

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.

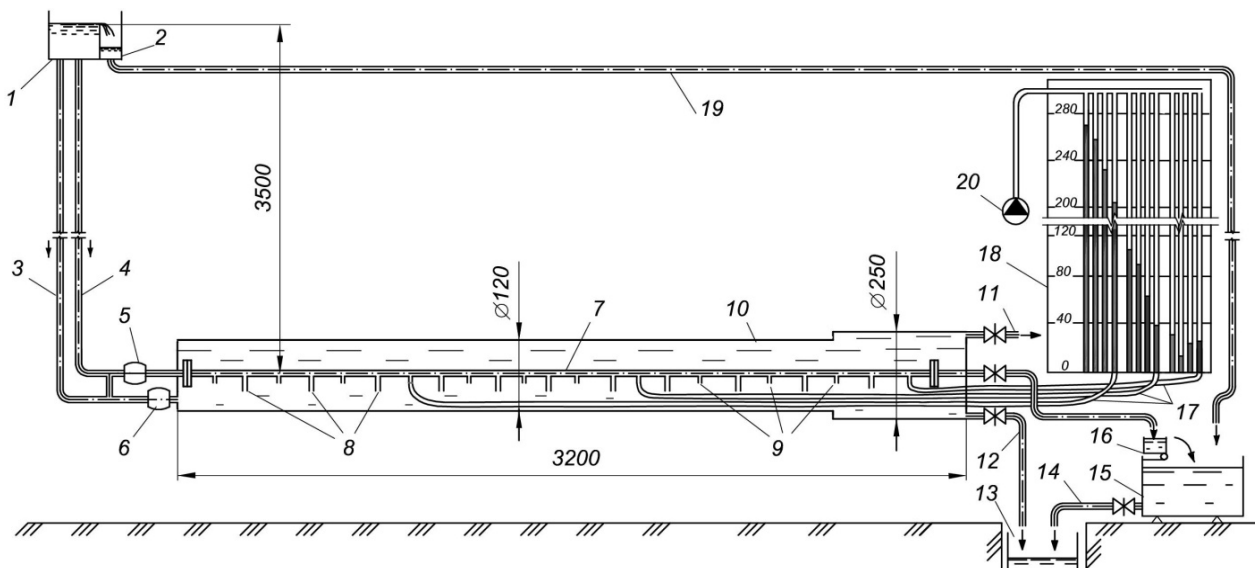


Рис. 1. Принципова схема експериментального стенду: 1 – напірний бачок з переливною стінкою; 2 – скидний бачок; 3, 4 – подавальні труби; 5, 6 – лічильники води; 7 – трубовід-збирач; 8 – вхідні насадки; 9 – штуцери для приєднання імпульсних ліній від п'єзометрів; 10 – футляр; 11 – патрубок для випуску повітря; 12 – опорожнювальна труба; 13 – водозбірний лоток; 14 – скидна труба; 15 – приймальний бак; 16 – мірний бачок; 17 – імпульсні лінії; 18 – п'єзометричний щит; 19 – скидний трубовід; 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 $18,0 - 26,0^\circ C$.

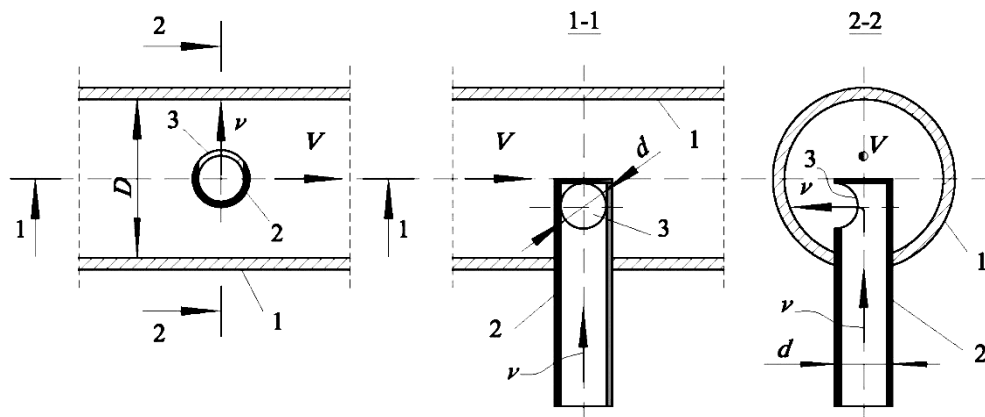


Рис. 2. Схема встановлення насадки у трубопроводі-збирачі: 1 – стінка ТЗ; 2 – вхідна циліндрична насадка; 3 – вихідний отвір насадки; V – середня швидкість основного потоку в ТЗ; v – те саме, струменя, що входить крізь насадку в ТЗ

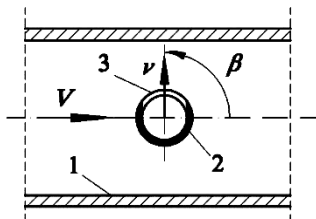


Рис. 3. Схема відліку кута β : 1 – стінка ТЗ; 2 – вхідна насадка з $\beta = 90^\circ$ (поперечний розріз); 3 – вихідний отвір насадки; V – середня швидкість основного потоку в ТЗ; v – те саме, струменя, що входить крізь насадку в ТЗ

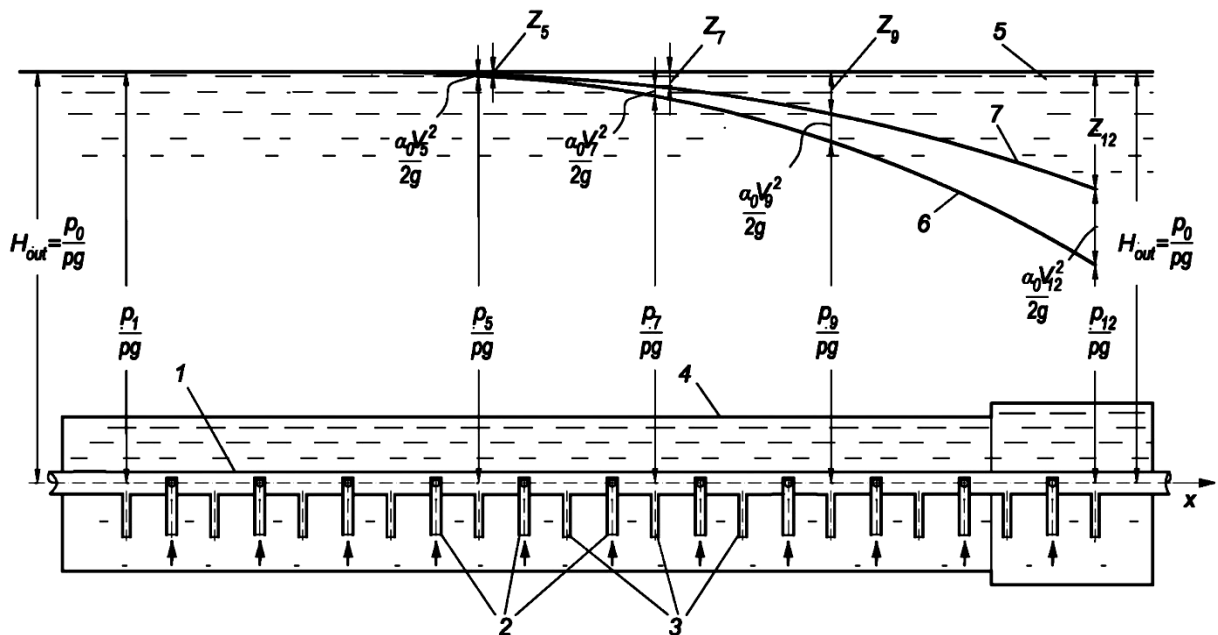


Рис. 4. Схема для розрахунку трубопроводу-збирача: 1 – ТЗ; 2 – насадки; 3 – штуцери для приєднання імпульсних ліній від п'єзометрів; 4 – футляр; 5 – рівень води, що відповідає напору в футлярі; 6 – п'єзометрична лінія для потоку води усередині ТЗ; 7 – те саме, лінія повного робочого напору; x – вісь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

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

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

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].

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 $d/D = 0,298$.

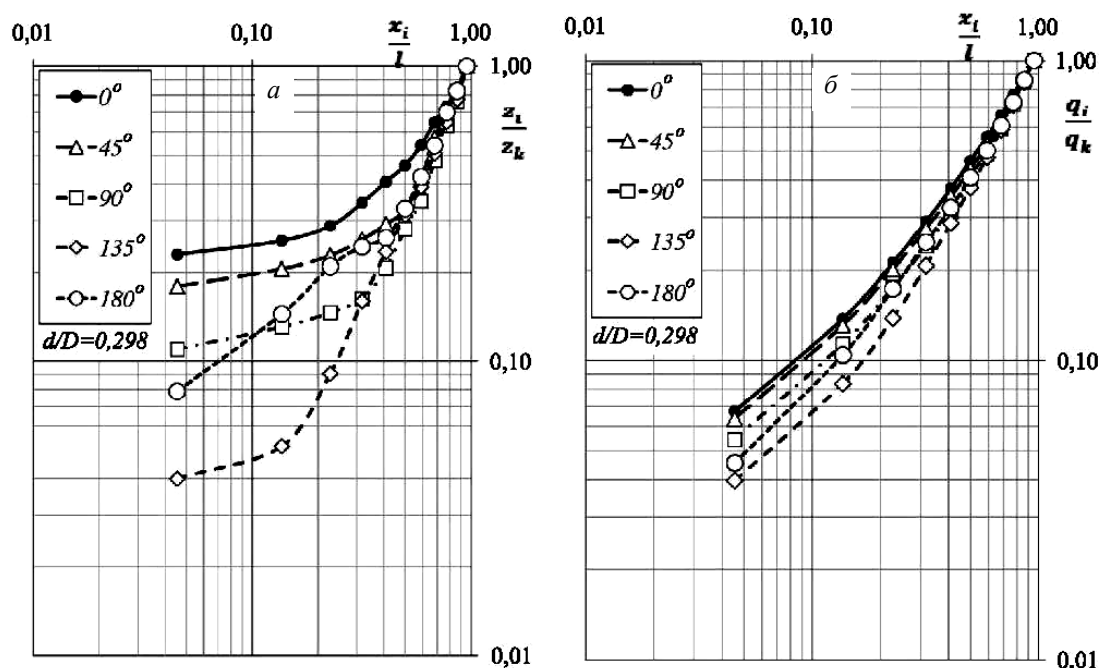


Рис. 5. Розподіл робочих напорів (а) та притоку води (б) для п'ятих різних трубопроводів-збирачів, які мали постійні по довжині значення кута приєднання струменів b : 0° ($Re_D=12979$); 45° ($Re_D=13631$); 90° ($Re_D=13575$); 135° ($Re_D=13781$); 180° ($Re_D=13810$)

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 – $m = 0,734-0,563$ ($Re_d = 1039-7296$).

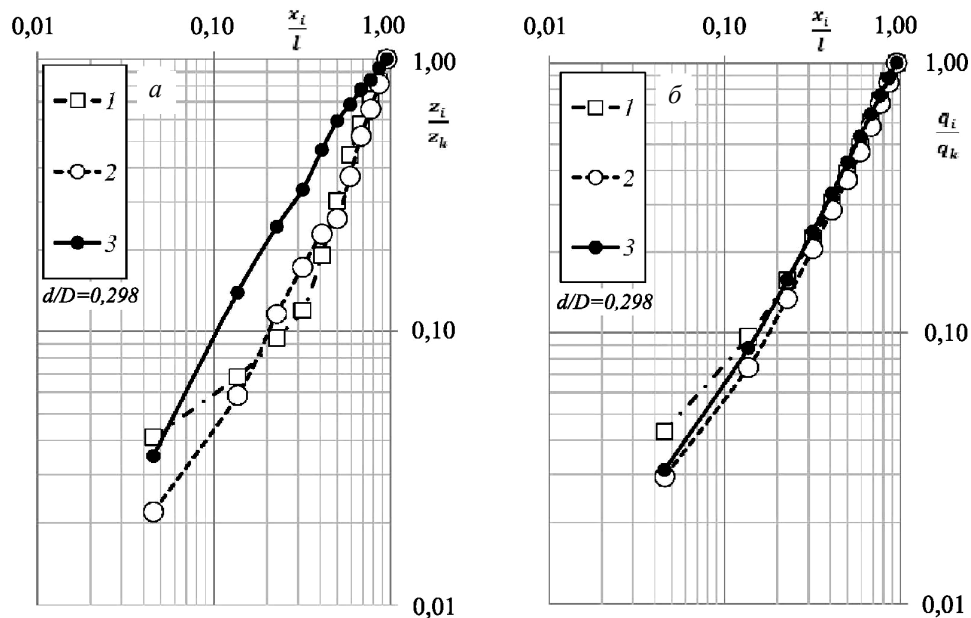


Рис. 6. Розподіл робочих напорів ТЗ (а) та шляхового притоку води (б) для різних ТЗ за близьких значень критерію Рейнольдса: 1 – комбінований ТЗ, перші п'ять насадок встановлено з кутом $b = 0^\circ$, решта шість – з кутом $b = 180^\circ$, при $Re_D = 8006$; 2 – ТЗ із $b = 180^\circ$, $Re_D = 7965$;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

$b = const = 135^\circ$, а найменшу – для ТЗ з комбінованою орієнтацією насадок. Виявлено, що підбором різних значень кутів приєднання струменів $b \neq const$ 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 łądowej, 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 zminnyu 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 zminnyu vytratamy uzdovzh 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 prytoku v napirnyi truboprovid-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 prytoku 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.*