

Тумин А. Н.

# ОБРАЗОВАНИЕ СЛОЯ ОСАДКА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СНИЖЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОГО МОДУЛЯ

*Исследован процесс возникновения слоя осадка на поверхности мембраны, и его роль на снижение производительности ультрафильтрационного модуля по фильтрату. Определена предельная величина снижения производительности ультрафильтрационного модуля, для различных режимов работы, при которой на поверхности мембраны образуется относительно стабильный слой осадка.*

**Ключевые слова:** слой осадка, ультрафильтрация, мембрана, модуль, производительность.

## 1. Введение

Ультрафильтрационный (УФ) способ очистки жидкостей нашел широкое применение практически во всех областях промышленности. Наиболее часто УФ используется для очистки природных и сточных вод промышленных предприятий, водоподготовки технологической воды для различных производственных нужд, получения питьевой воды.

В УФ модуле в процессе работы наблюдается снижение производительности модуля по фильтрату вследствие возникновения высококонцентрированного слоя осадка на поверхности мембраны. На данный момент нет четкого теоретического обоснования по выбору величины максимально допустимого снижения производительности УФ модуля, влияющего на определение ее режимов работы.

Таким образом, актуальным является теоретическое определение величины снижения производительности УФ модуля, при которой образовался относительно стабильный высококонцентрированный слой осадка на поверхности мембраны, для того чтобы рационально и обоснованно выбрать время для прямых и обратных промывок УФ модуля.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Промышленные предприятия Украины в связи с модернизацией своих производственных мощностей столкнулись с проблемой выбора оптимального способа водоподготовки для своих производственных нужд. Выбор способа водоподготовки напрямую связан с требуемыми производственными нуждами, затратами на реконструкцию, окупаемостью. Все больший интерес в последнее время приобретает УФ способ водоподготовки для производственных нужд. Например, на заводе ПАО АМК предочистка воды для работы паро-газовой турбины, электростанции мощностью 303 МВт построенной в 2013 году [1], так же на заводе ООО Металлы и полимеры [2] для водоподготовки используются УФ мембранные модули.

Темпы внедрения УФ способа водоподготовки требуют повышения, прежде всего теоретической базы на-

правленной на обоснование выбора данного способа водоподготовки и последующий подбор самого оптимального алгоритма работы выбранной установки.

Данная работа направлена на расширение теоретической базы, а именно проведение теоретических исследований влияния высококонцентрированного слоя осадка на поверхности мембран на снижение производительности работы УФ модуля.

## 3. Результаты исследований образования слоя осадка в напорном канале мембраны

В настоящее время УФ модули работают чаще в режиме тупиковой фильтрации в системах водоподготовки предприятий. Тупиковый режим — это режим работы УФ модуля, при котором вся вода, поступающая на модуль, фильтруется через мембрану [3]. Образующийся на мембранах высококонцентрированный осадок удаляется с помощью обратных промывок или комбинацией прямых и обратных промывок [4].

Однако теоретические исследования УФ технологии показали недостатки данного режима работы УФ модуля. Во-первых, это интенсивное осадкообразование на поверхности мембран; во-вторых, объем промывной воды при тупиковой фильтрации достигает 10–12 % от общего расхода по фильтрату; в-третьих, ресурс работы УФ модуля при тупиковой фильтрации значительно уступает тангенциальному режиму работы УФ модуля [3–7].

Принимая во внимание все вышеизложенное, напрашивается вывод, что УФ модуль в промышленном масштабе рациональнее использовать в режиме тангенциальной фильтрации с оптимальным подбором скоростей транзитного потока в напорном канале УФ модуля [8]. Но не стоит забывать и о том, что чем выше рейтинг фильтрации, тем труднее оторвать частицы загрязнений от поверхности мембраны.

При тангенциальной фильтрации поступающая вода на УФ модуль не полностью фильтруется через мембрану. Часть воды циркулирует между входным и выходным сечением напорного канала УФ модуля, либо при помощи вспомогательных насосов (так называемый циркуляционный контур), либо за счет изменения

геометрии напорного канала УФ модуля, либо за счет увеличения первоначальной подачи воды на модуль. Повышение скорости потока воды в УФ модуле будет способствовать возникновению гидродинамических условий для очистки поверхности мембраны от осевших на нее частиц и выносу их из модуля. Простыми словами тангенциальная сила, сила скорости потока воды, оказывает прямое влияние на образование и разрушение высококонцентрированного слоя осадка на поверхности мембраны УФ модуля.

Процесс фильтрации загрязненной воды в УФ модуле, можно сравнить с процессом очистки жидкости в гидродинамических очистителях.

Известно, что для тонкости очистки загрязненной жидкости равной  $1/3$  размера ячейки в неполнопоточном гидродинамическом очистителе необходимо сбрасывать от 5 до 20 % подаваемой жидкости, для того чтобы добиться гидродинамического эффекта очистки проницаемой поверхности по всей длине напорного канала гидродинамического очистителя [9–11].

Известно, что в гидродинамических очистителях существует параметр  $i = \frac{V_{пр}}{V_{ф}}$ , который характеризует работоспособность и надежность их работы. Очистители работоспособны только в том случае, если значение отношения продольной скорости  $V_{пр}$  жидкости в канале над проницаемой поверхностью фильтроэлемента к скорости фильтрата  $V_{ф}$  через эту поверхность будет равно значению, отвечающему очистке конкретной очищаемой жидкости или группе жидкостей, предварительно устанавливаемому опытным путем [11].

Так же известно, что существует критическое значение продольной скорости загрязненной жидкости в напорном канале УФ модуля, при которой осадок на поверхности мембран не образуется. Так же осадок не образуется на поверхности мембраны на 20 % первоначальной длины УФ модуля [5]. Это связано, прежде всего, с наибольшими сдвиговыми усилиями, вызванными потоком подаваемой жидкости. Наибольшие сдвиговые усилия приводят к миграции частиц с поверхности мембраны в ядро потока, то есть первоначальная скорость потока жидкости не будет давать возможность осесть частице на поверхности мембраны УФ модуля.

Как уже отмечалось выше, интерес вызывает определение критического параметра  $i$  для УФ модуля, чтобы дать возможность определить верхнюю границу слоя осадка, согласно которой частицы не будут оседать на поверхности мембраны, а будут концентрироваться в ядре потока и в случае тангенциальной фильтрации выносятся из УФ модуля. Данная граница даст возможность определить падение производительности УФ модуля. Понятно, что данное условие будет максимально эффективно работать в режиме тангенциальной фильтрации, потому что при тупиковой фильтрации большая концентрация частиц будет оседать в конце УФ модуля, так как тангенциальная скорость в конце УФ модуля будет приближаться к нулевому значению.

Теоретические исследования проводились с УФ модулем рулонной конструкции [8] и рассматривались частицы с диаметром  $d_ч$  круглой формы. Предполагается, что УФ модуль рулонной конструкции имеет

открытый напорный канал. Для обеспечения условия миграции частички с поверхности мембраны необходимо поддержание значения критической продольной скорости течения воды по всей длине УФ модуля. По известным эпюрам продольной скорости потока [8] мы можем найти значение продольной скорости частицы в любом сечении напорного канала УФ модуля (рис. 1). Для определения границы, относительно которой будет происходить, либо миграция частицы в ядро потока, либо оседание частицы на поверхность мембраны, по имеющимся эпюрам скорости определяем изменение высоты границы от поверхности мембраны, на которой будет соблюдаться постоянство начальной продольной скорости частицы в напорном канале УФ модуля, считая скорость на 20 % первоначальной длины УФ модуля критической [5].

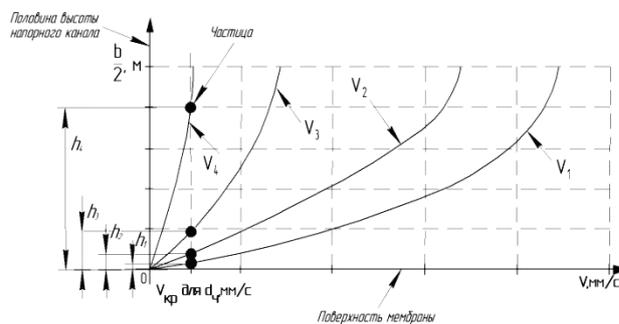


Рис. 1. Эпюры продольной скорости по длине напорного канала УФ модуля рулонной конструкции

На рис. 1 показаны:  $V_1, h_1$  — эпюра продольной скорости и высота, соответствующая значению  $V_{кр}$  для 20 % длины мембраны;  $V_2, h_2$  — эпюра продольной скорости и высота, соответствующая значению  $V_{кр}$  для 40 % длины мембраны;  $V_3, h_3$  — эпюра продольной скорости и высота, соответствующая значению  $V_{кр}$  для 60 % длины мембраны;  $V_4, h_4$  — эпюра продольной скорости и высота, соответствующая значению  $V_{кр}$  для 80 % длины мембраны.

Отсюда получим графики изменения границы  $h$  по длине УФ модуля рулонной конструкции [8] для различных режимов работы (рис. 2).

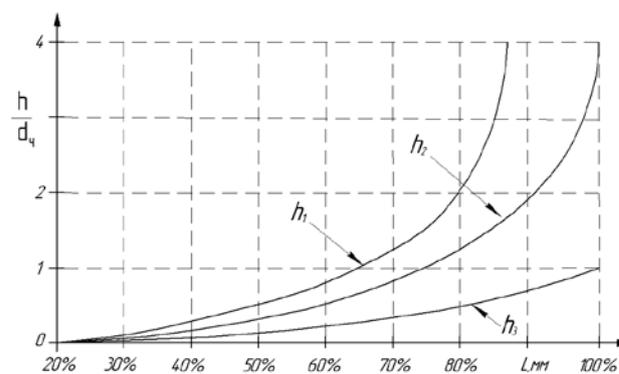


Рис. 2. График изменения верхней границы слоя осадка по длине УФ модуля рулонной конструкции для тупиковой и тангенциальной фильтрации

На рис. 2 показаны:  $h_1$  — граница, соответствующая тупиковой фильтрации;  $h_2$  — граница, соответствующая тангенциальной фильтрации при 10 % сбросе;  $h_3$  —

граница, соответствующая тангенциальной фильтрации при 50 % сбросе.

На рис. 2 показано высоту возможного образования высококонцентрированного слоя осадка на поверхности мембраны УФ модуля рулонной конструкции по длине канала в зависимости от выбранного режима работы. Отсюда можно определить возможное снижение производительности по фильтрату, вследствие образования первого слоя осадка. Так для режима тупиковой фильтрации снижение производительности составит около 25 %, для режима со сбросом 50 % жидкости — 5 %.

#### 4. Выводы

1. Полученный в результате теоретических исследований график возможного образования слоя осадка по длине канала мембраны, совпадает с графиками, представленными в работах ряда ученых [12, 13]. Однако его теоретическое обоснование имеет более простое и логическое объяснение.

2. Определение снижения производительности УФ модуля по фильтрату в результате образования первого слоя осадка, может иметь практическое применение для составления режимов работы систем ультрафильтрации, а именно при определении времени проведения регенерации модулей.

#### Литература

1. Принцип работы энергоблока на «ПАО АМК» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.isd.com.ua/press/releases/article.html?id=1237>.
2. Линия непрерывного горячего оцинкования на заводе «ООО Металлы и полимеры» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: <http://metipol.com/proizvodstvo/tehnologii>.
3. Андрианов, А. П. Мембранные методы очистки поверхностных вод [Текст] / А. П. Андрианов, Д. В. Спицов, А. Г. Первов, Е. Б. Юрчевский // Водоснабжение и сан. техника. — 2009. — № 7. — С. 29–37.
4. Выбор рациональных параметров промывки установки мембранной ультрафильтрации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: <http://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/305>.
5. Дытнерский, Ю. И. Обратный осмос и УФ [Текст] / Ю. И. Дытнерский. — 1978. — 328 с.
6. Андрианов, А. П. Тенденции водоподготовки с применением мембранных технологий [Текст] / А. П. Андрианов, А. Г. Первов, Е. Б. Юрчевский // Материалы III научно-практической конференции «Современные технологии водоподготовки и защиты оборудования от коррозии и накипеобразования», Москва, Сентябрь 2009. — Часть 2. — С. 148–157.
7. Поляков, Ю. С. Ультра- и микрофильтрация в полуволонных аппаратах с образованием осадка на поверхности мембран [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Ю. С. Поляков. — К., 2005. — 150 с.
8. Тумин, А. Н. Теоретическое исследование характера течения воды в рулонном ультрафильтрационном модуле [Электронный ресурс] / А. Н. Тумин // Материалы международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014», Днепропетровск, 26–27 марта 2014 г. — С. 99–109. — Режим доступа: \www/URL: [http://okmm.nmu.org.ua/ua/2014\\_1/%D1%82%D1%83%D0%BC%D0%B8%D0%BD.pdf](http://okmm.nmu.org.ua/ua/2014_1/%D1%82%D1%83%D0%BC%D0%B8%D0%BD.pdf)
9. Бревнов, А. А. Совершенствование гидродинамических фильтров за счет закрутки потока в кольцевой области снаружи фильтроэлемента [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / А. А. Бревнов. — Сумы: СумДУ, 2009. — 166 с.
10. Коваленко, В. П. Смазочные и гидравлические масла для угольной промышленности [Текст] : справ. / В. П. Коваленко, З. Л. Финкельштейн. — М.: Недра, 1991. — 294 с.
11. Чебан, В. Г. Практический расчет фильтроэлемента с грушеобразным профилем фильтрующей поверхности очистителя маловязких жидкостей [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2010. — Вып. 31. — С. 115–126.
12. Farajzadeh, R. Produced Water Re-Injection (PWRI). An Experimental Investigation into Internal Filtration and External Cake Build up [Electronic resource] / R. Farajzadeh. — Delft University of Technology, 2004. — Available at: \www/URL: [http://geo.citg.tudelft.nl/~farajzadeh/Farajzadeh\\_msc\\_thesis.pdf](http://geo.citg.tudelft.nl/~farajzadeh/Farajzadeh_msc_thesis.pdf).
13. Al-Abduwani, F. External filter cake erosion: mathematical model and experimental study [Electronic resource] / F. Al-Abduwani, P. Bedrikovetski, R. Farajzadeh, W.M.G.T. van den Broek, P. K. Currie // SPE 6th European Formation Damage Conference, 25–27 May 2005, Scheveningen, The Netherlands. — Society of Petroleum Engineers, 2005. — Available at: \www/URL: <http://dx.doi.org/10.2118/94635-MS>.

#### ФОРМУВАННЯ ШАРУ ОСАДУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЗНИЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНОГО МОДУЛЯ

Досліджено процес виникнення шару осадку на поверхні мембрани, і його роль на зниження продуктивності ультрафільтраційного модуля по фільтрату. Визначена гранична величина зниження продуктивності ультрафільтраційного модуля, для різних режимів роботи, при якій на поверхні мембрани утворюється відносно стабільний шар осадку.

**Ключові слова:** шар осадку, ультрафільтрація, мембрана, модуль, продуктивність.

*Тумин Александр Николаевич, аспирант, кафедра прикладної гідромеханіки, Донбасський державний технічний університет, Алчевськ, Україна, e-mail: a\_tumin@mail.ru.*

*Тумін Олександр Миколайович, аспірант, кафедра прикладної гідромеханіки, Донбаський державний технічний університет, Алчевськ, Україна.*

*Tumin Alexandr, Donbass State Technical University, Alchevsk, Ukraine, e-mail: a\_tumin@mail.ru*