

Эпоян С.М., Сухоруков Г.И.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Яркин В.А.

Коммунальное предприятие «Харьковводоканал»

**ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПЕРЕГОРОДЧАТОГО СМЕСИТЕЛЯ КОРИДОРНОГО ТИПА ПО РАВЕНСТВУ
СКОРОСТЕЙ**

Смешение исходной воды с реагентами осуществляется, как правило, в специальных сооружениях-смесителях [1-7]. Смесители могут быть гидравлическими и механическими, в зависимости от условий смешивания потока воды с реагентом. Смесители гидравлического типа характеризуются конструктивной простотой и эксплуатационной надежностью и нашли широкое распространение в нашей стране.

К смесителям гидравлического типа относятся и перегородчатые смесители коридорного типа с горизонтальным движением воды с поворотами на 180^0 , число поворотов 8-10 [6, 8-10], которые эксплуатируются на водоочистных комплексах.

Исследования в натуральных условиях работы смесителей представляют определенные трудности, так как на станциях очистки воды резервных смесителей не предусматривается [6, 10, 11], что затрудняет условия исследований и эксплуатации. Поэтому, лучше проводить исследования работы смесителя в лабораторных условиях на моделях.

Моделирование физических явлений представляет собой эффективный метод экспериментальных исследований. Этот метод позволяет на уменьшенной или увеличенной модели изучаемого процесса проводить качественные и количественные наблюдения физических закономерностей, имеющих в природе, которая часто бывает недоступна для исследований. При этом, изучение явлений на модели можно осуществить значительно проще и полнее, чем в натуре.

Для характеристики смешения реагентов с водой Кэмпом были предложены величины GT (критерий Кэмп) и понятие градиента скоростей G (интенсивность

смешения) [2, 4]. При этом основополагающей является интенсивность смешения, а влияние продолжительности процесса проявляется в меньшей степени. Градиент скорости для перегородчатого смесителя коридорного типа можно определить по формуле [2,4]:

$$G = \left\{ \frac{[n \cdot v_1^2 + (n-1) \cdot v_2^2] \cdot Q \cdot \rho}{2 \cdot W \cdot \eta} \right\}^{0,5} \quad (1)$$

где n- число перегородок; v^1 и v^2 – соответственно скорости движения воды в коридоре смесителя и на повороте, м/с; Q - расход воды, м³/с; ρ- плотность воды, кг/м³; W- объем смесителя, м³; η- динамическая вязкость воды, Па·с.

При моделировании по критерию Фруда, скорость движения потока воды в модели необходимо уменьшить в величину корня квадратного с коэффициента масштаба геометрического подобия, что одновременно сделать невозможно [12-15], кроме того уменьшение или увеличение скорости движения воды в модели смесителя значительно может изменить градиент скорости.

Поэтому при моделировании исследуется действие одной силы, которая является главной в явлении, что изучается [12-15]. Однако, пренебрежение влияния других сил может привести к определенным неточностям в конечных результатах.

Согласно А.А. Сурина [16], для геометрически подобных модели и натуре рассматривают явление движения потока в условиях равенства скоростей ($V_m = V_n$).

Моделирование по принципу равенства скоростей позволяет удовлетворить многим критериям подобия: R_e , F_r и др. [15].

В работе [17] приведен расчет перегородчатого смесителя коридорного типа

производительностью 60000 м³/сут. т. е. ≈ 0,7 м³/с. Количество перегородок 9. Расчеты сведены в табл. 1 [17].

Длина каждого коридора приведенного смесителя составляет – 7,0 м, а его объем – 84 м³.

Расчетаем модель такого смесителя в масштабе 1:4 по равенству скоростей, а расчеты сведем в табл. 2. При этом: средние скорости движения воды в коридорах

смесителя модели и природы одинаковые; потери напора на повороте тоже одинаковые, т. к. определяются по формуле:

$$h = \zeta \cdot v^2 / 2g \quad (м) \quad (2)$$

где ζ - коэффициент сопротивления, который принимается 2,9; v - скорость движения потока воды в коридоре смесителя; g – ускорение силы тяжести (9,81 м/с²).

Таблица 1 - Расчет потерь напора и размеров каналов модели перегородчатого смесителя

№ п/п	Средняя скорость движения в коридоре, (Vi) м/с	Потери напора на повороте, (hi), м	Глубина потока в коридоре, (Hi), м	Ширина коридора, (Bi), м
1	0,70	0,072	2,4	0,42
2	0,68	0,068	2,328	0,44
3	0,66	0,064	2,264	0,47
4	0,63	0,058	2,200	0,51
5	0,61	0,055	2,145	0,53
6	0,59	0,052	2,093	0,57
7	0,57	0,048	2,045	0,60
8	0,55	0,045	2,000	0,64
9	0,52	0,040	1,960	0,69
10	0,50	0,037	1,923	0,73
				Σ Bi =5,60

Таблица 2 - Расчет потерь напора и размеров каналов модели перегородчатого смесителя

№ п/п	Средняя скорость движения в коридоре, (Vi) м/с	Потери напора на повороте, (hi), м	Глубина потока в коридоре, (Hi), м
1	0,70	0,072	0,6
2	0,68	0,068	0,528
3	0,66	0,064	0,46
4	0,63	0,058	0,396
5	0,61	0,055	0,338
6	0,59	0,052	0,283
7	0,57	0,048	0,231
8	0,55	0,045	0,183
9	0,52	0,040	0,138
10	0,50	0,037	0,098
			Σ Bi =3,316

Ширина первого коридора (B₁) и глубина потока в нем (H₁) уменьшается в 4 раза, т. к. масштаб принят 1:4. Рассчитаем

глубину потока в коридорах смесителя по формуле:

$$H_i = H_{i-1} - h \quad (м) \quad (3)$$

где H_{i-1} - глубина воды в предыдущем коридоре смесителя (м); h - потери напора на повороте потока (м).

Глубина потока воды в первом коридоре модели смесителя (H_1) равна 0,6 м, а его ширина (B_1) - 0,105 м, тогда расход воды в модели смесителя (Q) равен:

$$Q = H_1 \cdot B_1 \cdot v_1, (m^3/c) \quad (4)$$

$$Q = 0,6 \cdot 0,105 \cdot 0,7 = 0,0441 m^3/c$$

Ширину каждого коридора находим из формулы (2) и заносим в табл. 2. Длина каждого коридора модели уменьшена в 4 раза относительно длины натурального сооружения и составляет 1,75 м.

Рассчитаем градиент скорости для натурального сооружения и для модели по формуле (1) при условии, что температура воды 10 °С, а средняя скорость движения потока в смесителях 0,6 м/с.

Для натурального сооружения.

$$G = \left\{ \frac{[10 \cdot 0,6^2 + (10-1) \cdot 0,6^2] \cdot 0,7 \cdot 999,8}{2 \cdot 84 \cdot 0,00131} \right\}^{0,5} = 147,5 c^{-1}$$

Для модели смесителя.

$$G = \left\{ \frac{[10 \cdot 0,6^2 + (10-1) \cdot 0,6^2] \cdot 0,0441 \cdot 999,8}{2 \cdot 1,89 \cdot 0,00131} \right\}^{0,5} = 246,8 c^{-1}$$

Из приведенных расчетов градиента скорости видно, что градиент скорости в модели смесителя близок к рекомендованному 250-300 c⁻¹ [2,4], а в натурном сооружении ниже, что доказывает на недостаточную эффективность его работы.

Таким образом, при моделировании перегородчатого смесителя коридорного типа по равенству скоростей необходимо иметь: геометрическое подобие формы смесителя; количество коридоров (перегородок); входных и выходных устройств для воды; геометрическое подобие длины коридоров и первого коридора по ширине и глубине потока в нем, а ширина и глубина потока в последующих коридорах определяется расчетами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов. - М.: Стройиздат, 1982. - 440 с.
2. Епоян С.М., Сухоруков Г.И., Друшляк О.Г., Шилін В.В. Водопостачання (очистка природних вод): Навчальний посібник. - Харків: Основа, 2001. - 191 с.

3. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод: Учебное пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1981. - 328с.
4. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод: Учебник для вузов. - М.: Высш. шк., 1987. - 479 с.
5. Епоян С.М., Колотило В.Д., Друшляк О.Г. та ін. Водопостачання та очистка природних вод: Навчальний посібник. - Харків: Фактор, 2010. - 192 с.
6. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. - К.: Мінрегіон України, 2013. - 172 с.
7. Василенко О.А., Грабовський П.О., Ларкіна Г.М. та ін. Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення: Навчальний посібник. - К.: ІВНВКП «Укрґеліотех», 2010. - 272 с.
8. Найманов А.Я., Никиша С.Б., Насонкіна Н.Г. и др. Водоснабжение. - Донецк: ООО «Норд Компьютер», 2006. - 654 с.
9. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. Т.2 Очистка и кондиционирование природных вод.: Учебное пособие. - М.: Издательство АСВ, 2010. - 532 с.
10. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання: Підручник. - К.: Знання, 2009. - 735 с.
11. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий/ (В.А. Клячко, С.Н. Аронов, В.И. Лазарев и др.) под общ. ред. И.А. Назарова. - М.: Стройиздат, 1977. - 288 с. - (Справочник проектировщика).
12. Леви И.И. Моделирование гидравлических явлений. - М.: Госэнергоиздат, 1960. - 320 с.
13. Лапшев Н.Н. Гидравлическое моделирование: Учебное пособие. - Л., 1980. - 72 с.
14. Гнедин К.В. Режим работы и гидравлика горизонтальных отстойников. - К.: Будівельник, 1974. - 81 с.
15. Епоян С.М., Сухоруков Г.И., Яркін В.А. Умовля гидравлического моделирования смесителей // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - 2015. - №3 (81). - С.110-113.
16. Сури́н А.А., Горо́дищєр З.Я. Исследование на моделях режима работы горизонтальных отстойников//Сборник научных работ. Водоснабжение. - Л.: ЛНИИКХ, 1950. - Вып. 1. – С.52-59.

17. Епоян С.М., Копелевич І.Л., Друшляк О.Г. та ін. Проектування і розрахунок водопровідних очисних споруд систем господарсько-питного водопостачання з поверхневих водних джерел: Навчальний

посібник. - Харків: СПД-ФО Федорко М.Ю., 2006.- 204 с.

Рецензент: д-р техн. наук А.С. Карагяур

УДК 504.4.054

Проскурнин О. А., Юрченко А.И.,

НИУ «Украинский НИИ экологических проблем», г. Харьков,

Березенко Е.С.

Луганский национальный аграрный университет, г. Харьков

РАСЧЕТ ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ ВОЗВРАТНЫХ ВОД В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЛЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

С целью обеспечения экологической безопасности отведения возвратных вод – сточных, дренажных, сбросных – в водные объекты (ВО) природоохранное законодательство Украины [1] предписывает предприятиям-водопользователям назначать предельно допустимые сбросы (ПДС) загрязняющих веществ, поступающих в ВО с возвратными водами. Методической базой для разработки ПДС является инструкция [2], в которую заложены два возможных подхода к решению указанной задачи – базовый, основанный на равномерном использовании ассимилирующей способности ВО ([2], прилож. 1, п. 1.2.4), и оптимизационный ([2], прилож. 1, п. 1.2.5).

При базовом подходе решают задачу, обратную задаче прогнозирования качества воды ВО, – рассчитывают состав возвратных вод, при котором качество воды ВО остается на допустимом уровне. Расчет допустимого состава выполняется отдельно для каждого загрязняющего вещества с учетом интенсивности процессов самоочищения ВО и присущих данному объекту природных (без антропогенного влияния) фоновых концентраций рассматриваемых веществ.

Недостатком базового подхода является пренебрежение возможностью химического превращения в водной среде одного загрязняющего вещества в другое, вследствие чего применение этого под-

хода не позволяет обеспечить нормативные концентрации продуктов такой трансформации. Кроме того, базовый подход не учитывает взаимозависимости концентраций веществ в возвратных водах на выходе из очистных сооружений (ОС), которая вызвана тем, что процесс очистки влияет сразу на несколько показателей состава воды. Игнорирование данного факта приводит к получению технологически недосягаемого (в рассматриваемых условиях) результата расчета допустимого состава [3].

В основе оптимизационного подхода лежит идея регулирования потока возвратных вод по различным технологическим маршрутам их очистки. Критерий оптимальности – минимум суммарных затрат на очистку сточных вод до уровня ПДС:

$$Z = \sum_{i=1}^M f(\{x_1^i, x_2^i, \dots, x_{R_i}^i\}) \longrightarrow \min, \quad (1)$$

где Z – функция цели; i – индекс выпуска сточных вод (здесь и далее верхние индексы означают источник загрязнения); f – затраты на водоочистку, грн/с; $\{x_1^i, x_2^i, \dots, x_{R_i}^i\}$ – вектор безразмерных оптимизируемых переменных, определяющих доли расхода возвратных вод, проходящих по различным технологическим маршрутам; R_i – количество технологических маршрутов очистки; M – число водопользователей.