

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ СБОРНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

Грачёв И.А., аспирант,

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
giawork@ukr.net

Аннотация. В статье рассмотрены причины возникновения неравномерности распределения воды в сборно-распределительных системах водопроводных сооружений, ее влияние на качество очищаемой воды, и на процессы, проходящие в очистных сооружениях во время их эксплуатации. Также приведены методы оценки неравномерного распределения расходов, и пути снижения неравномерности возникающей в поле давлений, и неравномерности сопротивлений для сборно-распределительных трубопроводов с дискретным и непрерывным распределением расходов. Помимо этого, определены основные направления для дальнейших исследований методов снижения неравномерности в сборных и распределительных трубопроводах сооружений водоподготовки.

Ключевые слова: неравномерность распределения воды, сборно-распределительные системы в водоснабжении, повышение качества водоподготовки.

НЕРІВНОМІРНІСТЬ РОЗПОДІЛУ ВОДИ ЗБІРНО-РОЗПОДІЛЬЧИМИ СИСТЕМАМИ

Грачов І.А., аспірант,

Одеська державна академія будівництва і архітектури
giawork@ukr.net

Анотація. В статті розглянуто причини виникнення нерівномірності розподілу води в збірно-розподільчих системах водопровідних споруд, її вплив на якість води, що очищується і на процеси, що проходять в очисних спорудах під час їх експлуатації. Також наведені методи оцінки нерівномірного розподілу витрат, та шляхи зниження нерівномірності, що виникає в полі тисків, і нерівномірності опорів для збірно-розподільчих трубопроводів з дискретним і безперервним розподілом витрат. Крім цього, визначено основні напрямки для подальших досліджень методів зниження нерівномірності в збірних і розподільчих трубопроводах споруд водопідготовки.

Ключові слова: нерівномірність розподілу води, збірно-розподільчі системи у водопостачанні, підвищення якості водопідготовки.

THE UNEVENNESS OF WATER DISTRIBUTION IN COLLECTION AND DISTRIBUTION SYSTEMS

Grachov I., postgraduate,

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
giawork@ukr.net

Abstract. The article examines the reasons for the unevenness of water distribution in collection and distribution systems of water purification facilities, its impact on the quality of the treated water and the processes taking place in water treatment facilities during their operation. It also provides methods for evaluating the uneven distribution of flow and ways to reduce the unevenness arising in

the pressures field and uneven resistances for collection and distribution pipelines with discrete and continuous flow distribution. Based on the analysis of existing methods of reducing unevenness, it was determined that it is possible to reduce the impact of the unevenness in the pressures field for collection and distribution systems with discrete flow distribution by applying distributing pipes with variable cross-section, pitch or diameter of perforation. Reducing the impact of such unevenness for collection and distribution pipelines with continuous flow distribution can be achieved by using distributing pipes with variable cross-section along its length. In calculating water collection and distribution systems, unevenness resistances caused by failures of manufacture and assembly of drainage system can be considered using the K_δ and C coefficients given in this article.

Keywords: uneven distribution of water, collection and distribution systems in water supply, improvement of water treatment quality.

Введение. Сборно-распределительные системы являются важной составляющей сооружений водоподготовки, поэтому к ним предъявляются особые требования. Одним из таких требований, является обеспечение необходимой степени равномерности распределения и сбора воды.

Недостаточная равномерность распределения воды приводит к снижению качества очищаемой воды, к повышению расходов на эксплуатацию очистных сооружений. Например, в дренажно-распределительных системах скорых водоочистных фильтров неравномерное распределение воды при промывке приводит к тому, что образуются зоны повышенных и пониженных скоростей. В результате в тех местах, где скорости восходящего промывного потока ниже средних, фильтрующая загрузка будет отмываться хуже, приходится увеличивать продолжительность промывки, что ведет к росту эксплуатационных расходов на подачу дополнительного объема воды.

Цель и задания. Проанализировать существующие методы снижения неравномерности распределения и сбора воды в сборно-распределительных трубопроводах сооружений водоподготовки, причины ее возникновения, методы оценки неравномерности и указать наиболее перспективные направления для дальнейших исследований.

Анализ исследований и публикаций. Неравномерность распределения и сбора воды в дырчатой трубе, в основном, обусловлена перепадом давлений в начале и конце распределителя, вызванного изменением скоростного напора. Известные методики расчета распределителей и сборников основаны на определении общего изменения пьезометрического напора вдоль пути движения жидкости с переменным расходом и потерь напора на входе или выходе струй через отверстия.

Д.М. Минц [1], рассматривая вопросы распределения воды с помощью трубчатой системы для поверхностной промывки в скорых фильтрах получил уравнение пьезометрической линии для распределителя большого сопротивления:

$$h_f = \frac{3 V_n^2 L_p^2 - x^2}{2 \cdot 2g L_p^2} - \frac{S_c Q_o}{3\mu} (L_p^3 - x^3), \quad (1)$$

где V_n – средняя скорость потока в начале распределителя;

x – расстояние от конечного до промежуточного сечения распределителя;

L_p – длина распределителя;

Q_o – расход в начале распределителя;

μ – коэффициент расхода отверстий.

Для распределителей круглого сечения М.М. Андрияшев [2] получил зависимость, позволяющую определить изменение пьезометрического напора по длине:

$$h_n = h_c + h_f = \left(\frac{\lambda L_p}{3d} - 1 \right) \frac{V_n^2}{2g}, \quad (2)$$

где h_c – величина восстановления скоростного напора;

h_f – потери напора на трение;

λ – коэффициент Дарси;

d – диаметр распределителя.

Для распределителя круглого сечения, снабженного насадками, Г.А. Петров [3] предложил более точную формулу для определения пьезометрического напора:

$$h_n = h_c + h_f + h_t = \left(\frac{\lambda L_p}{3d} - 2\alpha \right) \frac{V_n^2}{2g}, \quad (3)$$

где h_t – дополнительное изменение напора в трубе, связанное с распределением расхода вдоль пути;

α – коэффициент кинетической энергии.

Приведенные зависимости (1-3), позволяющие определить изменение пьезометрического напора по длине распределителя или сборника, основаны на ряде допущений, вызывающих погрешность расчетов.

Существуют различные методы оценки неравномерности распределения расходов. Так, в [4] используется среднеквадратичное отклонение скоростей от средней скорости, в [5, 6] определяется отклонение давлений в распределителе от среднего, а И.Е. Идельчик [7] предлагает использовать коэффициенты Кориолиса и Буссинеска, подсчитанные по полям скоростей в аппарате. В водоснабжении неравномерность промывки оценивают относительным отклонением максимальных интенсивностей от минимальных [8].

Обобщение данных по неравномерности работы распределителей и сборников воды в различных водоочистных сооружениях сделано А.И. Егоровым [9]. Он рекомендует при промывке фильтровальных сооружений принимать допустимую неравномерность 4%. В работе [10] неравномерность промывки оценивается отношением средней интенсивности к минимальной. Здесь же приводится соотношение для определения потерь напора в дренаже в зависимости от допустимой степени неравномерности промывки:

$$h_\delta = \frac{9}{8} \frac{\alpha V_n^2}{2g} (1 - k_\delta^n \beta_\delta^n)^{-1}, \quad (4)$$

где β_δ – допустимая степень неравномерности промывки;

k_δ – неравномерность сопротивлений дренажа;

V_n – начальная скорость в дренаже.

В соответствии с выражением (4) потери напора в дренаже возрастают при увеличении начальной скорости, поэтому в [10] делается вывод о принципиальных преимуществах распределительных систем с поддоном по сравнению с трубчатыми дренажами.

В работе [11] отмечено, что неравномерность распределения расходов при промывке определяется не только неравномерностью поля давлений, но и неравномерностью сопротивлений. Однако эта неравномерность в большинстве известных методов расчета не учитывается [7]. Исследования коэффициентов расхода отверстий в трубчатых распределителях были выполнены в работах [12, 13], а А.И. Егоров [12] получил эмпирическую зависимость для коэффициента расхода круглых отверстий:

$$\mu = 0,95 - 0,17[(Re' + 1)\delta']^{0,4}, \quad (5)$$

где $Re' = Re_n/Re_c$ – отношение чисел Рейнольдса основного потока и вытекающей струи;

$\delta' = \delta/d_o$ – относительная длина отверстия (толщина стенки трубы).

По формуле (5) коэффициент расхода в трубчатых перфорированных распределителях может существенно изменяться по длине. Оценка, выполненная по формуле (5) для дренажного трубопровода скорого фильтра при реальных его размерах показала, что коэффициент расхода первого и последнего отверстий отличаются более чем на 40% [10].

Уменьшить влияние этой неравномерности можно путем применения распределителей с переменным сечением, шагом или диаметром отверстий, однако при этом усложняется их конструкции.

Такие исследования проводились в работах А.М. Кравчука [14]. Для обеспечения необходимой степени равномерности распределения воды им получены зависимости для расчета трубопроводов переменного сечения и переменной степени перфорации боковых стенок.

Существуют конструкции распределителей, в которых влияние транзитного потока на

сопротивление пренебрежительно мало – например, раздающий трубопровод с цилиндрическими патрубками в виде конфузоров. Так как основные потери напора будут в конфузоре, влияние транзитного потока на его сопротивление будет минимальным и, следовательно, коэффициент расхода по длине распределителя будет меняться незначительно, что подтверждено экспериментально [13].

В случае применения пористых распределителей с достаточно большой толщиной стенки основные потери напора будут при движении жидкости в поровом пространстве. В результате исследований А.И. Егорова [2], в которых установлено, что при раздаче потока затопленными патрубками и их длине, большей 1,36 калибра отверстия, вытекающие струи перпендикулярны основному потоку. При раздаче (сборе) воды пористой трубой отношение толщины стенки трубы к размеру пор значительно больше, чем 1,36, поэтому и здесь можно принимать перпендикулярность направления вытекающих (втекающих) струй относительно основного потока.

Следовательно, и здесь влияние транзитного потока будет незначительным, что также подтверждено экспериментально в работе [11].

Второй причиной неравномерностей сопротивлений являются погрешности изготовления и монтажа элементов дренажной системы. Разброс этих сопротивлений зависит от большого числа факторов, которые невозможно детально учитывать. В работе [11] установлено, что для уменьшения этой неравномерности необходимо устраивать дренажи с большим числом элементов на единицу площади. Здесь же, исходя из статистического подхода, получена зависимость для определения коэффициента неравномерности, обусловленного различным сопротивлением элементов пористого полимербетонного дренажа:

$$K_{\phi} = \left(\frac{1 + t_{pm1} \Delta \bar{S} / 3 \sqrt{m_1}}{1 - t_{pm0} \Delta \bar{S} / 3 \sqrt{m_0}} \right)^{1/n}, \quad (6)$$

где t_{pm0} , t_{pm1} – коэффициенты Стьюдента, зависящие от числа элементов дренажа m_0 , m_1 и доверительных вероятностей p_0 и p_1 ;

$\Delta \bar{S} = \Delta S / S_c$ – относительное отклонение (отношение максимального отклонения к расчетному сопротивлению);

m_0 – общее число элементов дренажа фильтра;

m_1 – число элементов дренажа на представительной площади фильтра f_1 , которая принимается в зависимости от полезной площади фильтра F_{ϕ} (при $F_{\phi} \leq 30 \text{ м}^2$, $f_1 = 0,5 \text{ м}^2$; при $F_{\phi} > 30 \text{ м}^2$, $f_1 = 1 \text{ м}^2$).

Потери напора при притоке воды через стенку пористой трубы описывается следующей зависимостью:

$$\Delta h = k_{\phi} C \delta v^{2-n} V_f^n, \quad (7)$$

где Δh – потеря напора в пористой перегородке, см;

δ – толщина перегородки, см;

v – кинематическая вязкость воды, см²/с;

V_f – скорость фильтрования, см/с;

C – коэффициент, зависящий от гранулометрического состава заполнителя полимербетона и степени плотности его укладки, т.е. погрешности изготовления дренажной системы (в случае фильтрования загрязненной воды коэффициент C учитывает кольматацию пор взвешенными частицами);

n – показатель степени, который можно принимать равным 1,67 (при числах Рейнольдса $Re = V_f d / \nu = 15-200$).

Результаты исследований и выводы. В результате проведенного анализа можно отметить что причина возникновения неравномерности распределения расходов в основном, обусловлена перепадом давлений в начале и конце распределителя. Неравномерность распределения расходов определяется не только неравномерностью поля давлений, но и неравномерностью сопротивлений. Для сборно-распределительных систем с дискретным распределением расходов уменьшить влияние неравномерности, возникающей в поле

давлений, можно путем применения распределителей с переменным сечением, шагом или диаметром отверстий, однако при этом усложняется их конструкция. Для сборно-распределительных трубопроводов с непрерывным распределением расходов влияние транзитного потока будет незначительным. Уменьшить влияние неравномерности в таких трубопроводах можно путем использования распределителей с переменным сечением по длине. Неравномерность сопротивлений, причиной которой являются погрешности изготовления и монтажа элементов дренажной системы, в расчетах систем сбора и распределения воды можно учитывать, используя коэффициенты K_δ и C , приведенные в данной статье. Наиболее перспективным направлением для дальнейших исследований является изучение снижения неравномерности в сборно-распределительных трубопроводах путем использования распределителей с переменным сечением по длине, а также разработка методики определения оптимальных диаметров в начале и конце таких распределителей.

Литература

1. Минц Д.М. Гидравлический расчет систем поверхностной промывки скорых фильтров / Д.М. Минц // Материалы санитарно-техн. конфер. – М., – Л., 1948. – С. 83-89.
2. Егоров А.И. Гидравлика напорных трубчатых систем в водопроводных очистных сооружениях / А.И. Егоров. – М.: Стройиздат, 1984. – 94 с.
3. Петров Г.А. Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути / Г.А. Петров. – М., – Л.: Стройиздат, 1951. – 197 с.
4. Гельперин Н.И. Оценка поперечной неравномерности в аппаратах с псевдооживленным слоем / Н.И. Гельперин, В.Г. Айнштейн, Л.Д. Погорелая, В.В. Носова // Хим. промышл., 1979. – №7. – С. 18-21.
5. Чукин В.В. Газораспределение в плотном слое / В.В. Чукин, Р.Ф. Кузнецов // Инж.-физ. журнал, 1967. – т.8. – №1. – С. 74-78.
6. Остапенко В.А. Некоторые вопросы гидродинамики каталитических реакторов / В.А. Остапенко, М.Г. Слинько // Сб. Аэродинамика химических реакторов. – Новосибирск, 1976. – С. 4-30.
7. Идельчик И.Е. Аэродинамика промышленных аппаратов / И.Е. Идельчик. – М.: Энергия, 1964. – 287 с.
8. Клячко В.А. Очистка воды для промышленного водоснабжения / В.А. Клячко, А.А. Кастальский. – М.: Стройиздат, 1950. – 335 с.
9. Егоров А.И. Определение допустимой степени неравномерности распределения и сбора воды в водопроводных очистных сооружениях / А.И. Егоров // Тр. ин-та ВОДГЕО «Научные исследования в области водоснабжения». – М., 1978. – Вып. 75. – С. 65-73.
10. Грабовский П.А. Неравномерность сопротивлений в дренажно-распределительных системах / П.А. Грабовский // Гидравлика и гидротехника. – М., 1987, Вып. 45. – С. 69-73.
11. Грабовский П.А. Интенсификация скорых фильтров совершенствованием регенерации загрузки и конструкций дренажа: Диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. – Одесса, 1990. – 363 с.
12. Егоров А.И. Гидравлический расчет трубчатых систем для распределения воды в водопроводных очистных сооружениях / А.И. Егоров. – М.: Стройиздат, 1960. – 14 с.
13. Лапшев Н.Н. Исследование коэффициента расхода рациональной конструкции оголовка рассеивающего выпуска сточных вод / Н.Н. Лапшев, П.А. Грабовский // Мат-лы 3^{го} Всесоюзного симпозиума по вопросам самоочищения водоемов и смешения сточных вод. – Таллинн, 1969. – Ч.2. – С. 80-87.
14. Кравчук А.М. Гідравліка змінної маси напірних трубопроводів технічних систем: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук, – К., 2004. – 35 с.

Стаття надійшла 18.09.2017