

О.І. Прилипко, к.ф.-м.н., доц.
А.О. Овезгельдієв, д.т.н., проф.
Житомирський державний технологічний університет

АНАЛІТИЧНО-ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВСІХ ВИДІВ ВИРОБНИЦТВ НА СТАН АТМОСФЕРИ ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПОЛІПШЕННЯ

Створена математична модель, яка визначає залежність за деякий період часу загальної кількості викидів забруднюючих речовин у атмосферу від усіх видів виробничої діяльності людей, що використовують різні види палива. Дана залежність визначається терміном загального функціонування виробництв, терміном експлуатації їх обладнання, а також регулюванням кількості спожитого палива, модернізацією виробництв, встановленням додаткового очисного обладнання та оптимізацією міжгалузевих зв'язків між різними виробництвами. В роботі знайдено загальні залежності між витратою палива та викидами забруднюючих речовин за певний період часу. Проаналізовано можливості мінімізації витрат палива, а також викидів забруднюючих речовин за рахунок регулювання факторів, що визначають цю мінімізацію. Запропоновано конкретні дії щодо зменшення викидів забруднюючих речовин у атмосферу.

Ключові слова: екологія; атмосфера; підприємство; математична модель; прогнозування; паливо; забруднюючі речовини.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Людина своєю діяльністю здійснює руйнівний вплив на біосферу Землі, причому на всі її складові частини одразу, і з кожним роком все інтенсивніше. Хоча природа подбала про своє самовідновлення, але людство так згубно впливає на біосферу, що вона вже не може повною мірою відновити втрачене. Це стосується складу і чистоти атмосфери, кількості і чистоти води, площі та родючості земельних угідь, кількості і різноманітності біоресурсів тощо. Наслідком діяльності людей стає глобальне потепління, забруднення атмосфери, води і ґрунту, погіршення якісного вмісту в них необхідних компонентів (кисню, гумусу тощо) і, як результат, – погіршення екології планети Земля.

Основну шкоду чистоті атмосфери завдає спалювання різних видів палива, під час якого виділяється велика кількість різних забруднюючих речовин, які отруюють атмосферу і, відповідно, мають згубний вплив на біосферу Землі в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує велика кількість моделей, що прогнозують викиди шкідливих речовин в атмосферу. Але в основному ці моделі належать до конкретних видів виробництв або конкретного виду місцевості. Тому існує необхідність узагальнення цих моделей для одночасного дослідження максимального числа джерел викидів забруднюючих речовин.

Аналіз існуючих моделей викидів та розповсюдження забруднюючих речовин для точкових і стаціонарних джерел щодо різних видів підприємств провели у своїх наукових статтях В.С. Бабков, В.В. Бойко, О.В. Громова та інші [1–3, 6]. Математичні моделі поширення забруднюючих речовин у повітрі міста та забруднення атмосфери викидами транспорту розглянуті в наукових роботах В.Б. Мокіна, І.В. Варчука, С.В. Хазової та інших [7, 11, 12].

На сьогодні в Україні кількість викидів розраховується статистичними службами в основному за методикою ОНД 86 [8]. На її основі розроблено програмні продукти для розрахунку поширення шкідливих домішок в атмосферному повітрі, що рекомендовані Міністерством екології та природних ресурсів України до використання. Серед них програмні продукти серії «ЕОЛ» «Інвентаризація», «NEORIST», «ІНВЕНТЕР», «Атмосфера» тощо [5]. При цьому деякі програмні продукти, що застосовуються в Україні, є застарілими і мають цілий ряд недоліків. Зокрема, вони не дають можливість здійснювати прогноз на великих територіях для значної кількості джерел тощо. Тому необхідно наблизити моніторинг викидів у атмосферу до стандартів країн Європейського Союзу, створивши більш сучасні моделі та системи обробки даних і прогнозів на майбутній період часу за викидами забруднюючих речовин в атмосферу, а також, відповідно, нові, більш сучасні програмні продукти.

Постановка завдання. Метою даної статті є дослідження впливу спалювання різних видів палива на виробництвах на забруднення атмосфери Землі та пошук можливостей з мінімізації викидів забруднюючих речовин і покращання екологічної ситуації на нашій планеті.

Викладення основного матеріалу. Ми обмежимося розглядом України або деякої її області, але за необхідності є можливість використання даних досліджень для моделювання можливих викидів забруднюючих речовин у будь-якій державі світу або для будь-якої частини її території.

Відповідно до національного класифікатора [4] кожне підприємство України належить до одного з N -видів економічної діяльності, який, у свою чергу, розбивається на відповідні розділи. Їх кількість для i -го виду економічної діяльності позначимо через N_i . Тоді через G^{isp} позначимо p -ті підприємства s -го розділу i -го виду економічної діяльності, введемо позначення G^{isp} , де $i = \overline{1, N}$, $s = \overline{1, N_i}$, $p = \overline{1, N_{is}}$.

Очевидно, що основна причина забруднення атмосфери – це спалювання різних видів палива. Будемо вважати, що у виробничій діяльності підприємств використовується K різних видів палива. Зрозуміло, що їх кількість може бути різною, залежно від системи класифікації. Наприклад, можна розглядати просто вугілля як вид палива, а можна розглядати окремо різні типи вугілля: кам'яне, буре тощо. Кожному виду палива a_j , $j = 1, K$ ми надаємо конкретний номер. При цьому природний газ і дрова за стандартом ми будемо вимірювати в метрах кубічних, а все інше паливо – в тоннах. Залежно від вимог щодо точності вирішення визначених завдань можна обмежитися розглядом більшої чи меншої кількості видів палива. При спалюванні будь-якого палива виділяються забруднюючі речовини b_m , $m = 1, L$. Кожній шкідливій речовині надамо індивідуальний номер. Кількість забруднюючих речовин, що розглядається, залежить від конкретних завдань досліджень.

Дослідимо вплив підприємства G^{isp} на атмосферу в результаті споживання різних видів палива. Для цього розглянемо функцію трьох змінних $F_n(G^{isp}, a_j, b_m)$, яка задає кількість викидів забруднюючої речовини b_m в тоннах при спалюванні однієї одиниці виміру (тонни або метра кубічного) палива a_j під час споживання цього палива підприємством G^{isp} за n -й період часу. Значення цієї функції ми позначимо $F_n(G^{isp}, a_j, b_m) = F_{n j m}^{isp}$. Якщо під час споживання підприємством палива деяка забруднююча речовина не виділяється, то в цьому випадку $F_{n j m}^{isp} = 0$. Очевидно, що в загальному випадку $F_{n j m}^{isp} \geq 0$. Загальна методика розрахунку таких коефіцієнтів відома [8].

Позначимо кількість спожитого підприємством G^{isp} палива a_j за n -й період часу через $Q_n^{isp}(a_j) = Q_{n j}^{isp}$. Тоді загальний викид m -ї забруднюючої речовини при цьому буде дорівнювати $Q_{n j}^{isp} \cdot F_{n j m}^{isp} = D_{n j m}^{isp}$.

Для розрахунку прогнозу викидів на наступний – $(n + 1)$ -й період часу можна використовувати такі коефіцієнти:

1) коефіцієнт зміни споживання палива $K_{1n j}^{isp}(a_j) = K_{1n j}^{isp}$. Цей коефіцієнт задає зменшення або збільшення споживання палива a_j за рахунок модернізації або старіння технологічного устаткування підприємства G^{isp} за n -й період часу;

2) коефіцієнт зміни викидів $K_{2n}(a_j, b_m) = K_{2n j m}^{isp}$. Цей коефіцієнт задає зменшення або збільшення викидів шкідливої речовини b_m при споживанні палива a_j підприємством G^{isp} за n -й період часу за рахунок встановлення додаткових фільтрів або пошкодження раніше встановлених очисних фільтрів тощо;

3) коефіцієнти взаємовпливів зміни споживання підприємствами i -го та r -го видів економічної діяльності палива a_j визначаються таким чином: $\prod_{r=1}^N K_{3 n j}^{i s p r} = K_{3 n j}^{isp}$. Наприклад, зміни у споживанні палива a_j підприємством G^{isp} призводять до відповідних змін споживання палива іншими підприємствами, зокрема транспортними, оскільки при цьому зменшується або збільшується потреба у перевезенні палива a_j на відповідне промислове підприємство тощо.

Отже, можна записати прогнозовану кількість викидів забруднюючої речовини b_m при спалюванні палива a_j підприємством G^{isp} за $(n + 1)$ -й період часу:

$$D_{n+1 j m}^{isp} = K_{1n j}^{isp} \cdot K_{2n j m}^{isp} \cdot K_{3n j}^{isp} \cdot D_{n j m}^{isp} \quad (1)$$

Очевидно, що кількість викидів (1) буде зменшуватися, якщо добуток коефіцієнтів $0 \leq K_{1n j}^{isp} \cdot K_{2n j m}^{isp} \cdot K_{3n j}^{isp} < 1$, буде збільшуватися, якщо добуток коефіцієнтів $K_{1n j}^{isp} \cdot K_{2n j m}^{isp} \cdot K_{3n j}^{isp} > 1$, відповідно, не зміниться, якщо $K_{1n j}^{isp} \cdot K_{2n j m}^{isp} \cdot K_{3n j}^{isp} = 1$.

Тоді, відповідно до рівності (1), передбачувана кількість викидів забруднюючої речовини b_m при спалюванні підприємством G^{isp} усіх досліджуваних видів палив за $(n + 1)$ -й період часу дорівнюватиме:

$$D_{n+1 m}^{isp} = \sum_j D_{n+1 j m}^{isp} = \sum_j K_{1n j}^{isp} \cdot K_{2n j m}^{isp} \cdot K_{3n j}^{isp} \cdot D_{n j m}^{isp} \quad (2)$$

Для зменшення викидів забруднюючих речовин підприємством G^{isp} необхідно мінімізувати значення $D_{n+1 m}^{isp}$ [10]:

$$D_{n+1 m}^{isp} \rightarrow \min \quad (3)$$

Відповідно до рівності (2) передбачувана кількість викидів забруднюючої речовини b_m при спалюванні підприємствами s -го розділу i -го виду економічної діяльності всіх досліджуваних видів палив за $(n+1)$ -й період часу дорівнюватиме:

$$D_{n+1 m}^{is} = \sum_{p,j} D_{n+1 j m}^{isp} = \sum_{p,j} K_{1 n j}^{isp} \cdot K_{2 n j m}^{isp} \cdot K_{3 n j}^{isp} \cdot D_{n j m}^{isp} . \quad (4)$$

Аналогічно, передбачувана кількість викидів забруднюючої речовини b_m при спалюванні i -м видом економічної діяльності всіх досліджуваних видів палив за $(n+1)$ -й період часу задається співвідношенням:

$$D_{n+1 m}^i = \sum_{s,p,j} D_{n+1 j m}^{isp} = \sum_{s,p,j} K_{1 n j}^{isp} \cdot K_{2 n j m}^{isp} \cdot K_{3 n j}^{isp} \cdot D_{n j m}^{isp} . \quad (5)$$

Тоді передбачувана кількість викидів забруднюючої речовини b_m при спалюванні всіма видами економічної діяльності всіх досліджуваних видів палив за $(n+1)$ -й період часу дорівнює:

$$D_{n+1 m} = \sum_{i,s,p,j} D_{n+1 j m}^{isp} = \sum_{i,s,p,j} K_{1 n j}^{isp} \cdot K_{2 n j m}^{isp} \cdot K_{3 n j}^{isp} \cdot D_{n j m}^{isp} . \quad (6)$$

Виходячи з записаної вище рівності (6) можна припустити, що загальна кількість усіх викидів в Україні за $(n+1)$ -й період часу буде дорівнювати:

$$D_{n+1} = \sum_{m,i,s,p,j} D_{n+1 j m}^{isp} = \sum_{m,i,s,p,j} K_{1 n j}^{isp} \cdot K_{2 n j m}^{isp} \cdot K_{3 n j}^{isp} \cdot D_{n j m}^{isp} . \quad (7)$$

Очевидна важливість мінімізації усіх видів викидів (6), тобто розв'язання задачі:

$$D_{n+1 m} \rightarrow \min , \quad (8)$$

для всіх припустимих значень m або більш загальної задачі:

$$D_{n+1} \rightarrow \min . \quad (9)$$

Цього можна досягти керуючи значеннями коефіцієнтів $K_{1 n j}^{isp}$, $K_{2 n j m}^{isp}$ і $K_{3 n j}^{isp}$.

Перевірку і коригування викладеної вище моделі можна здійснювати на підставі даних про забруднення атмосфери, що надаються інформаційними базами різних міжнародних регіональних і національних організацій [9].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Кожна держава має можливість за допомогою законодавчої системи створити такі умови підприємствам, щоб їм вигідніше було купувати нове обладнання і системи очищення викидів їх діяльності в атмосферу, ніж платити величезні штрафи за забруднення навколишнього середовища. Ця система штрафів вже давно має кращі результати щодо збереження навколишнього середовища в країнах Євросоюзу, США та в багатьох інших країнах.

Щодо України, то тут резервів для зменшення викидів дуже багато, оскільки на підприємствах в основному знаходиться застаріле обладнання, в більшості випадків із застарілою, а іноді, і непрацюючою системою очищення викидів. Екологічний стан атмосфери покращить і оновлення усіх видів транспорту. Згідно з останніми дослідженнями Всесвітньої організації охорони здоров'я, Україна є лідером за кількістю смертей від забруднення повітря. На кожні 100 тисяч в Україні від забруднення повітря вмирає 120 чоловік. Це найбільший показник із 120 обстежених країн [13]. Це дуже серйозний сигнал, і лише за одним екологічним параметром. Отже, кожен додатковий фільтр, кожна додаткова модернізація або повне оновлення підприємств тощо зменшуватимуть викиди в атмосферу та, відповідно, будуть покращувати екологічний стан України. Тому подальше дослідження цієї тематики має велике значення для поліпшення екологічної ситуації в Україні.

Список використаної літератури:

1. Бабков В.С. Анализ математических моделей распространения примесей от точечных источников / В.С. Бабков, Т.Ю. Ткаченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія : Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – 2011. – Вип. 13. – С. 147–155.
2. Бойко В.В. Анализ методов математического моделирования розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері / В.В. Бойко, Л.Д. Плячук // Вісник КДПУ ім. М.Остроградського. – 2010. – № 6 (65). – Ч. 2. – С. 148–151.
3. Громова О.В. Анализ моделей поширення домішок в атмосфері від стаціонарних джерел / О.В. Громова // Наукові праці УкрНДГМІ. – Київ : УкрНДГМІ, 2004. – С. 173–181.
4. Національний класифікатор України. Класифікація видів економічної діяльності ДК 009:2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://sfs.gov.ua/dovidniki--reestri--perelik/pereliki-/128651.html>.
5. Перелік програмних продуктів в галузі охорони атмосферного повітря / Міністерство екології та природних ресурсів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua/protection/protection3/regulation/255-perelik-prohramnykh-produktiv-v-haluzi-okhorony-atmosfernoho-povitria>.

6. Мовшович В.В. Моделирование розповсюдження забруднюючих речовин у зоні діяльності комунального підприємства / В.В. Мовшович, В.М. Задачин // Системи обробки інформації. – 2013. – № 3 (110). – С. 117–119.
7. Мокін В.Б. Моделирование поширення забруднювальних речовин у повітрі міста з використанням геоінформаційних технологій / В.Б. Мокін, І.В. Варчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 5. – С. 13–18.
8. Общесоюзный нормативный документ Госкомгидромета СССР (ОНД-86). Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий / Госкомгидромет СССР. – Л. : Гидрометеоздат, 1987. – 93 с.
9. Овезгельдиев О.А. Інформаційне забезпечення процесів організаційного управління біологічними ресурсами Землі / О.А. Овезгельдиев, О.І. Прилишко // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2016. – № 1 (76). – С. 47–62.
10. Овезгельдиев А.О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / А.О. Овезгельдиев, Э.Г. Петров, К.Э. Петров. – К. : Наукова Думка, 2002. – 163 с.
11. Хазова С.В. Математическая модель прогнозирования качества атмосферы промышленных городов / С.В. Хазова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2005. – Т. 2. – № 10. – С. 85–89.
12. Prylypko O. Analytical and simulation modeling of the impact of vehicles on the ecological situation in Ukraine and the ways of its improving / O.Prylypko, A.Ovezgeldyev // Вісник ТНТУ. – 2016. – № 4 (84). – С. 139–148.
13. Vaughan A. China tops WHO list for deadly outdoor air pollution. The Guardian / A.Vaughan [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.theguardian.com/environment/2016/sep/27/more-than-million-died-due-air-pollution-china-one-year>.

References:

1. Babkov, V.S. and Tkachenko, T.Ju. (2011), «Analyz matematycheskyh modelej rasprostraneniya prymesej ot tochechnyh ystochnykov», *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu. Serija : Informatyka, kibernetyka ta obchysluval'na tehnika*, Vol. 13, pp. 147–155.
2. Bojko, V.V. and Pljacuk, L.D. (2010), «Analiz metodiv matematychnogo modeljuvannja rozpovsjudzhennja zabrudnjujučykh rečovyn v atmosferi», *Visnyk KDPU im. M.Ostrograds'kogo*, No. 6 (65), Part 2, pp. 148–151.
3. Gromova, O.V. (2004), «Analiz modelej pošyrennja domishok v atmosferi vid stacionarnykh dzherel», *Naukovi praci UkrNDGMI, UkrNDGMI, Kyi'v*, pp. 173–181.
4. Nacional'nyj klasyfikator Ukrainy (2010), *DK 009:2010: Klasyfikacija vydiv ekonomichnoi' dijalnosti* [DK 009:2010: Classification of Economic Activities], available at: <http://sfs.gov.ua/dovidniki--reestri--perelik/pereliki-/128651.html>
5. Ministerstvo ekologii' ta pryrodnyh resursiv Ukrainy, «Perelik programnyh produktiv v galuzi ohorony atmosfernogo povitryja», available at: <http://www.menr.gov.ua/protection/protection3/regulation/255-perelik-prohramnykh-produktiv-v-haluzi-okhorony-atmosfernoho-povitria>
6. Movshovych, V.V. and Zadachyn, V.M. (2013), «Modeljuvannja rozpovsjudzhennja zabrudnjujučykh rečovyn u zoni dijalnosti komunal'nogo pidpryjemstva», *Systemy obrobky informacii'*, No. 3 (110), pp. 117–119.
7. Mokin, V.B. and Varchuk, I.V. (2013), «Modeljuvannja pošyrennja zabrudnjuval'nykh rečovyn u povitri міста z vykorystannjam geoінформаційnykh tehnologij», *Visnyk Vinnyč'kogo politehničnogo instytutu*, No. 5, pp. 13–18.
8. Goskomgidromet SSSR (1987), *Obshhesozujnyj normativnyj dokument Goskomgidrometa SSSR (OND-86), Metodika rascheta koncentracij v atmosfernom vozduhe vrednykh veshhestv, soderzhashhijsja v vybrosah predpriyatij* [The procedure for calculating the concentrations in the air of harmful substances contained in the emissions of enterprises], Gidrometeoizdat, Leningrad, SSSR, 93 p.
9. Ovezgel'dyjev, O.A. and Prylypko, O.I. (2016), «Інформаційне забезпечення процесів організаційного управління біологічними ресурсами Землі», *Visnyk ZhDTU, Serija Tehnični nauky*, No. 1 (76), pp. 47–62.
10. Ovezgel'dyjev, A.O., Petrov, Je.G. and Petrov, K.Je. (2002), *Sintez i identifikacija modelej mnogofaktornogo ocenivannja i optimizacii*, Naukova Dumka, Kyi'v, 163 p.
11. Hazova, S.V. (2005), «Matematicheska model' prognozirovannja kachestva atmosfery promyshlennykh gorodov», *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, Vol. 2, No. 10, pp. 85–89.
12. Prylypko, O. and Ovezgeldyjev, A. (2016), «Analytical and simulation modeling of the impact of vehicles on the ecological situation in Ukraine and the ways of its improving», *Vіsnyk THTU*, No. 4 (84), pp. 139–148.
13. Vaughan, A. (2016), «China tops WHO list for deadly outdoor air pollution», *The Guardian*, available at: <https://www.theguardian.com/environment/2016/sep/27/more-than-million-died-due-air-pollution-china-one-year>

ОВЕЗГЕЛЬДИСВ Ата Оразгельдийович – доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- системний аналіз і багатофакторне оцінювання;
- методи оптимізації і прийняття рішень;
- сучасні Internet-технології.

E-mail: metanova@yahoo.com.

ПРИЛИПКО Олександр Іванович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та вищої математики Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання;
- багатофакторне оцінювання і прийняття рішень;
- теоретико-алгебраїчні дослідження систем диференціальних рівнянь.

E-mail: poizh@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 27.03.2017.