов, Д. П. Костомаров. — М. : Наука. Главная редакция физ.-мат. лит., 1984. — 192 с.
187. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1966. – 724 с

188. Толок В.А. Метод конечных элементов: теория, алгоритмы, реализация / В.А. Толок, В.В. Киричевский, С.И. Гоменюк, С.Н. Гребенюк, Д.П. Бувайло. – К.: Наукова думка, 2003. – 316 с
189. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров / С. Фарлоу. — М. : Мир, 1985. — 384 с.
190. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина / К. Флетчер. — М. : Мир, 1988. — 352 с
191. Харченко А.И., Гиндюк А.А. Аппроксимация поверхностей мыльных пузырей на квадратном плане кусками алгебраических поверхностей // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К.: Будівельник, 1976. – Вып. 21. – С. 79-82.
192. Херн Д. Компьютерная графика и стандарт OpenGL / Д. Херн, М. Паулин Бейкер. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2005. – 1168 с.
193. Хомченко А. Н. Некласичний базис скінченного елемента з біквадратичною інтерполяцією / А. Н. Хомченко, С. О. Камаєва // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. — Харків : ХДУХТ, 2008. — Вип. 17. — С. 97—102.
194. Хомченко А. Н. Геометрические аспекты серендиповых аппроксимаций / А. Н. Хомченко, Л. И. Камаева — Ивано-Франковск , 1987. — 10 с. — Деп. в УкрНИИНТИ 27.03.1987, №1062Ук-87Деп.
195. Хомченко А. Н. О модификации серендиповых элементов / А. Н. Хомченко // Ивано-Франк. ин-т нефти и газа. — Ивано-Франковск , 1983. — 4 с. — Деп. в ВИНТИ 4.07.1983, №3643.
196. Хомченко А. Н. Метод конечных элементов: стохастический подход / А. Н. Хомченко. — Ивано-Франковск , 1982. — 7 с. — Деп. в ВИНТИ 15.10.82, №5167.
197. Хомченко А. Н. “Скрытые” параметры и “мягкие” модели серендиповых элементов / А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2008. — Вып.2 (31). — С. 500—503.
198. Хомченко А. Н. Альтернативные серендиповы аппроксимации и явление устойчивости интегральных средних / А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2010. — Вып. 3(39). — С.498—502.
199. Хомченко А. Н. Взвешенное усреднение базисов и наследственность в многопараметрических аппроксимациях / А. Н. Хомченко, Е. И. Литвиненко, И. А. Астионенко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. Випуск 26. — Харк.

держ. університет харчування та торгівлі. — Харків : ХДУХТ, 2010. — С. 66—72.

200. Хомченко А. Н. Геометрические аспекты серендиповых аппроксимаций / А. Н. Хомченко, Л. И. Камаева — Ивано-Франковск, 1987. — 10 с. — Деп. в УкрНИИТИ 27.03.1987, №1062Ук-87Деп

201. Хомченко А. Н. Геометрическое моделирование дискретных элементов с криволинейными границами / А. Н. Хомченко, Н. А. Козуб // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. — 2008. — №1 (21) — С. 24—27.

202. Хомченко А. Н. Геометрия полиномиальной интерполяции метода конечных элементов / А. Н. Хомченко // Прикладная геометрия и инженерная графика. — 1987. — Вып. 43. — С. 80—82.

203. Хомченко А. Н. Геометрия серендиповых аппроксимаций / А. Н. Хомченко, Е. И. Литвиненко, П. И. Гучек // Прикладная геометрия и инженерная графика. — 1996. — Вып. 59. — С. 40—42.

204. Хомченко А. Н. Геометрия серендиповых полиномов: классические результаты и артефакты / А. Н. Хомченко, И. А. Астионенко, Н. А. Козуб // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Зб. наук. праць. — Харків : ХДУХТ, 2007. — Вип. 18. — С. 24—29.

205. Хомченко А. Н. Геометрия серендиповых полиномов: обратные задачи / А. Н. Хомченко, Е. И. Литвиненко, И. А. Астионенко // Прикладная геометрия и инженерная графика. — К. : КНУБА, 2009. — Вип. 82 — С. 58—63.

206. Хомченко А. Н. Дискретные аналоги интегрального условия гармоничности функции / А. Н. Хомченко, Н. В. Валько // Вестник Херсонского государственного технического университета. — 2004. — Вип. 19. — С. 17—19.

207. Хомченко А. Н. Знакопеременная плотность и полилинейная интерполяция / А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2007— Вип. 2(28). — С.378—382.

208. Хомченко А. Н. Інтерполяційна процедура Тейлора для серендипових моделей: геометричний аналіз / А. Н. Хомченко, О. І. Литвиненко, І. О. Астіоненко // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. — Луцьк : ЛДТУ, 2008. — Вип. 22 — Ч. 1. — С.355—359

209. Хомченко А. Н. Конечные элементы для задач теории поля в цилиндрических координатах / А. Н. Хомченко // Вестник Киевского ун-та. Моделирование и оптимизация сложных систем. — 1986. — Вип. 5. — С. 65—68.

210. Хомченко А. Н. Конструирование конечных элементов в цилиндрических координатах / А. Н. Хомченко. — Ивано-Франковск, 1984. — 6 с. — Деп. в УкрНИИТИ 05.12.1984, №2052Ук-84Деп.

211. Хомченко А. Н. Метод конечных элементов: стохастический подход / А. Н. Хомченко. — Ивано-Франковск, 1982. — 7 с. — Деп. в ВИНТИ 15.10.82, №5167.

212. Хомченко А. Н. Модели барицентрического усреднения и одношаговые схемы случайных блужданий / А. Н. Хомченко, В. В. Крючковский // Матем. модел. в образовании, науке и промыш. — С.-Пб. : МАН ВШ, 2005. — С. 112—115.

213. Хомченко А. Н. Модели броуновского движения и аналогии Л. Прандтля / А. Н. Хомченко, В. В. Крючковский, Б. А. Хомченко // Вестник Херсонского государственного технического университета. — 2001. — Вып. 12. — С. 288—290.

214. Хомченко А. Н. Моделі методу барицентричного усереднення / А. Н. Хомченко, Н. В. Валько, О. І. Литвиненко // Матеріали міжн. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології в системі керування вищою освітою України”. — Херсон : ХГУ, 2004. — С. 24—26.

215. Хомченко А. Н. Некоторые вероятностные аспекты МКЭ / А. Н. Хомченко. — Ивано-Франк. ин-т нефти и газа. — Ивано-Франковск, 1982. — 9 с. — Деп. в ВИНТИ 18.03.82, № 1213.

216. Хомченко А. Н. Новые модели серендиповых элементов / А. Н. Хомченко, Т. П. Левая, П. И. Гучек // Прикладная геометрия и инженерная графика. — 1996. — Вып. 60. — С. 53—56.

217. Хомченко А. Н. Новый подход к построению базисов серендиповых элементов / А. Н. Хомченко, Е. И. Литвиненко, И. А. Астионенко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. — 2009. — Вип. 23. — С. 90—95.

218. Хомченко А. Н. О базисных функциях МКЭ для уравнений в частных производных / А. Н. Хомченко // III Респ. симпозиум по диффер. и интегр. Уравнениям : Тез. докл. — Одесса : ОГУ, 1982. — С. 257—258.

219. Хомченко А. Н. О вероятностном построении базисных функций МКЭ / А. Н. Хомченко. — Ивано-Франк. ин-т нефти и газа. — Ивано-Франковск, 1982. — 5 с. — Деп. в ВИНТИ 21.10.82, №5264.

220. Хомченко А. Н. О модификации серендиповых элементов / А. Н. Хомченко // Ивано-Франк. ин-т нефти и газа. — Ивано-Франковск, 1983. — 4 с. — Деп. в ВИНТИ 4.07.1983, №3643

221. Хомченко А. Н. Об усреднении в математическом моделировании / А. Н. Хомченко, В. В. Крючковский // Вестник Херсонского

національного технічного університета. — 2005. — Вип. 22. — С. 340—343.

222. Хомченко А. Н. Обратные задачи об интегральных средних для серендиповых полиномов / А. Н. Хомченко, И. А. Астионенко, Е. И. Литвиненко // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2007. — Вип. 2(28). — С. 383—389.

223. Хомченко А. Н. П'ять способів побудови функції-“пагоди” / А. Н. Хомченко, І. О. Астіоненко, Н. О. Козуб // Прикладна геометрія та інженерна графіка. / Праці Тавр. держ. агротехнолог. ун-ту — 2008. — Вип. 4. — Т. 37. — С. 24—31.

224. Хомченко А. Н. Проблема збереження геометричної ізотропії на серендипових елементах вищих порядків / А. Н. Хомченко, О. І. Литвиненко, І. О. Астіоненко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці Тавр. держ. агротехн. акад. — 2007. — Вип. 4. — Том. 36. — С. 39—44.

225. Хомченко А. Н. Серендиповы базисы иерархического типа: роль «скрытых» параметров интерполяции / А. Н. Хомченко, Е. И. Литвиненко, И. А. Астионенко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Міжвідомчий науково-техн. збірник. — К. : КНУБА, 2010. — Вип. 86. — С. 87—91.

226. Хомченко А. Н. Серендиповы элементы и геометрическая вероятность / А. Н. Хомченко // Ивано-Франк. ин-т нефти и газа. — Ивано-Франковск, 1983. — 5 с. — Деп. в УкрНИИТИ 28.06.1983, №629Ук-D83.

227. Хомченко А. Н. Способ построения интерполяционных формул на конечных элементах / А. Н. Хомченко // Сопротивление материалов и теория сооружений. — К. : КИСИ, 1985. — Вип. 47. — С. 67—70

228. Хомченко А. Н. Стандартные серендиповы многочлены и линейчатые поверхности / А. Н. Хомченко, Е. И. Литвиненко, И. А. Астионенко // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Міжвузівський збірник. Вип. № 6. — Луцьк : Луцький націон. техн. університет, 2011. — С. 266—269.

229. Хомченко А. Н. Стандартные серендиповы многочлены и линейчатые поверхности / А. Н. Хомченко, Е. И. Литвиненко, И. А. Астионенко // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Міжвузівський збірник. Вип. № 6. — Луцьк : Луцький націон. техн. університет, 2011. — С. 266—269

230. Хомченко А. Н. Формоутворення серендипових поверхонь з «прихованими» параметрами / А. Н. Хомченко, О. І. Литвиненко, І. О. Астіоненко // Прикл. геометрія та інж. графіка. Праці Тавр. держ. агротехнол. ун-та. — 2010. — Вип. 4. — Т. 48. — С. 55—62

231. Хомченко А. Н. Чи потрібний 17 вузол серендиповому елементу 4-го порядку / А. Н. Хомченко, С. О. Камаєва // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2009. — Вып.2 (35). — С. 455—461.

232. Хомченко А. Н. Численное моделирование температурного поля в неоднородном цилиндрическом слое / А. Н. Хомченко, В. М. Глоба // Промышленная теплотехника. — 1989. — Вып. 11, № 5 — С. 109—111.

233. 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.

234. 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. — Вып.4.— Т. 57. — С. 217-224.

235. Хомченко А.Н., Цибуленко О.В. Про усереднення граничних сіткових функцій двох аргументів // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — Мелітополь: ТДАТА, 2004. - Вып.4, Т.23. — С. 35-39

236. Цветков А. М. Разработка алгоритмов индуктивного вывода с использованием деревьев решений. — Кибернетика и системный анализ. — 1993. — №1. — С. 174—178.

237. Цубербиллер О. Н. Задачи и упражнения по аналитической геометрии. / О. Н.Цубербиллер. — М. : Физматгиз, 1963. — 296 с

238. Чебышев П. Л. Вопросы о наименьших величинах, связанные с приближенным представлением функций (1859) / П. Л. Чебышев. — Полн. собр. соч. Т.2. — М. — Л. , 1947. — С. 151—235.

239. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 544 с

240. Эйнджел Эдвард Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL. — М.:Издательский дом “Вильямс”, 2001. — 592с.

241. Юлдашев О. И. Гармонические базисные функции для конечных элементов высокого порядка аппроксимации [Электронный ресурс] / О. И. Юлдашев, М. Б. Юлдашева // Объединенный институт ядерных исследований. Лаборатория информационных технологий. Научный отчет 2006-2007. — Дубна : Объединенный институт ядерных исследований, 2007. — С. 317—320. — Режим доступа к отчету: http://lit.jinr.ru/Reports/SC_report_06-07/pdfall/p317.pdf.

242. Юхимчук С.В. Моделі автоматизації вироблення рекомендацій керівнику гасіння пожежі на залізничному транспорті / С.В. Юхимчук, М.Д. Кацман. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008.–144 с.
243. Ahmad S. Curved thick shell and membrane elements with particular reference to axisymmetric problems / S. Ahmad, B. M. Irons, O. C. Zienkiewicz // Proc. 2d Conf. Matrix Methods Struct. Mech, AFFDL-TR-68-150 (Oct. 15-17, 1968), Wright-Patterson AFB , Ohio. — P. 539—572.
244. Akin J. E. Finite Elements Analysis with Error Estimators / J. E. Akin. — Elsevier , Butterworth-Heinemann, 2005. — 477 p
245. Amicarelli A. Evaluation of data assimilation techniques for a mesoscale meteorological model and their effects on air quality model results [Електронний ресурс]/ A. Amicarelli, C. Gariazzo, A. Finardi [et al.]. – IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2007. – Vol. 1, No 012033. – Режим доступу: <http://iopscience.iop.org/1755-1315/1/1/012033>.
246. Andronopoulos S. Functional specification of the meteorological pre-processor of RODOS PV 5.0 [Електронний ресурс] / S. Andronopoulos, J. Bartzis, W. Raskob [et al.] // Report RODOS(RA2)-TN(04)-01. – Germany, Karlsruhe: Forschungszentrum, 2004. – 55 p. – Режим доступу: www.rodos.fzk.de
247. Argyris J. H. Energy theorems and structural analysis / J. H. Argyris / Aircraft Eng. — 26. — 1954. — P. 347—356.
248. Argyris J. H. Energy theorems and structural analysis / J. H. Argyris // Aircraft Eng. — 27. — 1955. — P. 42—58.
249. Babushka I. The rate of convergence for finite element method // SIAM J. Numer. Anal.-1971.-V. 8, N2
250. Banzhaf S. Simulation of wet deposition in the CTM REM-CALGRID using a diagnostic and a prognostic meteorological driver [Електронний ресурс] / S.Banzhaf, E. Reimer, A. Kerschbaumer [et al.] // Proc. of 9th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM), (Toulouse, France, 28 September – 2 October 2009). – P.36–38. – Режим доступу: <http://meetings.copernicus.org/ems2009/>.
251. Bathe K. Finite Element Procedures / K. Bathe. — New Jersey : Prentice Hall., 1996. — 1038 p
252. Beh M. Stabilized Space-Time Finite Element Formulations for Free-Surface Flows / M. Behr // Comm. For Num. Meth. In Eng. —11.—2001.— P.813—819.
253. Beh M. Stabilized Space-Time Finite Element Formulations for Free-Surface Flows / M. Behr // Comm. For Num. Meth. In Eng. —11.—2001.—

P.813—819. 120. Ciarlet P. G. The Finite Element Method for Elliptical Problems / P. G. Ciarlet // SIAM — Philadelphia, PA, 2002.

254. Bradley M.M. NARAC: an emergency response resource for predicting the atmospheric dispersion and assessing the consequences of airborne radionuclides / M.M. Bradley // Journal of environmental radioactivity. — 2007. — Vol. 96. — N. 1. — P. 116 – 121.

255. Byun D. Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the Models-3 community multiscale air quality modeling system / Daewon Byun, Kenneth Schere // Applied Mechanics Reviews. — 2006. — Vol. 59, N 2. — P. 51–77.

256. Chandrasekar A. Evaluating the performance of a computationally efficient MM5/CALMET system for developing wind field inputs to air quality models / A. Chandrasekar, C.R. Philbrick, R. Clark [et al.] // Atmospheric Environment. — 2003. — Vol. 37, N 23. — P. 3267–3276.

257. Ciarlet P. G. The Finite Element Method for Elliptical Problems / P. G. Ciarlet // SIAM — Philadelphia, PA, 2002

258. Clough R. W. The finite element method in plane stress analysis / R. W. Clough // J. Struct. Div., ASCE. — Proc. 2d Conf. Electronic Computation. — P. 345—378.

259. Cook R. D. Concepts and Applications of Finite Element Analysis / R. D. Cook, D. S. Malkus, N. E. Plesha, R. I. Witt— John Wiley. — New York, 2002.

260. Coons S. A. Surfaces for computer aided design of space forms. Report MAC-TR-41, Project MAC., M.I.T, 1967. — 105 p.

261. Courant R. Variational methods for solution of problems of equilibrium and vibrations. — Bull. Amer. Math. Soc., 1943. — 49. — P.1-23

262. Dasgupta G. Interpolants within Convex Polygons: Wachspress' Shape Functions / G. Dasgupta // Journal of Aerospace Engineering. — V. 16 — № 1.— 2003.

263. Directive 2002/22/EC of the European Parliament and of the Council of 7 March 2002 on Universal Service and Users' Rights Relating to Electronic Communications Networks and Services (Universal Service Directive). — Official Journal of the European Communities. — 24.4.2002. — L 108/51-77 (EN).

264. Directive 91/396/EEC: Council Decision of 29 July 1991 on the Introduction of a Single European Emergency Call Number // Official Journal L 217. — 06/08/1991. — P.0031–0032; Finnish Special Edition: Chapter 13. — Vol. 20. — P. 0232; Swedish special edition: Chapter 13. — Vol. 20. — P. 0232.

265. Douglas J., Dupont T. Alternating-direction Galerkin methods on rectangles // Numerical solution of partial differential equations-II. SYNSPADE-1970. Academic Press, N. Y.; L.: 1971
266. Elbir T. Development of a GIS-based decision support system for urban air quality management in the city of Istanbul / T. Elbir, N. Mangir, M. Kara [et al.] // Atmospheric Environment. – 2010. – Vol. 44, N4. – p. 441–454
267. Ergatoudis I. Curved isoperimetric “quadrilateral” elements for finite element analysis / I. Ergatoudis, B. M. Irons, O. C. Zienkiewicz // Internat. J. Solids Struct., — № 4. — 1968. — P. 31—42.
268. Ergatoudis I. Three dimensional analysis of arch dams and their foundations / I. Ergatoudis, B. M. Irons, O. C. Zienkiewicz // Proc. Symp. Arch, Dams, 1968. — P. 21—34.
269. Evensen G. Data assimilation: The ensemble Kalman filter / Geir Evensen. — Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. — 279 p
270. Felippa C. A. Refined finite element analysis of linear and non-linear two-dimensional structures, doct. diss., Univ. of California, Berkeley, 1966
271. Fried I. Some aspects of the natural coordinate system in the finite element method, // AIAA J. –1969. –7. -P.1366-1368
272. Gallagher R. H. A correlation study of methods of matrix structural analysis / R. H. Gallagher, I. Rattinger, J. S. Archer // AGARDograph 69. — Oxford : Pergamon Press Ltd, 1964. — P. 126—132.
273. Gallagher R.H., Padlog J., Bujlaard P.O. Stress analysis of heated complex shapes // J. Amer. Rocket Soc. –1962. –32. –P. 700-707
274. Gariyants A.M. Mobile Measurement Facilities for the Real-Time Interaction with the Recass NT System in Antiterrorism Actions / A.M. Gariyants, V.G. Bulgakov, V.M. Shershakov, G.P. Zhukov // Countering Nuclear and Radiological Terrorism.— Dordrecht: Springer, 2006. — P. 191 – 198.
275. Gilliam R.C. Metropolitan-scale transport and dispersion from the New York World Trade Center following September 11, 2001. Part I: an evaluation of the CALMET meteorological model / R.C. Gilliam, P.P. Childs, A.H. Huber [et al.] // Pure and Applied Geophysics. – 2005. – Vol. 162. – P. 1981–2003.
276. Greiner G. Hierarchical tetrahedral-octahedral subdivision for volume visualization / G. Greiner, R. Grosso // The Visual Computer. — 2000. — I. 16. — P. 357—369.
277. Hanslo P. A Crank-Nicolson Type Space-Time Finite Element Method for Computing on Moving Meshes / P. Hanslo // J. Comp. Physics. — 2000. — № 159 — P.274—289.

278. Havskov J. The VetMet veterinary decision support system for airborne animal diseases / J. Havskov, S. Alexandersen, P. Astrup [et al.] // NATO Science for Peace and Security Series. – 2008. – Vol. 2. – P. 199–207
279. Heubner K.H. The Finite Element Method for Engineers. -N. Y.-Toronto. John Wiley and Sons, 1975
280. Hochberg K. J. Central limit theorem for signed distributions / K. J. Hochberg // Proc. Amer. Math. Soc. — 1980. — № 79. — P. 298—302.
281. Hoe S. ARGOS CBRN information system for emergency management. Version 08 [Електронний ресурс] / S. Hoe, L. Schou-Jensen, J. Pehrsson [et al.].— Denmark, Brondby: Prolog Developer Center, 2010. – 33 p. – Режим доступу: www.pdc.dk/argos/.
282. Hoe S. ARGOS Decision Support System for Emergency Management[Електронний ресурс] / S. Hoe, P. McGinnity, T. Charnock [et al.] // Argentine Radiation Protection Society. – 2009. – Режим доступу: http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:55890/datastreams/file_3924948/content.
283. Hrennikoff A. Solution of problems in elasticity by the framework method / A. Hrennikoff // J. Appl. Mech. — 1941. — № 8. — P. 169—175.
284. Hu J. Particulate air quality model predictions using prognostic vs. diagnostic meteorology in central California / J. Hu, Q. Ying, J. Chen [et al.] // Atmospheric Environment. – 2010. – Vol. 44, N 2. – P. 215–226.
285. Ievdin I. First prototype of redesign of the RODOS system for nuclear emergency management in Europe / I. Ievdin, O. Prymachenko, I. Kovalets [et al.] // 36. праць III-ї конф. з міжнар. участю “Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. СППР’2007”, (Київ, 7 червня 2007). – К.: НАН України, Ін-т проблем математичних машин і систем, 2007. – С. 22–25
286. Ievdin I. Model integration in the redesigned decision support system RODOS// I. Ievdin, O. Prymachenko, N. Shlyakhtun, I. Kovalets [et al.] // 36. доп. II-ї наук.-практ. конф. з міжнар. участю “Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС’2007”, (Київ, 25–29 червня 2007 р.). – К.: НАН України, Ін-т проблем математичних машин і систем, 2007. – С. 45–48
287. Irons B. M. Engineering application of numerical integration in stiffness method / B. M. Irons // AIAA J. — 1966. — № 4. — P. 2035—2037
288. Ishiguro M. Construction of Hexagonal Basis Functions Applied in the Galerkin-Type Finite Element Method. / M Ishiguro // ”J.Inf.Process”, 1984. — V. 7. — № 2. — P. 88—95.
289. Jackson B. Comparison of ozone simulations using MM5 and CALMET/MM5 hybrid meteorological fields for the July/August 2000 CCOS episode / B. Jackson, D. Chau, K. Gurer [et al.] // Atmospheric Environment. – 2006. – Vol. 40, N 16. – P. 2812–2822.

290. Kalnau E. Atmospheric modeling, data assimilation and predictability/ Eugenia Kalnau. – UK, Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 341 p
291. Klemp J.B. Conservative split-explicit time integration methods for the compressible nonhydrostatic equations / J.B. Klemp, W.C. Skamarock, J. Dudhia // Monthly Weather Review. – 2007. – Vol. 135. – P. 2897–2913.
292. Landman C. Scenario data sets and scenarios for RODOS PV6 final. [Электронный ресурс] / C. Landman // Report RODOS(RA7)-TN(04)-02. – Germany Karlsruhe: Karlsruhe Institute of Technology, 2007. – 49 p. – Режим доступа: www.rodos.fzk.de
293. Lorensen W. E. Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm / W.E. Lorensen, H. E. Cline // Computer Graphics. – 1987. – 21(4). – P. 163-169.
294. Lui G. R. The Finite Element Method: A practical Course / G. R. Lui, S. S. Quek. — Butterworth-Heinemann, 2003. — 348 p
295. Machado G. Machado G. PSAPs Organisation in Europe /G. Machado, J.Paris// European Emergency Number Association.–Режим доступа:http://www.eena.org/ressource/static/files/2013_04_16_psaporgeurope.pdf.
296. Notay Y. A multilevel block incomplete factorisation preconditioner /Y. Notay // Applied Numerical Mathematics. – 1999. – Vol. 31. – P. 209–225.
297. Oden J.T., Aguirre-Ramirez G Formulation of general discrete models of thermomechanical behavior of materials with memory // Int. J. Solids Struct. – 1969. -5, N10. –P. 1077-1093
298. Pielke R.A. Mesoscale meteorological modelling / Roger A. Pielke. – USA, San Diego: Academic Press, 2004. – 676 p.
299. Piotrowski Z.P. EULAG model for multiscale flows – towards the petascale generation of mesoscale numerical weather prediction / Z.P. Piotrowski, M.J. Kurowski, B. Rosa [et al.] // Lecture Notes in Computer Science. – 2010. – Vol.6068. – P. 380–387.
300. Raskob W. Application of a decision support system in nuclear and radiological emergency: opportunities and challenges / W. Raskob // NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics. – 2008. – Vol. 3.– P. 207–221.
301. Raskob W. European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies (EURANOS) / W. Raskob // Kerntechnik. – 2007. – Vol. 72, N 4. – P. 172–175.
302. Raskob W. Key improvements in the simulation modelling for decision support systems developed in the EURANOS project / Wolfgang Raskob, Florian Gering // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45, N 5. – P. 149–160.

303. Raskob W. Objectives and achievements in the first four years of the EURANOS project. European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies / W. Raskob, F. Gering, F. Lochard [et al.] // Radioprotection. – 2009. – Vol. 44, N 5. – P. 407–412.
304. Roache P.J. Fundamentals of computational fluid dynamics / Patrick J. Roache. – Mexica, Albuquerque: Hermosa Publishers, 1998. – 648 p.
305. Scire J.S. A users guide for the CALMET meteorological model [Електронний ресурс] / J.S. Scire, D.G. Strimaitis, R.J. Yamartino [et al.]. – USA, Concord: Earth Tech, Inc., 2000. – Режим доступу: <http://www.src.com>
306. Seaman N. Meteorological modelling for air-quality assessments / N. Seaman // Atmospheric Environment. – 2000. – Vol. 34. – P. 2231–2259.
307. Severe accident risks: an assessment for five U.S. nuclear power plants : Report NUREG-1150. – Офіц. вид. – USA, Washington, DC: US Nuclear Regulatory Commission, 1991 – 252 p
308. Shershakov V.M. Radioecological Analysis Support System (RECASS) / V.M. Shershakov, V.S. Kosykh, R.V. Borodin // Radiation Protection DosimeShershakov V.M. try. – 1993. – Vol. 50. – P. 181 – 184.
309. Stensrud D.J. Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models / David J. Stensrud. – UK, Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 459 p
310. Steyn D. Air pollution modeling and its application / D. Steyn, S.T. Rao. – Netherlands, Dodrecht: Springer, 2010. – 637 p
311. Suh K.S. Three dimensional numerical modeling of pollutant transport at localscale complex terrain / K.S. Suh, M.H. Han, S.H. Jung [et al.] // Annals of Nuclear Energy. – 2008. – Vol. 35, N 6. – P. 1016–1023.
312. Taig I. C. Structural analysis by the matrix displacement method / I. C. Taig — English Elec. Aviation Ltd. Rep., 1961. — S-O-17.
313. Taig I. C. Structural analysis by the matrix displacement method / I. C. Taig — English Elec. Aviation Ltd. Rep., 1961. — P. 1-17
314. Taylor R. L. On the completeness of shape functions for finite element analysis / R. L. Taylor // Internat. J. Numer. Methods Eng — 1972. —V.4. — № 1. —P. 17—22.
315. Tezduyar T. E. Finite Element Method for Flow Problems with Moving Boundaries and Interfaces / T. E. Tezduyar // Computational Methods in Engineering. — V. 8. — 2001. — P. 83—130. Finite Element Method for Flow Problems with Moving Boundaries and Interfaces / T. E. Tezduyar // Computational Methods in Engineering. — V. 8. — 2001. — P. 83—130.
316. The European Emergency Number 112. Analytical Report (Survey Conducted by the Gallup Organization Hungary Upon the Request of Directorate-

General for Information Society and Media. – Flash Eurobarometer Series #262). – February 2009. – 100 p.

317. Thomas S.J. The accuracy and efficiency of semi-implicit timestepping for mesoscale storm dynamics / S.J. Thomas, G.L. Browning // *Journal of the Atmospheric Sciences*. – 2001. – Vol. 58. – P. 3053–3063.

318. Thuburn J. Some conservation issues for the dynamical cores of NWP and climate models / J. Thuburn // *Journal of Computational Physics*. – 2008. – Vol. 227, N 7. – P. 3715–3730.

319. Turner M. J. Stiffness and deflection analysis of complex structures / M. J. Turner, R. W. Clough, H. C. Martin, L. P. Topp // *J. Aeron. Sci.* — 1956. — V. 23. — № 9. — P. 805—823.

320. Turner M. J. The direct stiffness method of structural analysis / M. J. Turner // 10th Meeting AGARD Struct. Mater. Panel. — Aachen, 1959. — P. 320—322.

321. Turner M.J., Clough R.W., Martin H.C., Topp L.P. Stiffness and deflection analysis of complex structures // *J. Aeron. Sci.* –1956. –23, N9. –P. 805-823, 854

322. Wachspress E. I. A rational finite element basis / E. I. Wachspress. — New York : Academic Press, 1975. — 344 p. 141. Wachspress E. I. A rational finite element basis / E. I. Wachspress. — New York : Academic Press, 1975. — 344 p.

323. Wang W. Evaluating wind fields from a diagnostic model over complex terrain in the Phoenix region and implications to dispersion calculations for regional emergency response / W. Wang, W.J. Shaw // *Meteorological Applications*. – 2009. – Vol. 16, N 4. – P. 557–567.

324. Weierstrass K. «Sitzungsber. Akad. Berlin», 1885. — S. 633—639, 789—805

325. Wissmann J. W. Numerische berechnung nichtlinearer elastischer koerper, Diss., Hannover, 1963

326. Zannetti P. Numerical simulation modelling of air pollution: an overview. Air pollution Southampton, Computational Mechanics Publications, 1993, pp. 3–14.

327. Zheleznyak M. Implementation in Ukraine of the RODOS system / M. Zheleznyak, I. Kovalets, W. Lins // *Proc. of Int. Symp. on “Off-site nuclear emergency management”*, (Salzburg, Austria, 29 Sept.-3 Oct. 2003). — Austria, Salzburg: Federal Ministry of Environment, 2003. — P. 79–80

328. Zienkiewicz O. C. The Finite Element Method / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor. — Bristol Printed and bound by MPG Books Ltd. — Butterworth-Heinemann, 2000. — V. 1. — 689 p.

329. Zienkiewicz O. C. The Finite Element Method / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor. — Bristol Printed and bound by MPG Books Ltd. — Butterworth-Heinemann, 2000. — V. 2. — 464 p.

ДОДАТОК А

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Начальник Головного управління ДСНС
України у Херсонській області
полковник служби цивільного захисту
С.М. Чорний

“ 15 ” 09 2015 р.

А К Т

про впровадження результатів дисертаційної роботи к.т.н.,
доцента Гучека Петра Йосиповича, представленої на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук

Ми, що нижче підписалися у складі:

Помічник начальника Головного
управління з питань телекомунікацій,
інформаційних технологій та Системи 112
підполковник служби цивільного захисту

– Дригваль О.М.

Начальник центру оперативного зв'язку,
телекомунікаційних систем та інформаційних
технологій підполковник служби цивільного
захисту

– Ковалевський М.В.

Заступник начальника центру, начальник відділу
оперативного зв'язку, телекомунікаційних систем
та інформаційних технологій старший лейтенант
служби цивільного захисту

– Пастернак О.В.

підтверджуємо, що:

1. Результати наукових досліджень Гучека Петра Йосиповича з розробки підходів до автоматизації процесів керування службою з надзвичайних ситуацій на регіональному рівні, а саме:
 - методологічні положення удосконалення заходів автоматизації процесів керування силами та засобами в надзвичайних ситуаціях;
 - скінченно-елементна модель для оцінки та прогнозування хімічної та радіаційної обстановки внаслідок надзвичайних ситуацій;
 - методи розробки автоматизованої системи безперервного моніторингу та прогнозування зони поширення небезпечних речовин та радіаційного випромінювання;
 - методи взаємозв'язку та інтеграції отриманих розрахунків з геоінформаційними системами.
2. Використання запропонованих методів та моделей дозволяє проводити експрес-діагностику концентрації небезпечних хімічних речовин, під час

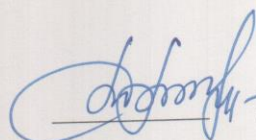
викиду(виліву) та радіаційного випромінювання внаслідок надзвичайної ситуації та прогнозувати наслідки надзвичайної ситуації до їх виникнення та в ході розвитку.

3. Адекватність розроблених методологічних засад та запропонованих методів і моделей було підтверджено в процесі використання тестової інформаційно-аналітичної системи та порівнянням отриманих результатів з розрахунками отриманими за методикою яка використовується в ДСНС.

Підсумовуючи вищесказане зроблено наступний висновок:

Використання запропонованих в дисертаційній роботі Гучека П.Й. методів та моделей забезпечить можливість безперервного моніторингу та прогнозування зони поширення НХР під час виникнення надзвичайної ситуації, розроблення ефективних сценаріїв для прийняття рішень фахівцями з ліквідації надзвичайних ситуацій в екстремальних умовах.

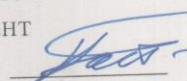
Помічник начальника Головного управління з питань телекомунікацій, інформаційних технологій та Системи 112 підполковник служби цивільного захисту

 Дригваль О.М.

Начальник центру оперативного зв'язку, телекомунікаційних систем та інформаційних технологій підполковник служби цивільного захисту

 Ковалевський М.В.

Заступник начальника центру, начальник відділу оперативного зв'язку, телекомунікаційних систем та інформаційних технологій старший лейтенант служби цивільного захисту

 Пастернак О.В.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Начальник НМЦ ЦЗ та БЖД

Херсонської області

полковник служби

цивільного захисту

С.К. Ненько

“20” 10 2015 р.

А К Т

про впровадження результатів дисертаційної роботи к.т.н.,
доцента Гучека Петра Йосиповича, представленої на
здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Ми, що нижче підписалися у складі:

Заступника начальника центру з

навчальної та виробничої роботи

Завідувач курсів обласних

та м. Херсона

Завідувач кабінету інформаційних

технологій

– Виноградного В.І.

– Бочуркіна С.Л.

– Хоменка П.Л.

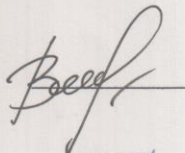
підтверджуємо, що:

1. Результати наукових досліджень Гучека П.Й. з розробки підходів до автоматизації процесів керування силами та засобами в надзвичайних ситуаціях, а саме:
 - скінченно-елементна модель для оцінки та прогнозування хімічної обстановки внаслідок надзвичайних ситуацій;
 - методологічні положення удосконалення заходів автоматизації процесів керування силами та засобами в надзвичайних ситуаціях;
 - методи розробки автоматизованої системи безперервного моніторингу та прогнозування зони поширення небезпечних речовин.
2. Використання запропонованих методів та моделей дозволяє проводити експрес-діагностику концентрації небезпечних хімічних речовин, під час викиду(виливу) внаслідок надзвичайної ситуації.
3. Адекватність розроблених методологічних засад та запропонованих методів було підтверджено в процесі впровадження навчальної інформаційно-аналітичної системи.

Підсумовуючи вищесказане зроблено наступний висновок:

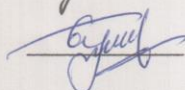
Використання запропонованих в дисертаційній роботі Гучека П.Й. методів та моделей забезпечило можливість розроблення ефективних навчальних сценаріїв для спеціальної підготовки фахівців з ліквідації надзвичайних ситуацій, а також дало можливість вдосконалити навчальний процес практичної підготовки слухачів до дій в надзвичайних ситуаціях та прийняття рішень в екстремальних умовах.

Заступника начальника центру з
навчальної та виробничої роботи



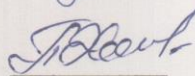
Виноградчий В.І.

Завідувач курсів обласних
та м. Херсона



Бочуркін С.Л.

Завідувач кабінету інформаційних
технологій



Хоменко П.Л.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Начальник інституту цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності полковник служби цивільного захисту, к.т.н., доцент

А.Г. Ренкас

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи к.т.н., доцента Гучека Петра Йосиповича на тему «Моделі, методи та інформаційні технології керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

На базі навчальної пожежно-рятувальної частини Львівського державного університету безпеки життєдіяльності використано результати дисертаційної роботи Гучека Петра Йосиповича за темою «Моделі методи та інформаційні технології керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня», а саме: моделі скінченно-елементної апроксимації для проведення розрахунків концентрації небезпечних речовин в атмосфері, що дало змогу в реальному часі за допомогою геоінформаційної системи підготовки прийняття рішень прогнозувати зону покриття та приймати рішення щодо подальших дій при ліквідації надзвичайної ситуації; концепцію створення і застосування інформаційних технологій для удосконалення процесу підготовки та 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; інформаційну технологію експрес-діагностування концентрації небезпечних речовин в атмосфері та візуалізації в реальному часі на карті місцевості зони покриття. Це забезпечило можливість розроблення ефективних навчальних сценаріїв для спеціальної підготовки фахівців з ліквідації надзвичайних ситуацій та прийняття рішень в екстремальних умовах.

Заступник з навчально-наукової роботи
начальника інституту цивільного захисту
підполковник служби ц.з.
к.ф.-м.н., доцент

О.В.Меньшикова

Професор кафедри інформаційних технологій
та телекомунікаційних систем
д.т.н., професор

Ю.П. Рак

Начальник навчально-методичного центру
полковник служби ц.з.

Р.І. Стасьо

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор ПП «ФОРТ-ПК»



* О.І. Руденко

10.09.2014

А К Т

про використання результатів дисертаційної роботи к.т.н., доцента Гучека Петра Йосиповича на тему «Моделі, методи та інформаційні технології керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

На базі відділу розробки програмного забезпечення ПП «ФОРТ-ПК» використано результати дисертаційної роботи Гучека Петра Йосиповича за темою «Моделі методи та інформаційні технології керування службою надзвичайних ситуацій регіонального рівня», а саме: моделі скінченно-елементної апроксимації для проведення розрахунків температурних полів та концентрації небезпечних речовин в атмосфері, що дає змогу в реальному часі за допомогою геоінформаційної системи отримувати зону покриття, та приймати рішення, щодо подальших дій в системах моніторингу екологічної безпеки при надзвичайних ситуаціях.

Результати дисертаційного дослідження використані також при розробці пакетів прикладних програм в системах моніторингу та створені геоінформаційних систем екологічної безпеки підприємством.

Це забезпечило можливість розроблення ефективних сценаріїв прийняття рішень в екстремальних умовах.

Начальник відділу розробки
програмного забезпечення

О.П. Сапфіров



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

E-mail: kstu@tlc.kherson.ua

Україна, 73008, м. Херсон-8, Бериславське шосе, 24 Тел.: +38 (0552) 326910

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної
роботи

Херсонського
національного

технічного університету

Н.В.Старун



«15» 10 2015 р

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи Гучека Петра Йосиповича
«Моделі методи та інформаційні технології керування службою надзвичайних
ситуацій регіонального рівня» у навчальному процесі Херсонського національного
технічного університету

Протягом 2010-2015 років на кафедрі інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету в навчальний процес впроваджено результати дисертаційної роботи Гучека П.Й. у вигляді математичних моделей скінченно-елементної апроксимації для проведення розрахунків концентрації небезпечних речовин в атмосфері, що дало змогу в реальному часі за допомогою геоінформаційної системи підготовки прийняття рішень отримувати зону покриття, та приймати рішення щодо подальших дій при ліквідації надзвичайної ситуації.

Вказані результати використовуються для розробки навчально-методичних комплексів дисциплін «Моделювання обчислювальних систем», «Системи підготовки прийняття рішень», в курсовому та дипломному проектуванні.

Начальник навчального відділу,
к.т.н., доцент

О.Ю.Рязанова

Зав.кафедри інформаційних технологій
наук, д.т.н., проф

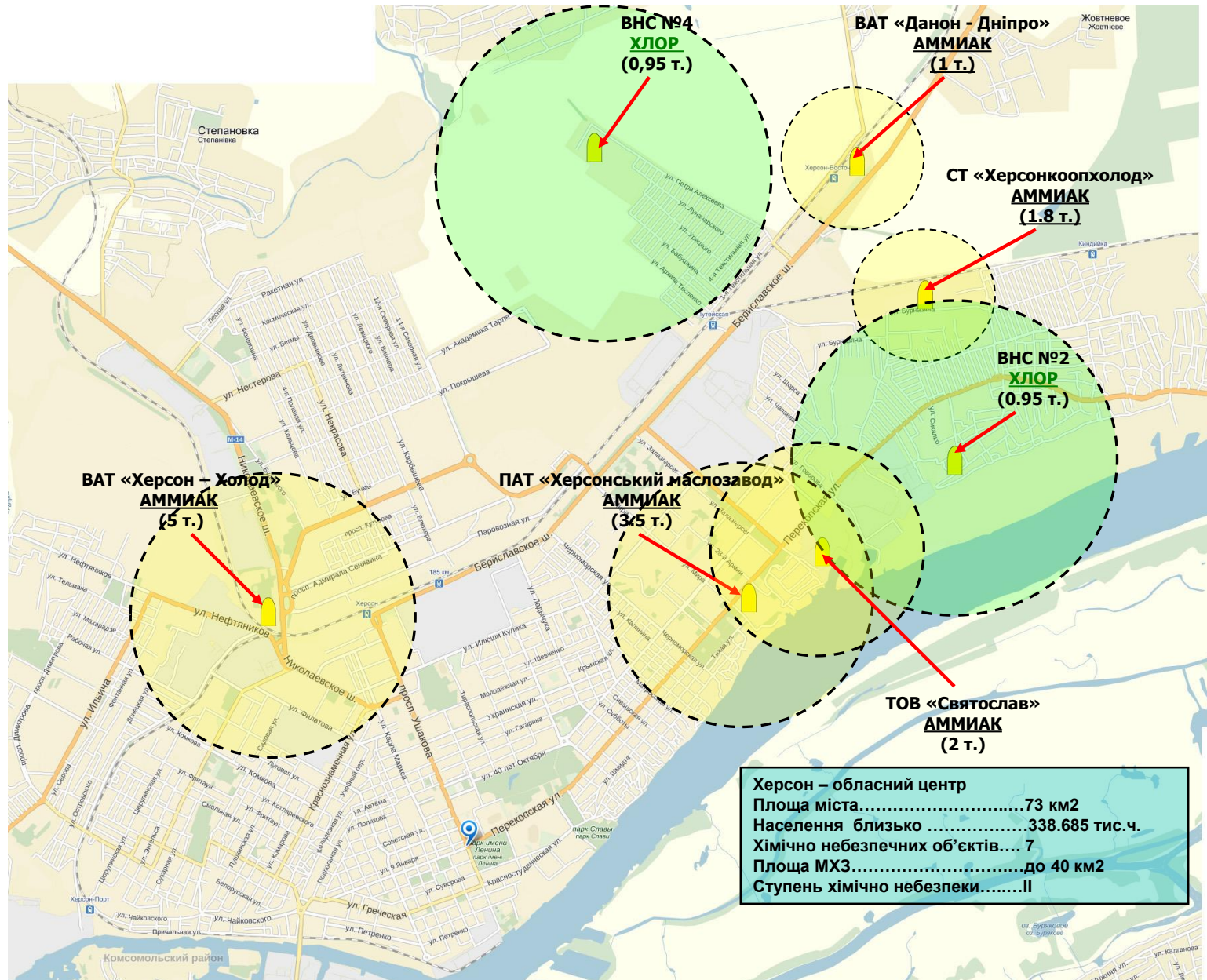
В.Є.Ходаков

Професор кафедри інформаційних
технологій д.т.н., проф

В.Г..Шерстюк

ДОДАТОК Б

РОЗТАШУВАННЯ ХНО НА ТЕРИТОРІЇ М. ХЕРСОНА



ДОДАТОК В

ЕКРАНІ ФОРМИ ТА ОСНОВНІ МОДУЛІ РОЗРАХУНКУ НХР

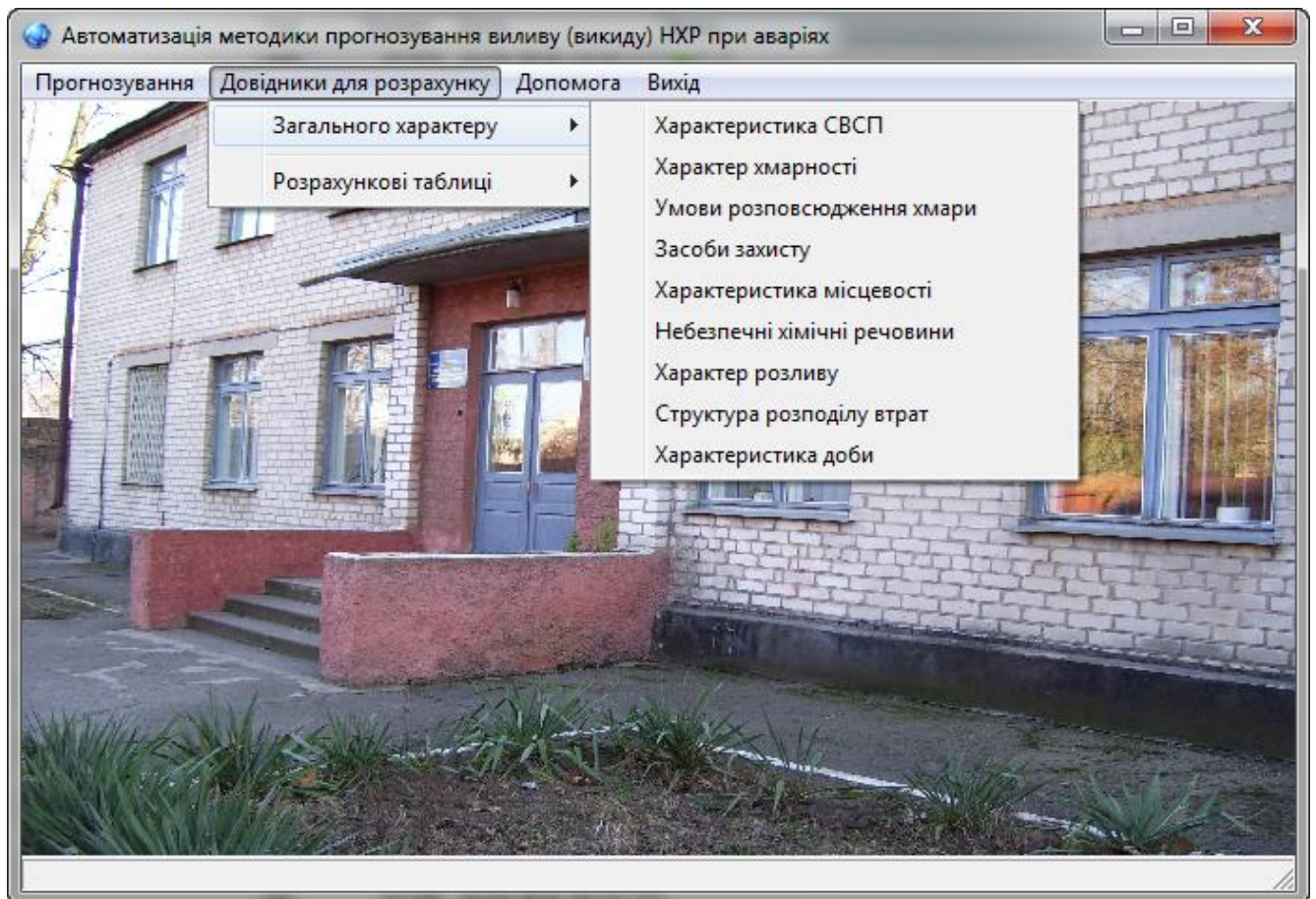


Рис.В.1. Головна форма підсистеми розрахунку НХР

Оцінка хімічної обстановки

- ☐ визначення зони можливого хімічного забруднення;
- ☐ визначення прогнозованої зони хімічного забруднення;
- ☐ визначення часу підходу забрудненого повітря до об'єкта;
- ☐ визначення терміну дії джерела забруднення НХР;
- ☐ визначення можливості втрат населення які опинилися у ЗМХЗ (ПЗХЗ), %;

Аварійне та довгострокове прогнозування наслідків виливу НХР при аваріях

Початкові дані

Прогнозування
☒ Довгострокове ☐ Аварійне

НХР: Кількість НХР:

Метеорологічні дані
 Температура: Швидкість вітру: Напрямок:

СВСП
 Період доби: Характер хмарності:

Характер виливу (викиду)
☒ Вільно ☐ Ч піддон

Висота обвалування
 Н, м: ☐ Герметичність

Умови розповсюдження хмари

	Глибина:	Ширина:	Площа:	Населення:	Відстань:
☐ Міська забудова					
☐ Лісові масиви					
☐ Сільське будівництво					

Результати прогнозування

Основні розрахунки

Глибина розповсюдження хмари забрудненого повітря:	34,25
Ширина прогнозованої зони хімічного забруднення (ПЗХЗ):	2,5
Площа зони можливого хімічного забруднення (ЗМХЗ):	3682,48
Площа прогнозованої зони хімічного забруднення (ПЗХЗ):	125,38

Структура втрат населення

Легкі втрати населення:	
Втрати середньої тяжкості:	
Втрати зі смертельними наслідками:	

Рис.В.2. Екрана форма введення початкових даних

Прогнозування і оцінка ХО у випадку аварії на ХНО

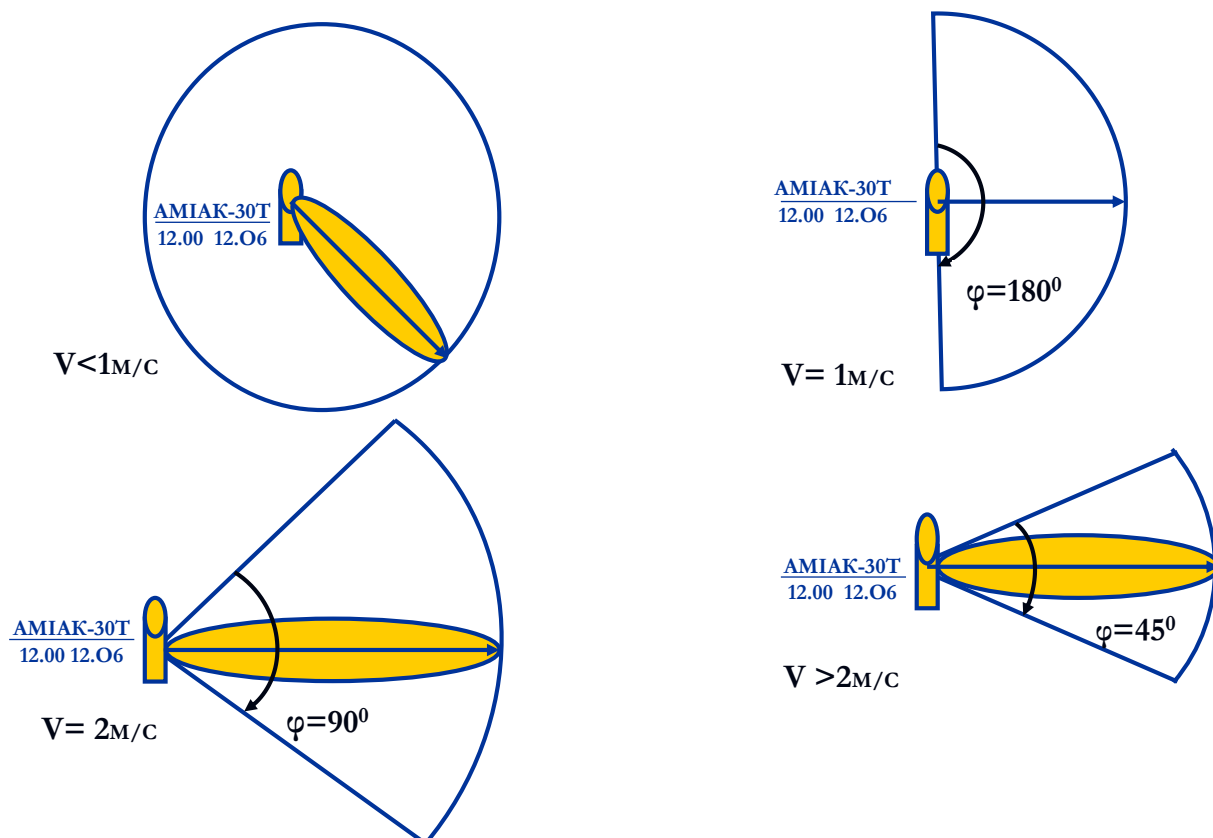
Вихідні дані:

- координати ХНО;
- тип і кількість НХР Q, t ;
- час аварії;
- умови зберігання НХР;
- висота обвалування H, m .

Метеоумови:

- напрямок вітру, град;
- швидкість вітру, m/s ;
- температура повітря, $^{\circ}C$;
- ступінь вертикальної стійкості повітря (СВСП);
- характер місцевості, (закрита, відкрита), $км$

ГРАФІЧНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ ЗМХЗ



ДОДАТОК Г

ОСНОВНІ МОДУЛІ СИСТЕМИ СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНИХ МОДЕЛЕЙ

Головний модуль підсистеми дослідження скінченно-елементних моделей

```

unit FormMainForm;

interface

uses Windows, SysUtils, Classes, Graphics, Forms, Controls, Menus,
    StdCtrls, Dialogs, Buttons, Messages, ExtCtrls, ComCtrls, StdActns,
    ActnList, ToolWin, ImgList;

type
    TfmMainForm = class(TForm)
        MainMenu1: TMainMenu;
        File1: TMenuItem;
        FileNewItem: TMenuItem;
        FileOpenItem: TMenuItem;
        FileCloseItem: TMenuItem;
        Window1: TMenuItem;
        Help1: TMenuItem;
        N1: TMenuItem;
        FileExitItem: TMenuItem;
        WindowCascadeItem: TMenuItem;
        WindowTileItem: TMenuItem;
        WindowArrangeItem: TMenuItem;
        HelpAboutItem: TMenuItem;
        OpenDialog: TOpenDialog;
        FileSaveItem: TMenuItem;
        FileSaveAsItem: TMenuItem;
        Edit1: TMenuItem;
        CutItem: TMenuItem;
        CopyItem: TMenuItem;
        PasteItem: TMenuItem;
        WindowMinimizeItem: TMenuItem;
        StatusBar: TStatusBar;
        ActionList1: TActionList;
        EditCut1: TEditCut;
        EditCopy1: TEditCopy;
        EditPaste1: TEditPaste;
        FileNew1: TAction;
        FileSave1: TAction;
        FileExit1: TAction;
        FileOpen1: TAction;
        FileSaveAs1: TAction;
        WindowCascade1: TWindowCascade;
        WindowTileHorizontal1: TWindowTileHorizontal;
        WindowArrangeAll1: TWindowArrange;
        WindowMinimizeAll1: TWindowMinimizeAll;
        HelpAbout1: TAction;
        FileClose1: TWindowClose;
        WindowTileVertical1: TWindowTileVertical;
        WindowTileItem2: TMenuItem;
        ToolBar2: TToolBar;
        ToolButton1: TToolButton;
        ToolButton2: TToolButton;
        ToolButton3: TToolButton;
        ToolButton4: TToolButton;
        ToolButton5: TToolButton;
        ToolButton6: TToolButton;
        ToolButton9: TToolButton;
        ToolButton7: TToolButton;
    end;

```

```

ToolButton8: TToolButton;
ToolButton10: TToolButton;
ToolButton11: TToolButton;
ImageList1: TImageList;
N2: TMenuItem;
N3: TMenuItem;
N4: TMenuItem;
N5: TMenuItem;
N6: TMenuItem;
N7: TMenuItem;
N8: TMenuItem;
N9: TMenuItem;
N321: TMenuItem;
N121: TMenuItem;
N10: TMenuItem;
procedure FileNew1Execute(Sender: TObject);
procedure FileOpen1Execute(Sender: TObject);
procedure HelpAbout1Execute(Sender: TObject);
procedure FileExit1Execute(Sender: TObject);
procedure N11Click(Sender: TObject);
procedure N5Click(Sender: TObject);
procedure N4Click(Sender: TObject);
procedure N6Click(Sender: TObject);
procedure N3Click(Sender: TObject);
procedure N7Click(Sender: TObject);
procedure N8Click(Sender: TObject);
procedure N9Click(Sender: TObject);
procedure N321Click(Sender: TObject);
procedure N121Click(Sender: TObject);
procedure N10Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
procedure CreateMDIChild(const Name: string);
procedure CreateMDIChildFAP(const Name: string);
procedure CreateMDIChildV(const Name: string);
procedure CreateMDIChildP1(const Name: string);
procedure CreateMDIChildP2(const Name: string);
procedure CreateMDIChildGRAD(const Name: string);
procedure CreateMDIChildKub(const Name: string);
procedure CreateMDIChildPolyar(const Name: string);
procedure CreateMDIChildKub32(const Name: string);
procedure CreateMDIChildl2uzlov(const Name: string);
procedure CreateMDIChildTreugol(const Name: string);

public
{ Public declarations }
end;

var
  fmMainForm: TfmMainForm;

implementation

{$R *.dfm}

uses FormAboutBox, FormMDIChild, FormVisualBas, FormVisualPent,
  FormVisBazPent, FormAntiPrizma, FormGradient, FormKub, FormPolyar,
  FormKub32, Forml2uzlov, FormTreugol;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChild(const Name: string);
var

```

```

    Child: TfmMDIChild;
begin
    { create a new MDI child window }
    Child := TfmMDIChild.Create(Application);
    Child.Caption := Name;
    if FileExists(Name) then Child.Memo1.Lines.LoadFromFile(Name);
end;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildKub(const Name: string);
var
    ChildKub: TfmKub;
begin
    { create a new MDI childV window }
    ChildKub := TfmKub.Create(Application);
    ChildKub.Caption := Name;
end;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildKub32(const Name: string);
var
    ChildKub: TfmKub32;
begin
    { create a new MDI childV window }
    ChildKub := TfmKub32.Create(Application);
    ChildKub.Caption := Name;
end;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildl2uzlov(const Name: string);
var
    Childl2uzlov: Tfm12uzlov;
begin
    { create a new MDI childV window }
    Childl2uzlov := Tfm12uzlov.Create(Application);
    Childl2uzlov.Caption := Name;
end;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildTreugol(const Name: string);
var
    ChildTreugol: TfmTreugol;
begin
    { create a new MDI childV window }
    ChildTreugol := TfmTreugol.Create(Application);
    ChildTreugol.Caption := Name;
end;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildPolyar(const Name: string);
var
    ChildPolyar: TfmPolyar;
begin
    { create a new MDI childV window }
    ChildPolyar := TfmPolyar.Create(Application);
    ChildPolyar.Caption := Name;
end;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildV(const Name: string);
var
    ChildV: TfmVisualBas;
begin
    { create a new MDI childV window }
    ChildV := TfmVisualBas.Create(Application);
    ChildV.Caption := Name;
end;

```

```

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildFAP(const Name: string);
var
  ChildV: TfmAntiPrizma;
begin
  { create a new MDI childV window }
  ChildV := TfmAntiPrizma.Create(Application);
  ChildV.Caption := Name;
end;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildGRAD(const Name: string);
var
  ChildG: TfmGradient;
begin
  { create a new MDI childV window }
  ChildG := TfmGradient.Create(Application);
  ChildG.Caption := Name;
end;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildP1(const Name: string);
var
  ChildP1: TfmVisualPent;
begin
  { create a new MDI childV window }
  ChildP1 := TfmVisualPent.Create(Application);
  ChildP1.Caption := Name;
end;

procedure TfmMainForm.CreateMDIChildP2(const Name: string);
var
  ChildP2: TfmVisBazPent;
begin
  { create a new MDI childV window }
  ChildP2 := TfmVisBazPent.Create(Application);
  ChildP2.Caption := Name;
end;

procedure TfmMainForm.FileNew1Execute(Sender: TObject);
begin
  CreateMDIChild('NONAME' + IntToStr(MDIChildCount + 1));
end;

procedure TfmMainForm.FileOpen1Execute(Sender: TObject);
begin
  if OpenFileDialog.Execute then
    CreateMDIChild(OpenDialog.FileName);
end;

procedure TfmMainForm.HelpAbout1Execute(Sender: TObject);
begin
  fmAboutBox.ShowModal;
end;

procedure TfmMainForm.FileExit1Execute(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;

procedure TfmMainForm.N10Click(Sender: TObject);
begin
  CreateMDIChildTreugol('Треугольный КЭ '+

```



```
end;
```

```
end.
```

Модуль дослідження CSE-12

```
unit Form12uzlov;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, OpenGL, ExtCtrls, Buttons, dxSkinsCore, dxSkinsDefaultPainters,
cxGroupBox, cxRadioGroup, cxControls, cxContainer, cxEdit, cxCheckBox,
cxLabel, cxTextEdit, cxMaskEdit, cxSpinEdit, cxCheckGroup, Menus,
cxLookAndFeelPainters, StdCtrls, cxButtons, cxGraphics, cxLookAndFeel,
dxSkinBlack, dxSkinBlue, dxSkinBlueprint, dxSkinCaramel, dxSkinCoffee,
dxSkinDarkRoom, dxSkinDarkSide, dxSkinDevExpressDarkStyle,
dxSkinDevExpressStyle, dxSkinFoggy, dxSkinGlassOceans, dxSkinHighContrast,
dxSkiniMaginary, dxSkinLilian, dxSkinLiquidSky, dxSkinLondonLiquidSky,
dxSkinMcSkin, dxSkinMoneyTwins, dxSkinOffice2007Black, dxSkinOffice2007Blue,
dxSkinOffice2007Green, dxSkinOffice2007Pink, dxSkinOffice2007Silver,
dxSkinOffice2010Black, dxSkinOffice2010Blue, dxSkinOffice2010Silver,
dxSkinPumpkin, dxSkinSeven, dxSkinSevenClassic, dxSkinSharp, dxSkinSharpPlus,
dxSkinSilver, dxSkinSpringTime, dxSkinStardust, dxSkinSummer2008,
dxSkinTheAsphaltWorld, dxSkinValentine, dxSkinVS2010, dxSkinWhiteprint,
dxSkinXmas2008Blue;
```

```
type
```

```
Tfm12uzlov = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    SpeedButton1: TSpeedButton;
    SpeedButton2: TSpeedButton;
    SpeedButton3: TSpeedButton;
    SpeedButton4: TSpeedButton;
    SpeedButton5: TSpeedButton;
    SpeedButton6: TSpeedButton;
    cxCheckBox1: TcxCheckBox;
    cxRadioGroup1: TcxRadioGroup;
    cxSpinEdit1: TcxSpinEdit;
    cxLabel1: TcxLabel;
    cxGroupBox1: TcxGroupBox;
    cxCheckBox2: TcxCheckBox;
    cxCheckBox3: TcxCheckBox;
    cxCheckBox4: TcxCheckBox;
    SpeedButton7: TSpeedButton;
    cxCheckBox5: TcxCheckBox;
    cxCheckBox6: TcxCheckBox;
    cxCheckBox7: TcxCheckBox;
    cxCheckBox8: TcxCheckBox;
    cxCheckBox9: TcxCheckBox;
    cxCheckBox10: TcxCheckBox;
    cxCheckBox11: TcxCheckBox;
    cxCheckBox12: TcxCheckBox;
    cxCheckBox13: TcxCheckBox;
    cxRadioGroup2: TcxRadioGroup;
    SpeedButton8: TSpeedButton;
    cxCheckBox14: TcxCheckBox;
    cxCheckBox15: TcxCheckBox;
    cxCheckBox16: TcxCheckBox;
```

```

cxCheckBox17: TcxCheckBox;
SpeedButton9: TSpeedButton;
cxGroupBox2: TcxGroupBox;
SpeedButton10: TSpeedButton;
cxCheckBox18: TcxCheckBox;
cxSpinEdit2: TcxSpinEdit;
cxLabel2: TcxLabel;
cxSpinEdit3: TcxSpinEdit;
cxLabel3: TcxLabel;
cxSpinEdit4: TcxSpinEdit;
cxCheckBox19: TcxCheckBox;
cxLabel4: TcxLabel;
cxSpinEdit5: TcxSpinEdit;
cxLabel5: TcxLabel;
cxCheckBox20: TcxCheckBox;
cxSpinEdit6: TcxSpinEdit;
cxLabel6: TcxLabel;
cxSpinEdit7: TcxSpinEdit;
cxLabel7: TcxLabel;
cxCheckBox21: TcxCheckBox;
cxSpinEdit8: TcxSpinEdit;
cxLabel8: TcxLabel;
cxSpinEdit9: TcxSpinEdit;
cxLabel9: TcxLabel;
cxCheckBox22: TcxCheckBox;
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure FormDestroy(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure FormResize(Sender: TObject);
procedure FormMouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure FormMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
procedure FormMouseUp(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure FormPaint(Sender: TObject);
procedure cxRadioGroup1PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox1PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton3Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton4Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton5Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton6Click(Sender: TObject);
procedure FormShow(Sender: TObject);
procedure cxSpinEdit1PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox2PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox3PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox4PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure SpeedButton7Click(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox5PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox6PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox7PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox8PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox9PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox10PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox11PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox12PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxCheckBox13PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure cxRadioGroup2PropertiesChange(Sender: TObject);
procedure SpeedButton8Click(Sender: TObject);

```

```

    procedure cxCheckBox14PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxCheckBox15PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxCheckBox16PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxCheckBox17PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton9Click(Sender: TObject);
    procedure SpeedButton10Click(Sender: TObject);
    procedure cxCheckBox18PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxCheckBox19PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxCheckBox20PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxCheckBox21PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxSpinEdit2PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxSpinEdit4PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxSpinEdit6PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxSpinEdit8PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxSpinEdit3PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxSpinEdit5PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxSpinEdit7PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxSpinEdit9PropertiesChange(Sender: TObject);
    procedure cxCheckBox22PropertiesChange(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
    DC : HDC;
    hrc: HGLRC;
    Procedure
ZapolnPent(Regum:byte;NomFu:byte;Grad:GLfloat;Tochn:GLfloat;shag:GLfloat;K:doub
le;Ris:Integer);
    Procedure KonElement(Button:byte;Index:byte;Model:byte);
    Procedure OprTochki;
    Function Ni(xi,yi,Ki:double;i,bazis:byte;Ris:Integer):double;
    Procedure Nadpis(reg,ris:byte);
    Procedure ParamOkna(Knopka:byte);
    Procedure OpredParamOkna;
public
    { Public declarations }
end;

const
    GLF_START_LIST = 1000;      {Для вывода символов растрового шрифта}

var
    fml2uzlov: Tfm12uzlov;

implementation

uses BiblGraph;
const { num = 12; }
    numModel:array[1..3] of integer = (8,12,16);
type
    VerPent=array [1..16] of integer;
    MasZnach=array[1..120000,1..3] of double;

var baz:byte;
    TempV:VerPent;
    RezVich:MasZnach;
    wrkX, wrkY : Integer;
    down : Boolean = False;
    quadObj : GLUQuadricObj;
    imas:glint;
    TochkiModel:array[1..3,1..16,1..3] of GLfloat;
{$R *.dfm}

```

```

{===== Определение параметров окна =====}
Procedure Tfm12uzlov.OpredParamOkna;
begin
  if SpeedButton1.Down=True then
    begin
      ParamOkna(1);
    end else
  if SpeedButton2.Down=True then
    begin
      ParamOkna(2);
    end else
  if SpeedButton3.Down=True then
    begin
      ParamOkna(3);
    end else
  if SpeedButton4.Down=True then
    begin
      ParamOkna(4);
    end else
  if SpeedButton5.Down=True then
    begin
      ParamOkna(5);
    end else
  if SpeedButton6.Down=True then
    begin
      ParamOkna(6);
    end else
  if SpeedButton7.Down=True then
    begin
      ParamOkna(7);
    end else
  if SpeedButton8.Down=True then
    begin
      ParamOkna(8);
    end;
end;
{===== Определение точек КЭ=====}
Procedure Tfm12uzlov.OprTochki;
begin
  case cxRadioGroup2.ItemIndex+1 of
    1:begin
      TochkiModel[1,1,1]:=-1; TochkiModel[1,1,2]:=-1; TochkiModel[1,1,3]:=0;
      TochkiModel[1,2,1]:=0; TochkiModel[1,2,2]:=-1; TochkiModel[1,2,3]:=0;
      TochkiModel[1,3,1]:=1; TochkiModel[1,3,2]:=-1; TochkiModel[1,3,3]:=0;
      TochkiModel[1,4,1]:=1; TochkiModel[1,4,2]:=0; TochkiModel[1,4,3]:=0;
      TochkiModel[1,5,1]:=1; TochkiModel[1,5,2]:=1; TochkiModel[1,5,3]:=0;
      TochkiModel[1,6,1]:=0; TochkiModel[1,6,2]:=1; TochkiModel[1,6,3]:=0;
      TochkiModel[1,7,1]:=-1; TochkiModel[1,7,2]:=1; TochkiModel[1,7,3]:=0;
      TochkiModel[1,8,1]:=-1; TochkiModel[1,8,2]:=0; TochkiModel[1,8,3]:=0;
    end;
    2:begin
      TochkiModel[2,1,1]:=-1; TochkiModel[2,1,2]:=-1; TochkiModel[2,1,3]:=0;
      TochkiModel[2,2,1]:=-1/3; TochkiModel[2,2,2]:=-1;
      TochkiModel[2,2,3]:=0;
      TochkiModel[2,3,1]:=1/3; TochkiModel[2,3,2]:=-1;
      TochkiModel[2,3,3]:=0;
      TochkiModel[2,4,1]:=1; TochkiModel[2,4,2]:=-1; TochkiModel[2,4,3]:=0;
      TochkiModel[2,5,1]:=1; TochkiModel[2,5,2]:=-1/3;
      TochkiModel[2,5,3]:=0;
      TochkiModel[2,6,1]:=1; TochkiModel[2,6,2]:=1/3; TochkiModel[2,6,3]:=0;
      TochkiModel[2,7,1]:=1; TochkiModel[2,7,2]:=1; TochkiModel[2,7,3]:=0;
    end;
  end;
end;

```

```

        TochkiModel[2,8,1]:=1/3; TochkiModel[2,8,2]:=1; TochkiModel[2,8,3]:=0;
        TochkiModel[2,9,1]:=-1/3; TochkiModel[2,9,2]:=1;
TochkiModel[2,9,3]:=0;
        TochkiModel[2,10,1]:=-1; TochkiModel[2,10,2]:=1;
TochkiModel[2,10,3]:=0;
        TochkiModel[2,11,1]:=-1; TochkiModel[2,11,2]:=1/3;
TochkiModel[2,11,3]:=0;
        TochkiModel[2,12,1]:=-1; TochkiModel[2,12,2]:=-1/3;
TochkiModel[2,12,3]:=0;

    end;
3:begin
    TochkiModel[3,1,1]:=-1; TochkiModel[3,1,2]:=-1; TochkiModel[3,1,3]:=0;
    TochkiModel[3,2,1]:=-1/2; TochkiModel[3,2,2]:=-1;
TochkiModel[3,2,3]:=0;
    TochkiModel[3,3,1]:=0; TochkiModel[3,3,2]:=-1; TochkiModel[3,3,3]:=0;
    TochkiModel[3,4,1]:=1/2; TochkiModel[3,4,2]:=-1;
TochkiModel[3,4,3]:=0;
    TochkiModel[3,5,1]:=1; TochkiModel[3,5,2]:=-1; TochkiModel[3,5,3]:=0;
    TochkiModel[3,6,1]:=1; TochkiModel[3,6,2]:=-1/2;
TochkiModel[3,6,3]:=0;
    TochkiModel[3,7,1]:=1; TochkiModel[3,7,2]:=0; TochkiModel[3,7,3]:=0;
    TochkiModel[3,8,1]:=1; TochkiModel[3,8,2]:=1/2; TochkiModel[3,8,3]:=0;
    TochkiModel[3,9,1]:=1; TochkiModel[3,9,2]:=1; TochkiModel[3,9,3]:=0;
    TochkiModel[3,10,1]:=1/2; TochkiModel[3,10,2]:=1;
TochkiModel[3,10,3]:=0;
    TochkiModel[3,11,1]:=0; TochkiModel[3,11,2]:=1;
TochkiModel[3,11,3]:=0;
    TochkiModel[3,12,1]:=-1/2; TochkiModel[3,12,2]:=1;
TochkiModel[3,12,3]:=0;
    TochkiModel[3,13,1]:=-1; TochkiModel[3,13,2]:=1;
TochkiModel[3,13,3]:=0;
    TochkiModel[3,14,1]:=-1; TochkiModel[3,14,2]:=1/2;
TochkiModel[3,14,3]:=0;
    TochkiModel[3,15,1]:=-1; TochkiModel[3,15,2]:=0;
TochkiModel[3,15,3]:=0;
    TochkiModel[3,16,1]:=-1; TochkiModel[3,16,2]:=-1/2;
TochkiModel[3,16,3]:=0;

    end;
end;
===== Вывод текста =====}
procedure OutText (Litera : PChar);
begin
    glListBase(GLF_START_LIST);
    glCallLists(Length (Litera), GL_UNSIGNED_BYTE, Litera);
end;
// Оси координат =====
procedure Axes;
var
    Color : Array [1..4] of GLfloat;
begin
    glPushMatrix;
    glGetFloatv (GL_CURRENT_COLOR, @Color);

    glScalef (0.55, 0.55, 0.55);

    glColor3f (0, 1, 0);

    glLineWidth(1.0);

```

```

glBegin (GL_LINES);
    glVertex3f (-3, 0, 0);
    glVertex3f (3, 0, 0);
    glVertex3f (0, -3, 0);
    glVertex3f (0, 3, 0);
    glVertex3f (0, 0, -3);
    glVertex3f (0, 0, 3);
glEnd;

// буква X
glBegin (GL_LINES);
    glVertex3f (3.1, -0.2, 0.5);
    glVertex3f (3.1, 0.2, 0.1);
    glVertex3f (3.1, -0.2, 0.1);
    glVertex3f (3.1, 0.2, 0.5);
glEnd;

// буква Y
glBegin (GL_LINES);
    glVertex3f (0.0, 3.1, 0.0);
    glVertex3f (0.0, 3.1, -0.1);
    glVertex3f (0.0, 3.1, 0.0);
    glVertex3f (0.1, 3.1, 0.1);
    glVertex3f (0.0, 3.1, 0.0);
    glVertex3f (-0.1, 3.1, 0.1);
glEnd;

// буква Z
glBegin (GL_LINES);
    glVertex3f (0.1, -0.1, 3.1);
    glVertex3f (-0.1, -0.1, 3.1);
    glVertex3f (0.1, 0.1, 3.1);
    glVertex3f (-0.1, 0.1, 3.1);
    glVertex3f (-0.1, -0.1, 3.1);
    glVertex3f (0.1, 0.1, 3.1);
glEnd;

// Восстанавливаем значение текущего цвета
glColor3f (Color [1], Color [2], Color [3]);

glPopMatrix;
end;

{=====}
Procedure Tfm12uzlov.ParamOkna(Knopka:byte);
begin
    Case Knopka of
        1,2,3:begin
            if SpeedButton10.Down=True then
                begin
                    glViewport(0, 0, 500, 500);    // Сброс текущей области вывода
                    glLoadIdentity;
                    glOrtho(-1.5, 1.5, -1.5, 1.5,0,15); // видовые параметры
                end else
                begin
                    glViewport(0, 0, 850, 850);    // Сброс текущей области вывода
                    glLoadIdentity;                //Сброс матрицы проекций
                    glOrtho (-4.5, 4.5, -4.5, 4.5, 0, 15.0); // видовые параметры
                    glTranslatef (-2.5, -2.5, 0);    // перенос системы координат
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

        end;
4,5,6,7:begin
    if SpeedButton10.Down=True then
    begin
        glViewport(0, 0, 500, 500);    // Сброс текущей области вывода
        glLoadIdentity;
        glOrtho (-1.8, 1.8, -1.8, 1.8, 0, 15.0); // видовые параметры
        glTranslatef (0.0, 0.0, -2.0);    // перенос системы координат по
оси Z
        glRotatef (-60, 1.0, 0.0, 0.0); // поворот системы координат по
оси X
        glRotatef (30, 0.0, 0.0, 1.0); // поворот системы координат по
оси Z
    end else
    begin
        glViewport(0, 0, 850, 850);    // Сброс текущей области вывода
        glLoadIdentity;
        glOrtho (-4.5, 4.5, -4.5, 4.5, 0, 15.0); // видовые параметры
        glTranslatef (-1.0, -2.0, -3.0);    // перенос системы координат по
оси Z
        glRotatef (-60, 1.0, 0.0, 0.0); // поворот системы координат по
оси X
        glRotatef (30, 0.0, 0.0, 1.0); // поворот системы координат по
оси Z
    end;
end;
8:begin
    if SpeedButton10.Down=True then
    begin
        glViewport(30, 30, 880, 880);    // Сброс текущей области вывода
        glLoadIdentity;                //Сброс матрицы проекций
        glOrtho (-5, 5, -5, 5, -15, 15.0); // видовые параметры
        glTranslatef (-2.5, -1.5, -4.0);    // перенос системы координат по
оси Z
        glRotatef (-60, 1.0, 0.0, 0.0); // поворот системы координат по
оси X
        glRotatef (30, 0.0, 0.0, 1.0); // поворот системы координат по
оси Z
    end else
    begin
        end;
    end;
end;

end;
{=====
Формат пикселя}
procedure SetDCPixelFormat (hdc : HDC);
var
    pfd : TPixelFormatDescriptor;
    nPixelFormat : Integer;
begin
    FillChar (pfd, SizeOf (pfd), 0);
    pfd.dwFlags := PFD_DRAW_TO_WINDOW or PFD_SUPPORT_OPENGL or PFD_DOUBLEBUFFER;
    nPixelFormat := ChoosePixelFormat (hdc, @pfd);
    SetPixelFormat (hdc, nPixelFormat, @pfd);
end;
{=====}

procedure Tfm12uzlov.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);

```



```

begin
    Action := caFree;
end;

procedure Tfml2uzlov.FormDestroy(Sender: TObject);
begin
    wglMakeCurrent(0, 0);
    wglDeleteContext(hrc);
    ReleaseDC (Handle, DC);
    DeleteDC (DC);
end;

procedure Tfml2uzlov.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    DC := GetDC (Handle);
    SetDCPixelFormat(DC);
    hrc := wglCreateContext(DC);
    wglMakeCurrent(DC, hrc);
    wglUseFontBitmaps (DC, 0, 255, GLF_START_LIST);
    {-----}
    quadObj := gluNewQuadric;
    gluQuadricDrawStyle (quadObj, GLU_FILL);
    {-----}
    glEnable (GL_DEPTH_TEST);

end;

procedure Tfml2uzlov.FormResize(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfml2uzlov.FormMouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
    if (SpeedButton4.Down=True) or (SpeedButton5.Down=True) or
    (SpeedButton6.Down=True) or (SpeedButton7.Down=True) or
    (SpeedButton8.Down=True) then
        begin
            Down := True;
            wrkX := X;
            wrkY := Y;
        end;
end;

procedure Tfml2uzlov.FormMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    if (SpeedButton4.Down=True) or (SpeedButton5.Down=True) or
    (SpeedButton6.Down=True) or (SpeedButton7.Down=True) or
    (SpeedButton8.Down=True) then
        begin
            If Down then
                begin
                    glRotatef (X - wrkX, 0.0, 0.0, 1.0);
                    glRotatef (Y - wrkY, 1.0, 0.0, 0.0);
                    InvalidateRect(Handle, nil, False);
                    wrkX := X;
                    wrkY := Y;
                end;
        end;
end;

```

```

end;

procedure Tfml2uzlov.FormMouseUp(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
  if (SpeedButton4.Down=True) or (SpeedButton5.Down=True) or
  (SpeedButton6.Down=True) or (SpeedButton7.Down=True) or
  (SpeedButton8.Down=True) then
    begin
      Down := False;
    end;
end;
{-----}
{=====}
Function Tfml2uzlov.Ni(xi,yi,Ki:double;i,basis:byte;Ris:Integer):double;
begin
  case cxRadioGroup2.ItemIndex+1 of
    1:begin
      case Ris of
        1:begin
          case i of

1,3,5,7:Ni:=1/4*(1+TochkiModel[1,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[1,i,2]*yi)*((-
1)+TochkiModel[1,i,1]*xi+TochkiModel[1,i,2]*yi+Ki*(1-TochkiModel[1,i,1]*xi)*(1-
TochkiModel[1,i,2]*yi));
          2,6:Ni:=1/2*(1-xi)*(1+TochkiModel[1,i,2]*yi)*((1+xi)-
1/2*Ki*(1+xi)*(1-TochkiModel[1,i,2]*yi));
          4,8:Ni:=1/2*(1-yi)*(1+TochkiModel[1,i,1]*xi)*((1+yi)-
1/2*Ki*(1+yi)*(1-TochkiModel[1,i,1]*xi));
          else Ni:=0;
          end;
        end;
      end;
    2:begin
      case i of
        1,3,5,7:Ni:=((-1)+TochkiModel[1,i,1]*xi+TochkiModel[1,i,2]*yi);
        2,6:Ni:=((1+xi));
        4,8:Ni:=((1+yi));
        else Ni:=0;
        end;
      end;
    3:begin
      case i of
        1,3,5,7:Ni:=(Ki*(1-TochkiModel[1,i,1]*xi)*(1-
TochkiModel[1,i,2]*yi));
        2,6:Ni:=(1/2*Ki*(1+xi)*(1-TochkiModel[1,i,2]*yi));
        4,8:Ni:=(1/2*Ki*(1+yi)*(1-TochkiModel[1,i,1]*xi));
        else Ni:=0;
        end;
      end;
    4:begin
      case i of
        1,3,5,7:Ni:=((-
1)+TochkiModel[1,i,1]*xi+TochkiModel[1,i,2]*yi+Ki*(1-TochkiModel[1,i,1]*xi)*(1-
TochkiModel[1,i,2]*yi));
        2,6:Ni:=((1+xi)-1/2*Ki*(1+xi)*(1-TochkiModel[1,i,2]*yi));
        4,8:Ni:=((1+yi)-1/2*Ki*(1+yi)*(1-TochkiModel[1,i,1]*xi));
        else Ni:=0;
        end;
      end;
    5:begin
      case i of

```

```

1,3,5,7:Ni:=1/4*(1+TochkiModel[1,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[1,i,2]*yi);
      2,6:Ni:=1/2*(1-xi)*(1+TochkiModel[1,i,2]*yi);
      4,8:Ni:=1/2*(1-yi)*(1+TochkiModel[1,i,1]*xi);
      else Ni:=0;
      end;
    end;
  else Ni:=0;
  end;
end;
2:begin
  case Ris of
    1:begin
      case i of
        1,4,7,10:Ni:=1/4*(1+TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[2,i,2]*yi)*(1/8*(9*sqr
r(xi)+9*sqr(yi)-10)+Ki*9/4*(1-TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1-
TochkiModel[2,i,2]*yi));
        2,3,8,9:Ni:=3/8*(1+3*TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[2,i,2]*yi)*(3/4*(1-
3*TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1+9*TochkiModel[2,i,1]*xi)-Ki*3/4*(1-
3*TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1-TochkiModel[2,i,2]*yi));
        5,6,11,12:Ni:=3/8*(1+3*TochkiModel[2,i,2]*yi)*(1+TochkiModel[2,i,1]*xi)*(3/4*(1
-3*TochkiModel[2,i,2]*yi)*(1+9*TochkiModel[2,i,2]*yi)-Ki*3/4*(1-
3*TochkiModel[2,i,2]*yi)*(1-TochkiModel[2,i,1]*xi));
        else Ni:=0;
        end;
      end;
    end;
  2:begin
    case i of
      1,4,7,10:Ni:=(1/8*(9*sqr(xi)+9*sqr(yi)-10));
      2,3,8,9:Ni:=(3/4*(1-
3*TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1+9*TochkiModel[2,i,1]*xi));
      5,6,11,12:Ni:=(3/4*(1-
3*TochkiModel[2,i,2]*yi)*(1+9*TochkiModel[2,i,2]*yi));
      else Ni:=0;
      end;
    end;
  end;
  3:begin
    case i of
      1,4,7,10:Ni:=(Ki*9/4*(1-TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1-
TochkiModel[2,i,2]*yi));
      2,3,8,9:Ni:=(Ki*3/4*(1-3*TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1-
TochkiModel[2,i,2]*yi));
      5,6,11,12:Ni:=(Ki*3/4*(1-3*TochkiModel[2,i,2]*yi)*(1-
TochkiModel[2,i,1]*xi));
      else Ni:=0;
      end;
    end;
  end;
  4:begin
    case i of
      1,4,7,10:Ni:=(1/8*(9*sqr(xi)+9*sqr(yi)-10)+Ki*9/4*(1-
TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1-TochkiModel[2,i,2]*yi));
      2,3,8,9:Ni:=(3/4*(1-
3*TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1+9*TochkiModel[2,i,1]*xi)-Ki*3/4*(1-
3*TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1-TochkiModel[2,i,2]*yi));
      5,6,11,12:Ni:=(3/4*(1-
3*TochkiModel[2,i,2]*yi)*(1+9*TochkiModel[2,i,2]*yi)-Ki*3/4*(1-
3*TochkiModel[2,i,2]*yi)*(1-TochkiModel[2,i,1]*xi));
      else Ni:=0;
    end;
  end;
end;

```

```

        end;
        end;
5:begin
    case i of

1,4,7,10:Ni:=1/4*(1+TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[2,i,2]*yi);

2,3,8,9:Ni:=3/8*(1+3*TochkiModel[2,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[2,i,2]*yi);

5,6,11,12:Ni:=3/8*(1+3*TochkiModel[2,i,2]*yi)*(1+TochkiModel[2,i,1]*xi);
        else Ni:=0;
        end;
    end;

    else Ni:=0;
    end;
end;
3:begin
    case Ris of
1:begin
        case i of

1,5,9,13:Ni:=1/4*(1+TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[3,i,2]*yi)*(-
1+TochkiModel[3,i,1]*xi+TochkiModel[3,i,2]*yi)*(1/3*(4*sqr(xi)+4*sqr(yi)-
5)+Ki*4/3*(1-TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1-TochkiModel[3,i,2]*yi));

2,4,10,12:Ni:=1/3*(1+2*TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[3,i,2]*yi)*(1+4*To
chkiModel[3,i,1]*xi)*((1-2*TochkiModel[3,i,1]*xi)*(-
1+4*TochkiModel[3,i,1]*xi+TochkiModel[3,i,2]*yi)+Ki*1/2*(1-
2*TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1-TochkiModel[3,i,2]*yi));

6,8,14,16:Ni:=1/3*(1+2*TochkiModel[3,i,2]*yi)*(1+TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1+4*To
chkiModel[3,i,2]*yi)*((1-2*TochkiModel[3,i,2]*yi)*(-
1+4*TochkiModel[3,i,2]*yi+TochkiModel[3,i,1]*xi)+Ki*1/2*(1-
2*TochkiModel[3,i,2]*yi)*(1-TochkiModel[3,i,1]*xi));
            3,11:Ni:=1/2*(1-xi)*(1+TochkiModel[3,i,2]*yi)*((1+xi)*(1-
4*sqr(xi))+0*(1+xi)*(1-TochkiModel[3,i,2]*yi));
            7,15:Ni:=1/2*(1-yi)*(1+TochkiModel[3,i,1]*xi)*((1+yi)*(1-
4*sqr(yi))+0*(1+yi)*(1-TochkiModel[3,i,1]*xi));
        else Ni:=0;
        end;
    end;
end;
2:begin
    case i of
        1,5,9,13:Ni:=(1/3*(4*sqr(xi)+4*sqr(yi)-5));
        2,4,10,12:Ni:=(1-2*TochkiModel[3,i,1]*xi)*(-
1+4*TochkiModel[3,i,1]*xi+TochkiModel[3,i,2]*yi));
        6,8,14,16:Ni:=(1-2*TochkiModel[3,i,2]*yi)*(-
1+4*TochkiModel[3,i,2]*yi+TochkiModel[3,i,1]*xi));
        3,11:Ni:=(1+xi)*(1-4*sqr(xi));
        7,15:Ni:=(1+yi)*(1-4*sqr(yi));
    else Ni:=0;
    end;
end;
3:begin
    case i of
        1,5,9,13:Ni:=(Ki*4/3*(1-TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1-
TochkiModel[3,i,2]*yi));
        2,4,10,12:Ni:=(Ki*1/2*(1-2*TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1-
TochkiModel[3,i,2]*yi));
        6,8,14,16:Ni:=(Ki*1/2*(1-2*TochkiModel[3,i,2]*yi)*(1-

```

```

TochkiModel[3,i,1]*xi));
    3,11:Ni:=(0*(1+xi)*(1-TochkiModel[3,i,2]*yi));
    7,15:Ni:=(0*(1+yi)*(1-TochkiModel[3,i,1]*xi));
    else Ni:=0;
    end;
  end;
4:begin
  case i of
    1,5,9,13:Ni:=(1/3*(4*sqr(xi)+4*sqr(yi)-5)+Ki*4/3*(1-
TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1-TochkiModel[3,i,2]*yi));
    2,4,10,12:Ni:=(1-2*TochkiModel[3,i,1]*xi)*(-
1+4*TochkiModel[3,i,1]*xi+TochkiModel[3,i,2]*yi)+Ki*1/2*(1-
2*TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1-TochkiModel[3,i,2]*yi));
    6,8,14,16:Ni:=(1-2*TochkiModel[3,i,2]*yi)*(-
1+4*TochkiModel[3,i,2]*yi+TochkiModel[3,i,1]*xi)+Ki*1/2*(1-
2*TochkiModel[3,i,2]*yi)*(1-TochkiModel[3,i,1]*xi));
    3,11:Ni:=(1+xi)*(1-4*sqr(xi))+0*(1+xi)*(1-
TochkiModel[3,i,2]*yi));
    7,15:Ni:=(1+yi)*(1-4*sqr(yi))+0*(1+yi)*(1-
TochkiModel[3,i,1]*xi));
    else Ni:=0;
    end;
  end;
5:begin
  case i of

1,5,9,13:Ni:=1/4*(1+TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[3,i,2]*yi)*(-
1+TochkiModel[3,i,1]*xi+TochkiModel[3,i,2]*yi);

2,4,10,12:Ni:=1/3*(1+2*TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1+TochkiModel[3,i,2]*yi)*(1+4*To
chkiModel[3,i,1]*xi);

6,8,14,16:Ni:=1/3*(1+2*TochkiModel[3,i,2]*yi)*(1+TochkiModel[3,i,1]*xi)*(1+4*To
chkiModel[3,i,2]*yi);
    3,11:Ni:=1/2*(1-xi)*(1+TochkiModel[3,i,2]*yi);
    7,15:Ni:=1/2*(1-yi)*(1+TochkiModel[3,i,1]*xi);
    else Ni:=0;
    end;
  end;

  else Ni:=0;
  end;
end

else
  Ni:=0;
end;
end;

{=====}
(*
Function Temp(XX,YY,K:double;T:VerPent):double;
var ii:byte;
    Sum:double;
begin
  Sum:=0;
  for ii:=1 to num do
    begin
      Sum:=Sum+T[ii]*Ni(XX,YY,K,ii,baz);
    end;
  Temp:=Sum;
end;

```

```

{-----}
Function MaxT(kolv:byte):Glfloat;
var sch:byte;
    MaxEl:Glfloat;
begin
    MaxEl:=TempV[1];
    For sch:=2 to kolv do
    begin
        If TempV[sch]>MaxEl then MaxEl:=TempV[sch];
    end;
    MaxT:=MaxEl;
end;
{-----}
Function MinT(kolv:byte):Glfloat;
var sch:byte;
    MinEl:Glfloat;
begin
    MinEl:=TempV[1];
    For sch:=2 to kolv do
    begin
        If TempV[sch]<MinEl then MinEl:=TempV[sch];
    end;
    MinT:=MinEl;
end;
*)
{=====}
{=====}
Procedure Setka(Reg,zap:byte);
{*****      Reg - режим базисных функций или температурного поля      ***}
{*****      Zap - вариант заливки                                      ***}
var ij,i,z,zz:Integer; Perv:double;

    Procedure Sort(Poryadok:byte); {Алгоритм сортировки простыми вставками}
    Var k,j,kk:Integer;             {Poryadok =1 по X затем Y}
        x,y,z,sr,sr2:double;       {Poryadok =2 по Y затем X}
    Begin
        For k:=2 To imas Do        {Сортировка по первому аргументу X}
        Begin
            x:=RezVich[k,1]; y:=RezVich[k,2]; z:=RezVich[k,3]; j:=k-1;
            if Poryadok=1 then sr:=x else sr:=y;
            While (j>0) And (sr<RezVich[j,Poryadok]) Do
            Begin
                RezVich[j+1,1]:=RezVich[j,1];
                RezVich[j+1,2]:=RezVich[j,2];
                RezVich[j+1,3]:=RezVich[j,3];
                Dec(j);
            End;
            RezVich[j+1,1]:=x;
            RezVich[j+1,2]:=y;
            RezVich[j+1,3]:=z;
        End;
    {-----}
    For k:=2 To imas Do            {Сортировка в разрезе X по Y}
    Begin
        x:=RezVich[k,1]; y:=RezVich[k,2]; z:=RezVich[k,3]; j:=k-1;
        if Poryadok=1 then kk:=2 else kk:=1;
        if Poryadok=1 then sr:=x else sr:=y;
        if Poryadok=1 then sr2:=y else sr2:=x;

        While (j>0) And (sr=RezVich[j,Poryadok]) and (sr2<RezVich[j,kk]) Do
        Begin

```

```

        RezVich[j+1,1]:=RezVich[j,1];
        RezVich[j+1,2]:=RezVich[j,2];
        RezVich[j+1,3]:=RezVich[j,3];
        Dec(j);
    End;
    RezVich[j+1,1]:=x;
    RezVich[j+1,2]:=y;
    RezVich[j+1,3]:=z;
    End;
    {-----}
End;
begin
    {Рисуем сетку покрытия}
    for zz:=1 to 2 do
    begin
        Sort(zz);
        Perv:=RezVich[1,zz];
        glBegin (GL_LINE_STRIP);
        For i:=1 to imas do
        begin
            if (reg=4) or (reg=6) or (reg=7) or (reg=8) then
            begin
                {if RezVich[i,3]>=0 then glColor3f(0.0, 0.0, 1.0) else
                glColor3f(1.0, 1.0, 0.0);}
                if RezVich[i,3]>=0 then glColor3f(1.0, 1.0, 0.0) else
                glColor3f(0.0, 0.0, 1.0);
                end
            else
            begin
                ij:=1;
                While ij<=KolVsexCv do
                begin
                    if (RezVich[i,3]*100>=MasCveta[ij,1]) and
                    (RezVich[i,3]*100<=MasCveta[ij+1,1]) then
                    begin
                        glColor3f(MasCveta[ij,3], MasCveta[ij,4], MasCveta[ij,5]);
                        break;
                    end;
                    inc(ij);
                end;
            end;
            if Perv=RezVich[i,zz] then
                glVertex3f (RezVich[i,1], RezVich[i,2],RezVich[i,3]) else
            begin
                glEnd;
                Perv:=RezVich[i,zz];
                glBegin (GL_LINE_STRIP);
                glVertex3f (RezVich[i,1], RezVich[i,2],RezVich[i,3]);
            end;
        end;
        glEnd;
    end;
end;
{=====}
{-----}
{=====}
{* Regum - 1 - Заполнение отрицательных зон, NomFu - номер БФ *}
{* Regum - 2 - Изолинии , Grad - температура очередного значения *}
{* Regum - 3 - Визуализация базисных функций *}
{* Tochn - установка ширины точности при построении изолинии *}

```

```

{=====}
Procedure
Tfml2uzlov.ZapolnPent (Regum:byte;NomFu:byte;Grad:glfloat;Tochn:glFloat;shag:glf
loat;K:double;Ris:Integer);
var x,y,z,RezTemp,RezNi:glfloat;                                {Заполнение Области}

Procedure VibRegum;
var cikl:byte;
begin
  Case Regum of
    2:Begin
      {if Ni(x,y,K,NomFu,baz,Ris)>0 then glColor3f (0.0, 0.0, 1.0) else
      glColor3f (1.0, 1.0, 0.0);}
      if Ni(x,y,K,NomFu,baz,Ris)>=0 then glColor3f (1.0, 1.0, 0.0) else
      glColor3f (0.0, 0.0, 1.0);
      glVertex2f (x, y);
    end;
    3:begin
      { RezTemp:=Temp(x,y,z,TempV);
      if (RezTemp>=Grad-Tochn) and (RezTemp<=Grad+Tochn) then
      glVertex3f (x,y,z); }
    end;
    4:Begin
      RezNi:=Ni(x,y,K,NomFu,baz,Ris);
      imas:=imas+1; RezVich[imas,1]:=x; RezVich[imas,2]:=y;
RezVich[imas,3]:=RezNi;
    end;
    5:Begin
      (* RezNi:=Temp(x,y,TempV)/MaxT(num);
      { if RezNi>0 then glColor3f (0.0, 0.0, 1.0) else glColor3f (1.0, 1.0,
0.0);}
      imas:=imas+1; RezVich[imas,1]:=x; RezVich[imas,2]:=y;
RezVich[imas,3]:=RezNi; *)
    end;
    6:Begin
      RezNi:=0;
      for cikl:=1 to numModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1] do
RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,cikl,baz,Ris);
      imas:=imas+1; RezVich[imas,1]:=x; RezVich[imas,2]:=y;
RezVich[imas,3]:=RezNi;
    end;
    7:Begin
      RezNi:=0;
      if cxCheckBox2.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,1,baz,Ris);
      if cxCheckBox3.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,2,baz,Ris);
      if cxCheckBox4.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,3,baz,Ris);
      if cxCheckBox5.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,4,baz,Ris);
      if cxCheckBox6.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,5,baz,Ris);
      if cxCheckBox7.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,6,baz,Ris);
      if cxCheckBox8.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,7,baz,Ris);
      if cxCheckBox9.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,8,baz,Ris);
      if cxCheckBox10.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,9,baz,Ris);
      if cxCheckBox11.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,10,baz,Ris);
      if cxCheckBox12.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,11,baz,Ris);
      if cxCheckBox13.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,12,baz,Ris);
      if cxCheckBox14.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,13,baz,Ris);
      if cxCheckBox15.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,14,baz,Ris);
      if cxCheckBox16.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,15,baz,Ris);
      if cxCheckBox17.Checked then RezNi:=RezNi+Ni(x,y,K,16,baz,Ris);

      imas:=imas+1; RezVich[imas,1]:=x; RezVich[imas,2]:=y;

```



```

RezVich[imas,3]:=RezNi;
    end;
    8:begin
        RezNi:=Ni(x,y,K,NomFu,baz,Ris);
        imas:=imas+1; RezVich[imas,1]:=x; RezVich[imas,2]:=y;
RezVich[imas,3]:=RezNi;
    end;
end;
begin
    glPointSize(1);
    imas:=0;
    {-----}
    glBegin (GL_POINTS);
        X:=-1;
        while X<=1 do      {1-2-3-4}
            begin
                Y:=-1;
                while Y<=1 do
                    begin
                        VibRegum;
                        Y:=Y+shag;
                    end;
                X:=X+shag;
            end;
        glend;
    end;

    {=====}
    Procedure Tfm12uzlov.KonElement(Button:byte;Index:byte;Model:byte);
    var i:glint;
    begin
        glColor3f (1.0, 0.0, 0.5); // текущий цвет примитивов
        case Model of
            1:begin
                for i:=1 to numModel[Model] do
                    begin
                        glPushMatrix;
                        glTranslatef (TochkiModel[Model,i,1], TochkiModel[Model,i,2], 0);
                        gluSphere (quadObj, 0.03, 10, 10);
                        glPopMatrix;
                    end;
                if SpeedButton10.Down=True then
                    begin
                        glColor3f (1, 1, 0);
                        glRasterPos3f (-1.2,-1.2,0);
                        OutText ('1');
                        glRasterPos3f (0,-1.2,0);
                        OutText ('2');
                        glRasterPos3f (1.2,-1.2,0);
                        OutText ('3');
                        glRasterPos3f (1.2,0,0);
                        OutText ('4');
                        glRasterPos3f (1.2,1.2,0);
                        OutText ('5');
                        glRasterPos3f (0,1.2,0);
                        OutText ('6');
                        glRasterPos3f (-1.2,1.2,0);
                        OutText ('7');
                        glRasterPos3f (-1.2,0,0);
                        OutText ('8');
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

end else
if cxCheckBox22.Checked then
begin
glColor3f (1, 1, 0);
glRasterPos3f (-0.95,-1.2,0);
OutText ('1');
glRasterPos3f (0,-1.2,0);
OutText ('2');
glRasterPos3f (0.85,-1.2,0);
OutText ('3');
glRasterPos3f (1.2,0,0);
OutText ('4');
glRasterPos3f (0.85,1.2,0);
OutText ('5');
glRasterPos3f (0,1.2,0);
OutText ('6');
glRasterPos3f (-0.95,1.2,0);
OutText ('7');
glRasterPos3f (-1.2,0,0);
OutText ('8');
end;

end;
2:begin
for i:=1 to numModel[Model] do
begin
glPushMatrix;
glTranslatef (TochkiModel[Model,i,1], TochkiModel[Model,i,2], 0);
gluSphere (quadObj, 0.03, 10, 10);
glPopMatrix;
end;

if SpeedButton10.Down=True then
begin
glColor3f (1, 1, 0);
glRasterPos3f (-1.3,-1.2,0);
OutText ('1');
glRasterPos3f (-1/3,-1.2,0);
OutText ('2');
glRasterPos3f (1/3,-1.2,0);
OutText ('3');
glRasterPos3f (1.1,-1.2,0);
OutText ('4');
glRasterPos3f (1.1,-1/3,0);
OutText ('5');
glRasterPos3f (1.1,1/3,0);
OutText ('6');
glRasterPos3f (1.1,1.2,0);
OutText ('7');
glRasterPos3f (1/3,1.2,0);
OutText ('8');
glRasterPos3f (-1/3,1.2,0);
OutText ('9');
glRasterPos3f (-1.3,1.2,0);
OutText ('10');
glRasterPos3f (-1.3,1/3,0);
OutText ('11');
glRasterPos3f (-1.3,-1/3,0);
OutText ('12');
end else
if cxCheckBox22.Checked then

```

```

begin
  glColor3f (1, 1, 0);
  glRasterPos3f (-0.95,-1.2,0);
  OutText ('1');
  glRasterPos3f (-1/3,-1.2,0);
  OutText ('2');
  glRasterPos3f (1/3,-1.2,0);
  OutText ('3');
  glRasterPos3f (0.85,-1.2,0);
  OutText ('4');
  glRasterPos3f (1.2,-1/3,0);
  OutText ('5');
  glRasterPos3f (1.2,1/3,0);
  OutText ('6');
  glRasterPos3f (0.85,1.2,0);
  OutText ('7');
  glRasterPos3f (1/3,1.2,0);
  OutText ('8');
  glRasterPos3f (-1/3,1.2,0);
  OutText ('9');
  glRasterPos3f (-0.95,1.2,0);
  OutText ('10');
  glRasterPos3f (-1.2,1/3,0);
  OutText ('11');
  glRasterPos3f (-1.2,-1/3,0);
  OutText ('12');
end;

end;
3:begin
  for i:=1 to numModel[Model] do
    begin
      glPushMatrix;
      glTranslatef (TochkiModel[Model,i,1], TochkiModel[Model,i,2], 0);
      gluSphere (quadObj, 0.03, 10, 10);
      glPopMatrix;
    end;

    if SpeedButton10.Down=True then
      begin
        glColor3f (1, 1, 0);
        glRasterPos3f (-1.2,-1.2,0);
        OutText ('1');
        glRasterPos3f (-1/2,-1.2,0);
        OutText ('2');
        glRasterPos3f (0,-1.2,0);
        OutText ('3');
        glRasterPos3f (1/2,-1.2,0);
        OutText ('4');
        glRasterPos3f (1.2,-1.2,0);
        OutText ('5');
        glRasterPos3f (1.2,-1/2,0);
        OutText ('6');
        glRasterPos3f (1.2,0,0);
        OutText ('7');
        glRasterPos3f (1.2,1/2,0);
        OutText ('8');
        glRasterPos3f (1.2,1.2,0);
        OutText ('9');
        glRasterPos3f (1/2,1.2,0);
        OutText ('10');
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

    glRasterPos3f (0,1.2,0);
    OutText ('11');
    glRasterPos3f (-1/2,1.2,0);
    OutText ('12');
    glRasterPos3f (-1.2,1.2,0);
    OutText ('13');
    glRasterPos3f (-1.2,1/2,0);
    OutText ('14');
    glRasterPos3f (-1.2,0,0);
    OutText ('15');
    glRasterPos3f (-1.2,-1/2,0);
    OutText ('16');
end else
if cxCheckBox22.Checked then
begin
    glColor3f (1, 1, 0);
    glRasterPos3f (-0.95,-1.2,0);
    OutText ('1');
    glRasterPos3f (-1/2,-1.2,0);
    OutText ('2');
    glRasterPos3f (0,-1.2,0);
    OutText ('3');
    glRasterPos3f (1/2,-1.2,0);
    OutText ('4');
    glRasterPos3f (0.85,-1.2,0);
    OutText ('5');
    glRasterPos3f (1.2,-1/2,0);
    OutText ('6');
    glRasterPos3f (1.2,0,0);
    OutText ('7');
    glRasterPos3f (1.2,1/2,0);
    OutText ('8');
    glRasterPos3f (0.85,1.2,0);
    OutText ('9');
    glRasterPos3f (1/2,1.2,0);
    OutText ('10');
    glRasterPos3f (0,1.2,0);
    OutText ('11');
    glRasterPos3f (-1/2,1.2,0);
    OutText ('12');
    glRasterPos3f (-0.95,1.2,0);
    OutText ('13');
    glRasterPos3f (-1.2,1/2,0);
    OutText ('14');
    glRasterPos3f (-1.2,0,0);
    OutText ('15');
    glRasterPos3f (-1.2,-1/2,0);
    OutText ('16');
end;
end;
end;
{===== Формирование линий каркаса =====}
glLineWidth(3.0);
glColor3f (1.0, 0.0, 0.5);

glBegin (GL_LINE_LOOP);
    glVertex3f (-1,-1,0);
    glVertex3f (1,-1,0);
    glVertex3f (1,1,0);
    glVertex3f (-1,1,0);
glEnd;

```

```

glLineWidth(1.0);

If (Button=4) then
begin
  glLineWidth(1.0);
  glEnable(GL_LINE_STIPPLE);
  glLineStipple(1,$00FF);
  glColor3f (1.0, 1.0, 0.0);
  glBegin (GL_LINES);
  glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemI
ndex+1,Index,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,3]);
  glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemI
ndex+1,Index,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,3]+1);
  glEnd;
  glDisable(GL_LINE_STIPPLE);
  glRasterPos3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,1]+0.05,TochkiModel[cxRadioGroup2.
ItemIndex+1,Index,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,3]+1);
  OutText ('1');
end;
If (Button=6) then
begin
  glLineWidth(1.0);
  glEnable(GL_LINE_STIPPLE);
  glLineStipple(1,$00FF);
  glColor3f (1.0, 1.0, 0.0);
  For i:=1 to numModel[Model] do
  begin
    glBegin (GL_LINES);
    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,i,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,i,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,i,3]);
    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,i,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,i,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,i,3]+1);
    glEnd;
  end;
  glDisable(GL_LINE_STIPPLE);

  glRasterPos3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,1,1]+0.05,TochkiModel[cxRadioGroup2.Item
Index+1,1,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,1,3]+1);
  OutText ('1');
end;
If (Button=7) then
begin
  glLineWidth(1.0);
  glEnable(GL_LINE_STIPPLE);
  glLineStipple(1,$00FF);
  glColor3f (1.0, 1.0, 0.0);

  if cxCheckBox2.Checked then
  begin
    glBegin (GL_LINES);
    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,1,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex

```

```

+1,1,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,1,3]);
    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,1,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,1,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,1,3]+1);
    glEnd;
end;
if cxCheckBox3.Checked then
begin
    glBegin (GL_LINES);
    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,2,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,2,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,2,3]);
    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,2,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,2,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,2,3]+1);
    glEnd;
end;
if cxCheckBox4.Checked then
begin
    glBegin (GL_LINES);
    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,3,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,3,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,3,3]);
    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,3,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,3,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,3,3]+1);
    glEnd;
end;

    if cxCheckBox5.Checked then
        begin
            glBegin (GL_LINES);
            glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,4,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,4,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,4,3]);
            glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,4,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,4,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,4,3]+1);
            glEnd;
        end;

        if cxCheckBox6.Checked then
            begin
                glBegin (GL_LINES);
                glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,5,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,5,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,5,3]);
                glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,5,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,5,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,5,3]+1);
                glEnd;
            end;

            if cxCheckBox7.Checked then
                begin
                    glBegin (GL_LINES);
                    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,6,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,6,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,6,3]);
                    glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,6,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex

```

```

+1,6,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,6,3]+1);
    glEnd;
end;

    if cxCheckBox8.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,7,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,7,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,7,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,7,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,7,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,7,3]+1);
        glEnd;
    end;

    if cxCheckBox9.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,8,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,8,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,8,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,8,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,8,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,8,3]+1);
        glEnd;
    end;

    if cxCheckBox10.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,9,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,9,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,9,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,9,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,9,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,9,3]+1);
        glEnd;
    end;

    if cxCheckBox11.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,10,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,10,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,10,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,10,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,10,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,10,3]+1);
        glEnd;
    end;

    if cxCheckBox12.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,11,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,11,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,11,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,11,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex
+1,11,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,11,3]+1);

```

```

        glEnd;
    end;

    if cxCheckBox13.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,12,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,12,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,12,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,12,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,12,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,12,3]+1);
        glEnd;
    end;

    if cxCheckBox14.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,13,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,13,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,13,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,13,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,13,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,13,3]+1);
        glEnd;
    end;

    if cxCheckBox15.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,14,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,14,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,14,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,14,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,14,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,14,3]+1);
        glEnd;
    end;

    if cxCheckBox16.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,15,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,15,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,15,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,15,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,15,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,15,3]+1);
        glEnd;
    end;

    if cxCheckBox17.Checked then
    begin
        glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,16,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,16,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,16,3]);
        glVertex3f
        (TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,16,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,16,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,16,3]+1);
        glEnd;
    end;

```



```

    glDisable(GL_LINE_STIPPLE);
end;
If (Button=8) then
begin
    glLineWidth(1.0);
    glEnable(GL_LINE_STIPPLE);
    glLineStipple(1,$00FF);
    glColor3f (1.0, 1.0, 0.0);
    glBegin (GL_LINES);
        glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemI
ndex+1,Index,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,3]);
        glVertex3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,1],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemI
ndex+1,Index,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,3]+1);
    glEnd;
    glDisable(GL_LINE_STIPPLE);
    glRasterPos3f
(TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,1]+0.05,TochkiModel[cxRadioGroup2.
ItemIndex+1,Index,2],TochkiModel[cxRadioGroup2.ItemIndex+1,Index,3]+1);
    OutText ('1');
end;
end;
{=====}
Procedure Tfm12uzlov.Nadpis(reg,ris:byte);
var ss:Pchar;
begin
    case reg of
        8:begin
            case ris of
                1:begin
                    glRasterPos3f (-1.5,-1.5,0);
                    ss:=Pchar('N'+FloatToStr(cxRadioGroup1.ItemIndex+1));
                    OutText (ss);
                end;
                2:begin
                    glRasterPos3f (1.5,1.5,0);
                    case cxRadioGroup2.ItemIndex+1 of
                        1:begin
                            case cxRadioGroup1.ItemIndex+1 of
                                1,3,5,7:ss:=Pchar('((-1)+XiX+YiY)');
                                2,6:ss:=Pchar('(1+X)');
                                4,8:ss:=Pchar('(1+Y)');
                            end;
                        end;
                    end;
                2:begin
                    case cxRadioGroup1.ItemIndex+1 of
                        1,4,7,10:ss:=Pchar('(1/8(9X^2+9Y^2-10))');
                        2,3,8,9:ss:=Pchar('(3/4(1-3XiX)(1+9XiX))');
                        5,6,11,12:ss:=Pchar('(3/4(1-3YiY)(1+9YiY))');
                    end;
                end;
                3:begin
                    case cxRadioGroup1.ItemIndex+1 of
                        1,5,9,13:ss:=Pchar('(1/3(4X^2+4Y^2-5))');
                        2,4,10,12:ss:=Pchar('((1-2XiX)(-1+4XiX+YiY))');
                        6,8,14,16:ss:=Pchar('((1-2YiY)(-1+4YiY+XiX))');
                        3,11:ss:=Pchar('((1+X)(1-4X^2))');
                        7,15:ss:=Pchar('((1+Y)(1-4Y^2))');
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

end;
OutText (ss);
end;
3:begin
glRasterPos3f (1.5,1.5,0);
case cxRadioGroup2.ItemIndex+1 of
1:begin
case cxRadioGroup1.ItemIndex+1 of
1,3,5,7:ss:=Pchar(' (K(1-XiX) (1-YiY)) ');
2,6:ss:=Pchar(' (1/2*K(1+X) (1-YiY)) ');
4,8:ss:=Pchar(' (1/2*K(1+Y) (1-XiX)) ');
end;
end;
2:begin
case cxRadioGroup1.ItemIndex+1 of
1,4,7,10:ss:=Pchar(' (K*9/4(1-XiX) (1-YiY)) ');
2,3,8,9:ss:=Pchar(' (K*3/4(1-3XiX) (1-YiY)) ');
5,6,11,12:ss:=Pchar(' (K*3/4(1-3YiY) (1-XiX)) ');
end;
end;
3:begin
case cxRadioGroup1.ItemIndex+1 of
1,5,9,13:ss:=Pchar(' (K*4/3(1-XiX) (1-YiY)) ');
2,4,10,12:ss:=Pchar(' (K*1/2(1-2XiX) (1-YiY)) ');
6,8,14,16:ss:=Pchar(' (K*1/2(1-2YiY) (1-XiX)) ');
3,11:ss:=Pchar(' (0*(1+X) (1-YiY)) ');
7,15:ss:=Pchar(' (0*(1+Y) (1-XiX)) ');
end;
end;
end;
OutText (ss);
end;
4:begin

end;
5:begin
glRasterPos3f (-1.5,-1.5,0);
case cxRadioGroup2.ItemIndex+1 of
1:begin
case cxRadioGroup1.ItemIndex+1 of
1,3,5,7:ss:=Pchar('1/4(1+XiX) (1+YiY) ');
2,6:ss:=Pchar('1/2(1-X) (1+YiY) ');
4,8:ss:=Pchar('1/2(1-Y) (1+XiX) ');
end;
end;
2:begin
case cxRadioGroup1.ItemIndex+1 of
1,4,7,10:ss:=Pchar('1/4(1+XiX) (1+YiY) ');
2,3,8,9:ss:=Pchar('3/8(1+3XiX) (1+YiY) ');
5,6,11,12:ss:=Pchar('3/8(1+3YiY) (1+XiX) ');
end;
end;
3:begin
case cxRadioGroup1.ItemIndex+1 of
1,5,9,13:ss:=Pchar('1/4(1+XiX) (1+YiY) (-1+XiX+YiY) ');
2,4,10,12:ss:=Pchar('1/3(1+2XiX) (1+YiY) (1+4XiX) ');
6,8,14,16:ss:=Pchar('1/3(1+2YiY) (1+XiX) (1+4YiY) ');
3,11:ss:=Pchar('1/2(1-X) (1+YiY) ');
7,15:ss:=Pchar('1/2(1-Y) (1+XiX) ');
end;
end;
end;

```



```

    end;
    if cxCheckBox19.Checked then
    begin
        glPushMatrix;
        glTranslatef (2, 0, 0);
        ZapolnPent (2, cxSpinEdit5.Value, 0, 0, 0.01, cxSpinEdit4.Value, 1);
        KonElement (2, cxSpinEdit5.Value, cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
        glPopMatrix;
    end;
    if cxCheckBox20.Checked then
    begin
        glPushMatrix;
        glTranslatef (2, 2, 0);
        ZapolnPent (2, cxSpinEdit7.Value, 0, 0, 0.01, cxSpinEdit6.Value, 1);
        KonElement (2, cxSpinEdit7.Value, cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
        glPopMatrix;
    end;
    if cxCheckBox21.Checked then
    begin
        glPushMatrix;
        glTranslatef (0, 2, 0);
        ZapolnPent (2, cxSpinEdit9.Value, 0, 0, 0.01, cxSpinEdit8.Value, 1);
        KonElement (2, cxSpinEdit9.Value, cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
        glPopMatrix;
    end;
end
else
if SpeedButton3.Down=True then
begin
    if SpeedButton10.Down=True then
    begin
        { VisualPole(cxRadioGroup3.ItemIndex+1, StrToInt(cxTextEdit6.Text));
        Setka (3, cxRadioGroup3.ItemIndex+1); }
        KonElement (3, cxRadioGroup1.ItemIndex+1, cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
    end else
    begin

    end
end else
if SpeedButton4.Down=True then
begin
    if SpeedButton10.Down=True then
    begin
ZapolnPent (4, cxRadioGroup1.ItemIndex+1, 0, 0, 0.039999, cxSpinEdit1.Value, 1);
        Setka (4, 0);
        KonElement (4, cxRadioGroup1.ItemIndex+1, cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
    end else
    begin
        if cxCheckBox18.Checked then
        begin
            ZapolnPent (4, cxSpinEdit3.Value, 0, 0, 0.039999, cxSpinEdit2.Value, 1);
            Setka (4, 0);
            KonElement (4, cxSpinEdit3.Value, cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
        end;
        if cxCheckBox19.Checked then
        begin
            glPushMatrix;
            glTranslatef (2, 0, 0);
            ZapolnPent (4, cxSpinEdit5.Value, 0, 0, 0.039999, cxSpinEdit4.Value, 1);

```

```

        Setka(4,0);
        KonElement(4,cxSpinEdit5.Value,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
        glPopMatrix;
    end;
    if cxCheckBox20.Checked then
    begin
        glPushMatrix;
        glTranslatef (2, 2, 0);
        ZapolnPent(4,cxSpinEdit7.Value,0,0,0.039999,cxSpinEdit6.Value,1);
        Setka(4,0);
        KonElement(4,cxSpinEdit7.Value,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
        glPopMatrix;
    end;
    if cxCheckBox21.Checked then
    begin
        glPushMatrix;
        glTranslatef (0, 2, 0);
        ZapolnPent(4,cxSpinEdit9.Value,0,0,0.039999,cxSpinEdit8.Value,1);
        Setka(4,0);
        KonElement(4,cxSpinEdit9.Value,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
        glPopMatrix;
    end;
    end;
end else
if SpeedButton5.Down=True then
begin
    if SpeedButton10.Down=True then
    begin
        KonElement(1,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
    end else
    begin
        end;
    end else
    if SpeedButton6.Down=True then
    begin
        if SpeedButton10.Down=True then
        begin
ZapolnPent(6,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,0,0,0.039999,cxSpinEdit1.Value,1);
            Setka(6,0);
            KonElement(6,0,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
        end else
        begin
            end;
        end else
        if SpeedButton7.Down=True then
        begin
            if SpeedButton10.Down=True then
            begin
ZapolnPent(7,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,0,0,0.039999,cxSpinEdit1.Value,1);
                Setka(7,0);
                KonElement(7,0,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
            end else
            begin
                end;
            end else
            if SpeedButton8.Down=True then

```

```

begin
  if SpeedButton10.Down=True then
    begin
      glPushMatrix;
      glTranslatef (-0.7, 0.0, -1.5);

ZapolnPent (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,0,0,0.039999,cxSpinEdit1.Value,1);
      Setka (8,0);
      KonElement (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
      // Nadpis (8,1);
      glPopMatrix;
      glPushMatrix;
      glTranslatef (-0.7, 0.0, 2.5);

ZapolnPent (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,0,0,0.039999,cxSpinEdit1.Value,2);
      Setka (8,0);
      KonElement (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
      // Nadpis (8,2);
      glPopMatrix;
      glPushMatrix;
      glTranslatef (2.0, -1.5, 2.5);

ZapolnPent (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,0,0,0.039999,cxSpinEdit1.Value,3);
      Setka (8,0);
      KonElement (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
      // Nadpis (8,3);
      glPopMatrix;
      glPushMatrix;
      glTranslatef (4.8, -3.0, 2.5);

ZapolnPent (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,0,0,0.039999,cxSpinEdit1.Value,4);
      Setka (8,0);
      KonElement (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
      // Nadpis (8,4);
      glPopMatrix;
      glPushMatrix;
      glTranslatef (2.0, -1.5, -1.5);

ZapolnPent (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,0,0,0.039999,cxSpinEdit1.Value,5);
      Setka (8,0);
      KonElement (8,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);
      // Nadpis (8,5);
      glPopMatrix;
    end else
      begin

        end;
      end;
      { else
KonElement (1,cxRadioGroup1.ItemIndex+1,cxRadioGroup2.ItemIndex+1);}
        if cxCheckBox1.Checked then Axes;
        {=====}
        SwapBuffers (DC);

end;

procedure Tfml2uzlov.cxRadioGroup1PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
  InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

```

```

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
  cxRadioGroup1.Enabled:=False;
  cxSpinEdit1.Enabled:=False;
  cxLabel11.Enabled:=False;
  cxGroupBox1.Enabled:=False;
  cxCheckBox2.Enabled:=False;
  cxCheckBox3.Enabled:=False;
  cxCheckBox4.Enabled:=False;
  cxCheckBox5.Enabled:=False;
  cxCheckBox6.Enabled:=False;
  cxCheckBox7.Enabled:=False;
  cxCheckBox8.Enabled:=False;
  cxCheckBox9.Enabled:=False;
  cxCheckBox10.Enabled:=False;
  cxCheckBox11.Enabled:=False;
  cxCheckBox12.Enabled:=False;
  cxCheckBox13.Enabled:=False;
  cxCheckBox14.Enabled:=False;
  cxCheckBox15.Enabled:=False;
  cxCheckBox16.Enabled:=False;
  cxCheckBox17.Enabled:=False;

  ParamOkna(1);
  InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox1PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
  InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
begin
  if SpeedButton10.Down=True then
    begin
      cxRadioGroup1.Enabled:=True;
      cxSpinEdit1.Enabled:=True;
      cxLabel11.Enabled:=True;
    end else
    begin
      cxRadioGroup1.Enabled:=False;
      cxSpinEdit1.Enabled:=False;
      cxLabel11.Enabled:=False;
    end;
  cxGroupBox1.Enabled:=False;
  cxCheckBox2.Enabled:=False;
  cxCheckBox3.Enabled:=False;
  cxCheckBox4.Enabled:=False;
  cxCheckBox5.Enabled:=False;
  cxCheckBox6.Enabled:=False;
  cxCheckBox7.Enabled:=False;
  cxCheckBox8.Enabled:=False;
  cxCheckBox9.Enabled:=False;
  cxCheckBox10.Enabled:=False;
  cxCheckBox11.Enabled:=False;
  cxCheckBox12.Enabled:=False;
  cxCheckBox13.Enabled:=False;
  cxCheckBox14.Enabled:=False;
  cxCheckBox15.Enabled:=False;
  cxCheckBox16.Enabled:=False;

```

```

cxCheckBox17.Enabled:=False;

ParamOkna(2);
InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton3Click(Sender: TObject);
begin
  if SpeedButton10.Down=True then
  begin
    cxSpinEdit1.Enabled:=True;
    cxLabel11.Enabled:=True;
  end else
  begin
    cxSpinEdit1.Enabled:=False;
    cxLabel11.Enabled:=False;
  end;
  cxRadioGroup1.Enabled:=False;
  cxGroupBox1.Enabled:=False;
  cxCheckBox2.Enabled:=False;
  cxCheckBox3.Enabled:=False;
  cxCheckBox4.Enabled:=False;
  cxCheckBox5.Enabled:=False;
  cxCheckBox6.Enabled:=False;
  cxCheckBox7.Enabled:=False;
  cxCheckBox8.Enabled:=False;
  cxCheckBox9.Enabled:=False;
  cxCheckBox10.Enabled:=False;
  cxCheckBox11.Enabled:=False;
  cxCheckBox12.Enabled:=False;
  cxCheckBox13.Enabled:=False;
  cxCheckBox14.Enabled:=False;
  cxCheckBox15.Enabled:=False;
  cxCheckBox16.Enabled:=False;
  cxCheckBox17.Enabled:=False;

  ParamOkna(3);
  InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton4Click(Sender: TObject);
begin
  if SpeedButton10.Down=True then
  begin
    cxRadioGroup1.Enabled:=True;
    cxSpinEdit1.Enabled:=True;
    cxLabel11.Enabled:=True;
  end else
  begin
    cxRadioGroup1.Enabled:=False;
    cxSpinEdit1.Enabled:=False;
    cxLabel11.Enabled:=False;
  end;
  cxGroupBox1.Enabled:=False;
  cxCheckBox2.Enabled:=False;
  cxCheckBox3.Enabled:=False;
  cxCheckBox4.Enabled:=False;
  cxCheckBox5.Enabled:=False;
  cxCheckBox6.Enabled:=False;
  cxCheckBox7.Enabled:=False;
  cxCheckBox8.Enabled:=False;

```



```

cxCheckBox9.Enabled:=False;
cxCheckBox10.Enabled:=False;
cxCheckBox11.Enabled:=False;
cxCheckBox12.Enabled:=False;
cxCheckBox13.Enabled:=False;
cxCheckBox14.Enabled:=False;
cxCheckBox15.Enabled:=False;
cxCheckBox16.Enabled:=False;
cxCheckBox17.Enabled:=False;

ParamOkna(4);
InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton5Click(Sender: TObject);
begin
  if SpeedButton10.Down=True then
    begin
      cxSpinEdit1.Enabled:=True;
      cxLabel11.Enabled:=True;
    end else
    begin
      cxSpinEdit1.Enabled:=False;
      cxLabel11.Enabled:=False;
    end;
    cxRadioGroup1.Enabled:=False;
    cxGroupBox1.Enabled:=False;
    cxCheckBox2.Enabled:=False;
    cxCheckBox3.Enabled:=False;
    cxCheckBox4.Enabled:=False;
    cxCheckBox5.Enabled:=False;
    cxCheckBox6.Enabled:=False;
    cxCheckBox7.Enabled:=False;
    cxCheckBox8.Enabled:=False;
    cxCheckBox9.Enabled:=False;
    cxCheckBox10.Enabled:=False;
    cxCheckBox11.Enabled:=False;
    cxCheckBox12.Enabled:=False;
    cxCheckBox13.Enabled:=False;
    cxCheckBox14.Enabled:=False;
    cxCheckBox15.Enabled:=False;
    cxCheckBox16.Enabled:=False;
    cxCheckBox17.Enabled:=False;

    ParamOkna(5);
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
  end;

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton6Click(Sender: TObject);
begin
  if SpeedButton10.Down=True then
    begin
      cxSpinEdit1.Enabled:=True;
      cxLabel11.Enabled:=True;
    end else
    begin
      cxSpinEdit1.Enabled:=False;
      cxLabel11.Enabled:=False;
    end;
    cxRadioGroup1.Enabled:=False;
    cxGroupBox1.Enabled:=False;

```

```

cxCheckBox2.Enabled:=False;
cxCheckBox3.Enabled:=False;
cxCheckBox4.Enabled:=False;
cxCheckBox5.Enabled:=False;
cxCheckBox6.Enabled:=False;
cxCheckBox7.Enabled:=False;
cxCheckBox8.Enabled:=False;
cxCheckBox9.Enabled:=False;
cxCheckBox10.Enabled:=False;
cxCheckBox11.Enabled:=False;
cxCheckBox12.Enabled:=False;
cxCheckBox13.Enabled:=False;
cxCheckBox14.Enabled:=False;
cxCheckBox15.Enabled:=False;
cxCheckBox16.Enabled:=False;
cxCheckBox17.Enabled:=False;

ParamOkna(6);
InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.FormShow(Sender: TObject);
begin
    SpeedButton1.Down:=True;
    SpeedButton10.Down:=True;
    cxCheckBox18.Enabled:=False;
    cxCheckBox19.Enabled:=False;
    cxCheckBox20.Enabled:=False;
    cxCheckBox21.Enabled:=False;
    cxCheckBox22.Enabled:=False;
    cxSpinEdit2.Enabled:=False;
    cxSpinEdit3.Enabled:=False;
    cxSpinEdit4.Enabled:=False;
    cxSpinEdit5.Enabled:=False;
    cxSpinEdit6.Enabled:=False;
    cxSpinEdit7.Enabled:=False;
    cxSpinEdit8.Enabled:=False;
    cxSpinEdit9.Enabled:=False;
    cxLabel2.Enabled:=False;
    cxLabel3.Enabled:=False;
    cxLabel4.Enabled:=False;
    cxLabel5.Enabled:=False;
    cxLabel6.Enabled:=False;
    cxLabel7.Enabled:=False;
    cxLabel8.Enabled:=False;
    cxLabel9.Enabled:=False;
    cxSpinEdit1.Enabled:=False;
    cxLabel11.Enabled:=False;

    cxRadioGroup1.Enabled:=False;
    cxRadioGroup1.ItemIndex:=0;
    cxRadioGroup2.ItemIndex:=0;
    cxGroupBox1.Enabled:=False;
    cxGroupBox2.Enabled:=False;
    cxCheckBox2.Enabled:=False;
    cxCheckBox3.Enabled:=False;
    cxCheckBox4.Enabled:=False;
    cxCheckBox5.Enabled:=False;
    cxCheckBox6.Enabled:=False;
    cxCheckBox7.Enabled:=False;
    cxCheckBox8.Enabled:=False;

```

```

    cxCheckBox9.Enabled:=False;
    cxCheckBox10.Enabled:=False;
    cxCheckBox11.Enabled:=False;
    cxCheckBox12.Enabled:=False;
    cxCheckBox13.Enabled:=False;
    cxCheckBox14.Enabled:=False;
    cxCheckBox15.Enabled:=False;
    cxCheckBox16.Enabled:=False;
    cxCheckBox17.Enabled:=False;
    OprTochki;
    ParamOkna(1);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxSpinEdit1PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox2PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox3PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox4PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton7Click(Sender: TObject);
begin
    if SpeedButton10.Down=True then
        begin
            cxGroupBox1.Enabled:=True;
            cxCheckBox2.Enabled:=True;
            cxCheckBox3.Enabled:=True;
            cxCheckBox4.Enabled:=True;
            cxCheckBox5.Enabled:=True;
            cxCheckBox6.Enabled:=True;
            cxCheckBox7.Enabled:=True;
            cxCheckBox8.Enabled:=True;
            cxCheckBox9.Enabled:=True;
            cxCheckBox10.Enabled:=True;
            cxCheckBox11.Enabled:=True;
            cxCheckBox12.Enabled:=True;
            cxCheckBox13.Enabled:=True;
            cxCheckBox14.Enabled:=True;
            cxCheckBox15.Enabled:=True;
            cxCheckBox16.Enabled:=True;
            cxCheckBox17.Enabled:=True;
        end else
        begin
            cxGroupBox1.Enabled:=False;
            cxCheckBox2.Enabled:=False;
            cxCheckBox3.Enabled:=False;
            cxCheckBox4.Enabled:=False;
            cxCheckBox5.Enabled:=False;

```

```

        cxCheckBox6.Enabled:=False;
        cxCheckBox7.Enabled:=False;
        cxCheckBox8.Enabled:=False;
        cxCheckBox9.Enabled:=False;
        cxCheckBox10.Enabled:=False;
        cxCheckBox11.Enabled:=False;
        cxCheckBox12.Enabled:=False;
        cxCheckBox13.Enabled:=False;
        cxCheckBox14.Enabled:=False;
        cxCheckBox15.Enabled:=False;
        cxCheckBox16.Enabled:=False;
        cxCheckBox17.Enabled:=False;
    end;
    cxRadioGroup1.Enabled:=False;

    ParamOkna(7);
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox5PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox6PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox7PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox8PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox9PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox10PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox11PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox12PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox13PropertiesChange(Sender: TObject);
begin

```

```

    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxRadioGroup2PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    OprTochki;
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton8Click(Sender: TObject);
begin
    if SpeedButton10.Down=True then
    begin
        cxRadioGroup1.Enabled:=True;
        cxSpinEdit1.Enabled:=True;
        cxLabel11.Enabled:=True;
    end else
    begin
        cxRadioGroup1.Enabled:=False;
        cxSpinEdit1.Enabled:=False;
        cxLabel11.Enabled:=False;
    end;
    cxGroupBox1.Enabled:=False;
    cxCheckBox2.Enabled:=False;
    cxCheckBox3.Enabled:=False;
    cxCheckBox4.Enabled:=False;
    cxCheckBox5.Enabled:=False;
    cxCheckBox6.Enabled:=False;
    cxCheckBox7.Enabled:=False;
    cxCheckBox8.Enabled:=False;
    cxCheckBox9.Enabled:=False;
    cxCheckBox10.Enabled:=False;
    cxCheckBox11.Enabled:=False;
    cxCheckBox12.Enabled:=False;
    cxCheckBox13.Enabled:=False;
    cxCheckBox14.Enabled:=False;
    cxCheckBox15.Enabled:=False;
    cxCheckBox16.Enabled:=False;
    cxCheckBox17.Enabled:=False;

    ParamOkna(8);
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox14PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox15PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox16PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox17PropertiesChange(Sender: TObject);
begin

```

```

    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton9Click(Sender: TObject);
begin
    cxRadioGroup1.Enabled:=False;
    cxSpinEdit1.Enabled:=False;
    cxLabel11.Enabled:=False;

    cxGroupBox1.Enabled:=False;
    cxCheckBox2.Enabled:=False;
    cxCheckBox3.Enabled:=False;
    cxCheckBox4.Enabled:=False;
    cxCheckBox5.Enabled:=False;
    cxCheckBox6.Enabled:=False;
    cxCheckBox7.Enabled:=False;
    cxCheckBox8.Enabled:=False;
    cxCheckBox9.Enabled:=False;
    cxCheckBox10.Enabled:=False;
    cxCheckBox11.Enabled:=False;
    cxCheckBox12.Enabled:=False;
    cxCheckBox13.Enabled:=False;
    cxCheckBox14.Enabled:=False;
    cxCheckBox15.Enabled:=False;
    cxCheckBox16.Enabled:=False;
    cxCheckBox17.Enabled:=False;

    cxGroupBox2.Enabled:=True;
    cxCheckBox18.Enabled:=True;
    cxCheckBox19.Enabled:=True;
    cxCheckBox20.Enabled:=True;
    cxCheckBox21.Enabled:=True;
    cxCheckBox22.Enabled:=True;

    if cxCheckBox18.Checked then
    begin
        cxSpinEdit2.Enabled:=True;
        cxSpinEdit3.Enabled:=True;
        cxLabel2.Enabled:=True;
        cxLabel3.Enabled:=True;
    end;
    if cxCheckBox19.Checked then
    begin
        cxSpinEdit4.Enabled:=True;
        cxSpinEdit5.Enabled:=True;
        cxLabel4.Enabled:=True;
        cxLabel5.Enabled:=True;
    end;
    if cxCheckBox20.Checked then
    begin
        cxSpinEdit6.Enabled:=True;
        cxSpinEdit7.Enabled:=True;
        cxLabel6.Enabled:=True;
        cxLabel7.Enabled:=True;
    end;
    if cxCheckBox21.Checked then
    begin
        cxSpinEdit8.Enabled:=True;
        cxSpinEdit9.Enabled:=True;
        cxLabel8.Enabled:=True;
        cxLabel9.Enabled:=True;
    end;
end;

```

```

    end;
    OpredParamOkna;
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.SpeedButton10Click(Sender: TObject);
begin
    if SpeedButton1.Down=True then
    begin
        cxRadioGroup1.Enabled:=False;
        cxSpinEdit1.Enabled:=False;
        cxLabel1.Enabled:=False;
    end else
    if (SpeedButton6.Down=True) or (SpeedButton5.Down=True) or
    (SpeedButton3.Down=True) then
    begin
        cxRadioGroup1.Enabled:=False;
        cxSpinEdit1.Enabled:=True;
        cxLabel1.Enabled:=True;
    end else
    if SpeedButton7.Down=True then
    begin
        cxRadioGroup1.Enabled:=False;
        cxSpinEdit1.Enabled:=True;
        cxLabel1.Enabled:=True;
        cxGroupBox1.Enabled:=True;
        cxCheckBox2.Enabled:=True;
        cxCheckBox3.Enabled:=True;
        cxCheckBox4.Enabled:=True;
        cxCheckBox5.Enabled:=True;
        cxCheckBox6.Enabled:=True;
        cxCheckBox7.Enabled:=True;
        cxCheckBox8.Enabled:=True;
        cxCheckBox9.Enabled:=True;
        cxCheckBox10.Enabled:=True;
        cxCheckBox11.Enabled:=True;
        cxCheckBox12.Enabled:=True;
        cxCheckBox13.Enabled:=True;
        cxCheckBox14.Enabled:=True;
        cxCheckBox15.Enabled:=True;
        cxCheckBox16.Enabled:=True;
        cxCheckBox17.Enabled:=True;
    end else
    begin
        cxRadioGroup1.Enabled:=True;
        cxSpinEdit1.Enabled:=True;
        cxLabel1.Enabled:=True;
    end;
    cxGroupBox2.Enabled:=False;
    cxCheckBox18.Enabled:=False;
    cxCheckBox19.Enabled:=False;
    cxCheckBox20.Enabled:=False;
    cxCheckBox21.Enabled:=False;
    cxCheckBox22.Enabled:=False;
    cxSpinEdit2.Enabled:=False;
    cxSpinEdit3.Enabled:=False;
    cxSpinEdit4.Enabled:=False;
    cxSpinEdit5.Enabled:=False;
    cxSpinEdit6.Enabled:=False;
    cxSpinEdit7.Enabled:=False;
    cxSpinEdit8.Enabled:=False;

```

```

    cxSpinEdit9.Enabled:=False;
    cxLabel2.Enabled:=False;
    cxLabel3.Enabled:=False;
    cxLabel4.Enabled:=False;
    cxLabel5.Enabled:=False;
    cxLabel6.Enabled:=False;
    cxLabel7.Enabled:=False;
    cxLabel8.Enabled:=False;
    cxLabel9.Enabled:=False;
    OpredParamOkna;
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox21PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    if cxCheckBox21.Checked then
    begin
        cxSpinEdit8.Enabled:=True;
        cxSpinEdit9.Enabled:=True;
        cxLabel8.Enabled:=True;
        cxLabel9.Enabled:=True;
    end else
    begin
        cxSpinEdit8.Enabled:=False;
        cxSpinEdit9.Enabled:=False;
        cxLabel8.Enabled:=False;
        cxLabel9.Enabled:=False;
    end;
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxSpinEdit3PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxSpinEdit5PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxSpinEdit7PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxSpinEdit9PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

procedure Tfm12uzlov.cxCheckBox22PropertiesChange(Sender: TObject);
begin
    InvalidateRect(Handle, nil, False);
end;

end.

```