

МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕНOSTІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ЗОНАХ РИЗИКУ МЕГАПОЛІСІВ

В. М. Ісаєнко, К. О. Бабікова, Т. В. Михалевська

Національний авіаційний університет
проспект Комарова 1, м. Київ, 03058, Україна.
E-mail: babikova.kateryna@gmail.com

Л. В. Береза-Кіндзерська

Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01033, Україна.

Робота присвячена удосконаленню методів моніторингу стану атмосферного повітря мегаполісів у зонах підвищеного ризику його забруднення. У роботі обґрунтовано необхідність покращення наявних експрес методів моніторингу з метою запобігання виникнення шкідливих для здоров'я людей викидів забруднюючих речовин у повітря міських зон зі щільною житловою забудовою. Запропоновано просторове чисельне експрес-моделювання розповсюдження атмосферного забруднення складовими димових газів від стаціонарних джерел. Детально розглянуто моделювання розповсюдження викидів від сміттєспалювальних заводів. Розроблені моделі відповідають екологічному законодавству України та можуть бути використані в інформаційному забезпеченні моніторингу за допомогою еко-дронів. Розробка може бути використана для прогнозування виникнення ризикованих екологічних ситуацій і оптимального керування технологічними процесами підприємств з метою попередження викидів з перевищенням гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин.

Ключові слова: екологічні ризики, токсичні викиди, розповсюдження хмари забруднення, моделювання.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ЗОНАХ РИСКА МЕГАПОЛИСОВ

В. М. Исаенко, Е. А. Бабикова, Т. В. Михалевская

Национальный авиационный университет
проспект Комарова 1, г. Киев, 03058, Украина.
E-mail: babikova.kateryna@gmail.com

Л. В. Береза-Киндзерская

Национальный университет пищевых технологий
ул. Владимирская, 68, г. Киев, 01033, Украина.

Работа посвящена усовершенствованию методов мониторинга состояния атмосферного воздуха мегаполисов в зонах повышенного риска его загрязнения. В работе обоснована необходимость улучшения имеющихся экспресс методов мониторинга с целью предотвращения возникновения вредных для здоровья людей выбросов загрязняющих веществ в воздух городских зон с плотной жилой застройкой. Предложено пространственное численное экспресс-моделирование распространения атмосферного загрязнения составляющими дымовых газов от стационарных источников. Детально рассмотрено моделирование распространения выбросов мусоросжигательных заводов. Разработанные модели соответствуют экологическому законодательству Украины и могут быть использованы в информационном обеспечении мониторинга с помощью эко-дронов. Разработка может быть использована для прогнозирования возникновения рискованных экологических ситуаций и оптимального управления технологическими процессами предприятий с целью предупреждения выбросов с превышением предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ.

Ключевые слова: экологические риски, токсичные выбросы, распространения облака загрязнения, моделирование.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Одними із найшкідливіших джерел забруднення атмосфери мегаполісів та навколишнього середовища є сміттєспалювальні заводи (ССЗ). При спалюванні сміття утворюються високотоксичні викиди, що містять більш ніж 400 шкідливих хімічних сполук [1]. Такі промислові підприємства несуть небезпеку для здоров'я жителів, що мешкають поруч і де спостерігаються найбільш високі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі, котрі значно перевищують гранично допустимі концентрації. Тому моделювання та прогнозування стану атмосфери поблизу ССЗ, що розташовані поблизу житлової забудови є невідкладним

питанням забезпечення гідних екологічних умов проживання людей у мегаполісах[2,3].

Дослідження забруднення територій навколо ССЗ, що проводилися в США, Японії та Європі, показали суттєві перевищення ГДК забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. В Японії, де ССЗ вважаються одними з найкращих, поблизу від заводів були виявлені зони з показниками смертності від ракових захворювань, які більш, ніж вдвоє перевищують середні показники по регіону [1].

В Україні сміттєспалювальні заводи діють у Києві, Харкові, Дніпрі та інших містах. Важливим недоліком існуючої технології на ССЗ України є те, що попереднє сортування сміття на цих заводах не

передбачається. Дослідження діяльності ССЗ підтверджують небезпечні факти про те, що внаслідок спалювання пластмас та деяких видів паперу утворюються нові шкідливі хімічні речовини – діоксини, діоксиди і фурани, які з викидами надходять у повітряний басейн [1-3]. Небезпечним явищем також є присутність зольних домішок у викидах ССЗ, оскільки вони містять важкі метали. Окрім твердих відходів (золи та шлаки) та рідких (стічні води), у довкілля надходять газоподібні викиди у вигляді димових газів, серед яких найнебезпечнішими є NO, NO₂, SO₂.

На сьогодні навіть у тих ССЗ де було впроваджено дороге новітнє обладнання регулярно відбуваються перевищення встановлених ГДК викидів забруднюючих речовин. І тому чітке визначення зон небезпечного забруднення, поряд з покращенням систем газозуловлення на ССЗ є невідкладним завданням екологічних служб і місцевої адміністрації.

Зазначимо, що адекватне моделювання процесу забруднення навколишнього середовища викидами ССЗ як у визначений момент часу, так і за повний період функціонування являє значний інтерес при вирішенні різноманітних проблем, пов'язаних з екологічною безпекою України. Це обумовлює пріоритетність напрямків екологічної політики великих міст з охорони повітряного середовища у зоні діяльності ССЗ.

Короткий огляд найбільш відомих імітаційних моделей якості повітря, що вибиралися з погляду доцільності їхнього практичного застосування, вказує, що найбільш застосовуваними у практиці є відомі вісім груп моделей [4], які базуються на різних системах координат Ейлера (нерухомих), Лагранжа (що рухаються разом з елементами забруднення) чи змішаних. Аналіз цих типів моделей вказує на те, що по простоті застосування, достатній точності і ступеню розробленості алгоритмів вирішення практичних задач у першу чергу слід використовувати так званий клас Гаусових моделей для розрахунків поширення шкідливих викидів ССЗ. Дуже важливим є те, що в основу стандартного розрахунку ОНД-86 [2] є саме Гаусові моделі розповсюдження шкідливих домішок у повітрі і тому використання у інформаційних технологіях цих моделей робить такі ІТ юридично правомірними.

Аналізуючи програмне забезпечення чисельної реалізації даної групи моделей, слід зазначити, що українські програмні продукти для цих моделей є у дефіциті. На сьогодні відомі такі з них, як «Еколог» і «Інтеграл», «ЕОЛ-2000» при цьому основним їх недоліком є те, що майже не приймають до уваги особливості рельєфу місцевості та обмежено використовують дані наявних метеорологічних умов розповсюдження забруднень. Цього недоліку немає серед таких зарубіжних програмних засобів як «AUSTAL 2000», «CALPUFF», «TAPM», теж саме можна сказати про програмні продукти, що базуються на моделях EPA [8-10]. Але, на жаль названі закордонні програмні продукти не мають

ліцензійного розповсюдження на території нашої держави.

Розробкою інструментальних інформаційно-вимірювальних систем екологічного моніторингу димових газів ССЗ в Україні займається ЗАТ «Аналітприлад». Розроблені ними системи дають можливість вести безперервний моніторинг димових газів лише в трубі чи газоході заводу [3]. Для ефективного екологічного моніторингу цієї інформації недостатньо, так як для оцінки впливу забруднень на місцеве населення та прогнозування екологічних ситуацій необхідні дані про значення концентрацій викидів по всій прилеглий території ССЗ. Таку інформацію можна отримати застосовуючи сучасні технології моніторингу довкілля мініатюрними еко-дронами. Для ефективного екологічного контролю у мегаполісах натурні дані, отримані еко-дронами, доцільно використовувати у експрес моделюванні за допомогою інформаційних технологій, що дозволяють описувати та прогнозувати розподіл приземних концентрацій шкідливих викидів ССЗ при будь-яких змінах у режимах роботи ССЗ та забезпечувати постійний динамічний екологічний контроль у ризикованих зонах забруднення.

Отже, актуальним є створення такої сучасної інформаційної системи моніторингу, одним з компонентів якої були б дані, отримані в результаті імітаційного моделювання розповсюдження шкідливих речовин в атмосфері в результаті діяльності джерела викидів. На основі аналізу таких даних за достатній період часу можна встановити зони найбільшого екологічного ризику для людини і визначити місця доцільні для встановлення додаткових інструментальних засобів моніторингу (постів) та розробити екологічні проекти для зниження наявного екологічного ризику і покращення стану довкілля.

Відомі аналоги інформаційно-обчислювальних систем моніторингу для прогнозування розподілів шкідливих викидів розроблені в Україні, зокрема, науково-дослідницькі програми «Монітор» та «Екосфера» зупинили свій розвиток і, зважаючи на останні зміни в екологічному законодавстві України, вони є юридично неправомірними [5,6]. Актуальною є розробка юридично правомірного програмного модуля розрахунку приземних концентрацій викидів ССЗ шляхом впровадження ефективних інформаційних технологій для дослідження забруднення атмосфери складовими димових газів. Тому метою роботи є побудова сучасної інформаційно-обчислювальної моделі дослідження стану атмосферного повітря для зон ризикованого забруднення атмосфери у мегаполісах.

У даній роботі дослідження проводились на прикладі київського ССЗ "Енергія". На час будівництва заводу у 1987 році попереднє сортування відходів у місцях їх утворення не проводилось, що діє і понині. Слід зазначити, що у 2009 році на київському ССЗ були проведені роботи з модернізації технології обробки відходів, що суттєво покращило екологічні характеристики

роботи заводу. Але, завод "Енергія" по більшості показників залишається ССЗ першого покоління, а для порівняння у країнах ЕС вже працюють аналогічні об'єкти сьомого покоління. Тому на заводі регулярно відбуваються перевищення встановлених ГДК викидів забруднюючих речовин, що обумовлює актуальність точного визначення зон небезпечного забруднення довкілля, враховуючи факт щільної житлової забудови навколо ССЗ. Ця задача вирішується за допомогою аналітичного підбору і впровадження до широкого використання адекватних математичних моделей, що слугують базою для проведення розрахунків рівнів забруднення атмосферного повітря та отримання даних для виконання екологічного прогнозування стану довкілля [5,6].

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Вихідними даними для дослідження слугували дані з стаціонарних постів метеоспостережень у місті Києві, надані Центральною геофізичною обсерваторією м. Києва [7]. Були використані дані з постів: ПСЗ№4 та ПСЗ№9 за період квітень – червень 2018 року. Для моделювання розповсюдження у повітрі шкідливих домішок використовувались математичні моделі розповсюдження хмари забруднення [3], а також універсальне програмне забезпечення для математичного моделювання MATLAB та STATISTICA.

Підкреслимо, що у своїх дослідженнях ми використовували широко доступні і універсальні програмні засоби математичного моделювання типу MATLAB та STATISTICA, що можуть бути легко пристосовані для оперативної обробки просторової аналітичної інформації з еко-дронів про стан повітря в зоні досліджуваних об'єктів.

Отже, для просторового моделювання процесу розповсюдження шкідливих домішок у повітрі було застосовано модель Гауса у вигляді рівняння:

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{(x-ut)^2}{\sigma_x^2} - \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) * \left(\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right), \quad (1)$$

де $C(x, y, z, t)$ – концентрація забруднюючої речовини у точці (x, y, z) у момент часу t ;

Q – потужність джерела викиду;

H – висота викиду;

σ_x, σ_y – горизонтальні коефіцієнти дифузії;

σ_z – коефіцієнт вертикальної дифузії

забруднюючої речовини.

x – відстань від джерела уздовж напрямку вітру;

y – відстань від джерела перпендикулярно напрямку вітру;

z – висота над поверхнею землі;

u – середня швидкість вітру уздовж осі ox .

Після інтегрування за часом наведеного рівняння Гауса отримуємо рівняння для визначення розподілу забруднення у просторі для стаціонарного безперервного джерела викиду:

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

Використання цього рівняння вимагає врахування деяких припущень:

- викид повинен бути постійним і рівномірним;
- напрям вітру і дисперсії є постійними;
- дифузія у напрямку вітру є незначною порівняно з вертикальною дифузією перпендикулярною до напрямку вітру;
- підстилаюча поверхня - земля відносно плоска і не має нормальних обмежень у напрямку вітру;
- немає осаду або поглинання забруднюючої речовини;
- дифузія по вертикалі або по нормалі в напрямку вітру відповідає нормальному розподілу випадкових величин.

Турбулентна складова розповсюдження хмари забруднення вважається однорідною по всьому об'єму. Напрямок вітру співпадає з напрямом горизонтальної осі ox , а початок координат знаходиться в джерелі забруднення. Вісь ox співпадає з середнім напрямком вітру.

Моделювання розсіювання шкідливих домішок в повітрі проводимо для визначення розміру концентрації забруднюючої речовини у різних точках площі на поверхні землі ($z=0$) і різних відстанях від джерела забруднення при різних швидкостях вітру і обсягах викиду.

При виконанні моделювання розповсюдження забруднюючих речовин (mg/m^3) в повітрі і змінній швидкості та потужності викиду використані наступні відправні дані зафіксованих пікових викидів:

$Q \in [0,200; 0,312]$ тон/година – обсяг викидів забруднюючої речовини в атмосферу, потужність джерела;

$U \in [1; 10]$ м/с – швидкість вітру у напрямку осі ox .

ox, oy – просторові координати з центром, що співпадає з розташуванням джерела викиду, при напрямку вітру, що дме у напрямку осі ox . Показники стану атмосфери взято стандартизованими [2].

По результатам розрахунків на основі наведеної математичної моделі поширення викидів зроблено візуалізацію з елементам просторового прогнозу розповсюдження забруднення атмосфери діоксидом та оксидом азоту при різній силі вітру при фіксованій потужності викиду, що дме у напрямку осі ox та різних обсягах потужності джерела при сталій силі вітру. Візуалізацію розрахунків виконано на основі пакету STATISTICA і приведено на рис 1 – 2 на прикладі NO_2 . Усі розрахунки просторового розповсюдження забруднення атмосфери виконано для NO, NO_2, SO_2 у середовищі

MATLAB і візуалізовано на рис 3-4 на прикладі оксиду азоту.

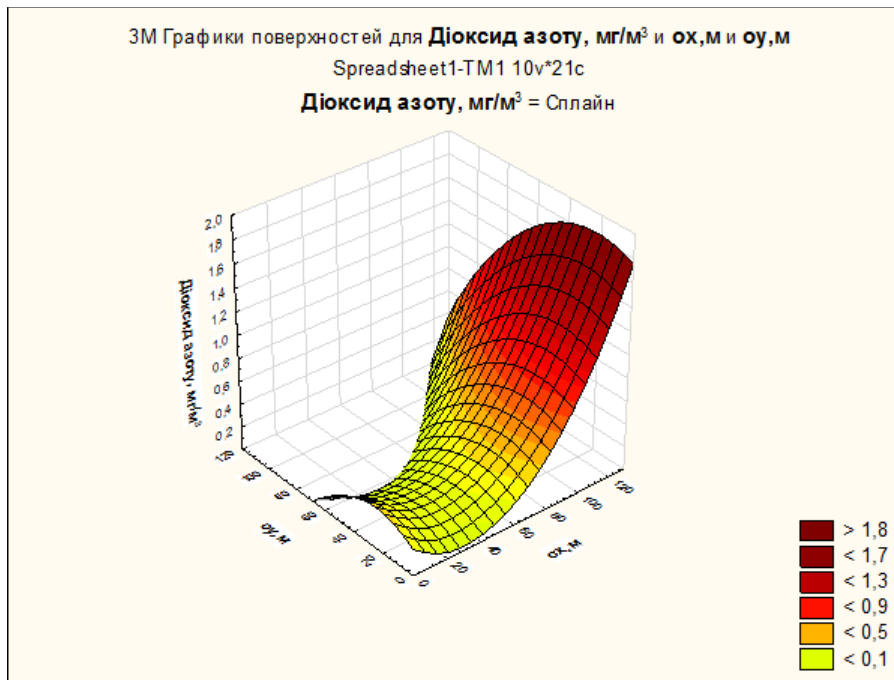


Рисунок 1 – Розподіл забруднення довкілля діюксидом азоту на рівні ґрунту ($z=0$) при швидкості вітру 5 м/с. Градієнтна зміна кольору поверхні розподілу відображає відповідну зміну концентрації забруднюючої речовини у повітрі

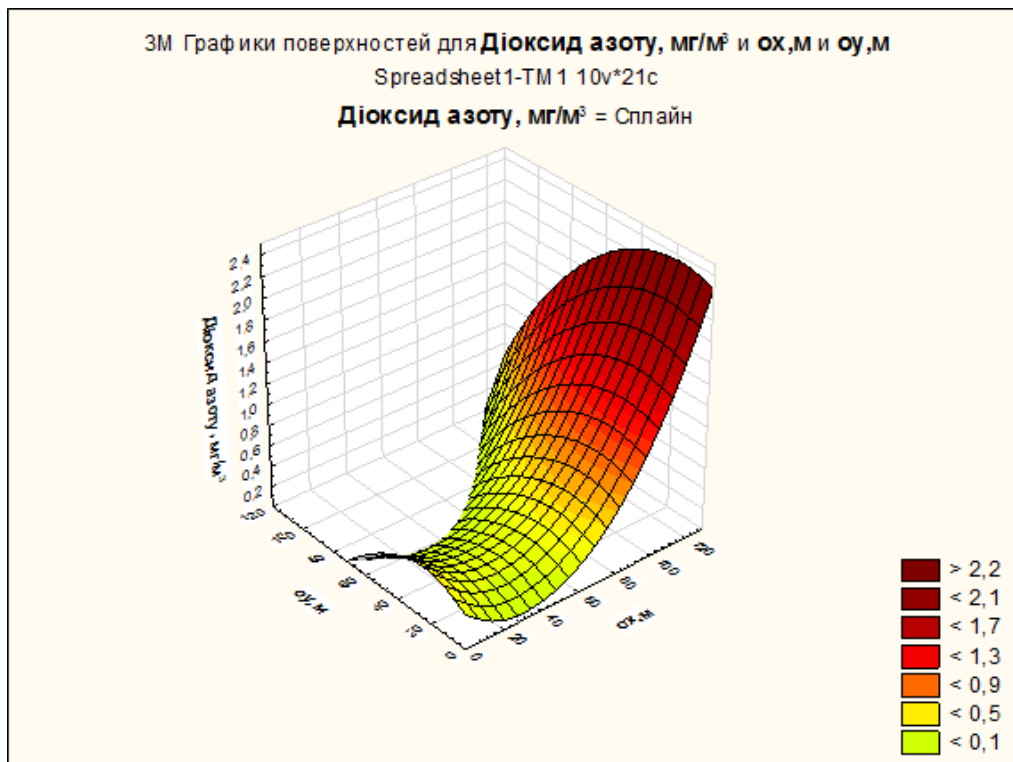


Рисунок 2 – Розподіл забруднення довкілля діюксидом азоту на рівні ґрунту ($z=0$) при швидкості вітру 2 м/с. Градієнтна зміна кольору поверхні розподілу відображає відповідну зміну концентрації забруднюючої речовини у повітрі

Результати моделювання показали, що просторовий профіль розповсюдження забруднюючих речовин суттєво залежить від швидкості вітру, і чим менше швидкість вітру тим ближче до джерела і більш щільною полозою осідає

забруднення. Наведені обчислення дають змогу безпосередньо по графічній візуалізації в системі STATISTICA чітко визначити зони перевищення ГДК. Нагадаємо, що ГДК (NO_2) = 0,2 мг/м³; ГДК(NO)=0,4 мг/м³.

При змінних обсягах викиду проведено розрахунки для NO, NO₂, SO₂ у середовищі

MATLAB, візуалізація для NO представлена на рис 3 і 4.

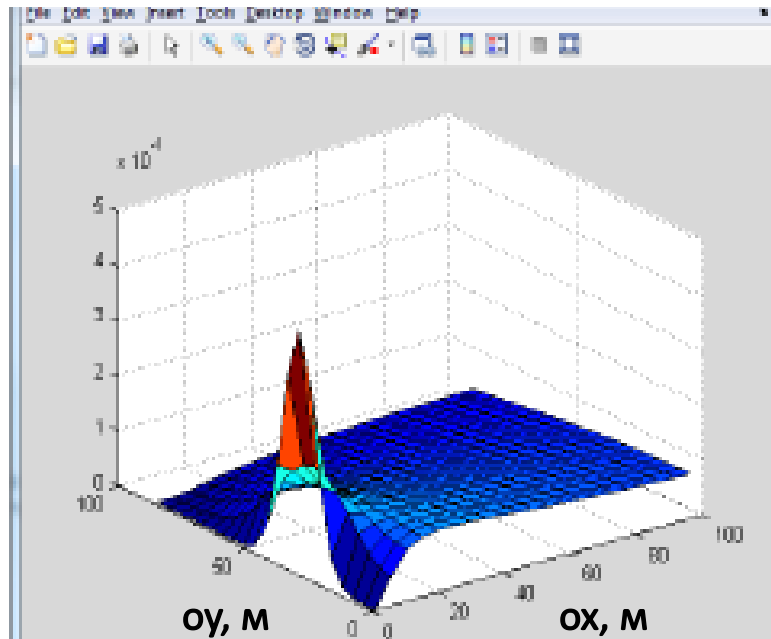


Рисунок 3 – Розподіл забруднення оксидом азоту на рівні поверхні землі при обсягу викиду $Q=0,312$ т/г; Вертикальна вісь відображає концентрацію забрудненої речовини у повітрі 10^{-1} мг/м³

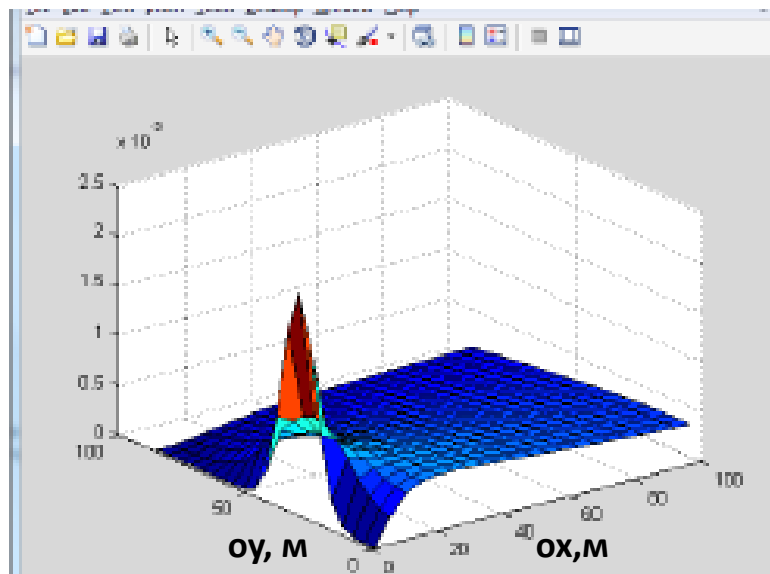


Рисунок 4 – Розподіл забруднення оксидом азоту на рівні поверхні землі при обсягу викиду $Q=0,2$ т/г. Вертикальна вісь відображає концентрацію забрудненої речовини у повітрі 10^{-1} мг/м³

Моделювання показало, що зі збільшенням маси викиду пропорційно збільшується і ступінь забруднення довкілля шкідливою речовиною. Розрахунки показують, що важкі домішки під дією гравітації осідають у приземний шар, таким чином забруднюючи його, суттєво погіршуючи екологічний стан довкілля.

Зауважимо, що за допомогою моделі Гауса можна дослідити не тільки поведінку забруднюючої речовини при різних метеорологічних умовах, але й відстежити, що відбувається при модифікації обладнання, зміні технологій спалювання сміття, та відтворити профіль розповсюдження забруднюючої

речовини, при зменшенні або збільшенні маси викидів, яке можливе при покращеннях в роботі ССЗ.

Розраховані числові значення концентрацій викидів ССЗ в будь-якій точці в радіусі 1000 м від ССЗ дають змогу при необхідності перевіряти рівень забрудненості атмосфери в чітко визначеному місці, наприклад, на території школи, дитсадка, парку у місцях відпочинку та інших людних місцях.

ВИСНОВКИ.

1. Представлено моделювання на основі рівнянь Гауса процесу розповсюдження хмари забруднення

від викидів ССЗ з залученням стандартних програмних засобів MATLAB та STATISTICA.

2. Результати моделювання дають змогу наглядно оцінити ситуацію на прилеглий до заводу території та визначати вклад ССЗ в забруднення території.

3. Графіки розподілів викидів на заданих висотах дозволяють визначати рівень забруднення атмосфери на рівні вікон та балконів багатоповерхових будівель.

4. Такі розрахунки дають змогу вчасно реагувати на екологічно несприятливі ситуації.

5. При прогнозуванні появи зони перевищення ГДК цього можна уникнути шляхом керування технологічним процесом спалювання твердих побутових відходів шляхом оптимізації процесів горіння або ж зменшенням об'ємів спалювання.

6. Результати, які отримані за допомогою розробленого інформаційно-обчислювального модуля, можуть бути використані для дослідження приземних концентрацій викидів ССЗ в умовах різних режимів роботи заводу, різних метеумов при прогнозуванні небезпечних екологічних ситуацій для прийняття управлінських рішень в сфері охорони навколишнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленная переработка и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. С.336.

2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: „Гидрометеиздат”, 1987. С. 1-97.

3. Каменева І.П., Попов О.О., Яцишин А.В., Артемчук В.О. Методи визначення екологічного

ризиків за атмосферним фактором. *Моделювання та інформаційні технології*. Київ: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. 2009. № 53. С. 15-22.

4. Михалевська Т.В., Ісаєнко В.М. та ін. Моделювання та прогнозування стану довкілля. – Ч.1, Київ: НАУ, 2007. - Ч.2. Київ: НАУ, 2011.

5. Довгий С.А., Прусов В.А., Копейка О.В. Математическое моделирование техногенных загрязнений окружающей среды. – Киев: Наук. думка, 2000.

6. Скоб Ю.А. Математическое моделирование выброса и рассеяния в атмосфере газообразных примесей. *Вестник Харк. нац. ун-та*. 2007. № 775. Сер. “Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления”. Выпуск. 7. С. 236-245.

7. Праці Центральної Геофізичної Обсерваторії України.. Київ. 2018. Випуск 14(28), файли «Спостереження за забрудненням атмосферного повітря в м. Києві, червень–травень 2018».

8. Straja S. The importance of the pollutant dispersion along the nominal wind direction, *Atmospheric Environment*, Vol. 28, Iss. 2. 2004. P. 371-374

9. Moussiopoulos N. Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. *Copenhagen: European Environment Agency*, Topic Report N. 19. 2006.

10. Techniques and decision making in the assessment of offsite consequences of an accident in a nuclear facility. *International Atomic Energy Agency. Vienna, Safety series*, N.86. 2007. P. 185.

MODELING AND FORECASTING OF LEVEL OF POLLUTION ATMOSPHERIC AIR IN THE RISK ZONES OF THE MEGAPOLISES

V. Isaenko, K. Babikova, T. Mikhalevska

National Aviation University

prosp. Komarova ave., 1, Kyiv, 03058, Ukraine. E-mail: babikova.kateryna@gmail.com

L. Bereza-Kindzerska

National University of Food Technology

vul. Volodymyrska Str., 68, Kyiv, 01033, Ukraine.

Purpose. Construction of a modern information-computational model for studying the state of atmospheric air for zones of risky atmospheric pollution in megapolises. This problem is solved by the analytical selection and introduction to the wide use of adequate mathematical models, which serve as a basis for calculating atmospheric pollution levels and obtaining data for environmental forecasting. **Methodology.** For modeling of distribution in air of harmful impurity mathematical models of distribution of a cloud of pollution and also the universal software for mathematical modeling MATLAB and STATISTICA were used. **Results.** In work reasonably need of improvement of the existing rapid monitoring methods in order to prevent of emergence of unhealthy people of emissions of pollutants in air of city areas with the dense housing. Spatial numerical express modeling of atmospheric pollution of flue gas components from stationary sources is proposed. The modeling of emission distribution from garbage burning plants is discussed in detail. **Originality.** The developed models comply with the environmental legislation of Ukraine and can be used in monitoring information support with the help of eco-drones. **Practical value.** The development can be used for forecasting of emergence of risky ecological situations and to optimally control the technological processes of enterprises in order to prevent emissions from exceeding the maximum permissible concentrations of pollutants. Results of modeling allow to estimate visually environmental risk on atmospheric a factor in the territory, adjacent to the plant, and to define a contribution to pollution of the territory.

References 10, figures 4.

Key words: ecological risks, toxic emissions, distribution of a cloud of pollution, modeling.

REFERENCES

1. Grinin A.S., Novikov V.N. Industrial processing and household waste: Storage, utilization, processing. - M.: FAIR-PRESS, 2002. P.336.
2. Method of calculation of concentrations in the air of harmful substances contained in the emissions of enterprises. OND-90. - L.: Hydrometeoisdat, 1987. P. 1- 93.
3. Kameneva I.P., Popov O.O., Yatsishin A.V., Artemchuk V.A. Methods for determining environmental risk by atmospheric factor. Modeling and information technology. Kyiv: IPME them. G.E. Pukhov NAS of Ukraine. 2009. N. 53. P. 15-22.
4. .Mikhalevskaya TV, Isaenko VM etc. Environmental Modeling and Forecasting. – Ch.1, Kyiv: NAU, 2007. - Ch.2. Kyiv: NAU, 2011.
5. Dovgy S.A., Prusov V.A., Kopeika O.V. Mathematical modeling of technogenic environmental pollution. - Kiev: Science. Dumka, 2000.
6. Skob Yu.A. Mathematical modeling of the emission and scattering of gaseous impurities in the atmosphere. Bulletin of the Kharkiv National University. 2007. N. 775. Ser. "Math modeling. Information Technology. Automated control systems". Issue 7. P. 236-245.
7. Proceedings of the Central Geophysical Observatory of Ukraine. Kiev. 2018. Issue 14 (28), Files "Observation of Air Pollution in Kyiv, June – May 2018".
8. Straja S. The importance of the pollutant dispersion along the nominal wind direction, *Atmospheric Environment*, Vol. 28, Iss. 2. 2004. P. 371-374
9. Moussiopoulos N. Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. *Copenhagen: European Environment Agency*, Topic Report N. 19. 2006.
10. Techniques and decision making in the assessment of offsite consequences of an accident in a nuclear facility. *International Atomic Energy Agency. Vienna*, Safety series, N. 86. 2007. P. 185.