

впливу цільових добавок до води на ефективність гасіння пожеж твердих речовин, а саме пожежі класу А спринклерною системою пожежогасіння, наведено в таблиці.

Висновки:

1. Об'єм ВВР, що була використана на гасіння модельних вогнищ пожежі класу А, за однакових умов подачі ВВР з цільовими добавками становить у середньому 1 114 л, що на 18 % менше, ніж для води без цільових добавок.
2. Час гасіння модельних вогнищ пожежі класу А за однакових умов подачі ВВР, з 1 %-м вмістом Na_2SiO_3 та K_2CO_3 в рівних пропорціях, порівняно із водою без цільових добавок, становить у середньому 541 с, що на 28-31 % менший, ніж для води без цільових добавок.
3. За результатом експериментальних досліджень з визначення впливу цільових добавок до води під час натурних вогневих випробувань з гасіння модельних вогнищ пожежі класу 13А доведено відносну вогнегасну ефективність ВВР з 1 %-м вмістом Na_2SiO_3 та K_2CO_3 у рівних пропорціях, порівняно із водою без цільових добавок.

Література

1. Жартовський С.В. Виявлення впливу хімічного складу водних вогнегасних речовин на основі Na_2SiO_3 та K_2CO_3 на їх вогнегасну ефективність під час гасіння вогнищ класу А / С.В. Жартовський, В.В. Ніжник, Р.В. Уханський, Я.В. Балло // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій : матер. Міжнар. наук.-практ. конф. – Черкаси, 2016. – С. 46-49.
2. ДБН В.2.2-24:2009 Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків, Мінрегіонбуд України, наказ від 12.02.2009 р., № 67. – 114 с.
3. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація. – Ч. І. Проектування. – Ч. ІІ. Будівництво. Наказ Мінрегіону від 31.10.2012 р., № 553. – 168 с.
4. ДБН В.1.1-7:2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Наказ Мінрегіону України від 23.01.2007 р., № 18. – 42 с.
5. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. Наказ Мінрегіону від 13 листопада 2014 р., № 312. – 182 с.
6. Антонов А.В. Провести дослідження з розкриття особливостей процесів припинення горіння горючих речовин під час застосування сучасних вогнегасних речовин та технологій їх подавання / А.В. Антонов, В.О. Дуношкін, В.М. Жартовський, С.В. Жартовський, В.О. Боровиков, О.М. Тимошенко, М.І. Копильний. – К. : Вид-во УкрНДІЦ, 2015. – 147 с.
7. Антонов А.В. Вогнегасні речовини : навч. посіб. / А.В. Антонов, В.О. Боровиков, В.П. Орел, В.М. Жартовський, В.В. Ковалишин. – К. : Вид-во "Пожінформ-техніка", 2004. – С. 12-24.
8. Звіт про науково-дослідну роботу "Провести теоретичні і експериментальні дослідження процесів придушення полум'я вогнегасними речовинами і виявити шляхи підвищення їх ефективності" / кер. А.В. Антонов, канд. техн. наук, ст. наук. співроб. – К. : Вид-во УкрНДІПБ МВС України, 1995. – 318 с.
9. Козяр Н.М. Підвищення ефективності застосування водних та водопінних вогнегасних речовин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.02 – "Пожежна безпека" / УкрНДІПБ МНС України. – К. : Вид-во "Лібра", 2009. – 4-8 с.
10. ДСТУ EN 3-7:2014 Вогнегасники переносні. – Ч. 7. Характеристики, вимоги до робочих параметрів і методи випробувань (EN 3-7:2004+A1:2007, IDT) наказ Мінекономрозвитку від 30.12.2014 р., № 1494. – 157 с.
11. Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности // ГОСТ 16588-91. – [Чинний від 1993.01.01.]. – 5 с.

Надійшла до редакції 28.11.2016 р.

Сизиков О.О., Балло Я.В., Бенедюк В.С. Влияние целевых добавок к воде на эффективность тушения пожаров твердых веществ

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению влияния целевых добавок на основе силиката натрия и карбоната калия к воде на эффективность тушения пожара твердых веществ системой спринклерного пожаротушения в специальном боксе для проведения огневых испытаний ВБК 280. При проведении исследований установлена относительная огнетушащая эффективность водного огнетушащего раствора с содержанием целевых добавок на основе жидкого натриевого стекла и карбоната калия в воде, по сравнению с водой без добавок при натуральных огневых испытаниях по тушению деревянных стандартных модельных очагов пожара класса А.

Ключевые слова: тушение деревянных модельных очагов, водный огнетушащий раствор, целевые добавки, относительная огнетушащая эффективность, система пожаротушения.

Sizikov O.O., Ballo Ya.V., Bedyuk V.S. The Influence of Specific Additives to Water on the Efficiency of Extinguish Fires of Solid Substances

The results of experimental studies to determine the effect of specific additives based on sodium silicate and potassium carbonate to the water on the effectiveness of extinguishing solid substances by sprinkler system in a special box for fire testing VBC 280 are presented. In conducting research we determined the relative extinguishing effectiveness of the test of water fire extinguishing solution compared to water without additives in fire-wood standard model fires (Class A) during the natural tests.

Keywords: extinguishing wooden models, water fire extinguishing solution, additives to water, extinguishing efficiency, fire extinguishing system.

УДК 614.8

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІНОЗМІШУВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ СТАЦІОНАРНО ВСТАНОВЛЕНОГО НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ

В.Ю. Чоп¹, Д.І. Дякур², І.В. Паснак³, О.В. Придатко⁴

На підставі аналізу сучасного стану питання виокремлено проблему дозування піноутворювальних речовин стаціонарно встановленим обладнанням насосного устаткування. З'ясовано, що наявні технічні рішення у пінозмішувачі ПЗ-5 унеможливають раціональну витрату піноутворювача у разі формування 3 % розчину піноутворювача для генерування повітряно-механічної піни. Запропоновано конструкцію змінного кранодозатора для піно змішувача ПЗ-5 та обґрунтовано його раціональні параметри. Шляхом розроблення 3D моделі створено передумови для виготовлення дослідного взірця ПЗ-5 із змінними кранами-дозаторами та проведення його експериментальних випробувань.

Ключові слова: пінозмішувач, розчин піноутворювача, повітряно-механічна піна, дозування піноутворювача, раціональні параметри пінозмішувача.

Постановка проблеми. Розвиток промисловості неодмінно пов'язаний із зростанням техногенної навантаги, що, своєю чергою, призводить до дедалі частішого виникнення великомасштабних надзвичайних ситуацій, які, як правило, супроводжуються пожежами. Яскравим прикладом такої техногенної аварії є пожежа на нафтобазі "БРСМ" у Київській обл. у червні 2015 р. Внаслідок

¹ курсант В.Ю. Чоп – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

² курсант Д.І. Дякур – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

³ доц. І.В. Паснак, канд. техн. наук – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності;

⁴ заст. нач. кафедри О.В. Придатко, канд. техн. наук – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

катастрофи загинуло 6 людей, із них 4 рятувальники, поранено 18 осіб, втрачено майже 3 тис. т нафтопродуктів, знищено кілька одиниць техніки.

Зазвичай, для успішного ліквідування подібних пожеж використовують повітряно-механічну піну, яка і була основним засобом пожежогасіння на нафтобазі "БРСМ". Проте у процесі застосування подібного роду вогнегасних речовин виникає низка проблем. Розглянемо сутність цих проблем. Комерційні організації, які переважно є виробниками піноутворювальних речовин, зацікавлені у розробленні сучасних високоефективних вогнегасних речовин та вдосконаленні наявних. Враховуючи комерційний інтерес, процес удосконалення вогнегасних властивостей піноутворювачів та утвореної з них повітряно-механічної піни знає постійного прогресу. Однак, якщо підвищення показників якості піноутворювальних речовин відбувається систематично, то, на жаль, вітчизняні розробки в царині піноутворювальної та пінозмішувальної (дозувальної) апаратури прогресують недостатньо інтенсивно. Наприклад, аналізуючи наявну у підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій техніку для гасіння пожеж, встановлено, що близько 90 % помпового устаткування проти-пожежних автомобілів призначено для утворення робочих розчинів піноутворювача тільки 6 % концентрації [1].

Однак, беручи до уваги [2], бачимо, що сьогодні в Україні використовують 70 різновидів піноутворювальних речовин (27 загального призначення та 43 спеціального призначення), тільки 44 з яких призначені для дозування розчинів у 6 % концентрації. Тому, зважаючи на викладене, можна стверджувати, що оптимізація роботи наявної у підрозділах пожежно-рятувальної служби пінової апаратури та сучасних взірців піноутворювальних речовин є актуальною науково-прикладною задачею, яка потребує негайного вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вважається, що вагомий внесок у теорію і практику розроблення сучасних апаратів пінного гасіння зробили багато вітчизняних науковців [1]. Як свідчить аналіз окресленої царини, більшість наукових праць пов'язані з розв'язанням задачі підвищення вогнегасної ефективності піноутворювачів та повітряно-механічної піни [3]. У низці наукових праць порушено різноманітні проблеми генерування піни та удосконалення відповідної апаратури [4-7]. Однак, незважаючи на те, що наукові досягнення у задекларованому напрямку є доволі змістовними (їх повний огляд займе не одну сторінку чи навіть статтю), проте проблематику дозування робочих розчинів піноутворювачів різної концентрації одним приладом висвітлено вкрай мало.

Мета роботи – обґрунтування раціональних параметрів пінозмішувальної апаратури стаціонарно встановленого насосного устаткування для підвищення ефективності її функціонування.

Виклад основного матеріалу. Повітряно-механічна піна для гасіння пожеж генерується із робочого розчину піноутворювача, який формується за допомогою пристрою – пінозмішувача. Як відомо, у більшості випадків йдеться про ПЗ-5 – стаціонарний неавтоматичний пінозмішувач (рис. 1).

Основними конструктивними елементами неавтоматичного пінозмішувача є корпус із соплом і дифузором, дозатор дросельного типу, зворотний клапан, що перешкоджає потраплянню води у пінобак на нерозрахованих режимах ро-

боти пінозмішувача, і корковий кран пінозмішувача, який перекриває потік води з напірного колектора відцентрового насоса.

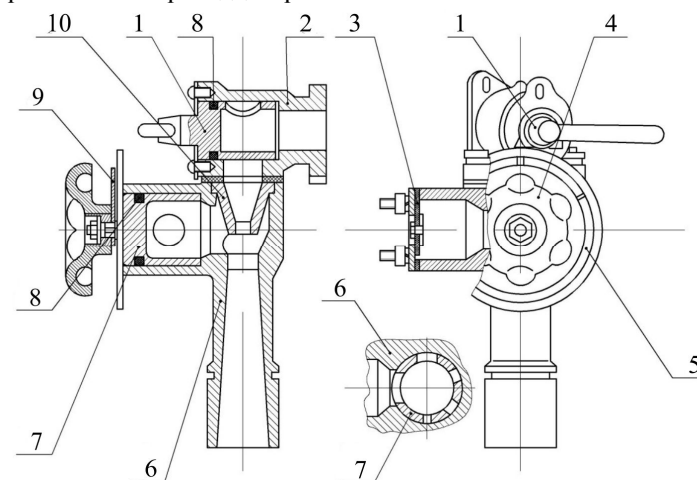


Рис. 1. Стаціонарний пінозмішувач ПЗ-5: 1) корок крана пінозмішувача; 2) корпус крана пінозмішувача; 3) зворотний клапан; 4) маховичок дозатора (ручка); 5) шкала; 6) корпус (дифузор); 7) дозатор; 8) кільце ущільнювача; 9) стрілка; 10) сопло

У момент увімкнення крана пінозмішувача, вода під тиском з колектора насоса через кран пінозмішувача надходить в сопло, виходячи з великою швидкістю із якого створює розрідження в робочій камері пінозмішувача. Створюване розрідження через дозатор, зворотний клапан пінозмішувача, кран "ПУ з пінобака" розповсюджується до пінобаку. Піноутворювач під дією атмосферного тиску потрапляє в пінозмішувач, де і відбувається попереднє змішування розчину. Далі робочий розчин (вода і піноутворювач) надходять до всмоктувальної порожнини відцентрового насоса. Остаточне змішування відбувається в корпусі відцентрового насоса.

Конструкція такого пінозмішувача відносно проста, однак має низку недоліків. Так, через низьку точність дозування відбувається підвищена витрата піноутворювача. Дозування піноутворювача залежить від перепаду тиску в напірній і всмоктувальній порожнинах насоса і регулюється найчастіше поступово – чим більший перетин отвору крана-дозатора, тим більша доза піноутворювача, незалежно від витрати води.

У ПЗ-5 діаметри отворів крана-дозатора є сталими. Цей чинник вкрай негативно впливатиме на витрати піноутворювача під час формування робочих розчинів нижчої концентрації ніж 6 %, у разі застосування піноутворювачів, призначених для формування, наприклад, 3 % робочих розчинів піноутворювача. Використовуючи основні положення гідравліки та технічної механіки рідин, отримано розрахункові значення оптимальних діаметрів отворів крана-дозатора ПЗ-5 (табл.).

Табл. Розрахункові значення оптимальних діаметрів отворів крана-дозатора ПЗ-5

| Кількість генераторів піни типу ГПС-600/Пурга-5 | Діаметр отвору крана-дозатора, мм | | | |
|---|-------------------------------------|------------|------------|------------|
| | 6 % розчин (Ø реальні/розрахункові) | 4 % розчин | 3 % розчин | 2 % розчин |
| 1 | 7,4/7,3 | 5,9 | 5,2 | 4,0 |
| 2 | 11,0/10,8 | 8,8 | 7,7 | 5,9 |
| 3 | 14,0/14,0 | 11,4 | 9,9 | 7,6 |
| 4 | 18,2/17,9 | 14,6 | 12,7 | 9,8 |
| 5 | 27,1/26,7 | 21,8 | 18,9 | 14,6 |

Згідно з даними табл., у разі застосування піноутворювачів для формування 3 % розчину ПЗ-5 із стандартним краном-дозатором, відбуватиметься значна перевитрата піноутворювача. Це можна спостерігати на рис. 2, де наведено теоретичну залежність витрати піноутворювача від способу генерування повітряно-механічної піни середньої кратності.

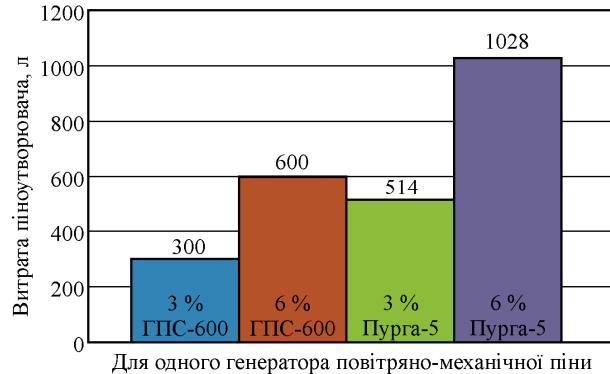


Рис. 2. Залежність витрати піноутворювача від типу розчину та генератора піни

Зважаючи на викладене вище, з метою раціонального використання піноутворювача для утворення розчинів різних концентрацій запропоновано конструктивне рішення, яке полягає у виготовленні кількох змінних кранів-дозаторів для пінозмішувача ПЗ-5. На рис. 3 наведено схему такого крана-дозатора для роботи з піноутворювачами 3 % концентрації.

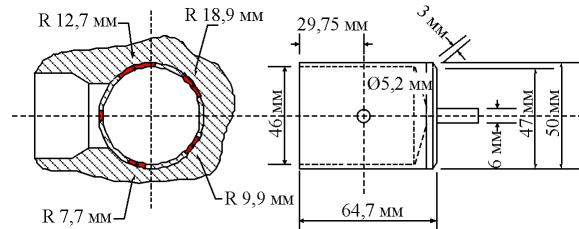


Рис. 3. Схематичне зображення запропонованого технічного рішення

На рис. 4 наведено 3D модель пінозмішувача ПЗ-5 із змінним краном-дозатором.

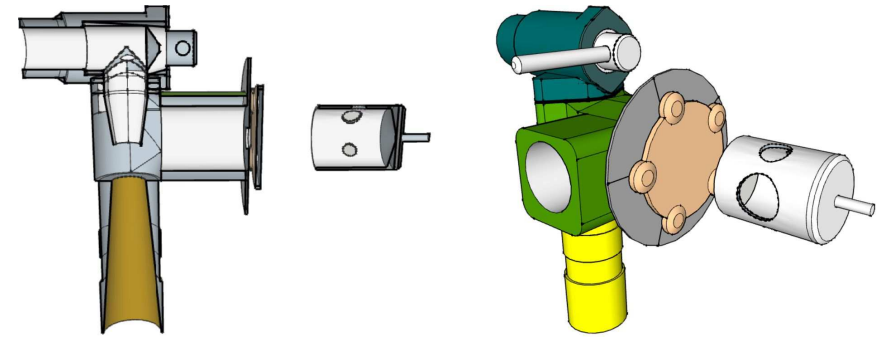


Рис. 4. 3D модель запропонованих технічних рішень

Надалі потрібно розробити експериментальний взірець ПЗ-5 із змінними кранами-дозаторами та провести експериментальні дослідження, порівнявши їх із результатами теоретичних розрахунків.

Висновки. У роботі окреслено проблему дозування піноутворювальних речовин стаціонарно встановленим обладнанням насосного устаткування. Встановлено, що існуючі технічні рішення в пінозмішувачі ПЗ-5 у разі застосування 3 % розчину піноутворювача спричиняють значну перевитрату піноутворювача. Запропоновано конструкцію змінного крана-дозатора для пінозмішувача ПЗ-5 та обґрунтовано його раціональні параметри. Перспективами подальших досліджень є розроблення дослідного взірця ПЗ-5 із змінними кранами-дозаторами та проведення експериментальних досліджень, порівнявши їх із результатами теоретичних розрахунків.

Література

1. Придатко О.В. Проблема дозування піноутворювачів різних концентрацій стаціонарними пінозмішувачами / О.В. Придатко, І.В. Паснак, В.Ю. Чоп // Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації : матер. Міжнар. наук.-практ. конф. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД, 2016. – С. 444-446.
2. Про затвердження Інструкції про порядок застосування та випробування піноутворювачів для пожежогасіння: Наказ МНС України від 24 листопада 2008 р., № 851. – 236 с.
3. Боровиков В.О. Ефективність фторсинтетичного "спиртостійкого" піноутворювача під час гасіння полярних горючих рідин піною середньої кратності / В.О. Боровиков, В.О. Чеповський, О.А. Ромашенко // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД. – 2009. – № 15. – С. 37-45.
4. Ковалишин В.В. Дослідження залежності кратності повітряно-механічної піни від розміру вічка сітки піногенератора / В.В. Ковалишин, О.В. Грушовіничук, В.І. Луц // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД. – 2010. – № 16. – С. 54-59.
5. Руденко Д.В. Переносний пінозмішувач ПЗ-5. Пат. на корисну модель 76165 Україна, МПК (2012.01), А62С 13/00. № у 2012 07079; заявл. 12.06.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24, 2012. – 3 с.
6. Паснак І.В. Підвищення ефективності ліквідації пожеж класу А і В на промислових підприємствах шляхом удосконалення технічних засобів пожежогасіння : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД. – 2013. – 20 с.
7. Попович В.В. Конструювання ручного пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача для гасіння пожеж на потенційно небезпечних об'єктах / В.В. Попович, І.В. Паснак, О.В. Пуць // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.3. – С. 127-132.

Надійшла до редакції 18.11.2016 р.

Чоп В.Ю., Дякур Д.И., Паснак И.В., Придатко А.В. Повышение эффективности функционирования пеносмесителя стационарно установленного насосного оборудования

На основании анализа современного состояния вопроса выделена проблема дозирования пенообразующих веществ стационарно установленным оборудованием пожарных насосов. Показано, что существующие технические решения в пеносмесителе ПС-5 делают невозможным рациональное расходование пенообразователя в случае формирования 3 % раствора пенообразователя для генерирования воздушно-механической пены. Предложена конструкция сменного крана-дозатора для пеносмесителя ПС-5 и обоснованы его рациональные параметры. Путем разработки 3D модели созданы предпосылки для изготовления опытного образца ПО-5 со сменными кранами-дозаторами и проведения его экспериментальных испытаний.

Ключевые слова: пеносмеситель, раствор пенообразователя, воздушно-механическая пена, дозировка пенообразователя, рациональные параметры пеносмесителя.

Chop V.Yu., Dyakur D.I., Pashnak I.V., Prydatko O.V. Improving the Efficiency of Functioning Foam Mixer of Permanently Installed Pumping Equipment

Based on analysis of the current state of the issue we have allocated blowing agents dosing problem of permanently installed equipment of fire pumps. It is shown that the existing technical solutions in PS-5 foam mixer make a rational consumption of foaming agent impossible in the case of formation of a 3 % solution of a foaming agent for generating the mechanical foam. The design of removable metering foam mixer taps for PS-5 and its reasonably rational parameters is proposed. We have created the preconditions for the production of PS-5 prototype interchangeable injection valve and of its experimental tests by developing a 3D model.

Keywords: foam mixer, a foaming agent solution, air-mechanical foam frothier dosage, rational parameters of foam mixer.

УДК 674:621.928.93

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОГО РУХУ ЗАПИЛЕНОГО ПОТОКУ ПОВІТРЯ У ЦИКЛОНІ

Ю.Р. Дадак¹, Л.О. Тисовський², А.В. Ляшеник³

Побудовано математичну модель турбулентного руху потоку запиленого повітря у циклоні, яка складається з усереднених рівнянь Нав'є-Стокса, усередненого рівняння нестискуваності та стандартної $k - \epsilon$ моделі турбулентності, що ґрунтується на підході Рейнольдса. Отримані співвідношення замикають систему диференціальних рівнянь у частинних похідних і становлять повну систему рівнянь для дослідження турбулентного руху в'язкої нестисливої рідини (газу). Отримані результати можуть бути використаними під час проектування нових конструкцій циклонів з покращеними показниками ефективності та енергоощадності.

Ключові слова: циклон, ламінарний рух, турбулентний рух, рівняння Нав'є-Стокса, усереднення, $k - \epsilon$ модель турбулентності.

Вступ. На сучасному етапі технічного розвитку суспільства дедалі жорсткіші вимоги ставлять до питань екологізації. Зокрема, важливого значення набуло питання очищення повітря внаслідок діяльності виробничих потужностей різних галузей промисловості, зокрема й деревообробної. Для сепарації запиленого по-

вітря широкого використання набули циклони, проте, незважаючи на відносну простоту конструкції цих апаратів, аеродинамічні процеси, що відбуваються у них, є складними та потребують використання потужного математичного апарату для створення математичних моделей процесів сепарації. Враховуючи геометричні особливості будови циклонів та режими їх роботи, рух запиленого повітря всередині них може бути як ламінарним, так і турбулентним.

Математична модель ламінарних аеродинамічних процесів, що існують у циклонах, наведено в роботі [1], проте зі збільшенням швидкості набігаючого потоку повітря в деяких областях всередині сепараторів, що характеризуються зміною геометричних розмірів, з'являються вихори, тобто після нетривалого перехідного періоду пілогазовий потік стає турбулентним або хаотичним.

Існують два підходи до дослідження турбулентних явищ: статистичний і метод усереднення. Статистичний напрямок перспективний у загальному плані для теорії турбулентності, але на сьогодні не привів до результатів, які можна було б використати в інженерній практиці. Упродовж останнього десятиліття значного розвитку набули різні напівемпіричні моделі феноменологічного типу, зв'язані з тим чи іншим способом замикання усереднених за Рейнольдсом рівнянь руху Нав'є-Стокса. Огляд теорій турбулентності розглянуто в роботах [2, 3].

Ламінарний рух. Припустимо, що пілоповітряний потік всередині циклона є гомогенним середовищем, поведінку якого можна описати моделлю в'язкого нестискуваного газу (рідини). За невеликих швидкостей потоку, тобто, коли число Рейнольдса Re буде меншим за деяке критичне значення $Re(Re < Re_{кр})$, рух середовища буде ламінарним. Зазначимо, що числове значення $Re_{кр}$ можна визначити лише експериментальним шляхом і на цю величину впливає багато різних факторів, зокрема, відхилення форми від циліндричної та чистота оброблення поверхні стінок.

Повна система рівнянь ізотермічного руху в'язкої нестискуваної рідини (газу) [4] складається з рівнянь Нав'є-Стокса і рівняння нестискуваності, які у векторному вигляді мають вигляд

$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = F - \frac{1}{\rho} \text{grad}p + \frac{\mu}{\rho} \Delta V \\ \text{div}V = 0 \end{cases} \quad (1)$$

У проєкціях на осі декартової системи координат (x, y, z) ці рівняння можна представити таким чином:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

¹ доц. Ю.Р. Дадак, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів;

² доц. Л.О. Тисовський, канд. фіз.-мат. наук – НЛТУ України, м. Львів;

³ доц. А.В. Ляшеник, канд. техн. наук – Коломийський політехнічний коледж