

4. Информационный бюллетень за 2010 год. Состояние работ по прогнозу загрязнения воздуха в городах Украины, 2011. – 68 с.
5. Матеріали впровадження нового механізму регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря / за ред. С.С.Курулєнка. – К.: ДЕІ Мінприроди України, 2007. – 216 с.
6. Дармофал Э.А. Моделирование распространения суммарного загрязнения воздуха при шахтной добыче полезных ископаемых / Библиотека ИВТН-2011. Информационно-вычислительные технологии в решении фундаментальных проблем и прикладных научных задач. // Сб. материалов. Москва, 2001. – с. 23-24 [www.ivtn.ru].
7. Дармофал Е. А., Адаменко Н. И. Техническое обслуживание систем наблюдения за экологически опасным влиянием шахтных выбросов на окружающую среду // Вестник ДГМА. – 2014. - № 1(32) - с. 39-42.
8. Экология города: Учебник. Под общ. ред. Ф.В.Стольберга – К.: Либра, 2000. – 464 с.

УДК 504.06

Коваленко А.Н.

КП «Харьковводоканал»

Юрченко В.А., Лебедева Е.С., Коваленко А.В., Бригада Е.В.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ОБРАЗОВАНИЕ СЕРОВОДОРОДА – ПРОБЛЕМА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Введение. Одним из наиболее значимых факторов риска при эксплуатации сооружений водоотведения является накопление в эксплуатационных средах бетонных трубопроводов (сточной воде, подсводовом пространстве, конденсатной влаге на своде) сероводорода, его производных и продуктов окисления, инициирующих биогенную сернокислотную коррозию бетонного свода. Коррозия является причиной 70-75 % аварий на железобетонных трубопроводах водоотведения, снижая их долговечность с планируемых 50 до 10-15 лет [1-4].

Микробиологические превращения соединений серы в канализационных трубопроводах – сульфатредукция в транспортируемых сточных водах с образованием сероводорода и окисление его на сводовой части до серной кислоты тиабациллами, самый масштабный и самый интенсивный процесс по сравнению с другими техническими и природными объектами. Следствием его является активное коррозионное разрушение сотен километров бетонных трубопроводов водоотведения [2-5]. Кроме того, сероводород в газообразных выбросах из канализационных

сетей создает проблемы для экологической безопасности населения [3].

Цель и задачи исследования - экспериментальное установление кинетических показателей и математическое моделирование микробиологических процессов образования сероводорода и его коррозионно агрессивного продукта – серной кислоты, в сетях водоотведения.

Математическое моделирование образования сероводорода в сточных водах и накопления в атмосфере подсводового пространства канализационных сетей

Моделирование процесса образования сульфидов в биопленке лотковой части коллектора и отложениях, перехода сульфидов в поток сточных вод, биохимических и физико-химических превращений сульфидов в потоке сточных вод с последующей эмиссией сероводорода в подсводовое пространство коллектора включает в себя моделирование процесса аэробного роста гетеротрофной биомассы в потоке сточных вод и биопленке лотковой части; процесса потребления субстрата, поддающегося ферментации, и продуктов про-

цесса ферментации в энергетическом метаболизме; процесса аэробной и анаэробной гидролиза; процесса ферментации; процесса образования сульфидов; процесса химического и биологического окисления сульфидов в потоке сточных вод и в биопленке лотковой части, процесса эмиссии сульфидов в подводящее пространство коллектора через поверхность раздела фаз; процесса реаэрации кислорода из атмосферы коллектора; гидродинамического режима течения потока сточной жидкости в самотечном коллекторе. В качестве основных переменных принимали: концентрацию растворенного органического вещества в виде - субстрата, поддающегося ферментации S_F , (г ХПК/м³); субстрата в виде продуктов ферментации S_A , (г ХПК/м³); быстро X_{S1} и медленно X_{S2} гидролизуемого субстрата, (г ХПК/м³); суммарную концентрацию растворенных сульфидов $S_{S(-II)}$ (H_2S, HS^-, S^{2-}), г S/м³; концентрацию растворенного кислорода S_{O_2} , г O₂/м³; поверхностную концентрацию биомассы гетеротрофных микроорганизмов в составе биопленки X_{BF} , (г ХПК/м²); концентрацию биомассы гетеротрофных микроорганизмов в сточной жидкости X_{BW} (г ХПК/м³).

Модель движения сточной жидкости в режиме идеального вытеснителя и одновременного биохимического образования сульфидов с их последующим окислением, органического субстрата, кислорода, взвешенной биомассы микроорганизмов по длине самотечного коллектора представляется в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial S_F}{\partial t} = -V \frac{\partial S_F}{\partial x} + r_{S_F}; \quad \frac{\partial S_A}{\partial t} = -V \frac{\partial S_A}{\partial x} + r_{S_A}; \\ \frac{\partial X_{S1}}{\partial t} = -V \frac{\partial X_{S1}}{\partial x} + r_{X_{S1}}; \quad \frac{\partial X_{S2}}{\partial t} = -V \frac{\partial X_{S2}}{\partial x} + r_{X_{S2}}; \\ \frac{\partial X_{BW}}{\partial t} = -V \frac{\partial X_{BW}}{\partial x} + r_{X_{BW}}; \\ \frac{\partial S_{S(-II)}}{\partial t} = -V \frac{\partial S_{S(-II)}}{\partial x} + r_{S_{S(-II)}}; \\ \frac{\partial S_{O_2}}{\partial t} = -V \frac{\partial S_{O_2}}{\partial x} + r_{S_{O_2}}; \quad \frac{\partial S_{A.H_2S}}{\partial t} = -V_A \frac{\partial S_{A.H_2S}}{\partial x} + r_{S_{A.H_2S}}. \end{array} \right. \quad (1)$$

где $V = Q/\omega_w$ - средняя скорость течения

сточной жидкости в коллекторе, м/с; Q - расход сточных вод, м³/с; ω_w - площадь поперечного сечения потока сточных вод в коллекторе, м²; t, t_A - время пребывания сточных вод на рассматриваемом участке самотечного коллектора и движения воздуха, с; x - координата по длине коллектора, м; V_A - средняя скорость движения потока воздуха над самотечным потоком сточных вод, принимается $(0,15-0,3)V$; r_{S_F} - скорость изменения концентрации субстрата поддающегося ферментации, г ХСК/м³·с; r_{S_A} - скорость изменения концентрации продуктов ферментации, г ХСК/м³·с; $r_{X_{S1}}, r_{X_{S2}}$ - скорость изменения концентрации быстро и медленно гидролизуемого субстрата, г ХСК/м³·с; $r_{X_{BW}}$ - скорость изменения концентрации гетеротрофных микроорганизмов в сточной жидкости, г ХСК/м³·с; $r_{S_{S(-II)}}$ - скорость изменения концентрации сульфидов в сточной жидкости, г S/м³·с; $r_{S_{O_2}}$ - скорость изменения концентрации растворенного кислорода, г O₂/м³·с; $r_{S_{A.H_2S}}$ - скорость изменения концентрации H₂S в атмосфере коллектора за счет эмиссии H₂S из потока сточных вод и скорости изъятия H₂S в результате биохимических и физико-химических процессов на поверхности свода коллектора, г S/м³·с.

Введем безразмерные переменные

$$z = x/l, \quad \tau = t/T, \\ \tau_A = t/T_A$$

где l - длина данного участка коллектора, м; T - время пребывания сточных вод на данном участке коллектора, с; T_A - время пребывания воздушного потока на данном участке коллектора, с.

$$T = l/V, \quad T_A = l/V_A.$$

Для упрощения решения системы (1) рассматриваются стационарные условия протекания физико-химических и биохимических процессов, т.е. $\partial S/\partial \tau = 0, \partial X/\partial \tau = 0, \partial S_{A.H_2S}/\partial \tau_A = 0$.

Тогда система уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial S_F}{\partial z} = r_{S_F} T; \frac{\partial S_A}{\partial z} = r_{S_A} T; \\ \frac{\partial X_{S1}}{\partial z} = r_{X_{S1}} T; \frac{\partial X_{S2}}{\partial z} = r_{X_{S2}} T; \\ \frac{\partial X_{BW}}{\partial z} = r_{X_{BW}} T; \frac{\partial S_{S(-II)}}{\partial z} = r_{S_{S(-II)}} T; \\ \frac{\partial S_{O_2}}{\partial z} = r_{S_{O_2}} T; \frac{\partial S_{A.H_2S}}{\partial z} = r_{S_{A.H_2S}} T_A. \end{cases} \quad (2)$$

На основании экспериментальных исследований определены усредненные по времени граничные условия:

$$\begin{cases} S_F = S_F^0; S_A = S_A^0; \\ X_{S1} = X_{S1}^0; X_{S2} = X_{S2}^0; \\ X_{BW} = X_{BW}^0; S_{S(-II)} = S_{S(-II)}^0; \\ S_{O_2} = S_{O_2}^0; S_{A.H_2S} = S_{A.H_2S}^0. \end{cases} \quad \text{при } z=0, \quad (3)$$

$S_F^0, S_A^0, X_{S1}^0, X_{S2}^0, X_{BW}^0, S_{S(-II)}^0, S_{O_2}^0, S_{A.H_2S}^0$ - соответствующие концентрации в сточной жидкости в начале данного участка коллектора.

Решение этой системы позволяет рассчитать концентрацию всех основных переменных по длине участка коллектора с учетом процессов, происходящих в самотечных канализационных коллекторах, а также концентрацию H_2S в атмосфере подсводового пространства на основании соответствующей удельной скорости изменения концентрации сероводорода:

$$\begin{aligned} r_{S_{A.H_2S}} = & 0,86 \cdot \left(0,86 \cdot \left(1 + 0,2 \frac{V^2}{gh_{mean}} \right) \cdot (iV)^{3/8} \right) \times \\ & \times (h_{mean})^{-1} \cdot b \cdot k_{pH} \times \left(S_{S(-II)} - \frac{S_{A.H_2S} \beta}{k_{pH} C_{H.W/A.H_2S}} \right) \\ & \cdot 1,034^{T-20} - k_{AD.OX} \alpha_A \cdot \left(\frac{S_{A.H_2S}}{K_{S_{A.H_2S}} + S_{A.H_2S}} \right) \cdot 1,03^{T-20} \end{aligned} \quad (4)$$

где V - средняя скорость течения сточной жидкости, м/с; g - ускорение силы тяжести, м/с²; h_{mean} - средняя гидравлическая глубина; i - уклон коллектора, b - коэффициент, учитывающий влияние физико-химического состава сточной жидкости на массоперенос сероводорода по сравнению с чистой водой; k_{pH} - коэффициент, учитывающий часть сероводорода из общего ко-

личества растворенных сульфидов в зависимости от pH ; $S_{S(-II)}$ - суммарная концентрация растворенных сульфидов, г S/m^3 ; $S_{A.H_2S}$ - концентрация сероводорода в атмосфере коллектора, г S/m^3 ; β - коэффициент, учитывающий влияние физико-химического состава сточных вод на концентрацию насыщения сероводорода; $C_{H.W/A.H_2S}$ - безразмерное значение константы закона Генри (м³ водной фазы/м³ газовой фазы) для сероводорода; T - температура сточной жидкости, °C; $k_{AD.OX}$ - максимальная поверхностная скорость адсорбции сероводорода из атмосферы коллектора в пленке конденсатной влаги и окисления в биопленке тионовыми микроорганизмами на своде коллектора, г $S(m^2 \cdot c)^{-1}$; α_A - удельная площадь поверхности пленки конденсатной влаги и биопленки на своде коллектора, м⁻¹; $K_{S_{A.H_2S}}$ - константа полунасыщения по газообразному сероводороду, г S/m^3 .

Образование серной кислоты в конденсатной влаге на своде биопленкой тиобацилл по кинетике первого порядка ферментативного окисления серосодержащих соединений, наиболее вероятной в условиях канализационного коллектора, описывается выражением:

$$\frac{\partial C_S^{nl}}{\partial t} = D_S \frac{\partial^2 C_S^{nl}}{\partial h_{cv}^2} - \frac{\mu_{maxm}}{Y_{S.m}} \frac{C_S^{nl}}{K_{S.m}} X_{nl.m} = 0 \quad (5)$$

где C_S^{nl} - концентрация сульфидов в биопленке, г/м³; h_{cv} - координата по толщине биопленки, м; D_S - коэффициент диффузии серосодержащих соединений в биопленке, (0,8 $D_S^{молекула}$), м²/сут; удельная скорость роста тиобацилл, сут⁻¹; $Y_{S.T}$ - экономический коэффициент тиобацилл, г/г; $X_{nl.m}$ - приведенная объемная концентрация тиобацилл биопленки, г/м³:

$$X_{nl.m} = \alpha_{cv} B_{cv} \rho_{nl.m}, \quad (6)$$

где α_{cv} - коэффициент удельной поверхности биопленки во влаге на своде, м²/м³; B_{cv} - толщина биопленки на своде, м; $\rho_{nl.m}$ - концентрация тиобацилл в биопленке, г/м³.

Решения уравнения (5) в безразмерных переменных, нормированных по C_S^0 - концентрации серы серосодержащих соединений на границе раздела конденсатная влага-биопленка (г/м^3), и $B_{св}$, для стационарного процесса при граничных условиях

$$\xi = \frac{h}{B} = 0, \tilde{C} = 1; \xi = 1, \frac{\partial \tilde{C}}{\partial \xi} = 0, \text{ где}$$

$$\tilde{C} = \frac{C_S}{C_S^0}, \text{ та } z = \sqrt{\frac{\mu_{max} \cdot B_{св}^2 \cdot X}{Y_{S.m} \cdot D_S \cdot K}}, \quad (7)$$

известно и определяется зависимостью

$$\tilde{C}(\xi) = ch(z\xi) - th(z) \times sh(z\xi). \quad (8)$$

Концентрация серной кислоты ($C_{H_2SO_4}^{к.б.}$, г/м^3), образованной тиобациллами на поверхности бетона, может быть определена из зависимости:

$$C_{H_2SO_4}^{к.б.} = c_m \cdot k_1 C_S^0 \cdot \left(1 - \int_0^1 C(\xi) d\xi \right) \quad (9)$$

где c_m - коэффициент, учитывающий экспериментально соотношение $S-H_2S/S-H_2SO_4$ при окислении серосодержащих соединений тиобациллами (0,8); k_1 - стехиометрический коэффициент, который отражает соотношение молекулярных масс $M_{H_2SO_4} / M_S$ 98/32, (3,06); $1 - \int_0^1 C(\xi) d\xi$ -

часть серы серосодержащих соединений, преобразованной в биопленке.

В зависимость (9) вводятся поправочные коэффициенты, отражающие влияние концентрации O_2 , pH и ингибирующее влияние органических соединений на образование H_2SO_4 .

$$C_{H_2SO_4}^{к.б.} = c_m \cdot k_1 C_S^0 \cdot \left(1 - \int_0^1 C(\xi) d\xi \right) \times$$

$$\times \left(\frac{K_{ХПК\ m.}}{K_{ХПК\ m.} + ХПК} \right) \cdot \left(\frac{C_O}{K_O + C_O} \right) \times$$

$$\times \frac{1}{1 - (x_1 / x_2)^{\ln(99) / \ln(x_3 / x_2)}} \quad (10)$$

где $K_{I\ ХСК\ m.}$ - константа ингибирования аэробного хемосинтеза тиобацилл органическими соединениями, г/м^3 ; $ХПК$ - концентрация органических соединений в

среде, г/м^3 ; K_O - константа полунасыщения аэробного хемосинтеза тиобацилл кислородом, г/м^3 ; C_O - концентрация растворенного кислорода в среде, г/м^3 ; x_1, x_2, x_3 - аргументы зависимости развития тиобацилл от pH - $a_{pH\ m.}$:

$$a_{pH\ m.} = \begin{cases} F(1,1 - pH, 1,1 - K_{И1}, 1,1 - K_{И2}), \\ \text{при } pH < 1,1, \\ F(pH - 1,1, K_{И1}, -1,1, K_{И2}, -1,1), \\ \text{при } pH > 1,1, \end{cases}$$

Концентрация серы серосодержащих соединений для аэробного хемосинтеза в конденсатной влаге (г/м^3) на своде участка коллектора длиной l равна:

$$C_S = k_3 C_S^{к.б.} = \frac{k_3 K_M V_{л} C_{H_2S}^{л} \cdot M_{H_2S}}{q_{H_2O}} =$$

$$= \frac{K_M [0,03 (\sum C_{H_2S}^{л})^2 - 0,72 + 4,88 (\sum C_{H_2S}^{л}) - 9,51] V_{л} \cdot 34}{q_{H_2O}} \quad (11)$$

где K_M - коэффициент массопереноса сероводорода из сточной жидкости в конденсатную влагу, ч^{-1} ; $V_{л}$ - объем лотковой части, м^3 ; $C_{H_2S}^{л}$ - концентрации H_2S в воде, Моль/м^3 ; M_{H_2S} - г-Моль H_2S , 34 г/Моль; q_{H_2O} - поток воды на свод на участке длиной l , $\text{м}^3/\text{ч}$; k_3 - стехиометрический коэффициент M_S / M_{H_2S} , 32/34 (0,94).

Значения K_M , рассчитанные по данным собственных исследований и литературным данным, колеблются в довольно широких пределах, в среднем равны $0,39 \text{ ч}^{-1}$.

Подавление образования сероводорода в канализационных сетях при использовании тепловых насосов

Известно, что при использовании тепловых насосов достигается экологический эффект, обусловленный уменьшением потребления природного газа для отопления и как следствия - снижения выбросов парниковых газов в атмосферу. Однако, на сооружениях канализации охлаждение транспортируемых сточных вод позволяет достичь еще ряда положительных результатов, имеющих экологическое и эксплуатационное значение. Так, снижение темпе-

ратуры сточных вод приводит к торможению скорости микробиологической сульфатредукции (уравнение (11) в сточной воде, снижая мультипликативный коэффициент K_t , учитывающий влияние на процесс температуры согласно формуле 13 [3]:

$$\rho_{\text{сульфатред}} = \rho_{\text{max}} \left(\frac{C_{SO4}^L}{K_{mSO4} + C_{SO4}^L} \right) \cdot \left(\frac{C_{ХПК}^L}{K_{mХПК} + C_{ХПК}^L} \right) \cdot K_{O_2} \cdot K_t \cdot K_{pH} \quad (12)$$

$$K_t = 10^{k_T(T-T_{opt})} \quad (13)$$

где $\rho_{\text{сульфатред}}$, ρ – удельная текущая и максимальная удельная скорости сульфатредукции, $ч^{-1}$, C_{SO4}^L – концентрация сульфатов в сточной воде, $мг/дм^3$, $C_{ХПК}^L$ – ХПК сточной воды, $мг/дм^3$, K_{mSO4} – константа полунасыщения сульфатредукции по сульфатам, $мг/дм^3$, $K_{mХПК}$ – константа полунасыщения сульфатредукции по ХПК, $мг/дм^3$, K_{O_2} , K_{pH} – поправочные коэффициенты, отражающие влияние концентрации O_2 , pH на скорость сульфатредукции, k_t – температурный коэффициент - 0,03, T – температура среды, $^{\circ}C$, T_{opt} – оптимальная температура среды, $^{\circ}C$.

Исходя из этой формулы, при понижении температуры на 6-8 градусов, скорость образования H_2S снижается ~ на 25-30%, и на столько же снижается концентрация H_2S в атмосфере коллектора и конденсатной влаге на своде [1-3].

Снижение температуры сточных вод приведет также к повышению растворимости H_2S в воде и снижению его элюирования в газообразную среду. При снижении температуры воды с 22 до 15 $^{\circ}C$ растворимость H_2S повысится ~ на 20 % [7], т.е. ~ на 20% снизится выброс этого газа в атмосферу.

Таким образом, если суммировать эти эффекты, то в целом, концентрация H_2S в подсводовом пространстве коллекторов после снижения температуры транспортируемой сточной воды на 6-8 $^{\circ}C$ снизится ~ на 44% от исходной:

$$OK_{н.п.} = C_{исх.} \cdot \frac{100 - a}{100} \cdot \frac{100 - b}{100} = 56\%, \quad (14)$$

где OK – остаточная концентрация H_2S в подсводовом пространстве коллекторов после снижения температуры от исходной, %, $C_{исх.}$ – исходная концентрация H_2S , a – эффект снижения концентрации H_2S в сточной воде, 30 %, b – эффект задержания H_2S в сточной воде, 20 %.

Понижение температуры сточной воды снизит и скорость коррозии бетона сводовой части коллектора. Поскольку концентрация H_2S в воздухе после снижения температуры воды снизится ~ на 44 %, то его концентрация в конденсатной влаге снизится также ~ на 44 %, а значит и на столько же – концентрация образуемой из него серной кислоты. Глубина коррозии бетона (h_k , см) сводовой части зависит от концентрации серной кислоты во влаге на бетоне [3, 5, 7]:

$$h_k = \sqrt{2\tilde{D}_k \frac{C_1^0}{C_1^*} t + \delta^2} - \delta, \quad (15)$$

где, D_k – коэффициент молекулярной диффузии кислоты в порах бетона, C_1^0 – концентрации серной кислоты на поверхности бетона, $см^2/ч$ C_1^* – концентрация серной кислоты на фронте коррозии, $кг/м^3$, δ – расстояния диффузии серной кислоты вглубь неповрежденного бетона впереди фронта коррозии, см.

Скорость коррозии бетона $V_{корр.}$ (см/год) пропорциональна глубине коррозии:

$$V_{корр.} = \frac{h_k}{t}, \quad (16)$$

где, h_k – глубина коррозии, см, t – продолжительность кислотной агрессии, годы.

При снижении концентрации H_2S в конденсатной влаге до 0,56 $C_{исх.}$, глубина коррозии будет пропорциональна $\sqrt{0,56} \cdot C_{исх.} = 0,75 C_{исх.}$ Следовательно, после снижения температуры транспортируемой сточной воды на 6-8 $^{\circ}C$, снижение глубины и скорости коррозии бетона на сводовой части канализационного трубопровода составит около 25%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев В.М., Панкова Г.А., Столбихин Ю.В. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии// Водоснабжение и санитарная техника. - 2013. - № 9. - С. 67-76.
2. Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация.– Донецк: ИЭП НАН Украины, 2003. – 260 с.
3. Юрченко В.А. Развитие научно-технологических основ эксплуатации сооружений канализации в условиях биохимического окисления неорганических соединений: дисс... доктора техн. наук: 05.23.04 / Юрченко Валентина Александровна. - УГНИИ „УкрВОДГЕО”. – Харьков, 2007.– 426 с.
4. Гончаренко Д.Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: Монография. – Харьков: Консум, 2008. – 400 с.
5. Рекомендации по оценке степени коррозионного воздействия слабоагрессивных кислотных сред на бетон. – М.: НИИЖБ, 1986. – 14 с.
6. Розенталь Н.К. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод // Бетон и железобетон. Оборудование, материалы, технология, 2011. - № 1. - С. 96-103.
7. Кузнецов В.В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высшая школа, 1968. – 392 с.

УДК 502.175

Кучук Н.Г.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Вступ. Сьогодні аспект ефективного економічного розвитку та зменшення витрат на знищення наслідків виробництва набув найбільшої актуальності. Проблема інтенсивного розвитку суспільства та, як наслідок, руйнівна сила небезпечних факторів виробництва постає надто гостро.

Людство усвідомило те, що біосфера, як головне місце проживання людини, має певні межі саморегуляції. Атмосферне повітря є одним з головних середовищ діяльності біосфери [1]. При забрудненні атмосферного повітря змінюються його складові при надходженні домішок природного та антропогенного походження [2]. Речовини, що забруднюють навколишнє середовище, різноманітні за дією та походженням. Слід відзначити, що співвідношення між основними компонентами атмосферного повітря майже не змінилося, однак у період промислового та науково-технічного прогресу збільшився обсяг забруднення атмосфери газами та аерозолями техногенного походження. Найбільша кількість відходів у повітря потрапляє завдяки чорній та кольоровій металургії, хімії та нафтохімії, будівельній індуст-

рії, енергетики тощо. З кожним роком зростає забруднення повітря небезпечними речовинами, що є викидами автомобільного транспорту [3].

Забруднення атмосфери призводить до появи глобальних екологічних проблем, наприклад таких як екологічна криза та екологічна катастрофа. Під екологічною кризою розуміється ситуація що виникає в екосистемах через порушення екологічної рівноваги під впливом стихійних природних явищ або антропогенних факторів. Також екологічна криза відображає напружені взаємовідносини між людиною та природою, що характеризується невідповідністю розвитку виробництва в суспільстві ресурсно-екологічним можливостям біосфери. Наближення екологічної кризи у нашій країні пов'язане з інтенсифікацією потенційно небезпечних технологій і порушенням рівноваги в екосистемах внаслідок забруднення її промисловими відходами [5].

Мета та завдання дослідження. Метою даного дослідження є обґрунтування підходу до розробки інформаційної моделі, що розраховує ймовірність поєд-