

УДК: 696.2

Ромашкіна М.А.¹⁸, асистент

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИБУХУ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ В ГАЗИФІКОВАНІЙ КВАРТИРІ

Розроблено дерево відмов розвитку аварійної ситуації при витіканні газу в газифікованій квартирі. Запропоновано методичку оцінки вибухобезпеки квартири, яка математично описує вірогідність вибуху газоповітряної суміші в газифікованій квартирі при збігу в просторі і часі трьох випадкових подій: витік газу; досягнення небезпечної концентрації газоповітряної суміші; появи джерела займання газоповітряної суміші.

Ключові слова: вибух, газ, випадкова подія, відмова, ймовірність.

Останнім часом в Україні спостерігається зростання кількості аварій, пов'язаних з вибухом побутового газу в газифікованих квартирах з неприпустимо високим рівнем обвалення несучих конструкцій. Наслідки вибуху можуть бути різними – від легких пошкоджень до повного знищення будівлі, в т.ч. в результаті прогресуючого обвалення. Вибух у газифікованій квартирі може спричинити наступні негативні наслідки: пошкодження і обвалення будівельних конструкцій (знищення житлового фонду); загибель та травмування людей; матеріальний збиток; психологічний вплив на населення; забруднення навколишнього середовища.

Тому роботи, пов'язані з прогнозуванням вибухопожежонебезпечності квартир, моделювання подібних аварій та розробка організаційних та технічних рекомендацій щодо запобігання катастрофам у житлово-комунальному

¹⁸ ©Ромашкіна М.А.

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

господарстві країни, є актуальною науковою проблемою, рішення якої дозволить забезпечити вибухобезпечність будинків житлового комплексу України.

Як показує аналіз наслідків аварійних вибухів, найбільшу кількість травм і людських жертв викликає саме обвалення будівельних конструкцій. Вочевидь, обваленням будівельних конструкцій не відбудеться за умови, якщо вибухові навантаження будуть менше допустимих. При перевищенні рівня вибухових навантажень над реальною несучою здатністю несучих конструкцій відбувається повне або часткове обвалення будівлі. Забезпечити конструктивну безпеку будівель і споруд можна двома способами: зниженням вибухових навантажень або посиленням несучих будівельних конструкцій [1].

Для розробки заходів щодо запобігання виникненню аварій та зниження наслідків їх реалізації необхідно розуміння процесів виникнення і займання газоповітряної суміші (ГПС), а також навантажень і впливів, які є результатом вибуху ГПС. У загальному вигляді процес розвитку аварійної ситуації при витіканні газу в газифікованій квартирі наведено на рисунку 1.

Необхідно відзначити, що аварійні вибухи всередині будівель і приміщень характеризуються не детонаційним, а дефлаграційним типом вибухового перетворення. При дефлаграційних вибухах полум'я поширюється по хмарі з дозвуковою швидкістю. Характер зміни надлишкового тиску при дефлаграції зростає повільніше, ніж при детонації, але тривалість його дії може вимірюватися секундами. Надмірний тиск при дефлаграції залежить тільки від швидкості горіння речовини, але не від її кількості - останнє визначає тривалість дії тиску [2].

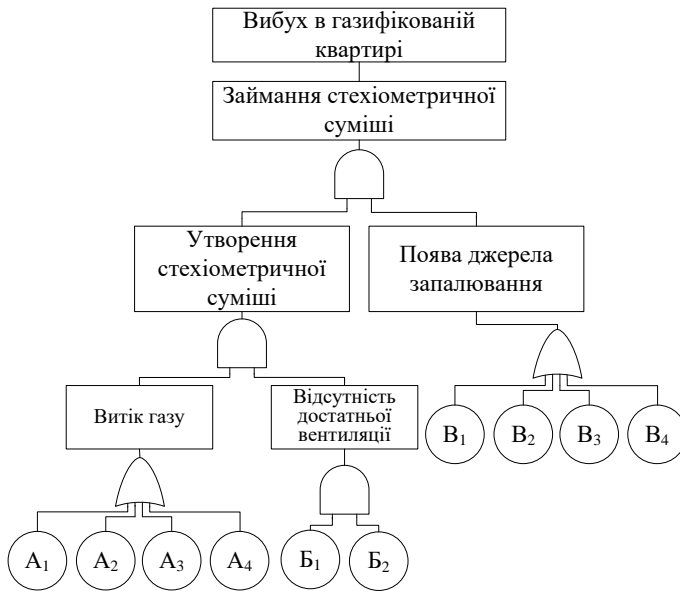


рис. 1. Схема («дерево відмов») розвитку аварійної ситуації при витіканні газу в газифікованій квартирі (A₁- порушення правил техніки безпеки; A₂- несправність устаткування на газорозподільному пункті; A₃- недотримання правил експлуатації газових приладів; A₄- неповне згоряння газу при експлуатації газових приладів; B₁- відсутність природної вентиляції; B₂- відсутність механічної вентиляції; B₁- поява відкритого полум'я; B₂- електрична іскра; B₃- нагрівання поверхні устаткування; B₄- осередок самозаймання).

Згідно п.4.14. ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [3] вибухові впливи відносяться до епізодичних навантажень, які слід враховувати при проектуванні будівель і споруд об'єктів капітального будівництва. При проектуванні житлових будинків (в тому числі і газифікованих) питання їх вибухостійкого взагалі не розглядається, тому що вони не належать до категорії вибухонебезпечних об'єктів. При цьому площа віконних прорізів, які при аварійному вибуху виконують роль скидних прорізів, визначається з норм

освітленості житлових приміщень. А несуча здатність будівель не перевіряється на горизонтальні (вибухові) навантаження. Разом з цим аварійні вибухи в житлових будинках відбуваються досить часто.

Проблемі вибухових навантажень в приміщеннях присвячені численні дослідження [4-13]. Аналіз існуючих методичних нормативних і відомчих документів, що визначають площу скидних прорізів, легкоскидних конструкцій (ЛСК) для зниження вибухового тиску до безпечного, показує необхідність їх вдосконалення. Крім того, зазначені методики не враховують ймовірність виникнення вибухових навантажень, алгоритм визначення яких аналогічний методології кількісного аналізу ризику.

Математична модель процесу формування вибухів:
Вибух побутового газу в квартирі може статися при випадковому збігу в просторі і часі трьох подій: 1) Стався витік газу. Основними причинами виникнення аварійних ситуацій у газифікованих квартирах є: порушення правил техніки безпеки (не дотримання правил безпеки газових приладів, згасання полум'я пальника, пошкодження газової системи, навмисне або помилкове відкриття газового крану), а також несправність устаткування на газорозподільному пункті. 2) Наявність екзогенного або ендогенного джерело ініціювання запалення газоповітряної суміші (комутація вимикача, електрична іскра, куріння тощо). 3) Концентрація горючого компонента в хмарі являє собою стехіометричну суміш. Це означає, що в хмарі міститься максимально можлива кількість речовини, яка може згоріти, і тому енергія такого вибуху максимальна. Для вибуху газоповітряної суміші концентрація горючої компоненти в ній повинна знаходитися між нижнім і верхнім концентраційними межами. Наприклад, метано-

повітряна суміш здатна вибухати при об'ємному вмісті в ній метану від 5 до 15%.

Зміна стану зазначених подій представимо у вигляді трьох незалежних однорідних, регулярних марківських процесів відповідно з двома дискретними станами та безперервним часом [4-6].

Нехай кожен з зазначених процесів протягом часу може перебувати в несумісних станах: "0" - безпечне та "1" - небезпечне і мають параметри: $\lambda_1, \mu_1, \lambda_2, \mu_2, \lambda_3, \mu_3$ відповідно. Вибух у квартирі настане в момент зустрічі процесів $\zeta_i(t), i = \overline{1,3}$ відповідно «1», тобто коли $\zeta_1(t) = 1, \zeta_2(t) = 1, \zeta_3(t) = 1$ [7, 8].

Для визначення ймовірності вибуху $Q(t)$ в квартирі протягом часу t необхідно розглянути сукупність процесів $\zeta_i(t), i = \overline{1,3}$ як один регулярний однорідний марковський процес $\chi(t)$, який може знаходитися в 8 дискретних станах. У будь-який момент часу процес $\chi(t)$ може знаходитися в одному з 8 дискретних станів $E\{e_1(0,0,0), e_2(0,0,1), e_3(0,1,0), e_4(0,1,1), e_5(1,0,0), e_6(1,0,1), e_7(1,1,0), e_8(1,1,1)\}$ [9].

При випадковому потраплянні процесу в стан $e_8(1,1,1)$ відбувається вибух побутового газу в квартирі.

Ймовірність вибуху в квартирі протягом часу t визначається за допомогою формули:

$$Q(t) = 1 - \sum_{j=1}^n P_j(t), n = \overline{1,7} \quad (1)$$

Ймовірність $P_j(t)$ визначаються з системи лінійних диференціальних рівнянь:

$$\dot{P}(t) = P(t) \cdot A \quad (2)$$

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

де $P(t) = [\dot{P}(t)]_{i=1}^7$ – вектор-строка;

Система рівнянь (2) розв'язується за початкових умов:

$$P_1(0) = 0, P_2(0) = 0 \dots P_{15}(0) = 0.$$

Для описаної вище задачі, матрицю А можна отримати, використовуючи [9,10].

Діагональні елементи визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} \tilde{n}_1 &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3; & \tilde{n}_1 &= \mu_1 + \lambda_2 + \mu_3; \\ \tilde{n}_1 &= \mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3; & \tilde{n}_1 &= \lambda_1 + \mu_2 + \mu_3; \\ \tilde{n}_3 &= \lambda_1 + \mu_2 + \lambda_3; & \tilde{n}_1 &= \mu_1 + \mu_2 + \lambda_3; \\ \tilde{n}_4 &= \lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3; \end{aligned}$$

$$A = \begin{pmatrix} -\tilde{n}_1 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_1 & -\tilde{n}_2 & 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & \lambda_2 \\ \mu_2 & 0 & -\tilde{n}_3 & 0 & 0 & \lambda_3 & \lambda_1 \\ \mu_3 & 0 & 0 & -\tilde{n}_4 & \lambda_1 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & \mu_3 & 0 & \mu_1 & -\tilde{n}_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_3 & \mu_2 & 0 & -\tilde{n}_6 & 0 \\ 0 & \mu_2 & \mu_1 & 0 & 0 & 0 & -\tilde{n}_7 \end{pmatrix}$$

де $\lambda_1 = \frac{1}{\bar{d}_1}$; \bar{d}_1 - середній інтервал між виникненням витікання газу;

$$\mu_1 = \frac{1}{d_1}; d_1 - \text{середня тривалість витікання газу};$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{\bar{d}_2}; \bar{d}_2 - \text{середній інтервал між утворенням небезпечної}$$

концентрації газу в квартирі;

$$\mu_2 = \frac{1}{d_2}; d_2 - \text{середня тривалість перебування небезпечної}$$

концентрації побутового газу в квартирі;

Проблеми розвитку міського середовища. Вип.2 (16) 2016

$\lambda_3 = \frac{1}{d_3}$; \bar{d}_3 - середній інтервал часу між появою екзогенних

джерел займання;

$\mu_3 = \frac{1}{d_3}$; d_3 - середня тривалість існування небезпечного

екзогенного джерела займання.

У тому випадку, якщо задані інтервали часу θ_i між виникненням витікання газу, утворенням небезпечної концентрації газу в квартирі та появою екзогенних джерел то $\bar{\mu}_i$, де $i = \overline{1,3}$ обчислюються наступним чином [11]:

$$\mu_i = \frac{1}{\theta_i - \frac{1}{\lambda_i} \{1 - \exp[-\lambda_i \theta_i]\}}; \quad (3)$$

В тому випадку, якщо $\lambda_i \theta_i < 0.1$ тоді

$$\mu_i = \frac{2}{\lambda_i \theta_i^2}; \quad (4)$$

Вероятность взрывов в квартире бытового газа за время t находим из решения системы линейных дифференциальных уравнений (1) численными методами:

Імовірність вибуху побутового газу в квартирі за час t знаходимо з розв'язання системи лінійних диференціальних рівнянь (1) чисельними методами:

$$F(t) = 1 - \sum_{i=1}^7 P_i(t); \quad (5)$$

Середній час до вибуху побутового газу в квартирі знайдемо, користуючись системою алгебраїчних рівнянь [12]:

$$\begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \\ \tau_5 \\ \tau_6 \\ \tau_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{n}_1 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_1 & \tilde{n}_2 & 0 & 0 & -\lambda_3 & 0 & -\lambda_2 \\ -\mu_2 & 0 & \tilde{n}_3 & 0 & 0 & -\lambda_3 & -\lambda_1 \\ -\mu_3 & 0 & 0 & \tilde{n}_4 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & 0 \\ 0 & -\mu_3 & 0 & -\mu_1 & \tilde{n}_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\mu_3 & -\mu_2 & 0 & \tilde{n}_6 & 0 \\ 0 & -\mu_2 & -\mu_1 & 0 & 0 & 0 & \tilde{n}_7 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

де $\tau_i, i=\overline{1,7}$ середній час до вибуху побутового газу в квартирі, якщо в початковий момент часу система перебувала в стані «I», тобто в початковий момент часу немає витікання газу, в квартирі не утворилась небезпечної концентрації газу, немає екзогенних джерел займання.

У нашому випадку з системи алгебраїчних рівнянь (6) знаходимо τ_1 :

$$\tau_1 = \frac{4}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot (\lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \theta_2^2 \cdot \theta_3^2 + \lambda_1 \cdot \lambda_3 \cdot \theta_1^2 \cdot \theta_3^2 + \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \theta_1^2 \cdot \theta_2^2)} \quad (7)$$

У тому випадку, якщо $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta$, тоді формулу (7) можна записати у вигляді:

$$\tau_1 = \frac{4}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \theta^4 \cdot [\lambda_3 \cdot (\lambda_1 + \lambda_2) + \lambda_1 \cdot \lambda_2]} \quad (8)$$

Дисперсію σ^2 часу до вибуху в квартирі знаходимо з наступної системи рівнянь, записаної в матричній формі [12]:

З отриманої системи рівнянь (9) знаходимо дисперсію σ_1^2 часу до вибуху в квартирі, якщо в початковий момент часу немає витікання газу, в квартирі не утворилась небезпечної концентрації газу, немає екзогенних джерел займання.

$$\begin{pmatrix} \sigma_1^2 \\ \sigma_2^2 \\ \sigma_3^2 \\ \sigma_4^2 \\ \sigma_5^2 \\ \sigma_6^2 \\ \sigma_7^2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{n}_1 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\mu_1 & \tilde{n}_2 & 0 & 0 & -\lambda_3 & 0 & -\lambda_2 \\ -\mu_2 & 0 & \tilde{n}_3 & 0 & 0 & -\lambda_3 & -\lambda_1 \\ -\mu_3 & 0 & 0 & \tilde{n}_4 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & 0 \\ 0 & -\mu_3 & 0 & -\mu_1 & \tilde{n}_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\mu_3 & -\mu_2 & 0 & \tilde{n}_6 & 0 \\ 0 & -\mu_2 & -\mu_1 & 0 & 0 & 0 & \tilde{n}_7 \end{pmatrix}^{-1} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \\ \tau_5 \\ \tau_6 \\ \tau_7 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \tau_1^2 \\ \tau_2^2 \\ \tau_3^2 \\ \tau_4^2 \\ \tau_5^2 \\ \tau_6^2 \\ \tau_7^2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

У тому випадку, якщо при вирішенні системи рівнянь (6) та (9) отримаємо, що $\tau_1 \approx \sigma_1$, тоді ймовірність вибухів в квартирі побутового газу протягом часу t визначимо наступним чином:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau_1}\right)\right] \quad (10)$$

Висновок: Ймовірність вибуху газоповітряної суміші в квартирі на поточний момент все ще залишається досить високою, а наслідки таких вибухів можуть бути вельми драматичними. Аналіз аварійних ситуацій, пов'язаних з вибухами газоповітряної суміші в квартирі, показує, що попередження вибухів газу тільки за рахунок зниження можливості утворення джерела займання, не є достатнім. Знизити ймовірність вибухів можливо, виконуючи всебічний аналіз безпеки, з урахуванням статистики та виявлених причин реальних аварій. У зв'язку з цим необхідно подальше вдосконалення методології оцінки вибухових навантажень на основі імовірнісних підходів. Процедури аналізу ризику вибуху при відповідному методичному забезпеченні, які здійснюються на етапі проектування, дозволяють

оптимізувати проектні рішення з урахуванням різних факторів, в тому числі витрат на реалізацію заходів безпеки.

Використана література

1. *Комаров А.А.* Моделирование аварийных выбросов взрывоопасных веществ в помещении / А. А. Комаров Е.В. Бузаев, Г.В. Васюков, Р.А. Загуменников // Журнал «МГСУ», 2014. - №10. - С.132-140.

2. *Бирбраер А.Н.* Экстремальные воздействия на сооружения / А. Н. Бирбраер, А. Ю. Роледер. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 594 с.

3. *Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования: ДБН В.1.2-2:2006.* – [Введен в действие с 01-01-2007]. – К.: Минстрой Украины, 2006. – 78 с. (Государственные строительные нормы Украины).

4. *Yong, L.* Reliability evaluation of composite power systems using Markov cut-set method [Text] / L. Yong, C. Singh //IEEE Trans. on Power Systems. – 2010. – Vol. 25, № 2. – P. 777-785.

5. *Haitao G.* Automatic creation of Markov models for reliability assessment of safety instrumented systems [Text] / G. Haitao, Y. Xianhui //Reliability Engineering & System Safety. – 2008. – Vol. 93, № 6. – P. 829–837 7. *Codetta-Raiteri, D.* Integrating several formalisms in order to increase fault trees' modeling power [Text] / D. Codetta-Raiteri // Reliability Engineering & System Safety. – 2011. – Vol. 96, № 5. – P. 534–544.

6. *Ruiz-Castro J.E.* Modelling a reliability system governed by discrete phase-type distributions [Text] / J. E. Ruiz-Castro, R. Pérez-Ocón, G. Fernández-Villodre // Reliability Engineering & System Safety. – 2008. – Vol. 93, № 11. – P. 1650–1657.

7. *Chryssaphinou O.* Multi-state reliability systems under discrete time semi-Markovian hypothesis [Text] /O. Chryssaphinou, N. Limnios, S. Malefaki // IEEE Trans. on Reliability. – 2011. – Vol. 60, № 1. – P. 80–87.

8. *Lozynsky O.Y.* Failure intensity determination using Markov reliability model for renewal nonredundancy systems [Text] / O. Y.

Lozynsky, S. V. Shcherbovskykh // Przegląd Elektrotechniczny. – 2009. –Vol. 85, № 4. –P. 89-91.

9. *Shcherbovskykh S. V. Mathematical models and methods for reliability characteristic determination of k-terminal systems with load-sharing taking into account [Text] / S. V. Shcherbovskykh. – Lviv Polytechnic Press, 2012. – 296 p.*

10. *Ковалев А.П. О проблемах оценки безопасности электротехнических объектов [Текст] / А. П. Ковалев // Электричество. – 1991 – № 7. – С. 50-55.*

11. *Ковалев А.П. Оценка пожарной безопасности передвижных транс-форматорных подстанций 110/35/6 кВ /А. П. Ковалев, А.В. Шевченко, И. В. Белоусенко //Промышленная энергетика – 1991. – №6 – с.28 – 31.*

12. *Ковалев А.П. Об оценке взрывобезопасности квартир, эксплуатирующих бытовой газ / А. П. Ковалев, И. И. Лехтман, В. П. Вьюнов // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Сер. «Електротехніка і енергетика» – 2009. – № 9.*

13. *Ромашкина М.А. Численное исследование напряженно-деформированного состояния кирпичного жилого здания при запроектном воздействии (взрыв бытового газа внутри помещения) / М.А. Ромашкина // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. научн. трудов. – Д.: ГВУЗ ПГАСА, 2015. – С. 28-37.*

14. *Барабаш М.С. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния кирпичного жилого здания при взрыве бытового газа внутри помещения / М. С. Барабаш, П. Н. Кирьязов, М. А. Ромашкина // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Vol. 12, Issue 1. – М. : Изд-во «АСВ», 2016. – с. 73–85.*

Abstract

The article proposes the method of evaluating an apartment explosion, which mathematically describes the probability of an explosion of gas-air mixture in the gasified apartments at the coincidence in time and space of three random events: beginning of a gas leak; a harmful concentration of methane-air mixture; appearance of a source of ignition of methane-air mixture.

Keywords: explosion, gas, random event, failure probability.

Анотація

Разработано дерево отказов развития аварийной ситуации при утечке газа в газифицированных квартире. Предложена методика оценки взрывобезопасности квартиры, которая математически описывает вероятность взрыва газовой смеси в газифицированной квартире при совпадении в пространстве и времени трех случайных событий: возникла утечка газа; достигнута опасная концентрация газовой смеси; наличие источника воспламенения газовой смеси.

Ключевые слова: взрыв, газ, случайное событие, отказ, вероятность.

Стаття надійшла до редакції у березні 2016р.

УДК 504.75

Коваленко Л.О.¹⁹, к.т.н. доцент

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
м. Харків, Україна*

**АНАЛІЗ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

Розглянуто динаміку зміни екологічного стану та структури забруднення атмосферного повітря у великих містах (на прикладі міста Харкова).

Ключові слова: атмосферне повітря, автомобільний транспорт, забруднюючі речовини, викид, концентрація, індекс забруднення.

На сьогоднішній день екологічний стан міста Харкова характеризується як стабільно напружений, хоча спад виробництва і виконання ряду першочергових заходів організаційного та технічного характеру частково стримують наростання негативних процесів деградації навколишнього природного середовища [1]. Значна кількість суб'єктів господарювання, розташованих у Харкові та області, а також збільшення числа транспортних

¹⁹ ©Коваленко Н.О.