УДК 656.71:504.4.054.51-7(045)
https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202508-05

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PHYSICAL PARAMETERS OF WASTEWATER

Valery Frolov, Olena Stepova, Oksana Illiash
Department of Applied Ecology
and Nature Management, National University
«Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,
Poltava, Ukraine

Abstract

This paper presents a comprehensive methodology for determining the physical parameters of wastewater during its discharge into surface water bodies of various types, including rivers, lakes, and storage reservoirs. The proposed approach enables the assessment of impurity precipitation kinetics in wastewater and the identification of key factors influencing sedimentation and mixing processes in natural hydroecosystems. Particular attention is paid to the role of hydraulic particle size, density, shape, and mass, as well as to hydrological, physicochemical, and temperature conditions of receiving water bodies.

The methodology is based on classical hydromechanical principles, including gravitational and centrifugal force analysis, resistance forces of the aquatic environment, and dilution and mixing models. Mathematical relationships are applied to determine particle deposition rates under laminar and turbulent flow regimes, taking into account deviations from Stokes' law for fine and non-spherical particles. The influence of Brownian motion on ultrafine particles and the effects of turbulence, coagulation, and hydrodynamic complexation on heterogeneous particle mixing are also analyzed.

An algorithm for preliminary wastewater treatment at industrial and municipal enterprises prior to discharge into surface waters is proposed. This algorithm allows for the calculation of maximum permissible concentrations of pollutants, suspended solids, biochemical oxygen demand, temperature, and acid–alkaline balance in wastewater, in accordance with sanitary and environmental standards. The applicability of the developed methodology is confirmed by comparing experimental data obtained from field measurements at wastewater–surface water mixing zones with calculated values, demonstrating high correlation and predictive reliability.

The implementation of the proposed methodology provides an effective tool for predicting the spatial and temporal distribution of pollutants in the water column and bottom sediments, including toxic metals. Its application contributes to improving environmental safety, protecting surface and groundwater resources, and enhancing the quality of drinking water sources in Ukraine under conditions of increasing anthropogenic pressure.

Keywords: wastewater discharge; surface water bodies; physical parameters; sedimentation kinetics; hydraulic particle size; mixing processes; environmental safety

Introduction

The problem of the aquatic environment quality in the World the long time has been one of the most important problems of human society [1-5]. As for Ukraine, the scale of anthropogenic impact on water bodies has already reached a critical point [6-8]. Today,

there are not surface water bodies left in Ukraine that would not change as a result of anthropogenic impact. The pollution level of rivers and lakes, as a result of harmful substances incoming, has reached critical levels. The results of sanitary and hygienic surface aquatic ecosystems assessment in Ukraine suggest that the main risk factor for human health is the use of surface and groundwater from different types of water sources (wells, pump rooms, etc.).

According to the current legislation of Ukraine, all wastewater must be treated from toxic impurities before being discharged to surface water bodies. Today, to meet these requirements, depending on the chemical composition of wastewater, various methods and ways to restore their quality characteristics are used [3, 9-12].

Industrial and domestic wastewater, before being discharged to surface water bodies, are subjected to purification to the required quality by mechanical, chemical, physically-chemical and biological methods. These methods are divided into recovery and destructive. Recovery methods involve the removal from wastewater and further processing of all valuable substances contained in them. At destructive methods, pollutants are destroyed by oxidation or reduction, and the products of destruction are removed from the water as a gases or sediments [1, 3-5, 11].

1. Description of physical parameters of reverse waters

Depending on the aquatic environment into which the wastewater enters, the processes of pollutants destruction contained in them and their transfer rate into certain distances (or suspended impurities sediment) will depend on many factors, namely: gravity, centrifugal force, gravitational force and centrifugation [3, 13].

The wastewater impurities deposition kinetics in hydroecosystems will be different and will depend on many parameters of a particular surface water body (flow rate, depth, temperature, chemical composition, density, etc.).

The main parameter in the calculation of deposition (hydraulic size) is the particles sedimentation rate to the reservoir bottom. When a particle is deposited on the reservoir bottom under the gravity action, the driving force of a solid particle with a diameter dr is described by the difference between its weight:

$$G = m_r q = \pi \frac{d_r^3}{6} p_r q \,, \tag{1}$$

and an Archimedean repulsive force equals the liquid weight in the volume of the particle:

$$A = m_0 q = \pi \frac{d_r^3}{6} p_0 q \,, \tag{2}$$

$$G - A = \pi \frac{d_r^3}{6} q(p_r - p_0) \,, \tag{3}$$

where ρ_r – solid particle density, kg/m^3, the resistance force of the aqueous environment, in which the particles contained in wastewater fall into, according to Newton will be presented as:

$$R = \int \frac{\pi d_r^3}{4} \cdot \frac{p_0 W_{oc}^2}{2} \,, \tag{4}$$

where $\int$ – the resistance coefficient of the aquatic environment, which depends on the particles deposition mode in the surface water. The deposition rate can be found from the condition of equality of force driving of the particle and resistance force of the aquatic environment into which the particle enters:

$$W_0 = \sqrt{\frac{4 d_{r(p_r - p_0)} q}{3 \int p_0}}, \tag{5}$$

In the laminar deposition mode at $\int = 24/R_e$ we obtain the Stokes formula:

$$W_0 = \sqrt{\frac{4 d_{r(p_r - p_0)} q}{3 \int p_0}} \,, \tag{6}$$

There is also a minimum particles size, when a deviation from Stokes' law is observed and at $R_{er} \leq 10^{-4}$ very small particles deposition rate begins to be affected by the temperature factor of the aquatic environment molecules. Calculations have shown that at $d_r \approx 0.1$mcm the particles don't sediment and chaotic Brownian motion is observed.

Non-spherical particles deposition rate is less than spherical particles deposition rate. For non-spherical particles, in the formulas for the equivalent diameter d_e determination, the volume V_r or the mass G_r of particles entering the aqueous medium is used:

$$d_e = \sqrt[3]{6V_r / \pi} = \sqrt[3]{6G_r / \pi p_r}, \quad (7)$$

When the wastewater sedimentation, there is a limitation of deposition, which is accompanied by the collision of particles, friction between them and changes in the velocities of large and small particles. This process occurs when wastewater enters lakes or other surface water bodies where there is no flow. If the wastewater enters rivers at different flow rates, the deposition and dissolution processes of their impurities are described taking into account many physicochemical, temperature and other factors. The turbulence, coagulation and hydrodynamic complexation affect the process of different shapes and masses particles mixing in the total volume of the hydroecosystem [2].

The inhomogeneous particles separation rate in the field of centrifugal forces is higher compared to these particles separation rate in the field of gravity. The mathematical relation of the speed of the centrifugal force to the force of gravity can be carried out by comparing the accelerations acting on the particles of impurities when entering the river with a certain flow velocity in the centrifugal and gravitational fields. In general, the centrifugal force P_c (H) is equal to:

$$P_c = \frac{mU_o^2}{r} = \frac{GU_o^2}{qr}, \quad (8)$$

where m – particle mass (kg); G – particle weight (H); U_o – angular velocity (m/sec); r – radius of rotation (m).

Dilution of wastewater is a process of reducing the concentration of impurities in the reservoirs into which they discharge, caused by mixing the wastewater with the aquatic environment. The intensity of the dilution process is quantitatively characterized by the multiplicity of dilution:

$$n = (C - C_r / C - C_r), \quad (9)$$

where C_o – concentration of impurities in wastewater, discharging into reservoirs (mg/m^3); C_r та C – concentration of impurities in the reservoir before and after wastewater discharging respectively.

In flowing water bodies with a directed flow, the multiplicity of dilution in the calculated line n is determined by the formula:

$$n = (mQ + q) / q, \quad (10)$$

where m – mixing factor, which indicates what part of the water flow in the reservoir is involved in mixing; q – volume consumption of wastewater, discharging into surface water body with volume consumption of water Q in the reservoir.

With complete mixing of the wastewater, the concentration of impurities in the reservoir at any time is equal to:

$$C = t(C_0 q + \sum C_{\acute{A}} Q) / V, \quad (11)$$

where t= V/ρ+∑Q-$Q_п$ – period of complete water exchange in the reservoir; V – reservoir volume; $Q_п$ – water consumption in the reservoir without impurities.

Conection between sanitary requirements to the discharge conditions into reservoirs, ie compliance of the water composition and properties of reservoir used for water use with the established standards (Maximum Allowable Concentration) and the required degree of wastewater treatment before discharge into reservoirs in general can be described by the formula [3]:

$$C_c q + C_p mQ \le (mQ + q) C_{mp}, \quad (12)$$

where C_c – concentration of pollutants (amount of harmful substances) of wastewater at which admissible norms will not be exceeded; q – water consumption discharge into the surface water body; C_p – the concentration of the same type of pollution in the water of the reservoir above the place of discharge of the considered runoff; Q – water consumption in the reservoir; C_{mp} – maximum permissible concentration of pollution (harmful substances) in the water of the reservoir.

The concentration of pollution m depends on many factors: the design of the outlet, the distance to the calculated line of discharge, hydraulic and hydrological parameters of the surface reservoir [4].

Converting formula (12), you can get the value of C_c, ie, the value of the pollutants concentration (harmful substances) in wastewater, which must be achieved as a result of their treatment and disposal by previous methods at enterprises:

$$C_c \le mQ(C_{mp} - C_p) q + C_{mp}, \quad (13)$$

It should be noted that the conditions of wastewater mixing with the lakes and storage reservoirs are significantly different from the conditions of their mixing in rivers. The impurities concentration decreases significantly in the initial mixing zone, but complete mixing occurs at much greater distances from the place of discharge than in rivers. In addition, the mixing in time, direction and value of air velocity over lakes and storage reservoirs, which carry pollution in different directions from the discharge place. The mixing process and the chemical reactions rate that occur in lakes and storage reservoirs are influenced by the season and water temperature. Therefore, enterprises and organizations that discharge waste water into stagnant reservoirs should carry out the necessary and mandatory pre-treatment measures and make calculations of the wastewater treatment required degree according to the following algorithm:

1) to calculate the maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in wastewater:

$$C_c \le C_B + m(C_{mp.} - C_B), \qquad (14)$$

2) to determine the concentration of suspended solids in wastewater:

$$C_B = V + mp., \qquad (15)$$

3) to determine the allowable value biological oxygen demand (BOD) in wastewater:

$$L_c = \frac{n-1}{10-K_{c_i}}(L_{ПД} - L_B 10^{-K_{c_i}}) + \frac{L_{mp}}{10-K_{c_i}}, \qquad (16)$$

where L_c – BOD in a stagnant reservoir before discharge; K – deposition rate constant O_2 in a stagnant reservoir;

4) to determine the allowable value BOD in wastewater by dissolved O_2:

$$L_c = \frac{n-1}{K}(C_{0_{2П}} - KL_B - C_{0_{2n-1}}) - \frac{C_{0n-1}}{K} \qquad (17)$$

where $C_{O2п}$ – concentration of dissolved O_2 in a stagnant reservoir before discharge; $C_{O2п-1}$ – MPC of dissolved O_2, which must be in the settlement line after the discharge;

5) to determine the max allowable T° of wastewater:

$$T_c = nT_a + T_B, \qquad (18)$$

where $T_а$ – water temperature of surface watercourse after discharge; $T_в$ – water temperature of surface watercourse before discharge.

6) to determine the permissible content of acid or alkali in waterwater, using a set of water samples with the following chemical analysis according to the formulas:

$$C_{CT_K} = (n-1)C_K \qquad (19)$$

$$C_{CT_K} = (n-1)C_K \qquad (20)$$

To establish the environmental risk during the discharge of wastewater to surface water bodies [14], to ensure environmental safety of surface water bodies, it is advisable to compare the experimental data with calculated by the formula [15]:

$$S_{\max} = S_n + S_{cm} \cdot B\left[\frac{0.14 \cdot q_{cm}\sqrt{\frac{N}{H}}}{x \cdot (Q_e + q_{cm})\varphi}\right], \qquad (21)$$

where $S_n = \frac{S_e \times Q_e + S_{cm} \times q_{cm}}{Q_e + q_{cm}}$ – the average concentration of impurities, mg/l; S_{cm} – the concentration of impurities in wastewater, mg/l; B – the average width of the riverbed, m; q_{cm} – water runoff, m^3/sec; Q_e – river consumption, m^3/sec; $\overline{H} = \frac{H}{B}$ – relative depth of the river; H – average depth of the river, m; φ – tortuosity parameter; x – distance from the source of pollution, m; $C = \frac{1}{n} \times R^{\frac{1}{6}}$ – Shezi coefficient; n – roughness factor; $R = \frac{\omega}{\chi}$ – hydraulic radius, m; $\chi = B + 2H$ $\omega = B\,x\,H$ $N = \frac{M \times C}{g}$ – acceleration of gravity, m/sec^2

1.2. Methodology of determination of physical parameters of reverse waters

The results of comparing experimental data (samples taken at the mixing places of wastewater with surface waters of a small river) with the calculated ones are presented in Fig.1.

It follows from the graph that the experimental results are quite accurately corrected with the calculated data. A comparison of experimental studies results and the results obtained by formula (21) gives grounds to apply a mathematical model to predict the

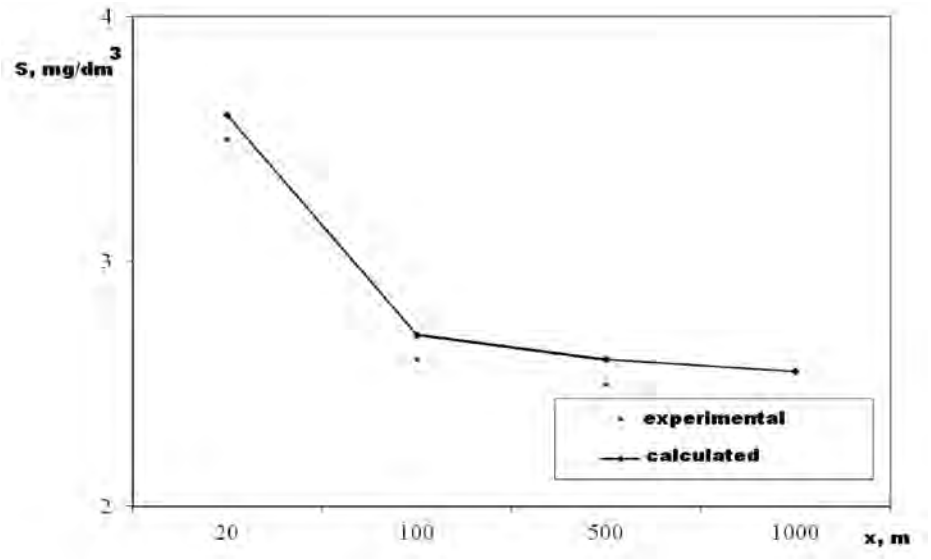


Fig. 1. The results of comparing experimental and calculated data

ecological state of reservoirs in real time to predict the spread in the water column and bottom sediments of toxic metals such as Cu, Zn, Ni, Mn and Cr.

The results of calculations (21) allow us to predict the reduction value of qualitative indicators of the pollutants concentration in surface water bodies (Fig. 2).

According to the predicted results, the maximum pollutants concentration reduction in surface water bodies, after mixing with wastewater, occurs at a distance to 200 m from the mixing point.

Conclusions. The proposed methodology to determine the physical parameters wastewater discharge into surface water bodies of different types allows:

– to determine the precipitation kinetics of impurities in wastewater and their dependence on concomitant factors;

– n the basis of hydraulic size to determine the deposition rate of different size and shape particles contained in wastewater;

– to determine the factors that affect the mixing process of different shapes and masses particles, the multiplicity of dilution in flowing and non-flowing reservoirs;

– to determine the characteristics and mixing factors of wastewater in river ecosystems, lakes and storage reservoirs;

– to propose an algorithm of measures of preliminary wastewater treatment by enterprises before discharge into surface water bodies.

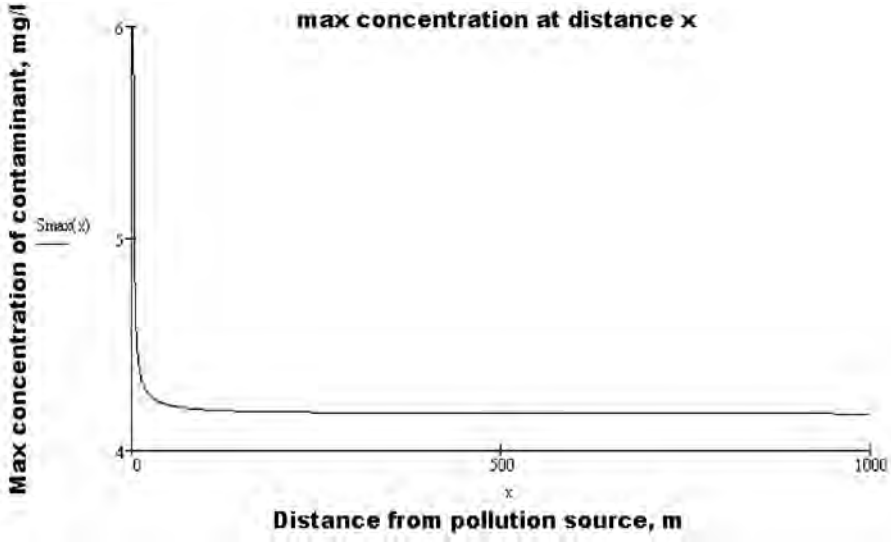


Fig. 2. Dynamics of pollutants concentration reducing in surface water bodies from a distance

Implementation and application of this methodology will determine the impact of wastewater on the quality and chemically-biological composition of surface water bodies of Ukraine, as well as significantly improve the quality of surface and groundwater, which is a water supply source for all residents of cities and towns of Ukraine.

References

1. Stepova O., Shara S. Development of water protection in European countries: relevance for Ukraine // Environmental Problems. – 2024. – Vol. 9, No. 4. – P. 249–253. – DOI: https://doi.org/10.23939/ep2024.04.249. (ena.lpnu.ua)

2. Proskurnin O., Malovanyy M., Belokon K., Rybalova O., Ivashchenko T., Tsapko N., Stepova O. Establishing Environmental Standardization of Wastewater Composition Based on Environmental Risk Assessment // Journal of Ecological Engineering. – 2022. – Vol. 23, Iss. 11. – P. 139–146. – DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/153602. (jeeng.net)

3. Trus I. V., Prokopenko O. A., Stepova O. V., et al. Technology of the comprehensive desalination of wastewater from mines // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206192. (ResearchGate)

4. Голік Ю. С., Ілляш О. Е., Степова О. В. Екологічний стан басейну річки Дніпро в Полтавській області // Вісник Інженерної академії України. – 2013. – № 1. – С. 197–200.

5. Голік Ю. С., Ілляш О. Е. Система управління екологічним розвитком регіонів України (на прикладі Полтавської області) // Екологічна безпека. – 2014. – 04(12). – С. 20–24. (Полтавська політехніка)

6. Голік Ю. С., Ілляш О. Е. Методологічні основи моніторингу ефективності реалізації регіональної програми «Довкілля-2015» в Полтавській області // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2014. – № 3–4. – С. 22–26. (Полтавська політехніка)

7. Fischer H. B., List E. J., Koh R. C. Y., Imberger J., Brooks N. H. Mixing in Inland and Coastal Waters. – New York : Academic Press, 1979. – 483 p. – DOI: https://doi.org/10.1016/C2009-0-22051-4.

8. Jirka G. H., Weitbrecht V. Mixing Models for Water Quality Management in Rivers: Continuous and Instantaneous Pollutant Releases // Water Quality Hazards and Dispersion of Pollutants / ed. W. Czernuszenko, P. M. Rowiński. – Boston, MA : Springer, 2005. – P. 1–34. – DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-23322-9_1.

9. Skorbiłowicz M., Skorbiłowicz E., Podedworna J., et al. Determination of mixing zones for rivers and reservoirs with conditions and restrictions for municipal wastewater discharged into surface waters // Journal of Ecological Engineering. – 2017. – Vol. 18, Iss. 5. – P. 137–144. – DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/76893. (jeeng.net)

10. Baumgartner D. J., Frick W. E., Roberts P. J. W. Dilution Models for Effluent Discharges. – 3rd ed. – Newport, OR : U.S. Environmental Protection Agency, 1994. – 189 p. (Report EPA/600/R-94/086).

11. Альберт Гор. Земля у рівновазі. Екологія і і людський дух. – К.: Інтелсфера, 2001. – 393 с.

12. Копальчук П. І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища: навч. посіб. / П. І. Копальчук. – К.: Либідь, 2003. – 207 с.

13. Зацерковний М. М. Процеси захисту навколишнього середовища: підручник. / М.М. Зацерковний, Т. Б. Столєвич, О. М. Зацерковний. – О.: Фенікс, 2017. – 453 с.

14. Загальна екологія: навч. посіб. / Г.М. Франчук, С. М. Маджд, М. М. Радомська, Є. О. Бовсуновський. – К.: НАУ, 2015. – 232 с.

15. Ульям Р Конец техноутопия / Р. Ульям, М.Коттон . – К: Эко-Право, 2006. – 255 с.

16. Methodology for determining the physical parameters of wastewater / V. M. Isaenko, S. M. Madzd, V. F. Frolov, O. A. Mashkov // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2020. – № 3, вип. 30. – С. 41–49. – DOI: 10.15407/fmmit2020.30.041.

17. Comprehensive Assessment of the Degree of Wastewater Pollution of Civil Aviation Enterprises / Volodymir Isaenko, Svitlana Madhzd, Valeriy Frolov, Oksana Lapan // International Symposium on Electric Aviation and Autonomous Systems 2020 (ISEAS | ISATECH | ICUAV); International Course on Unmanned Aerial Vehicle 2020, 22–24 September 2020, Kyiv, Ukraine / Online. – Paper ICUAV-2020-086.

УДК 628.5:504.06
https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202508-06

ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЙ УЛОВЛЮВАННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

Грицуляк Г. М., Качала С. В.,
Волошин Ю. Д., Лопушняк В. І.,
Фомічова О. В.
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

Стаття присвячена вирішенню актуальної екологічної проблеми нафтогазового комплексу – зменшенню техногенного навантаження на атмосферне повітря, що виникає внаслідок експлуатації газоперекачувального обладнання та спалювання природного газу. Основна увага зосереджена на комплексному очищенні викидів від твердих частинок, діоксиду сірки (SO2), оксидів азоту (NOx) та оксиду вуглецю (CO).

У роботі представлено результати експериментальної перевірки ефективності комбінованої системи газоочистки, яка поєднує механічні та фізико-хімічні методи: циклонний пиловловлювач, рукавний фільтр та абсорбційну колону з водно-лужним розчином. Дослідження підтвердили, що запропонована технологічна схема дозволяє досягти синергетичного ефекту та забезпечити високий ступінь очищення: ефективність уловлювання пилу склала 95,2%, діоксиду сірки – 83,3%, оксиду вуглецю – 77,8%. Концентрації зазначених речовин після очищення не перевищують гранично допустимих норм (ГДК).

Водночас встановлено, що для діоксиду азоту (NO2), попри зниження концентрації на 79,2%, спостерігається залишкове незначне перевищення нормативних значень, що зумовлено низькою розчинністю оксидів азоту. Автори доходять висновку про доцільність впровадження розробленої системи на компресорних станціях та газопереробних підприємствах, а також окреслюють перспективи подальших досліджень, які полягають в інтеграції методів селективного каталітичного або некаталітичного відновлення (SCR/SNCR) для підвищення глибини очищення від NOx.

Ключові слова: система очищення, екологічна безпека, технології захисту навколишнього середовища, забруднюючі речовини.

EFFICIENCY OF POLLUTANTS CAPTURE AND DISPOSAL TECHNOLOGIES

Hrytsulyak G. M., Kachala S. V., Voloshyn Y. D., Lopushniak V. I., Fomichova O. V.
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

The article is devoted to the solution of the urgent environmental problem of the oil and gas complex – the reduction of man-made load on the atmospheric air, which arises as a result of the operation of gas pumping equipment and the burning of natural gas. The main focus is on the comprehensive purification of emissions from solid particles, sulfur dioxide (SO2), nitrogen oxides (NOx) and carbon monoxide (CO).

The paper presents the results of the experimental verification of the efficiency of the combined gas treatment system, which combines mechanical and physico-chemical methods: a cyclone dust collector, a bag filter and an absorption column with a water-alkaline solution. Studies have confirmed that the proposed technological scheme allows achieving a synergistic effect and ensuring a high degree of purification: the efficiency of dust capture was 95.2%, sulfur dioxide – 83.3%, and carbon monoxide – 77.8%. The concentrations of the specified substances after cleaning do not exceed the maximum permissible standards (MPC).

At the same time, it was established that for nitrogen dioxide (NO2), despite a decrease in concentration by 79.2%, a residual slight excess of the normative values is observed, which is due to the low solubility of nitrogen oxides. The authors conclude on the feasibility of implementing the developed system at compressor stations and gas processing enterprises, as well as outline the prospects for further research, which consists in the integration of selective catalytic or non-catalytic reduction (SCR/SNCR) methods to increase the depth of NOx purification.

Keywords: cleaning system, environmental safety, environmental protection technologies, pollutants

Постановка проблеми

Питання зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря є критично важливим для підприємств нафтогазового комплексу. Наукові дослідження свідчать, що експлуатація газоперекачувального обладнання та процеси спалювання природного газу супроводжуються утворенням значних обсягів викидів, серед яких домінують тверді частинки, діоксид сірки (SO_2), оксиди азоту (NO_x) та оксид вуглецю (CO).

Незважаючи на значний теоретичний доробок, на практиці часто відсутні універсальні рішення, які б гарантували одночасне зниження концентрацій SO_2, NO_x, CO та пилу до нормативних значень в умовах одного технологічного ланцюга. Комплексний підхід, який би моделював повний цикл очищення викидів компресорної станції – від грубого пилу до газових домішок – у науковій літературі висвітлений недостатньо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря є критично важливим для підприємств нафтогазового комплексу. Наукові дослідження останніх років свідчать, що експлуатація газоперекачувального обладнання та процеси спалювання природного газу супро-

воджуються утворенням значних обсягів викидів, серед яких домінують тверді частинки, діоксид сірки (SO_2), оксиди азоту (NO_x) та оксид вуглецю (CO). Аналіз фахової літератури дозволяє виділити основні напрямки вдосконалення систем газоочистки, які є релевантними для даного дослідження [1, 6]. У сучасних наукових працях широко обговорюється ефективність інерційних методів пиловловлення. Традиційно на компресорних станціях застосовують циклонні апарати, які характеризуються простотою конструкції та надійністю в експлуатації. Однак, дослідники зазначають, що ефективність циклонів різко знижується при вловлюванні дрібнодисперсних фракцій (менше 5–10 мкм). Для досягнення санітарних норм науковці пропонують використовувати двоступеневі схеми, де другим ступенем виступають рукавні фільтри. Вони забезпечують високий ступінь очищення, що корелює з даними про необхідність зниження концентрацій пилу до значень, нижчих за ГДК [3, 5].

Зниження викидів токсичних газів (SO_2, NO_x, CO) є складнішим завданням, ніж знепилення. В літературі розглядаються каталітичні, термічні та абсорбційні методи.

Більшість авторів сходиться на думці, що хемосорбція з використанням лужних розчинів є найбільш доцільним методом для видалення оксидів сірки. Це підтверджує вибір водно-лужних розчинів в абсорбційних колонах як ефективного засобу боротьби з кислими газами [2, 6].

Проблема очищення від NO_x залишається однією з найактуальніших. Дослідження показують, що абсорбційні методи мають обмежену ефективність щодо оксидів азоту через їх низьку розчинність. Це пояснює, чому в багатьох експериментальних роботах, навіть після очищення, спостерігається залишкове перевищення ГДК по цьому показнику, що вимагає розгляду додаткових технологій, таких як селективне каталітичне відновлення (SCR) [3, 7].

Окремим і найбільш перспективним напрямком є створення інтегрованих (гібридних) установок. Існуючі публікації вказують на те, що послідовне поєднання механічного очищення та фізико-хімічної абсорбції дозволяє досягти синергетичного ефекту. Проте, більшість досліджень фокусується або лише на пиловловлюванні, або лише на нейтралізації газів. Комплексний підхід, який би моделював повний цикл очищення викидів компресорної станції – від грубого пилу до газових домішок – висвітлений недостатньо [4, 6].

Виділення невирішеної частини загальної проблеми. Незважаючи на значний теоретичний доробок, на практиці часто відсутні універсальні рішення, які б гарантували одночасне зниження концентрацій SO_2, NOx, CO та пилу до нормативних значень в умовах одного технологічного ланцюга. Це обумовлює необхідність експериментальної перевірки ефективності саме комбінованої системи (циклонний пиловловлювач, рукавний фільтр, абсорбційна колона), що і є завданням даної роботи.

Визначення цілей статті (постановка завдання)

Метою статті є експериментальна перевірка ефективності комбінованої системи газоочистки, яка включає циклонний пиловловлювач, рукавний фільтр та абсорбційну колону. Постановка такого завдання обумовлена тим, що на практиці часто відсутні універсальні рішення, які б гарантували одночасне зниження концентрацій діоксиду сірки (SO_2), оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO) та пилу до нормативних значень в умовах одного технологічного ланцюга. Також автори зазначають, що комплексний підхід, який би моделював повний цикл очищення викидів компресорної станції – від грубого пилу до газових домішок – у науковій літературі висвітлений недостатньо.

Виклад основного матеріалу дослідження

Об’єктом дослідження є газоповітряні викиди компресорної станції нафтогазового підприємства, що містять тверді частинки, діоксид сірки (SO_2), оксиди азоту (NO_x) та оксид вуглецю (CO), які утворюються в процесі спалювання природного газу та експлуатації газоперекачувального обладнання.

Експериментальна установка моделює систему очищення викидів компресорної станції та включає: циклонний пиловловлювач; рукавний фільтр; абсорбційну колону з водно-лужним розчином; газоаналізатор для контролю концентрацій SO_2, NO_x та CO; систему відбору проб газопо-

Таблиця 1

Забруднюючі речовини до та після очищення викидів компресорної станції

Речовина	До очищення, мг/м³	Після очищення, мг/м³	Ефективність, %	ГДК, мг/м³
Пил	2,5	0,12	95,2	0,15
SO_2	1,8	0,30	83,3	0,50
NO_2	1,2	0,25	79,2	0,20
CO	18,0	4,0	77,8	5,00

вітряної суміші. Газоповітряна суміш відбиралася з умовної димової труби компресорного агрегату до та після проходження системи очищення.

Здійснювався відбір проб газоповітряної суміші на виході з газотурбінної установки до очищення. Потік пропускався через систему уловлювання (циклон → фільтр → абсорбер).

- Проводився повторний відбір проб після очищення.
- Визначалися концентрації SO_2, NO_x, CO та твердих частинок.

Результати експериментальних досліджень показали, що застосування комбінованої системи очищення дозволяє істотно знизити концентрації основних забруднюючих речовин, характерних для об'єктів нафтогазової галузі. Після очищення концентрації пилу, SO_2 та CO не перевищують нормативних значень ГДК.

Для оксидів азоту після очищення спостерігається незначне перевищення ГДК, що вказує на необхідність застосування додаткових методів нейтралізації, зокрема селективного каталітичного або некаталітичного відновлення (SCR або SNCR).

Отримані результати підтверджують доцільність упровадження багатоступеневих систем газоочистки на компресорних станціях та газопереробних підприємствах.

Згідно з даними, наведеними на рисунку 1, до впровадження системи очищення викидів спостерігалося значне перевищення гранично допустимих концентрацій для всіх досліджуваних забруднюючих речовин, зокрема для твердих частинок (у 16,7 раза) та оксидів азоту (у 6 разів). Після застосування комбінованої системи уловлювання концентрації пилу, SO_2 та CO були знижені до нормативних значень або наближені до них.

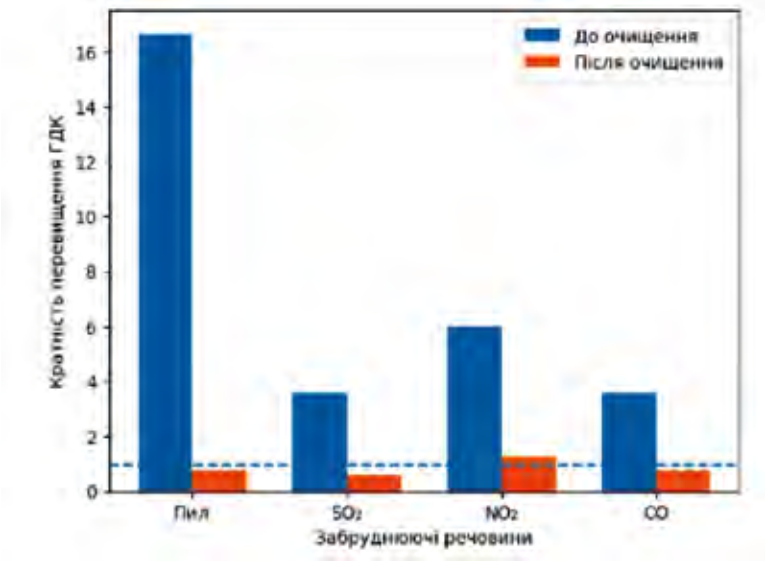


Рисунок 1. (по осі Y – кратність перевищення ГДК; пунктирна лінія відповідає рівню ГДК = 1)

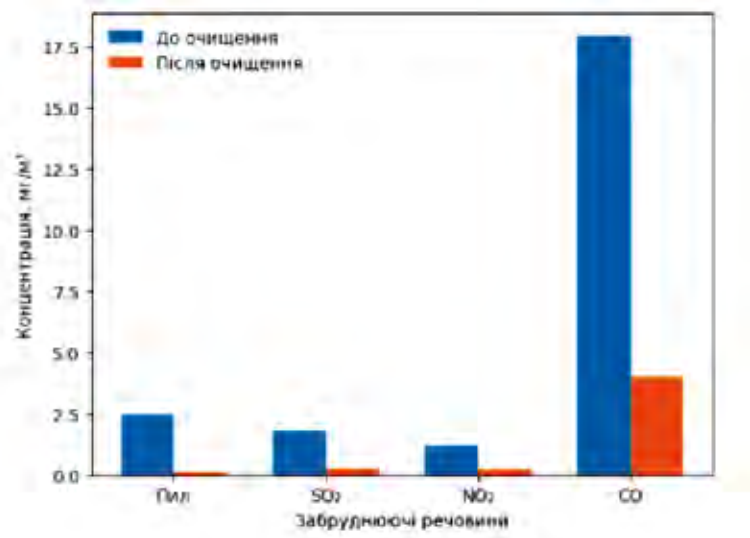


Рисунок 2. (по осі Y – концентрація, мг/м³; по осі X – види забруднюючих речовин) Концентрації забруднюючих речовин у викидах компресорної станції до та після очищення

Для NO_2 зафіксовано незначне перевищення ГДК, що свідчить про необхідність додаткових заходів очищення.

Рисунок 1 – Перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин до та після очищення викидів компресорної станції

Як видно з рисунка 2, після впровадження системи очищення викидів спостерігається істотне зниження концентрацій усіх досліджуваних забруднюючих речовин. Найбільше зменшення зафіксовано для твердих частинок (з 2,5 до 0,12 мг/м³) та оксиду вуглецю (з 18,0 до 4,0 мг/м³). Отримані результати свідчать про високу ефективність застосованої комбінованої системи газоочистки на об'єктах нафтогазової галузі.

Запропонована система уловлювання та очищення викидів може бути рекомендована для використання на компресорних станціях магістральних газопроводів та газопереробних підприємствах з метою зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря та дотримання екологічних нормативів.

Висновки та перспективи подальших досліджень

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що застосування комбінованої системи газоочистки, яка включає циклонний пиловловлювач, рукавний фільтр та абсорбційну колону, дозволяє реалізувати комплексний підхід до видалення забруднюючих речовин в одному технологічному ланцюзі.

Впровадження запропонованої схеми забезпечило істотне зниження концентрацій основних полютантів: ефективність вловлювання твердих частинок склала 95,2 %, діоксиду сірки – 83,3 %, а оксиду вуглецю – 77,8 %, що дозволило досягти нормативних значень гранично допустимих концентрацій (ГДК) для цих показників.

Разом з тим, для діоксиду азоту, незважаючи на загальну ефективність очищення 79,2 %, зафіксовано залишкове перевищення ГДК на рівні 0,25 мг/м³, що пояснюється низькою розчинністю оксидів азоту та обмеженими можливостями абсорбційних методів щодо їх повної нейтралізації.

Отримані результати підтверджують доцільність використання розробленої системи на компресорних станціях магістральних газопроводів та газопереробних підприємствах для зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря.

Перспективи подальших досліджень полягають в удосконаленні технологічної схеми шляхом інтеграції методів селективного каталітичного або некаталітичного відновлення (SCR/SNCR) для підвищення глибини очищення від оксидів азоту, оптимізації складу абсорбентів, а також у проведенні промислових випробувань установки в реальних умовах експлуатації.

Список використаної літератури

1. Дослідження технології біохімічної очистки стічних вод ПАТ ЄВРАЗ «Дніпродзержинський КХЗ» / А.В. Іванченко, О.О. Дупенко, М.А. Криворот, М.Д. Волошин // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – 2014. – Вип. 1(24). – С. 264 – 269

2. Chipasa, K.B. Limits of physicochemical treatment of wastewater in the vegetable oil refining industry / K.B. Chipasa // Polish Journal of Environmental Studies. – 2001. – Vol. 10, No. 3. – PP. 141 – 147.

3. Екологічна енциклопедія. – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2006. – Т. 1. – 430 с.

4. Статистичний збірник. «Довкілля України». – К., 2006. – С. 48-138.

5. Статистичні дані обласного управління. – Івано-Франківськ. – 2009. – С. 145.

6. Савчук Л.Я. Еколого-географічний аналіз захворюваності населення Івано-Франківської області / І-й міжнародний конгрес. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. 28-29 травня 2009 р. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2009. – С. 74.

7. Пендерецький О.В. Оцінка екологічної ситуації в зоні впливу Бурштинської ТЕС : дис. ... канд. техн. наук: спец. 21.06.01. вано-Франківськ, 2005. Т. 1. С. 202.