

УДК 528.9

С.Я. МАЙСТРЕНКО\*, І.В. КОВАЛЕЦЬ\*, В.П. БЕСПАЛОВ\*, Т.О. ЗАГРЕБА\*,  
К.В. ХУРЦИЛАВА\***ПРОТОТИПНА ВЕРСІЯ СИСТЕМИ «ПОВІТРЯ» ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЗОН  
УРАЖЕНЬ ВНАСЛІДОК ВИКИДІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРУ  
НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СКРИНІНГОВИХ МОДЕЛЕЙ ТА  
WEB-ТЕХНОЛОГІЙ**

\*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ, Україна

***Анотація.** У представленій роботі було автоматизовано розрахунки зон уражень внаслідок викидів небезпечних речовин у повітряне середовище, що виконуються із використанням скринінгових моделей у пілотній версії програмно-моделюючої системи оперативного прогнозу та аналізу забруднення повітряного середовища України. Програмна реалізація системи здійснена з використанням сучасних web-технологій, що забезпечують такі важливі властивості сучасних інформаційних систем, як розподіленість та мультиплатформеність.*

***Ключові слова:** скринінгові моделі, прогнозування, викиди небезпечних речовин, web-технології.*

***Аннотация.** В представленной работе автоматизированы расчеты зон поражений вследствие выбросов опасных веществ в воздушную среду, выполняемые с использованием скрининговых моделей в пилотной версии программно-моделирующей системы оперативного прогноза и анализа загрязнения воздушной среды Украины. Программная реализация системы осуществлена с использованием современных web-технологий, обеспечивающих такие важные свойства современных информационных систем, как распределенность и мультиплатформенность.*

***Ключевые слова:** скрининговые модели, прогнозирование, выбросы опасных веществ, web-технологии.*

***Abstract.** In the work the calculations of affected areas following the discharges of dangerous substances in air using screening models were automated in a pilot version of the software and simulation system of operational air pollution forecasting in Ukraine. Software implementation is performed using modern web-based technologies that provide such important features as distributivity and multiplatform operation.*

***Keywords:** screening models, forecasting, hazardous emissions, web-technologies.*

**1. Вступ**

Економічна, суспільно-політична ситуація в Україні та військові дії у регіонах розташування техногенно-небезпечних виробництв і транспортної інфраструктури підвищує небезпеку виникнення екологічних катастроф техногенного характеру, результатом яких можуть бути викиди небезпечних речовин у повітряне середовище України. Водночас, в Україні практично не існує ефективної комплексної міжвідомчої оперативної системи прогнозування наслідків та реагування на такі катастрофи. Винятком є тільки атомні електростанції, для яких в Україні в рамках проектів технічної допомоги Євросоюзу впроваджена система у декількох відомствах Євросоюзу реагування на радіаційні аварії РОДОС [1, 2]. Методики [3, 4], рекомендовані в Україні для використання при аваріях на хімічних виробництвах, базуються на надзвичайно спрощених («скринінгових») моделях атмосферного перенесення гаусового типу. Але у Державній службі з надзвичайних ситуацій навіть скринінгові методики не впроваджені в автоматизованому програмному комплексі. Отже, метою даної роботи є автоматизація розрахунків за скринінговими методиками у програм-

но-моделюючій системі оперативного прогнозу та аналізу забруднення повітряного середовища України (пілотна версія системи «Повітря»). Програмна реалізація системи здійснюється з використанням сучасних web-технологій, що забезпечують такі важливі властивості сучасних інформаційних систем, як розподіленість та мультиплатформеність [5]. Оскільки у випадку довготривалих викидів (кілька годин) оцінка зон уражень вимагає використання сучасних складних моделей атмосферного перенесення, що розраховують зони ураження із урахуванням даних чисельного прогнозу погоди та нестационарного, просторово-розподіленого характеру метеорологічних полів (як це зроблено у модулі атмосферного перенесення системи РОДОС [6]), у подальшому планується інтеграція сучасних моделей атмосферного перенесення у системі «Повітря».

## 2. Функціональні можливості системи «Повітря»

Система «Повітря» базується на реалізації двох методик:

– «Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті» (Методика МНС, зареєстрована в Міністерстві юстиції України 10 квітня 2001р. за № 326/5517);

– «Методика выявления и оценки химической обстановки при разрушении (аварии) объектов, содержащих сильнодействующие ядовитые вещества», М., 1989 (Методика МО, надана ІПММС НАНУ Управлінням РХБЗ МО).

Дані методики мають певні розбіжності як щодо виду прогнозування, вхідної інформації та базових табличних даних, необхідних для виконання розрахунків, так і набору отриманих вихідних результатів.

Найбільш вагомими опціями вибору варіанта прогнозування можна назвати такі.

Вид прогнозування:

– аварійне (методики МНС та МО), що виконується безпосередньо після виникнення аварії. Для методики МО передбачено два види розрахунків: табличний, що базується на основі даних таблиць методики, та аналітичний, що виконується на основі аналітичних формул;

– довгострокове прогнозування (методика МНС), що здійснюється заздалегідь для визначення можливих наслідків аварії.

### *Вид хімічно небезпечної речовини (ХНР)*

Так, методика МНС дозволяє виконувати розрахунки для 28 хімічно небезпечних речовин, серед яких 8 – основних: хлор, аміак, сірчаний ангідрид, сірководень, сірковуглець, соляна кислота, хлорпікрин, формальдегід та 20 – додаткових: анілін, вініл хлористий, водень фтористий, водень ціаністий, дивініл, диметиламін, етилен, хлорангідрид, етилмеркаптан, етилхлорангідрид, метиламін, метил хлористий, нітрил акрилової кислоти, нітробензол, оксид етілену, окис азоту, олеум, стирол, тетраетилсвинець, фурфурол.

Методика МО розрахована на виконання розрахунків для 18 ХНР: хлор, діоксин, аміл, азотна кислота, гептіл, гідразин, аміак, дихлоретан, оксид вуглецю, оксид етілену, акрілонітріл, сірчаний ангідрид (двоокис сірки), сірковуглець, тетраетилсвинець, фосген, водень фтористий (плавикова кислота), хлорпікрин, водень ціаністий (синільна кислота).

Слід зауважити, що для таких речовин, як хлор, аміак, сірчаний ангідрид, сірковуглець, хлорпікрин, водень фтористий, водень ціаністий, оксид етілену, тетраетилсвинець, фосген, можна застосовувати обидві методики.

Крім того, аналітичний вид виконання розрахунків методики МО дозволяє користувачу здійснювати прогноз для хімічно небезпечних речовин, що відсутні у наведеному вище переліку, якщо відомі необхідні фізико-хімічні властивості відповідних ХНР.

### Кількість певного виду ХНР на об'єкті, що зазнав аварії

Для методики МНС максимальна кількість ХНР в ємностях – до 300 тон, для методики МО даний показник визначається конкретним видом ХНР і може бути, наприклад, для хлора – до 16000 т (8 ємностей по 2000 т), а для аміака – до 240 000 т (8 ємностей по 30000 т).

### Результати обчислень

Для методики МНС розраховуються глибина поширення хмари, площа зони можливого хімічного забруднення (ПЗХЗ), площа та ширина прогнозованої зони хімічного забруднення, час випаровування та час підходу хмари ХНР до населеного пункту, прогноз площі забруднення населеного пункту, прогноз втрат населення за кількістю населення в ПЗХЗ, виконується присвоєння ступеня хімічної небезпеки для адміністративно-територіальних одиниць, що потрапили в ПЗХЗ.

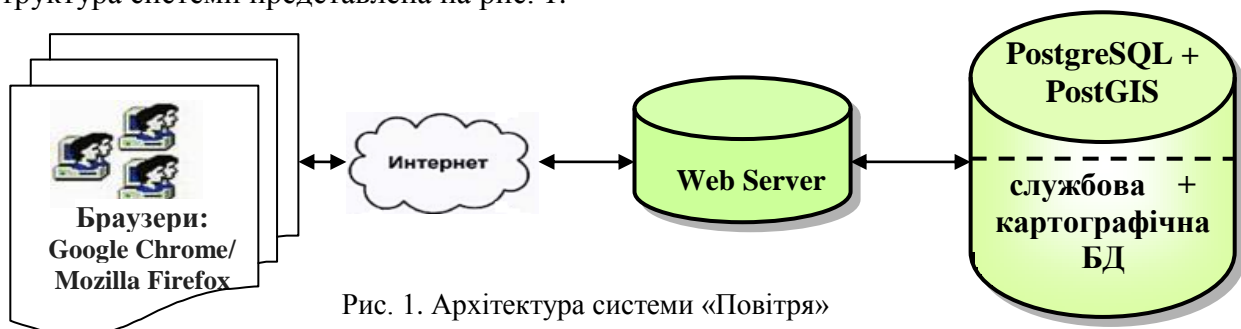
Результатами розрахунків за методикою МО є радіус зони аварії, глибина поширення та площа зони забруднення окремо для первинної та вторинної хмари ХНР, час випаровування ХНР, тривалість хімічного зараження, час підходу хмари ХНР до населеного пункту, прогноз людських втрат на площі розповсюдження ХНР. Крім того, як для первинної, так і для вторинної хмари, розрізняють чотири зони ураження: смертельну, середню, легку та порогову.

У системі «Повітря» виконується візуалізація результатів розрахунків на карті та передбачено створення звіту для кожного виду прогнозу. Стандартними засобами web-браузера сформовані звіти, користувач може роздруковувати та зберігати результати на web-клієнті.

Усі розрахунки зберігаються в системі як для подальшого перегляду, так і для виконання повторних розрахунків на основі попередніх даних з можливістю зміни потрібних показників. У тому числі, є можливість використовувати дані інших видів прогнозу для тих вхідних параметрів, які присутні в обох видах прогнозу: попередньому та поточному. Така функція направлена на зменшення повторних дій користувача при підготовці даних для прогнозування.

### 3. Середовище розробки та архітектура системи

Система «Повітря» реалізована на основі використання WEB-технологій. Схематично структура системи представлена на рис. 1.



Систему розроблено з використанням вільного [7] програмного забезпечення.

Для розробки системи використано такі мови програмування: JavaScript [8] – для створення інтерфейсу Користувача і використання AJAX-підходу до побудови web-застосунків та PHP [9] – для встановлення зв'язку між web-Server'ом та БД.

Як СУБД вибрано PostgreSQL, що є вільною об'єктно-реляційною системою управління базами даних. PostGIS додає додаткову функціональність до СУБД PostgreSQL. А

саме: розширює можливості PostgreSQL з точки зору зберігання просторових даних, запитів до них і управління ними.

Для візуалізації результатів розрахунків та для отримання додаткової інформації в системі створено геоінформаційну компоненту, яка як основу картографічних даних використовує OpenStreetMap [10], що є відкритим проектом зі створення загальнодоступних мап світу. Використання OpenStreetMap дозволяє мати актуальні карти й ефективно з точки зору швидкодії відобразити відповідну інформацію на web-клієнті завдяки тайловому підходу.

Однак для виконання додаткового аналізу, такого, наприклад, як розрахунок часу підходу хмари ХНР, площі забруднення та втрат населення населеного пункту, що потрапив в ПЗХЗ, та інших показників, для визначення яких необхідна просторова інформація, даних OpenStreetMap недостатньо. Для проведення таких розрахунків за методиками МНС та МО необхідні полігональні шари областей, районів, населених пунктів з інформацією про кількість населення та лісових масивів території, для якої виконується прогнозування. Так, полігональний шар населених пунктів OpenStreetMap містить інформацію лише для близько 13000 адміністративно-територіальних одиниць і тільки для деяких з них вказано кількість населення в той час, як в Україні нараховується більше 30000 населених пунктів. Тому для вирішення такої задачі в системі «Повітря» використовуються (наявні в розробників системи) відповідні тематичні шари карти України масштабу 1:200000 в географічній системі координат GCS\_Pulkovo\_1942. Оскільки в OpenStreetMap використовується Світова геодезична система 1984 (WGS-84), для сумісного використання додаткові тематичні шари було переведено до системи координат WGS-84. Слід відзначити, що для запобігання суттєвим спотворенням трансформація виконувалась за 7-ми параметричним перетворенням [11].

Для використання в системі додаткові тематичні шари за допомогою додатку PostGIS розміщено в картографічну БД PostgreSQL. PostGIS дозволяє досить ефективно виконувати просторові запити до БД навіть для досить значних об'ємів просторових даних. Наприклад, для визначення населених пунктів, що потрапили в зону аварії, досить виконати запит:

```
"/sql/postgis_geojson.php?geotable=o4city_r&geomfield=geom", "sql=SELECT  
ST_AsGeoJSON(geom) As geojson, codekoatuu, title, populat FROM o4city_r WHERE  
ST_Overlaps(geom, ST_SetSRID(ST_GeomFromGeoJSON("+current_zone+"), 4326)) Or  
ST_Within(geom, ST_SetSRID(ST_GeomFromGeoJSON("+current_zone+"), 4326)) Or  
ST_Contains(geom, ST_SetSRID(ST_GeomFromGeoJSON("+current_zone+"), 4326)) ORDER  
BY title",
```

де codekoatuu – код адміністративно-територіального устрою України, title – назва населеного пункту, populat – кількість населення, current\_zone – геометричний об'єкт на карті, що визначає конкретну зону аварії.

Для відображення на карті геометричних об'єктів, що створюються на основі розрахункових даних за методиками МНС та МО, таких, як зона можливого хімічного забруднення, прогнозована зона хімічного забруднення, зона аварії, зони забруднення первинної і вторинної хмари ХНР та ін., використовуються JavaScript-бібліотека Leaflet, а для виконання додаткових геометричних операцій типу перетин геометрій – Turf.

#### 4. Приклади розрахунку та візуалізації зон уражень

Наведемо приклади виконання розрахунків за вказаними методиками для одного й того ж хімічно небезпечного об'єкта, вибравши з переліку ХНР, для якої можливе прогнозування за обома методиками. Нехай на об'єкті зберігання хлору з кількістю 300 т, умовно назвемо його ХНО1, трапилась аварія. Зареєструвавшись у системі, вибравши вид прогнозування та ввівши відповідні необхідні параметри, такі, як координати аварії, дані про ХНО (вид, кі-

лькість, тощо), погодні умови, характер місцевості та ін, користувач може отримати прогнозні дані щодо наслідків розповсюдження ХНР. Кількість речовини 300 т (максимальна кількість для методики МНС) вибрано для ілюстрації проведення та надання можливості порівняння результатів розрахунків за обома методиками.

Користувач може задати всі необхідні параметри спочатку (режим «створити новий») або скористатись параметрами попередніх прогнозів (режим «з журналу») та внести необхідні зміни (рис. 2).

Рис. 2. Параметри для прогнозування

Необхідно вказати коротку інформацію про аварію та ХНР (рис. 3):

Рис. 3. Інформація про аварію та ХНР

Для методики МНС та МО (табличний варіант) ХНР вибирається з відповідного переліку. Для методики МО (аналітичний варіант) ХНР вибирається зі стандартного переліку або з переліку ХНР, створеного безпосередньо користувачем (рис. 4).

Рис. 4. Інформація про ХНР (МО аналітичний)

Також необхідна інформація про погодні умови та місцевість (рис. 5).

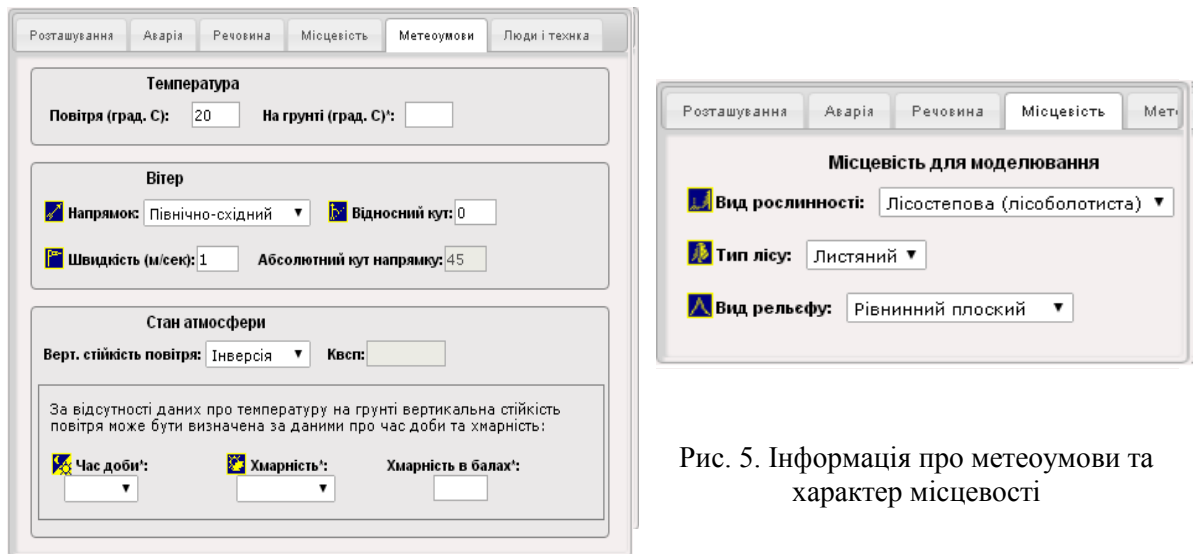


Рис. 5. Інформація про метеоумови та характер місцевості

За необхідності, користувач має можливість змінити параметри відображення на карті, встановлені за замовчуванням (рис. 6).



Рис. 6. Параметри відображення

#### 4.1. За методикою МНС

Результати розрахунків за методикою МНС представлені на рис. 7:

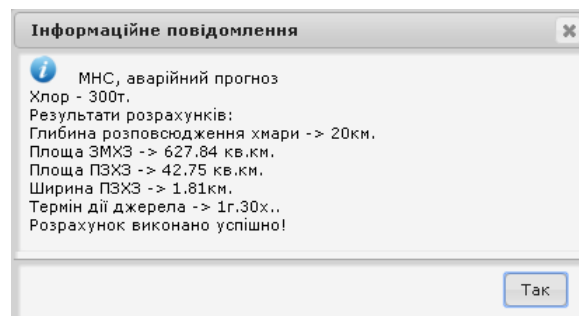


Рис. 7. Результати розрахунків за методикою МНС

Додатково створюється перелік населених пунктів, що потрапили до зони можливого хімічного ураження ЗМХЗ. Для кожного населеного пункту, вибраного Користувачем з

переліку, будується прогнозована зона розповсюдження ХНР у межах даного пункту. Слід зауважити, що відповідно до методики МНС (аварійний вид прогнозу) прогнозування виконується з урахуванням можливих затримок розповсюдження, викликаних забудовою населених пунктів та лісовими масивами, що знаходяться між зоною аварії та конкретним населеним пунктом (рис. 8):

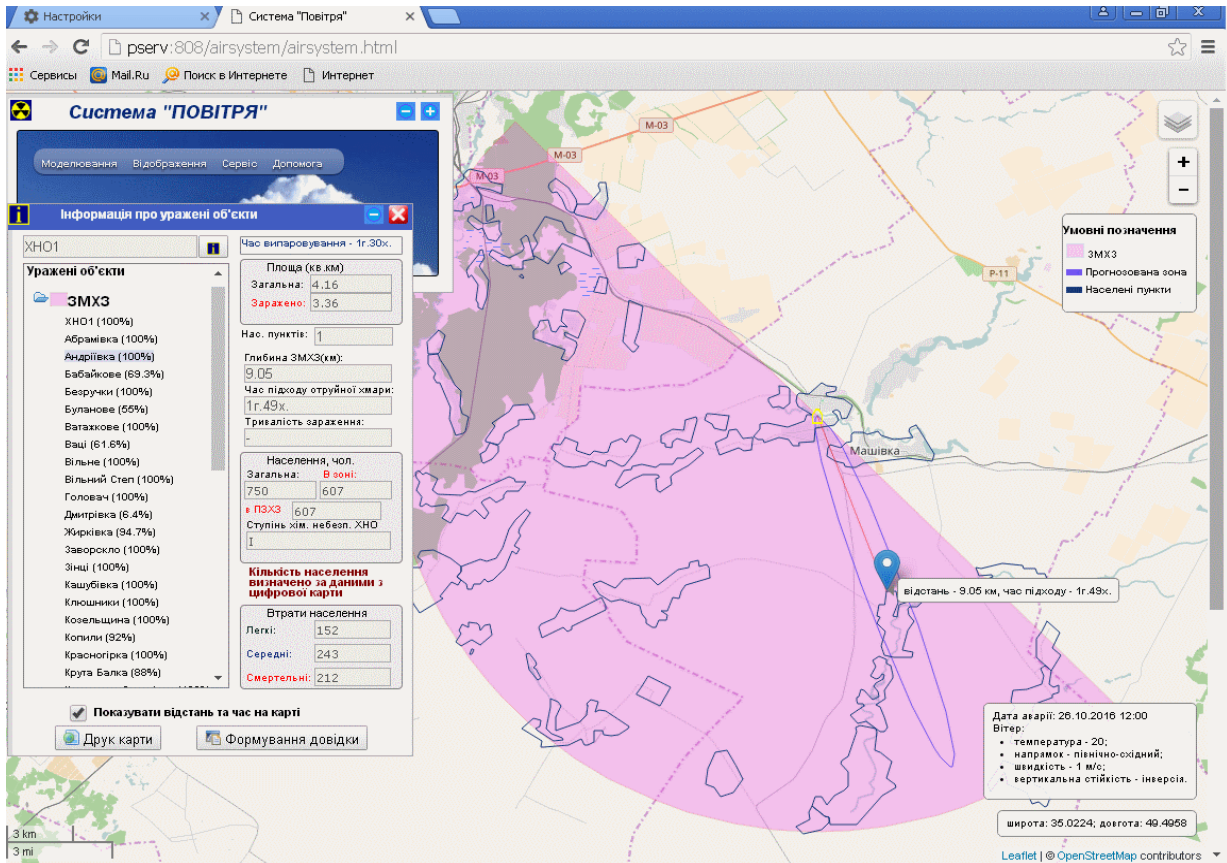


Рис. 8. Методика МНС (аварійне прогнозування)

Для довгострокового прогнозування відсутня інформація про погодні умови, зокрема, про напрямок та швидкість вітру, тому ЗМХЗ має форму круга (рис. 9).

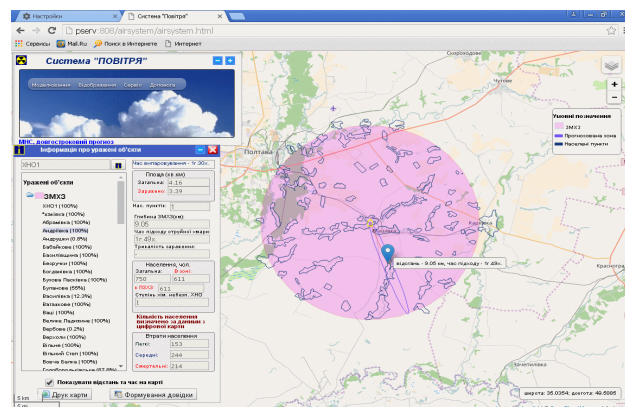


Рис. 9. Методика МНС (довгострокове прогнозування)

#### 4.2. За методикою МО

Результати розрахунків за методикою МО представлені на рис. 10:

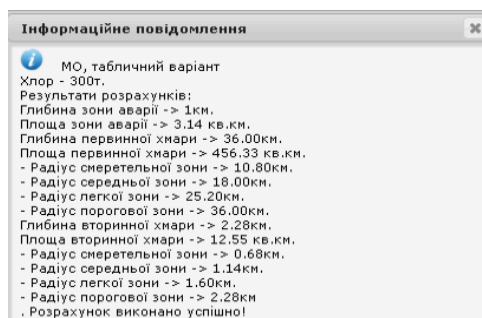


Рис. 10. Результати розрахунків за методикою МО

Аналогічно до методики МНС формується список населених пунктів, що потрапили до первинної/вторинної хмари та зон ураження (смертельної, середньої, легкої та порогової) (рис. 11)).

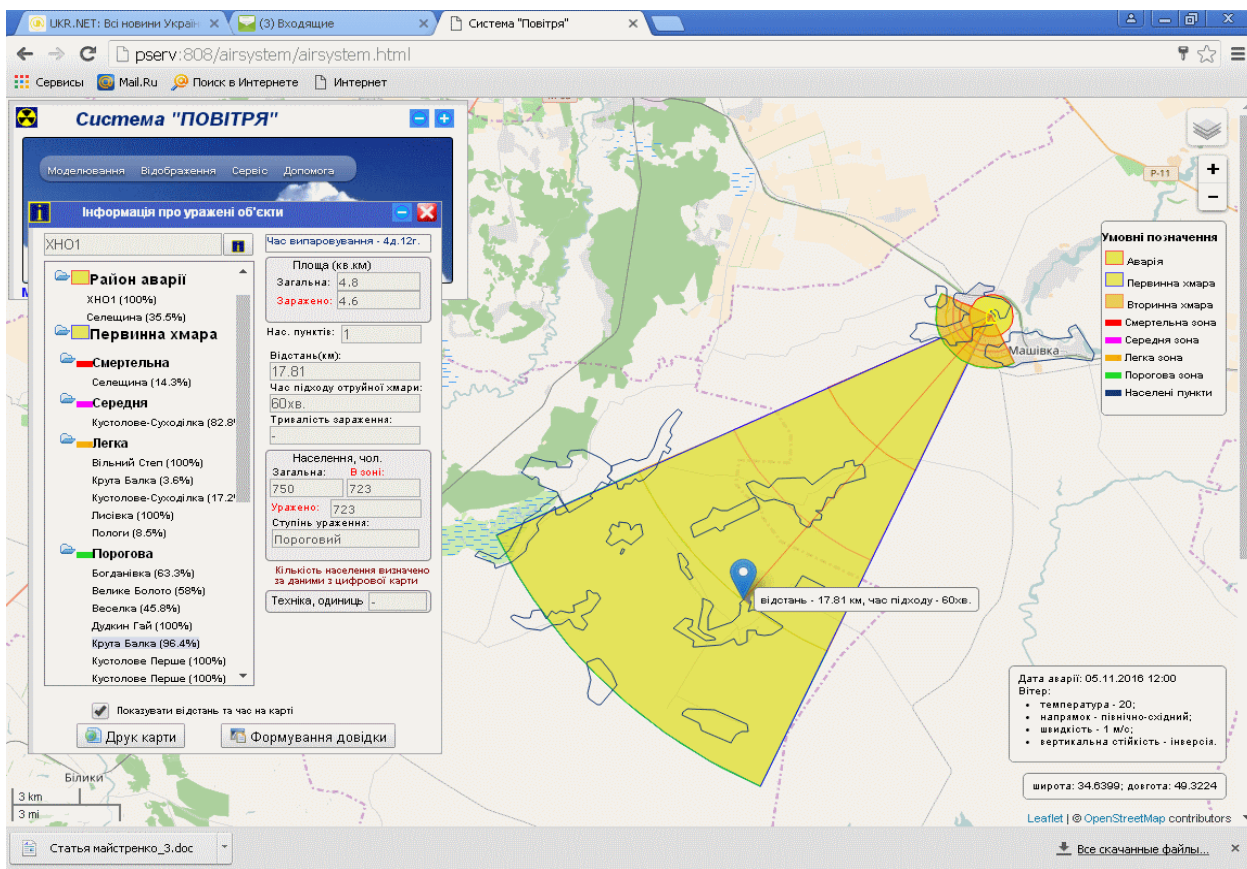


Рис. 11. Методика МО (табличне прогнозування)

Аналітичний вид прогнозування, як правило, доцільно використовувати для ХНР, відсутніх у переліку табличного виду прогнозування, якщо для них наявна вірогідна інформація про фізико-хімічні властивості.

## 5. Висновки

У представлений роботі було автоматизовано розрахунки зон уражень внаслідок викидів небезпечних речовин у повітряне середовище, що виконуються із використанням скринінгових методик у пілотній версії програмно-модельючої системи оперативного прогнозу та аналізу забруднення повітряного середовища України (система «Повітря»).



Програмна реалізація системи здійснена з використанням сучасних web-технологій, що забезпечують такі важливі властивості сучасних інформаційних систем, як розподіленість та мультиплатформеність. Використання web-технологій при реалізації прототипної версії системи «Повітря» дозволяє проводити розрахунки зон уражень внаслідок викидів в атмосферу небезпечних речовин, що спричинені техногенними аваріями, зареєстрованими віддаленим користувачем. Розробка системи з використанням вільного програмного забезпечення дозволяє відмовитись від значних затрат на закупівлю дорогого ПЗ. Візуалізація результатів розрахунків за допомогою сумісного використання OpenStreetMap та PostGIS забезпечує прийнятне як з точки зору відклику системи, так і можливості отримання додаткових даних для проведення аналізу, таких, наприклад, як проценти потрапляння конкретного населеного пункту у відповідну зону ураження та можливих втрат населення. Реалізація алгоритмів розрахунків за двома рекомендованими методиками надає можливість вибору варіанта, що найбільш підходить для розв'язку конкретної задачі.

Подальший розвиток системи «Повітря» можливий у доповненні створених розрахункових модулів підключенням сучасних моделей атмосферного розповсюдження для виконання аварійного прогнозування на період понад декілька годин з використанням системи прогнозування метеорологічних умов WRF-Україна [12].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. У ДСНС відбулася презентація системи «РОДОС-Україна» [Електронний ресурс] // Урядовий портал. – 2016. – 30 червня. – Режим доступу: [http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art\\_id=249152554&cat\\_id=244277212](http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=249152554&cat_id=244277212).
3. Міністерство НС. Методика прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 квітня 2001р. за № 326/5517.
4. МО СССР. Управление химических войск. Методика выявления и оценки химической обстановки при разрушении (аварии) объектов, содержащих сильнодействующие ядовитые вещества. – М., 1989.
5. RODOS reengineering: aims and implementation details / Ie. Ievdin, D. Trybushnyi, M. Zheleznyak [et al.] // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45, N 5. – P. 181 – 189.
6. RODOS meteorological pre-processor and atmospheric dispersion model DIPCOT: a model suite for radionuclides dispersion in complex terrain / S. Andronopoulos, E. Davakis, J.G. Bartzis [et al.] // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45, N 5. – P. 77 – 84.
7. Вільне програмне забезпечення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Вільне\\_програмне\\_забезпечення](https://uk.wikipedia.org/wiki/Вільне_програмне_забезпечення).
8. JavaScript [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/JavaScript>.
9. PHP [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/PHP>.
10. OpenStreetMap [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap>.
11. Переход от одной системы координат к другой – наборы параметров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/datum-transform-sets.html>.
12. Халченков А.В. Адаптація метеорологічної моделі WRF для прогнозування полів вітру навколо Рівненської АЕС / А.В. Халченков, І.В. Ковалець, О.М. Романенко // Математичні машини і системи. – 2015. – № 1. – С. 130 – 138.

*Стаття надійшла до редакції 03.11.2016*