

*В.І. Желяк, канд. техн. наук, доцент, О.В. Лазаренко, канд. техн. наук, А.Я. Регуш, канд. техн. наук  
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності ДСНС України)*

### **ОСОБЛИВОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ ВНУТРІШНЬОКВАРТИРНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ**

В статті проаналізовано вимоги облаштування висотних будівель внутрішньоквартирними пожежними кран-комплектами. За результатами аналізу визначено відсутність в нормативних документах детальних характеристик пожежного ствола (гідравлічного опору ствола), яким повинні облаштовуватись внутрішньоквартирні пожежні кран-комплекти, а також рекомендацій по проведенню гідравлічних розрахунків систем протипожежного водопостачання висотних будівель з урахуванням втрат напорів на пожежному кран-комплекті. Показано, що на значення витрати з кран-комплекту крім тиску на ньому, в значній мірі впливає й ступінь випуску рукава з котушки.

**Ключові слова:** висотні будинки, пожежний кран-комплект, втрати напору, гідравлічний опір.

*В.І. Желяк, А.В. Лазаренко, А.Я. Регуш*

### **ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ВНУТРИКВАРТИРНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

В статье проанализированы требования обустройства высотных зданий внутриквартирными пожарными кран-комплектами. По результатам анализа определено отсутствие в нормативных документах детальных характеристик пожарного ствола (гидравлического сопротивления ствола), которым должны обустраиваться внутриквартирные пожарные кран-комплекты, а также рекомендаций по проведению гидравлических расчетов систем противопожарного водоснабжения высотных зданий с учетом потерь напоров на пожарном кран-комплект. Показано, что на значения расхода с кран-комплекта кроме давления на нем, в значительной степени влияет и степень выпуска рукава с катушки.

**Ключевые слова:** высотные дома, пожарный кран-комплект, потери напора, гидравлическое сопротивление.

*V.I. Zhelyak, O.V. Lazarenko, A.Y. Regush*

### **FEATURES HYDRAULIC CALCULATIONS INSIDE APARTMENT FIRE SYSTEMS**

The paper analyzes the requirements of arrangement of tall buildings inside apartment fire tap-kits. Based on the analysis determined to be not in the regulations of the detailed characteristics of the fire barrel (hydraulic resistance of the trunk), which should settle partition wall fire tap-kits, as well as recommendations for hydraulic calculations fire water supply systems of high-rise buildings with the head loss in the fire hydrants kit. It is shown that the flow rate from the faucet, the kit except for the pressure therein greatly influences the degree of release sleeve with coils.

**Keywords:** high-rise buildings, fire valve kit, head loss, hydraulic resistance.

**Вступ.** Дотримання вимог та правил нормативних документів, що регламентують проектування та експлуатацію систем протипожежного захисту різних типів об'єктів, установ, будинків і споруд є обов'язковим до виконання, незалежно від форми власності. Адже саме неухильне і правильне виконання тих чи інших правил може попередити виникнення надзвичайної ситуації, пожежі, або забезпечити її ліквідацію (локалізацію) на ранніх стадіях силами персоналу установи, чи мешканцями будинку.

Одним з невід'ємних елементів системи протипожежного захисту будівель і споруд є система протипожежного водопостачання. Для житлових будівель підвищеної поверховості та висотних будинків до цих систем ставляться особливі вимоги, що пояснюється складністю гасіння пожеж на таких об'єктах, труднощами подавання вогнегасних речовин.

**Постановка задачі.** З уведенням в дію норм [1-3] проектувальники зіштовхнулися з рядом труднощів при гідравлічному розрахунку систем внутрішнього водопостачання в будівлях висотою понад 47 м. В квартирах таких будинків, в якості первинного пристрою пожежогасіння, повинен передбачатись пожежний кран-комплект (ПКК), який приєднаний до мережі питного водопроводу та обладнаний катушкою з пожежним рукавом (напівжорстким) завдовжки не менше 15 м та не більше 30 м, діаметром 19 мм, 25 мм або 33 мм із розпилювачем на перекривальному стволі, що забезпечує можливість подавання у будь-яку точку квартири розпиленого струменя води на відстань не меншу 3 м, чи суцільного струменя на відстань не меншу 10 м (відповідно до вимог п. 10.4 [4]). При цьому відсутні чіткі рекомендації, які дозволяли б проектувальникам визначити витрату води на гасіння внутрішньоквартирної пожежі, вибрати довжину та діаметр рукава, тип та діаметр насадки. Без цього є неможливим визначення необхідного напору  $H_{ПКК}$  на внутрішньоквартирному ПКК, як це, наприклад, зроблено для плоскоскладених рукавів (табл. 5 п. 8.3 [1]).

Таким чином метою даної роботи є визначення основних чинників, які впливають на величину  $H_{ПКК}$  та пропонування рекомендації по гідравлічному розрахунку систем питного водопостачання висотних будівель із врахуванням особливостей внутрішньоквартирного пожежогасіння.

**Виклад основного матеріалу.** На відміну від ПКК, оснащеного плоско складеним рукавом, який для гасіння пожежі необхідно повністю вивільнити з шафи ПКК, у випадку подачі води по напівжорсткому рукаву, він може бути розмотаний з барабана (рис. 1) лише частково, тобто на ту частину від його повної довжини, яка дозволяє досягнути струменем води з пожежного ствола до джерела вогнища. Отже необхідний напір на ПКК, у місці його під'єднання до трубопроводу питного водопостачання, можна визначити за формулою:

$$H_{ПКК} = (S_{нам} + S_{np} + S_{cm}) Q^2,$$

де  $S_{нам}$ ,  $S_{np}$  та  $S_{cm}$  – гідравлічні опори намотаної частини рукава, його прямої ділянки та пожежного ствола з насадкою відповідно;  $Q$  – витрата води на пожежогасіння.

Таким чином задача визначення  $H_{ПКК}$  зводиться до аналізу факторів, які зумовлюють опір вказаних частин рукава та пожежного ствола.

Гідравлічний опір прямої ділянки пожежного рукава  $S_{np}$  може бути визначений з рівності втрат напору, визначених з використанням поняття гідравлічного опору та формули Дарсі-Вайсбаха

$$S_{np} Q^2 = \lambda \frac{l}{d_p} \frac{8Q^2}{\pi^2 g d_p^4}, \quad (1)$$

де  $l$  – довжина рукава;  $d_p$  – його внутрішній діаметр;  $Q$  – об'ємна витрата води в рукаві;  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя.

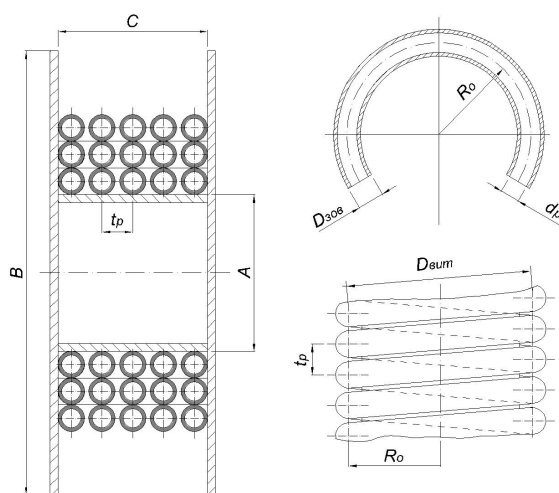
Для повністю розмотаного рукава при визначенні коефіцієнта  $\lambda$  можна скористатися формулою Альтшуля, яка, в межах похибки 2-3%, є справедливою в усій області турбулентного режиму:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d_p} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

де  $Re$  – число Рейнольдса;  $\Delta$  – еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні рукава. В регламентованих рукавах внутрішня поверхня виконана із прогумованих матеріалів для яких можна прийняти середнє значення еквівалентної шорсткості  $\Delta = 0,03$  мм [5]. Відповідно опір прямої ділянки рукава обчислюємо за формулою:

$$S_{np} = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d_p^5} l, \quad (3)$$

Що ж стосується залишеної намотаною на барабан частини пожежного рукава, то її гідравлічний опір слід визначати як для спірального трубопроводу, враховуючи, в порівнянні з прямою ділянкою, додаткові втрати енергії на поворот потоку (рис. 1).



**Рис. 1.** Розрахункова схема укладки рукава в котушці.

При течії в криволінійних каналах коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  залежить не тільки від числа Рейнольдса  $Re$ , але й від відносної кривизни каналу  $d_p / R_0$ . Для моделювання таких течій використовується число Діна:  $Dn = \frac{V}{\nu} \sqrt{\frac{L^3}{2r}} = Re \sqrt{\frac{L}{2r}}$  ( $L$  – характерна довжина поперечного перерізу, в даному випадку  $L = d_p$ ,  $r = R_0$  – радіус кривизни каналу,  $\nu$  – кінематична в'язкість рідини). Втрати напору визначаються окремо для кожного з витків [5] і потім додаються. Згідно залежностей, наведених до діаграми 6.2 [5] коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  може бути визначений в залежності від значення числа Рейнольдса та відносної кривизни витка рукава наступним чином:

**Таблиця 1**

*Визначення коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$  для спіральних каналів.*

$\lambda = \frac{20}{Re^{0,65}} \left( \frac{d_p}{2R_0} \right)^{0,175}$	при $50 < Re \sqrt{\frac{d_p}{2R_0}} < 600$
$\lambda = \frac{10,4}{Re^{0,55}} \left( \frac{d_p}{2R_0} \right)^{0,225}$	при $600 < Re \sqrt{\frac{d_p}{2R_0}} < 1400$
$\lambda = \frac{5}{Re^{0,45}} \left( \frac{d_p}{2R_0} \right)^{0,275}$	при $1400 < Re \sqrt{\frac{d_p}{2R_0}} < 5000$

Слід зазначити, що для різних шарів намотки пожежного рукава на барабан будуть різними й коефіцієнти гідравлічного тертя та довжина рукава в кожному з них, оскільки буде змінюватись радіус кривизни спіралі. З умови перехресної накладки рукава на барабан (рис. 1) нижче наведено залежності, які дозволяють отримати радіус кривизни спіралі рукава в кожному з шарів, їх кількість  $m$  та довжину спіралі в кожному з них:

кількість витків в шарі  $n = \frac{C}{D_{306}}$  з округленням в меншу сторону;

крок між витками  $t_p = \frac{C - D_{306}}{n - 1}$ ;

радіус кривизни витка у відповідному шарі намотки  $R_0^1 = \frac{A + D_{306}}{2}$ ,  $R_0^2 = \frac{A + 3D_{306}}{2}$ ,  
 $R_0^3 = \frac{A + 5D_{306}}{2}$ , ...  $R_0^m = \frac{A + 2(m-1)D_{306}}{2}$  і т.д. (верхній індекс означає номер шару);

діаметр витка в  $m$ -му шарі  $D_{вит} = \sqrt{[A + (2m-1)D_{306}]^2 + \frac{t_p^2}{4}}$ ;

довжина рукава в шарі  $l = \pi n D_{вит}$ .

наявність наступного шару визначається з умови  $\sum l_i < L$ ,  $L$  – загальна довжина рукава.

В технічних умовах [4] не регламентовано конкретну марку пожежного ствола, а лише вказано основні параметри, яким він повинен відповідати (таблиця 2):

**Таблиця 2**

*Характеристики пожежних стволів для внутрішньоквартирних ПКК*

Діаметр ствола, мм	Мінімальна витрата $Q$ , л/хв			Режим функціонування пожежного ствола
	$P = 0,2$ МПа	$P = 0,4$ МПа	$P = 0,6$ МПа	
4 ? 12	12 ? 90	18 ? 128	22 ? 156	закрито розпилений струмінь суцільний струмінь

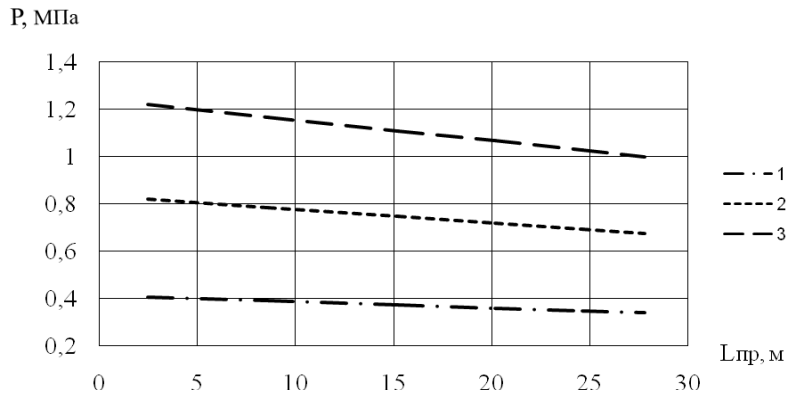
З таблиці 2 видно, що мінімальний тиск води на стволі повинен становити не менше 0,2 МПа. Слід зазначити, що таке значення тиску є відносно високим, оскільки більшість водорозбірних приладів системи питного водопостачання будинків нормально працюють при тисках 0,03?0,04 МПа (при відсутності паспортних даних згідно п. 5.4 [2] тиск на приладах приймають не менше 0,075 МПа). Тому, з точки зору їх нормальної експлуатації, значення мінімального тиску на стволі на рівні 0,2 МПа доцільно було б прийняти як граничне. Стоєво ж необхідної витрати на пожежогасіння в квартирі, зазначені нормативні документи ніяких рекомендацій не дають.

Опір ствола визначимо за формулою:

$$S_{cm} = H_{cm} / Q^2,$$

де  $H_{cm}$  – напір на стволі.

На рис. 2 показано результати чисельного моделювання залежності необхідного тиску на ПКК від ступеня звільнення рукава з котушки для різних витрат на пожежогасіння. Розрахунки проведено для ствола діаметром 12 мм, загальною довжиною рукава 30 м, діаметром 25 мм та розмірами котушки  $A = 200$  мм,  $C = 190$  мм.



**Рис. 2.** Залежність необхідного тиску на ПКК від довжини розмотаної з котушки частини рукава та витрати на пожежогасіння: 1. –  $Q=1,5$  л/с; 2. –  $Q=2,13$  л/с; 3. –  $Q=2,6$  л/с.

З наведених даних видно, що із збільшенням довжини розмотаної частини рукава необхідний для подачі регламентованої витрати тиск на ПКК зменшується, що пояснюється зменшенням величини втрат тиску, пов'язаних з деформацією поля швидкостей внаслідок повороту потоку в намотаній на барабан частині пожежного рукава. Очевидно, що це необхідно враховувати при розробці рекомендацій для проектування систем внутрішнього пожежогасіння. Що ж стосується аналізу даних, наведених в [4] (таблиця 2), то можна зробити наступні висновки:

- застосування стволів діаметрами 4 ? 9 мм не є ефективним, оскільки для забезпечення витрат більших за вказані у табл. 2, необхідно створювати тиски значно більші за 0,2 МПа;
- для комплектування ПКК доцільно приймати стволи із опорами не більше за  $21 \text{ м}^2 \text{ с}^2 / \text{л}^2$  для еквівалентного діаметра 10 мм та  $9 \text{ м}^2 \text{ с}^2 / \text{л}^2$  для еквівалентного діаметра 12 мм (априорно виходимо із умови достатності витрат 0,98 л/с та 1,5 л/с на забезпечення гасіння пожежі на початковій стадії) (див таблицю 3).

**Таблиця 3**

*Значення мінімальних витрат та опір стволів внутрішньоквартирних ПКК*

Діаметр ствола $d_{cm}$ , мм	4	5	6	7	8	9	10	12
Витрата $Q$ , л/с	0,2	0,3	0,4	0,52	0,65	0,77	0,98	1,5
Опір ствола $S_{cm}$ , $\text{м}^2 \text{ с}^2 / \text{л}^2$	500	222	125	74	47	34	21	9

Результати чисельних розрахунків гідравлічних параметрів для варіанту гасіння пожежі при повністю розмотаних рукавами наведені в таблиці 4.

**Таблиця 4**

*Значення  $\lambda$ ,  $h_l$  та  $S_p$  для повністю розмотаних рукавів довжиною 30 м*

Діаметр рукава $d_p$ , мм	19		25		33	
Витрата $Q$ , л/с	0,98	1,5	0,98	1,5	0,98	1,5
Швидкість $V$ , м/с	3,45	5,29	2,0	3,06	1,15	1,75
Число Рейнольдса $Re$	65550	100510	50000	76500	37950	57750
Коефіцієнт $\lambda$	0,0268	0,024	0,0247	0,0235	0,0251	0,0235
Втрати напору $h_l$ , м	25,78	54,14	6,04	13,46	1,54	3,34
Опір рукава $S_p$ , $\text{м}^2 \text{ с}^2 / \text{л}^2$	26,84	24,06	6,28	5,98	1,6	1,48

Порівняння значень опорів наведених в табл. 4 дозволяє зробити висновок, що застосування рукавів діаметром 19 мм не є доцільним, оскільки при їх роботі втрати напору більш ніж у 4 рази перевищують втрати у рукаві діаметром 25 мм і в 16 разів перевищують втрати у рукавах діаметром 33 мм. Так, як діаметр вводу питного водопроводу в житлову квартиру здебільшого не перевищує 25 мм, то можна обмежитись влаштуванням ПКК з аналогічним діаметром рукава.

Таким чином, внутрішньоквартирний ПКК доцільно укомплектовувати рукавом діаметром 25 мм та стволом з еквівалентним діаметром 10 чи 12 мм. Тоді напір на ПКК для рукавів довжиною 15 м буде становити:

$$H_{ПКК} = (S_p + S_{cm})Q^2 = (3,14+21)0,98^2 = 23,18 \text{ м} - \text{для ствола з еквівалентним діаметром 10 мм};$$

$$H_{ПКК} = (S_p + S_{cm})Q^2 = (2,99+9)1,5^2 = 26,98 \text{ м} - \text{для ствола з еквівалентним діаметром 12 мм}.$$

Оскільки гідравлічний опір намотаної на котушку частини рукава є більшим за опір прямої ділянки, то відповідно і величина напору  $H_{ПКК}$  є більша за значення 23,18 м (для ствола з еквівалентним діаметром 10 мм) та 26,98 м (для ствола з еквівалентним діаметром 12 мм). Так, як ці значення  $H_{ПКК}$  є співмірними із граничним значенням висоти зони питного водопостачання (згідно п.6.6 [1] це значення становить 45 м (0,45 МПа)), то потрібно обережно підходити до комплектування ПКК рукавами відповідної довжини та насадками відповідних діаметрів.

### **Висновки**

Підсумовуючи вище вказані особливості цілком логічно стверджувати, що на забезпечення необхідної витрат води та дальності подачі струменя буде впливати ступінь випуску рукава з котушки (тобто кількість витків рукава що залишилась на котушці) та гідравлічний опір встановленої насадки (ствола), що, в свою чергу, повинно враховуватись під час розрахунку систем протипожежного водопостачання будинку та вибору насосів підвищувачів. Оскільки гідравлічний опір намотаної на котушку частини рукава є більшим за опір прямої ділянки, то відповідно і величина напору  $H_{ПКК}$  є більша за значення 23,18 м (для ствола з еквівалентним діаметром 10 мм) та 26,98 м (для ствола з еквівалентним діаметром 12 мм). Так, як ці значення  $H_{ПКК}$  є співмірними із граничним значенням висоти зони питного водопостачання (згідно п.6.6 [1] це значення становить 45 м (0,45 МПа)), то потрібно обережно підходити до комплектування ПКК рукавами відповідної довжини та насадками відповідних діаметрів.

### **Список літератури**

1. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація.
2. ДБН В.2.24:2009. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків.
3. ДБН В. 2.2.15 – 2005. Житлові будинки. Основні положення.
4. ТУ4401-1:2005. Кран-комплекти пожежні. Частина 1. Кран-комплекти пожежні з напівжорсткими рукавами. Загальні вимоги.
5. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение. 1992. 672 С.

### **References**

1. SBN D.2.5-64: 2012. Domestic water and sanitation.
2. SBN D.2.24:2009. Buildings. Designing high-rise residential and public buildings..
3. SBN D.2.2.15 – 2005. Residential buildings. The main provisions.
4. ТТ 4401-1:2005. Fire tap-kits. Part 1: Fire tap-kits of semirigid sleeves. General requirements.
5. Idelchik I. E. Handbook on Hydraulic Resistance. М.: Mashinostroenie.1992. 672 С.

