УДК 532.5:532.542

В.В. Чернюк д-р техн. наук,
В.В. Іванів
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

ВПЛИВ КУТА ПРИЄДНАННЯ ВХІДНИХ СТРУМЕНІВ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ РОБОТИ НАПІРНОГО ТРУБОПРОВОДУ-ЗБИРАЧА

VARIATIONAL PRINCIPLES IN THE SOLUTION OF UNSTEADY PROBLEMS OF FLUID MOTION IN PIPES

Мета. *Представлено результати експериментальних досліджень впливу кута приєднання струменів на нерівномірність притоку води до напірного трубопроводу-збирача.*

Методи дослідження. *Визначалися залежності робочих напорів і притоку води до трубопроводу-збирача крізь вхідні насадки, для коректного їх порівняння для різних значеннях критеріїв Рейнольдса, внутрішній діаметр досліджуваного трубопроводу, вхідних насадок.*

Результати дослідження. *Напір води зовні досліджуваного трубопроводу-збирача змінювали, відтак досліджено трубопровід-збирач з кутами приєднання струменів. Отримано найменшу нерівномірність роботи трубопроводу-збирача та найбільшу.*

Висновки. *Отримані результати дають можливість припустити, що підбором різних значень кутів приєднання струменів поздовж одного трубопроводу-збирача можна у широкому діапазоні регулювати нерівномірність шляхового притоку рідини до цього трубопроводу.*

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

Вступ

Напірні трубопроводи-збирачі застосовуються у водопостачанні (горизонтальні водозбори), водовідведенні (водовідвідні мережі), меліорації (осушні системи), вентиляції (витяжні системи), водопониженні та інших галузях. У більшості випадків бажаною є рівномірна робота цих трубопроводів. Теоретично й експериментально досліджуються різні способи зменшення нерівномірності роботи напірного трубопроводу-збирача, [1, 2]. У них автори розглядали трубопроводи лише з ортогональним приєднанням струменя. Нами представлено результати експериментального дослідження впливу значення кута приєднання вхідного струменя до основного потоку на нерівномірність роботи напірного трубопроводу-збирача.

Мета роботи — дослідити вплив вхідного струменя на нерівномірність шляхового притоку рідини в напірний трубопровід-збирач, залежно від кута приєднання струменів до основного потоку у трубопроводі.

Експериментальний стенд

Головною складовою стенда є трубопровід-збирач з внутрішнім діаметром D = 20,18 *мм* та довжиною L = 2494 *мм*, в тому числі його перфорована частина l=1800 *мм*. У стінці трубопроводу вмонтовано одинадцять вхідних насадок із ортогональним бічним виходом струменя (рисунок 1) з відстанню між ними у 180 *мм*. Вони встановлені з можливістю повороту відносно їхньої поздовжньої осі (рисунок 2), що забезпечувало регулювання значення кута приєднання струменів β.

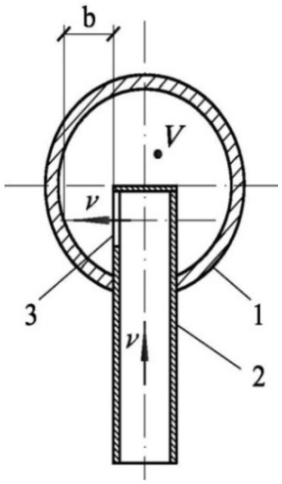

Рисунок 1 — Схема встановлення насадки у трубопроводі-збирачі. 1 — стінка трубопроводу-збирача, 2 — вхідна насадка (поздовжній розріз, β= 90°), 3 — вихідний отвір насадки, V — середня швидкість основного потоку в трубопроводі, v — те саме струменя, який потрапляє крізь насадку до трубопроводу, b — відстань від торця вихідного отвору насадки до стінки трубопроводу-збирача

Внутрішні діаметри насадок d=8,02 *мм* трубопровода-збирача було вмонтовано у прозорий футляр [3]. Напір води у футлярі, тобто зовні експериментального трубопроводу, змінювали у межах від 500 до 2000 *мм*. Рух води здійснювався під впливом сил гравітації. Схему для розрахунку трубопроводу-збирача показано на рисунку 3.

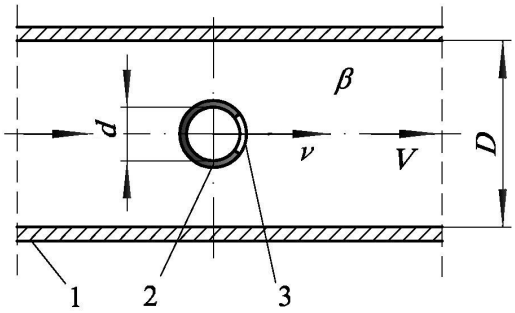

Рисунок 2 — Схема відліку кута β. 1 — стінка трубопроводу, 2 — вхідна насадка (поперечний розріз, β = 0°), 3 — вихідний отвір насадки, V, ν — середня швидкість основного потоку в трубопроводі та струменя, відповідно

Математична обробка експериментальних даних

Робочий напір на *i*-тій від початку трубопроводу-збирача вхідній насадці обчислювали за формулою

$$Z_i = H_{out} - \frac{p_з}{\rho g} - \frac{\alpha_0 V_i^2}{2g}, \quad (1)$$

де H_{out} — фактичний напір ззовні трубопроводу-збирача (напір у футлярі), $p_i/\rho g$ — п'єзометричний напір на *i*-тій насадці, $\alpha_0 V^2 / 2g$ — швидкісний напір у трубопроводі-збирачі перед *i*-тою насадкою.

Притік води всередину трубопроводу-збирача через *i*-ту насадку обчислювали теоретично, залежно від робочого напору Z на ній

$$q_i = \mu_i \omega \sqrt{2gZ_i}, \quad (2)$$

де μ_i — коефіцієнт витрати насадки, його значення $\mu = f(Re_d)$ для досліджуваних насадок встановлено експериментально [4], ω — площа поперечного перерізу насадки, g — коефіцієнт прискорення вільного падіння, Z_i — робочий напір на насадці.

Витрату води в трубопроводі-збирачі в створі *i*-тої насадки, спираючись на залежності (1) і (2), обчислювали за формулою

$$q_i = \sum_{i=1}^{i-1} q_i + \mu_i \omega \sqrt{\left(2gH_{out} - \frac{2p_i}{\rho} - a\sum_{i=1}^{10}\frac{q_i^2}{\Omega^2}\right)}, \quad (3)$$

де $\sum_{i=1}^{i-1} q_i$ витрата води в трубопроводі перед *i*-тою насадкою, μ_i — коефіцієнт витрати вхідної насадки з порядковим номером *i*, ω — площа поперечного перерізу насадки, H_{out} — фактичний напір рідини ззовні трубопроводу-збирача, $p_i/\rho g$ — п'єзометричний напір на *i*-тій насадці (рисунок 3), a — коефіцієнт Коріоліса, Ω — площа поперечного перерізу трубопроводу-збирача.

Значення критерію Рейнольдса обчислювали за формулою

$$Re_D = \frac{VD}{\nu}, \quad (4)$$

де D — діаметр трубопроводу-збирача, V — середня

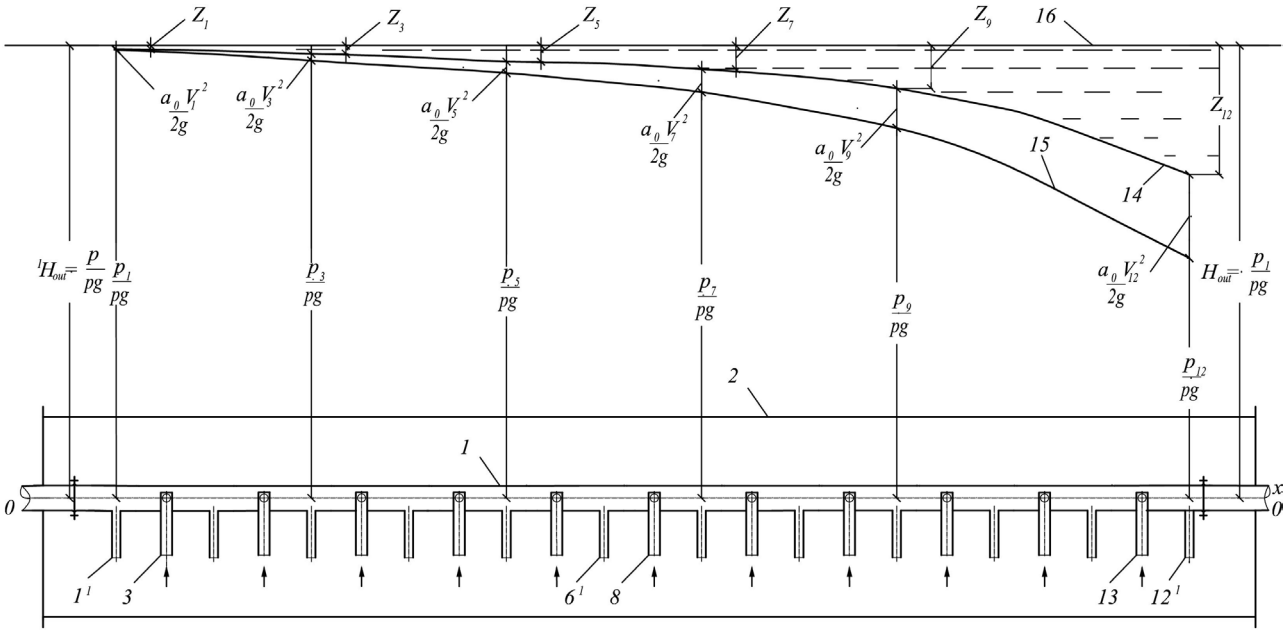

Рисунок 3 — Схема для розрахунку трубопроводу-збирача.
1 — трубопровід-збирач, 2 — футляр, у якому розміщено експериментальний трубопровід, 3,..,13 — вхідні насадки, 1¹,..,12¹ — штуцери для приєднання імпульсних ліній від п'єзометрів, 14 — п'єзометрична лінія повного напору, 15 — те саме, для потоку рідини усередині трубопроводу, 16 — рівень рідини всередині футляру

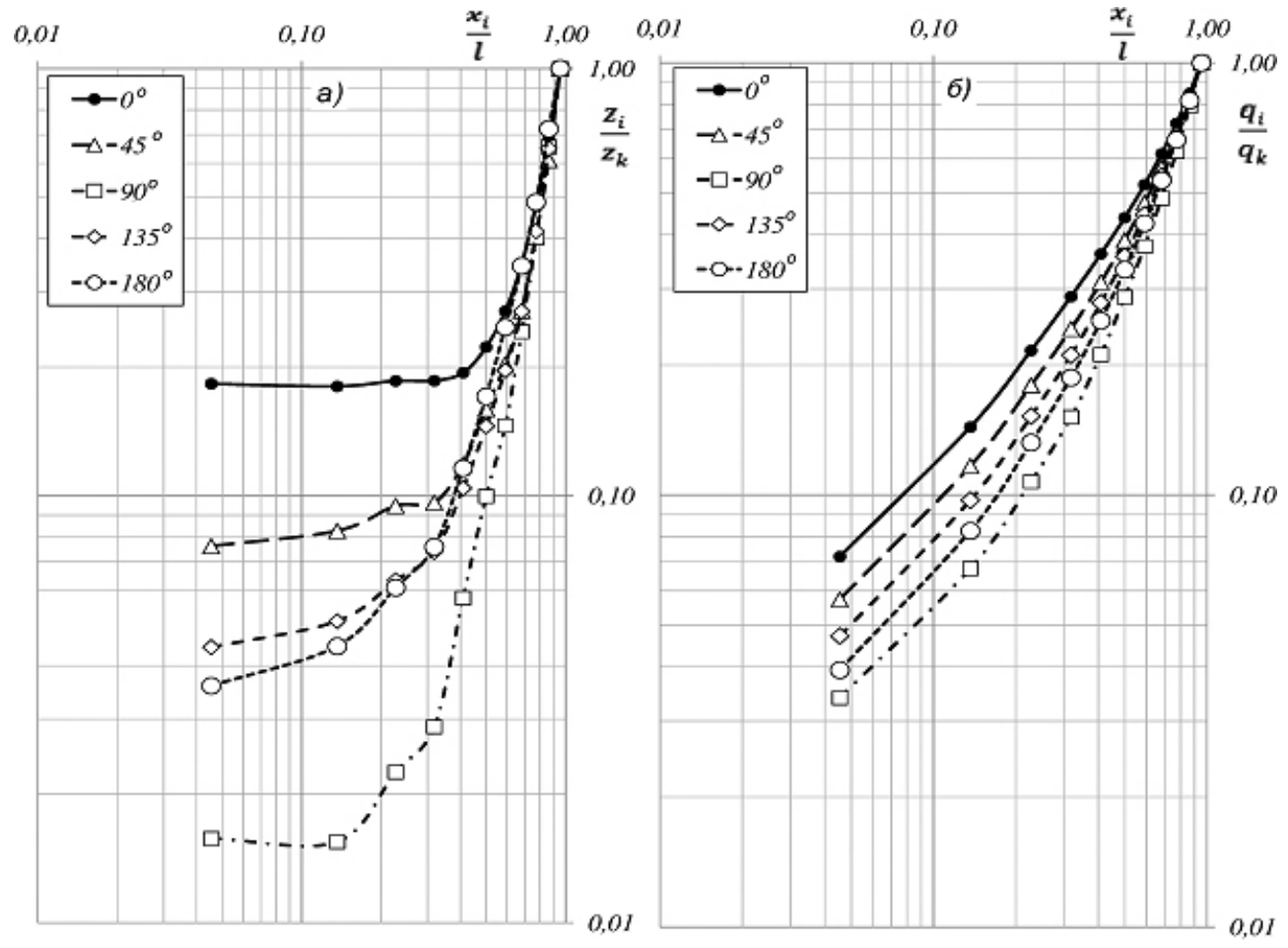

Рисунок 4 — Нерівномірності розподілу робочих напорів уздовж трубопроводу-збирача (а) та притоку води (б) до трубопроводу з різними значеннями кута приєднання β : 0° — Re_D =11048, 45° — Re_D =11477, 90° — Re_D =10592, 135° — Re_D =10703, 180° — Re_D =10447

швидкість основного потоку в трубопроводі-збирачі, ν — кінематична в'язкість рідини.

Кінематичну в'язкість води знаходили залежно від її температури за формулою [5]

$$\nu = \left(\frac{177{,}5\cdot 10^{-8}}{1+0{,}0337T+0{,}000221T^2}\right)/10000\ , \qquad (5)$$

де T — температура води, °С.

Нерівномірність розподілу робочих напорів поздовж трубопроводу-збирача визначено за залежністю [6]

$$\eta_Z = Z_m / Z_{beg} \qquad (6)$$

де Z_m — максимальний або мінімальний напір на насадках, $Z_m = Z_{end} = Z_{11}$, Z_{beg} — напір на першій насадці, $Z_{beg} = Z_1$.

Нерівномірність розподілу притоку води до трубопроводу-збирача знайдено за формулою [6]

$$\eta_q = \frac{q_\partial}{q_{beg}}, \qquad (7)$$

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

` Результати експериментальних досліджень

На рисунку 4, а побудовано експериментально отримані графіки розподілу робочих напорів уздовж трубопроводу-збирача, а на рисунку 4, б — шляховий розподіл притоку до трубопроводу-збирача. На рисунку 4 показано залежності $Z = f(l)$ та $q = f(l)$ представлено для близьких за значенням критеріїв Рейнольдса Re_D=10447—11477, обчислюваних для основного потоку води всередині трубопроводу.

Значення температури води в трубопроводі-збирачі упродовж дослідів знаходилось у межах T = 15,5—19,0°С.

Як показано на рисунку 4, а, робочі напори на вхідних насадках істотно відрізняються при різних значеннях кута приєднання струменів β. Залежності $q = f(l)$ обчислювалися з коефіцієнтами витрати μ відповідно: 0,732—0,652, 0,725—0,607, 0,812—0,612, 0,769—0,624,

Таблиця 1— Нерівномірність розподілу робочих напорів у трубопроводі-збирачі притоку до трубопроводу-збирача

Кут β	Робочі напори на насадках, мм		$\eta_Z = \frac{Z_{11}}{Z_1}$	Притік через насадки, $см^3/с$		$\eta_q = \frac{q_{11}}{q_1}$
	Z_1	Z_{11}		q_1,	q_{11}	
0°	7,0	38,3	5,47	13,71	190,3	13,88
45°	5,0	65,68	13,14	11,47	200,19	17,45
90°	1,0	63,53	63,53	5,75	169,42	29,46
135°	3,0	67,95	22,65	9,43	200,22	21,23
180°	2,0	55,78	27,89	6,72	170,80	25,42

0,671—0,588, де менші значення μ відносяться до більших значень критерію Re_D.

У таблиці 1 подано порівняння нерівномірностей розподілу робочих напорів та притоку для дослідженого трубопроводу-збирача.

Нерівномірність розподілу напорів уздовж трубопроводу-збирача з кутом приєднання струменя $\beta = 0^o$ виявилась у 2,40 рази менша, ніж у трубопроводу з кутом $\beta = 45^o$ та 11,61, 4,14, 5,1, відповідно, у порівнянні з кутами $\beta = 90^o$, $\beta = 45^o$, $\beta = 180^o$. Нерівномірність розподілу притоку води до трубопроводу-збирачу η_q при куту приєднання $\beta = 0^o$ у 1,26 рази менша, ніж у трубопроводі-збирачі з кутом $\beta = 45^o$ та 2,12, 1,53, 1,83, відповідно, при $\beta = 90^o$, $\beta = 135^o$, $\beta = 180^o$.

Нерівномірність притоку води при куту приєднання струменя $\beta = 90^o$, найбільша, це пояснюється тим, що при встановленні насадки для цього кута значно мала відстань *b* від торця вихідного отвору насадка до стінки трубопроводу-збирача (рисунок 1). Це призводить до збільшення втрат напору на виході з вихідного отвору насадки [7].

Висновки

Досліджено трубопровід-збирач з кутами приєднання струменя $\beta = 45^o$, $\beta = 90^o$, $\beta = 135^o$ $\beta = 180^o$. Найменша нерівномірність шляхового притоку рідини досягається при куту $\beta = 0^o$ а, найбільша $\beta = 90^o$. Отримані результати дають можливість припустити, що підбором різних значень кутів приєднання уздовж одного трубопроводу-збирача можна у широкому діапазоні регулювати нерівномірність шляхового притоку рідини до цього трубопроводу.

Література

1. Волощук, В.А. Дослідження гідравлічних опорів і гідравлічні розрахунки трубопроводів з дискретно змінними витратами уздовж потоку: дис. канд. техн. наук: 05.23.16 /Волощук Володимир Андрійович. — Рівне: Рівненськ. держ. техн. ун-т, 2001. — 217 с.

2. 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.

3. 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. — К.: Київ. нац. ун-т будівництва і архітектури, 2015. — Випуск 25. С. 286-294.

4. Ivaniv, V. Influence of Jet-to-main stream Turning Angle in Fluid Flow from Cylindrical Nozzle of Collector-pipeline on Flow Coefficient / Vasyl Ivaniv, Volodymyr Cherniuk // XVth International Scientific Conference «Current Issues of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Rzeszów-Lviv-Košice». Book of Abstrakts. 9—10 September 2015, Rzeszów, Poland — P. 114—115.

5. 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.

6. 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.

7. Егоров, АИ. Гидравлика напорных трубчатых систем в водопроводных очистных сооружениях. / АИ. Егоров / — М.: Стройиздат, 1984 — 95 с.

References

1. Voloshchuk, V.A. Research hydraulic resistance and hydraulic calculations of pipelines discrete variable costs along flux: Dis. candidate. Sc. Sciences: 05.23.16 / Voloshchuk Vladimir. — Rivne: Rivnen. state. Sc. University Press, 2001. — 217 s.

2. Kravchuk, A.M. Hydraulic pressure pipelines variable mass of technical systems: Thesis. Dis. on competition sciences. Doctor degree. Sc. Sciences specials. 05.23.16 «Hydraulics and engineering hydrology" / A.M. Kravchuk. — K., 2004. — 35 p.

3. Chernyuk, V.V. Stand for research inflow into the discharge pipe-collector, laid in a stream of fluid / V. V. Chernyuk, V. V. Ivaniv // Problems of water supply, drainage and hydraulics. Nauk.-Tech. collection. — K .: Kyiv. nat. university of construction and architecture, 2015. — Issue 25. — P. 286—294.

4. Ivaniv, V . Influence of Jet-to-main stream Turning Angle in Fluid Flow from Cylindrical Nozzle of Collector-pipeline on Flow Coefficient / Vasyl Ivaniv, Volodymyr Cherniuk // XVth International Scientific Conference "Current Issues of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Rzeszów-Lviv-Košice. Book of Abstrakts. 9-10 September 2015, Rzeszów, Poland — P. 114—115.

5. Handbook of hydraulics / [Bolshakov VA, Konstantinov Yu.M. Popov VN et al.] / Ed. VA Bolshakov. — K: Vyshcha shk, 1984. — 343 s.

6. Smyslov, V.V. Hydraulic calculation of the perforated cylindrical pipes with distribution of flow / V.V Smyslov, N. A. Jezierski // Hydraulics and Hydraulic Engineering. — Vol. 30. — 1980. — S. 52—59.

7. Egorov A.I. Hydraulic pressure pipe systems in water treatment plants / A. I. Egorov. — M.: Stroyizdat, 1984. — 95 s.

Надійшла 02.07.2017 року

УДК 532.5:532.542

Влияние угла присоединения поступающих струй на неравномерность работы напорных трубопроводов-собирателей

В.В. Чернюк, В.В. Иванив

Цель. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния угла присоединения струй на неравномерность притока воды к напорному трубопроводу-собирателю.

Методы исследования. Определялись зависимости рабочих напоров и притоку воды к трубопроводу-собирателю через входные насадки, для корректного их сравнение при различных критериев Рейнольдса для основного потока воды внутри трубопровода-собирателя.

Результаты исследования. Напор воды снаружи трубопровода меняли, исследуя трубопровод-собиратель с разными углами присоединения струй.

Выводы. Полученные результаты дают возможность предположить, что подбором различных значений углов присоединения струй вдоль одного трубопровода-собирателя можно в широком диапазоне регулировать неравномерность дорожного притока жидкости к этому трубопроводу.

Ключевые слова: трубопровод-собиратель, угол присоединения струи, неравномерность притока жидкости.

UDC 532.5:532.542

The accession jets angle impact on uneven pressure pipeline-collector water inflow

V.V. Chernyuk, V.V. Ivaniv

Aim. The results of experimental studies of the accession jets angle impact on uneven pressure pipeline-collector water inflow are proposed.

Method of research. The dependencies for working pressures and water flow passing through the nozzle parameters needed to compare them correctly (regarding different values of Reynolds criteria, internal diameters of the pipeline, and input nozzles) were studied.

Results of research. The water pressure (outside the examined pipeline-collector) was changed. So, the pipeline-collectors with various jets connection angles were studied. The significant and insignificant unevenness pipeline-collector parameters were obtained.

Conclusion. On the basis of the obtained results, it possible to assume that by the different selection of joining angles of pressure pipeline-collector water inflow a wide range of the road inflow unevenness can be regulated.

***Keywords**: pressure pipeline-collector, spray attachment angle, uneven inflow of liquid.*