

ВПЛИВ ЗНАЧЕННЯ КУТІВ ПРИЄДНАННЯ ВХІДНИХ СТРУМЕНІВ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ ШЛЯХОВОГО ПРИТОКУ ВОДИ ДО НАПІРНОГО ТРУБОПРОВОДУ-ЗБИРАЧА

© Чернюк В. В., Іванів В. В., 2017

Представлено результати експериментального вивчення шляхового притоку води до напірного трубопроводу-збирача (ТЗ) залежно від значення кута приєднання вхідних струменів b . Внутрішній діаметр експериментального ТЗ $D=20,18$ мм, а вхідних насадок – $d = 6,01$ мм. Довжина ТЗ становила 2494 мм, в тому числі перфорована частина $l=1800$ мм. Відстані між насадками рівні 180 мм. Напір води H зовні ТЗ змінювали в межах від 300 до 1600 мм. Досліджено ТЗ із кутами приєднання струменів: 0° ; 45° ; 90° ; 135° ; 180° . Також випробувано ТЗ у якому $b \neq const$: на початковій ділянці насадки встановлені з кутом $b = 0^\circ$, а в середній і кінцевій – $b = 180^\circ$. Найбільшу нерівномірність притоку до ТЗ, отримано при $b = const = 135^\circ$, а найменшу для ТЗ з $b \neq const$. Виявлено, що підбором різних значень кутів приєднання струменів b уздовж ТЗ можна регулювати нерівномірність притоку рідини до ТЗ.

Ключові слова: напірний трубопровід-збирач; кут приєднання струменя, нерівномірність притоку рідини.

V. Cherniuk, V. Ivaniv

Lviv Polytechnic National University,
Department hydraulics and sanitary engineering

INFLUENCE OF VALUE OF INPUT JETS INFLOW ANGLES ON NON-UNIFORMITY OF WATER INFLOW INTO PRESSURE PIPELINE-COLLECTORS ALONG PATH

© Cherniuk V., Ivaniv V., 2017

Results of the experimental investigation of water inflow into a pressure pipe-collector (PC) depending on the value of the inflow angle b of the input jets are presented. The inner diameter of the experimental PC was of $D=20.18$ mm, and that of the output nozzles was of $d=6.01$ mm. The total length of the PC was 2494 mm, and its perforated part was of $l = 1800$ mm. The distances between the nozzles were equal to 180 mm. The water head H outside the PC was varied from 300 to 1600 mm. PCs with the inflow angles of jets of: 0° ; 45° ; 90° ; 135° ; 180° have been investigated. A PC in which $b \neq const$ has been also tested: in its initial segment, the nozzles were installed at the angle of $b = 0^\circ$, and in the middle and terminal segments at the angle of $b = 180^\circ$. The greatest non-uniformity of inflow into the PC, was obtained at $b = const = 135^\circ$, and the least one for a PC with $b \neq const$. It has been detected that by means of selection of different values of inflow angle b of input jets along PC the non-uniformity of water inflow into PC can be adjusted.

Key words: pressure pipe-collector; inflow angle of jet, non-uniformity of fluid inflow.

Вступ. Напірні трубопроводи-збирачі (ТЗ) застосовуються у різних технологічних процесах, наприклад, у водопостачанні (інфільтраційні водозабори), водовідведенні, вентиляції (витяжні

системи), водопониженні [1, с. 312–314] й ін. Точний гідравлічний розрахунок напірних ТЗ можна зробити лише за допомогою рівнянь руху рідини зі змінною витратою [2]. Досліджувалися різні способи регулювання нерівномірності шляхового притоку води до напірних ТЗ, [3; 4]. У цих працях вивчалися ТЗ лише з ортогональним приєднанням струменів. У роботі [1, с. 312–364] представлено основи методики розрахунку напірних ТЗ, яка ґрунтується на розв’язанні диференціального рівняння руху рідини зі змінною витратою. Ця методика забезпечує розрахунок ТЗ з різними геометричними характеристиками та враховує значення кутів приєднання струменів b .

Мета роботи. Дослідити нерівномірність шляхового притоку води до напірних трубопроводів-збирачів залежно від значення кутів приєднання вхідних струменів до основного потоку в ТЗ.

Експериментальний стенд. Докладно експериментальний стенд описано у роботі [5]. У цій статті подано лише принципову схему роботи ТЗ (рис. 1). Геометричні параметри досліджуваного ТЗ такі: внутрішній діаметр – $D=20,18$ мм; довжина – 2494 мм, зокрема його перфорована частина – 1800 мм. У стінку трубопроводу вмонтовано одинадцять вхідних циліндричних насадок з внутрішнім діаметром $d = 6,01$ мм (рис. 2) та відстанню між ними 180 мм. Співвідношення діаметрів $d/D=0,298$ мм. Для забезпечення регулювання значення кута приєднання струменів b , насадки встановлені з можливістю повороту відносно їхньої поздовжньої осі.

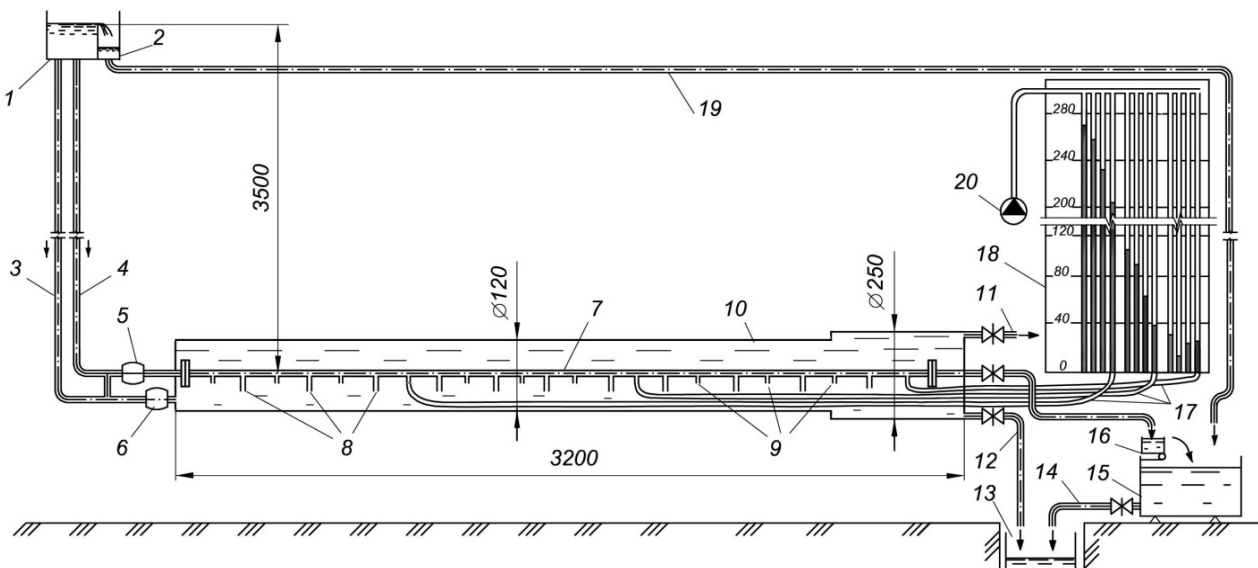


Рис. 1. Принципова схема експериментального стенду: 1 – напірний бак з переливною стінкою; 2 – скидний бак; 3, 4 – подавальні труби; 5, 6 – лічильники води; 7 – трубопровід-збирач; 8 – вхідні насадки; 9 – штуцери для приєднання імпульсних ліній від п'єзометрів; 10 – футляр; 11 – патрубок для випуску повітря; 12 – опорожнювальна труба; 13 – водозбірний лоток; 14 – скидна труба; 15 – приймальний бак; 16 – мірний бак; 17 – імпульсні лінії; 18 – п'єзометричний щит; 19 – скидний трубопровід; 20 – компресор (імпульсні лінії від штуцерів 1-3, 5-7, 9-11 не показано; розміри подано в мм)

Досліджено п'ять ТЗ у кожному з яких усі насадки монтували з однаковими значеннями кута b : 0° ; 45° ; 90° ; 135° ; 180° . Схему відліку кута b показано на рис. 3. Також досліджено один ТЗ у якого п'ять насадок на початковій ділянці були встановлені з кутом $b = 0^\circ$, а решта шість, – на середній і кінцевій ділянках, – з кутом $b = 180^\circ$. Напір води H_{out} (рис. 4) в футлярі 4 (рис. 4), тобто зовні експериментального ТЗ, змінювали в межах від 300 до 1600 мм. Значення температур води T в ТЗ під час дослідів коливалось у межах $18,0 - 26,0^\circ\text{C}$.

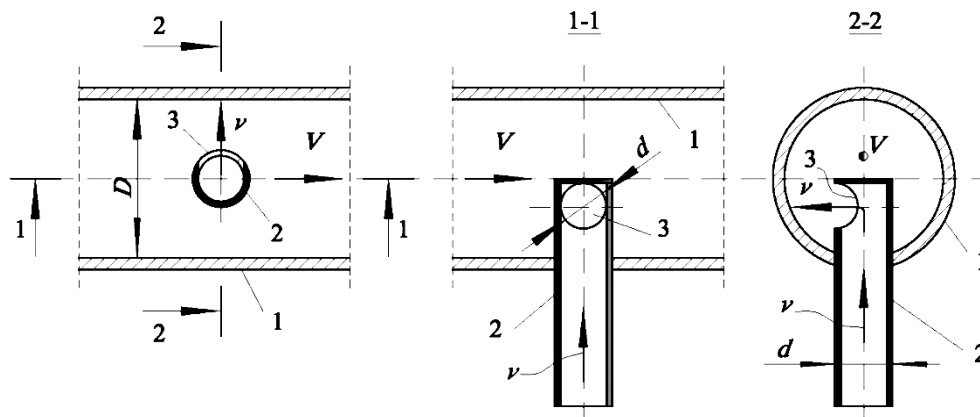


Рис. 2. Схема встановлення насадки у трубопроводі-збирачі: 1 – стінка ТЗ; 2 – вхідна циліндрична насадка; 3 – вихідний отвір насадки; V – середня швидкість основного потоку в ТЗ; v – те саме, струменя, що входить крізь насадку в ТЗ

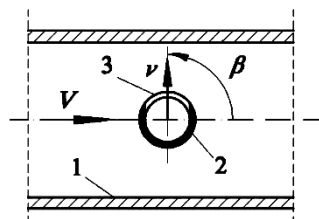


Рис. 3. Схема відліку кута b : 1 – стінка ТЗ; 2 – вхідна насадка з $b = 90^\circ$ (поперечний розріз); 3 – вихідний отвір насадки; V – середня швидкість основного потоку в ТЗ; v – те саме, струменя, що входить крізь насадку в ТЗ

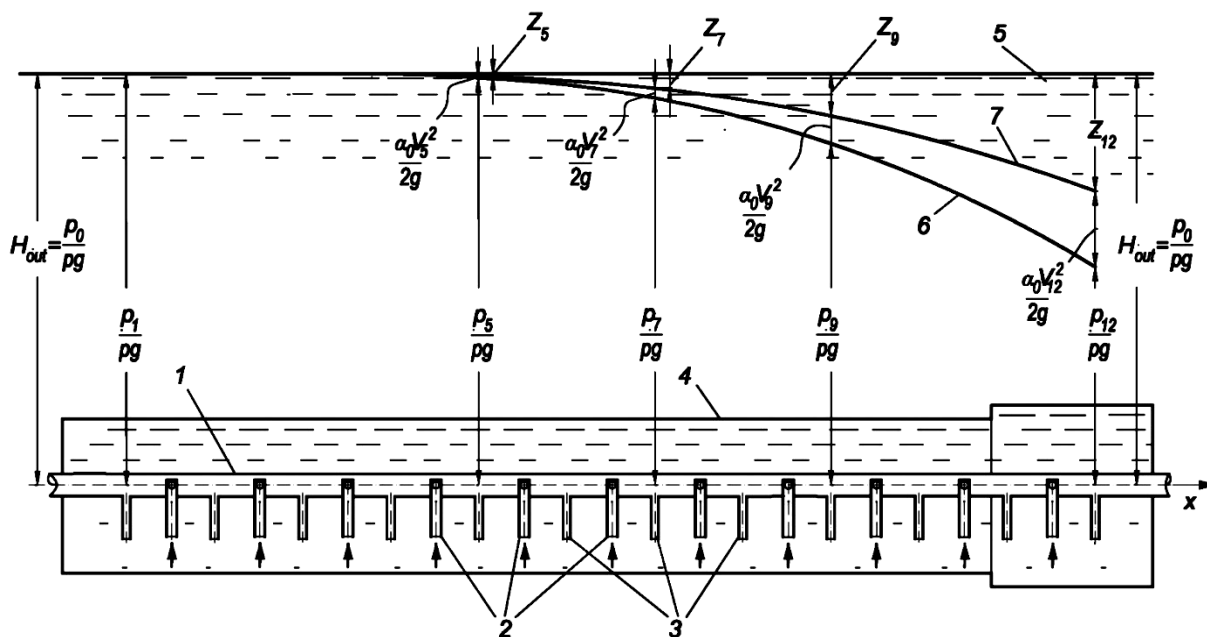


Рис. 4. Схема для розрахунку трубопроводу-збирача: 1 – ТЗ; 2 – насадки; 3 – штуцери для приєднання імпульсних ліній від п'єзометрів; 4 – футляр; 5 – рівень води, що відповідає напору в футлярі; 6 – п'єзометрична лінія для потоку води усередині ТЗ; 7 – те саме, лінія повного робочого напору; x – вісь ТЗ

Математична обробка експериментальних даних. Робочий напір на i -й від початку ТЗ вхідній насадці обчислювали за формулою:

$$Z_i = H_{\text{out}} - \frac{p_i}{\rho g} - \frac{a_0 V_i^2}{2g}, \quad (1)$$

де H_{out} – фактичний напір ззовні трубопроводу-збирача; $p_i / \rho g$ – п'єзометричний напір на i -й насадці; $a_0 V_i^2 / 2g$ швидкісний напір основного потоку в ТЗ перед i -ю насадкою.

Притік води всередину ТЗ крізь i -ту насадку обчислювали теоретично, залежно від робочого напору Z_i на ній:

$$q_i = m_i w \sqrt{2gZ_i}, \quad (2)$$

де m_i – коефіцієнт витрати насадки, його значення $m = f(Re_d)$ для досліджуваних насадок встановлено експериментально [6, 7]; w – площа поперечного перерізу насадки; g – коефіцієнт прискорення вільного падіння; Z_i – робочий напір i -їй насадці (див. (1)).

Витрату води в ТЗ в створі k -ої насадки, розташованої після i -ої насадки, опираючись на вирази (1) і (2), обчислювали за формулою:

$$q_k = \sum_{i=1}^k q_i + m_k w \cdot \sqrt{\left[2gH_{out} - \frac{2p_k}{r} - a_0 \left(\sum_{i=1}^{k-1} \frac{q_i}{W} \right)^2 \right]} \quad (3)$$

де $\sum_{i=1}^k q_i$ – витрата води в створі ТЗ перед k -ою насадкою; m_k – коефіцієнт витрати вхідної насадки з порядковим номером k ; w – площа поперечного перерізу насадки; H_{out} – фактичний напір рідини ззовні трубопроводу-збирача; p_k/r – п'єзометричний напір на k -їй насадці (рис. 4); a_0 – коефіцієнт Коріоліса, $a_0 = 1.05$; W – площа поперечного перерізу ТЗ.

Нерівномірність розподілу робочих напорів Z_i уздовж ТЗ [8]:

$$h_z = \frac{Z_m}{Z_{beg}}, \quad (4)$$

де Z_m – максимальний або мінімальний напір на насадках, у наших дослідах це напір на останній насадці, $Z_m = Z_{end} = Z_k = Z_{11}$; Z_{beg} – напір на першій насадці, $Z_{beg} = Z_1$.

Нерівномірність розподілу шляхового притоку води q_i до трубопроводу-збирача [8]:

$$h_q = \frac{q_m}{q_{beg}}, \quad (5)$$

де q_m – максимальний або мінімальний притік крізь одну насадку, $q_m = q_{end} = q_k = q_{11}$; q_{beg} – притік крізь першу насадку, $q_{beg} = q_1$.

Результати експериментальних досліджень. З метою коректного порівняння впливу значення кутів b на нерівномірність шляхового притоку води до напірних ТЗ, експериментальні дані представлено для близьких за значенням критеріїв Рейнольдса. Для трубопроводів-збирачів з кутами $b = const$ експериментальні дані аналізували при $Re_D = 12979$ – 13810 , а для ТЗ з $b \neq const$ – при $Re_D = 7965$ – 8196 . Розподіл робочих напорів $Z_i = f(l)$ всередині ТЗ та притоку води $q = f(l)$ до ТЗ наведено відповідно на рис. 5, а та рис. 5, б для кутів b , рівних: 0° ; 45° ; 90° ; 135° ; 180° . У кожному з п'яти ТЗ, представлених на рис. 5, значення кута b було однаковим для усіх одинадцяти вхідних насадок.

Значення коефіцієнтів витрати m вхідних насадок (для формул (2) і (3)) представлено у табл. 1 для $b = const$, де менші значення m відносяться до більших значень Re_d [6, 7].

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів витрати вхідних насадок залежно від кута b

Значення кутів b	0°	45°	90°	135°	180°
Значення коефіцієнта витрати m	0,681-0,588	0,623-0,558	0,652-0,600	0,721-0,551	0,622-0,547
Критерій, Re_d	4182-9368	4537-10162	3693-11666	2473-12863	3285-12203

Примітка: Значення коефіцієнта витрати m наведено для співвідношення $d/D = 0,298$.

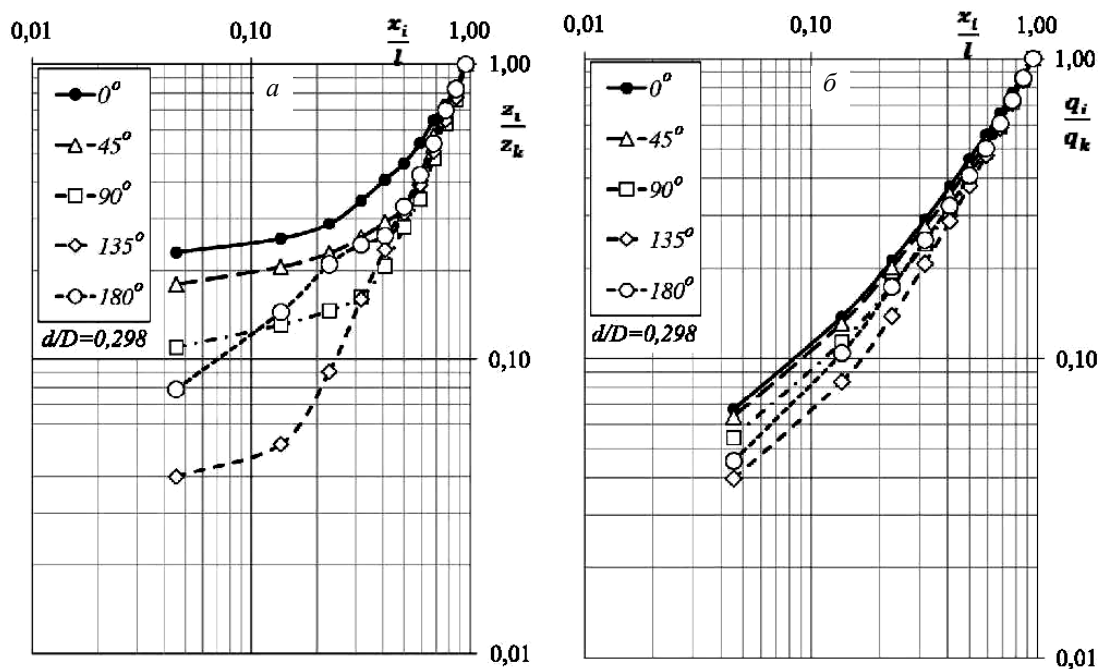


Рис. 5. Розподіл робочих напорів (а) та притоку води (б) для п'ятих різних трубопроводів-збирачів, які мали постійні по довжині значення кута приєднання струменів b : 0° ($Re_D=12979$); 45° ($Re_D=13631$); 90° ($Re_D=13575$); 135° ($Re_D=13781$); 180° ($Re_D=13810$)

Таблиця 2

Нерівномірність розподілу робочих напорів у ТЗ h_z та притоку рідини до ТЗ h_q

Кут b	Робочі напори на насадках, мм		$h_z = \frac{Z_{max}}{Z_{beg}}$	Притік крізь насадки, $см^3/с$		$h_q = \frac{q_{max}}{q_{beg}}$	Критерій Рейнольдса, Re_D
	Z_{beg}	Z_{max}		q_{beg}	q_{max}		
0°	29,50	128,79	4,37	14,70	218,03	14,83	12979
45°	30,00	167,23	5,57	13,56	212,87	15,70	13631
90°	23,00	209,89	9,13	12,42	228,04	18,36	13575
135°	8,50	213,37	25,10	8,34	210,18	25,20	13781
180°	15,00	189,90	12,66	9,57	210,62	22,01	13810

Примітка: Таблиця 2 побудована за даними графіків, представлених на рис. 5.

Найменшу нерівномірність розподілу повних робочих напорів уздовж напірного ТЗ h_z отримано при $b = 0^\circ$ (рис. 5, а та табл. 2). Найменшу нерівномірність шляхового притоку води до ТЗ h_q отримано також для ТЗ з $b = 0^\circ$ (рис. 5, б та табл. 2).

Для ТЗ з комбінованою орієнтацією насадок, $b \neq const$, отримано менші значення h_z (рис. 6, а, табл. 3) і h_q (рис. 6, б, табл. 3), ніж для ТЗ з $b = 0^\circ$ та ТЗ з $b = 180^\circ$ для усіх насадок. Залежність $q = f(l)$ для п'яти перших насадок обчислювалися з коефіцієнтами витрати $m = 0,881-0,645$ ($Re_d = 943-5472$), а для решти шести – $m = 0,734-0,563$ ($Re_d = 1039-7296$).

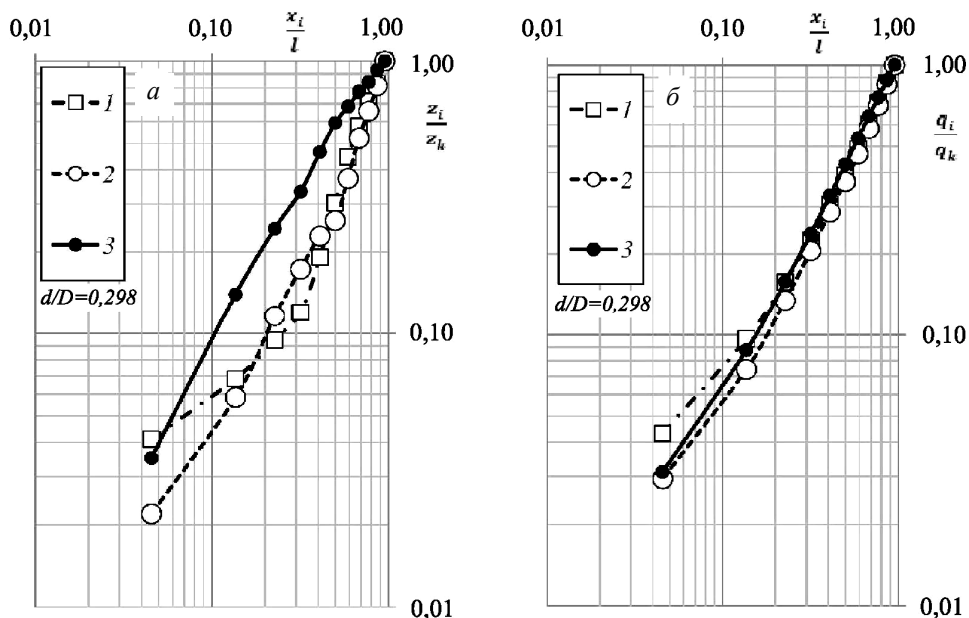


Рис. 6. Розподіл робочих напорів ТЗ (а) та шляхового притоку води (б) для різних ТЗ за близьких значень критерію Рейнольдса: 1 – комбінований ТЗ, перші п'ять насадок установлено з кутом $b = 0^\circ$, решта шість – з кутом $b = 180^\circ$, при $Re_D = 8006$; 2 – ТЗ із $b = 180^\circ$, $Re_D = 7965$; 3 – ТЗ із $b = 0^\circ$, $Re_D = 8196$

Таблиця 3

Нерівномірність розподілу робочих напорів h_z та притоку води h_q до різних ТЗ

Кут b	Робочі напори на насадках, мм		$h_z = \frac{Z_{max}}{Z_{beg}}$	Притік крізь насадках, $см^3/с$		$h_q = \frac{q_{max}}{q_{beg}}$	Критерій Рейнольдса, Re_D
	Z_{beg}	Z_{max}		q_{beg}	q_{max}		
0°	1,50	42,84	28,56	4,28	137,69	32,14	8196
180°	1,50	68,45	45,63	3,57	121,48	34,01	7965
0° та 180° (комбінований ТЗ)	3,00	73,04	24,35	5,80	134,49	23,19	8006

Примітка: таблиця 3 побудована за даними графіків, представлених на рис. 6.

Висновки. Досліджено роботу п'яти напірних трубопроводів-збирачів з кутом приєднання струменів $b = const$ та одного ТЗ з комбінованою орієнтацією насадок, $b \neq const$. Діаметри усіх ТЗ $D = 20,18$ мм, а вхідних насадок – $d = 6,01$ мм. Співвідношення $d/D = 0,298$. Для п'ятиох ТЗ кутам b надавали значень: 0° ; 45° ; 90° ; 135° ; 180° . Для ТЗ з комбінованою орієнтацією насадок, перші п'ять насадок встановлено з кутом $b = 0^\circ$, а решта шість – з $b = 180^\circ$. Найбільшу нерівномірність шляхового притоку води до напірних ТЗ, отримано для

$b = \text{const} = 135^\circ$, а найменшу – для ТЗ з комбінованою орієнтацією насадок. Виявлено, що підбором різних значень кутів приєднання струменів $b \neq \text{const}$ уздовж ТЗ можна регулювати нерівномірність притоку рідини до ТЗ.

1. Яхно О. М. Напірні потоки зі змінними характеристиками: монографія / О. М. Яхно, В. В. Чернюк, Р. М. Гнатів // – Львів: Нац. ун-т “Львівська політехніка”. – 2016. – 408 с.
2. Навоян Х. А. Примеры гидравлических расчётов водопропускных сооружений / Х. А. Навоян. – К.: Будівельник, 1975. – 148 с.
3. Волощук В. А. Дослідження гідравлічних опорів і гідравлічні розрахунки трубопроводів з дискретно змінними витратами уздовж потоку: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.16 Гідравліка і інженерна гідрологія” / Волощук Володимир Андрійович. – Рівне: Рівненськ. держ. техн. ун-т, 2001. – 217 с.
4. Кравчук А. М. Гідравліка змінної маси напірних трубопроводів технічних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.16 “Гідравліка і інженерна гідрологія” / А. М. Кравчук. – К., 2004. – 35 с.
5. Чернюк В. В. Стенд для дослідження притоку в напірний трубопровід-збирач, прокладений у потоці рідини / В. В. Чернюк, В. В. Іванів // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Наук.-техн. збірник. Випуск 25. – К.: Київ. нац. ун-т будівництва і архітектури, 2015. – С. 286–294.
6. Vasyl Ivaniv. Influence of Jet-To-Main Stream Turning Angle in Fluid Flow from Cylindrical Nozzle of Collector-Pipeline on Flow Coefficient / Ivaniv Vasyl, Cherniuk Volodymyr // Czasopismo Inżynierii lądowej, środowiska i architektury. Journal of civil engineering, environment and architecture (p-ISSN 2300-5130), (e-ISSN 2300-8903). JCEEA, tom XXXIII, z. 63 (4/2016), październik-grudzień 2016. – S. 229–238.
7. Іванів В. В. Вплив кута приєднання струменів на нерівномірність притоку до напірного трубопроводу-збирача залежно від критерію Рейнольдса / В. В. Іванів // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2016. – Вип. № 63. – С. 286–292.
8. Смыслов В. В. Гидравлический расчет перфорированных цилиндрических трубопроводов с раздачей расхода / В. В. Смыслов, Н. О. Езерский // Гидравлика и гидротехника. – 1980. – Вып. 30. – С. 52–59.

References

1. Yakhno O. M., Cherniuk V. V., Hnativ R. M. Napirni potoky zi zminnyimi kharakterystykamy: monohrafiia [Enforced flows with variable characteristics: monograph] Lviv.: Lviv Polytechnic National University, 2016, 408 p.
2. Navoyan H. A. Primeryi gidravlicheskih raschotov vodopropusknyih sooruzheniy [Examples of hydraulic calculations of culverts], Kyiv, Budivelnik, 1975, 148 p.
3. Voloshchuk V. A. Doslidzhennia hidravlichnykh oporiv i hidravlichni rozrakhunky truboprovodiv z dyskretno zminnyimi vytratamy uzдовzh potoku [Investigation of hydraulic resistances and hydraulic calculations of pipelines with discrete variable costs along the stream]. Ph.D. dissertation: 05.23.16 “Hydraulics and engineering hydrology” Rivne, Rivne. State Technical University, 2001, 20 p.
4. Kravchuk A. M. Hidravlika zminnoi masy napirnykh truboprovodiv tekhnichnykh system: [Hydraulics of variable mass for pressure pipeline of engineering systems], abstract of dissertation for the degree of doctor technical science into specials. 05.23.16 “Hydraulics and engineering hydrology”, Kyiv, 2004, 35 p.
5. Cherniuk V. V., Ivaniv V. V. Stend dlia doslidzhennia prytohu v napirnyi truboprovod-zbyrach, prokladenyi u pototsi ridyny [Experimental test-beanches for study of inflow into pressure pipeline-collector laid in a fluid flow] The problems of water supply, sanitation, and hydraulics. Nauk.-Tech. collection. vol. 25, Kyiv. Kyiv. nat. University of Construction and Architecture, 201, p. 286–294.
6. Vasyl Ivaniv, Cherniuk Volodymyr. Influence of Jet-To-Main Stream Turning Angle in Fluid Flow from Cylindrical Nozzle of Collector-Pipeline on Flow Coefficient. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture (p-ISSN 2300-5130), (e-ISSN 2300-8903). JCEEA, volume XXXIII, vol. 63 (4/2016), October-December 2016, p. 229–238.
7. Ivaniv V. V. Vplyv kuta pryiednannia strumeniv na nerivnomirnist prytohu do napirnoho truboprovodu-zbyracha zalezno vid kryteriiu Reinoldsa. [The influence of angles of joining the jets on the non-uniformity of inflow to the pressure pipe-collector, depending on the reynolds criterion]. Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture. 2016, Vol. No. 63, p. 286–292.
8. Smyislov V. V., Ezerskiy N. O. Gidravlicheskiy raschet perforirovannyih tsilindricheskih truboprovodov s razdachey raskhoda. [Hydraulic calculation of perforated cylindrical pipelines with flow distribution]. Hydraulics and hydraulic engineering. Vol. 30, 1980, P. 52–59.