

## ВПЛИВ ТРАНЗИТНОЇ ВИТРАТИ ВОДИ НА РОЗДАЧУ ТА ПРИТІК КРИЗЬ НАСАДКИ В НАПІРНОМУ ТРУБОПРОВОДІ

© Чернюк В. В., Іванів В. В., 2016

Експериментально досліджувався вплив транзитної витрати води на шляхову її роздачу на початковій ділянці та притік у середній і кінцевій ділянках трубопроводу, оснащеного насадками, на який діяв зовнішній напір. Кутам  $b$  між векторами швидкостей потоку в трубопроводі та струменів, які приєднувались крізь насадки, надавали значень:  $0^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $90^\circ$ ;  $135^\circ$ ;  $180^\circ$ . Значення кутів  $b$  на ділянці від'єднання струменів були відповідно на  $180^\circ$  градусів більшими. Діаметр трубопроводу  $D=20.18$  мм, насадок –  $d=8.02$  мм. Відстані між насадками – 180 мм, а їх кількість – 11. Напір води зовні трубопроводу змінювали в межах 1200-2000 мм, транзитну витрату на його вході – 3,5–155,0  $\text{cm}^3/\text{s}$ , критерій Рейнольдса  $Re_D$  – 12711–15926. Збільшення витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  спричинявало посилення нерівномірності розподілу робочих напорів і розподілу витрат води уздовж трубопроводу на ділянці її роздачі. На ділянці збирання спостерігалась зворотна тенденція. Кількість насадок, крізь які роздавалась вода, зростала із збільшенням  $Q_{tr}$ . При куті  $b=315^\circ$  довжина ділянки роздачі води була найкоротшою.

**Ключові слова:** розподільний трубопровід; трубопровід-збирач; рух рідини зі змінною витратою.

The Influence of transitional flow rate of water upon dispensing along its path in the initial segment and upon its inflow in the middle and terminal segment of a pipeline equipped with nozzles under the action of external hydraulic head is experimentally investigation. The angle  $b$  between vectors of the velocities of the stream in the pipeline and the inflowing jets through the nozzles were assigned the following values:  $0^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $90^\circ$ ;  $135^\circ$ ;  $180^\circ$ . The values of the angle  $b$  in the segment of outflowing jets were correspondingly greater by  $180^\circ$ . The diameter of the pipeline  $D=20.18$  mm, the diameter of the nozzle  $d=8.02$  mm. The distances between the nozzle were 180 mm, and the number of them was 11. The value of hydraulic parameters of the stream was being varied within the following ranges: water head outside the pipeline from 1200 to 2000 mm; transitional flow rate at its inlet from 3.5 to 155.0  $\text{cm}^3/\text{s}$ ; Reynolds criterion from 12711 to 15926. The increase in the flow rate  $Q_{tr}$  of transitional stream caused enhance of ununiformity of distribution of working heads and that of flow rates of water along the pipeline in the segment of its dispensing. In the collecting segment, reverse tendency was observed. The number of nozzles through which water was dispensed increased with the increase of  $Q_{tr}$ , For  $Q_{tr} \leq 20$   $\text{cm}^3/\text{s}$  no dispersion of water was observed. For the angle  $b=135^\circ$  in the segment of dispersion, which corresponded to  $b=135^\circ$  in the segment of collection, the water was dispensed through the least number of nozzles, and the length of the segment of water dispersing was the shortest one.

**Key words:** distributive pipeline, collector pipeline, variable flow rate fluid flow.

**Вступ.** Напірні потоки зі змінною шляховою витратою рідини поширені у багатьох виробничих процесах. Їх поділяють на трубопроводи-збирачі (ТЗ) і розподільні трубопроводи (РТ).

ТЗ застосовують у теплопостачанні (сонячні колектори [1, с. 312]), водопостачанні (водозабірні споруди з трубчастими оголовками [1, с. 317; 2]), меліорації (осушувальні системи), водопониженні [1, с. 313], вентиляції (витяжні системи [1, с. 312]), енергетиці [1, с. 358], авіаційній промисловості (випробувальні камери для реактивних двигунів [1 с. 318] тощо).

Розподільними трубопроводами послуговуються в іригації (краплинне [1, с. 252]), внутрішньогрунтове й поверхнєве зрошення); водному транспорті (розподільні системи живлення шлюзів і великогабаритних доків); водопостачанні (протипожежні системи [1, с. 252] та градирні оборотних систем водопостачання [1, с. 273]), водовідведенні (розосереджені випуски очищених стічних вод [1, с. 272]), вентиляції (припливні системи), сільськогосподарській авіації (обприскування рослин [1, с. 273]), енергетиці [1, с. 311], машинобудуванні (розподільні паливні магістралі багатоциліндрових двигунів внутрішнього згоряння [1, с. 253]) тощо.

Виробничі процеси у переважній більшості випадків потребують забезпечення рівномірного шляхового притоку рідини до ТЗ або її розміреної роздачі уздовж РТ. Відомі наукові публікації стосуються роботи РТ й ТЗ з ортогональним приєднанням і відгалуженням струменів та за відсутності транзитних витрат рідини [3–5].

**Мета роботи:** дослідити вплив значення транзитної витрати води на нерівномірність її роздачі та притоку в напірному трубопроводі з насадками залежно від значень кута від'єднання та приєднання струменів.

**Експериментальний стенд.** Докладно експериментальний стенд наведено в роботі [6]. У цій статті подано лише принципову схему роботи експериментального трубопроводу (ЕТ) (рис. 1). У досліджуваній ЕТ і в футляр воду скеровували з одного напірного бачка 1, але різними подавальними трубопроводами: 2 – в футляр і 3 – в ЕТ. Автономне підведення води дозволяло створювати в ЕТ напори, більші, ніж у футлярі. Таким чином регулювали витрати транзитного потоку води в ЕТ.

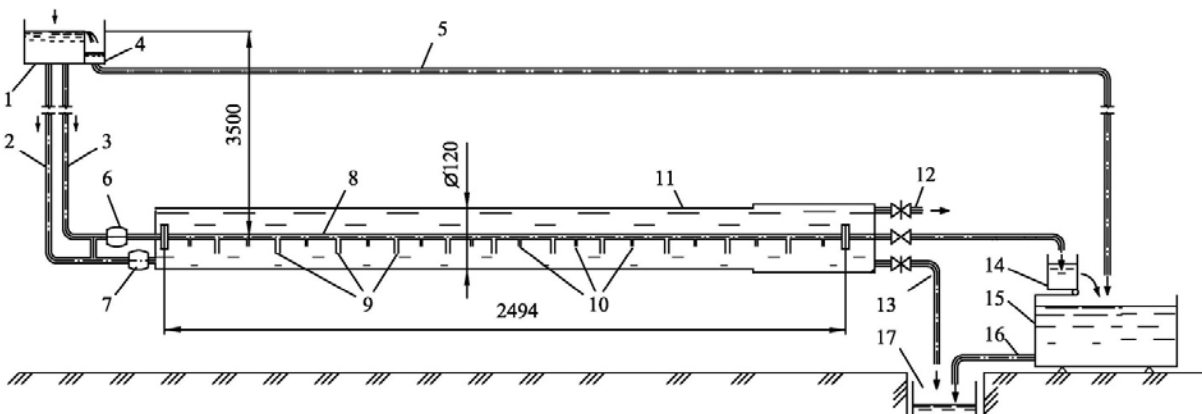


Рис. 1. Принципова схема експериментального стенду: 1 – напірний бачок з переливною стінкою; 2, 3 – подавальні трубопроводи; 4 – скидний бачок; 5 – скидний трубопровід; 6, 7 – витратоміри; 8 – експериментальний трубопровід; 9 – насадки; 10 – штуцери для приєднання імпульсних ліній від п'єзометрів; 11 – прозорий футляр; 12 – патрубок для випуску повітря; 13 – опорожнювальна труба; 14 – мірний бачок; 15 – приймальний бак; 16 – скидна труба; 17 – водозбірний лоток; (циркуляційну помпу, п'єзометри й імпульсні лінії не показано)

Латунний ЕТ з внутрішнім діаметром  $D = 20,18$  мм, який працював у напірному режимі, змонтовано у прозорому циліндричному футлярі 11 (рис. 1). У стінці ЕТ закріплено одинадцять насадок з можливістю обертання навколо їхніх поздовжніх осей (рис. 2). Обертанням насадок регулювали кут  $b$  між напрямками руху вхідних (вихідних у випадку роздачі води) струменів й

основного потоку в ЕТ (рис 2). Випробовування проводили при значеннях кута  $b$  (рис. 3):  $0^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $90^\circ$ ;  $135^\circ$ ;  $180^\circ$ . Довжина ЕТ дорівнює 2494 мм, зокрема перфорована частина – 1800 мм. Відстані між насадками 180 мм. Їхні внутрішні діаметри –  $d = 8,02$  мм. Значення транзитної витрати води  $Q_{tr}$ , подаваної на вхід в ЕТ, змінювали від  $3,5$   $см^3/с$  до  $155,0$   $см^3/с$ , а напір води  $H$  зовні ЕТ (в футлярі) – від 1200 до 2000 мм. Рух води в ЕТ самопливний. Схему напорів води, які діють на потік в ЕТ, наведено на рис. 4. Значення критерію Рейнольдса  $Re_D$  змінювали від 12711 до 15926. Температура води  $T$  була в межах  $15,5-19,0$   $^\circ C$ .

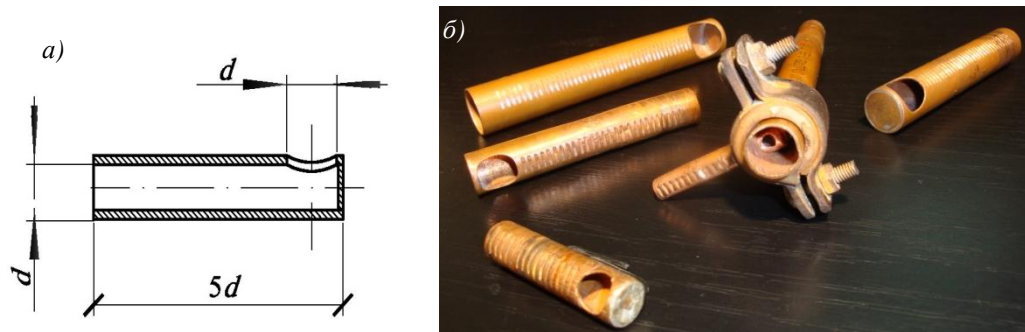


Рис. 2. Циліндричні насадки з різними діаметрами та з ортогональним бічним отвором: а – схема; б – загальний вигляд, в центрі насадка, змонтована в ЕТ

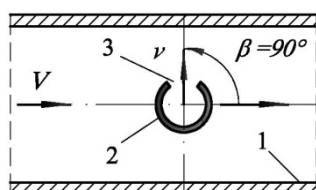


Рис. 3. Схема відліку кута  $b$  приєднання струменів до потоку в трубопроводі-збирачі: 1 – стінка ТЗ; 2 – вхідна насадка з  $b = 90^\circ$  (поперечний розріз); 3 – вихідний отвір насадки;  $V$  – середня швидкість основного потоку в ТЗ;  $v$  – те саме, струменя, що входить крізь насадку в ТЗ

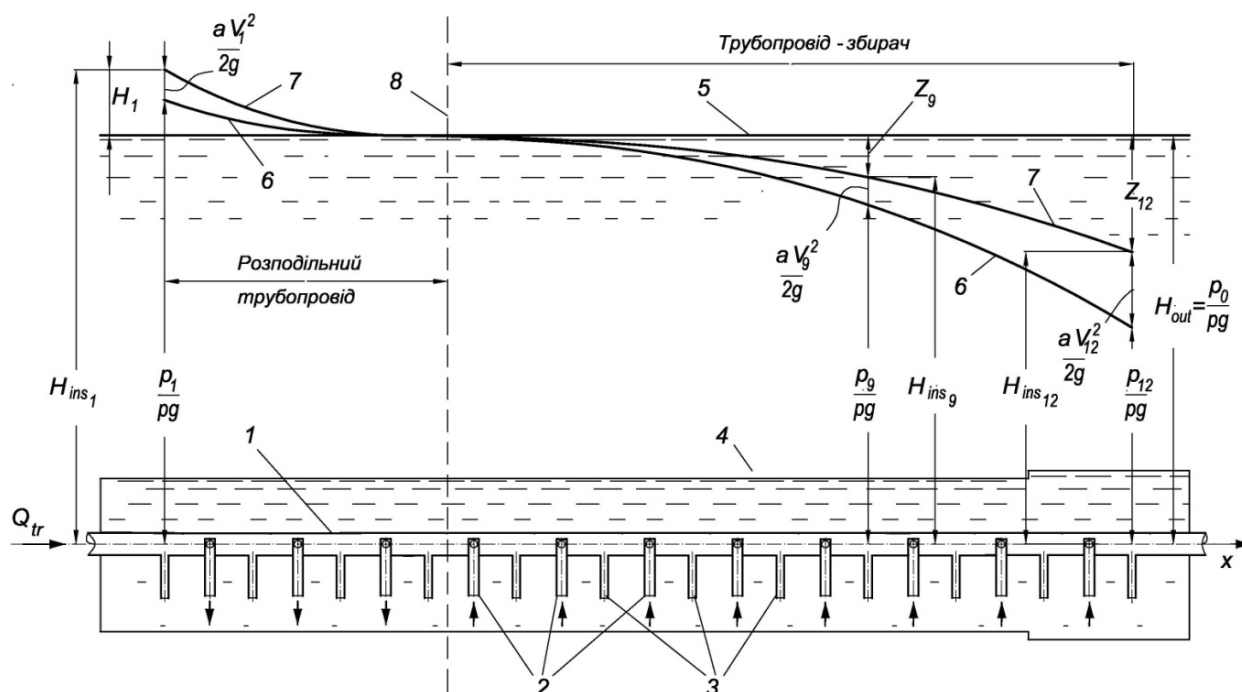


Рис. 4. Схема напорів, які діють на потік в експериментальному трубопроводі з насадками: 1 – ЕТ; 2 – насадки; 3 – штуцери для приєднання імпульсних ліній від п'єзометрів; 4 – футляр; 5 – рівень води, що відповідає напору в футлярі; 6 – п'єзометрична лінія для потоку води усередині ЕТ; 7 – те саме, лінія повного робочого напору; 8 – межа РТ та ТЗ;  $x$  – вісь ЕТ

**Математична обробка експериментальних даних.** Робочий напір  $H_i$  на  $i$ -ій, від початку експериментального трубопроводу, вихідній насадці, або  $Z_i$  – на вхідній насадці, обчислювали за формулою:

$$H_i = H_{out} - \frac{p_i}{rg} - \frac{aV_i^2}{2g}, \quad Z_i = H_{out} - \frac{p_i}{rg} - \frac{aV_i^2}{2g}, \quad (1)$$

де  $H_{out}$  – фактичний напір ззовні ЕТ;  $p_i/rg$  – п'єзометричний напір на  $i$ -й насадці;  $aV_i^2/2g$  – швидкісний напір потоку всередині ЕТ перед створом  $i$ -ї насадки. Значення робочих напорів  $H_i$  на ділянці роздачі води (РТ) отримували зі знаком мінус тому, що повний напір потоку у розподільному трубопроводі  $H_{ins}$  був більшим, ніж напір  $H_{out}$  зовні нього (рис. 4).

Роздачу води з РТ у футляр або притік її з футляру всередину ЕТ крізь  $i$ -ту насадку обчислювали теоретично, залежно від робочого напору  $H_i$  або  $Z_i$  на насадці (див. рис. 3):

$$q_{i,нас.РТ} = m_i w \sqrt{2gH_i}, \quad q_{i,нас.ТЗ} = m_i w \sqrt{2gZ_i}, \quad (2)$$

де  $m_i$  – коефіцієнт витрати насадки, його значення  $m = f(Re_d)$  для досліджуваних вхідних насадок в ТЗ нами встановлено експериментально [7];  $w$  – площа поперечного перерізу насадки;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $H_i$  – робочий напір на вихідній насадці;  $Z_i$  – те саме, на вхідній (1).

Витрату води в експериментальному трубопроводі у створі  $i$ -ї насадки обчислювали, з урахуванням виразів (1) і (2), за формулою:

$$Q_i = Q_{tr} + \sum_{i=1}^{i-1} q_i + m_i w_i \sqrt{\left(2gH_{out} - \frac{2p_i}{r} - aV_{i-1}^2\right)}, \quad (3)$$

де  $Q_{tr}$  – транзитна витрата основного потоку в ЕТ;  $\sum_{i=1}^{i-1} q_i$  – витрата потоку води в ЕТ у створі перед  $i$ -ю насадкою;  $m_i$  – коефіцієнт витрати насадки з порядковим номером  $i$ ;  $w_i$  – площа поперечного перерізу насадки;  $H_{out}$  – фактичний напір води ззовні ЕТ (у футлярі);  $p_i/rg$  – п'єзометричний напір на  $i$ -ій насадці (рис. 4);  $a$  – коефіцієнт Коріоліса,  $a=1,05$ ;  $V_{i-1} = \frac{Q_{i-1}}{\Omega}$  – швидкість потоку в ЕТ перед  $i$ -ю насадкою;  $\Omega$  – площа поперечного перерізу ЕТ,  $\Omega = const$ .

Значення критерію Рейнольдса обчислювали за формулою:

$$Re_D = VD/\nu, \quad (4)$$

де  $D$  – внутрішній діаметр експериментального трубопроводу;  $V$  – середня швидкість основного потоку в ЕТ;  $\nu$  – кінематична в'язкість води.

Кінематичну в'язкість води знаходили залежно від її температури за формулою [8]:

$$\nu = \frac{177,5 \cdot 10^{-8}}{1 + 0,0337T + 0,000221T^2}, \quad (5)$$

де  $T$  – температура води, °С.

Нерівномірність розподілу робочих напорів у розподільному трубопроводі:

$$h_z = H_{beg} / H_m, \quad (6)$$

де  $H_{beg}$  – напір на першій вихідній насадці;  $H_m$  – мінімальний напір на вихідних насадках, у наших дослідках це напір на останній насадці розподільного трубопроводу.

Нерівномірність розподілу робочих напорів у трубопроводі-збирачі [9]:

$$h_z = Z_m / Z_{beg}, \quad (7)$$

де  $Z_m$  – максимальний напір на вхідних насадках, у наших дослідках це напір на останній вхідній насадці;  $Z_{beg}$  – напір на першій вхідній насадці трубопроводу-збирача.

Нерівномірність роздачі води з розподільного трубопроводу:

$$h_q = q_{beg} / q_m, \quad (8)$$

де  $q_{beg}$  – витрата води крізь першу вихідну насадку;  $q_m$  – мінімальна з витрат води крізь вихідні насадки, у наших дослідах це остання вихідна насадка на ділянці роздачі води (остання перед вертикаллю 8, що на рис. 4).

Нерівномірність притоку води до трубопроводу-збирача [9]:

$$h_q = q_m / q_{beg} \quad (9)$$

де  $q_m$  – найбільший з притоків крізь вхідні насадки, у наших дослідах це остання насадка на ТЗ;  $q_{beg}$  – притік крізь першу насадку на ділянці збору води (перша після вертикалі 8 на рис. 4).

**Результати експериментальних досліджень.** Як видно з рис. 4, робочий напір на насадках вхідної частини експериментального трубопроводу більший, ніж напір води в футлярі. На зображеній схемі – це перші три насадки. Отож вхідна частина експериментального трубопроводу працює як розподільний трубопровід, тобто на роздачу води. На решті насадок повний робочий напір менший, ніж у футлярі, тому середня та кінцева ділянки ЕТ працюють у режимі трубопроводу-збирача.

Розподіл робочих напорів  $H = f(l)$ ,  $Z = f(l)$  і витрат води  $q = f(l)$ ,  $Q = f(l)$  уздовж обох названих ділянок ЕТ (роздачу на початковій – РТ, і притік в середній і кінцевій – ТЗ) графічно зображено на рис. 5–9: робочі напори в ТЗ і РТ відповідно, із залежностями (а) і (б); витрати води крізь окремі насадки в ТЗ і РТ наведено на графіках (в) та (г) відповідно; витрати води всередині ТЗ і РТ – (д) і (е). Порівняльний аналіз нерівномірності розподілу робочих напорів і витрат води в РТ і ТЗ залежно від значення транзитної витрати наведено в табл. 1 і 2 та на рис. 10 і 11.

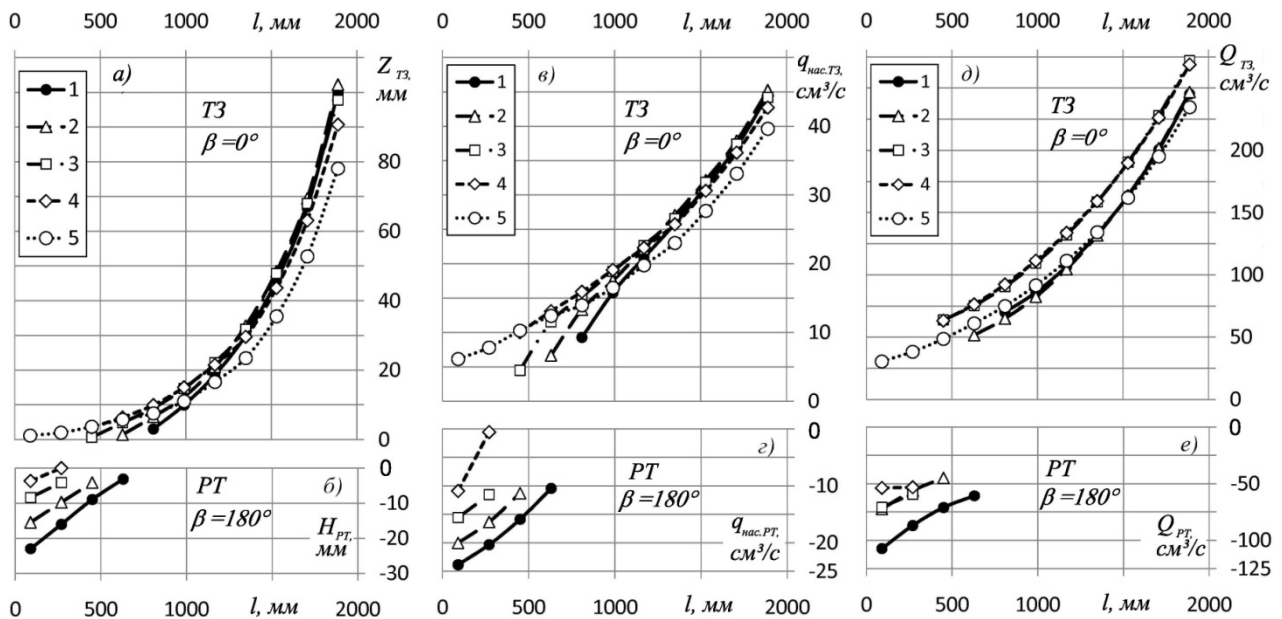


Рис. 5. Розподіл за довжиною ЕТ: а – робочих напорів у ТЗ; б – те саме, в РТ; в – витрат води крізь окремі насадки в ТЗ; г – те саме, в РТ; д – витрат води всередині ТЗ; е – те саме, в РТ, для кутів приєднання струменів в ТЗ  $\beta = 0^\circ$  і від'єднання в РТ -  $\beta = 180^\circ$  за різних значень витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  в  $\text{см}^3/\text{с}$ : - (1); 92,43 - (2); 86,33 - (3); 64,57 - (4); 24,37 - (5)

Усі одинадцять насадок установлювали з однаковим значенням кута  $\beta$  по усій довжині експериментального трубопроводу. На початковій ділянці ЕТ вони роздавали воду, а на середній і кінцевій ділянках збирали. При роздачі води напрямок течії в насадках змінювався на протилежний

відносно того, що був у випадку збирання. З цієї причини значення кутів  $\beta$  для насадок, які опинялись на ділянці розподільного трубопроводу, змінювалось на  $180^\circ$ . Співвідношення значень кутів  $\beta$  для розподільного трубопроводу зі значеннями  $\beta$  для трубопроводу-збирача подано в табл. 3.

Верхні частини рис. 5–9 стосуються трубопроводу-збирача, нижні – розподільного трубопроводу. Оскільки з РТ відбувається роздача води, то величини  $H$ ,  $Q_{нас.РТ}$  і  $Q_{РТ}$  для РТ взято на цих графіках зі знаками мінус.

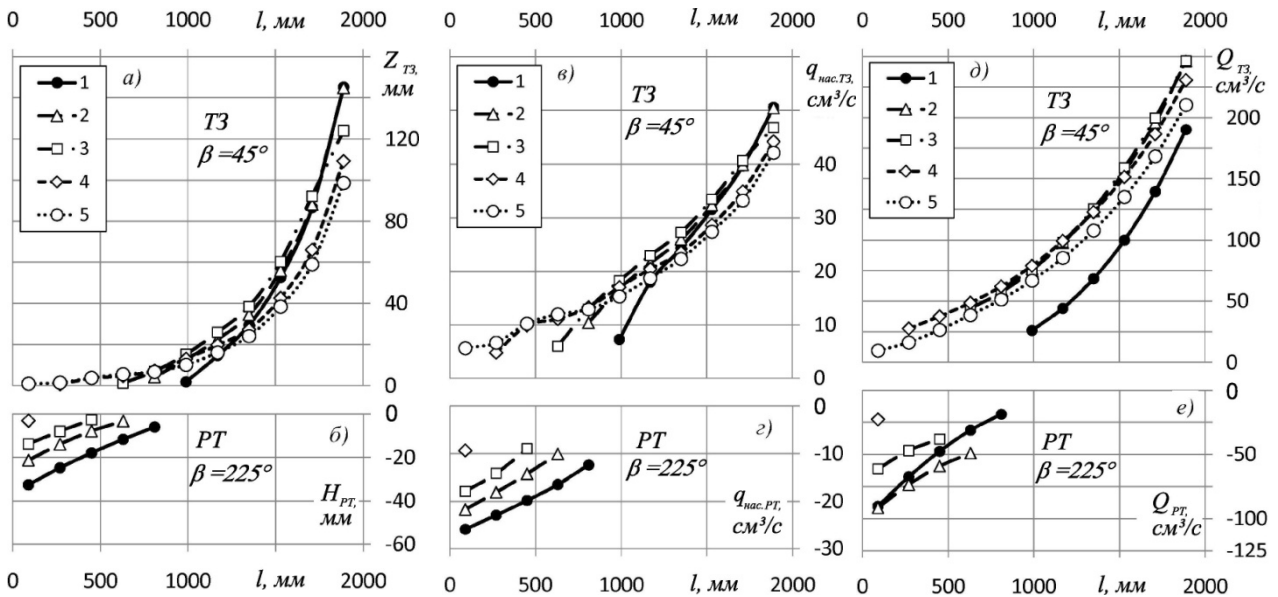


Рис. 6. Розподіл за довжиною ЕТ: а – робочих напорів в ТЗ; б – те саме, в РТ; в – витрат води крізь окремі насадки в ТЗ; г – те саме, в РТ; д – витрат води всередині ТЗ; е – те саме, в РТ, для кутів приєднання струменів в ТЗ  $\beta = 45^\circ$  і від'єднання в РТ -  $\beta = 225^\circ$  при різних значеннях витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  в  $см^3/с$ : 116,20 - (1); 113,25 - (2); 79,13 - (3); 32,22 - (4); 3,98 - (5)

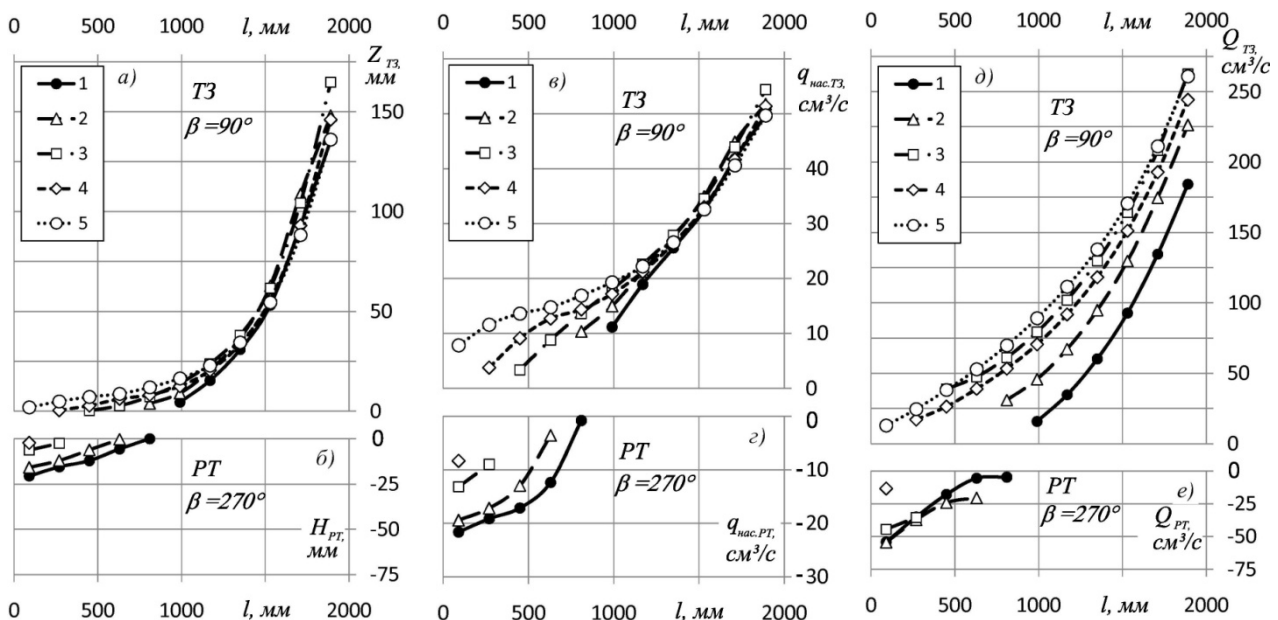


Рис. 7. Розподіл за довжиною ЕТ: а – робочих напорів в ТЗ; б – те саме, в РТ; в – витрат води крізь окремі насадки в ТЗ; г – те саме, в РТ; д – витрат води всередині ТЗ; е – те саме, в РТ, для кутів приєднання струменів в ТЗ  $\beta = 90^\circ$  і від'єднання в РТ -  $\beta = 270^\circ$  при різних значеннях витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  в  $см^3/с$ : 75,81 - (1); 73,81 - (2); 57,52 - (3); 21,68 - (4); 5,11 (5)

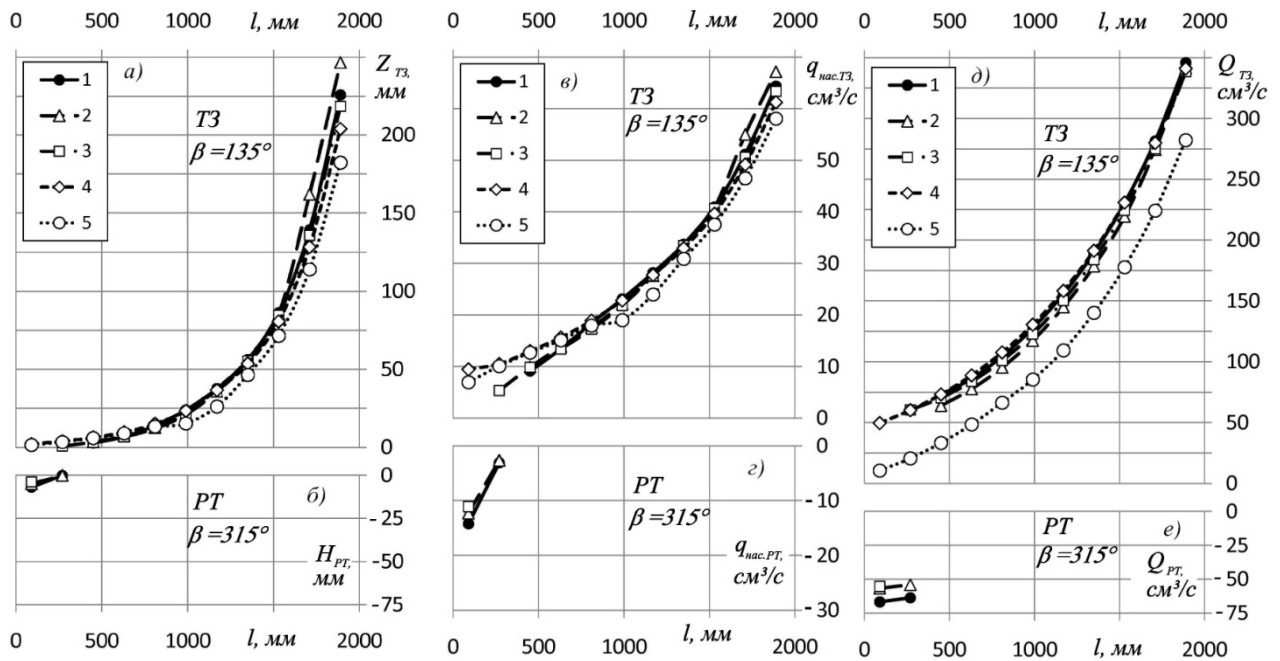


Рис. 8. Розподіл за довжиною ЕТ: а – робочих напорів в ТЗ; б – те саме, в РТ; в – витрат води крізь окремі насадки в ТЗ; г – те саме, в РТ; д – витрат води всередині ТЗ; е – те саме, в РТ, для кутів приєднання струменів в ТЗ  $\beta = 135^\circ$  і від'єднання в РТ -  $\beta = 315^\circ$

при різних значеннях витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  в  $см^3 / с$  :  
 80,93 - (1); 68,98 - (2); 66,29 - (3); 40,25 - (4); 3,66 - (5)

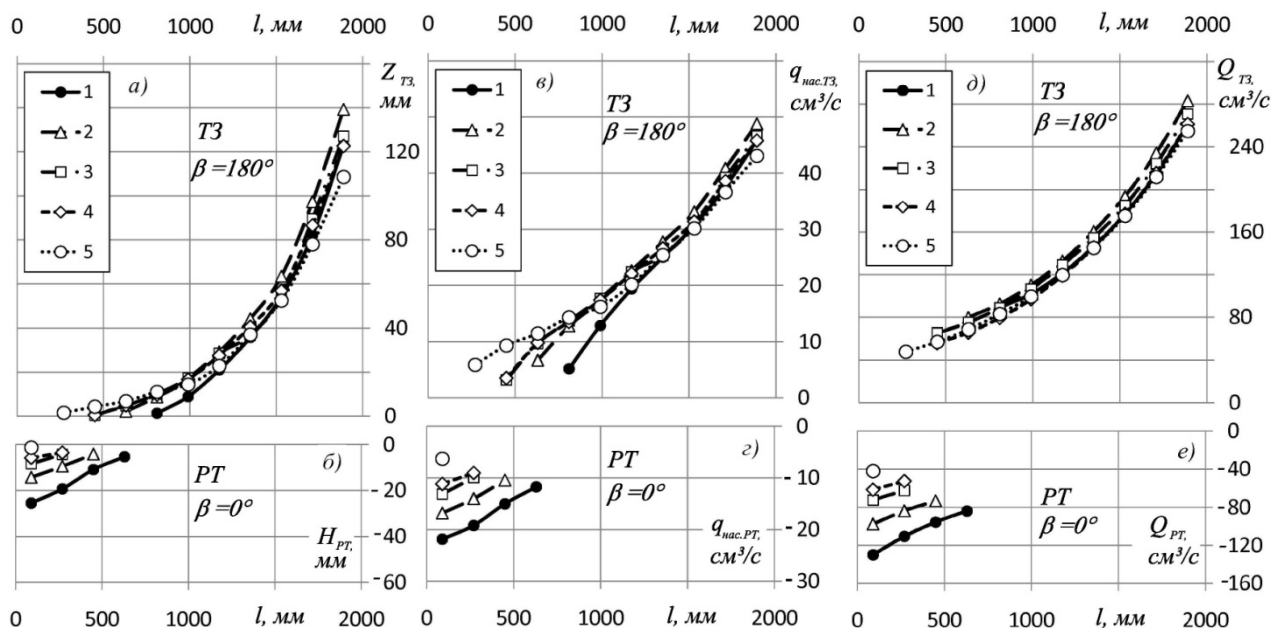


Рис. 9. Розподіл за довжиною ЕТ: а – робочих напорів в ТЗ; б – те саме, в РТ; в – витрат води крізь окремі насадки в ТЗ; г – те саме, в РТ; д – витрат води всередині ТЗ; е – те саме, в РТ, для кутів приєднання струменів в ТЗ  $\beta = 180^\circ$  і від'єднання в РТ -  $\beta = 0^\circ$

при різних значеннях витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  в  $см^3 / с$  :  
 151,52 - (1); 114,39 - (2); 85,30 - (3); 72,66 - (4); 48,36 - (5)

Нерівномірності розподілу робочого напору в розподільному трубопроводі  $h_{\text{РТ}}$   
та роздачі води з розподільного трубопроводу  $h_{Q_{\text{РТ}}}$  залежно від транзитної витрати  $Q_{\text{тр}}$

Кут, $b$	$Q_{\text{тр}},$ $\text{см}^3 / \text{с}$	Робочі напори на насадках, мм		$h_{\text{РТ}} = \frac{H_{\text{beg}}}{H_m},$	Витік води крізь насадки, $\text{см}^3 / \text{с}$		$h_{Q_{\text{РТ}}} = \frac{q_{\text{beg}}}{q_m},$
		$H_{\text{beg}}$	$H_m$		$q_{\text{beg}}$	$q_m$	
$180^\circ$ { $0^\circ$ для ТЗ}	131,18	23,01	3,15	7,31	107,32	60,71	1,77
	103,18	15,64	3,88	4,03	83,71	56,33	1,49
	92,43	15,47	4,15	3,73	72,41	44,82	1,62
	86,33	8,4	4,12	2,03	70,78	59,28	1,19
	64,57	3,68	0,01	401,89	53,68	53,14	1,01
	46,68	-	-	-	-	-	-
	24,36	-	-	-	-	-	-
	10,80	-	-	-	-	-	-
$225^\circ$ { $45^\circ$ для ТЗ}	113,25	21,22	3,34	6,35	91,57	49,20	1,86
	101,91	15,44	3,38	4,56	82,78	57,03	1,45
	79,13	13,78	2,66	5,18	61,25	38,1	1,61
	63,81	6,63	1,84	3,61	50,52	42,60	1,18
	32,22	3,04	3,04	1,0	22,85	22,85	1,0
	3,98	-	-	-	-	-	-
$270^\circ$ { $90^\circ$ для ТЗ}	73,44	9,32	2,06	4,52	57,75	36,74	1,57
	68,28	6,94	2,55	2,72	54,34	45,19	1,20
	57,52	6,23	2,53	2,46	44,35	5,38	1,25
	40,73	3,37	1,49	2,25	30,68	23,64	1,29
	21,68	2,25	2,25	1,0	13,36	13,36	1,0
	5,11	-	-	-	-	-	-
$315^\circ$ { $135^\circ$ для ТЗ}	80,93	6,93	0,27	25,95	66,70	63,62	1,05
	79,05	6,77	0,22	30,63	64,98	61,93	1,05
	76,14	5,54	0,21	26,51	63,15	60,18	1,05
	68,98	4,99	0,17	29,71	56,64	53,98	1,05
	66,29	3,8	3,8	1,0	55,21	55,21	1,0
	58,43	-	-	-	-	-	-
	40,25	-	-	-	-	-	-
	21,21	-	-	-	-	-	-
	3,66	-	-	-	-	-	-
$0^\circ$ { $180^\circ$ для ТЗ}	151,55	25,53	5,28	4,83	129,74	83,86	1,55
	116,94	14,66	4,38	3,35	99,98	75,43	1,33
	114,39	14,35	4,16	3,45	97,61	73,23	1,33
	85,30	8,31	4,23	1,96	72,20	62,28	1,16
	81,72	7,50	4,01	1,87	69,20	59,54	1,16
	72,66	5,76	3,48	1,66	61,51	52,51	1,17
	51,27	2,38	2,38	1,0	43,67	43,67	1,0
	48,36	1,22	1,22	1,0	42,07	42,07	1,0

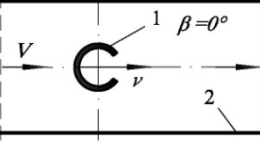
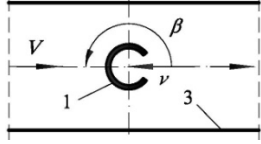
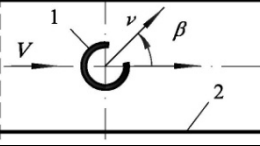
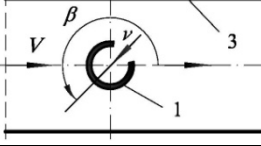
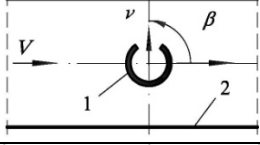
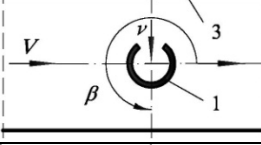
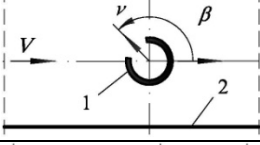
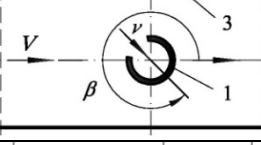

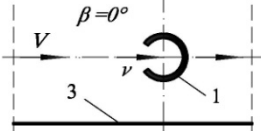
Примітки. 1. Незаповнені рядки таблиці відповідають меншим значенням транзитної витрати при яких в експериментальному трубопроводі не виникала діянка з роздачею води, тобто ділянка розподільного трубопроводу. 2. Співвідношення значень кутів  $b$  для ТЗ і РТ подано в табл. 3.



Нерівномірності розподілу робочого напору в трубопроводі-збирачі  $h_{Z_{T3}}$   
та притоку води до трубопроводу-збирача  $h_{Q_{T3}}$  залежно від транзитної витрати  $Q_{Tr}$

Кут, $b$	$Q_{Tr}$ , $см^3 / с$	Робочі напори на насадках, мм		$h_{Z_{T3}} = \frac{Z_m}{Z_{beg}}$ ,	Притік води крізь насадки, $см^3 / с$		$h_{Q_{T3}} = \frac{q_m}{q_{beg}}$ ,
		$Z_{beg}$	$Z_m$		$q_{beg}$	$q_m$	
$0^\circ$	131,18	3,07	99,91	32,55	69,98	245,22	3,50
	103,18	0,84	100,89	120,31	61,36	254,79	4,15
	92,43	1,45	102,20	70,57	51,48	246,90	4,80
	86,33	0,66	97,79	148,16	63,77	272,16	4,27
	64,57	3,52	90,71	25,76	63,16	268,92	4,26
	46,68	2,86	82,77	28,95	55,74	278,87	5,00
	24,36	1,19	78,06	65,64	30,50	195,13	7,70
	10,80	0,94	73,32	78,09	16,34	164,57	12,43
$45^\circ$	113,25	4,23	138,47	34,23	59,59	246,36	4,13
	101,91	1,30	138,47	106,78	63,07	263,64	4,17
	79,13	1,24	128,26	100,11	44,13	246,47	5,59
	63,81	1,05	128,26	122,19	48,18	251,43	5,22
	32,22	0,73	109,30	150,45	27,68	230,61	8,33
		3,98	0,99	98,66	99,49	9,65	210,48
$90^\circ$	75,81	4,49	135,52	30,19	15,79	184,25	11,67
	73,81	3,78	148,06	39,19	30,90	226,25	7,32
	73,44	2,29	174,81	76,23	44,94	264,10	5,88
	68,28	0,43	170,59	396,04	48,89	277,71	5,68
	57,52	0,34	164,80	478,28	38,76	262,62	6,78
	40,73	0,71	157,32	222,39	28,48	247,11	8,68
	21,68	0,41	146,03	359,24	17,15	244,23	14,24
		5,11	1,99	136,14	68,54	12,96	260,89
$135^\circ$	80,93	2,79	225,85	81,01	72,73	345,99	4,76
	79,05	3,30	223,96	67,88	71,75	341,93	4,77
	76,14	2,81	222,38	79,13	69,34	344,48	4,97
	68,98	3,35	246,56	73,66	63,88	341,43	5,35
	66,29	0,84	218,54	260,05	60,53	338,53	5,59
	58,43	2,71	216,10	79,68	69,71	368,83	5,29
	40,25	2,15	203,89	94,76	49,68	341,24	6,87
	21,21	1,76	189,68	107,50	29,10	311,12	10,69
	3,66	1,49	182,37	122,15	10,60	282,36	26,63
$180^\circ$	151,55	1,32	122,89	93,32	89,05	260,44	2,92
	116,94	1,52	133,40	87,75	81,03	281,45	3,47
	114,39	2,19	139,23	63,53	79,92	283,19	3,54
	85,30	0,47	127,18	271,28	65,49	270,86	4,14
	81,72	0,64	135,10	210,02	63,31	276,80	4,37
	72,66	0,56	122,68	220,57	56,05	261,31	4,66
	51,27	0,5	108,90	217,31	47,09	255,49	5,43
		48,36	1,57	108,53	68,99	47,96	254,82

**Відповідність значень кутів  $b$  приєднання струменів до потоку в трубопроводі-збирачі зі значеннями кутів  $b$  від'єднання струменів від потоку в розподільному трубопроводі**

Числові значення кутів $b$ для:		Схеми відліку кутів $b$ для:	
трубопроводу-збирача	розподільного трубопроводу	трубопроводу-збирача	розподільного трубопроводу
$0^\circ$	$180^\circ$		
$45^\circ$	$225^\circ$		
$90^\circ$	$270^\circ$		
$135^\circ$	$315^\circ$		
$180^\circ$	$0^\circ$		

Примітки: 1 – циліндрична насадка з бічним отвором (поперечний переріз);  
2 – стінка трубопроводу-збирача;  
3 – стінка розподільного трубопроводу.

З результатів досліджень, представлених на рис. 5–9, бачимо, що більшій витраті транзитного потоку відповідає більша кількість насадок, які здійснюють роздачу води на початку експериментального трубопроводу. При цьому довша ділянка вхідної частини ЕТ працює в режимі розподільного трубопроводу. Пояснити це можна так. Транзитний потік з більшою витратою води тече швидше, отож, має більшу кінетичну енергію. Окрім того, п'єзометричний напір  $H_1$  на ділянці роздачі води є вищим, ніж напір  $H_{out}$ , що діє зовні ЕТ. Для того, щоб укоротити ділянку роздачі води, необхідно створити такі умови, щоб транзитний потік втратив свою енергію. Тоді довша ділянка ЕТ перейде в режим роботи трубопроводу-збирача.

З наслідків досліджень (рис. 5–9) можна зробити висновок щодо методів укорочення довжини ділянки розподільного трубопроводу у загальній довжині трубопроводу з насадками. Порівняємо розподіл витрат води в насадках і в ЕТ при кутах приєднання струменів  $b = 90^\circ$  (рис. 7, з, е) і  $b = 135^\circ$  (рис. 8, з, е). При  $b = 135^\circ$  (рис. 8, з, е), для витрати транзитного потоку  $Q_{tr} = 80,93 \text{ см}^3/\text{с}$ , тільки дві насадки працюють в режимі роздачі води. У випадку ЕТ з  $b = 90^\circ$  (рис. 7, з, е), за меншого значення витрати  $Q_{tr} = 75,81 \text{ см}^3/\text{с}$ , п'ять насадок працюють на роздачу води. Отож кут  $b = 135^\circ$  є сприятливішим для зменшення довжини ділянки роздачі води (РТ). Тому можна

рекомендувати, щоб насадки, розташовані на початку трубопроводу, установити з кутом  $b = 315^\circ$   $\{b = 135^\circ\}$ . Далі за течією на ділянці збирання рідини (ТЗ) також можна зменшувати нерівномірність притоку до ТЗ за допомогою регулювання значень кута  $b$ . Наприклад, на першій половині довжини ТЗ вхідні насадки доцільно змонтувати з кутом  $b = 0^\circ$ , а на решті довжини – з  $b = 180^\circ$ , як це показано в статті [10].

Отримані в таблицях дані представлено графічно на рис. 10 для ділянки роздачі води (РТ) та на рис. 11 для ділянки збору (ТЗ).

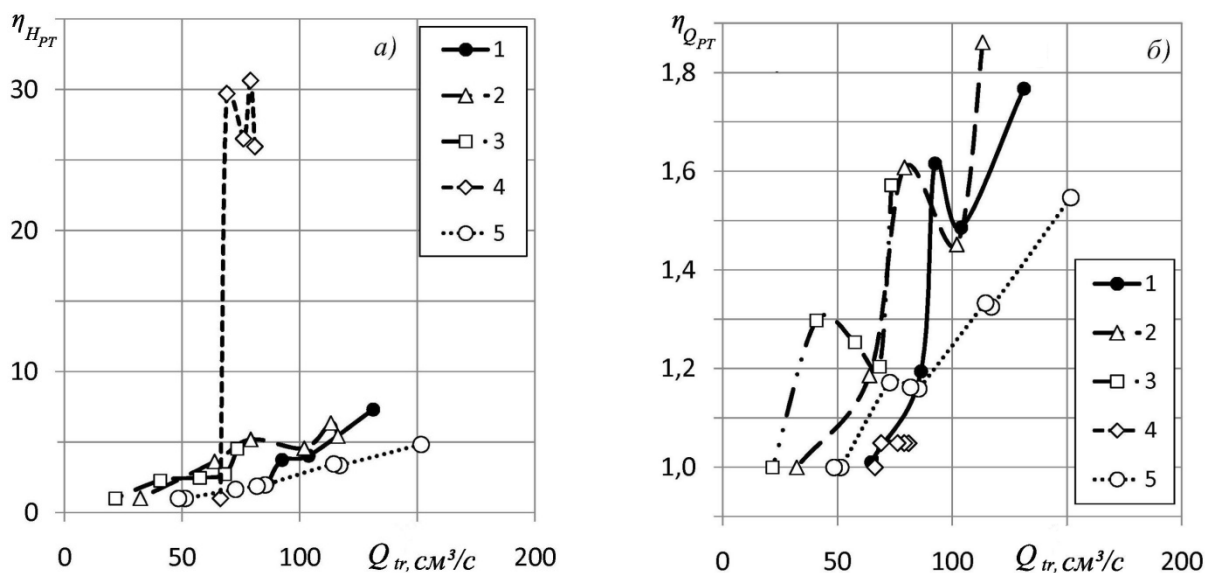


Рис. 10. Нерівномірність розподілу робочих напорів  $h_{H_{PT}}$  (а) та роздачі води  $h_{Q_{PT}}$  (б) на ділянці розподільного трубопроводу, залежно від витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  для різних значень кутів  $\beta$ :  $180^\circ, \{0^\circ\}$  – (1);  $225^\circ, \{45^\circ\}$  – (2);  $270^\circ, \{90^\circ\}$  – (3);  $315^\circ, \{135^\circ\}$  – (4);  $0^\circ, \{180^\circ\}$  – (5);  $Re=1211-15926$

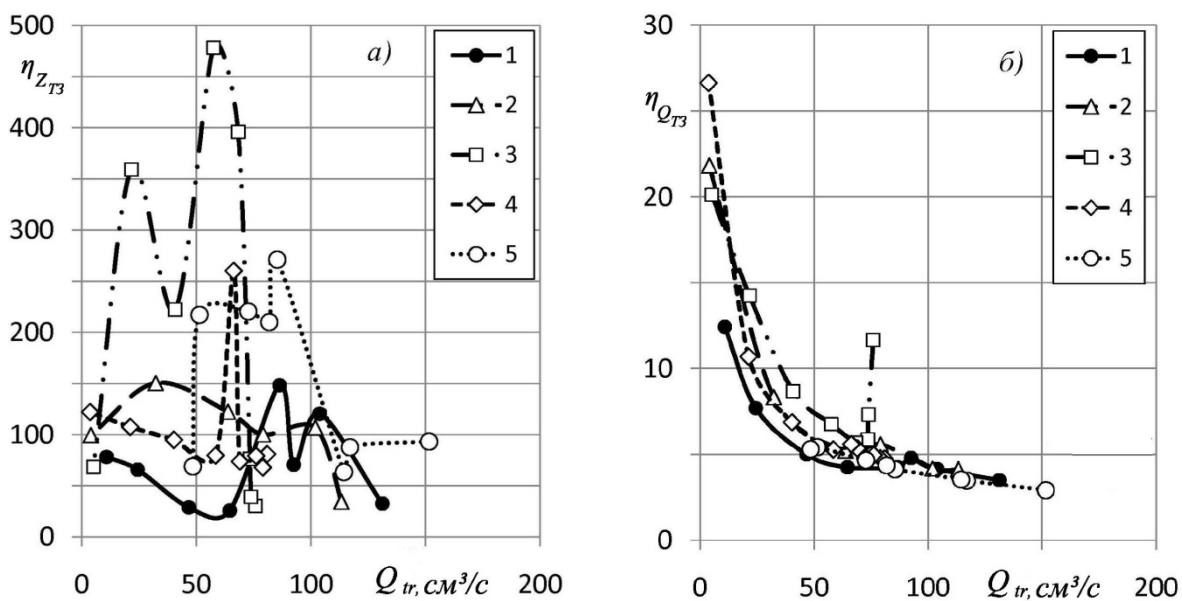


Рис. 11. Нерівномірність розподілу робочих напорів  $h_{Z_{T3}}$  (а) та притоку води  $h_{Q_{T3}}$  (б) на ділянці трубопроводу-збирача, залежно від витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  для різних значень кутів  $\beta$  приєднання струменів:  $0^\circ$  – (1);  $45^\circ$  – (2);  $90^\circ$  – (3);  $135^\circ$  – (4);  $180^\circ$  – (5);  $Re=12711-15926$

Зростання витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  спричиняє посилення нерівномірності розподілу робочих напорів  $h_{H_{PT}}$  і витрат води основного потоку  $h_{Q_{PT}}$  в експериментальному трубопроводі на ділянці її роздачі (табл. 1, рис. 10). Для трубопроводу-збирача збільшення  $Q_{tr}$  супроводжується зменшенням  $h_{Z_{T3}}$  і  $h_{Q_{T3}}$  (табл. 2, рис. 11); більшому значенню  $Q_{tr}$  відповідають значніші втрати енергії потоку. З цієї причини на початку ТЗ зростає робочий напір  $Z$  і відповідно йому – притік до ТЗ  $q_{нас.ТЗ}$  крізь вхідні насадки (див. (1)).

**Висновки.** Експериментально досліджено вплив транзитної витрати води на шляхову роздачу та притік до трубопроводу з насадками в його стінці. Кутам  $\beta$  між векторами швидкостей потоку в трубопроводі та струменів, які приєднувались крізь насадки, надавали значень:  $0^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $90^\circ$ ;  $135^\circ$ ;  $180^\circ$ . Значення кутів  $\beta$  на ділянці від'єднання струменів були відповідно на  $180^\circ$  градусів більшими. Збільшення витрати транзитного потоку  $Q_{tr}$  спричинювало посилення нерівномірності розподілу робочих напорів і витрат води уздовж трубопроводу на ділянці її роздачі. На ділянці збирання спостерігалась зворотна тенденція. Число насадок, крізь які роздавалась вода, зростало при збільшенні  $Q_{tr}$ . При  $Q_{tr} \leq 20 \text{ см}^3/\text{с}$  роздачі води не спостерігали. При куті  $\beta = 315^\circ$  на ділянці роздачі, що відповідало  $\beta = 135^\circ$  на ділянці збирання, вода роздавалась через найменшу кількість насадок, а довжина ділянки роздачі води була найкоротшою.

1. Яхно О. М. *Напірні потоки зі змінними характеристиками: монографія* / О. М. Яхно, В. В. Чернюк, Р. М. Гнатів. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2016. – 408 с. 2. Чернюк В. В. *Гідралічний розрахунок трубчастих водозабірних оголовків з бічними водоприймальними вікнами* / В. В. Чернюк, М. П. Босак, О. Г. Гвоздецький // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Теорія і практика будівництва. – 2012. – № 737. – С. 213–225. 3. Волощук В. А. *Дослідження гідралічних опорів і гідралічні розрахунки трубопроводів з дискретно змінними витратами уздовж потоку: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.16 “Гідраліка і інженерна гідрологія”* / В. А. Волощук. – Рівне: Рівненськ. держ. техн. ун-т, 2001. – 20 с. 4. Кравчук А. М. *Гідраліка змінної маси напірних трубопроводів технічних систем: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.16 “Гідраліка і інженерна гідрологія”* / А. М. Кравчук. – К., 2004. – 35 с. 5. Чернишов Д. О. *Вплив гідродинаміки потоку на характеристики роботи розподільчих трубопроводів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.16 “Гідраліка і інженерна гідрологія”* / Д. О. Чернишов. – К., 2005. – 20 с. 6. 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 гідраліки: наук.-техн. збірник. – К.: Київ. нац. ун-т будівництва і архітектури, 2015. – Вип. 25. – С. 286–294. 7. Vasyl Ivaniv. *Influence of Jet-to-main stream Turning Angle in Fluid Flow from Cylindrical Nozzle of Collector-pipeline on Flow Coefficient [Electronic source]* / Ivaniv Vasyl, Cherniuk Volodymyr // XVth International Scientific Conference “Current Issues of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Rzeszów-Lviv-Košice. 9–10 September 2015, Rzeszów, Poland. – 10 pages. – 1 electron.-optical disc (CD-ROM). // { Book of Abstracts. 9-10 September 2015, Rzeszów, Poland – s. 114–115}. 8. Большаков В. А. *Справочник по гидравлике* / [Большаков В. А., Константинов Ю. М., Попов В. Н. и др.] / Под ред. В. А. Большакова. – К.: Вища шк., 1984. – 343 с. 9. 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. 10. Чернюк В. В. *Вплив значень кутів приєднання струменів на нерівномірність притоку до трубопроводу-збирача* / В. В. Чернюк, В. В. Іванів // Ресурси природних вод Карпатського регіону / Проблеми охорони та раціонального використання. Матеріали XV-ої міжнародн. наук.-практ. конф. 25–26 травня 2016 р. – Львів: НУ Львівська політехніка, 2016. – С. 230–233.