

УДК 551.551.8; 551.556.4

***В.І. Осадчий, В.М. Волощук, В.А. Прусов, І.В. Будає,
В.М. Шпиг, О.А. Кривобок, О.Я. Скриник***

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО РЕАГУВАННЯ НА АВАРІЙНІ ВИКИДИ ШКІДЛИВИХ ДОМІШОК В АТМОСФЕРУ

Обґрунтовано основні ідеї щодо структури, функціональних особливостей та алгоритму роботи Системи оперативного реагування на локальне забруднення атмосфери шкідливими (токсичними для людей, фауни та флори) газо-аерозольними домішками під час техногенних аварій на промислових об'єктах або в результаті природних (стихійних) катастроф. Це роздуми колективу співробітників Українського гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ) Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України) та Національної академії наук України (НАНУ), які мають досвід роботи в галузях моделювання глобальних та регіональних атмосферних процесів, дослідження процесів фізико-хімічної трансформації атмосферних газо-аерозольних домішок, моделювання переносу та турбулентного розсіювання атмосферних полутантів, дистанційного зондування стану приземної атмосфери. Здійснено аналіз можливостей УкрГМІ для розробки зазначеної Системи.

Ключові слова: техногенні аварії, газо-аерозольні домішки, атмосферне перенесення, атмосферна дифузія, забруднення місцевості, оперативне реагування.

Вступ

Техногенні аварії та надзвичайні ситуації, у результаті яких в атмосферне повітря потрапляють шкідливі (токсичні) газо-аерозольні домішки і які за своїми масштабами та наслідками можна віднести до екологічних катастроф, часто трапляються на території України. Аварія на залізниці в Львівській області (с. Ожидів, червень 2007 р.) з викидом фосфору, пожежа на нафтобазі в Київській області (с. Крячки, червень 2015 р.) з викидом продуктів згоряння бензину та дизельного палива – наймасштабніші з них. Звичайно, аналогічні аварійні ситуації від часу до часу трапляються і в інших державах, зокрема, і з високорозвиненою економікою та налагодженою системою державного управління в сфері профілактики та реагування на надзвичайні ситуації. Проте є низка чинників, які свідчать, що, на жаль, у найближчій перспективі кількість аварійних ситуацій у нашій країні не буде зменшуватись. Насамперед, це «зношеність економіки» та неналагодженість системи контролю на екологічно небезпечних виробництвах.

Очевидно, що надзвичайно важливо проводити профілактичні заходи (зокрема й на державному рівні), які б зменшували кількість аварійних ситуацій. Проте не менш важливим є наявність в органів державної влади певного інструментарію, який би дозволяв адекватно реагувати на надзвичайні ситуації. Мова йде про комплексну інформаційно-аналітичну Систему

оперативного реагування на надзвичайні / аварійні ситуації, основним завданням якої було б фізико-математичне моделювання атмосферного перенесення та дифузії токсичних полутантів із метою оцінки можливих ризиків для населення та навколишнього середовища та вироблення рекомендацій для прийняття рішень.

Дискусії з приводу необхідності створення Системи оперативного реагування в Україні точаться давно, проте, на жаль, її до цього часу не створено. Зазначимо, що такі системи давно функціонують в оперативному режимі в інших країнах.

Мета публікації – представити бачення структури, функціональних можливостей та алгоритму роботи Системи колективом співробітників Українського гідрометеорологічного інституту НАН України та ДСНС України, які мають досвід роботи в галузі моделювання мезомасштабних атмосферних процесів та атмосферної дифузії, атмосферних аерозолів, атмосферної хімії та дистанційного (супутникового) зондування атмосфери нашої планети. Також **метою роботи** є проаналізувати можливості створення Системи в УкрГМІ.

Структура, необхідні функціональні можливості та алгоритм роботи Системи

На нашу думку, Система (в її «ідеальному» варіанті) повинна складатися з таких блоків (рис. 1):

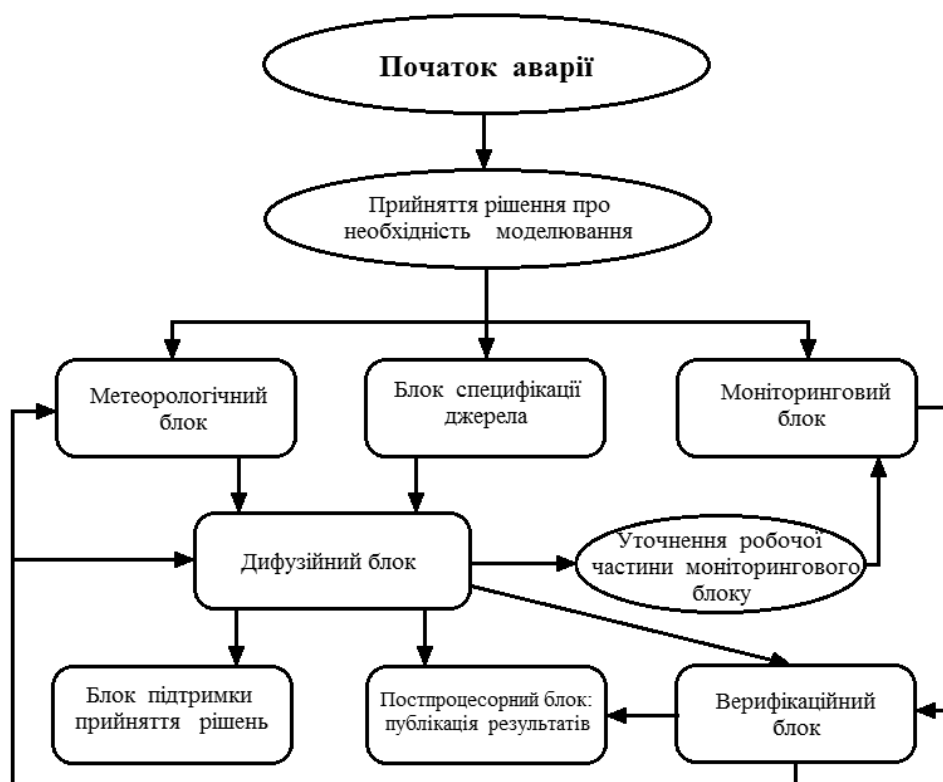


Рис. 1. Основні компоненти Системи оперативного реагування на аварійні викиди токсичних поллютантів у атмосферу та їх взаємодія

- *Метеорологічний блок:* прогнозування метеорологічних умов у межах України та прикордонних територій з достатньою просторовою (як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках) та часовою роздільною здатністю.

Основою блоку може бути мезомасштабна метеорологічна модель з системою асиміляції даних спостережень та вимірювань на регулярній мережі метеостанцій України.

- *Блок специфікації / задання джерела:* оцінка параметрів джерела аварійного викиду шкідливих речовин із розробкою можливих сценаріїв його часової еволюції. Блок повинен містити базу даних основних потенційно небезпечних об'єктів (географічні координати, об'єм / кількість та хімічний склад потенційно небезпечних речовин, що знаходяться на об'єкті) з розробленими сценаріями / моделями часової еволюції аварійної ситуації.

- *Дифузійний блок:* розрахунок регулярного перенесення та атмосферної дифузії забруднювальних речовин. Блок повинен бути здатним розраховувати також сухе осідання та вологе вимивання газо-аерозольних домішок на підстильну поверхню та моделювати дифузію від різних типів геометричної та часової конфігурації джерел (точкові, лінійні, площинні / поверхневі та

об'ємні; миттєві та фінитні – активні протягом певного часового проміжку із постійною чи змінною потужністю). Вхідною метеорологічною інформацією для дифузійного блоку та інформацією про параметри джерела повинні бути результати виконання попередніх блоків.

Основою блоку може бути дифузійна модель (або декілька дифузійних моделей з метою порівняння результатів та можливістю вибору оптимального із них), яка здатна моделювати дифузійні процеси на різних просторових масштабах (з лінійним горизонтальним розміром області моделювання від ~ 10 км (near source diffusion) до 10^3 км (long range diffusion)). Можливе створення ієрархічного дифузійного блоку: залежно від масштабів аварії (потужності джерела чи кількості шкідливих речовин, які потрапили в атмосферу) моделювання проводити на різних просторових масштабах (для різних розрахункових областей та з різною дискретністю розрахункової сітки) та різними дифузійними моделями.

- *Блок підтримки прийняття рішень:* розрахунок існування потенційно небезпечних ситуацій під час аварії, які вимагатимуть прийняття рішень про евакуацію (тимчасове відселення) жителів окремих територій чи вироблення інших рекомендацій. Такі розрахунки мають бути здій-

снені на основі порівняння розрахованого прогнозу приземних концентрацій забруднювальних речовин та гранично допустимих концентрацій (ГДК) хімічних речовин чи аерозольної складової, що моделюються. ГДК мають бути визначені на основі нормативних документів Міністерства охорони здоров'я. Блок повинен містити базу даних ГДК основних хімічно небезпечних речовин, що можуть потрапляти в атмосферу.

- *Моніторинговий та верифікаційний блоки:* проведення натурних вимірів рівня забруднення атмосферного повітря на мережі моніторингових станцій та верифікація результатів розрахунків на їх основі. Доцільно створити (модернізувати) мережу моніторингових станцій, які б під час аварійних ситуацій в реальному режимі часу здійснювали відбір проб складу та концентрації домішок в атмосферному повітрі з достатньою часовою дискретністю (не більше ніж 1 год). У неаварійний час (під час рутинної повсякденної роботи) моніторингові станції можуть проводити виміри значно рідше (доцільно – принаймні двічі на добу) з метою економії коштів. Крім концентрації основних хімічних газових компонент, моніторингові станції повинні бути здатними міряти концентрацію аерозольної компоненти (фракції PM_{2.5}, PM₁₀) та по можливості міряти потоки забруднювальних речовин на підстильній поверхні. Можливе створення невеликої кількості мобільних добре оснащених лабораторій, які б під час аварій проводили виміри в найбільш «важливих» локаціях.

Моніторинговий блок необхідний для постпрогнозного (поставарійного) аналізу результатів розрахунків з метою їх верифікації та подальшого оптимального налаштування контролюючих параметрів метеорологічної та дифузійної моделей чи їх модернізації. Проведення верифікації має бути здійснено на основі кількісних критеріїв (статистичних тестів) відповідно до міжнародновизнаних методик оцінювання дифузійних моделей. Очевидно, що верифікаційний блок може бути створено тільки за наявності моніторингового блоку.

Крім того, результати моніторингового блоку можуть бути використані для уточнення оцінок екологічних наслідків аварії.

- *Блок публікації результатів:* представлення результатів моделювання в «читабельній» формі (у вигляді карт, графіків чи таблиць), яка може бути зрозуміла широкому загалу. Передача інформації зацікавленим організаціям/інституціям.

Алгоритм роботи Системи є простим і зрозумілим (рис. 1). Після прийняття рішення про

необхідність проведення моделювання / прогнозування повинна відбуватися одночасна ініціалізація роботи трьох блоків: метеорологічного, специфікації джерела та моніторингового блоку. На цьому початковому етапі доцільно залучати також і супутникову інформацію (за умови масштабної аварії), яка дозволить оптимізувати початкову роботу моніторингової сітки. Після отримання вхідної метеорологічної інформації та даних про параметри джерела викидів здійснюється ініціалізація роботи дифузійного блоку. Результати отриманого оперативного прогнозу розповсюдження домішок, насамперед, повинні бути використані для розрахунку можливих ризиків для населення (у блоці підтримки прийняття рішень). Крім того, їх доцільно використовувати і для оптимізації робочої частини моніторингової мережі (кількості станцій, які беруть участь в інтенсивних вимірюваннях, локалізації мобільних лабораторій). Далі здійснюється оформлення результатів у «читабельну» форму, їх публікація та передача зацікавленим організаціям. За необхідності (у випадку довготривалої аварії) описані вище кроки/етапи можна повторити з метою уточнення результатів прогнозу. На завершальному етапі здійснюється постпрогнозний (поставарійний) аналіз отриманих результатів, відбувається верифікація результатів моделювання на основі результатів вимірів та можливе коригування контролюючих параметрів метеорологічної та дифузійної моделей чи їх модернізація.

Аналіз можливостей УкрГМІ для створення Системи

- *Метеорологічний блок.* Для наукових цілей в УкрГМІ використовуються чисельні моделі прогнозу погоди, які було розроблено як в Європі (COSMO), так і в США (ETA, WRF ARW та WRF NMM). В оперативному режимі працює низка мезомасштабних атмосферних моделей WRF [21, 22]: WRF ARW v. 2.2.1, WRF ARW/NMM v. 3.3.1. Готуються до впровадження моделі WRF ARW/NMM v. 3.5. Прогнози погоди обчислюються від одного (WRF ARW v. 2.2.1) до чотирьох разів на добу (WRF ARW/NMM v. 3.3.1): 00, 06, 12 та 18 UTC. Кожна з моделей дозволяє здійснювати прогноз метеорологічної ситуації з достатньою для дифузійних задач часовою та просторовою роздільною здатністю, пройшла верифікацію [10, 14, 20, 31] та використовується Українським Гідрометцентром в оперативній роботі. Блок готовий до використання.

- *Блок специфікації/завдання джерела.* Блок потребує повної розробки. Для розробки блоку мають бути залучені спеціалісти/експерти з

атмосферної дифузії, атмосферних аерозолів та атмосферної хімії. В УкрГМІ є наукові співробітники з достатнім рівнем кваліфікації, знань та досвіду роботи у вказаних галузях [2-9, 15-18, 32]. Крім того, необхідне/можливе залучення спеціалістів з фізики горіння та вибуху, які працюють у наукових закладах НАН України відповідного профілю.

- *Дифузійний блок.* Як дифузійну модель можна використати моделювальну систему CALPUFF [29, 30]. CALPUFF – не комерційна лагранжева puff-модель, яка задовольняє всі зазначені вище умови щодо дифузійного блоку. Модель рекомендовано Державним агентством США з охорони навколишнього середовища (US Environmental Protection Agency – EPA) для використання під час оцінювання якості атмосферного повітря як на малих, так і на значних просторових масштабах від джерела забруднень. В УкрГМІ систему використано для моделювання дифузійних процесів після аварії на 4 блоці Чорнобильської АЕС і верифіковано на основі даних про забруднення території України ізотопами Cs-137 [33]. Як альтернативні моделі можна використати: 1) ейлереву модель розповсюдження домішок, створену в УкрГМІ [15, 17, 28]; 2) лагранжеву модель HYSPLIT, яка теж отримала високу оцінку US EPA під час проведення комплексних / порівняльних верифікаційних досліджень дифузійних моделей [23]; 3) WRF-CHEM – дифузійний блок прогностичної моделі WRF.

Детальний опис процесів фізико-хімічної трансформації полютантів у гетерогенних середовищах детально описано в [12, 13, 19].

Блок практично готовий до використання.

- *Блок підтримки прийняття рішень.* Блок потребує повної розробки. Для розробки блоку можливе/необхідне залучення експертів Міністерства охорони здоров'я.

- *Моніторинговий блок.* Організувати мережу моніторингових станцій можна на базі сучасної мережі метеорологічних станцій чи постів спостережень за якістю атмосферного повітря. Необхідно лише вибрати репрезентативну для всієї території України кількість пунктів спостереження і збільшити їхні функціональні можливості до описаних вище потреб. Спеціалісти/експерти УкрГМІ, які мають досвід у проведенні натурних вимірів забруднення атмосферного повітря та підстильної поверхні, можуть бути залучені до створення чи налаштування роботи моніторингової мережі. Зазначимо, що в УкрГМІ існує сертифікована лабораторія моніторингових досліджень.

- *Верифікаційний блок.* Для верифікації ре-

зультатів розрахунків дифузійної моделі доцільно використовувати статистичний підхід [25]. Необхідне програмне забезпечення (коди програм) для розрахунку верифікаційних тестів вже створено та використовується в УкрГМІ. Зазначимо також, що для проведення верифікації у певних випадках можна використовувати і результати дистанційного зондування атмосфери (спутникові знімки). УкрГМІ володіє можливостями отримання супутникової інформації [1, 11, 24] з достатньою часовою дискретністю та просторовою роздільною здатністю.

- *Блок публікації результатів.* Блок не потребує спеціальної розробки. Використання загальноприйнятого (комерційного чи вільнодоступного) програмного забезпечення є цілком достатнім. Необхідно лише узгодити із зацікавленими організаціями перелік матеріалів, які мають бути їм передані.

Висновки

На основі досвіду моделювання розповсюдження продуктів згоряння внаслідок пожежі на нафтобазі у Васильківському районі, ми можемо констатувати, що наявні розрахункові потужності УкрГМІ дозволяють у випадку аварійного викиду отримувати прогноз забруднення атмосферного повітря (для всієї території України – максимальний просторовий масштаб) в межах 6-7 годин від моменту початку аварії (моменту прийняття рішення про початок моделювання/прогнозування). За умови повної готовності другого блоку Системи (блоку задання джерела) час отримання прогнозу можна скоротити до 5-6 годин. Під час моделювання на менших просторових масштабах час розрахунків може скоротитися.

Отже, проведений аналіз технічних можливостей та наукового потенціалу УкрГМІ дозволяє стверджувати, що Систему можна розробити в інституті із залученням експертів / спеціалістів інших наукових закладів НАНУ та МАНУ/Міністерства охорони здоров'я. За необхідного фінансування Систему можна створити за відносно короткий проміжок часу.

* *

1. *Бобришев О.Ю., Кривобок О.А.* Технологія оперативного відновлення профілів температури і вологості по даним супутникових вимірювань // Геополітика і екогеодинаміка регіонів. – 2014. – Т.10. – Вып. 1. – С. 382-385
2. *Волощук В.М.* Введение в гидродинамику грубодисперсных аэрозолей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 208 с.

3. *Волощук В.М., Седунов Ю.С.* Процессы коагуляции в дисперсных системах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 320 с.
4. *Волощук В.М.* Кинетическая теория коагуляции. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 280 с.
5. *Волощук В.М.* Теорія регіонального забруднення приземної атмосфери та місцевості потужним газоаерозольним викидом // Доповіді НАНУ, сер. А. – 1994, № 2. – С. 114-119.
6. *Волощук В.М., Скриник О.Я.* Параметризація турбулентної дифузії газо-аерозольної приміси в атмосфері на основі рівняння Фоккера-Планка // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 7-18.
7. *Волощук В.М., Скриник О.Я., Грицюк Ю.Я.* Механізм формування крупномасштабної «плямовидної» структури забруднення підстильної поверхні потужним газо-аерозольним викидом у нижній частині атмосфери // Доповіді НАНУ. – 2007. – № 4. – С. 115-120.
8. *Волощук В.М., Волощук Я.В.* Параметризація нелокального турбулентного обміну // Доповіді НАНУ. – 2014, № 10. – С. 82-86.
9. *Довгий С.А., Прусов В.А., Копейка О.В.* Использование геоинформационных технологий в системах охраны окружающей среды и исследования природных ресурсов. – К.: Наук. думка, 2000. Т. 4. – 284 с.
10. *Ивус Г.П., Пишняк Д.В., Шпиг В.М.* Оценка восстановления состояния атмосферы при прохождении холодных фронтов в модели WRF ARW // Вісник Одеського державного екологічного ун-ту. – 2010. – Вип. 9. – С. 92-102.
11. *Кривобок О.А.* Новые возможности приема цифровой спутниковой информации через систему EUMETCAST// Укр. гідрометеорологічний журнал. – 2008. – № 3. – С. 25-32.
12. *Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М та ін.* Аналітична хімія поверхневих вод. – К.: Наук. думка, 2007. – 455 с.
13. *Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Линник П.М та ін.* Процеси формування хімічного складу поверхневих вод. – К.: Ніка-Центр, 2013. – 240 с.
14. *Пишняк Д.В., Ивус Г.П., Шпиг В.М., Будак И.В.* Расчет доступной потенциальной энергии на основе данных региональной модели атмосферы WRF-ARW // Укр. гідрометеорологічний журнал. – 2010. – № 6. – С. 130-137.
15. *Прусов В.А., Копейка О.В., Грымов Р.Ю.* Гидродинамическая мезомасштабная модель распространения примеси от мгновенных и стационарных точечных источников выбросов // Проблемы Чернобыльской зоны відчуження. – К., 1998. – С. 98-106.
16. *Прусов В.А.* До питання прогнозування надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру з різною завчасністю // Екологія і ресурси. – 2001. – С. 79-96.
17. *Прусов В.А., Дорошенко А.Ю.* Моделювання природних і техногенних процесів в атмосфері. – К.: Наук. думка, 2006. – 542 с.
18. *Скриник О.Я.* Дифузія атмосферних домішок в ближній зоні від точкового висотного джерела в конвективному граничному шарі // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2009. – Вип. 258. – С. 43-56.
19. *Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М.* Основи гідрохімії, – К.: Ніка-Центр, 2012. – 312 с.
20. *Шпиг В.М., Будак І.В.* Особливості прогнозування сильних опадів в умовах гірської місцевості // Фізична географія та геоморфологія. – 2010. – Вип. 3 (60). – С. 92-99.
21. A description of the Advanced Research WRF Version 2 / [W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia and other] // NCAR TECHNICAL NOTE: NCAR/TN-468+STR. – 2007. – 88 p.
22. A description of the Advanced Research WRF Version 3 / [W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia and other] // NCAR TECHNICAL NOTE: NCAR/TN-475+STR. – 2008. – 113 p.
23. EPA. Documentation of the Evaluation of CALPUFF and Other Long Range Transport Models Using Tracer Field Experiment Data. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, Air Quality Modeling Group, Research Triangle Park, NC, 2012.
24. *Кривобок О.* 2014. EUMETCast stations network as a part of the atmospheric monitoring system in Ukraine. GEO-UA. – Kyiv, 27-29 May 2014.
25. *Mosca S., Graziani G., Klug W., Bellasio R., Bianconi R.* A statistical methodology for the evaluation of long-range dispersion models: an application to the ETEX exercise. Atmospheric Environment – 1998. – 32 (24). – 4307-4324.
26. *Prusov V.A., Grimov R.Y., Kopyiko O.V.* The predication of environmental pollution in the case of accident at atomic power plants or in the field of chemical industry. INAMTAP'96, 1996, p. 52-56
27. *Prusov V., Doroshenko A.* Studying variations of pollution levels in a given region of Ukraine during a long time-period. Systems Analysis Modelling Simulation, Vol. 39 (2002). – P. 297-311.
28. *Prusov V., Doroshenko A.* On efficient numerical solution of one-dimensional convection-diffusion equations in modelling atmospheric processes. International Journal of Environment and Pollution, 2008, vol. 32. – P. 231-249.
29. *Scire J.S., Strimaitis D.G., Yamartino R.J.* A User's Guide for the CALPUFF (Version 5) Dispersion Model. Earth Tech Inc, Concord, MA. 2000.
30. *Scire J.S., Strimaitis D.G., Wu Z.-X., Klausmann A., Popovic E.* Assessment of EPA's ETEX Evaluation Study // 10-th Conference of Air Quality Models, March 14-16, 2012, RTP, North Carolina.
31. *Shpyg V., Budak I.* Evaluation of thermodynamic fields forecast accuracy for different physical schemes in the WRF ARW model // Fifth International Verification Methods Workshop, 1-7 December 2011, CAWCR Technical Report No 046. – Melbourne (Australia), 2011. – P. 66.
32. *Skrynyk O. Y., Chernysh R. I., Hrytsyuk Y.Y.* Formation of a large scale spot-like structure of the total deposition due to a powerful elevated finite source // Advances in Science and Research. – 2010. – V.4. – 37-41.
33. *Skrynyk O.* Modelling of Cs-137 accidental release after Chernobyl over Ukrainian territory by means of CALPUFF // 16th International Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 8-11 September 2014, Riviera Holiday Club, Varna, Bulgaria.

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

В.И. Осадчий, В.М. Волощук, В.А. Прусов, И.В. Будаков,
В.М. Шпиг, А.А. Кривобок, О.Я. Скринник

V.I. Osadchy, V.M. Voloshchuk, V.A. Prusov, I.V. Budakov,
V.M. Shpyg, O.A. Kryvobok, O.Y. Skrynyk

Система оперативного реагування на аварійні виброси шкідливої речовини в атмосфері

Operational emergency response system for accident atmospheric emissions

Обоснованы основные идеи относительно структуры, функциональных особенностей и алгоритма работы Системы оперативного реагирования на локальное загрязнение атмосферы вредной (токсичной для людей, фауны и флоры) газо-аэрозольной примесью при техногенных авариях на промышленных объектах или в результате природных (стихийных) катастроф. Это размышления сотрудников Украинского гидрометеорологического института (УкрГМИ) Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям и Национальной академии наук Украины, которые имеют опыт работы в областях моделирования глобальных и региональных атмосферных процессов, исследования физико-химической трансформации газо-аэрозольной примеси, моделирования переноса и диффузии атмосферных загрязнителей, дистанционного зондирования состояния приземной атмосферы. Проведен анализ возможностей УкрГМИ по созданию указанной Системы.

The article discusses the basic ideas concerning the structure, functionality and algorithm of the operational emergency response system for accident atmospheric emissions (toxic for humans, animals, and plants). The ideas presented here are speculations of a group of experts/scientists from the Ukrainian Hydrometeorological Institute (UHMI) who have rich experience with the modeling of global and regional atmospheric processes, studying physical and chemical transformation of atmospheric pollutants, modeling the transport and dispersion of atmospheric pollutants, and remote sensing of near-surface atmosphere. We have also assessed the capability of UHMI to create such a system.

Keywords: emergency, atmospheric pollution, contaminations, atmospheric transport and diffusion, emergency operational system.

Ключевые слова: техногенные аварии, газо-аэрозольная примесь, атмосферный перенос, атмосферная диффузия, загрязнение местности, оперативное реагирование.

УДК 551.576

С.К. Кудрявцева, Б.Н. Лёсков

РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧОГО ПРОЕКТУ ЗІ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗИМОВИХ ОПАДІВ В УКРАЇНІ

Узагальнено результати виробничого проекту, метою якого було збільшення кількості зимових опадів на площі 500 тис. га в Дніпропетровській області (1986-1994 рр.). Відносне збільшення опадів на мішені, порівняно з контрольним оточенням, в технологічно краще забезпечених сезонах (1987-1991 рр.) було в межах від 8,0 до 21,0 %. Цей результат отримано в умовах, коли реальна міра використання придатних для впливів ситуацій не перевищувала 30 %. За умови використання всіх ресурсів хмар збільшення сезонної суми опадів може досягти 43-56 % щодо кліматичної норми. Найбільший відсоток годин з придатними для збільшення опадів хмарами був під час переміщення західних (26,8 %), південно-західних і південних (39,7 %) циклонів.

Ключові слова: активні впливи, мішень, літак, реагент, штучне збільшення зимових опадів.

Вступ

Ідея активних впливів на атмосферні процеси виникла давно і причиною цього було бажання людей знайти засоби протидії багатьом стихійним явищам погоди. До таких можна віднести потужні грозові явища і пов'язані з ними гра-

добої, урагани, смерчі, зливи й повені, а також посухи, тривалі тумани тощо.

Науково обґрунтовані методи впливів на атмосферні процеси почали розвиватися в світі після того, коли Вегенер, Бергерон і Фіндайзен показали, що в процесі утворення опадів