

УДК 621.039.58:004.9

Волкович С. В., Дубчак С. В., Франчук О. В.

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ГІПОТЕТИЧНОЇ ЯДЕРНОЇ АВАРІЇ НА АТОМНІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

У статті наводиться система підтримки прийняття рішень для оперативного реагування при гіпотетичній аварії на атомній електростанції (на прикладі Запорізької АЕС), а також зразок сценарію.

На сьогоднішній день проблеми ядерної та радіаційної безпеки безсумнівно залишаються серед найактуальніших у галузі техногенної безпеки як для України, так і для багатьох інших держав, на території яких розміщено ядерні енергетичні установи. Нині Україна, окрім Чорнобильської АЕС, має ще чотири атомні електростанції з 12 діючими ядерними реакторами типу ВВЕР-1000 та ВВЕР-440, що створюють потенційну небезпеку викиду радіоактивних речовин, опромінення населення та радіоактивного забруднення довкілля.

Внаслідок аварії на АЕС у навколишнє середовище може потрапити значна кількість радіоактивних речовин, що призведе до опромінення персоналу та населення, тому гарантування безпеки роботи ядерних реакторів є одним з найважливіших завдань ядерної енергетики. Найбільша кількість радіоактивних речовин на АЕС знаходиться в активній зоні реактора, і якщо вона відповідним чином охолоджується, то основна кількість радіонуклідів (близько 98 %) залишається в тепловидільних елементах (ТВЕЛлах).

Принцип глибоко ешелонованого захисту використовується на АЕС для запобігання виходу радіонуклідів за межі активної зони. Він заснований на ряді бар'єрів між паливом та навколишнім середовищем, такими як керамічна паливна матриця, металічна оболонка ТВЕЛа, корпус реактора та захисна оболонка або контейнмент. Для виходу радіоактивних речовин у навколишнє середовище показники нагріву палива мусять значно перевищувати робочі характеристики, а захисні бар'єри бути пошкодженими. На цій основі розроблена класифікація основних типів аварій ядерних реакторів.

Підхід до гарантування безпеки АЕС, як правило, засновується на трьох положеннях: 1) гарантування нормальної експлуатації та нечутливості системи в цілому до порушень окремих підсистем; 2) оснащення станції системами безпеки для зменшення наслідків аварії та захисту населення, якщо аварія все ж таки буде мати місце; 3) існування

додаткових систем безпеки з урахуванням дуже мало ймовірних аварій з викидом радіонуклідів за межі станції. Для АЕС з реакторами, де теплоносієм є вода під тиском або вода, що кипить, найбільш серйозними можуть стати аварії, пов'язані з розривом трубопроводів теплоносія основного (першого) контуру, оголенням активної зони, розгерметизацією оболонок ТВЕЛів та частковим або повним оплавленням активної зони.

Оцінка складу та кількості радіоактивних речовин у активній зоні, а також вивчення процесів, внаслідок яких значні кількості радіонуклідів можуть вийти із палива і потрапити у навколишнє середовище, є дуже важливими для гарантування ефективного реагування у випадку аварії.

Радіаційна ситуація на території навколо аварійного реактора визначається кількістю та радіонуклідним складом викинутих у навколишнє середовище радіоактивних речовин, відстанню від джерела аварійного викиду, метеорологічними, гідрологічними та ґрунтовими характеристиками території, а також характером сільськогосподарського використання території.

Оцінка наслідків можливої аварії на АЕС є одним з найважливіших етапів при плануванні реагування на ядерні аварії. Для здійснення реагування, заснованого на прогнозі відвернених ефективних доз опромінення, необхідно знати щільності та склад радіоактивного забруднення.

Виходячи з вищесказаного, є потреба мати надійну та ефективну систему аварійної готовності та планування на всіх рівнях для запобігання та реагування на ядерні катастрофи, а також для оперативного застосування контрзаходів. Комп'ютерне моделювання гіпотетичних аварій, як одна зі складових реагування та планування аварійної готовності, є важливим засобом для розрахунку можливих ядерних аварій різного типу і створення сценаріїв їх розвитку з метою підвищення ступеня безпеки експлуатації станції та рівня аварійної готовності, а також для проведення періодичних навчань персо-

нату станції й координаті дій відповідних служб, міністерств та відомств, відповідальних за подолання наслідків аварії.

У даній статті викладено та проаналізовано результати розрахунку наслідків змодельованої гіпотетичної ядерної аварії, який було проведено для реактора типу ВВЕР-1000 Запорізької АЕС з використанням програмного продукту PC COSYMA 2.01 для моделювання розповсюдження радіоактивних викидів з реактора. Ця програма після введення початкових даних сценарію (тип аварії, початковий стан реактора, тривалість та висота радіоактивного викиду, швидкість та напрямок вітру, швидкість радіоактивних випадіннь, погодні умови тощо) дає можливість змодельовати картину реального радіаційного забруднення місцевості з метою застосування контрзаходів щодо відвернення ефективної дози опромінення (евакуація, укриття, йодна профілактика тощо) на ранній фазі розвитку аварії та відвернення дози опромінення населення. Програма проводить розрахунок наступних основних параметрів:

- щільність радіоактивного забруднення ґрунту;
- концентрація радіонуклідів у повітрі;
- прогнозовані відвернені ефективні дози для населення (за рахунок опромінення від окремих радіонуклідів та сумарні);
- прогнозовані відвернені ефективні дози для окремих органів тіла людини;
- процентний розподіл внеску радіонуклідів у загальну ефективну дозу;
- процентний розподіл внеску радіонуклідів у загальну ефективну дозу опромінення та дозу опромінення окремих органів з врахуванням шляхів надходження радіонуклідів у організм людини;
- необхідність застосування відповідних контрзаходів на ранній фазі аварії;
- ризики захворюваності опроміненого населення.

Проте дана програма не дає можливості наочно відображати отримані результати. Так, розподіл доз, отриманих населенням, та поверхневий розподіл щільності забруднення радіоактивними речовинами навколишнього середовища після аварійного викиду з реактора відображається в програмі шляхом розбиття території навколо АЕС на концентричні кола з фіксованими відстанями від центру. В свою чергу, вся сукупність радіальних кілець розподіляється визначеною кількістю радіальних секторів на сегменти, що містять величини розрахованих параметрів. Цей сегментарний розподіл подається у вигляді таблиці величин. Користувач може швидко оцінити рівні радіоактивного забруднення за допомогою даної таблиці, але не в змозі встановити точну відповідність сегментів реальній місцевості навколо АЕС, тобто визначити, які

населені пункти зазнали радіоактивного забруднення та дози, що можуть бути отримані населенням. Отже, мусить існувати територіальна конкретність прогнозованих даних. Тому на даному етапі для повноцінного аналізу результатів виникає потреба їх відображення на карті місцевості. При цьому карта повинна виступати не тільки як джерело первинної інформації, але й як місце і результат математичного моделювання.

Для цього використовується ряд геоінформаційних систем (ГІС), а конкретно в нашому випадку — **Arcview GIS Version 3.0a**. Ця система призначена для керування різною географічною та статистичною інформацією, а також організації доступу й обміну з базами даних інших програмних продуктів.

Суть методу полягає в наступному. За допомогою мови програмування даного продукту, отримані програмою PC COSYMA просторові дані моделювання експортуються в систему Arcview і наносяться на електронну карту України. Центру радіальних кіл ставляться у відповідність географічні координати АЕС, і користувач бачить реальну просторову картину забруднення місцевості навколо станції на відповідній карті.

Для створення єдиного інструмента з доволі простим інтерфейсом на мові програмування Visual Basic була розроблена програма, що поєднує розробку сценаріїв аварій на атомних електростанціях (за допомогою програми моделювання ядерних аварій PC COSYMA) і наочне відображення отриманих прогнозованих результатів на електронних картах місцевості (за допомогою пакета геоінформаційних систем (ГІС) Arcview).

Програма дозволяє виконувати наступні роботи:

- редагувати розроблені сценарії аварій;
- створювати нові сценарії аварій;
- автоматично переконвертовувати розраховані дані з текстового файлу вихідних даних програми PC COSYMA у файл бази даних *.dbf ГІС Arcview;
- переглядати прогнозовані результати на електронних картах місцевості.

Для запуску програми необхідно вибрати іконку, яка знаходиться на поверхні робочого столу операційної системи Windows (рис. 1).

Після запуску програми на екрані з'являється інформаційне вікно (рис. 2).

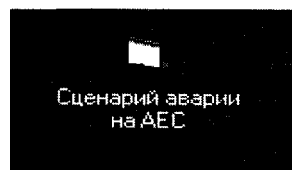


Рис. 1

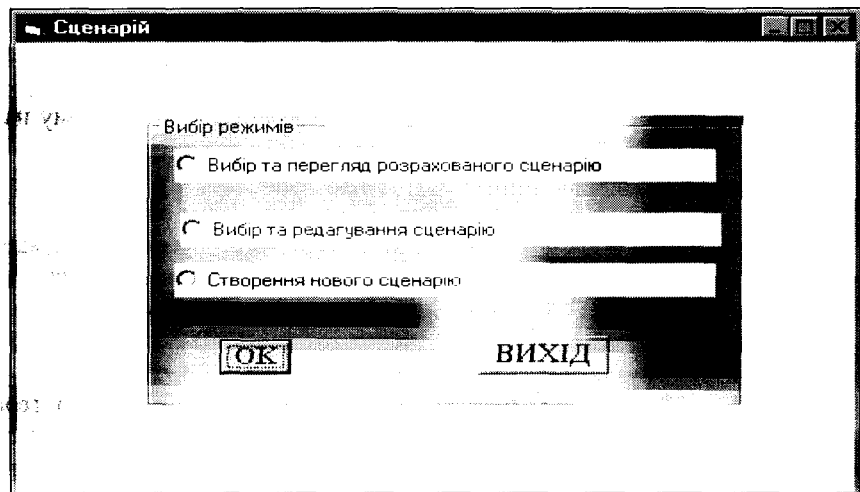


Рис. 2

На екран виводиться діалог, за допомогою якого відбувається вибір режимів роботи або вихід із програми. Якщо користувач вибрав пункт меню **"Вибір і редагування сценарію"**, то програма переходить до роботи з системою PC COSYMA, що дозволяє переглянути обраний сценарій, який був створений раніше, і при необхідності відредагувати його.

При цьому відбувається автоматичний запуск програми PC COSYMA, в якій користувач для редагування попередньо створеного сценарію повинен вибрати пункт меню **"Input interface"** (рис. 3).

Якщо ж користувач вибрав пункт меню **"Вибір і перегляд розрахованого сценарію"**, то програма переходить до роботи з оболонкою ГІС Arcview для перегляду прогнозованого викиду радіонуклідів на електронних картах місцевості.

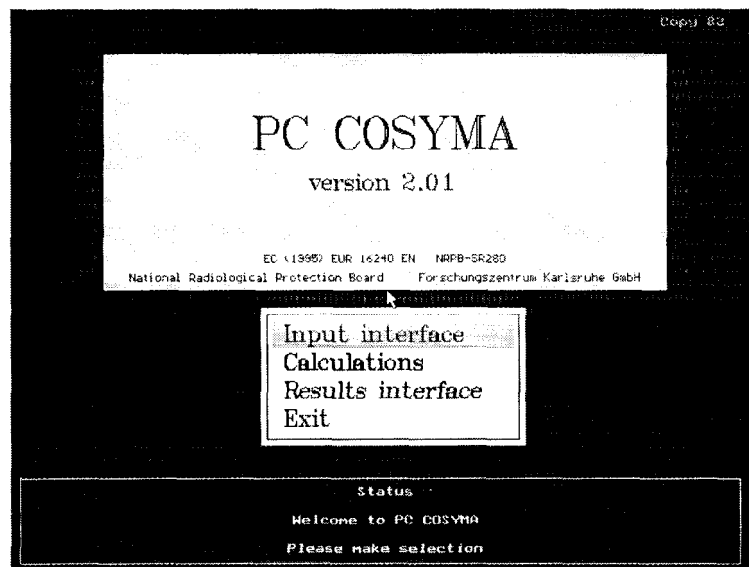
Користувач може вибрати АЕС України з наведеного списку для перегляду сценарію або повернутися в попереднє меню (рис. 4).

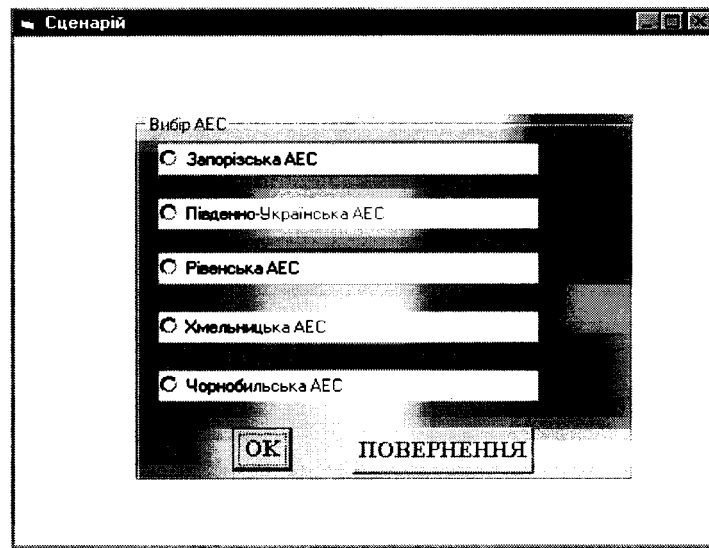
Після вибору АЕС та натиснення кнопки ОК автоматично відбувається запуск ГІС Arcview, зчитуються дані, що розраховані програмою PC COSYMA.

Коротко наведемо основні моменти змодельованого сценарію гіпотетичної ядерної аварії на Запорізькій АЕС.

О сьомій годині ранку на ЗАЕС трапилася аварія, пов'язана з втратою теплоносія. Пожежа у контрольній кімнаті реактора спричинила зупинку реактора, що призвело до відмови основної системи енергопостачання та пошкодження насоса системи охолодження першого контуру. Йод та благородні гази витікають у захисну оболонку, а далі — у навколишнє середовище.

07.30. Була підключена аварійна система енергопостачання, але аварійна система охолодження реактора не працює, реактор кипить; аварійний виклик групи керування аварією.





08.00. Тиск та температура у контейнменті підвищуються; у випадку, коли аварійна система охолодження не може спрацювати настільки швидко, наскільки це потрібно, рівні тиску та температури будуть збільшуватися наступні 2—3 години, що може призвести до необхідності швидкого втручання.

Груба оцінка складу викиду становить:

- благородних газів — 20 %;
- ізоотопів йоду — між 0,5 та 5 %;
- аерозолів — між 0,5 та 5 %.

Координати місцезнаходження станції — 47°38' півн. шир. 34°29' сх. довг. неподалік міста Енергодар. Навколишній ландшафт — невеликі міста, селища та ліси.

Характеристики реактора:

- ВВЕР-1000 енергоблок;
- теплова потужність 3000 МВт;
- електрична потужність 1000 МВт;
- кампанія реактора - 1 рік;
- висота будівлі 42 м;
- висота труби 100 м;
- діаметр труби 2,4 м.

Дані метеорологічного поста спостереження на цьому годину ранку:

- літній період;
- хмарність;
- швидкість вітру — 7 м/с;
- напрямок вітру — південно-східний 250°;
- висота викиду активності — 42 м;
- висота шару змішування — 800 м;
- очікуються невеликі опади.

Наведемо початкові дані стекового моніторингу, що поновлюються кожні 15 хвилин.

09.03. Потужність еквівалентної дози на 09.00 становила 2,00Е - 5 мЗв/сек на посту радіаційного контролю.

09.18. Потужність еквівалентної дози на 09.15 становила 6,30Е - 5 мЗв/сек на посту радіаційного контролю.

09.33. Потужність еквівалентної дози на 09.30 становила 1,40Е - 4 мЗв/сек на посту радіаційного контролю і т. д.

10.15. Тиск у контейнменті досяг дуже високого рівня — 150 кПа. Моніторинг навколишнього середовища дозволяє припускати, що має місце невідфільтрований викид. Прийнято рішення зменшити тиск у контейнменті шляхом виходу через стек із фільтром. При відкриванні вихідної демпферної труби оператор помилково відчинив і вхідну демпферну трубу.

10.20. Показники стек-моніторингу на станції. Значення у Бк, викид тривалістю 15 хвилин між 10.00 та 10.15:

- $Kr^{85m} — 6,66E+13$
- $Kr^{87} — 2,59E+13$
- $Kr^{88} — 1.48E+14$
- $He^{133} — 4,07E+15$
- $He^{135} — 4,07E+14$
- $I^{135} — 7.4E+11$
- $I^{131} — 9,25E+13$
- $I^{131} — 2,59E+13$
- $Cs^{134} — 9.4E+11$
- $Cs^{137} — 3/7E+12$

10.50. Вихідна демпферна труба закривається. Тиск у контейнменті низький. Операторам невідомо, що внутрішня демпферна труба відкрита. Має місце великий викид, у той же час оператори думають, що викид зупинений.

11.33. Система аварійного охолодження зони відновлена. Оператори помічають, що вихідна демпферна труба відкрита, але не можуть її закрити. Прийнято рішення послати надзвичайну аварійну бригаду для того, щоб закрити вихідну демпферну трубу вручну. Система аварійного охолодження зони працює нормально, і температура палива знижується.

12.22. Концентрація радіонуклідів у випадіннях (Бк/м²) у 12.05 на посту радіаційного контролю:

$$\begin{aligned} I^{131} &= 4,10E + 5 \\ I^i &= 6,57E + 5 \\ I^{135} &= 3,50E + 5 \\ Cs^{134} &= 1,77E + 4 \\ Cs^{137} &= 1,12E + 4 \end{aligned}$$

13.25. Концентрація радіонуклідів у випадіннях (Бк/м²) у 13.05 на посту радіаційного контролю:

$$\begin{aligned} I^i &= 6,47E + 8 \\ I^{133} &= 1,02E + 6 \\ I^{135} &= 5,56E + 5 \\ Cs^{134} &= 2,82E + 4 \\ Cs^{137} &= 1,80E + 4 \end{aligned}$$

13.48. Потужність еквівалентної дози на 13.45 становила $2,00E-3$ мЗв/сек на посту радіаційного контролю.

14.03. Внутрішня демпферна труба закрыта. Контайнмент відновлений. Тиск у контайнменті низький, викид у навколишнє середовище зупинений.

Потужність еквівалентної дози на **14.00** становила $1,30E-3$ мЗв/сек на посту радіаційного контролю.

На наведених рисунках показано динаміку розповсюдження радіоактивного забруднення та відповідні значення прогнозованої ефективної дози опромінення населення, близьких до ЗАЕС населених пунктів у перші години після аварії (з 9.00 до 14.00).

Результати прогнозованої ефективної дози, розраховані за допомогою моделювання, передаються в кризовий центр та у відповідні міністерства та служби. Користуючись ними, особи, відповідальні за прийняття рішень, повинні оперативно застосувати невідкладні контрзаходи щодо пом'якшення наслідків аварії та відвернення дози, щодо може отримати населення.

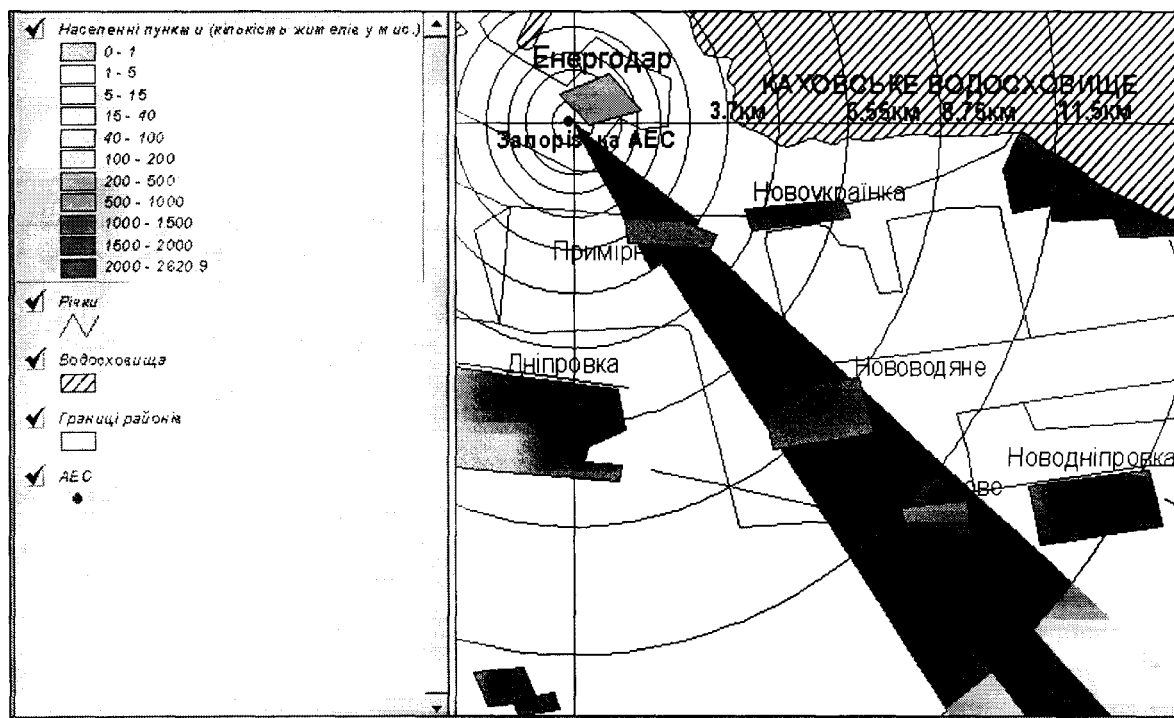
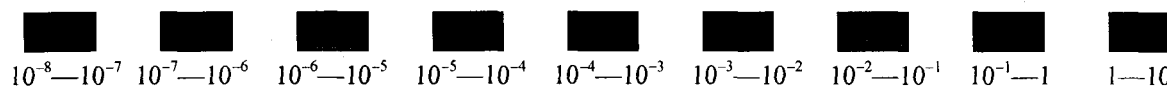


Рис. 5. Прогнозована відвернена ефективна доза (Зв) за перші два тижні після аварії (за даними на дев'яту годину)



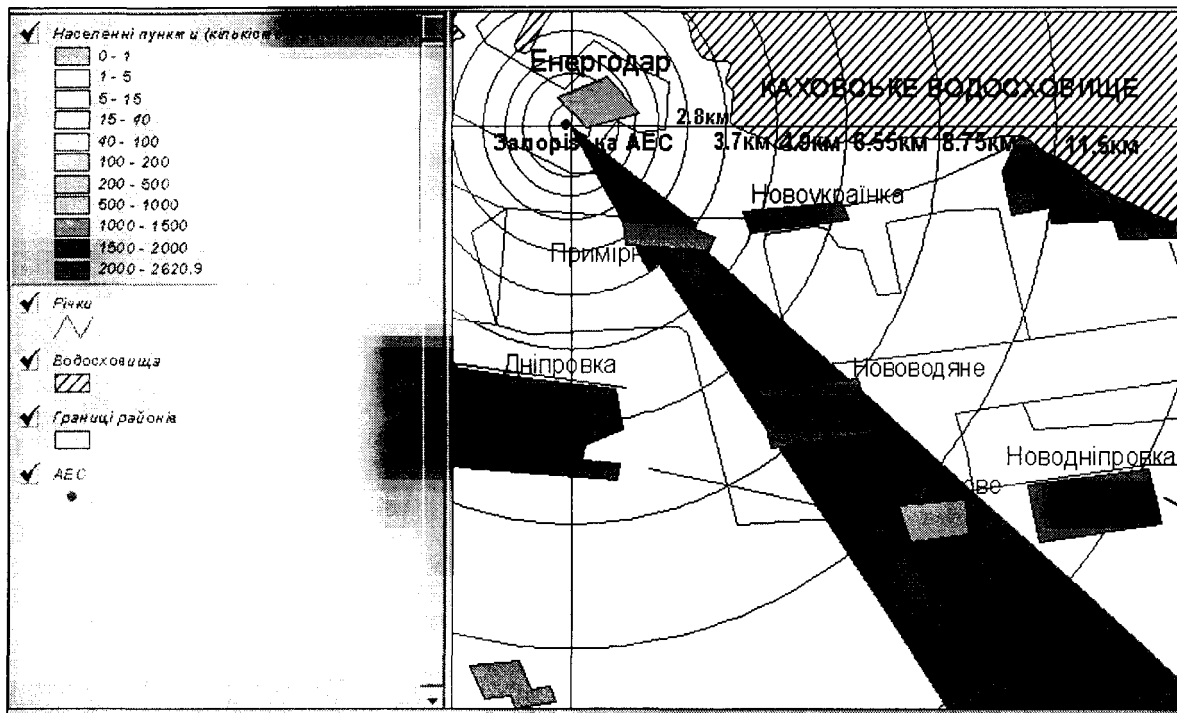


Рис. 6. Прогнозована відвернена доза на щитовидну залозу (Зв) за перші два тижні після аварії (за даними на дев'яту годину)

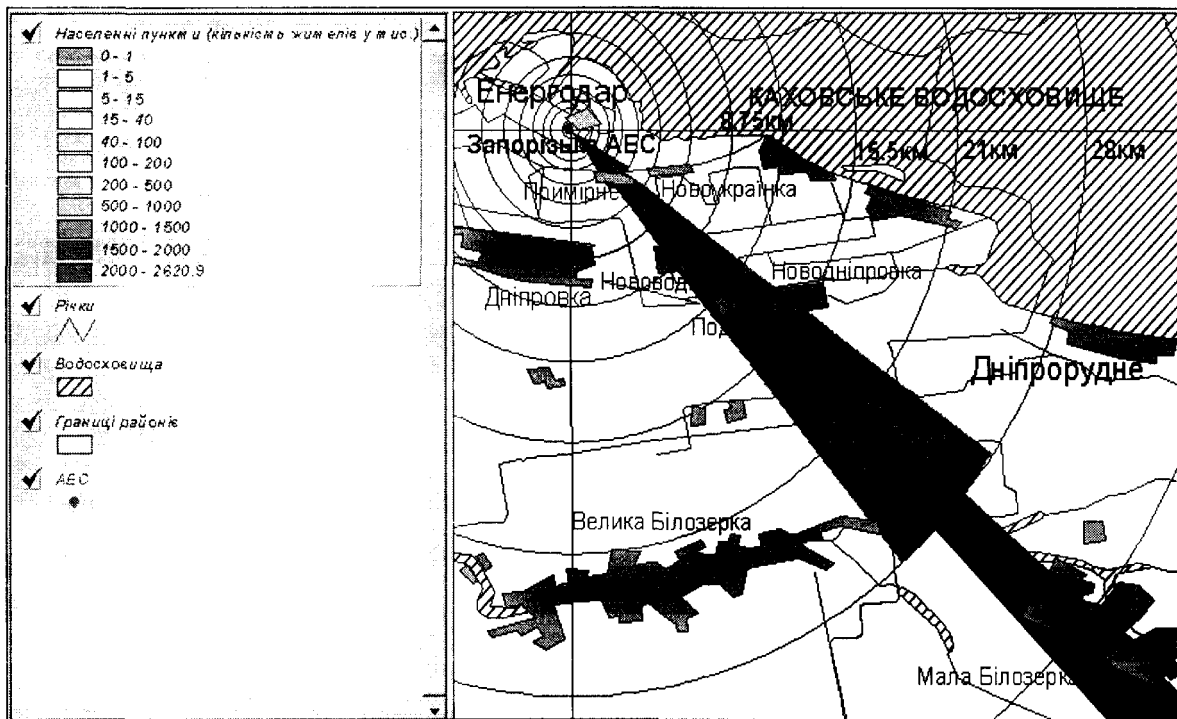
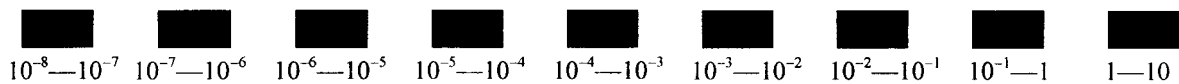
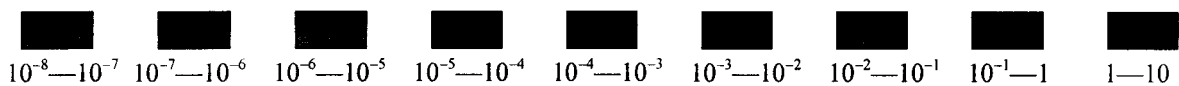


Рис. 7. Прогнозована відвернена ефективна доза (Зв) за перші два тижні після аварії (за даними на чотирнадцяту годину)



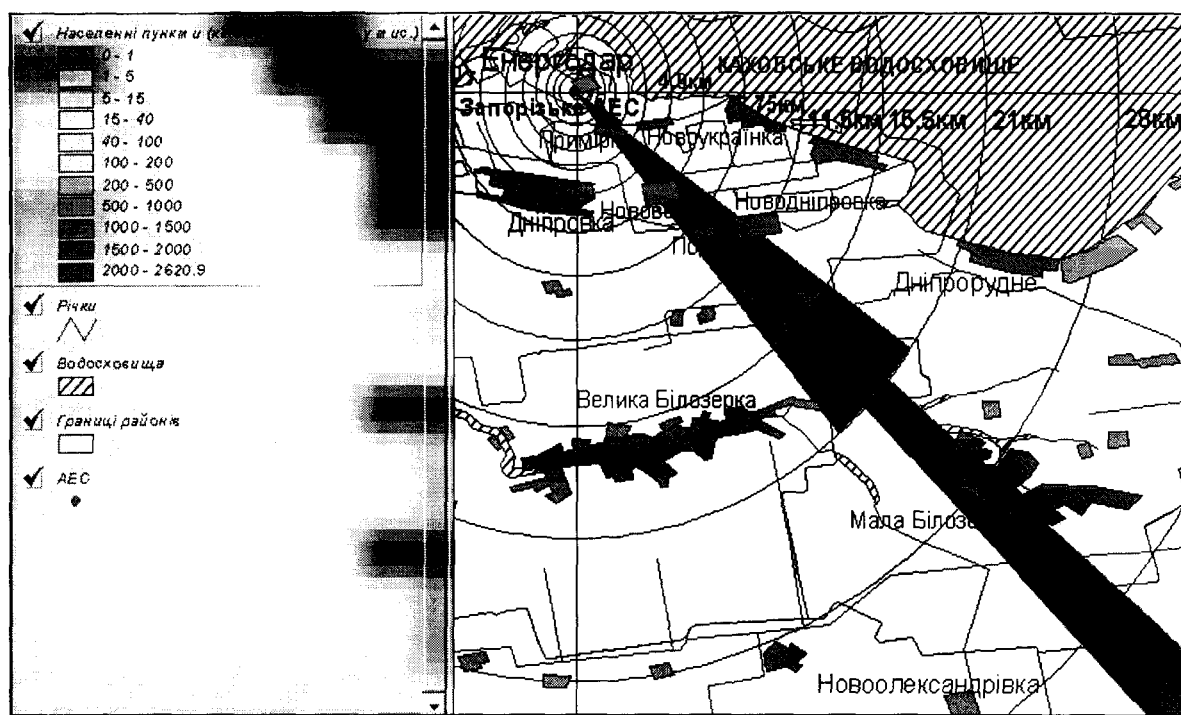
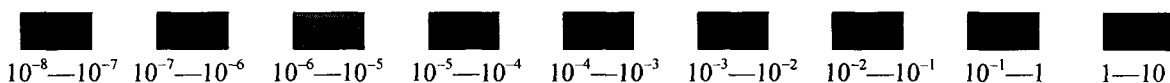


Рис. 8. Прогнозована відвернена доза на щитовидну залозу (Зв) за перші два тижні після аварії (за даними на чотирнадцяту годину)



Таблиця 1

Прогнозована ефективна доза (Е, Зв) та еквівалентна доза на щитовидну залозу (Н, Зв) для мешканців постраждалих населених пунктів

Населений пункт	Е, Зв	Н, Зв	Відстань від АЕС, км
Примірне	8,42E - 01	1,65E + 00	3,0
Нововодяне	8,73E - 02	9,11E - 01	7,6
Подове	6,59E - 02	8,05E - 01	11,4
Новодніпровка	5,50E - 05	7,72E - 04	12,5
Велика Білозерка	3,28E - 06	6,77E - 06	24,4
Мала Білозерка	7,57E - 03	5,63E - 02	31,8

Таблиця 2

Контрзаходи, що повинні застосовуватися залежно від прогнозованих доз опромінення для мешканців постраждалих населених пунктів

Населений пункт	Відстань (км)	Евакуація	Йодна профілактика	Обмеження перебування на відкритому повітрі
Примірне	3,0	+	+	
Нововодяне	7,6	+	+	+
Подове	11,4	+	+	+
Мала Білозерка	31,8		+	+

* — нижні межі виправданості.

Таким чином, даний метод моделювання дозволяє швидко оцінити реальні наслідки ядерної аварії, а найголовніше — сприяти правильному та швидкому застосуванню невідкладних і термінових контрзаходів у перші години після аварії, ефективній взаємодії відповідних державних служб на стадії застосування рішень. Отже, є шанс спрогнозувати можливі наслідки аварії та зменшити дози опромінення населення, уникнувши при цьому зайвих економічних збитків.

У майбутньому передбачається створити аналогічні сценарії можливих ядерних аварій для всіх

АЕС України. Зокрема, ведеться розробка сценарію для Чорнобильської АЕС, який буде використовуватися під час проведення міжнародного українсько-французького навчання по реагуванню на радіологічні та ядерні аварії, де буде розглянуто ситуації, коли внаслідок аварії стався радіоактивний викид, на стадії після випадіння радіоактивних продуктів. Це навчання буде проведено в жовтні 2001 р. з метою перевірити національну та міжнародну аварійну готовність, а також доповнити плани аварійної готовності процедурами та методиками, які будуть перевірені в умовах реального після-аварійного забруднення Чорнобильської території.

1. Пристер Б. С., Лоцилов Н. А., Немец О. Ф., Поярков В. А. Основы сельскохозяйственной радиологии.— К.: Урожай, 1991.
2. Антоненко О. В., Бабич О. А., Байлюк О. О. та ін. Всебічна оцінка ризиків внаслідок аварії на ЧАЕС— К.: УНТІД, УРУЦ, 1998.
3. Симонов И. М., Богоград В. И., Никонов Д. А. и др. І ка программного комплексу расчетных методов \ для оперативной оценки и прогноза аварийных \ рных воздействий и выработки рекомендаций по сї их на основе адаптации и модификации европейск мы реального времени "РОДОС-К". — Отчет о НИ]

Volkovich S. V., Dybchac S. V., Franchyc O. V.

**USE OF-INFORMATIVE SYSTES FOR SIMULATIONG
HYPOTHETICAL FAULTS ON A NUCLEAR POWER
STATION**

The system for support of making decisions for operative reacting on hypothetical faults on nuclear power station (of the Zaporizka station is used as an example) is described. An example of scenario is given.