

*В.І. Мандрус, к.т.н., доцент, З.В. Лаврівський (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ НАПОРУ У ПОЖЕЖНИХ ВОДОГОНАХ З ПЛАСТМАСОВИХ ТРУБ

Для визначення втрат напору у пожежних та інших видах водопроводів з пластмасових труб способом їх питомих опорів запропоновані формули та розраховані таблиці значень питомих опорів поліетиленових труб (при швидкості 1 м/с) і швидкісних коефіцієнтів.

### *Постановка проблеми.*

В наш час все більше використання набувають пластмасові (пластикові, полімерні) труби для пожежних та інших видів водопроводів. Їх виготовляють з поліпропілену (ПП), полівінілхлориду (ПВХ), поліетилену (ПЕ), структурованого поліетилену (ПЕС), полібутілену (ПБ) [11]. Випускаються також труби металопластикові (в них внутрішній і зовнішній шари поліетиленові або поліпропіленові, а середній шар алюмінієвий) та комбіновані поліпропіленові, армовані прошарком зі скловолокна.

Пластикові труби мають такі основні переваги над металевими [1,4,5,7,9,13]:

- гнучкість і мала вага, що спрощує і полегшує транспортування труб і монтаж трубопроводів;
- стійкість до корозії, тиску і температури;
- в трубах не відкладаються осадки під час усього строку експлуатації (понад 50 років);
- міцність не нижча, ніж металевих труб;
- внутрішня поверхня труб має дуже низькі значення еквівалентної шорсткості (від 0,003 до 0,007 мм). Завдяки цьому втрати напору в них мінімальні, і тому швидкість руху рідин можна довести до 3 м/с;
- рідини в полімерних трубах рухаються майже безшумно.

Повз широке використання і великий вибір пластикових труб в наш час ще немає детально розроблених регламентів їх розрахунку.

### *Аналіз останніх досліджень та публікацій.*

Серед багатьох видів пластмас найбільше застосовують поліетилен високої густини [8], труби з якого випускають відповідно до ТУ У В.2.7-25.2-32926466-002.

В Україні працюють більше 40 виробників напірних труб з поліетилену [8]. З них найбільші: Рубіжанський трубний завод (м. Рубіжне Луганської обл.), Водполімер (м. Бориспіль Київської обл.), Укргазифікація-Південь (Одеса), Укрполімерконструкція (м. Київ), Ель-пласт-Львів (м. Городок Львівської обл.), Пластпайп (м. Івано-Франківськ), Полівтор (м. Красноперекіпськ АР Крим), Планета-Пластик (м. Ірпінь Київської обл.).

Низка закордонних фірм: Kaczmarek, Kisan, Wavin (Польща), Aquatherm, Bering, Renau, (Німеччина), Genova products, Nibko (США), міжнародний концерн Uponor та багато інших відзначаються потужною діяльністю у сфері виробництва поліетиленових труб.

Виготовляють поліетиленові труби діаметрами від 16 до 630 мм і використовують їх як у внутрішніх, так і у зовнішніх водопроводах. Але пожежні стояки, відповідно до вимог СНиП [11], можуть бути тільки сталеві, а не пластикові. Отже, при розрахунках об'єднаних водопроводів (тобто для господарсько-питних, виробничих і пожежних потреб) нас будуть цікавити тільки зовнішні водопроводи з внутрішніми діаметрами труб більше 80 мм.

Розміри напірних поліетиленових труб, що випускаються в наш час, наведені в табл. 1 [5].

## Розміри поліетиленових труб

Зовнішній діаметр, $d_3$ , мм	ПЕ 80						ПЕ 100					
	PN 6		PN 7,5		PN 10		PN 12,5		PN 10		PN 16	
	Товщина стінки, $\delta$ , мм	Внутрішній діаметр, $d_{\text{вн}}$ , мм	$\delta$	$d_{\text{вн}}$	$\delta$	$d_{\text{вн}}$	$\delta$	$d_{\text{вн}}$	$\delta$	$d_{\text{вн}}$	$\delta$	$d_{\text{вн}}$
90	4,3	81,4	5,1	79,8	6,7	76,6	8,2	73,6	5,4	79,2	8,2	73,6
110	5,3	99,4	6,3	97,4	8,1	93,8	10,0	90,0	6,6	96,8	10,0	90,0
125	6,0	113,0	7,1	110,8	9,2	106,6	11,4	102,2	7,4	110,2	11,4	102,2
140	6,7	126,6	8,0	124,0	10,3	119,4	12,7	114,6	8,3	123,4	12,7	114,6
160	7,6	144,8	9,1	141,8	11,8	136,4	14,6	130,8	9,5	141,0	14,6	130,8
180	8,6	162,8	10,2	159,6	13,3	153,4	16,4	147,2	10,7	158,6	16,4	147,2
200	9,6	180,8	11,4	177,2	14,7	170,6	18,2	163,6	11,9	175,2	18,2	163,6
225	10,8	203,4	12,8	199,4	16,6	191,8	20,5	184,0	13,4	198,2	20,5	184,0
250	11,9	226,2	14,2	221,6	18,4	213,2	22,7	204,6	14,8	220,4	22,7	204,6
280	13,4	253,2	15,9	248,2	20,6	238,8	25,4	229,2	16,6	246,8	25,4	229,2
315	15,0	285,0	17,9	279,2	23,2	266,6	28,9	257,2	18,9	277,2	28,9	257,2
400	19,0	362,0	22,7	354,6	29,4	341,2	36,3	327,4	23,7	353,6	36,3	327,4

Шифри ПЕ 80, ПЕ 100 означають клас поліетилену, до якого відносяться такі показники, як довготривала міцність (відповідно 8 і 10 МПа) та стійкість до розповсюдження тріщин. Робочий тиск (PN), який витримують труби, дорівнює 6; 7,5; 10; 12,5; 16 кгс/см<sup>2</sup>. Труби з певним зовнішнім діаметром мають різні товщини стінок для кожного з тисків. Остання особливість обумовлює такі ускладнення гідравлічних розрахунків:

1. Виконавши розрахунок за певним внутрішнім діаметром, визначають потрібний напір або тиск водопроводу, за яким вибирають марку насоса. Найчастіше значення потрібного тиску водопроводу не співпадає з тиском, який витримують труби. Тому необхідно виконати один або кілька перерахунків, щоби труби витримували наявний в трубопроводі тиск.

2. З точки зору економичності труби треба брати з мінімально можливою товщиною стінки. Тому доцільно визначати довжини окремих ділянок трубопроводу з певною товщиною стінки, в межах яких потрібний тиск відповідатиме тиску, що витримують труби. Інакше кажучи, в трубопроводі можуть бути ділянки з різними товщинами стінок. На жаль, в доступній нам літературі не знайдено розв'язання цієї задачі.

Основою гідравлічного розрахунку є визначення втрат напору, для чого необхідно підрахувати значення коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$ . Існують відповідні формули для визначення цього коефіцієнта для кожної з трьох зон турбулентного режиму. В таблицях Шевелева (1973 р.) [14] і СНиП 2.04.02-84 [10] зазначено, що пластмасові труби працюють в гідравлічно гладкій зоні турбулентного режиму, в якій значення коефіцієнта  $\lambda$  залежать тільки від числа Рейнольдса і визначаються за формулами тільки для цієї зони.

#### Постановка задачі.

Перегляд умов протіканні води в сучасних поліетиленових трубах, а також виведення формул і розрахунок таблиць для визначення втрат напору способом питомих опорів труб, оскільки сучасні труби за своїми показниками шорсткості суттєво відрізняються від труб тридцятирічної давнини.

#### Дослідження.

Для встановлення, в якій з трьох зон турбулентного режиму працюють сучасні поліетиленові труби, нами проведені розрахунки числа Рейнольдса  $Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{4Q}{\pi d\nu}$

( $v$  – швидкість руху рідини,  $d$  – внутрішній діаметр труби,  $\nu$  – кінематична в'язкість,  $Q$  – витрата рідини) і відносної шорсткості  $\frac{\Delta_e}{d}$  ( $\Delta_e$  – еквівалентна шорсткість) залежно від реально існуючих швидкостей, еквівалентних шорсткостей, діаметрів труб (табл. 2).

Таблиця 2

Значення чисел Рейнольдса і відносної шорсткості для розрахунку коефіцієнта гідравлічного тертя

Швидкість, $v$ , м/с	Еквівалентна шорсткість, $\Delta_e$ , мм	Внутрішній діаметр труб, $d$ , мм	Число Рейнольдса, $Re$	Відносна шорсткість $\frac{\Delta_e}{d}$
0,2	0,001	100	15400	0,00001
3,0	0,001	100	230800	0,00001
0,2	0,01	100	15400	0,0001
3,0	0,01	100	230800	0,0001
0,2	0,001	1000	154000	0,000001
3,0	0,001	1000	2308000	0,000001
0,2	0,01	1000	154000	0,00001
3,0	0,01	1000	2308000	0,00001

Дані табл. 2 використані для підрахунку коефіцієнта гідравлічного тертя за формулою А.Д.Альтшуля і визначення зон турбулентного режиму за критеріями [2]

при  $Re \frac{\Delta_e}{d} < 10$  – зона гідравлічно гладких труб;

при  $10 < Re \frac{\Delta_e}{d} < 500$  – зона доквадратичного опору;

при  $Re \frac{\Delta_e}{d} > 500$  – зона квадратичного опору.

Результати виконаних розрахунків представлені в табл. 3, з якої видно, що сучасні поліетиленові труби працюють не тільки в зоні гладких труб (як зазначено в роботі [14]), але і в зоні доквадратичного опору. Вказані в табл. 3 значення коефіцієнта гідравлічного тертя нанесені на графік Колбрука–Уайта і місця їх розташування обведені жирною пунктирною лінією (рис. 1).

Таблиця 3

Зони турбулентного режиму, в яких працюють сучасні поліетиленові труби

Відносна шорсткість		Число Рейнольдса, $Re$	Коефіцієнт гідравлічного тертя, $\lambda$	Критерій $Re \frac{\Delta_e}{d}$	Зона турбулентного режиму
$\frac{\Delta_e}{d}$	$\frac{d}{\Delta_e}$				
0,000001	1 000 000	15000	0,0285	0,015	гладких труб
		500000	0,0119	0,5	
		1000000	0,0100	1,0	
		2300000	0,0082	2,3	
0,00001	100 000	15000	0,0285	0,15	доквадратичного опору
		500000	0,0121	5,0	
		1000000	0,0103	10,0	
		2300000	0,0087	23	
0,0001	10 000	15000	0,0287	1,5	доквадратичного опору
		500000	0,0136	50	
		1000000	0,0125	114	
		2300000	0,0117	230	

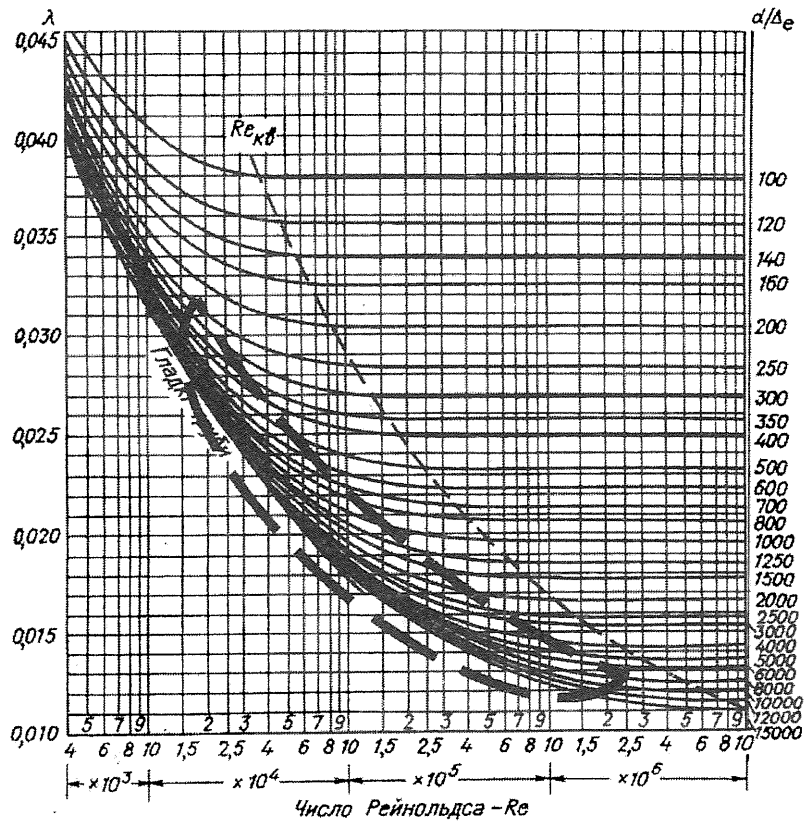


Рис. 1. Графік Колбрука-Уайта для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя

З цього графіка також видно, що сучасні поліетиленові труби працюють в двох зонах. Тому для підрахунку коефіцієнта гідравлічного тертя потрібно використовувати наступні формули [12], які підходять для всіх трьох зон:

$$\text{Колбрука-Уайта} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{2,5}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta_e}{3,7d} \right), \quad (1)$$

$$\text{або Альтшуля} \quad \lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_e}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}. \quad (2)$$

Формула Колбрука-Уайта найбільш точна, але вона складна при ручних обчисленнях, тому її доцільно використовувати при комп'ютерних розрахунках. Формула Альтшуля дає майже однакові результати з формулою Колбрука-Уайта і нею зручно користуватися при ручних розрахунках.

Для визначення втрат напору в трубопроводах використовується формула Дарсі-Вайсбаха [6]

$$h = 1,1 \lambda \frac{l}{d} \frac{8Q^2}{g \pi^2 d^4}, \quad (3)$$

де 1,1 – коефіцієнт для врахування місцевих гідравлічних опорів (в т.ч. стиків труб);  $l$  – довжина трубопроводу;  $d$  – його діаметр;  $Q$  – витрата рідини.

В разі виконання розрахунків вручну способом питомих опорів труб формулу Дарсі-Вайсбаха записують так [3]

$$h = 1,1 A l Q^2, \quad (4)$$

де  $A = \frac{8\lambda}{g \pi^2 d^5}$  – питомий опір труби певного діаметра (тобто опір одного метра труби).

Для поліетиленових водопроводів приймаємо значення еквівалентної шорсткості  $\Delta_e = 0,007$  мм та кінематичної в'язкості води  $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, що відповідає температурі 10°С. При цьому формула Альтшуля набуває вигляду

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_e}{d} + \frac{68\nu}{\nu d} \right)^{0,25} = 0,11 \left( \frac{0,007 \cdot 10^{-3}}{d} + \frac{68 \cdot 1,3 \cdot 10^{-6}}{\nu d} \right)^{0,25},$$

$$\text{або } \lambda = \frac{0,00566}{d^{0,25}} \left( 1 + \frac{12,63}{\nu} \right)^{0,25}, \quad (5)$$

а значення питомого опору

$$A = \frac{8}{9,8 \cdot 3,14^2 d^5} \frac{0,00566}{d^{0,25}} \left( 1 + \frac{12,63}{\nu} \right)^{0,25},$$

$$\text{тобто } A = \frac{0,00047}{d^{5,25}} \left( 1 + \frac{12,63}{\nu} \right)^{0,25}. \quad (6)$$

За аналогією з роботою [14], значення питомого опору поліетиленових труб для швидкості 1 м/с підраховані за формулою (7), яка випливає з формули (6)

$$A' = \frac{0,0009}{d^{5,25}} \quad (7)$$

і наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Значення питомих опорів поліетиленових труб  $A'$  при швидкості 1 м/с

Зовнішній діаметр, $d_3$ , мм	ПЕ 80								ПЕ 100			
	PN 6		PN 7,5		PN 10		PN 12,5		PN 10		PN 16	
	Внутрішній діаметр, $d_{\text{вн}}$ , мм	$A', \frac{\text{с}^2}{\text{М}^6}$	$d_{\text{вн}}$	$A'$	$d_{\text{вн}}$	$A'$	$d_{\text{вн}}$	$A'$	$d_{\text{вн}}$	$A'$	$d_{\text{вн}}$	$A'$
90	81,4	471,5	79,8	523,3	76,6	648,7	73,6	800,1	79,2	544,4	73,6	800,1
110	99,4	165,2	97,4	183,8	93,8	234,0	90,0	278,3	96,8	189,8	90,0	278,3
125	113,0	84,3	110,8	93,4	106,6	114,4	102,2	142,8	110,2	96,1	102,2	142,8
140	126,6	46,4	124,0	51,7	119,4	63,1	114,6	78,3	123,4	53,1	114,6	78,3
160	144,8	22,9	141,8	25,6	136,4	31,4	130,8	39,1	141,0	26,4	130,8	39,1
180	162,8	12,4	159,6	13,8	153,4	16,9	147,2	21,0	158,6	14,2	147,2	21,0
200	180,8	7,14	177,2	7,94	170,6	9,69	163,6	12,1	175,2	8,43	163,6	12,1
225	203,4	3,85	199,4	4,27	191,8	5,24	184,0	6,52	198,2	4,41	184,0	6,52
250	226,2	2,20	221,6	2,45	213,2	3,01	204,6	3,73	220,4	2,53	204,6	3,73
280	253,2	1,22	248,2	1,35	238,8	1,66	229,2	2,06	246,8	1,39	229,2	2,06
315	285,0	0,655	279,2	0,730	266,6	0,930	257,2	1,123	277,2	0,758	257,2	1,123
400	362,0	0,187	354,6	0,208	341,2	0,255	327,4	0,316	353,6	0,211	327,4	0,316

Для швидкостей, які відмінні від 1 м/с, у формулу (4) введений швидкісний коефіцієнт  $K$

$$h = 1,1 K A' l Q^2, \quad (8)$$

З порівняння формул (6) і (7) отримуємо

$$A = K A', \quad \text{звідки } K = \frac{A}{A'},$$

$$\text{або } K = 0,52 \left( 1 + \frac{12,63}{\nu} \right)^{0,25} \quad (9)$$

В табл. 5 наведені значення швидкісних коефіцієнтів  $K$  для різних значень швидкостей, підраховані за формулою (9).

Таблиця 5

Значення швидкісних коефіцієнтів  $K$

Швидкість $v$ , м/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
Коефіцієнт $K$	1,47	1,33	1,24	1,18	1,13	1,09	1,05	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94
Швидкість $v$ , м/с	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Коефіцієнт $K$	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,82	0,81	0,80	0,79

Розрахунок об'єднаного водопроводу починається з визначення вихідних даних: його конструкції (різниця висот між кінцем і початком, наявністю місцевих гідравлічних опорів, довжини), витрати води загалом і на окремих ділянках, виходячи з нормативних витрат для певного технологічного процесу та під час гасіння пожежі. Діаметр труб вибирається як економічний, тобто такий, який забезпечує мінімальну вартість водопроводу (вона складається з будівельної та експлуатаційної частин).

Економічному діаметру відповідає економічна швидкість. Вона визначається за вартістю будівельних та ремонтних матеріалів, електроенергії, витрат на виконання будівельних робіт і на обслуговування водопроводу тощо. Порядок розрахунку економічної швидкості описан в роботі Ф.А. Шевелева, 1973 р. [14]. На даний час пластмасові труби і всі чинники, які впливають на економічну швидкість, вже не такі, які були в 1973 р., але ще і дотепер розрахунків значень економічної швидкості, що відповідають теперішнім реаліям, не проведено. (Відмітимо, що ця важлива задача ще чекає своїх дослідників.) Тому значення економічної швидкості для поліетиленових труб приймаються такі ж, як і в роботі [14]: при малих витратах ( $Q = 10 \dots 15$  л/с) швидкість  $v_e = 1,3$  м/с, при великих ( $Q = 200 \dots 220$  л/с) –  $v_e = 3$  м/с, а проміжним витратам відповідають проміжні швидкості.

Далі визначаємо економічний діаметр за формулою  $d_e = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$  і з колонки РН 6 таблиці

1 вибираємо найближчий більший внутрішній діаметр. Під час гасіння пожежі витрата води має бути набагато більшою, тому і швидкість води приймаємо вже не економічну, а пожежну, яка більша від економічної, припустимо,  $v_p = 4$  м/с (відмітимо, що значення пожежної швидкості для поліетиленових труб ще не обґрунтовані). І знову за описаною схемою визначаємо діаметр труб. З двох діаметрів для подальших розрахунків вибираємо більший.

Втрати напору у водопроводі підраховуємо за формулою (8), а для цього з колонки РН 6 таблиці 4 виписуємо значення питомого опору поліетиленових труб  $A'$  для швидкості 1 м/с, а з таблиці 5 – значення коефіцієнта  $K$ . За відомою методикою розраховуємо потрібний напір і потрібний тиск водопроводу. Якщо потрібний тиск водопроводу буде менший від 6 кгс/см<sup>2</sup>, розрахунок закінчений. При потрібному тиску водопроводу більшому від 6 кгс/см<sup>2</sup> розрахунок треба провести для труб з РН 7,5, а при необхідності – і при РН 10, РН 12,5 тощо. Можливо, доцільно буде перейти на більший зовнішній діаметр. Розрахунок треба закінчити, коли допустимий тиск труб буде більшим від потрібного.

#### Висновки:

1. Для визначення втрат напору у водопроводі з пластмасових труб способом їх питомих опорів запропоновані формули та розраховані таблиці значень питомих опорів поліетиленових труб (при швидкості 1 м/с) і швидкісних коефіцієнтів.
2. Наявність кількох значень внутрішніх діаметрів поліетиленових труб при однакових зовнішніх діаметрах змушує виконувати два – три перерахунки, що ускладнює розрахунок водопроводів.

3. Відсутність методики розрахунку водопровідної мережі з врахуванням різних товщин стінок поліетиленових труб унеможливило визначення мінімальної вартості водопроводу.
4. Відсутність необхідних даних для визначення економічної швидкості води в поліетиленових трубах в сучасних умовах і доцільної швидкості при гасінні пожежі вносять певну невизначеність у розрахунок водопроводу.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. *Акватерм-Україна. Інформація про фірму. Ринок інсталяцій, № 3, 1999, с. 29-32.*
2. *Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика.– М.: Стройиздат, 1975. – 323 с.*
3. *Антіпов І.А., Кулешов М.М., Петухова О.А. Протипожежне водопостачання. – Харків: АЦЗУ, 2004. – 243 с.*
4. *Багатошарова труба РЕХ-С. Ринок інсталяцій, № 5, 1992, с. 23-25.*
5. *Instalplast lask. Сантехника в Украине. Каталог. СП УДТ, , Киев, 2004, с.184-186.*
6. *Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу. – К.: Вища школа, 2002. – 277с.*
7. *Пластиковая система для водоснабжения и отопления УДТ “Бор”. Техническая информация. – Киев: 2002. – 56 с.*
8. *Рынок – вчера, сегодня, завтра... (Обзор украинского рынка трубного полиэтилена и производителей ПЭ труб). Полимерные трубы, № 1, 2007, с.8-16.*
9. *Climatherm – трубопроводна система для кондиювання. Ринок інсталяцій, № 5, 2007, с. 40.*
10. *СНиП 2.04.02–84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.*
11. *СНиП 2.04.01–85. Внутренний водопровод и канализация зданий. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.*
12. *Чугаев Р.Р. Гидравлика.Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.*
13. *Швець Я. Застосування полімерних труб в опалювальних і водопровідних системах. Ринок інсталяцій № 6, 2007, с.14-16.*
14. *Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. М.: Стройиздат, 1973. – 113 с.*

УДК 614.843

*О.О. Карабин, к.ф.-м.н., доцент, О.В. Меньшикова, к.ф.-м. н., А.Д. Кузик , к.ф.-м.н., доцент (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

#### СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЧИННИКІВ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Проаналізовано функціонування пожежно-рятувальних підрозділів Львівської області, обґрунтовано кореляційні залежності між окремими параметрами їх діяльності.

**Сучасний стан проблеми.** Сучасне місто характеризується інтенсивними темпами будівництва нових житлових будинків, приєднанням навколишніх сіл до території міста, розширенням комплексу розважальних та побутових закладів. У таких умовах стрімко зростає техногенна та пожежна небезпека у місті. За статистичними даними [1] в Україні щодня виникає більше 130 пожеж, внаслідок яких гине близько 11 осіб, а прямі матеріальні