

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-62-66>

УДК 697

КРИТЕРІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДИФУЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ В КАНАЛАХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ

Соколов В.І.

CRITERIA ANALYSIS OF DIFFUSION PROCESSES IN CHANNELS OF VENTILATION SYSTEMS

Sokolov V.I.

Розглянуто процес турбулентної дифузії газових домішок в каналах вентиляційних систем. Стаціонарна дифузія описана рівнянням турбулентної дифузії домішки в однорідному нестисливому середовищі. Вважається, що актуальна концентрація в кожній точці простору, зайнятого турбулентним потоком, зазнає безладних змін у часі (пульсує, флукутує). При вирішенні практичних завдань про рух частинок домішки від актуальної характеристики застосовано перехід до середнього значення концентрації. У випадку встановленого турбулентного руху і стаціонарних зовнішніх умов використане введення Рейнольдсом часового осереднення. Осередненні значення добуток пульсаційних складових проекцій швидкості та концентрації відповідно гіпотезі Фіка-Буссінеска прийняті пропорційними градієнту осередненої концентрації. Обґрунтовано допущення, що для робочих режимів промислових вентиляційних систем коефіцієнт молекулярної дифузії значно менше коефіцієнта турбулентної дифузії. Для коефіцієнта турбулентної дифузії використана відомо-емпірична залежність для круглих труб. Коефіцієнт гідравлічного опору тертя при турбулентному режимі течії визначений по універсальній формулі Альтшуля. Для дослідження дифузійних процесів в газових потоках вентиляційних систем рівняння турбулентної дифузії приведено до безрозмірного виду. У розгляд введено безрозмірні критерії: число Рейнольдса, число Шмідта (або дифузійне число Прандтля), дифузійне число Пекле. Проведений аналіз критеріальних співвідношень для дифузійних процесів в циліндричних каналах вентиляційних систем. Аналіз залежності дифузійного числа Пекле від числа Рейнольдса показав, що при великих значеннях відносної шорсткості величина дифузійного числа Пекле не залежить від числа Рейнольдса. Показана наявність в дифузійних процесах автотельної зони, коли довжина шляху вирівнювання концентрації домішки не буде залежить від параметрів газового потоку. Встановлено, що зміна дифузійного Числа Пекле для діапазону значень чисел Рейнольдса понад $1,3 \cdot 10^5$ складає не більш 5% при значеннях відносної шорсткості не менш 0,001.

Ключові слова: вентиляційна система, диффузионный процесс, число Рейнольдса, диффузионное число Пекле, число Шмидта.

Постановка проблеми. Проектування та розробка вентиляційних систем, охолоджуючих пристроїв, теплосилових установок пов'язано з розрахунком процесів дифузії аерозолів в турбулентних газових потоках [1-5]. Крім того, аналіз процесів дифузії домішок в газових потоках є визначальним при вимірюванні викидів через вентиляційні системи промислових підприємств, шахт, енергоблоків атомних станцій, при розробці систем теплогазопостачання та ін. Достовірний контроль параметрів промислових викидів дозволяє раціонально вирішувати питання з модернізації вентиляційних систем та корекції технологічних процесів, запобігати аварійним ситуаціям, розробляти заходи з екологічної безпеки [6-10].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дифузія домішки в турбулентному газовому потоці є складним нестационарним процесом [11-15], що описується диференціальними рівняннями в частинних похідних. Домішкою називають «сторонню речовину», що міститься у порівняно невеликій кількості в об'ємах газового середовища. «Стороння речовина» міститься у вигляді рідких, твердих або газоподібних об'єктів (включень) [16-20]. Якщо наявність домішки не впливає на фізичні властивості газового середовища та на формування поля швидкості в турбулентному потоці, то таку домішку вважають пасивною. У випадку пасивної домішки характеристики турбулентного потоку, що виміряні в потоці «чистого» середовища (який не містить домішку, що розглядається), можна використовувати для розрахунку руху часток цієї домішки у просторі, який зайнятий таким же потоком, що несе домішку [21-25].

Зважаючи на складність дослідження дифузійних процесів в інженерній практиці знайшли застосування як аналітичні, так й емпіричні методи дослідження на основі теорії подібності [26-29]. Дати

точний аналітичний розрахунок дифузії в потоці, особливо турбулентному, часто виявляється, важко чи навіть неможливо. Тому, в цих випадках переходять до теорії подібності, яка використовує безрозмірні числа, що називаються критеріями подібності.

Мета статті. Методом роботи є дослідження характеристик дифузійних процесів в турбулентних газових потоках циліндричних каналів вентиляційних систем на основі аналізу критеріальних співвідношень.

Матеріали та результати дослідження.

Актуальною (миттєвою) концентрацією домішки є величина [21, 26, 27]

$$C(x, y, z, t) = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}, \quad (1)$$

де ΔV – деякий малий об’єм частини простору, що виділений навколо точки з координатами x, y, z ; Δm – маса домішки, яка знаходиться в цьому об’ємі на момент часу t .

Актуальна концентрація в кожній точці простору, зайнятого турбулентним потоком, зазнає безладних змін у часі (пульсує, флукує). При вирішенні практичних завдань про рух частинок домішки від актуальної характеристики переходять до середнього значення концентрації. У випадку встановленого турбулентного руху і стаціонарних зовнішніх умов використовується введене Рейнольдсом часове осереднення

$$\langle C(x, y, z) \rangle = \frac{1}{t_0} \int_t^{t+t_0} C(x, y, z) dt, \quad (2)$$

де t_0 – обраний відповідним чином інтервал часу.

Стаціонарна дифузія газових домішок в каналах вентиляційних систем може бути описана рівнянням турбулентної дифузії домішки в однорідному нестисливому середовищі [26], яке в декартовій системі координат має вигляд (індекс «<...>» осередненого значення у подальшому опускаємо)

$$u_x \frac{\partial C}{\partial x} + u_y \frac{\partial C}{\partial y} + u_z \frac{\partial C}{\partial z} = f(x, y, z) + D_t \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right); \quad (3)$$

де $f(x, y, z)$ – об’ємна щільність потужності джерел молекул домішки; D_t – коефіцієнт турбулентної дифузії.

Коефіцієнт турбулентної дифузії встановлюють або на основі експериментальних даних, або на додаткових гіпотезах. Відзначимо відому формулу Хітче для круглих труб, що наведена в роботі [21]

$$D_t = 0,02u_0d\sqrt{\lambda}. \quad (4)$$

Тут u_0 – швидкість потоку в трубі, d – діаметр труби, λ – коефіцієнт гідравлічного опору тертя. Даний вираз перетворимо до вигляду

$$D_t = 0,02u_0d\sqrt{\lambda} = 0,02 \frac{u_0d}{\nu} \quad (5)$$

або

$$D_t = 0,02\text{Re}\nu\sqrt{\lambda}. \quad (6)$$

де Re – число Рейнольдса.

Коефіцієнт гідравлічного опору тертя λ при турбулентному режимі течії достатньо точно визначається по універсальній формулі Альтшуля [17, 27]

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (7)$$

де Δ – абсолютна шорсткість внутрішньої поверхні каналу.

Вводимо безрозмірні швидкості, координати і концентрацію

$$\begin{aligned} \bar{u}_x &= u_x/u_0; \quad \bar{u}_y = u_y/u_0; \quad \bar{u}_z = u_z/u_0; \\ \bar{x} &= x/d_h; \quad \bar{y} = y/d_h; \quad \bar{z} = z/d_h; \quad \bar{C} = C/C_0; \end{aligned} \quad (8)$$

де C_0 – масштаб концентрації домішки в каналі; d_h – гідравлічний діаметр, величина якого для каналів некруглої форми дорівнює $d_h = 4S/P$ (S – площа поперечного перерізу, P – його периметр).

Рівняння дифузії для безрозмірних змінних приводимо до вигляду

$$\begin{aligned} \bar{u}_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial \bar{x}} + \bar{u}_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial \bar{y}} + \bar{u}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial \bar{z}} &= \bar{f}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) + \\ &+ \frac{1}{\text{ReSc}} \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial \bar{y}^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial \bar{z}^2} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Тут число Шмідта (або дифузійне число Прандтля)

$$\text{Sc} = \text{Pr}_d = \frac{\nu}{D_t}, \quad (10)$$

а вираз

$$\bar{f}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = \frac{d_h}{u_0 C_0} f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) \quad (11)$$

є об’ємною щільністю потужності джерел молекул домішки.

Як витікає з рівняння (9) довжина шляху вирівнювання концентрації домішки в каналі визначається параметрами газового потоку, які можна задати двома безрозмірними критеріями: числом Рейнольдса

са Re і Шмідта Sc ; а також характером джерела домішки та формою каналу.

У випадку стаціонарного дифузійного процесу та джерела молекул домішки геометричні параметри процесу будуть залежати від добутку числа Рейнольдса на число Шмідта, яке прийнято називати дифузійним числом Пекле

$$Pe_d = ReSc. \quad (12)$$

Зв'яжемо число Шмідта s числом Рейнольдса, для чого в (10) підставимо (6)

$$Sc = \frac{\nu}{D_t} = \frac{50}{Re\sqrt{\lambda}}, \quad (13)$$

а потім сюди вираз (7)

$$Sc = \frac{50}{Re\sqrt{0,11\left(\frac{\Delta}{d_h} + \frac{68}{Re}\right)^{0,25}}} = \frac{151}{Re(\bar{\Delta} + 68/Re)^{0,125}}, \quad (14)$$

де $\bar{\Delta} = \Delta/d_h$ – відносна шорсткість внутрішньої поверхні каналу.

Підстановка (14) в (12) дає

$$Pe_d = 151(\bar{\Delta} + 68/Re)^{-0,125}. \quad (15)$$

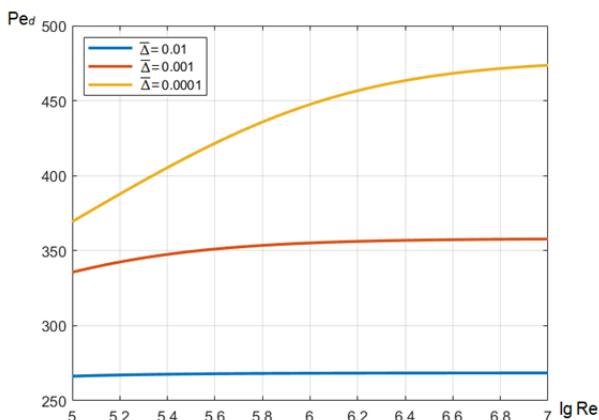


Рис. Залежність дифузійного числа Пекле від числа Рейнольдса

Залежність дифузійного Числа Пекле від числа Рейнольдса представлена на рисунку. Діапазон чисел Рейнольдса $10^5 \dots 10^7$, що розглядається, є робочим для промислових вентиляційних систем. Наведений результат показує, що при великих значеннях відносної шорсткості величина дифузійного числа

Пекле не залежить від числа Рейнольдса. Це означає наявність в дифузійних процесах автотельної зони, коли довжина шляху вирівнювання концентрації не буде залежати від параметрів газового потоку. Аналізуючи встановлені залежності можна стверджувати, що зміна дифузійного Числа Пекле для діапазону значень чисел Рейнольдса $Re > 1,3 \cdot 10^5$ складе не більш 5% при значеннях відносної шорсткості $\bar{\Delta}$ понад 0,001.

Висновки. Отже, розглянуто процес турбулентної дифузії у каналах вентиляційних систем. Стаціонарна дифузія газових домішок у каналах вентиляційних систем описана рівнянням турбулентної дифузії домішки в однорідному нестисливому середовищі. Осереднені значення добутків пульсаційних складових проекцій швидкості та концентрації згідно з гіпотезою Фіка-Буссінеска прийняті пропорційними градієнту середньої концентрації. Обґрунтовано припущення, що для робочих режимів роботи промислових вентиляційних систем коефіцієнт молекулярної дифузії значно менший за коефіцієнт турбулентної дифузії.

Для коефіцієнта турбулентної дифузії використано відому емпіричну залежність для круглих труб. Коефіцієнт гідравлічного опору тертя при турбулентному режимі течії визначено за універсальною формулою Альтшуля. Для дослідження дифузійних процесів у газових потоках вентиляційних систем рівняння турбулентної дифузії приведено до безрозмірного виду. У розгляд введено безрозмірні критерії: Число Рейнольдса Re , число Шмідта Sc (або дифузійне число Прандтля Pr_d), дифузійне число Пекле Pe_d .

Проведено аналіз критеріальних співвідношень для дифузійних процесів у циліндричних каналах вентиляційних систем. Залежність дифузійного числа Пекле Pe_d від Рейнольдса Re показала, що при великих значеннях відносної шорсткості $\bar{\Delta}$ величина дифузійного числа Пекле не залежить від числа Рейнольдса. Зміна дифузійного числа Пекле Pe_d для діапазону значень чисел Рейнольдса $Re > 1,3 \cdot 10^5$ становить не більше 5% при значеннях відносної шорсткості $\bar{\Delta} > 0,001$. Це свідчить про наявність у дифузійних процесах автотельної зони, коли довжина шляху вирівнювання концентрації домішки не буде залежати від параметрів газового потоку.

Література

1. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий. М.: Машиностроение, 1989. 152 с.
2. Krol, O., Sokolov, V., Tsankov, P.: Modeling of vertical spindle head for machining center. Journal of Physics: Conference Series 1553 012012 (2020).
3. Krol, O., Sokolov, V.: Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method. In: Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 1, pp. 35-44. Springer, Cham (2020).
4. Krol, O., Sokolov, V.: Research of modified gear drive for multioperational machine with increased load capacity. Diagnostyka 21(3), 87-93 (2020).

5. Krol, O., Sokolov, V.: Research of toothed belt transmission with arched teeth. *Diagnostyka* 21(4), 15-22 (2020).
6. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства. СПб.: Политехника, 2007. 423 с.
7. Krol, O., Porkuian, O., Sokolov, V., Tsankov, P.: Vibration stability of spindle nodes in the zone of tool equipment optimal parameters. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* 72(11), 1546-1556 (2019).
8. Sokolov V., Azarenko N., Sokolova Ya. Simulation of the power unit of the automatic electrohydraulic drive with volume regulation. TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. 2012. Vol. 12. No 4. P. 268 - 273.
9. Sokolov, V., Porkuian, O., Krol, O., Baturin, Y.: Design Calculation of Electrohydraulic Servo Drive for Technological Equipment. In: *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, vol. 1, pp. 75-84. Springer, Cham (2020).
10. Sokolov, V., Porkuian, O., Krol, O., Stepanova, O.: Design Calculation of Automatic Rotary Motion Electrohydraulic Drive for Technological Equipment. In: *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, vol. 1, pp. 133-142. Springer, Cham (2021).
11. Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д. и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. М.: Евроклимат, 2001. 416 с.
12. Коваленко А.А., Соколов В.И., Дымнич А.Х., Уваров П.Е. Основы технической механики жидкостей и газов: Учебное пособие для вузов. Луганск: ВУГУ, 1998. 272 с.
13. Sokolov, V., Krol, O., Stepanova, O., Tsankov, P.: Dynamic characteristics of rotary motion electrohydraulic drive with volume regulation. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* 73(5), 691-702 (2020). DOI: <https://doi.org/10.7546/CRABS.2020.05.12>.
14. Харламов Ю.А., Соколов В.И., Кроль О.С. Трибологическая надежность металлорежущих станков. Северодонецк: ВНУ им. В. Даля, 2017. 320 с.
15. Sokolov, V.: Dynamics of Positioning Process for Hydraulic Drive Output Link by Distributor with Closed Center. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham (2022).
16. Беккер А. Системы вентиляции. М.: Техносфера, Евроклимат, 2005. 232 с.
17. Соколов В.И., Кроль О.С., Єпіфанова О.В. Гідравліка. Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2017. 160 с.
18. Sokolov, V.: Hydrodynamics of flow in flat slot with boundary change of viscosity. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). Lecture Notes in Mechanical Engineering*, vol. 2, pp. 1172-1181. Springer, Cham (2021).
19. Sokolov, V.: Transfer functions for shearing stress in non-stationary fluid friction. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, vol. 1, pp. 707-715. Springer, Cham (2020).
20. Андрийчук Н.Д., Соколов В.И., Коваленко А.А., Дядичев К.М. Пути совершенствования систем теплоснабжения. Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2003. 244 с.
21. Соколов В.И., Кроль О.С., Єпіфанова О.В. Дифузійні процеси в системах вентиляції. Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля. 2018. 148 с.
22. Sokolov, V.: Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham (2022).
23. Андрийчук Н.Д., Иващенко Е.А., Коваленко А.А., Соколов В.И. Термодинамика для инженеров-строителей. Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2005. 304 с.
24. Sokolov, V., Krol, O.: Time Characteristics of Initial Stages for Aerosols Diffusion in Channels of Ventilation Systems. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), pp. 1-6. IEEE (2020).
25. Sokolov, V.: Increase measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, vol. 2, pp. 1182-1190, Cham (2021).
26. Соколов В.И., Коваленко А.А., Калюжный Г.С. и др. Инженерные задачи диффузии примеси в потоке. Луганск: ВНУ, 2000. 168 с.
27. Соколов В.И. Аэродинамика газовых потоков в каналах сложных вентиляционных систем. Луганск: ВУГУ, 1999. 200 с.
28. Sokolov, V.: Diffusion of Circular Source in the Channels of Ventilation Systems. In: *Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2018. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 63, pp. 278-283. Springer, Cham (2019).
29. Sokolov, V., Krol, O.: Measurement of Impurity Concentration in Turbulent Flows of Ventilation Systems Channels. *Journal of Physics: Conference Series* 2096 012102 (2021).

References

1. Elinskiy I. I. *Ventilyatsiya i otoplenie galvaniche-skih tsehov mashinostroitelnyih predpriyatij*. М.: Mashinostroenie, 1989. 152 s.
2. Krol, O., Sokolov, V., Tsankov, P.: Modeling of vertical spindle head for machining center. *Journal of Physics: Conference Series* 1553 012012 (2020).
3. Krol, O., Sokolov, V.: Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method. In: *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, vol. 1, pp. 35-44. Springer, Cham (2020).
4. Krol, O., Sokolov, V.: Research of modified gear drive for multioperational machine with increased load capacity. *Diagnostyka* 21(3), 87-93 (2020).
5. Krol, O., Sokolov, V.: Research of toothed belt transmission with arched teeth. *Diagnostyka* 21(4), 15-22 (2020).
6. Svistunov V.M., Pushnyakov N.K. *Otoplenie, ventilyatsiya i kondicionirovanie vozduha ob'ektov agropromyshlennogo kompleksa i zhilishno-kommunalnogo hozyaystva*. SPb.: Politehnika, 2007. 423 s.
7. Krol, O., Porkuian, O., Sokolov, V., Tsankov, P.: Vibration stability of spindle nodes in the zone of tool equipment optimal parameters. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* 72(11), 1546-1556 (2019).
8. Sokolov V., Azarenko N., Sokolova Ya. Simulation of the power unit of the automatic electrohydraulic drive with volume regulation. TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. 2012. Vol. 12. No 4. P. 268 - 273.
9. Sokolov, V., Porkuian, O., Krol, O., Baturin, Y.: Design Calculation of Electrohydraulic Servo Drive for Techno-

- logical Equipment. In: Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 1, pp. 75-84. Springer, Cham (2020).
10. Sokolov, V., Porkuian, O., Krol, O., Stepanova, O.: Design Calculation of Automatic Rotary Motion Electrohydraulic Drive for Technological Equipment. In: Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 1, pp. 133-142. Springer, Cham (2021).
 11. Ananov V.A., Balueva L.N., Galperin A.D. i dr. Sistemyi ventilyatsii i konditsionirovaniya. Teoriya i praktika. M.: Evroklimat, 2001. 416 s.
 12. Kovalenko A.A. Osnovy tehnichejskoj mehaniki zhidkostej i gazov: uchebnoe posobie dlja vuzov/ A.A. Kovalenko, V.I. Sokolov, A.H. Dymnich, P.E. Uvarov. Lugansk: VUGU, 1998. 272 s.
 13. Sokolov, V., Krol, O., Stepanova, O., Tsankov, P.: Dynamic characteristics of rotary motion electrohydraulic drive with volume regulation. Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences 73(5), 691-702 (2020). DOI: <https://doi.org/10.7546/CRABS.2020.05.12>.
 14. Kharlamov Y., Sokolov V., Krol O. Tribologicheskaya nadezhnost metallovezhushnih stankov. Severodonetsk: V. Dahl EUNU, 2017. 320 s.
 15. Sokolov, V.: Dynamics of Positioning Process for Hydraulic Drive Output Link by Distributor with Closed Center. In: Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham (2022).
 16. Bekker A. Sistemyi ventilyatsii. M.: Tehnosfera, Evroklimat, 2005. 232 s.
 17. Sokolov V., Krol O., Yepifanova O. Hydraulics. Severodonetsk: V. Dahl EUNU, 2017. 160 s.
 18. Sokolov, V.: Hydrodynamics of flow in flat slot with boundary change of viscosity. In: Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 2, pp. 1172-1181. Springer, Cham (2021).
 19. Sokolov, V.: Transfer functions for shearing stress in non-stationary fluid friction. In: Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 1, pp. 707-715. Springer, Cham (2020).
 20. Andrijchuk N.D., Sokolov V.I., Kovalenko A.A., Dyadichev K.M. Puti sovershenstvovaniya sistem teplosnabzheniya. Lugansk: VNU im. V. Dallya, 2003. 244 s.
 21. Sokolov V., Krol O., Yepifanova O. Diffusion processes in ventilation systems. Severodonetsk: V. Dahl EUNU, Severodonetsk, 2018. 148 c.
 22. Sokolov, V.: Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems. In: Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham (2022).
 23. Andrijchuk N.D., Ivashenko E.A., Kovalenko A.A., Sokolov V.I. Termodinamika dlya inzhenerov-stroitelej. Lugansk: VNU im. V. Dallya, 2005. 304 s.
 24. Sokolov, V., Krol, O.: Time Characteristics of Initial Stages for Aerosols Diffusion in Channels of Ventilation Systems. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), pp. 1-6. IEEE (2020).
 25. Sokolov, V.: Increase measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems. In: Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 2, pp. 1182-1190. Springer, Cham (2021).
 26. Sokolov V.I., Kovalenko A.A., Kalyuzhnyj G.S. i dr. Inzhenernye zadachi diffuzii primesi v potoke. Lugansk: VNU, 2000. 168 s.
 27. Sokolov V.I. Aerodinamika gazovyh potokov v kanalah slozhnyh ventilyacionnyh sistem. Lugansk: VUGU, 1999. 200 s.
 28. Sokolov, V.: Diffusion of Circular Source in the Channels of Ventilation Systems. In: Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2018. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 63, pp. 278-283. Springer, Cham (2019).
 29. Sokolov, V., Krol, O.: Measurement of Impurity Concentration in Turbulent Flows of Ventilation Systems Channels. Journal of Physics: Conference Series 2096 012102 (2021).

Sokolov V.I. Criteria analysis of diffusion processes in channels of ventilation systems

The process of turbulent diffusion of gas impurities in the channels of the industrial ventilation systems is considered. The stationary diffusion is described by the equation for turbulent diffusion of impurity in homogeneous incompressible medium. It is believed that the actual concentration at each point of the space occupied by the turbulent flow, undergoes random changes in time (pulsating, fluctuating). When solving practical problems about the motion of impurity particles from the actual characteristic, the transition to the average concentration value is applied. In the case of established turbulent motion and stationary external conditions, the time averaging introduced by Reynolds is used. According to the Fick-Boussinesq hypothesis, the averaged values of the multiplications of pulsating velocity components and concentration are accepted proportional to the averaged concentration gradient. The assumption is substantiated that for the operating modes of the industrial ventilation systems, the molecular diffusion coefficient is much lower than the turbulent diffusion coefficient. For the turbulent diffusion coefficient, the well-known empirical dependence for round pipes is used. The hydraulic resistance coefficient to friction under turbulent flow conditions is determined by the universal Altshul formula. To study diffusion processes in the gas flows of the ventilation systems, the equation of turbulent diffusion is reduced to dimensionless form. The dimensionless criteria are introduced into consideration: the Reynolds number, the Schmidt number (or the diffusion Prandtl number), and the diffusion Peclet number. The analysis of the criterion relations for diffusion processes in the cylindrical channels of the ventilation systems is carried out. The dependence of the diffusion Peclet number from the Reynolds number showed that for big values of relative roughness, the Peclet diffusion number does not depend from the Reynolds number. The presence of the self-similar zone in diffusion processes is shown, when the path length for equalizing the impurity concentration will not depend from the gas flow parameters.

Keywords: ventilation systems, turbulent flow, Diffusion process, Reynolds number, diffusion Peclet number, Schmidt number.

Соколов Володимир Ілліч – д.т.н., проф., завідувач кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк), sokolov.snu.edu@gmail.com