

Перевіряємо умову

$$0,5 \cdot A_1 \times R_{bt} > N_{an}; \quad (9)$$

$$0,5 \cdot A_1 \times R_{bt} = 0,5 \cdot 3730 \cdot 6,89 = 12850 \text{ кг} > 3760 \text{ кг}.$$

Довжина анкерів в 250 мм достатня для забезпечення міцності бетону на виколування.

**Висновки.** Використання гнучких анкерів та технології миттєвого зварювання фірми «Nelson» дає змогу значною мірою скоротити витрати на виготовлення закладних деталей. З'являється можливість улаштування закладних деталей з гнучкими анкерами там, де використання звичайних анкерів неможливе.

1. *Europäische Technische Zulassung ETA-03/0041, 30 Seiten einschliesslich 7 Anhänge, EOTZ, 2003.* 2. *Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СнИП 2.03.01-84)/ЦНИИпромиздат Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.* 3. *www.nelson.com.*

УДК 725.948

**В.І. Мандрус, В.І. Орел\***

Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного,  
кафедра електромеханіки та електроніки,  
\*Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра гідравліки та сантехніки

## ПРОЕКТУВАННЯ ФОНТАННИХ СТРУМЕНІВ

© Мандрус В.І., Орел В.І., 2010

**Запропоновано формули для визначення напору на фонтанних насадках, кута їх нахилу до горизонту, дальності та висоти фонтанних струменів.**

**Ключові слова:** кут нахилу до горизонту, дальність, висота.

**A formulae for determination of head on fountain nozzles, angle of their slope to horizon, distance and height of fountain jets.**

**Keywords:** angle of slope to horizon, distance height.

**Вступ.** Гідравлічні розрахунки під час проектування фонтанних струменів полягають у визначенні витрат води, необхідних напорів на вході в насадки для підбору насосного обладнання, а також геометричних розмірів похилих струменів.

На практиці розраховують фонтанні струмені за відомими формулами Люгера, Фрімана, Лобачова [1–3]. Однак під час розрахунку параметрів струменів за формулами [3] встановлено деяку невідповідність отриманих числових значень очевидній фізичній картині явища.

Так, похилий струмінь при напорах понад 7 м описує траєкторію, яка дещо відрізняється від параболи. Основні параметри цієї траєкторії – горизонтальні проекції висхідної  $l_1$  та низхідної  $l_2$  частин струменя і висота  $h$ , які залежать від напору

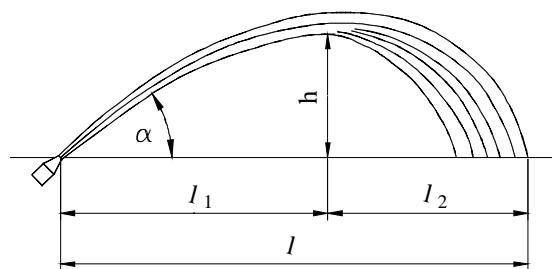


Рис. 1. Схема траєкторії похилого струменя:  $l$  – горизонтальна дальність струменя,  $l = l_1 + l_2$

на насадці і кута нахилу її до горизонту  $\alpha$  (рис. 1). Значення цих величин обчислюють за формулами

$$l_1 = B_1 \cdot H ; \quad l_2 = B_2 \cdot H ; \quad h = B_3 \cdot H ,$$

де  $H$  – напір на насадці;  $B_1, B_2, B_3$  – коефіцієнти, які для кутів  $\alpha$  нахилу насадки приймають з [3, табл. 90].

Підставляючи числові значення, отримуємо  $l_1 < l_2$ , що суперечить експериментальним даним і фізиці явища, за якими  $l_1 > l_2$ . Крім того, наведені коефіцієнти не залежать від діаметрів насадок, хоча, як відомо з практики пожежогасіння [1], зі збільшенням діаметра насадки довжина струменя збільшується. Для вертикального струменя (при  $\alpha = 90^\circ$ ) значення коефіцієнта  $B_3$  відсутні, хоча в цьому разі справедлива формула Люгера.

**Метою роботи** є систематизація та аналіз відомих даних з метою розроблення алгоритму гідравлічних розрахунків фонтанів. Для досягнення поставленої мети необхідно встановити залежності для визначення основних параметрів похилих струменів: горизонтальної дальності, найбільшої висоти, теоретичного напору, напору на вході у насадку.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Перед гідравлічним розрахунком фонтанів дизайнер задає їхню геометричну форму, напрям струменів (вертикальний, похилий під певним кутом), розташування струменів в чаші, висоту вертикальних струменів, горизонтальну дальність або/і висоту похилих струменів, діаметр і кількість насадок.

Наведений нижче розрахунок ґрунтується на основі робіт [1, 2] з виконанням деяких перетворень і доповнень.

**Витрату води**, м<sup>3</sup>/с, через одну насадку визначають з формули

$$Q_n = \frac{p d_n^2}{4} \cdot \sqrt{2gH} = 3,48 \cdot d_n^2 \cdot \sqrt{H} , \quad (1)$$

де  $d_n$  – діаметр насадки, м;  $H$  – теоретичний напір (висота струменя), м, який дорівнює швидкісному напору  $\frac{V^2}{2g}$ ;  $V$  – швидкість води на виході з насадки, м/с; 3,48 – коефіцієнт;  $3,48 = \frac{p}{4} \cdot \sqrt{2g} = \frac{3,14}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}$ .

Витрата води в трубопроводі дорівнює сумі витрат через всі насадки фонтана.

Для **вертикальних струменів** (рис. 2) теоретичну висоту визначають з формули Люгера [1, с.69]:

$$H_s = \frac{H}{1 + j \cdot H} , \quad (2)$$

де  $H_s$  – висота вертикального струменя;  $\phi$  – коефіцієнт, який враховує втрату висоти струменя  $h$  внаслідок тертя між ним і повітрям,

$$j = \frac{0,25}{d_n + (0,1d_n)^3} ;$$

$d_n$  – діаметр насадки, мм.

Значення коефіцієнта  $\phi$  для деяких діаметрів насадок наведено в табл. 1.

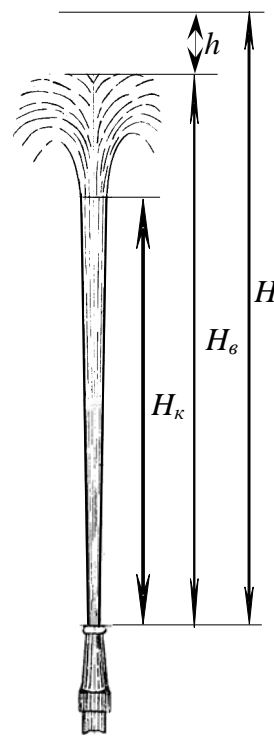


Рис. 2. Схема вертикального струменя:  $H$  – теоретична висота;  $h$  – втрата висоти через тертя між водою і повітрям;  $H_s$  – висота вертикального струменя;  $H_k$  – висота компактної частини струменя

Таблиця 1

Значення коефіцієнта  $\varphi$ 

$d_n$ , мм	5	8	10	15	20
$\varphi$	0,049	0,029	0,023	0,014	0,0089
$d_n$ , мм	25	30	35	40	50
$\varphi$	0,0062	0,0044	0,0032	0,0024	0,0014

Траєкторія *похилого струменя* з напором до 7 м (а саме такі напори використовують у більшості фонтанів) близька до параболи [1, 2] (рис. 3). Під час розрахунків цих струменів за відсутності опору повітря використовують таке рівняння траєкторії:

$$y = x \cdot \operatorname{tg} a - \frac{x^2 \cdot (1 + j \cdot H)}{4H \cdot \cos^2 a} \quad (3)$$

З цього рівняння при  $y = 0$  дальність струменя

$$l = \frac{H}{1 + j \cdot H} \cdot B, \quad (4)$$

де  $B$  – горизонтальний параметр траєкторії, який залежить тільки від кута  $\alpha$  нахилу насадки

$$B = 2 \sin(2\alpha). \quad (5)$$

Найбільша дальність струменя при цьому буде при  $\alpha = 45^\circ$ , оскільки  $\sin(2\alpha) = 1,0$ .

З формули (4) визначимо теоретичний напір похилого струменя

$$H = \frac{l}{B - j \cdot l}. \quad (6)$$

Найбільша висота  $Z$  струменя, яка буде при  $x = 0,5 l$ , згідно з формулами (3) та (4):

$$Z = \frac{H}{1 + j \cdot H} \cdot C, \quad (7)$$

де  $C$  – вертикальний параметр траєкторії, який залежить тільки від кута  $\alpha$  нахилу насадки,

$$C = \sin^2 \alpha. \quad (8)$$

За заданої висоти струменя теоретичний напір

$$H = \frac{Z}{C - j \cdot Z}. \quad (9)$$

Розрахунки дальності  $l$  та висоти  $Z$  похилих струменів за формулами (4) і (7) при напорах до 7 м добре збігаються з експериментальними даними [1].

Значення параметрів  $B$  та  $C$  залежно від кутів нахилу  $\alpha$  наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри  $B = f_1(\alpha)$  та  $C = f_2(\alpha)$ 

$\alpha$ , град.	10	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$B$	0,68	1,29	1,73	1,97	2,00	1,97	1,88	1,73	1,53	1,29	1,00	0,68	0,35	0,00
$C$	0,03	0,12	0,25	0,41	0,50	0,59	0,67	0,75	0,82	0,88	0,93	0,97	0,99	1,0

Якщо значення дальності  $l$  та висоти  $Z$  похилих струменів задані, то, прирівнявши формули (6) та (9), можемо одержати

$$\frac{Z}{l} = \frac{C}{B} = \frac{1}{4} \cdot \operatorname{tg} a.$$

Далі можна визначити кут

$$a = \operatorname{arctg} \left( 4 \cdot \frac{Z}{l} \right).$$

Визначені в такий спосіб кути  $\alpha$  нахилу насадки наведено в табл. 3.

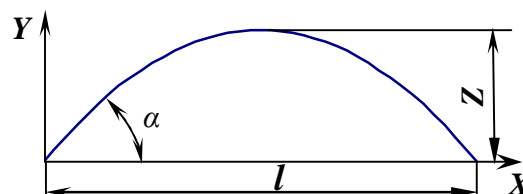


Рис. 3. Схема похилого струменя

Кути нахилу насадок  $\alpha = f_3(Z/l)$ 

$Z/l$	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0
$\alpha$ , град.	45,0	63,5	71,7	75,8	78,5	80,5	81,8	82,8	83,5	84,2	84,8	85,2

Дані табл. 3 нанесено на рис. 4 у вигляді лінії 1, яку при  $Z/l \geq 0,5$  можна апроксимувати формулою

$$\alpha = 90 - \frac{14}{Z/l} \quad (10)$$

Напір  $H_n$  на вході у насадку знайдемо з формули, подібної до (1):

$$Q_n = \frac{\rho d_n^2}{4} \cdot m \cdot \sqrt{2gH_n} = 3,48 \cdot m \cdot d_n^2 \cdot \sqrt{H_n} \quad (11)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати, який враховує втрати напору у насадці.

З порівняння формул (1) і (11) знайдемо

$$H_n = \frac{H}{m^2} \quad (12)$$

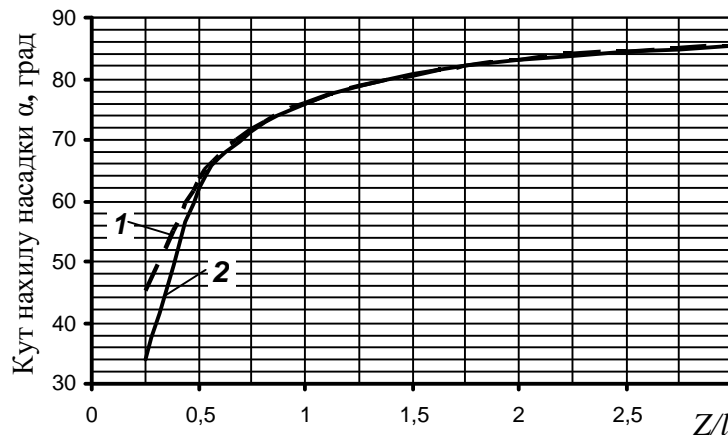


Рис.4. Графік для визначення кута нахилу насадки:  
1 – за параметрами  $B$  та  $C$ ; 2 – за формулою (10)

Для насадки у вигляді зовнішнього циліндра завдовжки  $(3-4) \cdot d_n$  коефіцієнт  $\mu = 0,82$ . Якщо насадкою є коротка труба, тоді

$$m = \frac{1}{\sqrt{1,5 + I \cdot l_n / d_n}} \quad ,$$

де  $l_n$  – довжина насадки;  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя, при турбулентному режимі  $\lambda$  є в межах від 0,011 до 0,045,

$$I = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta_e}{d_n} \right)^{0,25} \quad ;$$

$\text{Re}$  – число Рейнольдса,

$$\text{Re} = \frac{4Q}{\rho d_n v} \quad ;$$

$v$  – кінематична в'язкість;  $\Delta_e$  – еквівалентна шорсткість труб; для поліетиленових труб  $\Delta_e = 0,01$  мм, для сталевих труб, які були в експлуатації,  $\Delta_e = 0,1$  мм;

З використанням описаної методики розраховано світлодинамічний фонтан зі скульптурною композицією на набережній м. Феодосії (рис. 5), дизайн якого розробили спеціалісти львівської фірми «СТАНД–АРТ ГРУП».



*Рис. 5. Фонтан на набережній м. Феодосії*

**Висновки.** У роботі запропоновано формули для визначення напору на насадках та геометричних розмірів похилих фонтанних струменів. Коли під час проектування фонтанів задаються одночасно дальністю та найбільшою висотою струменя, кут нахилу насадки можна визначити після обчислення співвідношення  $Z/l$  за даними табл. 3, або за формулою (10), або з графіка (рис. 4). Цю інформацію використовують у разі вибору типорозмірів насосів для фонтана.

1. Качалов А.А. *Противопожарное водоснабжение* / А.А. Качалов, Ю.Л. Воротынцев, А.В. Власов. – М.: Стройиздат, 1985. – 286 с. 2. Ольшанский В.П. *Приближенные методы расчета гидравлических пожарных струй* / В.П. Ольшанский, В.Н. Халыпа, О.А. Дубовик. – Харьков: Митець, 2004. – 116 с. 3. Спышинов А.С. *Проектирование водопроводов* / А.С. Спышинов. – М.: Госстройиздат, 1951. – 348 с.