

$$F_w = k_w \frac{v_w^2}{2} \rho_w \cdot S_w = 0,288 \frac{0,5^2}{2} \cdot 1000 \cdot 0,5 = 18 \text{ Н.}$$

Аналогично можно определить гидродинамический коэффициент с противоположной стороны пластины, а также усилие, действующее на пластину с этой стороны. Затем можно вычислить результирующее усилие, действующее на пластину.

Приведенный пример иллюстрирует, что данные, которые получены при исследованиях аэродинамических процессов могут быть использованы при анализе и расчётах гидродинамических процессов, в частности процессов, связанных с расчётом оборудования для получения энергии от возобновляющихся источников.

1. Батурин В.В. Отопление, вентиляция и газоснабжение, часть II. Вентиляция. – М. Госстройиздат, 1959. – 291 с.
2. Ретгер Э.И., Стриженов С.И. Аэродинамика зданий. – М. Стройиздат. – 240 с.
3. Резняков А.Б. Метод подобия. – Изд-во АН КазССР, Алма-Ата, 1959. – 151 с.
4. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. – М. «Высшая школа», 1963. – 253 с.

*Получено 24.09.2012*

УДК 628.16

С.М.ЭПОЯН, д-р техн. наук, А.С.КАРАГЯУР, канд. техн. наук,  
Д.А.ЧЕЧИКОВА

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

### **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫВКИ УСТАНОВКИ МЕМБРАННОЙ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ**

Рассматривается промывка установки мембранной ультрафильтрации с «тупиковой» фильтрацией. Представлены обоснования параметров промывки, обеспечивающие минимальное время промывки и объем промывных вод.

Розглядається промивка установки мембранної ультрафільтрації з «тупиковою» фільтрацією. Представлено обґрунтування параметрів промивки, що забезпечують мінімальний час промивки та об'єм промивних вод.

The washing of plant membranes with a "dead-end" filtration are considered. The justification of washing parameters which minimize time washing and the amount of washing water are presented.

*Ключевые слова:* установка мембранной ультрафильтрации, время промывки, объем промывной воды, траектория частицы взвеси.

В последнее время для очистки небольших расходов воды от взвешенных и коллоидных веществ все более широко применяются ультрафильтрационные модули с полволоконными мембранными элементами. Основным недостатком данного оборудования является резкая зависимость потерь напора и производительности от качества исходной во-

ды. Небольшая грязеемкость обуславливает необходимость частых промывок и, соответственно, большие объемы промывных вод. Поэтому исследования, направленные на повышение эффективности работы ультрафильтрационных установок, в том числе за счет сокращения времени промывки и объемов промывных вод, являются актуальными.

Замедлить процесс накопления взвеси на поверхности мембран при работе ультрафильтрационных установок в режиме фильтрации позволяет метод «тангенциальной» фильтрации. При этом часть потока не фильтруется через мембраны, а циркулирует между входным и выходным отверстиями устройства, смывая с поверхности мембран частицы взвеси [1,2].

Но, чем выше рейтинг фильтрации, тем задерживаются более мелкие частички взвеси. Оторвать от поверхности мембран частичку взвеси с меньшим диаметром сложнее, так как прижимающее действие фильтрационного потока на мелкие частички взвеси сильнее, что требует увеличение скорости и, соответственно, расхода тангенциального потока [3]. Данное обстоятельство делает применение «тангенциальной» фильтрации невыгодным для установок с высоким рейтингом фильтрации. Поэтому эти устройства обычно работают по схеме «тупиковой» фильтрации. При этом в режиме фильтрации весь поток фильтруется через мембраны, а промывка проводится периодически, при этом фильтрация прекращается. Обычно в зависимости от качества исходной воды установка работает в режиме фильтрации 5-15 мин, а потом выключается на промывку.

Для повышения эффективности промывки применяют различные устройства для турбулизации потока [4, 5], что увеличивает потери напора в сооружении. Кроме того, для замедления роста накопления взвеси в теле мембранной установки применяются различные сооружения предочистки: сооружения для отстаивания [6], осветляющие центрифуги [7].

В [8] показано, что при «тупиковой» фильтрации более рациональным является режим промывки, при котором основная часть промывного потока следует транзитом через внутреннее пространство мембран, смывая с их поверхности задержанные загрязнения, а часть потока фильтруется в обратном направлении, обеспечивая обратную промывку.

Но актуальным остается вопрос о соотношении расходов основного транзитного и обратного потоков, при котором время промывки и объем промывных вод будут минимальны.

*Целью исследований* является изучение влияния параметров промывки модуля мембранной ультрафильтрации на время промывки и объем промывной воды.

Под параметрами промывки подразумевается соотношение расходов основного транзитного потока и потока, используемого для обратной промывки. Критерием окончания промывки является отрыв частички взвеси от поверхности мембраны и ее вынос из тела мембраны. Судить об эффективности промывки можно по траекториям движения частички взвеси. В качестве расчетной выбиралась траектория наиболее неблагоприятная (частичка взвеси переносится из места наиболее далеко расположенном от места вывода промывной воды из тела мембраны). В процессе исследований рассматривалась ультрафильтрационная установка с полволоконными мембранами, в которой фильтрация осуществляется в направлении изнутри наружу, а обратная промывка – снаружи вовнутрь.

Моделирование траектории частицы с учетом кинематической структуры потока выполнялось с помощью следующих уравнений:

- уравнения траектории частички взвеси:

$$\frac{dx}{u(x, z)} = \frac{dz}{v(x, z)}, \quad (1)$$

где  $x, z$  – координаты;

- продольная  $u(x, z)$  и поперечная  $v(x, z)$  составляющие скорости определялись из уравнения переноса импульса:

$$\begin{cases} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \gamma \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \\ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial z} = \gamma \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \end{cases} \quad (2)$$

где  $\gamma$  – коэффициент кинематической вязкости;  $p$  – давление;  $\rho$  – плотность воды.

Влиянием силы тяжести из-за малых размеров частичек и высоких скоростей промывной воды можно пренебречь. Также из-за малой величины диаметра мембраны (~ 1мм) движение внутри ее полости можно считать ламинарным.

Система уравнений (1), (2) решалась численно методом конечных разностей при следующих граничных условиях:

- на входе в мембрану:  $x = 0; v = 0; u = \frac{4 \cdot Q_{\text{осн.}}}{\pi \cdot d_{\text{мембр.}}^2 \cdot N}$  ;

- на выходе из мембраны:  $x = L; v = 0; u = \frac{4 \cdot (Q_{\text{осн.}} + Q_{\text{об.пром.}})}{\pi \cdot d_{\text{мембр.}}^2 \cdot N}$  ;

$$\begin{aligned}
 & \text{- на стенках мембраны: } z = 0; u = 0; \quad v = \frac{Q_{\text{об.пром.}}}{S} \quad ; \\
 & \quad \quad \quad z = 2R; u = 0; v = -\frac{Q_{\text{об.пром.}}}{S} \quad ,
 \end{aligned}$$

где  $Q_{\text{осн.}}$  – величина расхода основного транзитного потока промывной воды;  $Q_{\text{об.пром.}}$  – величина расхода, используемого для обратной промывки;  $d_{\text{мембр.}}$  – диаметр мембран;  $N$  – количество мембран;  $S$  – площадь фильтрующей поверхности;  $L$  – длина рабочей части ультрафильтрационной установки.

Время выноса частички взвеси из мембраны определяется по зависимости

$$t_{\text{пром.}} = \int_0^L \frac{dx}{u(x, z)} \quad (3)$$

С помощью системы уравнений (1) - (3) определялось время промывки при различном соотношении расходов основного транзитного и обратного потоков  $\frac{Q_{\text{осн.}}}{Q_{\text{об.пром.}}}$ .

Следует учитывать, что перераспределение расходов основного транзитного и обратного потоков зависит от потерь напора, соответственно, во внутреннем пространстве мембраны и в порах мембраны.

Так как эти движения в первом и во втором случае имеют ламинарный характер, то зависимость потерь напора от расхода воды удобно представить в виде выражения

$$\Delta h = S \cdot Q \quad (4)$$

Нами были проведены экспериментальные исследования по определению зависимостей потерь напора ( $m$ ) от расхода ( $л/с$ ) при движении основного потока транзитом через внутреннее пространство мембраны (5) и движения потока, используемого для обратной промывки, через мембраны (6). Зависимости имеют вид:

$$\Delta h_{\text{осн.}} = 8,37 \cdot Q; \quad (5)$$

$$\Delta h_{\text{об.пром.}} = 99,1 \cdot Q. \quad (6)$$

Исследования проводили на экспериментальной установке, основным элементом которой является ультрафильтрационный мембранный модуль NFY4021S с полуволоконными полимерными мембранами, рейтинг фильтрации которых 0,01 мкм. Фильтрация в модуле осуществляется в направлении изнутри наружу.

Условием перераспределения расходов будет равенство потерь напора  $\Delta h_{\text{осн.}} = \Delta h_{\text{об.пром.}}$ . Т.к. сопротивление мембран более чем в 10 раз больше сопротивления при транзитном движении, то из условия посто-

явства напора перед ультрафільтраційною установкою следует, что при увеличении части расхода потока, используемого для обратной промывки, суммарный расход промывной воды будет снижаться.

На рис. 1 представлены примеры расчетов траектории частицы взвеси, выполненные согласно вышеизложенным теоретическим соображениям при различных соотношениях расходов основного транзитного потока и потока, используемого для обратной промывки.

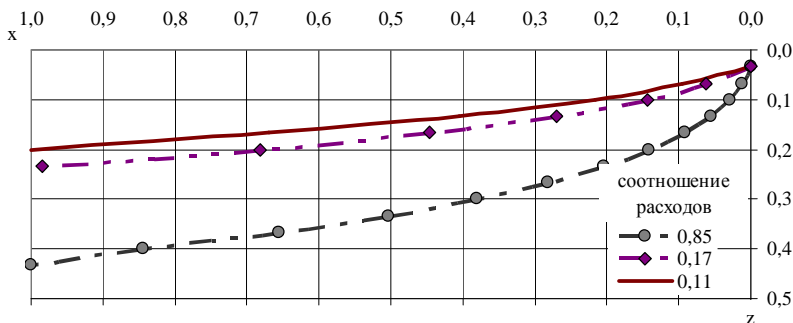


Рис. 1 – Пример расчетов траектории частицы взвеси при промывке

На рис. 2 представлена зависимость времени промывки и объема промывной воды при различных соотношениях расходов основного транзитного потока и потока, используемого для обратной промывки. Помимо теоретических расчетов время промывки определялось экспериментально. Критерием окончания промывки являлось равенство мутности промывной воды на входе и выходе из установки. Также контролировался расход промывной воды.

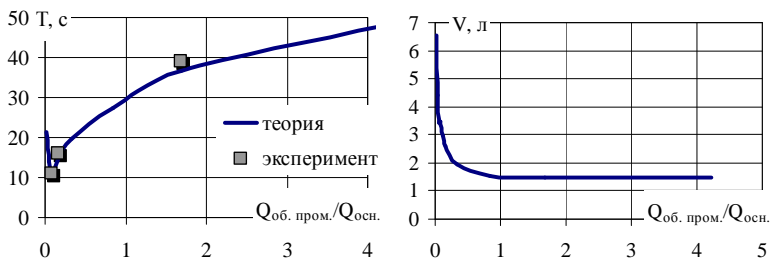


Рис. 2 – Зависимость времени промывки и объема промывной воды при различных соотношениях расходов основного транзитного потока и потока, используемого для обратной промывки

Анализируя данные, представленные на рис. 2, необходимо отметить, что минимальное время промывки обеспечивается, когда вентили

на трубопроводах основного транзитного потока и потока, обеспечивающего обратную промывку, максимально открыты или вентиль на трубопроводе основного транзитного потока прикрыт максимум на одну четверть. Минимальное количество промывной воды реализуется, когда расход основного потока соизмерим с расходом обратного потока, но при этом значительно (в 3-4 раза увеличивается время промывки). Т.к. масса загрязнений в промывной воде вне зависимости от соотношения расходов не меняется, то при очистке промывной воды через очистные сооружения пропускается или большое количество промывной воды с меньшей концентрацией, или меньшее количество воды с большей концентрацией взвешенных веществ. Исходя из этих соображений, можно сделать вывод, что более существенным фактором является время промывки. Поэтому при промывке ультрафильтрационной установки вентиль на трубопроводе, подающем воду для обратной промывки, должен быть максимально открыт, а вентиль на трубопроводе, по которому поступает основной транзитный поток, должен быть слегка прикрыт.

Таким образом, представленные результаты теоретических расчетов, подтвержденные экспериментальными исследованиями, позволяют рекомендовать рациональные параметры промывки ультрафильтрационной установки с половолоконными мембранами, которые обеспечивают минимальное время промывки.

1. Лизогуб Г.Г., Белан В.В., Прошкин В.С. Очистка природных вод, дренажных и промывных вод водопроводных станций с применением систем микро-, ультрафильтрации Agia международной корпорации PALL // В кн. «Сучасні проблеми охорони довкілля, раціонального використання водних ресурсів та очистки природних і стічних вод»: Міжнар. наук.-практ. конф., 6-10 квітня 2009 р. м. Миргород). – К.: Т-во „Знання” України. – 2009. – Т1. – С. 66-70.

2. Поляков Ю.С. Ультра- и микрофильтрация в половолоконных аппаратах с образованием осадка на поверхности мембран: автореф. дисс.... канд. техн. наук: спец. 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий». – Москва. – 2004. – 20 с.

3. Эпоян С.М., Карагяур А.С., Штонда И.Ю. Изучение направлений снижения эксплуатационных затрат при применении мембранной ультрафильтрации // *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення* / Зб. наук. статей VIII міжнар. наук.-практ. конф. «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» (10-14 вересня 2012 р. м. Алушта, АР Крим): в 2 т. / УкрНДІЕП – Харьков: Райдер, 2012. – Т 1. – С. 302-306.

4. Hadzismajlovic D.E., Bertram C.D. Flux enhancement in turbulent crossflow microfiltration of yeast using a collapsible-tube pulsation generator// *J. Membr. Sci.*, 1999. – V. 163. – P. 123-134.

5. Vera L., Villarroel R., Delgado S., Elmaleh S. Enhancing microfiltration through an inorganic tubular membrane by gas sparging// *J. Membr. Sci.*, 2000. – V. 165. – P. 47-57.

6. Пат. №2001663 РФ, МПК B01D 61/16, C02F 1/46. Способ очистки сточных вод от взвешенных веществ. – № 5029001/26; заявл. 24.12.91; опубл. 30.10.93, Бюл. №39-40, 1993 р.

7. Эпоян С.М., Карагяур А.С., Скорик А.С., Бабенко С.П. Энергоэффективное двухступенчатое осветление воды в компактных установках малой производительности //

Энергосбережение и энергоэффективность на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства: междунар. конф., 06-07 июня 2012 г.: сб. докл. – Москва, 2012. – [Электронный ресурс].

8. Сташук В.А., Чунарев А.В., Эпоян С.М., Карагяур А.С. Исследования режимов промывки установки мембранной ультрафильтрации // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2012. – Вип. 69. – С. 291-295.

*Получено 16.11.2012*

УДК 628.179.34

Н.М.ЯКОВЕНКО, В.М.БЕЛЯЕВА

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ПРОБЛЕМА СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ПОТЕРЬ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Рассмотрены источники утечек из водопроводной сети города, причины вызывающие утечки, рассмотрены методики обнаружения утечек, приборы для обнаружения места и организация диспетчерской службы в этих условиях.

Розглянуто джерела витікань з водопровідної мережі міста, причини які визивають витікання, розглянуто методики виявлення витікань, прибори для виявлення місця і організація диспетчерської служби у цих умовах.

The sources of losses are considered from the plumbing network of city, reasons defiant losses, the methods of finding losses are considered devices for finding out a place and organization of controller's service in these terms

*Ключевые слова:* водопотребление, утечки, неучтенные расходы, скрытые утечки, акустический (слуховой), корреляционный, течеискатель.

Большие расходы воды обусловлены не только полезным водопотреблением, но и ее потерями. Потери воды в жилых зданиях можно подразделить на: утечку воды через смывные бачки; утечку воды через водоразборную арматуру; непроизводительные расходы воды через водоразборную арматуру; сливы недостаточно нагретой или остывшей воды в системах горячего водоснабжения; утечку воды на трассах холодного и горячего водоснабжения внутри территории микрорайона; нерациональное использование воды потребителями.

Рациональное использование водных ресурсов при водоснабжении жилищного фонда является одной из наиболее актуальных задач обеспечения экологической и санитарно-гигиенической безопасности населения.

По данным в Украине в настоящее время потери воды в водопроводных сетях составили 19 %. Физический износ сетей водопровода составил 65 %, очистных сооружений водопровода – 54 %. Это оказывает влияние на величину себестоимости.