

УДК 628.147

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК НАПІРНИХ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Т.П. ХОМУТЕЦЬКА, О.Ю. ПОБЕРЕЗНІЧЕНКО, П.Д. ХОРУЖИЙ
Інститут водних проблем і меліорації НААН

Наведено методикау техніко-економічних розрахунків напірних водоводів у системах подачі й розподілу води та спосіб вибору раціональних діаметрів поліетиленових трубопроводів у сучасних умовах їх вартості.

Ключові слова: економічно вигідний діаметр труб, приведені витрати, питома вартість трубопроводу, економічний фактор, граничні приведені витрати води

Стан вивчення питання та постановка задачі. Нині в Україні для будівництва систем сільськогосподарського водопостачання застосовують переважно поліетиленові трубопроводи, які мають низку суттєвих переваг порівняно з трубопроводами з інших матеріалів: вони довговічні, оскільки не руйнуються внаслідок корозії і не крихкі; мають невеликий гідравлічний опір рухові води, а отже, невеликі втрати напору і витрати електроенергії на транспортування води; мають невелику питому вагу; легко монтуються і витримують значні гідравлічні удари.

При проектуванні систем подачі й розподілу води (СПРВ) потрібно вирішувати питання вибору кількості ліній водоводу і діаметрів

© Т.П. Хомутецька, О.Ю. Поберезніченко, П.Д. Хоружий, 2014
Меліорація і водне господарство. 2014. Вип. 101

водопровідних труб таким чином, щоб вони забезпечували достатню пропускну здатність, а також надійність і економічність роботи систем водопостачання.

При дублюванні водопровідних ліній підвищується ступінь надійності роботи СПРВ і зменшуються витрати електроенергії на транспортування води, проте збільшується будівельна вартість трубопроводів. Оптимальним (правильним) рішенням вважається таке, при якому досягається потрібний ступінь надійності забезпечення всіх споживачів розрахунковою кількістю води під необхідним напором при найменших приведених витратах, що визначаються за формулою [1]:

$$\Pi = C + E_n K, \text{ грн/рік}, \quad (1)$$

де C – річні експлуатаційні витрати, грн/рік; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень у частках одиниці за рік, який приймається на рівні 0,12; K – капіталовкладення, грн.

Зазвичай для спрощення розрахунків порівнюють тільки ті капіталовкладення та експлуатаційні витрати, які не повторюються в однакових величинах у порівнювальних варіантах.

До величини K відносять споруди, вартість яких залежить від діаметра водоводу:

$$K = K_b + K_n, \text{ грн}, \quad (2)$$

де K_b – будівельна вартість водоводу, яку можна виразити як функцію від діаметра труб d і числа ліній водоводу n за формулою [1]:

$$K_b = (a + bd^\alpha)nl, \text{ грн}, \quad (3)$$

a , b і α – параметри аналітичної залежності питомої вартості прокладання трубопроводу; l – довжина кожної лінії водоводу; K_n – будівельна вартість насосної станції, що визначається за формулою [1, 2]:

$$K_n = fr N, \text{ грн}, \quad (4)$$

де f – вартість насосної станції, що припадає на 1 кВт встановленої потужності, грн/кВт; r – коефіцієнт запасу потужності; N – розрахункова потужність насосної станції, кВт, що визначається за формулою:

$$N = \frac{1000Q_p H_p}{102\eta} = \frac{9,8Q_p H_p}{\eta}, \quad (5)$$

η – коефіцієнт корисної дії насосного агрегату; Q_p – розрахункова подача води насосної станції, м³/с; $H_p = H_r + h$ – розрахункова висота

водопідйому, м; H_T – геометрична висота водопідйому, що дорівнює різниці відміток рівнів води в напірному і підземному резервуарах, м; h – втрати напору у водоводі при подачі води Q_p :

$$h = K_{тр} \frac{l}{d^m} Q_1^\beta, \quad (6)$$

де $Q_1 = Q_p / n$ – витрата води по одній лінії водоводу, м³/с.

Дослідження [1] показали, що величина приведених витрат Π залежить від кількості ліній водоводу n і діаметра труб, який визначається за формулою:

$$d = \mathfrak{E}^{\frac{1}{\alpha+m}} \left(\frac{Q_p}{n} \right)^{\frac{\beta+1}{\alpha+m}}, \quad (7)$$

де \mathfrak{E} – економічний фактор, що визначається як

$$\mathfrak{E} = \frac{9,8mK_{тр} [(E_n + P_2)fr + 8760\sigma\gamma]}{\eta b \alpha (E_n + P_1)}, \quad (8)$$

P_1 і P_2 – сума амортизаційних відрахувань і відрахувань на поточний ремонт у відсотках від будівельної вартості, відповідно, трубопроводу і насосної станції; σ – вартість 1 кВт.год електроенергії, коп.; 8760 – кількість годин у році; γ – коефіцієнт, що характеризує нерівномірність водоспоживання протягом року:

$$\gamma = \frac{1}{(K_1 K_2 K_3)^{\beta+1}}, \quad (9)$$

де K_1 , K_2 і K_3 – коефіцієнти, відповідно, погодинної, добової і річної нерівномірності водоспоживання; b і α – коефіцієнт і показник ступеня при d у формулі (3); $K_{тр}$, β і m – коефіцієнт і показники ступенів при Q_1 і d у формулі (6).

Мета роботи – встановити гідравлічні та економічні характеристики (b , α , $K_{тр}$, β і m), що входять до формули (7), для визначення економічно найвигіднішого діаметра нових поліетиленових трубопроводів.

Методика і результати досліджень. На рис. 1 показано графік $K_n = f(d_y)$ залежності питомої вартості поліетиленових трубопроводів від їхнього діаметра в межах 32–315 мм.

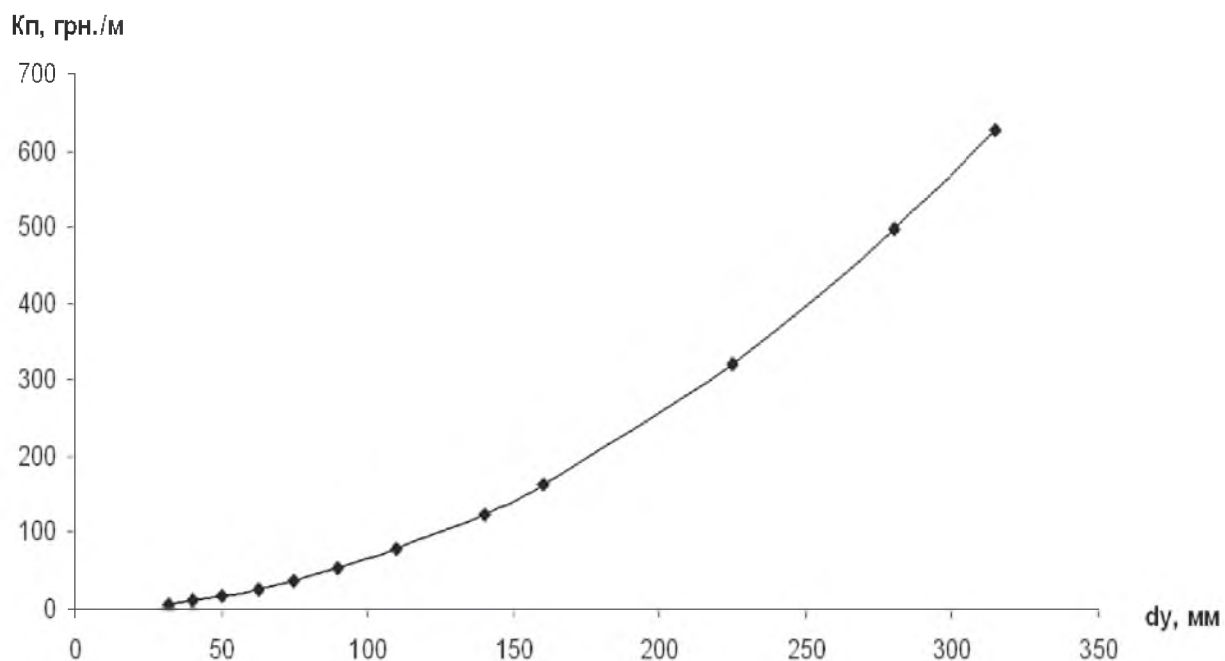


Рис. 1. Графік залежності $K_{п} = f(d_y)$

Параметри a , β і α у формулі (3) були обчислені методом найменших квадратів. Параметр a визначали за формулою:

$$a = \frac{K_{п.1}K_{п.t} - K_{п.сп}^2}{K_{п.1} + K_{п.t} - 2K_{п.сп}}, \quad (10)$$

де $K_{п.сп}$ – питома вартість трубопроводу діаметром $d_{сп} = \sqrt{d_1 d_t}$, яку приймали по графіку $K_{п} = f(d_y)$, побудованому за даними табл. 1 для нинішньої питомої вартості поліетиленових трубопроводів.

1. Питомі вартості поліетиленових трубопроводів $K_{п}$ для діаметрів d_y

d_y , мм	32	40	50	63	75	90	110	140	160	225	280	315
$K_{п}$, гн/м	6,95	10,51	16,16	25,74	36,36	52,2	77,76	124,56	162,36	321,84	496,8	626,4
$K_{п}'$, гн/м	7,02	10,52	16,63	26,11	36,5	52,36	77,88	125,6	163,95	321,83	495,79	626,3
Похибка,%	1	0,1	2,9	1,4	0,4	0,3	0,2	0,8	0,9	0	0,2	0,02

Значення $K_{п.1}$, $K_{п.2}$, ... $K_{п.сп}$, ... $K_{п.t}$ на графіку рис. 1 відповідають діаметрам труб $d_{y.1}$, $d_{y.2}$, ... $d_{y.сп}$, ... $d_{y.t}$, де t – число значень $d_{y.i}$ в табл. 1 ($t = 12$).

Для середнього діаметра $d_{cp} = \sqrt{32 \cdot 315} = 100,4$ мм питома вартість трубопроводу $K_{п.ср} = 65$ грн/м. Отже, параметр a за формулою (10) буде

$$a = \frac{6,95 \cdot 626,4 - 65^2}{6,95 + 626,4 - 2 \cdot 65} = 0,26 \text{ грн/м.}$$

Параметри b і α знаходили після логарифмування рівняння (3):

$$\ln(K_{п,i} - a) = \ln b + \alpha \ln d_i \quad (11)$$

і знаходження мінімуму суми:

$$\sum [\ln b + \alpha \ln d_i - \ln(K_{п,i} - a)]^2. \quad (12)$$

Використовуючи умови мінімуму суми, записали систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} t \ln b + \alpha \sum \ln d_i &= \sum \ln(K_{п,i} - a) \\ \ln b \sum \ln d_i + \alpha \sum (\ln d_i)^2 &= \sum \ln d_i \ln(K_{п,i} - a) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

при розв'язанні якої отримали параметри $b = 6138$ та $\alpha = 1,98$.

У табл. 1 наведено значення питомої вартості поліетиленових трубопроводів $K_{п}'$, отриманих за формулою (3), у порівнянні з кошторисними вартостями цих труб $K_{п}$ для відповідних діаметрів. Як бачимо, похибка не перевищує 3 %.

Формулу (6) можна записати так:

$$1000i = \frac{1000K_{тр}}{d_y^m} Q_1^\beta, \quad (14)$$

де $1000i$ – гідравлічний похил, збільшений у 1000 разів, який приймають, користуючись таблицями [3], для відповідних діаметрів d_y і витрат води Q .

Параметри, що представляють гідравлічні характеристики трубопроводів, визначали за формулами:

$$\beta = \frac{\ln \frac{i_1}{i_2}}{\ln \frac{Q_1}{Q_2}}; \quad (15)$$

$$m = \frac{\ln \frac{i_1}{i_2}}{\ln \frac{d_1}{d_2}} ; \quad (16)$$

$$K = \frac{i_1 d_1^m}{Q_1^\beta} = \frac{i_2 d_2^m}{Q_2^\beta} , \quad (17)$$

де i_1 та i_2 – гідравлічні похили в трубопроводах, відповідно, діаметрами d_1 і d_2 при проходженні по ним води витратами Q_1 і Q_2 .

Витрати води Q_1 і Q_2 для кожного діаметра труб d_y приймали з рекомендованої зони їх застосування [3].

Отримані значення цих розрахункових параметрів наведено в табл. 2.

2. Значення коефіцієнтів і показників ступенів для поліетиленових трубопроводів

Марка труб	a	b	α	$K_{тр}$	β	m
ПЕ100SDR17 (1,0 МПа)	0,26	6138	1,98	0,001052	1,774	4,774

Примітка. коефіцієнти b і $K_{тр}$ приймають для Q , м³/с і d , м.

Для обчислення величини економічного фактора \mathcal{E} , що визначає економічні умови будівництва й експлуатації поліетиленових трубопроводів за формулою (8), приймаємо такі значення параметрів: $m = 4,774$; $K_{тр} = 0,001052$; $E_n = 0,12$; $P_2 = 0,16$; $f = 300$ грн/кВт; $r = 2$; $\sigma = 97,33$ коп./кВт.год; $\gamma = 0,3$; $\eta = 0,7$; $b = 6138$; $\alpha = 1,98$; $P_1 = 0,046$.

Тоді за формулою (8) отримали:

$$\mathcal{E} = \frac{9,8 \cdot 4,774 \cdot 0,001052 [(0,12 + 0,16) \cdot 300 \cdot 2 + 8760 \cdot 0,3 \cdot 97,33]}{0,7 \cdot 6138 \cdot 1,98(0,12 + 0,046)} = 8,92.$$

Порівнюючи значення економічного фактора \mathcal{E} , отриманого для нинішніх економічних умов, з попередніми величинами цього параметра для поліетиленових трубопроводів [3], бачимо, що внаслідок різкого збільшення вартості електроенергії за транспортування води σ і вартості насосної станції f , що припадає на 1 кВт.год встановленої

потужності, цей параметр збільшився в 15–20 разів, тобто значення економічно найвигіднішого діаметра поліетиленового трубопроводу d за формулою (7) нині треба приймати в 1,5 рази більшим порівняно з попередніми значеннями, наведеними в [3].

Значення діаметра, одержане за формулою (7), треба округлити до найближчого діаметра трубопроводу за сортаментом.

Також економічно вигідний діаметр трубопроводу можна визначити, користуючись таблицями граничних економічних витрат води. Граничною економічною витратою води в трубопроводі вважається така, за якої будуть економічно рівноцінними два суміжні діаметри труб. Цю витрату визначають за формулою [2]:

$$Q_{\text{гр}} = \left| \frac{m d_1^m d_2^m (d_2^\alpha - d_1^\alpha)}{E \alpha (d_2^m - d_1^m)} \right|^{\frac{1}{\beta+1}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (18)$$

де d_1 і d_2 – менший і більший суміжні діаметри труб за сортаментом, м.

При $m = 4,774$; $\alpha = 1,98$; $\beta = 1,774$ і $\Theta = 8,92$ формула (18) для поліетиленових трубопроводів має вигляд:

$$Q_{\text{гр}} = \left| \frac{0,27 d_1^m d_2^m (d_2^\alpha - d_1^\alpha)}{d_2^m - d_1^m} \right|^{0,36}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (19)$$

Граничні швидкості води в трубах обчислюють за формулою

$$V_{\text{гр}} = \frac{4Q_{\text{гр}}}{\pi d_p^2}, \text{ м/с}, \quad (20)$$

де d_p – розрахунковий внутрішній діаметр труб:

$$d_p = d_y - 2t, \text{ м}, \quad (21)$$

де t – товщина стінки труби, м.

У табл. 3 наведено значення $Q_{\text{гр}}$ і $V_{\text{гр}}$ для поліетиленових трубопроводів у сучасних вартостях їх будівництва й експлуатації.

**3. Техніко-економічні показники поліетиленових трубопроводів
класу PE100SDR17 (1,0 МПа)**

Умовний прохід d_v , мм	Товщина стінки t , мм	Розрахунковий внутрішній діаметр d_p , мм	Вага 1 п.м, кг	Вартість з ПДВ, грн./п.м	Граничні витрати води $Q_{гр}$, л/с	Граничні швидкості $V_{гр}$, м/с
1	2	3	4	5	6	7
32	2,0	28	0,20	6,95	до 0,14	до 0,22
40	2,4	35,2	0,30	10,51	0,14-0,23	0,14-0,24
50	3,0	44	0,46	16,16	0,23-0,41	0,15-0,27
63	3,8	55,4	0,73	25,74	0,41-0,67	0,17-0,28
75	4,5	66	1,32	36,36	0,67-1,03	0,2-0,30
90	5,4	79,2	1,49	52,20	1,03-1,64	0,21-0,33
110	6,6	96,8	2,21	77,76	1,64-2,47	0,22-0,34
125	7,4	110,2	2,82	99,00	2,47-3,31	0,26-0,35
140	8,3	123,4	3,54	124,56	3,31-4,47	0,28-0,37
160	9,5	141	4,62	162,36	4,47-6,07	0,29-0,39
180	10,7	158,6	5,83	205,56	6,07-7,97	0,31-0,40
200	11,9	176,2	7,20	253,44	7,97-10,44	0,33-0,43
225	13,4	198,2	9,14	321,84	10,44-13,70	0,34-0,44
250	14,8	220,4	11,19	396,00	13,70-17,87	0,36-0,47
280	16,6	246,8	14,06	496,80	17,87-23,66	0,37-0,49
315	18,7	277,6	17,80	626,40	23,66-31,57	0,39-0,52
355	21,1	312,8	22,61	821,40	31,57-42,21	0,41-0,55
400	23,7	352,6	28,63	1036,00	42,21-56,31	0,43-0,58
450	26,7	396,6	36,36	1313,50	56,31-73,92	0,46-0,60
500	29,7	440,6	44,82	1624,30	73,92-96,39	0,49-0,63
560	33,2	493,6	56,16	2035,00	96,39-127,62	0,5-0,67
630	37,4	555,2	71,12	2575,20	127,62-170,28	0,53-0,70
710	42,1	625,8	91,37	4063,50	170,28-227,67	0,55-0,74
800	47,4	705,2	115,85	5152,50	227,67-303,77	0,58-0,78

1	2	3	4	5	6	7
900	53,3	793,4	146,56	6511,50	303,77- 398,75	0,61-0,81
1000	59,3	881,4	181,12	8050,50	398,75- 562,21	0,65-0,92
1200	71,1	1057,8	252,00	11340,00	562,21- 848,59	0,64-0,97
1400	83,0	1234	343,00	15435,00	848,59- 1205,90	0,71-1,01
1600	94,8	1410,4	448,00	20160,00	понад 1205,90	0,77 і вище

Примітка. Вартість 1 п.м труб приведена за станом на квітень 2014 р.

Висновки. У нинішніх економічних умовах будівництва й експлуатації водопровідних ліній змінилися показники для вибору економічно найвигідніших діаметрів труб, а тому існує потреба в їх визначенні.

Для поліетиленових трубопроводів отримано нові параметри з метою визначення їхньої питомої вартості, а порівняння результатів розрахунку за формулою (3) з кошторисними вартостями цих труб показало, що похибка не перевищує 3%.

У зв'язку із значним збільшенням вартості 1 кВт.год електроенергії за транспортування води збільшилися значення економічного фактора Ξ у формулі (7) для визначення економічно найвигідніших діаметрів трубопроводів. Для практичних розрахунків діаметри поліетиленових трубопроводів доцільно вибирати, користуючись табл. 3.

1. *Хоружий П.Д.* Расчет гидравлического взаимодействия водопроводных сооружений / П.Д. Хоружий. – Львов: Вища школа, изд-во при Львов. ун-те, 1983. – 152 с.

2. *Хоружий П.Д.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П.Д. Хоружий, Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. – К.: Аграрна наука. – 2008. – 534 с.

3. *Шевелев Ф.А.* Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. – М.: Стройиздат, 1984. – 116 с.

Приведена методика технико-экономических расчетов напорных водоводов в системах подачи и распределения воды и представлен способ выбора рациональных диаметров полиэтиленовых трубопроводов в современных условиях их стоимости.

The article describes a method of techno-economic calculations of pressure conduits in water supply and distribution systems, and shows how to select rational diameters of polyethylene pipes in view of varying their prices.