

УДК 614.843.4

А. О. Биченко¹, к.т.н., доцент, нач. каф. (ORCID 0000-0003-3788-3268)

В. Б. Ротар¹, к.пед.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0001-5752-5762)

О. С. Куліца¹, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0003-2589-6520)

М. О. Пустовіт¹, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0001-5313-1459)

Є. О. Коцар¹, курсант (ORCID 0009-0000-3321-1646)

А. М. Гриб², пожежний-рятувальник (ORCID 0009-0000-7910-5283)

¹Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

²ГУ ДСНС України в Миколаївській області, Миколаїв, Україна

ВИТРАТИ ПІНОУТВОРЮВАЧА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПІННИХ НАСАДОК ДЛЯ СТВОЛІВ PROTEK

В умовах військової агресії та зростання пожежної небезпеки на критичних об'єктах промисловості, ефективне застосування повітряно-механічної піни є першочерговим. Впровадження комбінованих пожежних стволів змінило підходи до формування піни, проте технічні характеристики, зокрема витрати піноутворювача через супутні пінні насадки, залишалися недостатньо вивченими. Метою дослідження було визначення фактичних витрат піноутворювача та встановлення оптимальних режимів експлуатації пінних насадок низької та середньої кратності, що використовуються з комбінованими ручними та лафетними стволами Protek та стаціонарними пінозмішувачами, які перебувають на озброєнні Державної служби України з надзвичайних ситуацій. У ході дослідження проведено аналіз пінних насадок та визначено фактичні витрати піноутворювача при формуванні повітряно-механічної піни, що дозволило встановити оптимальні режими використання обладнання Protek. Ствол Protek 360 (з насадками 210, 211, 225) недоцільно використовувати з стаціонарними пінозмішувачами через значну перевитрату піноутворювача (близько 66 %) навіть на максимальній витраті. Ствол Protek 366 (з насадками 212, 213, 226) оптимальний лише при третьому режимі витрати по розчину (6 л/с). В інших режимах зафіксовано перевитрату мінімум 30 %. Лафетний ствол Protek 600-1 (з насадкою 822 та пінною насадкою 221) оптимальний на трьох останніх режимах витрати по розчину (15,8, 22 та 32 л/с). Для забезпечення максимальної витрати (32 л/с) необхідне використання стаціонарного пінозмішувача. Отримані результати мають пряме практичне значення для підвищення ефективності пожежогасіння. Вони дозволяють мінімізувати необґрунтовані перевитрати піноутворювача та гарантують використання обладнання в режимах, що забезпечують формування піни з оптимальними вогнегасними характеристиками.

Ключові слова: повітряно-механічна піна, піна низької і середньої кратності, пожежні стволи Protek

1. Вступ

Пожежі та надзвичайні ситуації відносяться до тих соціальних явищ, які завдають моральної і матеріальної шкоди суспільству, мають велику соціальну небезпеку. Боротьба з пожежами стала суспільною потребою, тому роль пожежної охорони і її технічної оснащеності в попередженні та гасінні пожеж постійно зростає.

В умовах військової агресії наша країна стикається з викликами, які вимагають застосування максимальних сил та засобів. Державна служба України з надзвичайних ситуацій накопичила значний досвід у реагуванні на надзвичайні ситуації в умовах військового стану [1]. В умовах війни, для підвищення ефективності діяльності необхідно застосування всіх знань спеціалістів служби, застосування сучасних технологій та технічних засобів, максимальна координація зусиль під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій [2, 3].

Відомий вчений в області наук про пожежну безпеку професор Х. Еммонс (США) наприкінці ХХ сторіччя писав: «Ми володіємо величезною інженерно-технічною спадщиною, яка гарантує нам життя, майже вільне від пожеж».

Змінити характер людини і його відношення до небезпеки неможливо, тому надії професора Еммонса про «життя, майже вільне від пожеж» занадто оптимістичні. У найближчому майбутньому пожежі на Землі залишаться об'єктивною реальністю, а тому суспільство й держава як і раніше будуть змушені опікуватися про утримання пожежно-рятувальної служби та оснащені її технічними засобами, які адекватно відображують реальну оперативну обстановку.

Безперечно, вплив загального розвитку науки, техніки та технологій на умови виникнення й протікання пожеж цілком і повністю визначає необхідність одночасного й навіть випереджального розвитку технічних засобів і методів боротьби з пожежами.

Необхідною умовою гасіння переважної більшості пожеж є використання вогнегасних речовин, найбільш поширеною з яких є вода. Про те, в умовах військової агресії, значно збільшилась частка пожеж на об'єктах хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної промисловості, тобто на таких об'єктах, де для гасіння пожеж ефективним буде використання повітряно-механічної піни. Подача повітряно-механічної піни традиційними засобами подачі, а саме стволами повітряно-пінними, генераторами піни середньої та високої кратності широко досліджена та в цілому не потребує уточнень, про те з появою нових комбінованих водяних пожежних стволів змінюються і засоби подачі повітряно-механічної піни. В практичній діяльності для подачі повітряно-механічної піни для таких стволів використовують пінні насадки, які дозволяють отримувати як повітряно-механічну піну низької, так і середньої кратності. В порівнянні з традиційними пінними стволами та генераторами технічні характеристики, а саме витрати ствола по піні, витрати по розчину, витрати по воді та по піноутворювачу досліджені недостатньо [4]. Відсутність таких даних не дозволяє вірно встановлювати режими роботи переддвмкнених пінозмішувачів, що призводить або до перевитрати піноутворювача або до формування неякісної повітряно-механічної піни, що прямо впливає на ефективність гасіння. Таким чином, проблема визначення точних значень витрат стволів по піні, витрат по розчину, витрат по воді та по піноутворювачу є актуальною і потребує вирішення, чому і присвячене дане дослідження.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У роботі [5] показано, що плівкоутворювальні піноутворювачі є найефективнішими засобами гасіння неполярних горючих рідин. Автори зазначають, що можливість реалізації технології пожежогасіння «підшаровим» способом без їх використання досі не підтверджено експериментально. Водночас встановлено, що швидкість руйнування таких речовин у природних екосистемах суттєво залежить від їхнього складу та фізико-хімічних характеристик. Наголошено, що навіть піноутворювачі, які не містять фторорганічних компонентів, не завжди є безпечними для довкілля, що актуалізує потребу у раціональному дозуванні цих речовин.

У роботі [6] проведено експериментальні дослідження продуктивності розробленого піногенератора, визначено кратність та подачу піни в експериментальних умовах. Проте автори не навели відомостей щодо витрат піноутворювача під час роботи ствола, що ускладнює оцінку економічності та ефективності використання таких систем у реальних умовах гасіння.

Одним з ефективних методів ліквідації пожеж, як показано в роботі [7], є «підшарове» гасіння за допомогою піни низької кратності. Автори розглядають можливість застосування компресійної піни, яка має унікальні властивості, проте

не подають кількісних характеристик витрат пінних насадок при роботі з різними стволами. Це створює науково-практичну прогалину щодо вибору оптимальних режимів подачі піни у реальних умовах.

Відомо, що поверхнево-активні речовини широко застосовуються в пожежо-гасінні як змочувачі для зниження поверхневого натягу водних розчинів, а також як основа для створення повітряно-механічної піни різної кратності [8]. Додавання ПАР до води суттєво впливає на гідравлічні характеристики потоку в пожежно-технічному обладнанні – зокрема, змінює структуру компактних і розпиленних струменів, що формуються пожежними стволами, насадками, форсунками та зрошувачами. Проте кількісні залежності між концентрацією ПАР та зміною витрат у системі подачі рідини залишаються недостатньо дослідженими.

У роботі [9] розглядалося формування зони поливу осередку пожежі вогнегасною речовиною. Показано, що форма зони визначається насамперед конструктивними особливостями ручних форсунок, тиском і витратою рідини. Проведені дослідження дозволили встановити залежність геометрії зони поливу від параметрів гідравлічної системи створення вогнегасних потоків при використанні типової ручної форсунки Protek-366. Проте в роботі не подано даних про витрати піноутворювача та не оцінено вплив пінних насадок на структуру зони поливу при різних режимах подачі.

В роботі [10] досліджувався вплив мікродоз піноутворювачів на витрати рідини під час її транспортування пожежними рукавами. Експериментально встановлено, що додавання навіть незначної кількості піноутворювача збільшує загальну витрату рідини. Однак не досліджено, як ця зміна впливає на витрати через насадки різної кратності та на параметри струменя при роботі комбінованих ручних і лафетних стволів.

Таким чином, проведений аналіз свідчить, що більшість досліджень зосереджені на загальних характеристиках піни або гідравліці потоків, але не розглядають комплексну систему подачі – від пінозмішувача до насадки попри наявність значної кількості наукових робіт, Питання визначення витрат піноутворювача при роботі пінних насадок різної кратності з комбінованими ручними та лафетними стволами Protek залишається недослідженим.

Це зумовлює актуальність дослідження, спрямованого на експериментальне визначення технічних характеристик пінних насадок низької та середньої кратності при різних режимах подачі, уточнення витрат піноутворювача та встановлення оптимальних режимів роботи комбінованих стволів Protek з пінозмішувачами ПЗ-5 та ПЗ-7. Отримані результати матимуть важливе практичне значення для підрозділів ДСНС, дозволять підвищити ефективність використання піноутворювачів та гасіння пожеж.

3. Мета та завдання дослідження

Мета дослідження – покращення ефективності використання піноутворювача під час подачі повітряно-механічної піни через пінні насадки для стволів Protek.

Для досягнення поставленої мети дослідження необхідно вирішити наступні завдання:

визначити витрати піноутворювача через пінні насадки низької та середньої кратності для ручних та лафетних стволів Protek;

встановити оптимальні режими використання комбінованих ручних та лафетних стволів Protek при подачі повітряно-механічної піни низької і середньої кратності з переддвмкненими стаціонарними пінозмішувачами.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процеси формування та подачі повітряно-механічної піни низької та середньої кратності за допомогою комбінованих пожежних стволів Protek, оснащених відповідними пінними насадками, у поєднанні з передввімкненими пінозмішувачами.

Предметом дослідження є технічні характеристики пінних насадок (витрати піноутворювача, води, робочого розчину) для ручних та лафетних комбінованих пожежних стволів Protek при подачі повітряно-механічної піни низької та середньої кратності, а також оптимальні режими їх функціонування у комплексі з пінозмішувачами ПЗ-5 та ПЗ-7.

Гіпотеза дослідження полягає в припущенні, що оптимізація режимів роботи комбінованих пожежних стволів Protek з пінними насадками низької та середньої кратності у поєднанні з передввімкненими пінозмішувачами ПЗ-5 та ПЗ-7, на основі емпірично визначених технічних характеристик, дозволить значно підвищити ефективність використання піноутворювачів та покращити загальну ефективність пожежогасіння, мінімізуючи його перевитрати.

Для досягнення поставленої мети та перевірки гіпотези були застосовані наступні методи дослідження. Аналітичний метод. Використано для вивчення та узагальнення наявної літератури, технічної документації та інформації щодо номенклатури пінних насадок, пожежних стволів Protek та пінозмішувачів, що перебувають на озброєнні ДСНС. Це включало аналіз заявлених виробником характеристик та їхнє зіставлення з виявленими у дослідженні потребами.

Порівняльний метод. Застосовано для зіставлення отриманих експериментальних даних щодо витрат піноутворювача, води та розчину для різних комбінацій обладнання (різні моделі стволів, пінних насадок, пінозмішувачів) та різних режимів їхньої роботи. Це дозволило виявити найбільш та найменш ефективні конфігурації.

Метод статистичного аналізу. Використано для обробки та інтерпретації великого обсягу зібраних експериментальних даних. Статистичний аналіз дозволив виявити закономірності, встановити значущі залежності між параметрами системи та обґрунтувати висновки щодо оптимальних режимів експлуатації.

Застосування цих методів дозволило отримати достовірні дані, що стали основою для формулювання обґрунтованих висновків та практичних рекомендацій щодо оптимізації використання пінного пожежного обладнання.

Пожежно-рятувальні автомобілі та окремі зразки спеціальних аварійно-рятувальних машин в складі комплектації мають сучасні зразки водяних комбінованих пожежних стволів. Найбільш поширеними моделями стволів, що надходять до підрозділів оперативно-рятувальної служби є ручні пожежні стволи типу Protek 360 [11] та Protek 366 [12] та лафетний пожежний ствол (монітор) Protek 600 [13, 14], що комплектується насадкою типу Protek 822 [15]. Стволи та насадки є комбінованими, мають можливість подачі розпиленого та компактного струменів, зміни витрати води тощо, проте для подачі повітряно-механічної піни повинні додатково комплектуватись відповідними пінними насадками для подачі повітряно-механічної піни низької та середньої кратності.

Для ручних пожежних стволів Protek 360 та Protek 366 [11, 12] використовуються насадки типу Protek 210, Protek 211, Protek 212, Protek 213 [18–21] для отримання піни низької кратності та насадки Protek 225, Protek 226 [22, 23] для отримання піни середньої кратності. Для насадок лафетних стволів типу Protek

822 [15, 16] використовуються пінні насадки для отримання піни низької кратності Protek 221 [24].

5. Визначення витрат піноутворювача через пінні насадки для стволів Protek

Технологія отримання повітряно-механічної піни під час її подачі від насосної установки пожежно-рятувального автомобіля виглядає наступним чином: вода та піноутворювач, поданий з пінобаку автомобіля або зі сторонньої ємності перемішуються в протипожежному насосі, де утворюється робочий розчин піноутворювача визначеної концентрації. Кількість піноутворювача, що подається до насоса дозується стаціонарним або додатково встановленим пінозмішувачем і залежить від загальної витрати піноутворювача на пристроях подачі. Робочий розчин піноутворювача по рукавним лініям рухається до пристроїв подачі, в яких, в залежності від типу ствола чи генератора, ежекційним або нагнітальним способом додається повітря. На виході з пристрою подачі і утворюється повітряно-механічна піна. Кратність піни, і відповідно інші її характеристики, залежать від типу пристрою подачі (рис. 1).



Рис. 1. Процес отримання повітряно-механічної піни

Однією з найважливіших характеристик повітряно-механічної піни є кратність піни. Кратність піни визначають відношенням обсягу піни до обсягу рідини, з якої вона отримана (1):

$$K = \frac{V_{\text{піни}}}{V_{\text{робочого розчину}}} . \quad (1)$$

Кратність – безрозмірна величина.

Враховуючи вищевикладене об'єм або витрата розчину піноутворювача складається з об'єму води та об'єму піноутворювача, що входять до складу розчину (2).

$$Q_{p-nu} = Q_B + Q_{ПУ}, \quad (2)$$

де: Q_{p-nu} – витрата по розчину; Q_B – витрата по воді; $Q_{ПУ}$ – витрата по піноутворювачу.

Визначити витрату піноутворювача або його оптимальну концентрацію можна виходячи з його концентрації в робочому розчині (2). Традиційно використовується розчин 6 % концентрації, що зумовлено типом піноутворювача та розрахованими під цю концентрацію пінозмішувачами. Але завдяки отриманій допо-

мозі від країн-донорів, доволі часто можна зустріти і піноутворювач, призначений для отримання розчинів 3 % концентрації.

$$Q_{\text{ПУ}} = \frac{C}{100} \cdot Q_{\text{р-ну}}, \quad (3)$$

де: C – концентрація піноутворювача в робочому розчині.

Визначення оптимальної концентрації піноутворювача (C) для ПУ загально-го призначення:

- при жорсткості води 7 – 9 – $C = 6 \%$
- при жорсткості води 15-30 – $C = 9 \%$
- при жорсткості води 130 – $C = 12 \%$

Якщо відомі тактико-технічні характеристики приладів подачі витрата по розчину з приладу буде співвідношенням загальної витрати по піні до кратності повітряно-механічної піни. Для приладів подачі витрата по піні може визначатися в $\text{м}^3/\text{хв.}$ (традиційно це стовпи для отримання піни низької кратності) або в л/с (генератори піни середньої кратності).

Відповідно залежність витрати по розчину для пристроїв подачі з витратою, визначеною в $\text{м}^3/\text{хв.}$ виглядає наступним чином (4):

$$Q_{\text{р-ну}} = \frac{Q_{\text{П}}}{K} \cdot \frac{1000}{60}. \quad (4)$$

Залежність витрати по розчину для пристроїв подачі з витратою, визначеною в л/с виглядає наступним чином (5):

$$Q_{\text{р-ну}} = \frac{Q_{\text{П}}}{K}. \quad (5)$$

За невідомих тактико-технічних характеристик приладів подачі (не відома витрата по піні) визначити витрату по піні можна наступним чином:

для витрати визначеною в $\text{м}^3/\text{хв.}$:

$$Q_{\text{П}} = \frac{Q_{\text{р-ну}} \cdot K \cdot 60}{1000}. \quad (6)$$

для витрати визначеною в л/с :

$$Q_{\text{П}} = Q_{\text{р-ну}} \cdot K. \quad (7)$$

Для створення оптимальної концентрації піноутворювача в робочому розчині необхідно знати відповідний номер шкали дозатора пінозмішувача для обраних пристроя (пристроїв) подачі. В табл. 1 представлені характеристики пінозмішувача ПЗ-5.

Відповідно до даних табл. 1 номер шкали дозатора пінозмішувача буде визначатись відношенням сумарних витрат піноутворювача з пристроїв подачі до витрати піноутворювача через дозуючий отвір на 1 поділці шкали дозатора (8).

$$N_{\text{шк}} = \frac{\sum Q_{\text{ПУ}}}{Q_{\text{ПУ}}} \quad (8)$$

Табл. 1. Технічні характеристики пінозмішувача ПЗ-5

Положення дозатора	Дозування ПУ	Витрати піни при $K=10$, м ³ /хв	Витрати ПУ через рукав при $P_M=0,5$ МПа, л/с		Витрати води через рукав при $P_M=0,5$ МПа, л/с	
			номінальний	допустимий	номінальний	допустимий
1	6	4,7	0,34	0,31÷0,37	0,414	0,37÷0,44
2	6	9,4	0,68	0,61÷0,75	0,828	0,74÷0,88
3	6	14,1	1,02	0,92÷1,12	1,242	1,11÷1,32
4	6	18,8	1,36	1,22÷1,5	1,656	1,48÷1,76
5	6	23,5	1,7	1,53÷1,87	2,070	1,85÷2,2

Витрати піноутворювача при використанні пінних насадок для ручних стволів Protek. Виходячи з даних, наведених в табл. 2 узагальнено інформацію щодо відповідності моделей пінних насадок низької кратності для ручних стволів Protek.

Табл. 2. Насадки низької кратності для ручних стволів Protek

Модель ствола	Витрата ствола, л/с	Модель насадки
Protek 360	0,3	Protek 210, Protek 211
	0,6	
	1,5	
	2,5	
Protek 366	1,9	Protek 212, Protek 213
	3,8	
	6	
	7,9	

В табл. 3 узагальнено інформацію щодо відповідності моделей пінних насадок середньої кратності для ручних стволів Protek.

Табл. 3. Насадки середньої кратності для ручних стволів Protek

Модель ствола	Витрата ствола, л/с	Модель насадки
Protek 360	0,3	Protek 225
	0,6	
	1,5	
	2,5	
Protek 366	1,9	Protek 226
	3,8	
	6	
	7,9	

В технічній характеристиці, наданих виробником стволів, вказано лише значення кратності для таких насадок (табл. 4, табл. 5)

Табл. 4. Значення кратності для пінних насадок низької кратності Protek

Модель насадки	Кратність піни
Protek 210, Protek 211	12
Protek 212, Protek 213	12

Так як, для сприсків пожежних стволів витрата визначається діаметром (площею) вихідного отвору ствола (насадки), можна стверджувати, що нам відомі

витрати ручних стволів по розчину піноутворювача, а у використанні пінних насадок вони і будуть витратами по розчину комплексу ствол-насадка.

Табл. 5. Значення кратності для пінних насадок середньої кратності Protek

Модель насадки	Кратність піни
Protek 225	50
Protek 226	50

На рис. 2 представлені витрати по розчину стволів Protek 360 та Protek 366.

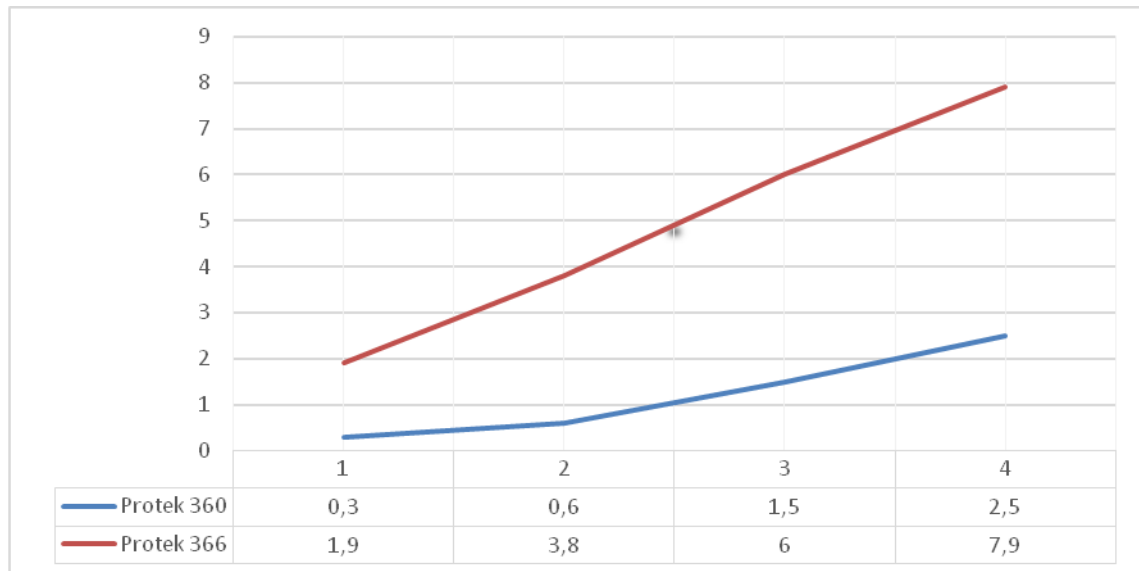


Рис. 2. Витрати по розчину стволів Protek 360 та Protek 366

Відповідно, маючи значення кратності та витрат по розчину для ручних стволів Protek 360 та Protek 366 та використовуючи залежності 1–7 можемо визначити значення витрат стволів по піноутворювачу, по воді, і витрат по піні для насадок низької та середньої кратності (табл. 6., табл. 7)

Табл. 6. Технічні характеристики ручних стволів Protek з пінними насадками низької кратності

Модель ствола (насадки)	Модель насадки	Кратність піни	Концентрація ПУ	Витрата по розчину, л/с	Витрата по піноутворювачу, л/с	Витрата по воді, л/с	Витрата по піні, л/с	Витрата по піні, м ³ /хв
Protek 360	Protek 210, 211	12	6	0,3	0,018	0,282	3,6	0,216
		12	6	0,6	0,036	0,564	7,2	0,432
		12	6	1,5	0,09	1,41	18	1,08
		12	6	2,5	0,15	2,35	30	1,8
Protek 366	Protek 212, 213	12	6	1,9	0,114	1,786	22,8	1,368
		12	6	3,8	0,228	3,572	45,6	2,736
		12	6	6	0,36	5,64	72	4,32
		12	6	7,9	0,474	7,426	94,8	5,688

Табл. 7. Технічні характеристики ручних стволів Protek з пінними насадками середньої кратності

Модель ствола (насадки)	Модель насадки	Кратність піни	Концентрація ПУ	Витрата по розчину, л/с	Витрата по піноутворювачу, л/с	Витрата по воді, л/с	Витрата по піні, л/с	Витрата по піні, м ³ /хв
Protek 360	Protek 225	50	6	0,3	0,018	0,282	15	0,9
		50	6	0,6	0,036	0,564	30	1,8
		50	6	1,5	0,09	1,41	75	4,5
		50	6	2,5	0,15	2,35	125	7,5
Protek 366	Protek 226	50	6	1,9	0,114	1,786	95	5,7
		50	6	3,8	0,228	3,572	190	11,4
		50	6	6	0,36	5,64	300	18
		50	6	7,9	0,474	7,426	395	23,7

На рис. 3 представлені витрати по піноутворювачу для стволів Protek 360 та Protek 366

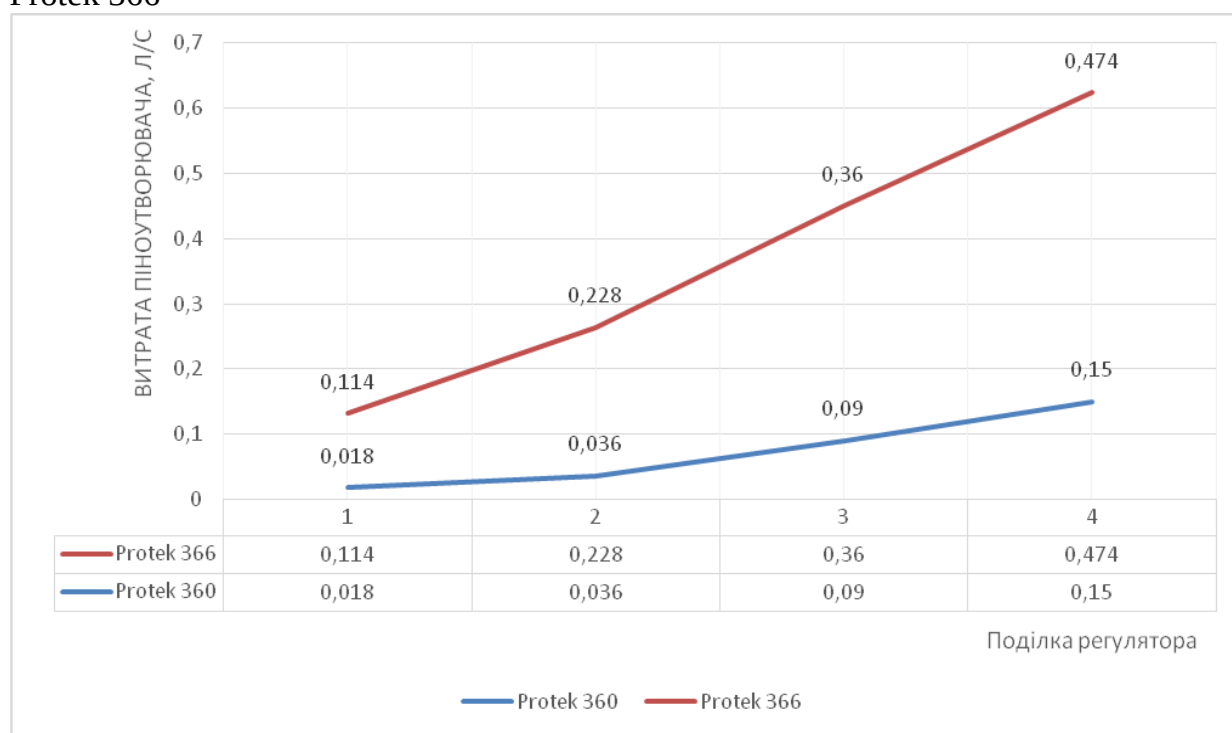


Рис. 3. Витрати по піноутворювачу стволів Protek 360 та Protek 366

На рис. 4. представлені витрати по піні низької кратності для насадок Protek 210, 211, 212, 213.

На рис. 5 представлені витрати по піні середньої кратності для Protek 225, 226.

Витрати піноутворювача при використанні пінних насадок для лафетних стволів Protek. В табл. 8 представлено дані щодо відповідності моделей пінних насадок низької кратності для лафетного стволів Protek 600-1 з насадкою Protek 822.

В технічній характеристиці, наданих виробником лафетного ствола та водної насадки до нього, вказано лише значення кратності для пінної насадки низької кратності (табл. 9).

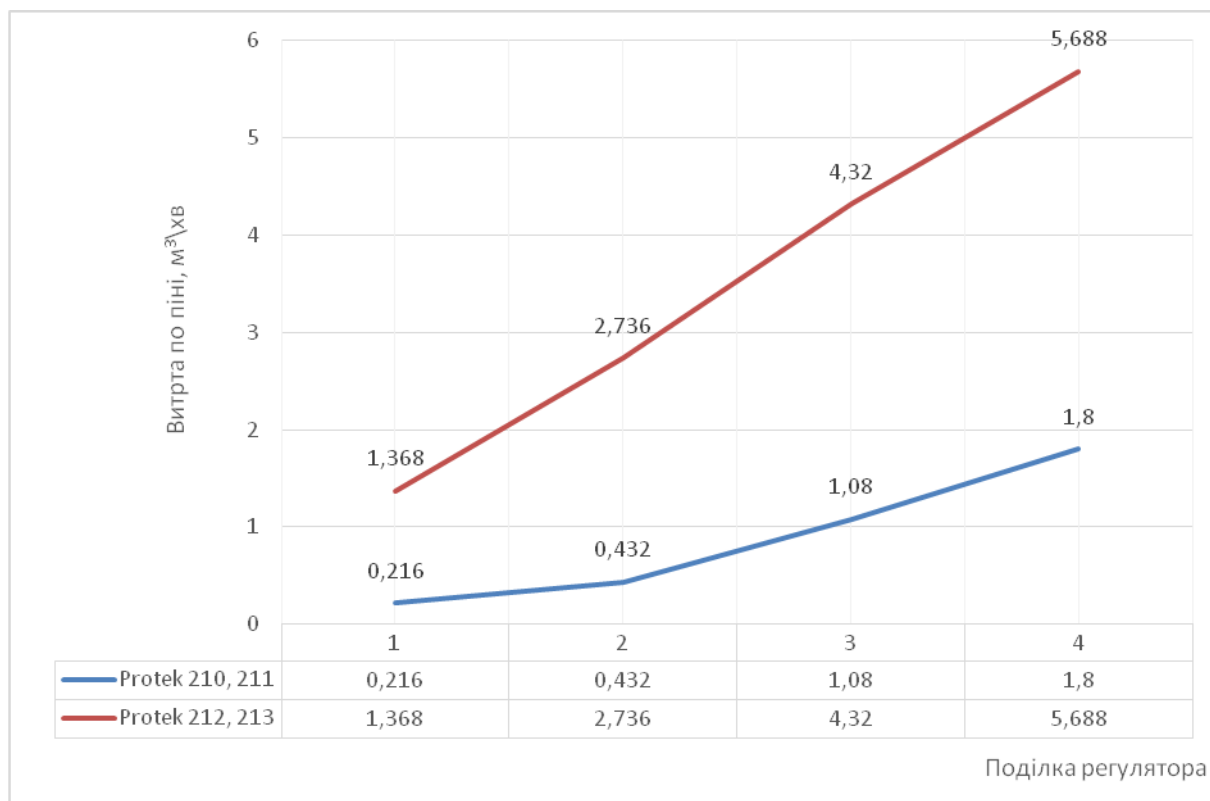


Рис. 4. Витрати по піні низької кратності насадок Protek 210, 211, 212, 213

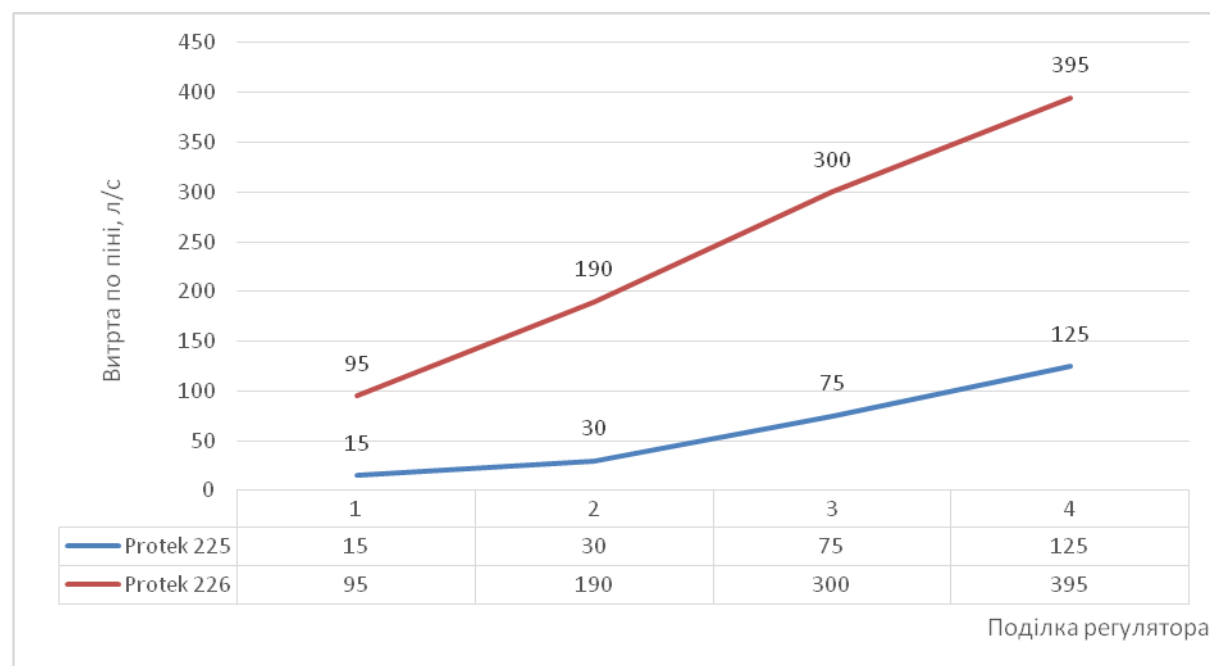


Рис. 5. Витрати по піні середньої кратності насадок Protek 225, 226

Табл. 8. Насадки низької кратності для лафетного ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822

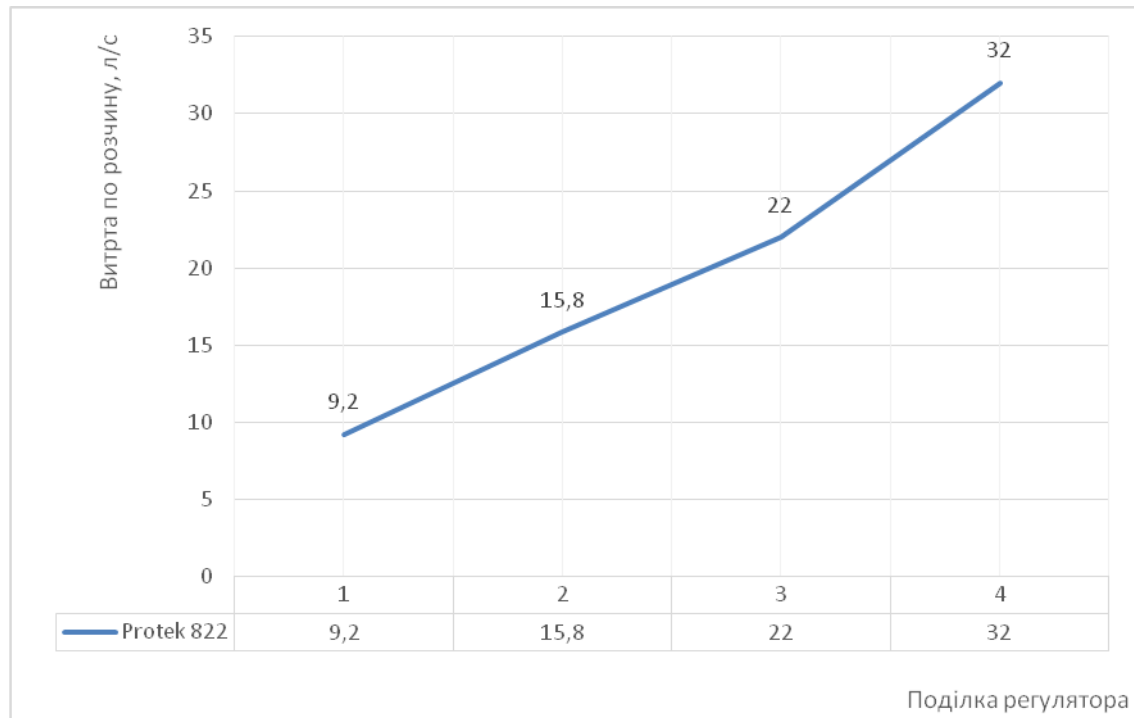
Модель ствола (насадки)	Витрата ствола, л/с	Модель насадки
Protek 822	9,2	Protek 221
	15,8	
	22	
	32	

Табл. 9. Насадки низької кратності для лафетного ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822

Модель насадки	Кратність піни
Protek 221	12

По аналогії з інформацією представленою вище, для сприсків пожежних стволів витрата визначається діаметром (площею) вихідного отвору ствола (насадки), можна стверджувати, що нам відомі витрати водяної насадки Protek 822 по розчину піноутворювача, а у використанні пінних насадок вони і будуть витратами по розчину комплексу ствол-насадка.

На рис. 6 представлені витрати по розчину ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822.

**Рис. 6. Витрати по розчину ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822**

За значенням кратності та витрат по розчину для лафетного ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822 та використовуючи залежності 1–7 можемо визначити значення витрат насадки 822 по піноутворювачу, по воді, і витрат по піні для насадки низької кратності Protek 221 (табл. 10).

Табл. 10. Технічні характеристики лафетного ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822 з пінною насадкою низької кратності Protek 221

Модель ствола (насадки)	Модель насадки	Кратність піни	Концентрація ПУ	Витрата по розчину, л/с	Витрата по піноутворювачу, л/с	Витрата по воді, л/с	Витрата по піні, л/с	Витрата по піні, м ³ /хв
Protek 822	Protek 221	12	6	9,2	0,552	8,648	110,4	6,624
		12	6	15,8	0,948	14,852	189,6	11,376
		12	6	22	1,32	20,68	264	15,84
		12	6	32	1,92	30,08	384	23,04

На рис. 7 представлені витрати по піноутворювачу для лафетного ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822.

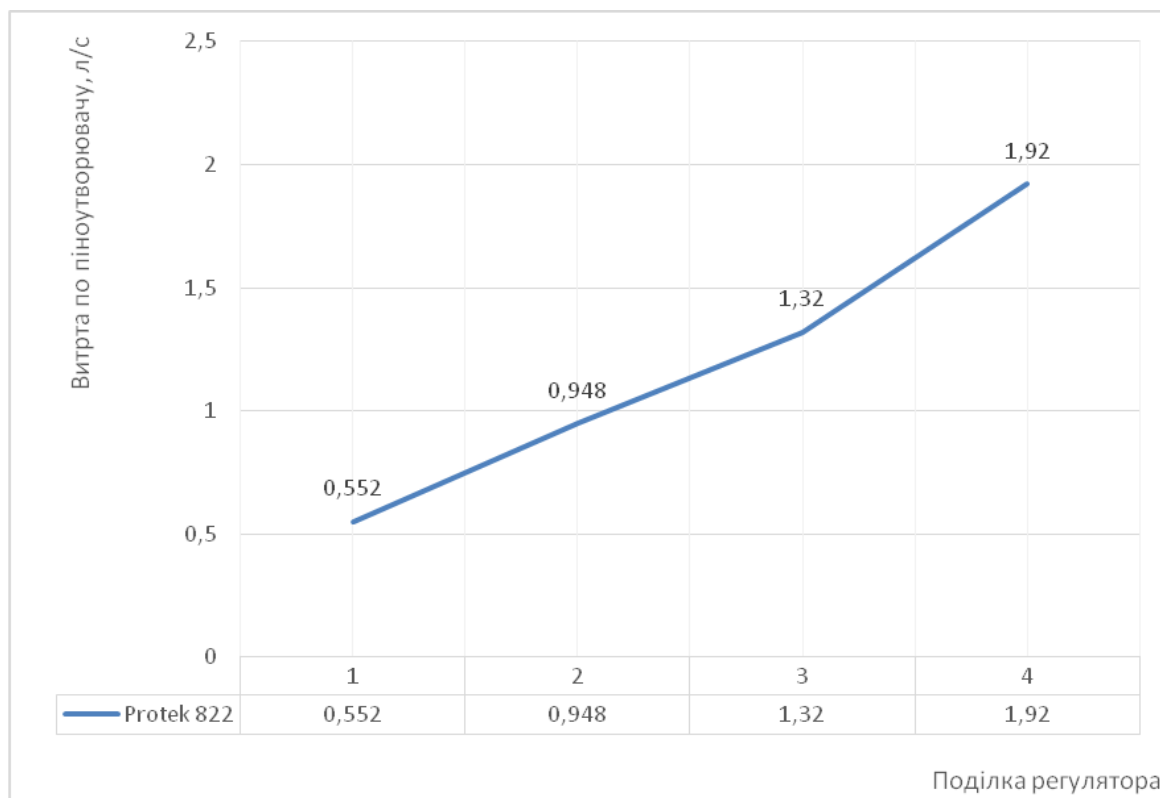


Рис. 7. Витрати по піноутворювачу для лафетного ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822

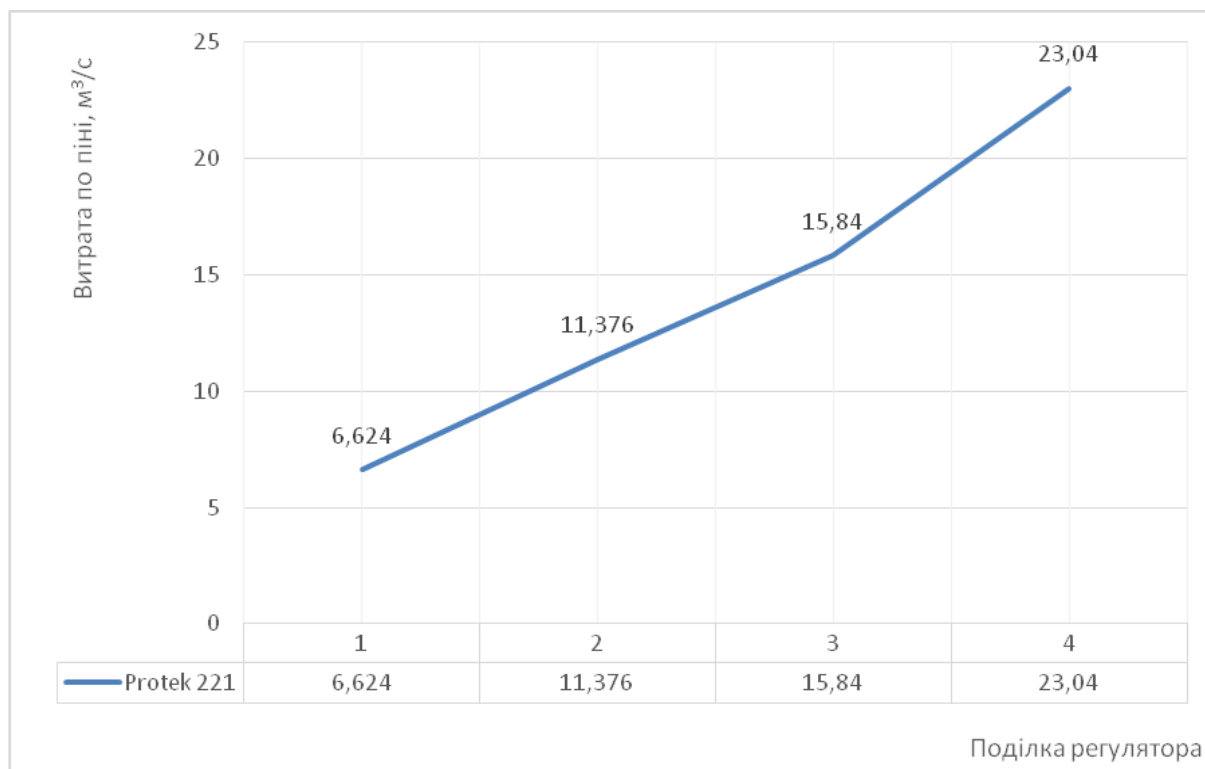


Рис. 8. Витрати по піні низької кратності насадки Protek 221

На рис. 8 представлені витрати по піні низької кратності для насадки Protek 221.

6. Встановлення оптимальних режимів використання стволів Protek при подачі піни

Обґрунтування використання пінних насадок до стволів Protek зі стаціонарними пінозмішувачами типу ПЗ-5 та ПЗ-7. Важливим фактором при подачі повітряно-механічної піни є правильний вибір поділки дозатора пінозмішувача (встановлення правильної витрати піноутворювача) з метою оптимального використання піноутворювача. Збільшення витрати піноутворювача за понаднормову призводить до перевитрати піноутворювача, зменшує час його подачі, що може призвести до критичних наслідків під час гасіння пожежі. Характеристики повітряно-механічної, у такому випадку, також будуть неоптимальними.

Якщо для подачі пінних стволів типу СПП та ГПС характеристики подачі по піноутворювачам є добре відомими, відповідно і відомі відповідності правильного регулювання дозатора пінозмішувача для подачі різної кількості цих приладів подачі, проте і тут, внаслідок неправильного розуміння принципів роботи обладнання дії машиніста насосної установки призводять до перевитрати піноутворювача. Для ручних та лафетних стволів Protek при подачі повітряно-механічної піни вищезгадані параметри є невідомими, і вибір витрати піноутворювача здійснюється за аналогії з відомими приладами подачі, необхідно також звернути увагу на те, що при різних витратах стволів буде змінюватися і витрата піноутворювача. Тому фактична витрата ствола і витрата піноутворювача повинна мати кореляцію.

Тому важливим є розглянути процеси сумісної роботи стволів типу Protek і передввімкнених пінозмішувачів при подачі повітряно-механічної піни.

Використовуючи залежність 8 визначимо необхідні положення дозатора пінозмішувача при подачі повітряно-механічної піни низької та середньої кратності для ручних та лафетних стволів Protek з відповідними пінними насадками, розглянутими раніше. Для ручних стволів з пінними насадками низької кратності дані наведені в табл. 11.

Табл. 11. Доцільність використання ручних стволів Protek з передввімкненими пінозмішувачами при подачі піни низької кратності

Модель ствола (насадки)	Модель насадки	Концентрація ПУ	Витрата по піноутворювачу, л/с	Витрата по піні, м ³ /хв	Значення розрахунків N шкали	N шкали пінозмішувача	Перевитрата піноутворювача, %	Доцільність використання
Protek 360	Protek 210, 211	6	0,018	0,216	0,05	< 1	95	-
		6	0,036	0,432	0,11	< 1	98	-
		6	0,09	1,08	0,26	< 1	74	-
		6	0,15	1,8	0,44	< 1	56	-
Protek 366	Protek 212, 213	6	0,114	1,368	0,34	< 1	66	-
		6	0,228	2,736	0,67	< 1	23	-
		6	0,36	4,32	1,06	≈ 1	6	+
		6	0,474	5,688	1,39	< 2	31	-

Для ручних стволів з пінними насадками середньої кратності дані наведені в табл. 12.

Табл. 12. Доцільність використання ручних стволів Protek з передввімкненими пінозмішувачами при подачі піни середньої кратності

Модель ствола (насадки)	Модель насадки	Концентрація ПУ	Витрата по піноутворювачу, л/с	Витрата по піні, л/с	N шкали	N шкали пінозмішувача	Перевитрата піноутворювача, %	Доцільність використання
Protek 360	Protek 225	6	0,018	15	0,05	< 1	95	-
		6	0,036	30	0,11	< 1	98	-
		6	0,09	75	0,26	< 1	74	-
		6	0,15	125	0,44	< 1	56	-
Protek 366	Protek 226	6	0,114	95	0,34	< 1	66	-
		6	0,228	190	0,67	< 1	23	-
		6	0,36	300	1,06	≈ 1	6	+
		6	0,474	395	1,39	< 2	31	-

Для лафетного ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822 дані наведені в табл. 13

Табл. 13. Доцільність використання лафетного ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822 з передввімкненими пінозмішувачами при подачі піни низької кратності

Модель ствола (насадки)	Модель насадки	Концентрація ПУ	Витрата по піноутворювачу, л/с	Витрата по піні, м ³ /хв	N шкали	N шкали пінозмішувача	Перевитрата піноутворювача, %	Доцільність використання
Protek 822	Protek 221	6	0,552	6,624	1,62	< 2	19	-
		6	0,948	11,376	2,79	≈ 3	7	+
		6	1,32	15,84	3,88	≈ 4	3	+
		6	1,92	23,04	5,65	≈ 6	6	++

Примітка : * – використання можливе лише з пінозмішувачем ПЗ-7.

Таким чином можна зробити наступні висновки:

1. Використання ствола Protek 360 з пінними насадками низької кратності Protek 210, 211 та пінною насадкою середньої кратності Protek 225 не є доцільним з пінозмішувачами типу ПЗ-5 та ПЗ-7 зважаючи на значну перевитрату піноутворювача навіть на режимі максимальної витрати ствола (перевитрата близько 66 %);

2. Використання ствола Protek 366 з пінними насадками низької кратності Protek 212, 213 та пінною насадкою середньої кратності Protek 226 є оптимальним при третьому режимі витрати ствола по розчину 6 л/с. В решті випадків спостерігається перевитрата піноутворювача мінімум на 30 %;

3. Використання лафетного ствола Protek 600-1 з насадкою Protek 822 при подачі повітряно-механічної піни низької кратності через насадку Protek 221 є оптимальним на третьох останніх режимах витрати ствола по розчину 15,8, 22 та 32 л/с. Також варто відзначити, що при необхідності подачі повітряно-механічної піни з максимальною витратою по розчину 32 л/с можливо лише з пінозмішувачем ПЗ-7. Результати висновків занесено в табл. 14.

Табл. 14. Оптимальні режими використання стволів Protek при подачі повітряно-механічної піни через передввімкнені пінозмішувачі

Модель ствола (насадки)	Модель насадки	Концентрація ПУ	Витрата по піноутворювачу, л/с	Витрата по розчину, л/с	N шкали	N шкали пінозмішувача	Перевитрата піноутворювача, %	Доцільність використання
Protek 366	Protek 226	6	0,36	6	1,06	≈ 1	6	+
Protek 822	Protek 221	6	0,948	15,8	2,79	≈ 3	7	+
		6	1,32	22	3,88	≈ 4	3	+
		6	1,92	32	5,65	≈ 6	6	+

Підводячи підсумок щодо встановлення оптимальних режимів використання комбінованих ручних та лафетних стволів Protek при подачі повітряно-механічної піни низької і середньої кратності з передввімкненими пінозмішувачами ПЗ-5 та ПЗ-7 можна стверджувати наступне:

Кількісне доведення недоцільності використання ствола Protek 360 з певними насадками та пінозмішувачами (фіксуючи перевитрату до 66 %) є критично важливим. Це дозволяє не тільки уникнути значних фінансових втрат, але й запобігти можливій низькій ефективності гасіння, що може мати фатальні наслідки. Пояснюється це, ймовірно, дисбалансом гідравлічних характеристик або аеродинаміки, що перешкоджає оптимальному змішуванню піноутворювача з водою та повітрям.

Для ствола Protek 366 було встановлено оптимальний режим (6 л/с), що дозволяє уникнути мінімум 30 % перевитрати в інших режимах. Це пояснюється тим, що при цьому режимі досягається оптимальне співвідношення тиску, витрати рідини та інтенсивності підмішування піноутворювача, що забезпечує максимальну кратність та стійкість піни при мінімальних витратах концентрату.

Визначення оптимальних режимів для лафетного ствола Protek 600-1 та конкретної вимоги до пінозмішувача ПЗ-7 для максимальної продуктивності (32 л/с) гарантує ефективність при великомасштабних пожежах. Це свідчить про необхідність адекватного підбору допоміжного обладнання, що відповідає пропускній здатності основного ствола для забезпечення ефективного утворення піни за високих витрат.

7. Обговорення результатів встановлення оптимальних режимів використання комбінованих ручних та лафетних стволів Protek

За допомогою розрахункових методів визначено значення витрат піноутворювача через насадки для ручних та лафетних стволів Protek що дозволило встановити оптимальні режими роботи стаціонарних пінозмішувачів ПЗ-5 та ПЗ-7.

Мета дослідження – покращення ефективності використання піноутворювача під час подачі повітряно-механічної піни через пінні насадки для стволів Protek була досягнута за допомогою розрахункових методів на основі відомих гідравлічних характеристик стволів та кратності насадок, що дозволило емпірично уточнити технічні характеристики системи подачі піни.

Визначено фактичні витрати піноутворювача при його подачі через різні комбінації ручних та лафетних стволів Protek із відповідними пінними насадками низької та середньої кратності. Ці кількісні показники стали фундаментальною основою для подальшої оптимізації. Встановлення оптимальних режимів. На основі отриманих даних щодо витрат, було чітко встановлено та обґрунтовано оптимальні, а також недоцільні режими використання досліджуваних стволів Protek у поєднанні з пінозмішувачами ПЗ-5 та ПЗ-7. Для ствола Protek 360 (з насадками 210, 211, 225) було науково обґрунтовано недоцільність використання з пінозмішувачами ПЗ-5 та ПЗ-7 через виявлену значну перевитрату піноутворювача (близько 66 %). Для ствола Protek 366 було встановлено оптимальний режим 6 л/с, що дозволяє уникнути мінімум 30 % перевитрати в інших режимах. Для лафетного ствола Protek 600-1 визначено оптимальні режими (15,8, 22 та 32 л/с), з вимогою використання пінозмішувача ПЗ-7 для забезпечення максимальної продуктивності.

Головна перевага дослідження полягає у прямій економічній та операційній вигоді. Результати орієнтовані на конкретне обладнання, що знаходиться на озброєнні ДСНС, що гарантує їхню негайну реалізацію без додаткових адаптацій. Рішення безпосередньо спрямовані на мінімізацію необґрунтованих перевитрат дороговартісного піноутворювача. Кількісне доведення недоцільності використання певних конфігурацій (наприклад, перевитрата до 66 % для Protek 360) є критично важливим для перегляду стандартних операційних процедур та запобігання фатальним наслідкам низької ефективності гасіння. Дослідження виділяється системним підходом до вивчення взаємодії компонентів, що дозволило виявити приховані синергетичні та дисинергетичні ефекти.

Будь-яке емпіричне чи розрахункове дослідження має свої обмеження, які не лише вказують на рамки поточної роботи, але й окреслюють вектори наукового розвитку. У контексті аналізу ефективності пінних насадок, ключові недоліки слугують орієнтирами для майбутніх науково-прикладних ініціатив. Основна увага дослідження була зосереджена винятково на окремих моделях стволів Protek та насадках низької і середньої кратності. Це обмежує можливість генералізації отриманих висновків на всю номенклатуру засобів пожежогасіння, що перебувають на озброєнні ДСНС. Для повноцінної оптимізації процесів гасіння необхідно розширити вибірку до інших типових зразків. Дослідження не врахувало варіативність піноутворювачів (синтетичних, фторпротейнових, тощо) та їхніх робочих концентрацій, які безпосередньо впливають на якість піни. Крім того, навколишні параметри (температура, вологість, інтенсивність вітру) є ключовими детермінантами ефективності піноподачі, оскільки вони впливають на стабільність піни та дальність струменя. Нехтування цими факторами створює розрив між лабораторними розрахунками та реальними умовами пожежі. Хоча мета роботи вимагала визначення фактичних витрат, встановлення оптимальних режимів було переважно досягнуто шляхом гідравлічних розрахунків. Це створює необхідність у польовій верифікації, оскільки розрахункові моделі не завжди відображають усі складнощі гідродинаміки пінного струменя, особливо його кінематичні параметри (дальність та висоту подачі, факел розпилення). Існує обґрунтована потреба в інтеграції в систему ДСНС нових, більш ефективних засобів. Отже, майбутні наукові праці повинні охопити пінозмішувачі та пінні насадки високої кратності, які здатні забезпечити великі об'єми піни з мінімальною витратою рідини, що критично важливо для гасіння великих площ та об'ємних пожеж.

Завершене дослідження є не кінцевою точкою, а трампліном для подальших

наукових та практичних ініціатив. Розширення спектру досліджуваного обладнання. Майбутні роботи можуть включати вивчення інших моделей пожежних стволів, пінозмішувачів та пінних насадок (включно з високою кратністю), що використовуються або потенційно можуть бути впроваджені в ДСНС. Необхідно дослідити вплив різних типів (синтетичні, фторпротейнові, безфторові) та концентрацій піноутворювачів на оптимальні режими. Розвиток дослідження передбачає вивчення впливу таких параметрів, як температура навколишнього середовища, вологість, швидкість вітру, на характеристики повітряно-механічної піни та дальність її подачі, що дозволить коригувати тактику в реальних умовах. Перспективним напрямком є розробка комплексних математичних моделей та програмного забезпечення для швидкого розрахунку оптимальних параметрів. Це дозволить пожежникам оперативно приймати рішення в польових умовах, обираючи найкращу конфігурацію обладнання та режим роботи для конкретного сценарію пожежі. Отримані дані мають бути інтегровані у навчальні програми ДСНС, формуючи новий стандарт підготовки фахівців, здатних максимально ефективно використовувати наявні ресурси. Таким чином, дане дослідження не лише вирішує актуальну операційну проблему, а й закладає міцну основу для подальшого науково-технічного прогресу у сфері пожежної безпеки, забезпечуючи перехід до більш обґрунтованих, економічних та ефективних методів боротьби з вогнем.

8. Висновки

Відповідно до поставлених завдань, у ході проведеної роботи було досягнуто наступних ключових результатів, що мають значну практичну цінність для підрозділів ДСНС.

1. Щодо визначення витрат піноутворювача через пінні насадки низької та середньої кратності для стволів Protek. У рамках дослідження було успішно визначено фактичні витрати піноутворювача при його подачі через різні комбінації ручних та лафетних стволів Protek із відповідними пінними насадками низької та середньої кратності (Protek 210, 211, 225, 212, 213, 226, 822, 221). Ці кількісні показники є фундаментальною основою для подальшої оптимізації та уможливають обґрунтоване прийняття рішень щодо вибору обладнання та режимів його експлуатації. Це включало не лише безпосередні вимірювання, але й попередній аналіз номенклатури насадок, що перебувають на озброєнні, дозволивши створити повну картину вихідних даних.

2. Щодо встановлення оптимальних режимів використання комбінованих ручних та лафетних стволів Protek при подачі повітряно-механічної піни низької і середньої кратності з переддвмкненими пінозмішувачами ПЗ-5 та ПЗ-7. На основі отриманих даних щодо витрат піноутворювача, було чітко встановлено та обґрунтовано оптимальні, а також недоцільні режими використання досліджуваних пожежних стволів у поєднанні з пінними насадками та пінозмішувачами ПЗ-5 та ПЗ-7. Для ствола Protek 360 з пінними насадками низької кратності Protek 210, 211 та пінною насадкою середньої кратності Protek 225 було науково обґрунтовано, що їх використання з пінозмішувачами типу ПЗ-5 та ПЗ-7 є недоцільним. Виявлена значна перевитрата піноутворювача, що сягає близько 66 % навіть на режимі максимальної витрати ствола, свідчить про глибоку дисбалансність системи та її низьку економічну ефективність. Це вимагає перегляду стандартних операційних процедур або підбору інших комбінацій обладнання для даного ствола. Для ствола Protek 366 з пінними насадками низької кратності Protek 212, 213 та

пінною насадкою середньої кратності Protek 226 було визначено оптимальний режим роботи, який відповідає третьому режиму витрати ствола по розчину 6 л/с. У всіх інших випадках спостерігається значна перевитрата піноутворювача мінімум на 30 %, що підтверджує критичну важливість дотримання встановлених оптимальних параметрів для раціонального використання ресурсів. Для лафетного ствола Protek 600-1 у поєднанні з насадкою Protek 822 та пінною насадкою низької кратності Protek 221, оптимальні режими для подачі повітряно-механічної піни були встановлені на третіх останніх режимах витрати ствола по розчину, а саме: 15,8, 22 та 32 л/с. Особливо важливим є висновок, що для досягнення максимальної витрати по розчину 32 л/с ефективна подача повітряно-механічної піни можлива виключно з використанням пінозмішувача ПЗ-7, що вказує на обмеження пропускної здатності та сумісності з пінозмішувачами меншої продуктивності.

Література

1. Про затвердження рекомендацій про особливості виконання органами управління та підрозділами ДСНС завдань за призначенням у населених пунктах і на територіях під час збройної агресії: Наказ ДСНС України від 02.04.2024 № 375. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/0/8/0/8/1/6/rekom.pdf>
2. Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту: Наказ МВС України від 18.04.2024 № 251. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0602-24#Text>
3. Про затвердження Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж: Наказ МВС України від 26.04.2018 № 340. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0802-18#Text>
4. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Довідник керівника гасіння пожежі. Київ: ТОВ «Літера-Друк», 2016. 320 с.
5. Використання плівкоутворювальних піноутворювачів для гасіння пожеж у світлі положень стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі / V. O. Vorovykov та ін. Fire safety. 2025. Т. 46. С. 5–19. doi: 10.32447/20786662.46.2025.01
6. Компактний генератор піни середньої кратності / Мирошник О. М., Землянський О. М., Пилипенко М. М.. Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація». 2019. Том 3 № 1. С. 51–58. URL: <https://fire-journal.ck.ua/index.php/fire/article/view/25>
7. Devising technology for extinguishing oil tanks using compressed foam by sub-layer technique / V. Kovalyshyn. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2024. Vol. 3. № 10(129). P. 6–20. doi: 10.15587/1729-4061.2024.305684
8. Реологічні властивості піноутворювачів Пірена-1, Софір, Альпен, Moussol, Sthamex, Pianol / С. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація. 2021. Т. 5. № 2. С. 89–96. doi: 10.31731/2524.2636.2021.5.2-89-94
9. Stas S. Experimental study of the geometric characteristics of watering zones formed by a handline nozzle protek-366. Journal of the technical university of gabrovo. 2023. Vol. 67. P. 34–36. doi: 10.62853/xqcz2078
10. Establishing the effect of low-percentage doses of foaming agents on

increasing fluid consumption at its transportation by fire hoses / S. Stas et al. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2025. Vol. 2. № 10(134). P. 53–61. doi: 10.15587/1729-4061.2025.327906

11. 210 – foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/240-210>

12. 211 – foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/242-211>

13. 212 – foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/243-212>

14. 213 – foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/245-213>

15. 221 – monitor foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/253-221>

16. 225 – medium expansion foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/254-225>

17. 226 – medium expansion foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/255-226>

18. 360 – 1" selectable gallonage nozzle with pistol grip – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/selectable-gallonage-nozzles/66-360>

19. 366 – 1-1/2" selectable gallonage nozzle with pistol grip – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/selectable-gallonage-nozzles/68-366>

20. 368-TO – high-range selectable gallonage nozzle tip only – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/selectable-gallonage-nozzles/106-368-to>

21. 600-1 – single-inlet portable ground monitor – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/monitors/portable-ground-monitors/75-600-1>

22. 600-2 – dual-inlet portable ground monitor – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/monitors/portable-ground-monitors/307-600-2>

23. 822 – adjustable flow monitor nozzle – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/monitor-nozzles/adjust-flow-baffle-monitor-nozzles/270-822>

24. 887 – self-educting monitor nozzle – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. URL: <https://www.protektfire.com.tw/foam-equipment/self-educting-nozzles/371-887>

A. Bychenko¹, PhD, Associate Professor, Head of Department
V. Rotar¹, PhD, Associate Professor, Deputy Head of Department
O. Kulitsa¹, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
M. Pustovit¹, Senior Lecturer of the Department
Y. Kotsar¹, Cadet
A. Hryb², Firefighter Rescuer of the Main Directorate of the State
¹National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
²Emergency Service of Ukraine in the Mykolaiv region, Mykolaiv, Ukraine

FOAMING AGENT CONSUMPTION WHEN USING PROTEK FOAM NOZZLES FOR BARRELS

In conditions of military aggression and increased fire danger at critical industrial facilities, the effective use of air-mechanical foam is of paramount importance. The introduction of combined fire barrels has changed approaches to foam formation, but the technical characteristics, in particular the consumption of foaming agent through the accompanying foam nozzles, remained insufficiently studied. The purpose of the study was to determine the actual consumption of foaming agent and establish optimal operating modes of low and medium-multiplicity foam nozzles used with combined manual and carriage barrels Protek and stationary foam mixers, which are in service with the State Emergency Service of Ukraine. During the study, an analysis of foam nozzles was carried out and the actual consumption of foaming agent when forming air-mechanical foam was determined, which allowed establishing optimal operating modes of Protek equipment. The Protek 360 barrel (with nozzles 210, 211, 225) is not advisable to use with stationary foam mixers due to significant overconsumption of foaming agent (about 66 %) even at maximum flow rate. The Protek 366 barrel (with nozzles 212, 213, 226) is optimal only at the third solution flow rate mode (6 l/s). In other modes, an overconsumption of at least 30 % was recorded. The Protek 600-1 gun carriage barrel (with nozzle 822 and foam nozzle 221) is optimal at the last three solution flow rates (15.8, 22 and 32 l/s). To ensure the maximum flow rate (32 l/s), it is necessary to use a stationary foam mixer. The results obtained have direct practical significance for increasing the efficiency of fire extinguishing. They allow you to minimize unjustified overconsumption of foaming agent and guarantee the use of equipment in modes that ensure the formation of foam with optimal fire-extinguishing characteristics.

Keywords: air-mechanical foam, low and medium-expansion foam, Protek fire hoses

References

1. Pro zatverdzhennya rekomendatsiy pro osoblyvosti vykonannya orhanamy upravlinnya ta pidrozdilamy DSNS zavdan' za pryznachenniam u naselenykh punktakh i na terytoriyakh pid chas zbroynoyi ahresiyi: Nakaz DSNS Ukrayiny vid 02.04.2024 № 375. Available at: <https://dsns.gov.ua/upload/2/0/8/0/8/1/6/rekom.pdf>
2. Pro zatverdzhennya Statutu diy u nadzvychaynykh sytuatsiyakh orhaniv upravlinnya ta pidrozdiliv Operativno-ryatuval'noyi sluzhby tsyvil'noho zakhystu: Nakaz MVS Ukrayiny vid 18.04.2024 № 251. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0602-24#Text>
3. Pro zatverdzhennya Statutu diy orhaniv upravlinnya ta pidrozdiliv Operativno-ryatuval'noyi sluzhby tsyvil'noho zakhystu pid chas hasinnya pozhezh: Nakaz MVS Ukrayiny vid 26.04.2018 № 340. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0802-18#Text>
4. Ukrayins'kyy naukovo-doslidnyy instytut tsyvil'noho zakhystu. (2016). Dovidnyk kerivnyka hasinnya pozhezh. Kyiv, TOV «Litera-Druk».
5. Borovykov, V., Slutska, O., Sukach, R., Voytovych, D. (2025). Use of film-forming foaming agents for fire extinguishing in light of the provisions of the stockholm convention on permanent organic pollutants. Pozhezhna bezpeka, 46, 5–19. doi: 10.32447/20786662.46.2025.01
6. Myroshnyk, O. M., Zemlyans'kyi, O. M., Pylypenko, M. M. (2019). Compact

medium-fluid foam generator. *Nadzvychni sytuatsiyi: poperedzhennya ta likvidatsiya*, 3(1), 51–58. Available at: <https://fire-journal.ck.ua/index.php/fire/article/view/25>

7. Kovalyshyn, V., Velykyi, N., Kovalyshyn, V., Voitovych, T., Bun, R., Novitskyi, Y., Firman, V. (2024). Devising technology for extinguishing oil tanks using compressed foam by sub-layer technique. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10(129)), 6–20. doi: 10.15587/1729-4061.2024.305684

8. Stas, S., Bychenko, A., Kolesnikov, D., Myhalenko, K., Koval, O. (2021). Rheology properties of foaming agents Pyren-1, Sofir, Alpen, Moussol, Sthamex, Pianol. *Nadzvychni sytuatsiyi: poperedzhennya ta likvidatsiya*, 5(2), 89–96. doi: 10.31731/2524.2636.2021.5.2-89-94

9. Stas, S., Bychenko, A., Myhalenko, M., Kolesnikov, D. (2023). Experimental study of the geometric characteristics of watering zones formed by a handline nozzle protek-366. *Journal of the Technical University of Gabrovo*, 67, 34–36. doi: 10.62853/XQCZ2078

10. Stas, S., Kolesnikov, D., Bychenko, A., Borsuk, O. (2025). Establishing the effect of low-percentage doses of foaming agents on increasing fluid consumption at its transportation by fire hoses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10(134)), 53–61. doi: 10.15587/1729-4061.2025.327906

11. 210 – foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/240-210>

12. 211 – foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/242-211>

13. 212 – foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/243-212>

14. 213 – foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/245-213>

15. 221 – monitor foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/253-221>

16. 225 – medium expansion foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/254-225>

17. 226 – medium expansion foam aeration tube – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/foam-aeration-tubes/255-226>

18. 360 – 1" selectable gallonage nozzle with pistol grip – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/selectable-gallonage-nozzles/66-360>

19. 366 – 1-1/2" selectable gallonage nozzle with pistol grip – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/selectable-gallonage-nozzles/68-366>

20. 368-TO – high-range selectable gallonage nozzle tip only – protek manufacturing
Fire Safety. DOI: 10.52363/2524-0226-2025-42-15

corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/handline-nozzles/selectable-gallonage-nozzles/106-368-to>

21. 600-1 – single-inlet portable ground monitor – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/monitors/portable-ground-monitors/75-600-1>

22. 600-2 – dual-inlet portable ground monitor – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/monitors/portable-ground-monitors/307-600-2>

23. 822 – adjustable flow monitor nozzle – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/monitor-nozzles/adjust-flow-baffle-monitor-nozzles/270-822>

24. 887 – self-educing monitor nozzle – protek manufacturing corp. Handline Nozzles, Monitor Nozzles – Protek Manufacturing Corp. Available at: <https://www.protektfire.com.tw/foam-equipment/self-educing-nozzles/371-887>

Надійшла до редколегії: 10.09.2025

Прийнята до друку: 13.10.2025