

**І. Ф. Дадашов, О. О. Ковальов, І. М. Хмиров, О. Г. Поліванов***Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна*

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЖЕКЦІЙНОГО АПАРАТУ, ЗАСТОСОВУВАНОВОГО ПІД ЧАС ПОЖЕЖОГАСІННЯ

На підставі аналізу з'ясовано, що наявні засоби та способи гасіння легкозаймистих рідин дають достатньо добрий результат тільки для невеликих розмірів горючих речовин. Для гасіння цих пожеж раніше запропоновано використовувати гель-формульовані вогнегасники та вогнезахисні композиції, які представляють собою двійкову систему, що складається з двох окремих і роздільно-одночасно поданих композицій. Вирішено питання ефективного застосування технології гасіння пожеж на резервуарах зберігання легкозаймистих горючих рідин з використанням гелеутворювальних вогнегасних і вогнезахисних сумішей, які потрібно подавати на заздалегідь нанесений негорючий плавучий шар гранульованого піноскла. Для вирішення проблеми позитивних плавучих шарів гелеподібних композицій пропонували використовувати гранульоване піноскло – негорючий, нелетучий матеріал, і як пристрій для подачі гранульованого піноскла запропоновано використовувати апарат викиду повітря, подачу гранул з піноскла через шлангові лінії до горіння. Визначено тактичні та технічні вимоги, запропоновано конструкцію викидного пристрою для постачання гранульованого пінопласту. Ґрунтуючись на відомих методиках розрахунку конструктивних параметрів струменевих апаратів, проведено теоретичний аналіз роботи ежекційного апарату для подачі гранульованого піноскла запропонованої конструкції, а також запропоновано методику розрахунку його конструктивно-технологічних параметрів, що дало змогу створити дослідно-експериментальний зразок.

Ключові слова: ежекційний апарат; продуктивність; конструкція; методика розрахунку; шнековий механізм; витрата; діаметр; потужність.

Вступ. Щорічно Україна споживає понад 20 млн т нафти та продуктів її перероблення (Ukraine v tcifrah, 2014), що передбачає утримання досить великого резервуарного парку країни, що створює значну техногенну і пожежну небезпеку. Проблема гасіння горючих нафтопродуктів є однією зі складних у пожежогаєнні, ці пожежі завдають значних економічних та екологічних збитків і часто призводять до людських жертв. Найважчі труднощі створює гасіння пожеж на резервуарах великих об'ємів, призначених для зберігання легкозаймистих горючих рідин (ЛЗР) (Sharavarnikov et al., 2002), ліквідація таких пожеж може займати багато часу навіть у разі повного виконання всіх нормативних вимог і правил (Antonov et al., 2004; Vorovykov, 2015).

Під час гасіння ЛЗР потрібно не тільки забезпечити припинення горіння, а й створити умови, що забезпечують тривале недопущення повторного займання. Нап-

риклад, ЛЗР може самозапалитись від нагрітої стінки або конструкції резервуара. На відміну від гасіння більшості твердих горючих матеріалів створити такі умови тільки охолодженням поверхні рідини до температури навколишнього середовища практично неможливо, оскільки температура займання легкокиплячих рідин часто нижча за температуру навколишнього середовища, тому ЛЗР легко повторно спалахують навіть від відносно слабких теплових джерел. Зважаючи на умови проведення пожежогаєння, розроблення нових і вдосконалення наявних способів гасіння ЛЗР здійснюють, виходячи з принципу ізоляції їх поверхні.

На сьогодні для гасіння ЛЗР найбільшого поширення набули повітряно-механічні піни (Vorovykov, 2015) також можуть застосовуватися порошкові засоби пожежогаєння, хладони, вуглекислота.

Вогнегасні піни забезпечують досить тривалу ізоля-

Інформація про авторів:

Дадашов Ільгар Фірдовси огли, канд. техн. наук, доцент, кафедра спеціальної хімії та хімічної технології.

Email: mralexkovalev@gmail.com

Ковальов Олександр Олександрович, канд. техн. наук, доцент, кафедра інженерної та аварійно-рятувальної техніки.

Email: mralexkovalev@gmail.com

Хмиров Ігор Михайлович, канд. психол. наук, доцент, кафедра наглядово-профілактичної діяльності.

Email: mralexkovalev@gmail.com

Поліванов Олександр Геннадійович, ад'юнкт, кафедра інженерної та аварійно-рятувальної техніки. Email: alex-polivanov@i.ua;

<https://orcid.org/0000-0002-6396-1680>

Цитування за ДСТУ: Дадашов І. Ф., Ковальов О. О., Хмиров І. М., Поліванов О. Г. Обґрунтування конструкції та методика розрахунку конструктивно-технологічних параметрів ежекційного апарату, застосовуваного під час пожежогаєння. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 11. С. 101–107.

Citation APA: Dadashov, I. F., Kovalev, O. O., Khmyrov, I. M., & Polivanov, O. G. (2018). Justification of the design and the method of calculation of the constructive-technological parameters of the ejection apparatus applied to fire extinguishing. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(11), 101–107. <https://doi.org/10.15421/40281119>

цію поверхні горючої рідини від газової фази, в якій відбувається процес горіння, однак вони мають низку недоліків:

- низька стійкість пін зумовлена дією інтенсивних теплових потоків, які виходять від полум'я палаючої рідини, а також контактом піни з горючими рідинами, особливо полярними;
- винесення піни конвективними потоками продуктів горіння;
- піни важко подати на великі відстані;
- токсичність і екологічна небезпека поверхнево-активних речовин (ПАР), що входять до складу піноутворювачів.

Для порошкових засобів і хладонів основний внесок у гасіння ЛЗР вносить ефект інгібування. Вуглекислота, що застосовується для гасіння ЛЗР переважно реалізує охолоджувально-розбавлені механізми припинення горіння.

Аналіз наявних засобів пожежогасіння ЛЗР показав, що ці засоби і способи забезпечують досить добрий результат в разі відносно невеликих за розмірами резервуарів з ЛЗР. Для усунення більшості з перерахованих недоліків повітряно-механічних пін, для гасіння ЛЗР раніше в наших роботах було запропоновано використовувати гелеутворювальні вогнегасні і вогнезахисні склади (ГУС) (Dadashov et al., 2016; Dadashov & Kireev, 2016).

ГУС є бінарною системою, що складається з двох окремо збережених і окремо-одночасно подаваних складів. Обидва склади є водними розчинами, що полегшує їх зберігання і подачу в зону горіння, забезпечуючи при цьому високу охолоджувальну дію завдяки наявності в їх складі води. Компоненти розчину підібрані так, щоб при їх змішуванні утворювався не текучий шар гелю.

Тут також треба зазначити, що всі компоненти ГУС є речовинами нерозчинними в вуглеводневих горючих рідинах. Цей факт важливий для переробників нафти і нафтопродуктів, оскільки компоненти запропонованої вогнегасної системи не забруднюють відповідні рідини, що полегшує їх подальшу переробку і використання. Однак безпосередньо використовувати ГУС для гасіння горючих рідин неможливо, тому що гель тоне в більшості ЛЗР. Для вирішення проблеми позитивної плавучості гелеутворювальних шарів потрібно або зменшити щільність гелеутвореного шару, або підібрати легкий носій для шару гелю, на якому буде він формуватися.

Спроби отримати газонаповнений гель шляхом поєднання газоутворювальних реакцій і процесу гелеутворення не дали позитивних результатів (Dadashov, Mikheenko & Kireev, 2016). Дещо кращі результати дало нанесення шару гелю на поверхню піни. Однак і в цьому випадку максимальний час плавучості гелю не перевищував 15 хв. Позитивні результати дали дослід з формування шару гелю на поверхні суцільного шару пористих гранульованих неорганічних матеріалів, таких як спучені перліт і вермикуліт, піноскло й керамзит (Dadashov & Kireev, 2016; Dadashov, Mikheenko & Kireev, 2016). Причому в разі застосування деяких видів піноскла і керамзиту утворений бінарний шар залишався стабільним на поверхні бензину понад 10 діб.

На підставі аналізу комплексу властивостей, що включають економічні, екологічні та технічні параметри, як легкого носія ми вибрали гранульоване піноскло – негорючий, нелеткий матеріал, дозволений до використання як утеплювач у житловому будівництві. Як пристрій для подачі гранульованого піноскла запропо-

новано використовувати повітряний ежекційний апарат, що подає гранули піноскла за допомогою рукавних ліній на поверхню, що горить ЛЗР.

Матеріал і методи дослідження. На підставі аналізу літературних джерел струменеві ежекційні апарати для транспортування твердих сипких матеріалів, розрізняються за принципом дії: безперервного й періодичного (циклічного), а також за способом передачі енергії сухої суміші: пневматичні; механічні.

Виходячи із завдань, поставлених перед ежекційним апаратом подачі піноскла (ЕАПП), умов проведення пожежогасіння ЛЗР з використанням ГУС і теорії ежекційних апаратів, потрібно провести аналіз теорії і обґрунтувати конструкцію і методику розрахунку конструктивно-технологічних параметрів, ЕАПП, яка має задовольняти такі вимоги:

- безперервність дії: може бути досягнута шляхом введення вузла харчування, дозування, ворошіння піноскла у вигляді гвинтової поверхні (шнека);
- ефективну подачу піноскла з використанням стисненого повітря по гумовотканинних рукавах матеріалопроводу на відстань до 75 м: необхідно для забезпечення ефективної подачі і багатшарового нанесення піноскла на поверхню, що горить ЛЗР, що проводиться на висоті з використанням спецтехніки (автодрабин, колінчастих підйомників). Залежно від розміру фракцій піноскла, внутрішній діаметр матеріалопроводу може бути прийнятий від 38 до 68 мм.
- малогабаритність: необхідно для зручності розміщення, перевезення, швидкого оперативного розгортання та ефективного використання за мінімального числа задіяних пожежних-рятувальників.

Відповідно до викладеного вище, пропонуємо конструкцію ЕАПП, основними елементами якого будуть (рис. 1): видатковий бункер піноскла; порожнистий шнековий дозатор-живильник; робоче сопло шнекового дозатора-живильника; приводна частина шнекового дозатора-живильника; перетрушувач-живильник пружинного типу; конфузур; камера змішування (розгінна трубка); дифузур; фланець підключення рукавної лінії матеріалопроводу.

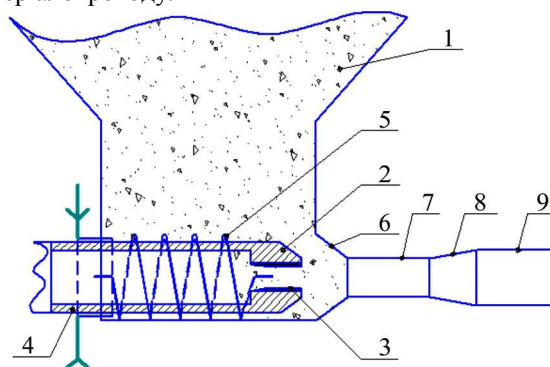


Рис. 1. Схема ежекційної установки: 1) витратний бункер піноскла; 2) порожнистий шнековий дозатор-живильник; 3) робоче сопло шнекового дозатора-живильника; 4) приводна частина шнекового дозатора-живильника; 5) перетрушувач-живильник пружинного типу; 6) конфузур; 7) камера змішування (розгінна трубка); 8) дифузур; 9) фланець підключення рукавної лінії матеріалопроводу

Безпосередня робота ЕАПП полягає в такому: У видатковий бункер завантажується гранульоване піноскло. Подачу гранульованого піноскла в конфузур здійснює шнековий дозатор-живильник, який отримує осьове обертання за допомогою понижувальної механічної передачі, встановленої на приводній частині шнекового

дозатора-живильника, що приводиться в обертання пневматичним двигуном, при цьому приводна частина шнекового дозатора-живильника жорстко пов'язана з перетрушувачем-живильником пружинного типу.

Подача стисненого повітря з тиском приблизно 0,5 МПа здійснюється пневматичним компресором через порожнистий шнековий дозатор-живильник в ежекційну змішувальну камеру, при цьому гранули піноскла, приведені у зважений стан перетрушувачем-живильником, направляються до конфузора. Зважаючи на наявність розрідження в конфузурі, гранули піноскла засмоктуються в змішувальну камеру і далі транспортується по матеріалопроводу до зони горіння ЛЗР. Потрібно врахувати, що стійкий режим роботи ЕАПП багато в чому буде залежати від чистоти, фракційного складу і вологості піноскла, яка не може перевищувати 4...5 %.

Мета роботи – провести теоретичний аналіз роботи ЕАПП запропонованої конструкції для використання у гасінні гарячих резервуарів ЛЗР з використанням ГУС і запропонувати методику розрахунку його конструктивно-технологічних параметрів.

Результати дослідження. Ефективність роботи ЕАПП буде залежати від фізико-механічних властивостей сухої суміші піноскла та умов її подачі, які своєю чергою залежать від конструктивних параметрів вузлів машини. Тому під час проектування ЕАПП, поряд з визначенням типу енергоносія, потрібно розраховувати конструктивні і режимні параметри ЕАПП.

Відомо низку робіт зі систематизації методів розрахунку струменевих апаратів, де було дано висновок залежностей для визначення основних розмірів струменевого апарату при заданих розрахункових умовах (Arons, 1948; Kamenev, 1970; Keller, 1976; Shumelishskii, 1961). У більшості опублікованих робіт розглянуто потоки, що змішуються в апаратах, які перебувають в одній і тій самій фазі і значно менше робіт, в яких досліджено потоки в різних фазах, наприклад, стиснене повітря – тверде тіло під час транспортування по матеріальних трубопроводах на деяку дальність.

У роботах (Berman, 1976; Berman & Efimochkin, 1968, 1964, 1978) під керівництвом авторів проведено теоретичні та експериментальні дослідження більшості типів струменевих апаратів, що застосовуються на практиці, а також наведено методики розрахунку основних розмірів струменевих апаратів і висновок рівнянь для визначення їх робочих характеристик. Дослідження показали, що розрахунок струменевих апаратів з циліндричною камерою змішування і працюють з потоками середовищ знаходяться в одній фазі, можна повністю базувати на теоретичних рівняннях, де досвідченими величинами є коефіцієнти швидкості проточної частини. Для апаратів з різним агрегатним станом робочого й ежектованого потоків необхідно застосовувати рівняння, частково побудовані на емпіричних залежностях.

Для проведення натурних випробувань технології гасіння гарячих резервуарів ЛЗР з використанням ГУС потрібно створити масштабну експериментальну модель ЕАПП, для цього потрібно провести розрахунок таких конструктивних параметрів ЕАПП: об'ємна та вагова витрата енергоносія, діаметр робочого сопла подачі енергоносія в ежектор, діаметр камери змішування, довжина вільного струменя, від зрізаного сопла до по-

чатку камери змішування, а також провести розрахунок гвинтового шнекового механізму подачі частинок піноскла.

Методику розрахунку конструктивних параметрів ЕАПП доцільно засновувати на методиках розрахунку конструктивних параметрів струменевих апаратів, запропонованих основоположниками теорій ежекційної подачі сухих матеріалів професорами А. Я. Мілевич, Г. Н. Абрамовичем, Б. Е. Фрідманом, В. І. Акуновим й ін. Вихідними умовами і даними для розрахунку ЕАПП будуть:

- необхідна продуктивність ЕАПП (ПМ) – з умов проведення пожежогасіння палаючих ЛЗР подача піноскла повинна становити $10 \text{ м}^3/\text{хв}$, тому доцільно створити на палаючій поверхні ЛЗР шар піноскла завтовшки від 30 до 60 мм, за середньої площі дзеркала ЛЗР $400,1 \text{ м}^2$ (як середнє значення площі дзеркала ЛЗР прийнято резервуар РВС-5000).
- параметри енергоносія – як енергоносієм прийнято стисле атмосферне повітря.

На підставі аналізу робіт (Keller, 1976; Akunov, 1962; Abramovich, 1974; Arons, 1948; Abramovich, 1979) можна запропонувати такий розрахунок параметрів енергоносія, який використовується в ЕАПП.

Об'ємна витрата енергоносія:

$$Q = 1,88 \cdot P_O, \quad (1)$$

де: P_O – об'ємна подача сухого матеріалу, $\text{м}^3/\text{хв}$; 1,88 – емпіричний коефіцієнт.

Вагова витрата енергоносія:

$$G_B = 1,45 \cdot P_B, \quad (2)$$

де: P_B – вагова подача сухого матеріалу, $\text{кг}/\text{хв}$; 1,45 – емпіричний коефіцієнт.

Діаметр робочого сопла подачі енергоносія в ежектор (Dilger, 2005):

$$d_c = 0,475 \sqrt{G_B}, \quad (3)$$

де: G_B – вагова витрата енергоносія; 0,475 – емпіричний коефіцієнт.

Діаметр камери змішування:

$$d_{KC} = 1,62 \sqrt{P_M}, \quad (4)$$

де: P_M – продуктивність ЕАПП; 1,62 – емпіричний коефіцієнт.

Довжина камери змішування за Б. Е. Фрідманом і В. І. Акуновим:

$$L_{KC} = 122 + 2,36 \cdot (d_{KC} - d_c), \quad (5)$$

де: L_{KC} – довжина камери змішування; d_c – діаметр робочого сопла; d_{KC} – діаметр камери змішування; 122 і 2,36 – емпіричний коефіцієнт.

Довжина вільного струменя, від зрізаного сопла до початку камери змішування, за А. Я. Мілевич дорівнює:

$$A = 6 \cdot d_c, \quad (6)$$

де: d_c – діаметр робочого сопла; 6 – емпіричний коефіцієнт.

Довжина циліндричної частини камери змішування:

$$L_{CC} = (5 \dots 6) \cdot d_c, \quad (7)$$

де d_c – діаметр робочого сопла; 5...6 – емпіричний коефіцієнт.

Напівкут розльоту повітряного струменя з робочого сопла шнекового дозатора-живильника:

$$\alpha = K \cdot \left(1 \pm \frac{d_c}{V} \right), \quad (8)$$

де: d_c – діаметр робочого сопла; V – швидкість повітряного потоку; K – коефіцієнт, що залежить від конструктивно-геометричних параметрів сопла: при закінченні

циліндричної струменя $K = 0,9$; при закінченні асиметричного струменя із сопла $K = 0,8$; при закінченні конічного осиметричного струменя із сопла $K = 1,4$.

Довжина початкової ділянки (потенційного ядра) вільного струменя згідно з розрахунками дорівнює:

$$l_n = \frac{d_c}{2 \lg \alpha} \approx (1 \dots 1,5) \cdot d_c, \quad (9)$$

де: d_c – діаметр робочого сопла; α – напівкут розльоту повітряного струменя з робочого сопла шнекового дозатора-живильника.

Конструктивну вимогу безперервності дії ЕАПП може бути досягнуто з використанням шнекового механізму, який поєднує в часі транспортування фракції піноскла в повітряну камеру змішування і при цьому розділяє зону високого тиску від атмосферного, тобто утворюється перепад тиску між системою живлення і транспортування.

У запропонованій конструкції ЕАПП, фракції піноскла виходять з корпусу циліндричного шнека суцільним циліндром (пробка), який необхідно розпушити, привести у зважений стан, що сприяє транспортуванню суміші гранул піноскла по матеріалопроводу. Протитиск стисненого повітря в камері змішувача забезпечується "корковим" механізмом, який розділяє зону високого тиску від атмосферного. Цей процес досить докладно описано в роботах П. М. Бикова та інших дослідників (Gastershtad, 1927; Grinev, Krashennikov & Krotkov, 1981).

У класичній конструкції ежекційного апарату як такого "коркового" механізму не існує, тому для організації транспортування піноскла на необхідну дальність, можливим технологічним рішенням також є організація роботи ежекційного вузла під тиском додатково підведеного стисненого повітря (Azimov & Abdullin, 1998; Azimov, Azimov & Abdullin, 1999). Ця конструкційна схема передбачає, на наш погляд, ускладнення конструкції ЕАПП, за рахунок наявності закритого бункера піноскла, що своєю чергою не допускає безперервності дії. Розглянуте технічне рішення також не може бути виправдано, тому що при транспортних матеріальних трубопроводах діаметром 38...50 мм досягти дальності подачі піноскла більше 15 м практично неможливо при тиску стисненого повітря 0,3...0,5 МПа.

Тому для транспортування сухих компонентів суміші з об'ємною щільністю готового продукту 400...600 кг/м³ і менше, найраціональнішим технічним рішенням є розміщення в ежекційній камері ЕАПП спеціального перетрушувача-живильника, що сприяє підтримці піноскла в підвищеному стані і подачі (транспортування) його через конфузур і розгінну трубку.

Для організації максимально ефективної роботи ЕАПП також потрібно рішення задачі зі встановлення взаємозв'язку механічного перетрушувача-живильника з ежектором за продуктивністю. В іншому випадку можливе замикання ежектора або робота ЕАПП з недовантаження. Для цього розглянемо методику розрахунку гвинтового шнекового механізму ЕАПП.

Методику розрахунку конструктивних параметрів перетрушувача-живильника пружинного типу ЕАПП доцільно засновувати на відомих методах розрахунку гвинтових шнекових механізмів. Так, у роботі (Grigorev, 1972) наведено теоретично обґрунтовану методику розрахунку потужності, споживаної гвинтовим конвеєром. Ця методика ґрунтується на залежностях, отриманих при розгляді руху матеріальної частинки, що

спирається на гвинтові поверхню і притиснута до стінки кожуха. Розглянуто загальний випадок – розташування осі гвинтового конвеєра під кутом до горизонту (Bashkatov, 1968; Grigorev, 1957; Gutiar, 1968). Цю теорію розрахунку гвинтового шнекового механізму розглянуто стосовно конструкції гвинтового конвеєра з нерухомим кожухом і рухомою гвинтовою поверхнею. Автор отримав систему диференціальних рівнянь, яка описує нерівномірний рух зі змінною кутовою швидкістю руху частинки відносно гвинтової поверхні.

$$\begin{cases} N_b \cos \alpha - f_b N_b \sin \alpha - m a \left(\frac{d^2 \phi r}{dt^2} \right) - \Delta m - f_k N_k \sin \beta = 0, \\ \Delta m \cdot \sin \varepsilon + \Delta N - N_b \sin \alpha - m R \left(\frac{d^2 \phi r}{dt^2} \right) = 0, \\ \Delta m \cdot \cos \varepsilon + m R \omega_0^2 + m R \left(\frac{d \phi r}{dt} \right)^2 - N_k - 2m R \omega_0 \left(\frac{d \phi r}{dt} \right) = 0, \end{cases} \quad (11)$$

де: $\Delta N = f_k N_k \cos \beta - f_b N_b \cos \alpha$; $\Delta m = mg \cos \gamma$; N_b, N_k – нормальні реакції гвинтової поверхні і кожуха відповідно, Н; f_b, f_k – коефіцієнти тертя сухої суміші про кручені поверхню і про внутрішню поверхню камери змішування, відповідно; R – зовнішній радіус гвинтової поверхні, м; ω_0 – кутова швидкість обертання гвинтової поверхні, рад/с.; m – маса матеріальної частинки, кг; $\alpha = \arctg(S / 2\pi r)$ – кут підйому гвинтової лінії по радіусу r , град; S – крок гвинтової поверхні, м; ϕr – кут ковзання (кут, на який відхиляється матеріальна частинка щодо гвинтової поверхні при обертанні її з постійною швидкістю ω_0), град; ε – кут, що визначає положення частинки відносно вертикальній площині, град; γ – кут нахилу осі вала конвеєра до вертикалі, град; $\alpha = Rtga$ – параметр конвеєра, град; β – кут між векторами переносної й абсолютної швидкостей, град.

Відзначено, що рішення цієї системи диференціальних рівнянь у загальному вигляді не може бути знайдено, на підставі наведених розрахунків, здійснених чисельними методами, автор стверджує, що несталий рух у конвеєрі (зі змінною кутовою швидкістю абсолютного руху) є короточасним. Уже через кілька секунд або часткою секунд рух стає стійким, з постійними значеннями середньої осьової швидкості й абсолютної кутової швидкості обертального руху.

При цьому кутову швидкість відносного руху матеріальної частинки визначають виразом

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\phi_0 \cos \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} = const, \quad (12)$$

де: α – кут підйому гвинтової лінії по радіусу r , град; β – кут між векторами переносної й абсолютної швидкостей, град.

Із системи рівнянь випливає, що нормальні реакції гвинтової поверхні N_b та N_k кожуха рівні

$$N_b = \frac{mg(\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta)}{f_b \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)}, \quad (13)$$

$$N_k = \frac{mg(\sin \gamma \sin \varepsilon \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta) (\cos \alpha - f_b \cos \alpha)}{f_k \sin \beta (f_b \sin(\alpha + \beta) - \cos(\alpha + \beta)) - \frac{mg \cos \gamma}{f_2 \sin \beta}}, \quad (14)$$

де: f_b, f_k – коефіцієнти тертя сухої суміші про кручені поверхню і про внутрішню поверхню камери змішування, відповідно; m – маса матеріальної частинки, кг; $\alpha = \arctg(S / 2\pi r)$ – кут підйому гвинтової лінії по раді-

усу r , град; ε – кут, що визначає положення частинки відносно вертикальної площини, град; γ – кут нахилу осі вала конвеєра до вертикалі, град; $\alpha = Rtg\alpha$ – параметр конвеєра, град; β – кут між векторами переносної й абсолютної швидкостей, град.

Представлені залежності відповідають горизонтальному положенню конвеєра при $\gamma = 90^\circ$.

Відповідно до теоретичних походів і методики розрахунку потужності гвинтового шнекового механізму, що витрачається на переміщення сухої суміші, які запропонував професор А. М. Григор'єв, сумарну потужність гвинтового шнекового механізму ЕАПП визначають таким виразом:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (15)$$

де: P_1 – потужність, що необхідна на подолання сил інерції, що виникають при зміні швидкості руху сухої суміші від 0 до V_a (де V_a – абсолютна швидкість руху сухої суміші, м/с); P_2 – потужність, що необхідна на подолання сил тертя сухої суміші про внутрішню поверхню камери змішувача; P_3 – потужність, що необхідна на переміщення вантажу уздовж осі гвинта і подолання сил тертя об гвинтову поверхню.

Складові (15) визначають такими виразами:

$$P_1 = \frac{QV_a^2}{270g}, \quad (16)$$

де: Q – продуктивність конвеєра, т/ч.; V_a – абсолютна швидкість руху сухої суміші, м/с;

$$P_2 = \frac{f_k N_k V_a}{75}, \quad (17)$$

де: f_k – коефіцієнти тертя сухої суміші про внутрішню поверхню камери змішувача; N_k – нормальна реакція поверхні кожуха; V_a – абсолютна швидкість руху сухої суміші, м/с;

$$P_3 = \frac{D_{цд}(F_{цд} + F_0)(w_0 - w_2)}{150}, \quad (18)$$

де: $F_{цд} = mg \sin \delta \operatorname{tg}(\alpha_0 + \phi)$ – рушійна сила, дотична до кола, що проходить через центр тиску вантажу на гвинтову поверхню, Н; $F_0 = N_k \sin \theta \operatorname{tg}(\alpha_0 + \phi)$ – окружна сила на зовнішній кромці гвинта, Н; $w_2 = 2V_2 / D$ – кутова швидкість руху вантажу, рад/с; $D_{цд} = (0,7-0,8) \cdot D$ – діаметр окружності, що проходить через центр тиску вантажу на гвинтову поверхню шнека, м, де D – зовнішній діаметр гвинтової поверхні, м; m – маса вантажу, що знаходиться в кожусі конвеєра, кг; δ – кут нахилу осі конвеєра до горизонту, град; f_2 – коефіцієнт тертя.

Кут підйому гвинтової лінії, що проходить через центр тиску вантажу на гвинтову поверхню шнека ($\alpha_{цд}$) і кут тертя вантажу об поверхню шнека (ϕ_b) можна встановити за такими залежностями:

$$\alpha_{цд} = \operatorname{arctg} \frac{S}{\pi D_{цд}}, \text{ град; } \phi_b = \operatorname{arctg} f_b, \text{ град.}$$

Отже, можна запропонувати таку залежність для розрахунку конструктивних параметрів перетрушувача-живильника пружинного типу ЕАПП, що базується на наявних методиках розрахунку гвинтового шнекового механізму (Grigorev, 1957; Nikiforov, 1967; Nikiforov & Grigorev, 1988).

Потужність на валу гвинтового перетрушувача-живильника:

$$P = \frac{Q_{BK}}{367} \cdot (LW + H), \text{ кВт,} \quad (19)$$

де: Q_{BK} – продуктивність гвинтового конвеєра, т/г; L – довжина шляху транспортування вантажу, м; W – коефіцієнт опору руху, м; H – висота підйому вантажу, м.

Значення коефіцієнта W рекомендується приймати в межах від 1,5 до 4,0. Значення $W = 4$ варто застосовувати для важких абразивних матеріалів, таких як цемент, гіпс, шамот, вапно, пісок; для піноскла значення $W = 1,0-1,5$.

Унаслідок теоретичного опрацювання тактико-технічних вимог і конструкції ЕАПП створено дослідно-експериментальний зразок ЕАПП (рис. 2).



Рис. 2. Дослідно-експериментальний зразок ЕАПП

Обговорення результатів дослідження теорії роботи і визначення конструктивно-технологічних параметрів ЕАПП. Проведений у роботі аналіз наявних методик розрахунку конструктивних параметрів ежеційних апаратів показав, що вони багато в чому базуються на експериментальних даних і не враховують фізико-механічних властивостей матеріалу, що транспортується, тому для подальшого проведення досліджень конструкції і схем роботи ЕАПП потрібно здійснити експериментальні дослідження роботи створеного дослідно-експериментального зразка ЕАПП. Отримані, в лабораторних умовах, результати експериментальних досліджень роботи дослідно-експериментального зразка ЕАПП і аналіз їх результатів дасть змогу перевірити і в разі потреби уточнити отримані автором аналітичні залежності роботи ЕАПП.

З огляду на застосування ЕАПП для цілей пожежогасіння, науковий і практичний інтерес також викликає пропорційний склад і поведінка двафазного повітряно-матеріального потоку "повітря-піноскло" при його русі по рукавних матеріалопроводах, а також при подачі на поверхню, що горить ЛЗР, що вимагає проведення подальших аналітичних і експериментальних досліджень.

Отже, для подальшого опрацювання конструкції ЕАПП потрібно отримати результати експериментальних досліджень роботи дослідно-експериментального зразка ЕАПП, на яких буде ґрунтуватися створення дослідно-промислового абзацу ЕАПП, що своєю чергою дасть змогу провести його натурні експериментальні дослідження в умовах пожежогасіння ЛЗР.

Висновки. Для гасіння горючих рідин запропоновано використовувати гелеутворювальні вогнегасники системи, при цьому як легкий носій, що забезпечує плавучість вогнегасної шару гелю на поверхні горючої рідини, запропоновано використовувати екологічно безпечний матеріал – гранульоване піноскло.

Виходячи з поставлених завдань і умов проведення пожежогасіння з використанням ГУС визначено вимоги до конструкції ЕАПП, при цьому встановлено, що подача піноскла повинна становити не менше $10 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Розроблено конструкцію ЕАПП і методику розрахунку її конструктивно-технологічних параметрів: об'ємна витрата енергоносія; вагова витрата енергоносія; діаметр робочого сопла подачі енергоносія в ежектор; діаметр камери змішування; довжина вільного струменя, від зрізаного сопла до початку камери змішування; параметри гвинтового шнекового механізму.

Недостатня вивченість механіки процесів, що відбуваються під час руху компонентів сухої суміші як в ЕАПП, так і в системі матеріалопроводів, а також обмежений обсяг і номенклатура методик зумовлює потребу проведення додаткових аналітичних і експериментальних досліджень ЕАПП. Це дасть змогу ефективніше вирішувати питання гасіння резервуарів ЛЗР у досить складних умовах під час виконання робіт у важкодоступних місцях, де габаритні розміри ЕАПП мають одне з важливих значень.

Перелік використаних джерел

- Abramovich, G. N. (1974). *Turbulentnoe smeshenie gazovykh strui*. Moscow: Nauka, 287 p. [In Russian].
- Abramovich, G. N. (1979). *Prikladnaia gazovaia dinamika*. Moscow: Nauka, 824 p. [In Russian].
- Akunov, V. I. (1962). *Struinye melnitcy. Elementy teorii i rascheta*. Moscow: Mashgiz, 264 p. [In Russian].
- Antonov, A. V., Borovykov, V. O., Orel, V. P., et al. (2004). *Vohnehasni rechovyny*. Kyiv: Pozhinformtekhnik, 176 p. [In Ukrainian].
- Arons, G. A. (1948). *Struinye apparaty*. Moscow: GUSenergoizdat, 269 p. [In Russian].
- Azimov, F. I., & Abdullin, K. F. (1998). Patent 2117123 C1 Rossiiskaia Federatsiia, MPK 6E04 F21/12. Torkret-mashina s neryryvnoi zagruzkoj, zaiavitel i patentoobladatel Kazan. Kazan, GUS. arkhiv-stroitel. akademiia. – 96112501/03; zaiavl. 19.06.96, opubl. 08.10.98, Biul. № 30, 3 p. [In Russian].
- Azimov, F. I., Azimov, Iu. I., & Abdullin, K. F. (1999). Patent 2140504 C1 Rossiiskaia Federatsiia, MPK 6E04 F21/12. Torkret-mashina; zaiavitel i patentoobladatel Kazan. Kazan, GUS. arkhiv-stroitel. akademiia. – 97111597/03; zaiavl. 14.07.97: opubl. 27.10.99, Biul. № 28, 4 p. [In Russian].
- Bashkatov, D. N. (1968). *Vrashhatelnoe shnekovoe burenie geologorazvedochnykh skvazhin*. Moscow: Nedra, 192 p. [In Russian].
- Berman, L. D. (1976). K vyboru ratsionalnogo profilia protochnoi chasti struinogo apparata. *Izv. VTI*, 3, 13–18. [In Russian].
- Berman, L. D., & Efimochkin, G. N. (1964). Raschetnye zavisimosti dlia vodostruinykh ezhektorov. *Teplotenergetika*, 7, 44–48. [In Russian].
- Berman, L. D., & Efimochkin, G. N. (1968). Eksperimentalnoe issledovanie vodostruinogo ezhektora. *Teplotenergetika*, 9, 9–14. [In Russian].
- Berman, L. D., & Efimochkin, G. N. (1978). Vliianie dliny kamery smesheniia na rezhim raboty i ekonomichnost vodostruinogo ezhektora. *Teplotenergetika*, 12, 66–71. [In Russian].
- Borovykov, V. (2015). Hasinnia pozhezh u rezervuarakh dlia zberihannia nafty ta naftoproduktiv. *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, 11(26), 28–29. [In Ukrainian].
- Dadashov, I. F., & Kireev, A. A. (2016). Povyshenie effektivnosti tusheniia goriuchikh zhidkosti v rezervuarakh putem ispolzovaniia geleobraznykh sredstv. *Proceedings of Azerbaijan state marine academy*, 2, 72–76. [In Russian].
- Dadashov, I. F., Kireev, A. A., Sharshanov, A. Ia., & Chernukha, A. A. (2016). Modelirovanie izoliruiushchikh svoisty geleobraznogo sloia po otnošeniiu k param goriuchikh zhidkosti. *Problemy požarnoi bezopasnosti*, 40, 78–83. [In Russian].
- Dadashov, I. F., Mikheenko, L. A., & Kireev, A. A. (2016). Vybore legkogo silikatnogo nositelia dlia gelevogo ognetchashhego sloia pri požarotushenii. *Keramika: nauka i zhizn*, 2(31), 44–51. [In Russian].
- Dilger, U. (2005). Oborudovanie dlia mekhanizatsii i pererabotki sukhikh i stroitelnykh smesei "M-tec". *Stroitelnye materialy*, 1, 62–63. [In Russian].
- Gastershtad, T. I. (1927). *Pnevmaticheskii transport*. Leningrad: izd. Sev. Zap. obl. prombiuro BCH3, 126 p. [In Russian].
- Grigorev, A. M. (1957). Elementy teorii vintovykh konveierov. *Trudy KKhTI*, 22, 40–43. [In Russian].
- Grigorev, A. M. (1957). K issledovaniiu gorizontalnogo shneka. *Trudy KKhTI*, 22, 18–24. [In Russian].
- Grigorev, A. M. (1972). *Vintovye konveiery*. Moscow: Mashinostroenie, 184 p. [In Russian].
- Grinev, K. M., Krashennikov, M. I., & Krotkov, A. P. (1981). *Pnevmaticheskii transport v tsementnoi promyshlennosti*. Moscow: Promstroizdat, 183 p. [In Russian].
- Gutiari, E. M. (1968). Elementarnaia teoriia vertikalnogo vintovogo transportera. *Trudy (MIMESKh) Moskovskogo instituta mekhanizatsii i elektrifikatsii selskogo khoziaistva*, 1–2, 186 p. [In Russian].
- Kamenev, P. N. (1970). *Gidroelevatory v stroitelstve*. Moscow: Stroizdat, 169 p. [In Russian].
- Keller, S. Iu. (1976). *Inzhektory*. Moscow: Mashgiz, 208 p. [In Russian].
- Nikiforov, M. E. (1967). O rabote shneka s gorizontальноi i naklonnoi osiami. *Trudy KKhTI*, 23, 14–16. [In Russian].
- Nikiforov, M. E., & Grigorev, A. M. (1988). K voprosu o teorii vertikalnogo shneka. *Torfianaia promyshlennost*, 1, 16–20. [In Russian].
- Sharavarnikov, A. S., Molchanov, V. P., Voevoda, S. S., & Sharavarnikov, S. A. (2002). *Tushenie požarov nefii i nefteproduktov*. Moscow: Kalan, 448 p. [In Russian].
- Shumelishskii, M. G. (1961). *Ezhektornye kholodilnye mashiny*. Moscow: GUSstorgizdat, 261 p. [In Russian].
- Ukraina v tciifrah. (2014). Statisticheskii ezhegodnik. *Gosudarstvennyi komitet statistiki Ukrainy*. Kyiv, 600 p. [In Russian].

И. Ф. Дадашов, А. А. Ковалёв, И. М. Хмиров, А. Г. Поливанов

Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, Украина

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДИКА РАСЧЁТА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЖЕКЦИОННОГО АППАРАТА, ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ ПОЖАРОТУШЕНИИ

На основании анализа установлено, что существующие средства и способы тушения легковоспламеняющихся жидкостей дают достаточно хороший результат лишь для небольших размеров горючих веществ. Для тушения данных пожаров мы ранее предложили использовать гелеформирующие огнетушители и огнезащитные композиции, которые представляют собой двоичную систему, состоящую из двух отдельных и раздельно-одновременно поданных композиций. Решен вопрос эффективного применения технологии тушения пожаров на резервуарах хранения легковоспламеняющихся горючих жидкостей с использованием гелеобразных огнетушащих и огнезащитных составов, которые необходимо подавать на заранее нанесенный негорючий плавающий слой гранулированного пеностекла. Для решения проблемы положительных плавающих слоев гелеобразных композиций предлагалось использовать гранулированное пиностворное стекло – негорючий, нелетучий материал, и как устройство для подачи гранулированного пеностекла предложено использовать аппарат выброса воздуха, подачу гранул из пеностекла через шланговые линии к горению. Определены тактические и технические требования и предложена конструкция выкидного устройства для поставки гранулированного пенопласта. Основываясь на известных методиках расчета конструктивных параметров струйных аппаратов, проведен теоретический анализ работы эжекционного аппарата

та для подачи гранулированного пеностекла предложенной конструкции, а также и предложена методика расчета его конструктивно-технологических параметров, что дало возможность опытно-экспериментальный образец.

Ключевые слова: эжекционный аппарат; производительность; конструкция; методика расчёта; шнековый механизм; расход; диаметр; мощность.

I. F. Dadashov, O. O. Kovalev, I. M. Khmyrov, O. G. Polivanov
National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

JUSTIFICATION OF THE DESIGN AND THE METHOD OF CALCULATION OF THE CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE EJECTION APPARATUS APPLIED TO FIRE EXTINGUISHING

The problem of extinguishing flammable combustible liquids is one of the most difficult in the fire fighting, since these fires cause significant economic and environmental damage and often result in human casualties. When extinguishing flammable combustible liquids, it is necessary not only to ensure the combustion cessation, but also to create conditions that ensure long-term prevention of re-ignition. For example, flammable combustible liquids can self-ignite from a heated wall or reservoir designs. In contrast to the quenching of most solid combustible materials, creating such conditions only by cooling the surface of the liquid to the ambient temperature is virtually impossible, since the temperature of the ignition of easily boiling liquids is often lower than the ambient temperature, so flammable combustible liquids easily re-ignite even from relatively weak heat sources. Proceeding from the conditions of fire fighting, the development of new and improved existing methods of extinguishing flammable combustible liquids is based on the principle of isolating their surface. The analysis has shown that the existing means and methods of extinguishing these fires give a rather good result only for small sizes of flammable liquids, flammable substances. In order to extinguish these fires, we have previously proposed the use of gel-forming fire extinguishers and fire protection compositions, which are a binary system consisting of two separate and separately and simultaneously presented compositions. To solve the problem of positive floating layers of gel-like compositions, it was proposed to use granular foam glass – a non-flammable, non-volatile material, and as a device for feeding granular foam glass, we proposed the use of an air release device, the feeding of granules from the foam glass through the hose lines to combustion. The article reveals the tactical and technical requirements and the proposed design of the exhaust device for the supply of granular foam. On the basis of known methods for calculating the design parameters of reactive devices, a theoretical analysis of a discharger for the supply of granular foam of the proposed design, as well as procedures for designing its structural and technological parameters, which creates an experimental sample for laboratory experimental research, has been carried out.

Keywords: ejection apparatus; performance; engineering design; method of calculation; auger mechanism; consumption; diameter; power.