

Епоян С.М.¹, Яркін В.А.², Сухоруков Г.І.¹, Сізова Н.Д.¹, Пашкова С.П.¹¹ Харківський національний університет будівництва та архітектури(вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна; e-mail: ykg.knuca@ukr.net, sizova@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4551-1309, orcid.org/0000-0002-1740-3098, orcid.org/0000-0002-0103-1939, orcid.org/0000-0002-9908-6742)² Комунальне підприємство «Харківводоканал»(вул. Шевченко, 2, м. Харків, 61013, Україна; e-mail: ya_vad@i.ua, orcid.org/0000-0001-7844-6772)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПЕРЕГОРОДЧАСТОГО ЗМІШУВАЧА КОРИДОРНОГО ТИПУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПОПЕРЕЧНИХ ПОРИСТИХ ПЕРЕГОРОДОК

Розглянуті питання підвищення ефективності роботи перегородчастого змішування коридорного типу за рахунок використання поперечних пористих перегородок, виконаних із полімербетону. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали можливість використання турбулентної фільтрації для розрахунку втрат напору в пористій перегородці. Показана доцільність улаштування пористих полімербетонних перегородок спочатку першого коридору перегородчастого змішувача, частину якого до пористої перегородки виконувати в напірному варіанті.

Ключові слова: перегородчастий змішувач, підвищення ефективності роботи, пориста полімербетонна перегородка, турбулентна фільтрація, втрати напору.

Вступ. Згідно з Національною доповіддю про якість питної води в Україні споживання населенням питної води у 80% відбувається з поверхневих джерел, якість яких за хімічними та мікробіологічними показниками постійно погіршується [1]. Погіршення якості природних водойм для України – надзвичайно серйозна проблема [2].

Споживання питної води в необхідній кількості та вищої якості варто розглядати як одну з головних складових частин здорового способу життя, один із факторів продовження активного періоду життєдіяльності [3].

Стає очевидним, що питна вода однозначно перестає бути безумовним життєдайним дарунком природи, який повсякденно супроводжуватиме нас протягом усього життя. У наш час питна вода стає високотехнологічним продуктом перероблення та очищення забрудненої води поверхневих джерел. Очищення води стає визначальним у цілісній системі організації водопостачання населених пунктів, а також локальних та індивідуальних споживачів [4].

При підготовці питної води застосовуються різні технологічні схеми, вибір яких здійснюється на підставі показників якості природної води, наявності в ній токсичних та

особливо небезпечних забруднювальних речовин, санітарно-гігієнічних вимог до якості питної води, потужності споруд, досвіду застосування технологічної схеми, що рекомендується в подібних умовах або на воді даного джерела водопостачання, спеціальних технологічних досліджень, з урахуванням місцевих умов, наявності матеріалів, устаткування тощо [4-13].

В нашій країні при підготовці питної води широкого розповсюдження знайшли реагентні технологічні схеми, що базуються на застосуванні коагулювання води.

Змішування вихідної води з реагентами відбувається в змішувачах і повинно бути повним і швидким. Від ефективної роботи цих споруд залежить і ефективність роботи усій реагентній схемі очищення води [7, 9, 14].

На великих водоочисних станціях використовується перегородчасті змішувачі коридорного типу з горизонтальним рухом води з поворотом на 180°, число поворотів 8-10, які при витратах оброблювальної води менше розрахункових не забезпечують надійного ефекту змішування. Таким чином, удосконалення таких змішувачів є актуальною задачею.

Мета. Мета роботи – підвищення ефективності роботи перегородчастого змішувача коридорного типу за рахунок встановлення поперечних пористих перегородок у коридорах змішувача, виконаних із пористого полімербетону. Для виконання цієї мети необхідно: визначити режим руху рідини в коридорах змішувача та в пористій перегородці; провести теоретичні та експериментальні дослідження з визначення місцевого опору пористої перегородки і ефективності змішування.

Основна частина. На кафедрі водопостачання, каналізації і гідравліки Харківського національного університету будівництва та архітектури був розроблений та досліджений перегородчастий змішувач коридорного типу удосконаленої конструкції, в коридорах якого (перпендикулярно коридорам) розташовуються з'ємні щілинні перегородки, в яких щілини улаштовуються перпендикулярно або паралельно площині днища коридору, та з'ємних розосереджених трубчастих, щілинних або дірчастих систем подачі води реагентів, щілини або ряду отворів в яких розташовані перпендикулярно щілинам перегородки. Це дозволяє подавати різні реагенти в один змішувач, підвищити градієнт швидкості, поліпшити якість процесу освітлення води, збільшити фільтроцикл швидких фільтрів і зменшити об'єм промивної води.

Але щілинні перегородки, які розміщені в каналах змішувача, змінюють тільки швидкість руху води, за рахунок чого підвищується інтенсивність змішування, але в самих щілинах перегородках змішування реагентів з вихідною водою не відбувається. Тому для підвищення ефективності роботи перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції пропонується перпендикулярно до перегородок розташовувати з'ємні пористі перегородки, які виконанні на основі в'язучих речовин [15, 16].

Пористі перегородки підвищують інтенсивність змішування реагентів з вихідною водою за рахунок того, що змішування відбувається не тільки в об'ємі змішувача, а і в самій пористій перегородці. Порові канали мають покручену форму, яка з'єднує

та роз'єднує порові канали між собою. Потoki вихідної води та розчини реагентів, які рухаються по поровим каналам зіштовхуються між собою, з'єднуються, що підвищує інтенсивність змішування реагентів з вихідною водою, а рівномірний вихід вихідної води, яка змішана з реагентом, з порових каналів пористої перегородки поліпшує розподіл потоку по перерізу коридорів змішувача.

Зміна товщини пористої перегородки дозволяє регулювати час змішування вихідної води з реагентами в самій пористій перегородці.

Пористі перегородки мають місцеві опори, тому їх варто улаштувати на початку або в кінці каналу в якому улаштовані, тому що рівень води попереду пористої перегородки більш чим за нею, а швидкість руху води в каналі змішувача повинна відповідати діючим нормам.

Пористі перегородки виконані з гравію крупністю 10÷15 мм (середній діаметр 12,5 мм), 16÷22 мм (середній діаметр 19 мм) і 23÷27 мм (середній діаметр 25 мм) та епоксидної смоли марки ЕД-20 із затверджувачем поліетеленполіаміном (ПЕПА). Цей матеріал характеризується високою міцністю, підвищеною хімічною стійкістю до агресивного впливу води, що оброблена реагентами, відсутністю біобростання в процесі тривалої експлуатації. Перегородка мала товщину 50 мм. Дослідження виконувалися на моделі перегородчастого змішувача коридорного типу 1:4.

Запропонована конструкція перегородчастого змішувача коридорного типу з пористими перегородками схематично представлена на рис.1.

Перегородчастий змішувач коридорного типу з пористими перегородками складається з трубопроводу подачі вихідної води 1, розподільної камери 2, корпусу перегородчастого змішувача 3, каналів перегородчастого змішувача 4, пористої перегородки 5, трубопроводу (шлангу) подачі реагенту 6, розосередженої трубчастої щілинної або дірчастої системи подачі реагентів 7, збірної камери 8, трубопроводу відведення вихідної води змішаної з реагентами 9.

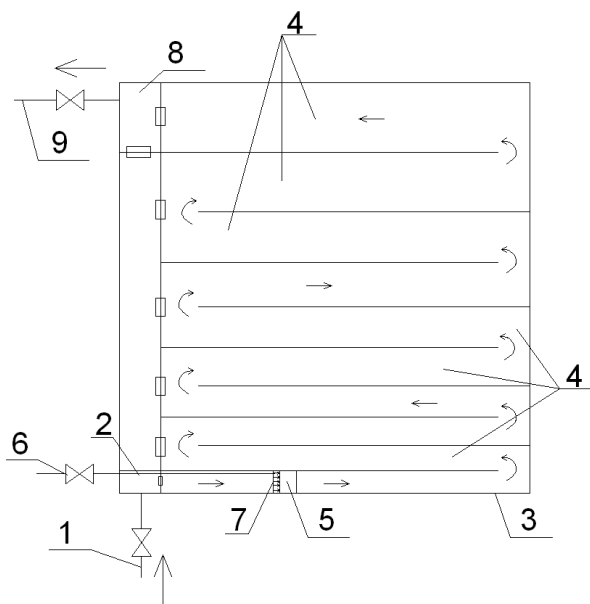


Рис. 1 Схема пористого змішувача коридорного типу з пористими перегородками

До проведення експериментів необхідно визначити режим руху рідини в пористій перегородці.

Явище руху води в пористих середках в гідравліці має назву фільтрація води. Фільтрація може бути ламінарною та турбулентною [17-19].

Для ламінарної фільтрації основною залежністю є формула Дарсі

$$V = k \cdot I \quad (1)$$

де V – швидкість фільтрації, м/с; k – коефіцієнт фільтрації, м/с; I – п'єзометричний ухил.

Залежність (1) використовується в тому випадку, якщо

$$Vd < 0.01 \div 0.007 \quad (2)$$

де d – діаметр (середній розмір) частинок матеріалу через який відбувається фільтрація, см.

Якщо умова (2) не виконується, то має місце турбулентна фільтрація.

Під швидкістю фільтрації розуміють частку відділення витрати на площу перетину пористого середовища, крізь яку відбувається фільтрація.

Із залежності (2) видно, що критична швидкість для ламінарної фільтрації повинна бути не більше:

$$V = < \frac{0.01 \div 0.07}{d} \quad (3)$$

При середньому розмірі гравійного матеріалу пористої перегородки від 1,25 см

до 2,5 см критична швидкість для ламінарної фільтрації відповідно буде складати: $0,008 \div 0,056$ см/с та $0,004$ см/с $\div 0,028$ см/с.

Таким чином, при розташуванні пористої перегородки, в коридорах перегородчастого змішувача в цій перегородці буде відбуватися турбулентна фільтрація.

До умов турбулентної фільтрації швидкість її (м/с) визначається за формулою:

$$V_T = K_T I^{0.5}, \quad (4)$$

де K_T – коефіцієнт турбулентної фільтрації м/с; I – гідравлічний ухил.

В основу розрахунку напірних фільтруючих насипів прийнято рівняння турбулентного фільтраційного потоку при рівномірному русі [17-19].

$$Q = K_T \cdot \omega \sqrt{I} \quad (5)$$

де Q – витрати води, які проходять крізь фільтруючу насип, м³/с; ω – площа живого перетину фільтруючої насипі, м².

Із формул (4) та (5) видно, що:

$$Q = V_T \cdot \omega \quad (6)$$

Якщо відомі витрати Q , а також площа живого перетину фільтруючої насипі ω , можливо визначити швидкість турбулентної фільтрації V_T :

$$V_T = \frac{Q}{\omega} \quad (7)$$

А далі по формулі (4) визначається гідравлічний ухил:

$$I = \left(\frac{V_T}{K_T} \right)^2, \quad (8)$$

де K_T табличне значення, або визначається за формулою (см/с):

$$K_T = 18e\sqrt{d}, \quad (9)$$

де e – коефіцієнт пористості для гравія – 0,4; d – діаметр фільтруючого матеріалу, см.

Таким чином втрати напору в пористій полімербетонній перегородці можливо визначити за формулою:

$$\Delta h = \left(\frac{V_T^2}{K_T^2} \right) \cdot \delta \quad (10)$$

де δ – товщина пористої полімербетонної перегородки (см).

Слід відмітити, що усі змішувальні пристрої, які можна бути порівняні, повинні відповідати ефективності та інтенсивності змішування [22-24], але існує ще один критерій – економічний. В даному випадку це втрати напору в пористій перегородці, які впливають на напір насосів,

тобто на втрати електроенергії, на експлуатаційні затрати тощо.

Інтенсивність змішування, I [23] являє собою енергію N_n , яку необхідно витратити на змішування одиниці об'єму (N_n/V) або маси ($N_n/\rho Q$) рідини в одиницю часу для отримання необхідної якості суміші.

Енергія N_n , яку необхідно витратити на змішування, в пористій перегородці може бути знайдена із формули [25]:

$$N_n = \Delta P V, \quad (11)$$

де ΔP – перепад тиску, Па; V – об'ємні витрати, m^3/c , звідки слідує, що інтенсивність змішування в пористій перегородці повністю залежить від перепаду тиску:

$$I = \frac{N_n}{V} = \frac{\Delta P \cdot V}{V} = \Delta P \quad (12)$$

Таким чином, чим більше втрати напору в пористій перегородці, тим більше інтенсивність змішування.

Використовуючи експериментальні дані та формули (6-10), визначимо втрати напору в пористій полімербетонній перегородці і занесемо їх в табл. 1

Із табл. 1 можна зробити висновок, що втрати напору в пористій полімербетонній перегородці зростають зі збільшенням швидкості турбулентної фільтрації і

зменшуються зі збільшенням діаметру заповнювача пористої перегородки, але зостаються достатньо великими.

Тому доцільно улаштувати такі перегородки спочатку першого коридору перегородчастого змішувача, а частину першого коридора до пористої перегородки виконувати в напірному варіанті.

На основі табл.1 побудовані графіки залежності втрати напору (перепаду тиску) в пористих перегородках з різним розміром (середнім діаметром) заповнювача від швидкості руху потоку.

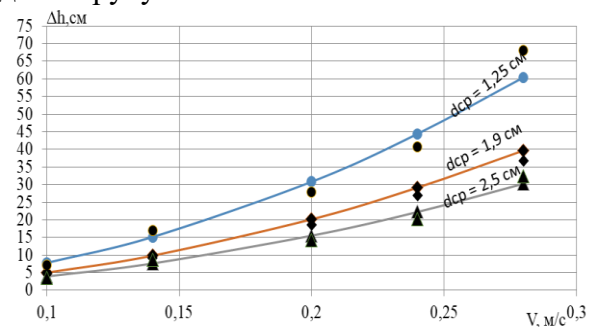


Рис. 2. Залежність втрат напору (перепаду тиску) в пористій перегородці від швидкості руху потоку (швидкості турбулентної фільтрації) з розміром заповнювача ($d_{cp} = 1,25$ см); ($d_{cp} = 1,9$ см); ($d_{cp} = 2,5$ см)

Таблиця 1 - Визначення втрати напору в пористій полімербетонній перегородці $W = 0,072m^2$

№ Коридору	№ п/п	Швидкість руху в коридорі м/с	Діаметр фільтруючого завантаження (d _{cp}) см	Коефіцієнт турбулентної фільтрації K _T (см/с)	Швидкість турбулентної фільтрації V _T (см/с)	Гідравлічний ухил, I	Витрати води Q (м³/с)	Втрати напору в перегородці Δh (см)		Відхил, %
								Теоретичні	Експериментальні	
5	1	0,10	1,25	8,05	10	1,54	0,007	7,7	7,1	7,8
	2	0,14	1,25	8,05	14	3,02	0,01	15,1	17	11,2
	3	0,20	1,25	8,05	20	6,16	0,0144	30,8	28,0	9,1
	4	0,24	1,25	8,05	24	8,89	0,0173	44,45	40,7	8,4
	5	0,28	1,25	8,05	28	12,1	0,02	60,5	68	11
5	6	0,10	1,9	9,93	10	1,02	0,007	5,1	4,7	7,8
	7	0,14	1,9	9,93	14	1,99	0,01	9,95	9,1	8,5
	8	0,20	1,9	9,93	20	4,05	0,0144	20,25	18,7	7,7
	9	0,24	1,9	9,93	24	5,85	0,0173	29,25	27,0	7,7
	10	0,28	1,9	9,93	28	7,95	0,02	39,75	36,7	7,7
5	11	0,10	2,5	11,38	10	0,77	0,007	3,85	3,5	9,1
	12	0,14	2,5	11,38	14	1,51	0,01	7,57	8,7	13
	13	0,20	2,5	11,38	20	3,1	0,0144	15,5	14,3	7,8
	14	0,24	2,5	11,38	24	4,45	0,0173	22,25	20,3	8,8
	15	0,28	2,5	11,38	28	6,05	0,02	30,3	32,4	6,5

Як видно із рис. 2 результати добре поєднуються з теорією, відповідно якої втрати напору (перепад тиску) пропорційно квадрату швидкості потоку рідини. Крім того, експериментами підтверджено, що втрати напору в пористій перегородці залежать від розміру заповнювача. В цілому видно, що зменшенням розміру заповнювача зростають втрати напору, що можливо об'яснити зменшенням порових каналів і збільшенням їх звивисті, що видно з графіку рис. 3.

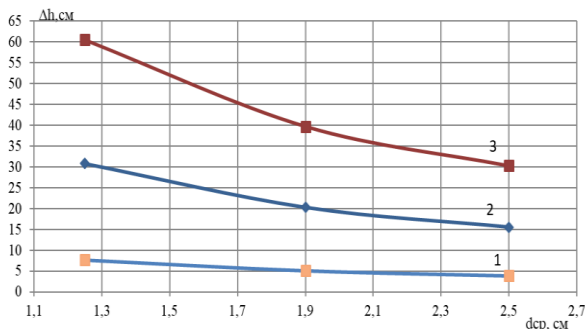


Рис. 3. Залежність втрат напору (перепаду тиску) в пористій перегородці від розміру заповнювача (dcp) при швидкості руху потоку (швидкості турбулентної фільтрації)
1 – 0,1 м/с; 2 – 0,2 м/с; 3 – 0,28 м/с

Висновки

1. Показана доцільність використання поперечних пористих перегородок в перегородчастому змішувачі коридорного типу, які підвищують ефективність його роботи.
2. Теоретично доказано, що турбулентний режим в пористій полімерній перегородці, дає можливість використовувати залежність турбулентної фільтрації до проходження рідини крізь пористу перегородку.
3. Експериментально доказано можливість визначання втрат напору в пористій полімербетонній перегородці по залежностям втрат напору в пористому середовищі при турбулентній фільтрації.
4. Показана доцільність улаштування пористих полімер бетонних перегородок спочатку першого коридору перегородчастого змішувача, а частину першого коридору до пористої перегородки виконувати в напірному варіанті.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2010 році. К.: Мінрегіон України. – 2011. - 564с.
2. Яцюк М. Жук В., Гончаров Г., Барабаш С., Пятиребльова І. Оцінка екологічного стану поверхневих водних об'єктів басейну Сіверського Дінця. - Краматорск: ЕПК. - 2015. - 63с.
3. Гончаренко В.В. Наука о воде /В.В. Гончаренко. - К.: Наукова думка. - 2010. - 512с.
4. Корінько І.В. Інноваційні технології водопідготовки: монографія / І.В. Корінько, Ю.О. Панасенко; Харк. Нац. акад. міськ. госп-ва. - Х. ХНАМГ. - 2012. - 208с.
5. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
6. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод: Учебное пособие для вузов / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. - М.: Высш. шк., 1981. - 328 с.
7. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод: Учебное пособие для вузов / Г.И. Николадзе. - М.: Высш. шк., 1981. - 328 с.
8. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод: Навчальний посібник / [С.М. Епоян, В.Д. Колотило, О.Г. Друшляк та ін.]. – Харків: Фактор, 2010. – 192 с.
9. Василенко О.А. Реконструкція і інтенсифікації споруд водопостачання та водовідведення: Навчальний посібник [О.А. Василенко, П.О. Грабовський, Г.М. Ларкіна та ін.]. - К.: ІВНВКП «Укрґеліотех», 2010. - 272с.
10. Водоснабжение / [А.Я. Найманов, С.Б. Никиша, Н.Г. Насонкина и др.] – Донецк: ООО «Норд Компьютер», 2006. – 654 с.
11. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3т. Т2. Очистка и кондиционирование природных вод. – Изд. 3-е, перераб. и доп.: Учебное пособие / [М.Г. Журба, Л.И.Соколов, Ж.М.Говорова]. – М.: Изд. АСВ, 2010. – 532 с.
12. Тугай А.М. Водопостачання: Підручник / А.М. Тугай, В.О.Орлов. – К.: Знання, 2009.– 735 с.
13. Эпоян С.М. Эффективность барьерной роли существующих сооружений кондиционирования природной воды и перспективы их развития / С.М. Эпоян, М.А. Давидян // Научный вестник строительства. –

- Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2008. – Вип. 46. – С.163-166.
14. Проектування і розрахунок водопровідних очисних споруд систем господарсько-питного водопостачання з поверхневих водних джерел: Навчальний посібник / [С.М. Епоян, І.Л. Копелевич, О.Г. Друшляк та ін.]. - Харків: СПД-ФО Федорко М.Ю., 2006.- 204 с.
 15. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов / И.А.Рыбьев-М.: Высш. школа, 2002. – 701с.
 16. Шевченко В.А. Технология и применение специальных бетонов: учебное пособие / В.А. Шевченко. – Красноярск: СФУ, 2012. - 201с.
 17. Константинов Ю.М. Інженерна гідравліка: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Ю.М.Константинов, О.О.Гіжа. – К: Видавничий Дім «Слово», 2006.-432с.
 18. Науменко І.І. Технічна механіка рідини і газу: Підручник для вищих навчальних закладів /І.І. Науменко. – Рівне: Вид-во РДГУ, 2000.-528с.
 19. Справочник по гидравлике / [В.А.Большаков, Ю.М.Константинов, В.Н.Попов и др.]. – К.: Вища шк., 1984. -343с.
 20. Чугаев Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1970. – 552с.
 21. Эпоян С.М. Особенности гидравлического моделирования перегородчатого смесителя коридорного типа по равенству скоростей/ С.М. Эпоян, Г.И. Сухоруков, В.А. Яркин // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ. – 2017 - Т.88, №2. - С.236-239.
 22. Брагинский Л.Н. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета / Л.Н. Брагинский, В.И. Бечачев, В.М. Барабаш. – Л.: Химия, 1984. - 336с.
 23. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. ч.1.2 / Ю.И. Дытнерский. –М.: Химия, 2002. -368с.
 24. Айнштейн В.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии / В.Г. Айнштейн. – М.: Химия, 1999. – 888с.
 25. Фарахов .Т.М. Оценка эффективности статических смесителей насадочного типа / Т.М. Фарахов, А.Г. Лаптев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – Казань, 2011. - С.20-24.
- Эпоян С.М., Яркин В.А., Сухоруков Г.И., Сизова Н.Д., Пашкова С.П. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЕРЕГОРОДЧАТОГО СМЕСИТЕЛЯ КОРИДОРНОГО ТИПА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ПОРИСТЫХ ПЕРЕГОРОДОК.** Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы перегородчатой смешивания коридорного типа за счет использования поперечных пористых перегородок, выполненных из полимербетона. Проведены теоретические и экспериментальные исследования показали возможность использования турбулентной фильтрации для расчета потерь напора в пористой перегородке. Показана целесообразность устройства пористых полимербетонных перегородок сначала первого коридора перегородчатого смесителя, часть которого до пористой перегородки выполняются в напорном варианте.
- Ключевые слова:** перегородчатый смеситель, повышение эффективности работы, пористая полимербетонная перегородка, турбулентная фильтрация, потери напора.
- Epoyan S.M., Yarkin V.A., Sukhorukov G.I., Sizova N.D., Pashkova S.P. IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE CORRIDOR-TYPE MIXING BASIN THROUGH THE USE OF TRANSVERSE POROUS PARTITIONS.** The issues of increasing the efficiency of partition mixing of the corridor type are considered through the use of transverse porous partitions made of polymer concrete. The conducted theoretical and experimental studies have shown the possibility of using turbulent filtration to calculate head loss in a porous partition. The expediency of arrangement of porous polymer concrete partitions is initially shown in the first corridor of a partition mixer, part of which is carried out in a pressure version of a porous partition.
- Keywords:** partial mixer partition, performance increase, porous polymer concrete partition, turbulent filtration, pressure loss.