

МОДЕЛЬ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТИКИ КОНЦЕНТРАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

УДК 519.6

ГУЧЕК Петро Йосипович

к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету.

Наукові інтереси: математичне моделювання та інформаційні технології в технічних науках, методи та моделі відновлення функцій, наукова візуалізація.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасні вимоги до ліквідації аварії пов'язаної з вилітним (вилітним) небезпечних хімічних речовин (НХР), передбачають 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[1], 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[2].

В умовах надзвичайних ситуацій (НС) 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.

Моніторинг і прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин у повітряному середовищі є актуальними на сьогоднішній день. У першу чергу це відноситься до моделей забруднення атмосфери, де явища

переносу і трансформації забруднюючих речовин відбуваються найбільш динамічно.

Актуальність проблеми також обумовлюється збереженням значної кількості загиблих і постраждалих людей, які можуть опинитися в зоні зараження, а також значними розмірами прямого і непрямого збитку від подій та надзвичайних ситуацій [3-6].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питаннями аналізу, прогнозування надзвичайних ситуацій займаються найбільші закордонні наукові центри (США, Росії, Німеччини, Швейцарії, Австрії, Канади та ін.) і українські наукові центри (Інститути: проблем математичних машин і систем; проблем реєстрації інформації; кібернетики НАН України та ін.). Зараз накопичено досвід наукових досліджень в галузі проектування інформаційно-аналітичних систем, системного аналізу, моделювання і прогнозування природних ситуацій. Аналіз сучасних досліджень в області надзвичайних природних ситуацій показує, що необхідно в дослідженнях використовувати нетрадиційні, нові технології аналізу, моделювання і технології розробки засобів створення спеціальних інформаційно-аналітичних систем.

Математичному моделюванню забруднення атмосферного повітря 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[2-6].

Розробці математичних моделей та інформаційних технологій прогнозування розвитку аварій, що супроводжуються пожежами на різноманітних об'єктах нині приділяється значна увага. Про це свідчать результати наукових досліджень, які описані в роботах Брушлинського М.М., Кимстача І.Ф., Бортнійчука П.М., Ходакова В.Є., Юхимчука С.В. та інших вітчизняних і зарубіжних авторів.

У методі скінченних елементів (МСЕ) важливу роль відіграють скінченні елементи серендипової сім'ї [10]. Для побудови базису скінченного елемента традиційно використовують *матричну процедуру* [10]. *Процедура систематичного генерування базису*, що була запропонована Тейлором у 1972 році, привела до вже відомих стандартних моделей на елементах серендипової сім'ї [15].

У 70-х роках минулого століття завдяки роботам Уачспреса з'явився метод "product of planes" для конструювання базисних функцій СЕ [16]. Але цей метод не застосовувався на серендипових скінченних елементах (ССЕ). На початку 80-х років був запропонований ймовірно-геометричний метод конструювання базисів скінченних елементів різноманітної конфігурації [17]. Переваги цього метода найбільш виразно проявилися саме на серендипових моделях. Для конструювання серендипових елементів використовувався геометричний метод[18]. Нові методи значно спрощують процедуру побудови базису (не виникає потреби розв'язувати СПАР відповідного порядку на елементі) і дозволяють отримати альтернативні моделі ССЕ. Наявність "позавузлових" параметрів у моделях, що отримані за допомогою нових методів, дає можливість позбутися недоліків, які притаманні стандартним моделям (наприклад, від'ємних значень навантажень у вузлах).

Але побудова систем базисних функцій цими методами не дає можливості будувати базиси на ССЕ з наперед заданими характеристиками. Для розв'язання на ССЕ задачі інтерполювання з умовами [19] був запропонований аналітичний метод побудови ієрархічних форм базисних функцій [11].

Мета роботи – дослідження математичних моделей розповсюдження домішок в атмосфері та забруднення атмосферного повітря під час виникнення НС та

побудова скінченно-елементної моделі для експрес-діагностики концентрації небезпечних хімічних речовин.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для моделювання якості атмосферного повітря застосовуються моделі розповсюдження домішок в атмосфері які поділяються на 2 відповідних класи[7]:

- моделі розсіювання домішок в атмосфері;
- моделі забруднення атмосферного повітря.

Для застосування моделей необхідно володіти метеорологічною та географічною інформацією, а також даними про джерела забруднення та викиди.

Моделі розсіювання описують процеси турбулентної дифузії в атмосфері і представляються наступною класифікацією:

1. Ейлерові моделі.
2. Гаусові моделі.
3. Лагранжеві моделі.

Побудова моделей перенесення і розсіювання домішок з використанням Ейлерового підходу основана на знаходженні розв'язку напівемпіричного рівняння турбулентної дифузії. Але необхідно зазначити, що для використання всіх можливостей даного підходу необхідна побудова поля вітру, що здійснюється, або за допомогою створення власної метеорологічної моделі на основі розв'язку рівняння руху з рівняннями нерозривності, що його доповнюють, або за допомогою використання відомих метеорологічних моделей для прогнозу погоди, що суттєво ускладнює задачу моделювання в цілому [8].

Гаусові моделі використовують для визначення локальної дисперсії, і їх аналітичний розв'язок отримано для стаціонарних та нестаціонарних розподілів.

Загальне рівняння Гауса має вигляд [8]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + Q,$$

де: x – просторова координата, відстань від джерела за напрямком вітру;

y – просторова координата, відстань від джерела перпендикулярно напрямку вітру;

z – просторова координата, вертикальна відстань від ґрунту;

K_y, K_z – поширення турбулентності за напрямками осей y та z ;

U – середня швидкість вітру вздовж осі x ;

$C(x, y, z)$ – середня концентрація дисперсної речовини при (x, y, z) точки;

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right],$$

де: H – кінцевий підйом шлейфу над землею (ефективна висота підйому шлейфа);

$$\sigma_y = \sqrt{2K_y \left(\frac{x}{U}\right)}, \quad \sigma_z = \sqrt{2K_z \left(\frac{x}{U}\right)}.$$

Гаусівські моделі з різними способами завдання $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ мають свої назви. Наприклад Пасквіла-Брігса, модель Пасквіла-Гіфорда, формула Сетона. Ці моделі є досить поширеними, вони покладені в основу моделей оцінки якості атмосферного повітря, що використовуються в багатьох європейських країнах[9].

Перевагою використання гаусових моделей є те, що вони прості при реалізації, оскільки одержані аналітичні залежності концентрацій домішок від часу і координат простору, не вимагають великих об'ємів обчислень.

Модель Лагранжа передбачає дисперсію забруднюючої речовини, знаючи зміну базової решітки. Ця зміна базової решітки в цілому залежить від того, що напрямки вітру або вектор поля вітру потрапляє на напрямки забруднюючої хмари. Модель Лагранжа може бути представлена наступним чином [8]:

$$\langle c(r, t) \rangle = \iint_{-\infty}^{\infty} p(r, t | r', t') S(r', t') dr' dt',$$

де: $\langle c(r, t) \rangle$ – середньою концентрацією забруднюючої речовини в місці r і часу t ;

$S(r', t')$ – визначає джерело викиду;

$p(r, t | r', t')$ – функція ймовірності переходу від місця r' і часу t' до місця r і часу t .

Ймовірнісна функція повинна бути визначена як функція повних метеорологічних даних, близьких до джерел газу. Модель Лагранжа описує перенос окремих

Q – потужність джерела викиду.

Інтегруючи за часом концентрацію забруднень, що викидаються з безперервного джерела, можна отримати розподіл концентрації для стаціонарної моделі Гауса[8]:

повітряних потоків з часом під дією атмосферних полів і поширення домішок забруднюючої речовини. Цей підхід дає ефективну в обчислювальному плані систему[8].

До моделей забруднення атмосферного повітря також можна віднести напівемпіричні моделі, що базуються, головним чином, на емпіричній параметризації; стохастичні моделі; рецепторні моделі.

Крім того всі моделі побудовані на основі розглянутих рівнянь класифікуються, відповідно, за масштабами атмосферних процесів, а саме: макромасштаб (більше 1000 км), мезомасштаб (від 1 км до 1000 км), мікромасштабах (менше 1 км).

Необхідно також зазначити, що складні математичні моделі розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері проектується під конкретну задачу і розробляються конкретними організаціями або науково-дослідними інститутами. Найбільш відомими реалізаціями моделей розсіювання газів є методика Світового банку, методики класу HGSYSTEM, методики, створені такими організаціями як TNO (Голландія), Det Norske Veritas (DNV Technica) (Норвегія), U.S. Environmental Protection Agency (EPA - агентство захисту навколишнього середовища США), NIST (Національний інститут стандартів і технологій (США), методики класу DEGADIS[8].

Таким чином, включення математичних моделей розповсюдження шкідливих речовин в атмосфері до єдиного програмного комплексу підтримки прийняття рішень дозволить в повному обсязі оцінити можливу хімічну обстановку при надзвичайній ситуації та оперативно прийняти рішення по захисту населення і території від дій НХР. Однак за браком часу під час виникнення надзвичайної ситуації виникає нагальна потреба

провести експрес-діагностику концентрації НХР як в зоні зараження так і на прилеглих територіях.

В роботі розглядається скінченний елемент серендипової сім'ї з біквадратичною інтерполяцією (рис. 1) [10].

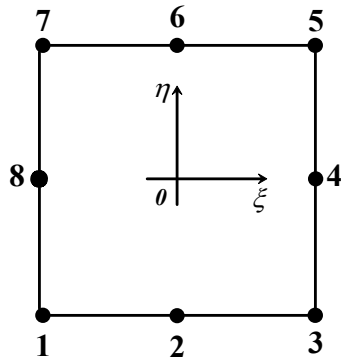


Рисунок 1 – CSE-8 ($|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$)

В аналітичному методі використовується пряме моделювання ієрархічних форм базисних функцій CSE.

$$N_i = \frac{1}{4}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(-1 + \xi_i \xi + \eta_i \eta + K(1 - \xi_i \xi)(1 - \eta_i \eta)) \quad (5)$$

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

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

$$N_i = \frac{1}{2}(1 - \eta)(1 + \xi_i \xi) \left((1 + \eta) - \frac{1}{2} K(1 + \eta)(1 - \xi_i \xi) \right) \quad i = 4, 8; \quad \xi_i = \pm 1 \quad (7)$$

Отримані базисні функції відповідають всім властивостям, які притаманні функціям форми в МСЕ [10, 11].

У [12] авторами була розроблена автоматизована підсистема дослідження моделей скінченних 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.

На відміну від традиційної поелементної процедури метода скінченних елементів у роботі показано, що поле приземної концентрації небезпечної хімічної речовини (рис.1) можна побудувати лише за допомогою одного елемента серендипової сім'ї (експрес-методика), що буває дуже важливо при визначенні

Множину базисів CSE-8 можливо отримати додаванням до поверхні стандартного базису [11]:

$$N_1^{(s)}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta)(-1 - \xi - \eta), \quad (1)$$

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

гіперболічного параболоїда з коефіцієнтом K :

$$N_1 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta)(-1 - \xi - \eta + K(1 + \xi)(1 + \eta)), \quad (3)$$

$$N_2 = \frac{1}{2}(1 - \xi)(1 - \eta) \left((1 + \xi) - \frac{1}{2} K(1 + \xi)(1 + \eta) \right) \quad (4)$$

де $N_1^{(s)}, N_2^{(s)}$ – стандартні базисні функції CSE-8,

N_1, N_2 – модифіковані базисні функції CSE-8.

Запишемо узагальнені формули для побудови альтернативних базисних функцій біквадратичного елемента:

нульового наближення розв'язку задачі, яка досліджується.

Концентрація C в будь-якій внутрішній точці при використанні CSE-8 визначається за допомогою аналітичної залежності:

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

Значення концентрації небезпечної хімічної речовини у вузлових точках C_i можуть бути отримані безпосередньо за допомогою датчиків, наприкладі системи [13]. Датчики розташовуються як на стаціонарних постах збору інформації так і оперативних пересувних лабораторіях, які обладнанні відповідними каналами передачі даних на сервер автоматизованої системи моніторингу.

На стаціонарних постах проходить збір інформації з датчиків газоаналізатора, первина обробка за допомогою концентратора, зберігання в пам'яті та передача при запитах на сервер через GSM/GPRS канал (рис. 2). Комунікаційним каналом «датчики-концентратор» служить RS485, або радіомодуль (RF 2.4 ГГц, IEEE802.15.4).

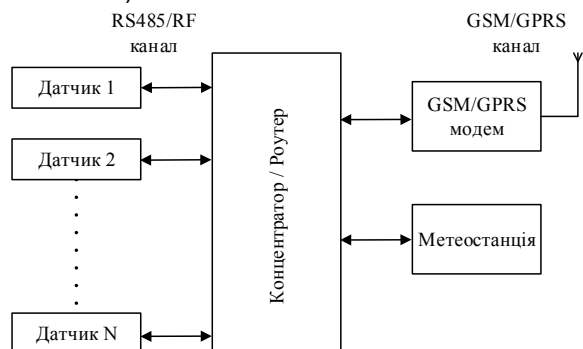


Рисунок 2 – Пост збору та передачі інформації

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(випливу) НХР так і біля соціально-значимих об'єктів з масовим перебуванням людей, дитячих садків, шкіл, лікарень та інших.

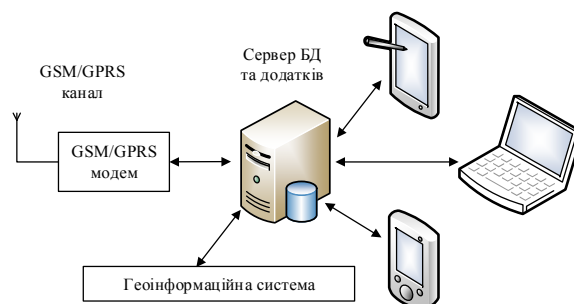


Рисунок 3 – Підсистема обробки та аналіз у інформації

Підсистема обробки та аналізу інформації (рис. 3) 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.

Запропоновані моделі доцільно використовувати в підсистемі моніторингу Системи-112(Рис.4) 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 [14].

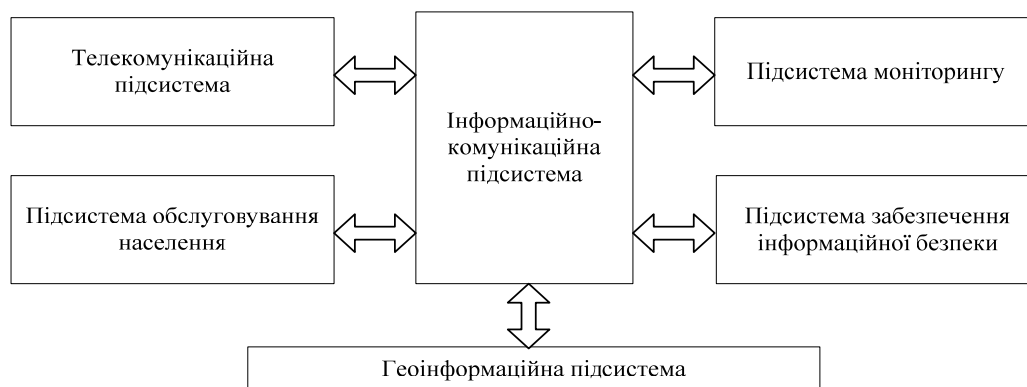


Рисунок 4 – Схема функціональної структури Системи 112

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. Важли-

ве значення при цьому має безперервний моніторинг який дає необхідну інформацію для визначення сил і засобів при ліквідації НС у короткі терміни та з достатньою ефективністю.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз математичних моделей розповсюдження домішок в атмосфері та розглянуто скінченно-елементну модель для експрес-діагностики концентрації небезпечних хімічних речовин під час викиду(вилу) внаслідок надзвичайної ситуації. Пропонується розробка автоматизованої підсистеми без-

перервного моніторингу та прогнозування зони поширення небезпечних речовин.

Перспективним є подальше дослідження використовуючи різноманітні моделі та їх порівняльна характеристика для даного класу задач, а також зв'язок автоматизованої підсистеми з геоінформаційною системою, яка інтегрує різноманітні платформи та створює єдиний інформаційний простір.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Metodyka prohnozuvannya naslidkiv vylyvu (vykydu) nebezpechnykh khimichnykh rečovyn pry avariakh na promyslovykh ob'yektakh i transporti (zatverdzhena spil'nym nakazom MNS Ukrainy, Ministerstva ahraryoi polityky, Ministerstva ekonomiky, Ministerstva ekolohiyi i pryrodnykh resursiv vid 27.03.2001 N 73/82/64/122). – Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0326-01>
2. Guček P.Y. Analiz matematychnykh modeley dlya otsinky ta prohnozuvannya khimichnoy obstanovky vnaslidok nadzvychaynykh sytuatsiy /P.Y. Guček //Nadzvychayni sytuatsiyi: bezpeka ta zakhyst NSBZ-2015: materialy mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi, m. Cherkasy, 09-10 zhovtnya 2015 r. – Cherkasy: ChIPB imeni Heroyiv Chornobylia NUTsZ Ukrainy, 2015. – S.503-506.
3. Guček P.Y. Avtomatyzatsiya monitorynhu ta prohnozuvannya rozpovsyudzhennya nebezpechnykh khimichnykh rečovyn vnaslidok nadzvychaynykh situatsiy /P.Y. Guček //Informatsiyi tekhnolohiyi ta komp'yuterna inzheneriya: materialy V mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi, m. Ivano-Frankivs'k – Vorokhta – Vinnytsya, 27-29 travnya 2015 r. – Ivano-Frankivs'k: PNU, 2015. – S.25-27.
4. Natsional'na dopovid' pro stan tekhnohennoyi ta pryrodnoyi bezpeky v Ukraini u 2014 rotsi [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://www.mns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf
5. Marchuk G.I. Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushey sredy /G.I. Marchuk. – M.: Nauka, 1982. – 320 s.
6. Berlyand M.E. Sovremennyye problemy atmosfery diffuzii zagryazneniya atmosfery /M.E. Berlyand. – L.: Gidrometeoizdat, 1975. – 448 s.
7. Zenkevich O. Metod konechnykh elementov v tekhnike /O. Zenkevich. – M.: Myr, 1975. – 541 s.
8. 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.
9. Wachspress E.I. A rational finite element basis /E.I. Wachspress. – Academic Press. – New York, 1975. – 344 p.
10. Homchenko A.N. O veroyatnostnom postroenii bazisnykh funktsiy MKE /A.N. Homchenko //Ivano-Frankovs. in-t nefti i gaza. – Ivano-Frankovsk, 1982. – 5 s. – Dep. v VINITI 21.10.1982, №5264.
11. Homchenko A.N. Geometriya serendipoviykh aproksimatsiy /A.N. Homchenko, E.I. Litvinenko, P.Y. Guček //Prikl. geom. i inzh. grafika. – K.: Budivel'nyk, 1996. – Vyp. 59. – S.40-42.
12. Popov B.A. Priblizhenie funktsiy dlya tehnycheskikh prilozheniy /B.A. Popov, G.S. Tesler. — K.: Naukova dumka, 1980. – 352 s.
13. Homchenko A.N. Novyyiy podhod k postroeniyu bazisov serendipoviykh elementov /A.N. Homchenko, E.I. Litvinenko, I.A. Astionenko //Geometrichne ta komp'yuterne modelyuvannya. – 2009. – Vip. 23. – S.90-95.
14. Zannetti P. Numerical simulation modelling of air pollution: an overview. Air pollution Southampton, Computational Mechanics Publications, 1993, pp.3-14.
15. Babkov V.S. Analiz matematicheskikh modeley rasprostraneniya primesey ot tochechnykh istochnikov /V.S. Babkov, T.Yu. Tkachenko //Naukovi pratsi DonNTU. Seriya «Informatyka, kibernetyka ta obchyslyval'na tekhnika», vypusk 13 (185), 2011. – S.147-155.
16. Air dispersion model's catalogue. Database of European Topic Centre on Air and Climate Change. Режим доступа: <http://pandora.meng.auth.gr>.
17. Astionenko I.A. Avtomatizirovannaya podsistema issledovaniya modeley konechnykh elementov /I.A. Astionenko, P.Y. Guček, E.I. Litvinenko //Problemy informatsiynykh tekhnolohiy. – 2014. – №1 (015). – S.222-228.
18. Goryunkova A.A. Osnovnyie elementy avtomatizirovannoy sistemy monitoringa vozduha krupnykh promyshlennykh gorodov //Ekologicheskie sistemy i pribory. – 2011. – №12. – S.54-57.
19. Guček P.Y. Informatsiyi tekhnolohiyi ta orhanizatsiyi modeli obrobky vyklykiv «Systemy-112» /P.Y. Guček //Problemy informatsiynykh tekhnolohiy. – 2015. – №1. – S.160-165.

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Хомченко А.Н.,
Чорноморський державний університет ім. Петра Могили.