

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ГЕНЕРУВАННЯ СТРУМИННИХ ПОТОКІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ПОЖЕЖОГАСІННІ

Представлена система генерирования струйных потоков и осуществлен её анализ с позиций эксергетического подхода. Определено, что существующая система формирования струйных потоков, используемая в отечественной пожарной технике, позволяет передавать только 9% энергии, которую можно было бы получить в некоторой идеальной системе генерирования струйных потоков. Сделан вывод об универсальности предложенного подхода к анализу системы генерирования водяных потоков, которые используются при пожаротушении в силу возможности учесть оценку каждого из видов энергии.

The system of generation of jet streams and exergy analysis is realized. Determined that the existing fire fighting equipment system of formation of jet streams can send only 9% of energy could be obtained in ideal system of generating flows. The conclusion is made on the universal idea of the offered approach to the analysis of the water flow origination systems which are used in firefighting as they give an opportunity to take into consideration the evaluation of every kind of energy.

Вступ. Огляд конструкцій пожежної техніки та її елементів, які використовуються при формуванні пожежних струменів (стаціонарних і пульсуючих) [1-3], дозволяє стверджувати, що основними елементами гідравлічних схем у пожежних автомобілях ПА, є генератори тиску і системи їх керуванням, пристрої, що забезпечують створення пульсації потоку певної частоти, системи керування потоком, і, нарешті, пожежні стволи (рис. 1).

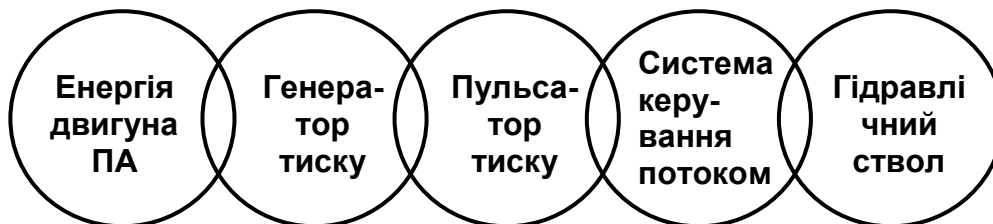


Рис. 1. Принципова схема системи формування струминних потоків у ПА

Базовим технічним засобом, що використовується при проведенні аварійно-рятувальних робіт залишається автоцистерна. Як правило, це автомобіль, що має ємність для перевезення води від 2 до 14 тонн, ємність для піноутворювача до 300 кг, спеціальне пожежно-технічне обладнання, а також має 3-8 спеціально обладнаних місць для персоналу, який доставляється до місця проведення аварійно-рятувальних робіт. Нинішні технології гасіння забезпечують співвідношення води, «пролітої» на місці пожежі, до тієї, яка використовувалася для її гасіння, яке в більшості випадків складає не менше як 19:1.

Випаровуючись, вода, як засіб гасіння, має теоретичну здатність охолодження рівню 2,6 МВт/с. Насправді така потужність досягається шляхом використання значно більшої кількості води. Повне використання величезної охолоджуючої потужності води можливо лише у випадку, якщо вона повністю випаровується в осередку пожежі [7-13].

Зазначене зауваження має дуже важливу роль для подальшого вивчення струминних потоків, оскільки для створення певної ідеальної системи гасіння, потрібно сформувати схему (рис. 1), що дозволяла б передати енергію від двигуна пожежної машини до місця остаточного розпилу струменя, виходячи з вимог мінімуму початкової енергії.

Стосовно пожежної та аварійно-рятувальної техніки, можна стверджувати, що у більшості випадків мова йде про тиск $P = 0,22...4,0 \text{ МПа}$, об'ємні витрати рідини $Q = \frac{W}{t} = 0,1...100 \frac{\text{л}}{\text{с}}$ (W - об'єм рідини через живий переріз потоку), та швидкість струменя на вильоті із формуючого пристрою $U = 10...400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Питаннями створення та експлуатації засобів пожежної техніки займалися П.П. Алексєєв, М.Д. Безбородько, А.Ф. Іванов, А.В. Кузнєцов, Б.Л. Клаківський, Б.О. Максимов, В.І. Маханько, М.О. Мінаєв, К.М. Степанов [7-9].

Генератори імпульсів.

Всі розглянуті в результаті патентного пошуку генератори імпульсних струменів (близько 400) у залежності від принципу дії і способу генерування струменя, робочого середовища (рідини або газу) умовно можна поділити на п'ять основних типів (груп): генератори імпульсних струменів клапанного типу, поршневого типу, роторного,

гідроударного і кумулятивного типів. Зауважимо, що такий поділ є умовним, оскільки багато пристроїв поєднують в собі різні принципи дії і строгої відповідності тій чи іншій групі досягти не вдається.

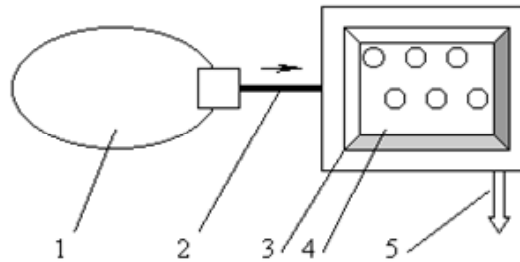


Рис. 2. Генератор імпульсних потоків клапанного типу
1 - джерело тиску робочого середовища (смість зі стиснутим повітрям); 2 - з'єднувальна магістраль;
3 - робочі механізми з набором каналів; 4 - система клапанів; 5 - випускний патрубок

Чинники, що впливають на струмені.

Оскільки після вильоту вогнегасної рідини з вихідного отвору формуючого пристрою безпосередньо впливати на формування струменя досить складно, усі бажані характеристики зон розпилення і розпорощення мають забезпечуватись самою схемою водопіпінних комунікацій ПА та характеристиками її окремих елементів.

Аналіз даної нескладної системи (рис. 1.) дає можливість здійснювати оцінку гідродинамічних параметрів струменя, обладнання для формування струменя, визначити економічну доцільність розроблюваних методів проектування.

Пропонований підхід до розв'язання завдання.

У даній схемі (рис. 1.) взаємодія функціональних елементів здійснюється за допомогою рідини (води), з якої формується струмінь. Основними характеристиками в системі є витрата Q і тиск P (при заданих значеннях в'язкості і температури).

Аналіз досліджуваних гідравлічних систем можна здійснювати з декількох позицій, а саме функціональної, морфологічної та інформаційної [14]. Функціональний аналіз дає можливість оцінити ті властивості, якими система володіє в даний момент. При морфологічному описі можна отримати уявлення про систему в цілому, при цьому на перший план виходить поняття структури як сукупності елементів і зв'язків між цими елементами (насос - пульсатор; пульсатор - регулятор витрат тощо). Причому подібного роду зв'язки можуть бути як енергетичними, так і функціональними або зв'язками управління. Нарешті, інформаційний опис дозволяє отримати уявлення про залежність структури і функціональних параметрів від відомостей про якість і кількість внутрішньої і зовнішньої інформації.

Згідно з дослідженнями С.І. Пастушенка формальний опис даної системи можна подати наступним чином. У деякий момент часу $t \in T$ надходить вхідний параметр в систему $x(t)$; він є вектором в m -вимірному просторі вхідних параметрів. У той самий момент часу t на систему діє деяка зовнішня сила $V(t)$, яка описується n -вимірним вектором у просторі X .

Характеризуючи систему набором внутрішніх параметрів $X_{внутр}(X_1, X_2, \dots, X_n)$, їх можна розглядати як вектор в k -тому просторі.

Якщо початковий стан системи позначити через $Z_{поч}$, то для будь-якого моменту часу можна стверджувати, що система знаходиться в стані, який характеризується $Z(t)$.

Таким чином, вихідні параметри системи в момент часу $t \in T(t_c > t_0)$ в межах $t_0 - t_c$ визначаються відношенням $y(t) = F[t, z_0, x(t), X(t), V(t)]$.

Удосконалення струминної пожежної техніки, систем її автоматизації, може призвести до подальшого розвитку й ускладнення даної системи, збільшення числа обладнання, вимірювальної і регулювальної техніки. Оскільки система встановлюється на автомобілях з певними характеристиками, гідравлічна система може істотно залежати від цих характеристик (наприклад, потужність приводу насосної станції). Останнє вказує на факт зростання значимості техніко-економічних досліджень з визначення оптимальних параметрів і структури струминного обладнання.

У даному сенсі вельми перспективним є ексергетичний метод дослідження механічних систем струминної техніки [15, 16].

В ексергетичному методі аналізу є можливість врахувати не тільки кількість, але і якість потоків енергії (потоків, що об'єктивно дають термодинамічну оцінку системи). Слід зазначити, що даний метод аналізує тільки ту частину енергоресурсів (потік роботи, маса робочих тіл, теплота і т. д.), яка є працездатною.

Використовуючи перший і другий закони термодинаміки можна скласти рівняння ексергії. Якщо втрати ексергії, як критерій незворотності процесу, визначаються за формулою

$$\Pi = T_0 \Delta S_{\Sigma} = 0 \quad (1)$$

де T_0 – температура навколишнього середовища, а ΔS_{Σ} сумарна зміна ентропії ($\Pi = 0$ – зворотній процес, $\Pi > 0$ – незворотній процес), тоді для реальних процесів справедливо [15, 16]:

$$E_{\Sigma}^{ex} = E_{\Sigma}^{eux} + \Pi, \quad (2)$$

$$E^{\Pi} = E^K + \Pi, \quad (3)$$

де $E_{\Sigma}^{ex}, E_{\Sigma}^{eux}$ – сумарні ексергії усіх потоків енергоресурсів на вході й виході із системи; E^{Π} – потрачена енергія; E^K – використовувана (корисна) енергія.

Існує ще й транзитна енергія E_K , яка є відповідним «баластом» в сумарних потоках ексергії на її виході та вході, тобто.

$$E_K = E_{\Sigma}^{ex} - E^{\Pi} = E_{\Sigma}^{eux} - E^K. \quad (4)$$

Оскільки ексергія потоку роботи E_N дорівнює самій роботі

$$E_N = N = m \cdot e_{техн}, \quad (5)$$

де m – маса робочого тіла, $e_{техн}$ – питома технічна робота, а енергія потоку кінетичної енергії

$$E_K = \frac{mu^2}{2}, \quad (6)$$

тепловий потік

$$E_{\Phi} = \left(I - \frac{T_0}{T_u} \right) \Phi, \quad (7)$$

де T_u – середньодинамічна температура, то не має складності написання рівняння ексергетичного балансу.

Окрім того, із рівнянь (2) і (3) можна отримати вираз для ккд будь-якого процесу, що відбувається в пристрої

$$\eta_{ex} = \frac{E^K}{E^{\Pi}} = I - \frac{\Pi}{E^{\Pi}}.$$

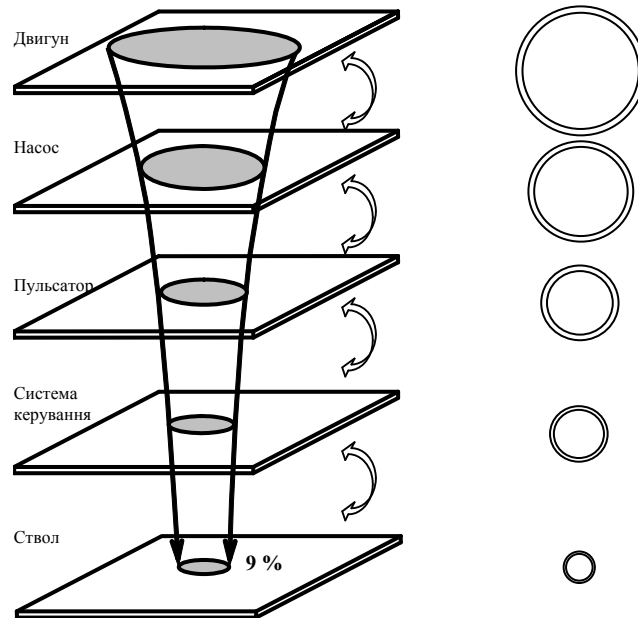


Рис. 3. Зменшення ексергії в існуючій системі генерування потоків

Оскільки потоки ексергії можуть бути легко розраховані за формулами (5-7) в залежності від виду потоку (робота, теплота, потік маси), не складно визначити суму потоків ексергії на вході й виході E_i^{ex} і E_i^{eux} для кожного i -го елемента схеми.

Базуючись на наведених даних у відповідності з [14] може бути визначений термoeкономiчний критерій оптимальності системи:

$$K_{pz} = \left[\frac{\sum B_n \Pi_n - \bar{K}_n}{\sum_K e_K} \right],$$

де B_n , Π_n – вартість та річне використання енергії від зовнішніх джерел; \bar{K}_n – річні капітальні та інші витрати в n -му елементі схеми; e_K – річні витрати ексергії для отримання k -го продукту.

Як висновок, задача оптимізації зводиться до пошуку екстремуму розглянутої функції ($\min K_{pz}$).

Подана на рис. 3 схема дає можливість зрозуміти значимість кожного блоку у формуванні системи передачі енергії від двигуна автоцистерни, до моменту повного розпилу струменя і попадання її у осередок пожежі. Ефективність роботи кожного блоку і, як наслідок, ефективність роботи всієї системи імпульсного пожежогасіння в першу чергу залежить від характеру впливу вогнегасної речовини на осередок пожежі. Більшість двигунів, що виробляють енергію, яка надалі передається генераторам тиску (насосам) має ккд приблизно рівний 0,35. Існуюча система передачі енергії від двигуна до генератора тиску, що використовує коробку відбору потужності, коробку перемикачів передач, систему валів, дозволяє здійснити передачу всього 30% початкової потужності двигуна. Пристрій, що забезпечує пульсацію, призводить до падіння потужності в межах 3-15%. Система керування потоком і гідравлічний ствол також знижують потужність (відповідно - 0,9 і 0,95).

Таким чином, спрощена схема, подана на рис. 3 дає можливість стверджувати, що існуюча система формування струминних потоків, використовувана у вітчизняній пожежній техніці, дозволяє передавати тільки 9% енергії, яку можна було б отримати в деякій ідеальній системі генерування потоків

$$K_{\text{обц}} = K_{\text{двиг}} \cdot K_{\text{насос}} \cdot K_{\text{пульс}} \cdot K_{\text{керув}} \cdot K_{\text{ствол}} = 0,35 \cdot 0,3 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \approx 0,09.$$

Такий рівень працездатності системи (найбільш близького терміну до терміну ексергії), жодним чином не може задовольняти як розробників пожежної техніки так і самих рятувальників, оскільки більшість нині експлуатованих автоцистерн, внаслідок зазначених вище причин, не забезпечують номінальних режимів роботи встановлених на них пожежних насосів.

Висновки.

Підхід до аналізу системи генерування водяних потоків, що застосовуються у пожежогасінні, можна вважати універсальним, оскільки він дозволяє зробити оцінку використання всіх видів енергії, починаючи від енергії, що подається двигуном автомобіля на пожежну установку аж до енергії отриманого струменя. По-суті, складається баланс досліджуваної енерготехнічної системи. Метод володіє наочністю і простотою. Окрім того, метод надає можливість здійснювати зв'язок між ексергетичними і техніко-економічними характеристиками системи, що й дало можливість стверджувати про передачу в досліджуваній системі лише 9% енергії, від тієї, яку можна було б отримати в деякій ідеальній системі генерування потоків.

Результати даного дослідження можуть бути використані при створенні нових технічних засобів пожежогасіння, оскільки принципова схема системи генерування струминних потоків є універсальною для ПА, що використовуються оперативно-рятувальною службою МНС України.

Список літератури.

1. Кравчуновский В.Ф. Пожарные стволы – краткий анализ существующих устройств для распыления жидкости, перспективность использования гидроимпульсных систем. Пожежна безпека, збірник наукових праць. – ЛПБ, №2. – 2002 р. – С. 73-76.
2. Шкарабура Н.Г., Стась С.В. Основные принципы генерирования импульсных потоков в гидравлических системах // Промислова гідравліка і пневматика №1(3), 2004, С.25-29.
3. Шкарабура Н. Г., Стась С.В. Особенности пульсационного течения жидкости в цилиндрических насадках // Вісник Черкаського державного технологічного інституту. 2004 - №2. – С.68-72.
4. Пожарная техника : В 2 ч. // А. Ф. Иванов, П. П. Алексеев, М. Д. Безбородько и др. ; Под ред. А. Ф. Иванова. Ч. 1 М. : Стройиздат, 1988. - 416 с.
5. Пожарная техника : В 2 ч. // А. Ф. Иванов, П. П. Алексеев, М. Д. Безбородько и др. ; Под ред. А. Ф. Иванова. Ч. 2 М. : Стройиздат, 1988. - 286 с.
6. Кулаковский, Б. Л. Пожарные аварийно-спасательные и специальные машины / Б. Л. Кулаковский, В. И. Маханько, А. В. Кузнецов. - Минск : Технопринт, 2003. - 453 с. : ил. - Библиогр.: с. 448.
7. Brammer & Wise - FIRE Journal Australia. November 2002.
8. Deputy Chief Thomas Dunne (FDNY). Fire Engineering Magazine. December 2002.
9. Dr. Frederick B. Clarke, "Fire Hazards of Materials, An Overview", NFPA Handbook, 17th Edition 1991, NFPA, Quincy, MA, p. 3-15.
10. Dr. M Thomas. Report into the Blaina Fire. 1996.
11. Floyd W. (Bill) Nelson, Qualitative fire behavior, International Society of Fire Service Instructors, Staunton, VA, 1991.
12. Howard W. Emmons, "Fire and Fire Protection", Scientific American, July 1974.
13. Keith Royer, Water for firefighting, Engineering Extension Service, Iowa State University, 1959, Bulletin No 18, Ames, IA, p. 2.
14. Шкарабура Н. Г., Стась С.В. Возможные методы анализа систем формирования гидравлических струй. Чрезвычайные ситуации: образование и наука: Международный научно-практический журнал. - Гомель, ГИИ МЧС Республики Беларусь 2007, Т. 2, № 1, С.29-34.
15. Бродянский В. Фратшер В. Милек К. Эксергетический метод и его применение. - М.: Энергоиздат, 1988. -288 с.
16. Эксергетические расчеты технических систем: справочное пособие/ Бродянский В. М. Верхивнер Г. П. Карчер Я. Я. и др. Под редакцией Доминского А. А., Бродянского В. М. – К: Наукова думка, 1991. - 360 с.