

З.Яковлев В. Л., Тюлькин В. П., Кармаев Г. Д. Технологические аспекты применения крутонаклонных конвейеров в горнорудной промышленности//Горный информационно-аналитический вестник. – М: МГГУ-МГИ, 2002. – с. 211–217.

УДК 669:628.16.06

ИЗМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ РУЛОННОГО УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОДОЛЬНОЙ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ РАЗДЕЛЯЕМОЙ ЖИДКОСТИ ПО ВСЕЙ ДЛИНЕ НАПОРНОГО КАНАЛА МОДУЛЯ

А.Н. Тумин¹

¹аспирант кафедры «Прикладной гидромеханики» Донбасского государственного технического университета (ДонГТУ), г. Алчевск, Украина, e – mail: a_tumin@mail.ru

Аннотация. Существующая стандартная конструкция рулонного ультрафильтрационного модуля (РУФМ) характеризуется снижением продольной скорости течения разделяемой жидкости по длине напорного канала мембранного элемента (МЭ). При работе РУФМ концентрация частиц загрязнений непрерывно растет от входа в напорный канал до выхода из него. Поэтому стабилизация продольной скорости течения разделяемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ с непрерывным сбросом части загрязненной жидкости, будет способствовать повышению техникой характеристик РУФМ во времени. Предложена конструкция РУФМ, позволяющая поддерживать относительно стабильную продольную скорость течения разделяемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ.

Ключевые слова: концентрация, ультрафильтрация, рулонный модуль, мембранный элемент.

THE CHANGE OF ROLL ULTRAFILTRATION MODULE'S DESIGN FOR LONGITUDINAL FLOWSPEED STABILIZATION OF SPREADED FLUID THROUGHOUT THE PRESSURE CHANNEL MODULE OF THE WHOLE LENGTH

A.N. Tumin¹

¹Postgraduate, Applied Hydromechanics Department, Donbas State Technical University, Alchevsk city, Ukraine, e-mail: a_tumin@mail.ru

Abstract. Currently existing construction of roll ultrafiltration module (RUM) is characterized by lowering of the longitudinal flowspeed of spreaded fluid throughout the whole length of membrane element's (ME) pressure channel. During the work of RUM the particles 'pollution concentration continuously growing from the entering to pressure channel till the exit from it. That is why the stabilization of longitudinal flowspeed of spreaded fluid throughout the whole length of ME's pressure channel with continuous dumping of a part of polluted fluid will contribute to increasing the technical characteristics of RUM in time. The

construction of RUM offered allows supporting relatively stable longitudinal flowspeed of spreaded fluid throughout the whole length of ME's pressure channel.

Keywords: concentration, ultrafiltration, roll module, membrane element.

Введение. Ультрафильтрация по сравнению с альтернативными технологиями очистки жидкости для нужд промышленных предприятий имеет ряд преимуществ. Во-первых, установки ультрафильтрации не требуют высокого рабочего давления для стабильной работы (рабочее давление 3-10 атм). Во-вторых, площадь, занимаемая установками ультрафильтрации, гораздо меньше площади занимаемой альтернативными системами фильтрации аналогичной производственной мощности. За счет этого энергозатраты и себестоимость готовой продукции будет в разы ниже при выборе ультрафильтрационного способа подготовки технологической воды для производственных нужд.

На сегодняшний день существуют различные конструкции ультрафильтрационных модулей, но РУФМ давно признан самым оптимальным в технологическом и конструкционном планах модулем, за счет высокой удельной поверхности мембран расположенных в корпусе модуля и низкой металлоёмкости модуля. Однако, наряду с перечисленными достоинствами, РУФМ стандартной конструкции имеет и свои недостатки, одним из которых является снижение продольной скорости течения разделяемой жидкости по длине напорного канала МЭ. Это приводит к относительно быстрому снижению производительности РУФМ за счет отложения осадка на поверхности мембран в напорном канале МЭ, особенно в случае тупиковой фильтрации.

Цель работы. Целью данной работы является теоретическое обоснование преимущества новой конструкции РУФМ с относительно стабильной продольной скоростью течения загрязненной жидкости по длине напорного канала МЭ.

Материал и результаты исследований. Ультрафильтрационные модули с рулонными МЭ – плоские мембраны, разделенные между собой турбулизирующей сеткой (образующей напорный канал) и свернутые вокруг центральной фильтрат-отводящей трубки. Плотность упаковки МЭ в таких модулях может достигать $800 \text{ м}^2/\text{м}^3$ [1].

РУФМ стандартной конструкции (рис. 1) содержит МЭ, состоящий из двух полупроницаемых мембран 1 с расположенным между ними дренажным материалом 2, который в виде спирали накручивается на фильтрат-отводящую трубку 5. Вместе с МЭ накручивается сетка-турбулизатор 4, образующая спиральный канал (напорный), в который под давлением подаётся исходная жидкость. В процессе навивки спирального МЭ кромки

пакета для его герметизации проклеивают: мембраны и дренажный материал со стороны пермеата (фильтрата) склеены по трем краям, образуя конверт. Увеличение производительности РУФМ достигается максимальным развитием площади мембран за счет увеличения ширины и длины МЭ, а так же присоединения к фильтрат-отводящей трубке нескольких МЭ (пакетов).

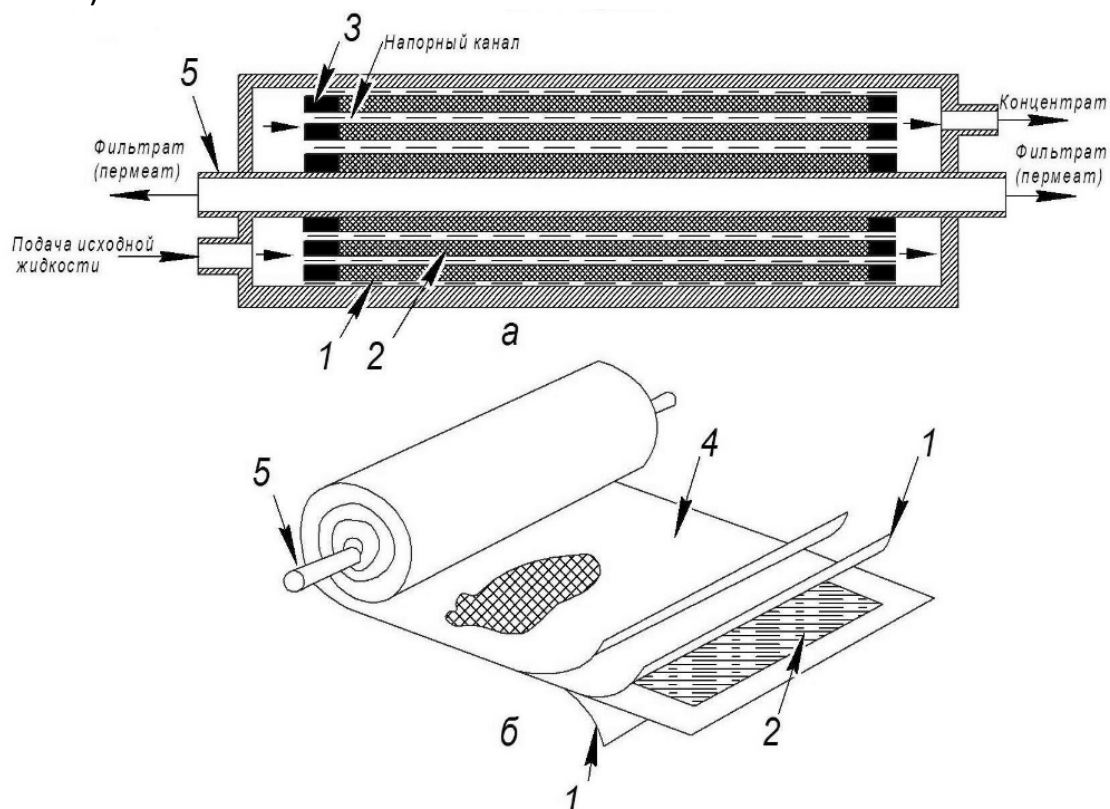


Рисунок 1 - Рулонный ультрафильтрационный модуль стандартной конструкции. (а - модуль, б – мембранный элемент;
1 - мембрана; 2 – дренажная сетка; 3 - фиксатор;
4 – турбулизирующая сетка; 5 – фильтрат – отводящая трубка)

Принцип работы РУФМ стандартной конструкции заключается в следующем: исходная жидкость подаётся в напорный канал РУФМ, где происходит её фильтрация. Часть жидкости, обогащенная загрязнениями, выходит с противоположного конца модуля, и называется концентратом. Прошедший через мембраны пермеат (фильтрат), движется по спиральному дренажному материалу к центральной фильтрат-отводящей трубке, по которой и выводится из РУФМ.

Теоретическое исследование РУФМ стандартной конструкции [2], показало, что в случае тупиковой фильтрации, продольная скорость течения разделяемой жидкости падает по длине напорного канала МЭ (рис. 2).

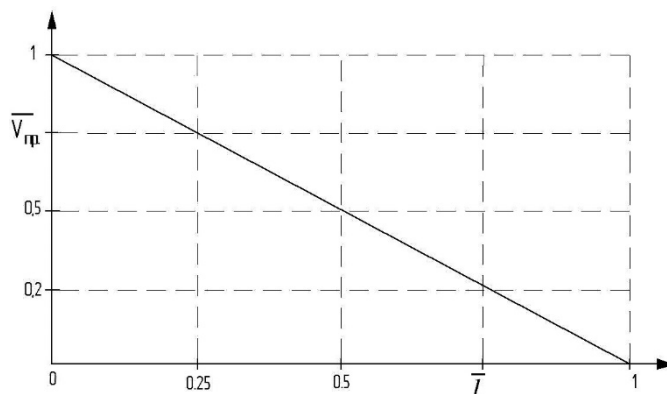


Рисунок 2 –Изменение продольной скорости течения разделяемой жидкости по длине напорного канала МЭ РУФМ при тупиковой фильтрации

Известно, что существует критическое значение продольной скорости течения разделяемой жидкости в напорном канале МЭ, при которой осадок на поверхности мембран не образуется или образование его сведено к минимуму [3].

Процесс работы РУФМ, можно сравнить с процессом работы гидродинамического очистителя. Известно, что для тонкости очистки жидкости равной $1/3$ размера ячейки сетки, в неполнопоточном гидродинамическом очистителе необходимо сбрасывать от 5 до 20% подаваемой жидкости. При этом достигается необходимый гидродинамический эффект очистки проницаемой поверхности по всей длине напорного канала гидродинамического очистителя [4, 5, 6]. Поэтому становится логичным, что разработка конструкции РУФМ с относительно стабильной продольной скоростью течения разделяемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ и непрерывным сбросом части разделяемой жидкости, будет способствовать повышению ресурса работы РУФМ во времени.

Поставленная задача достигается за счет изменения площади поперечного сечения напорного канала МЭ, путем нанесения на турбулизирующую сетку непроницаемой перегородки и разделению центральной трубки на два участка.

Предложенная конструкция РУФМ (рис. 3) состоит из центральной трубки 1 с радиальными отверстиями, которая разделена непроницаемой перегородкой 2 на два участка: напорный АВ и сливной АС, и один или несколько МЭ 3, состоящих из двух мембран с расположенной между ними турбулизирующей сеткой 4, отделяемых друг от друга дренажным листом 5.

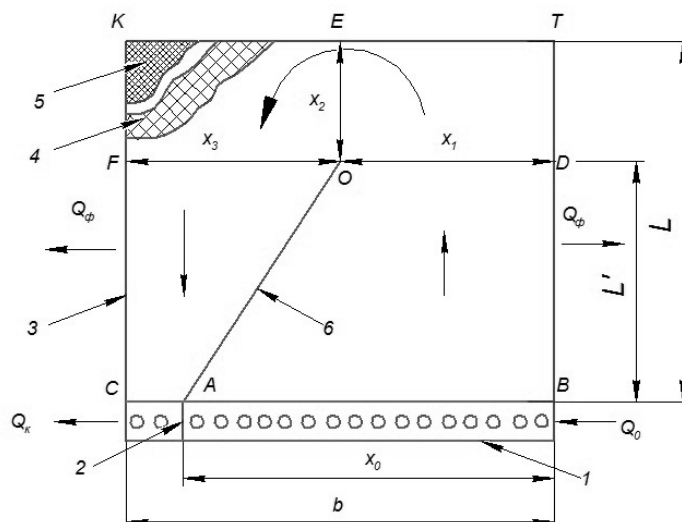


Рисунок 3 – Схема предложенного РУФМ

Известно, что для достижения лучших условий очистки жидкости ее скорость в напорном канале должна быть постоянной [4, 6].

Понятно, что предложенная конструкция имеет недостаток, который заключается том, что необходимо фиксировать эти непроницаемые перегородки в МЭ и в центральной трубке для выбранного режима работы модуля (тупиковая фильтрация, либо со сбросом части разделяемой жидкости). Поэтому необходимо на стадии проектирования РУФМ данной конструкции теоретически обосновать рациональное расположение непроницаемых перегородок, как в МЭ, так и в центральной трубке, для выбранного режима работы

Теоретически обоснуем выбор оптимального расположения непроницаемых перегородок в предложенной конструкции РУФМ (рис. 3), на примере РУФМ стандартной конструкции описанной в работе [2].

Зная все технические характеристики РУФМ стандартной конструкции [2] определим, где должна находиться непроницаемая перегородка в центральной трубке для предложенной конструкции РУФМ (рис. 3), чтобы обеспечивалась постоянная продольная скорость течения разделяемой жидкости в напорном канале МЭ. Для этого воспользуемся зависимостью

$$\frac{Q_k}{(b-x_0) \times \delta} = \frac{Q_0}{x_0 \times \delta}, \quad (1)$$

$$x_0 = \frac{Q_0 \times b}{Q_k + Q_0},$$

где δ – высота напорного канала, образованного турбулизирующей сеткой, м; Q_k – количество сливаемой жидкости, м³/ч; Q_0 – количество подаваемой жидкости, м³/ч; $(b-x_0)$ – ширина конца напорного канала МЭ, м;

x_0 - ширина начала напорного канала МЭ, м; b – ширина центральной трубки, м.

В зависимости от выбранного режима работы РУФМ (количества сливаемой жидкости Q_k) получим различные значения координаты расположения непроницаемой перегородки в центральной трубке РУФМ.

Принимаем координату расположения непроницаемой перегородки x_0 в центральной трубке РУФМ за начало непроницаемой перегородки в МЭ. Построим и проанализируем изменение величины x_0 при которой обеспечивается постоянная продольная скорость течения разделяемой жидкости в МЭ РУФМ от сечения AB до сечения ET (рис. 3). Для этого воспользуемся зависимостью

$$x_0' = \frac{Q_0 - V_\phi \times L' \times x_0}{V_{np} \times \delta + V_\phi \times L'} \quad (2)$$

где δ – высота напорного канала, образованного турбулизирующей сеткой, м; Q_0 – количество подаваемой жидкости, м³/ч; x_0 - ширина начала напорного канала МЭ, м; V_ϕ - скорость фильтрации, м/ч; L' - текущая длина напорного канала МЭ соответствующая величине x_0' , м; V_{np} - продольная скорость разделяемой жидкости, принимаемая постоянной по всей длине напорного канала МЭ, м/ч.

Приведем получившиеся графики изменения x_0' по длине МЭ РУФМ.

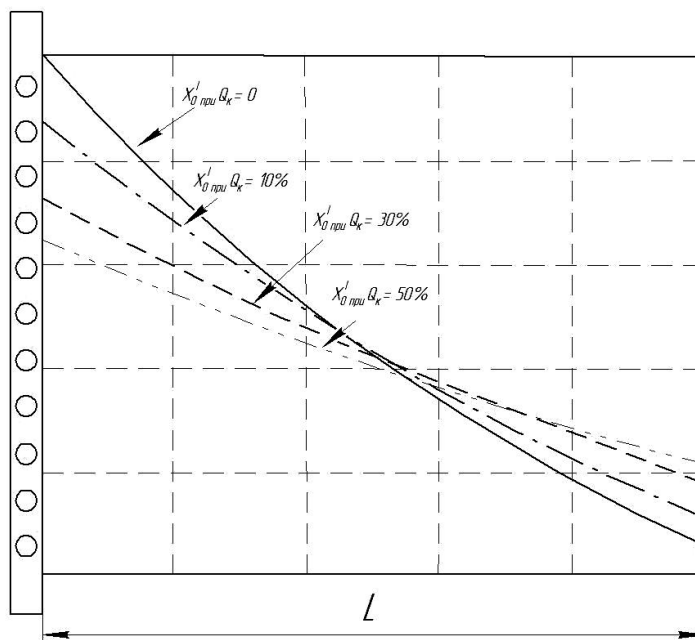


Рисунок 4 – График изменения x_0' по длине МЭ РУФМ

Тупиковый режим работы предложенного РУФМ рассматривать в данной статье не будем, так как при таком режиме работы нет возможности обеспечить самоочистку всей проницаемой поверхности мембраны.

Большой интерес вызывают режимы работы РУФМ предложенной конструкции со сбросом части разделяемой жидкости, потому что, во-первых, есть возможность добиться эффекта самоочистки проницаемой поверхности путем поддержания относительно стабильной продольной скорости течения разделяемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ, во-вторых, та часть разделяемой жидкости, которая будет доходить до сечения CA (рис.3) будет насыщена загрязнениями и её вывод из РУФМ повысит долговечность и надежность данного очистителя.

Однако, зависимость (2) не даёт возможности в полной мере построить профиль непроницаемой перегородки в МЭ РУФМ данной конструкции, так как необходимо предусмотреть, во-первых, разворот жидкости в сечении OE (рис. 3), во-вторых, обеспечить относительно стабильную продольную скорость течения разделяемой жидкости от сечения OF до AC в МЭ.

Найдем изменение продольной скорости течения разделяемой жидкости по длине напорного канала МЭ от сечения AB до сечения OD

$$x_0' = x_0 - \frac{x_0 - x_1}{L - x_2} \times L' \quad (3)$$

$$V_{np}' = \frac{Q_0 - V_\phi \times L' \times (x_0 + x_0')}{\delta \times x_0'} \quad (4)$$

Количество фильтрата с МЭ площадью $AODB$

$$Q_\phi' = V_\phi \times \frac{1}{2} \times (x_0 + x_1) \times (L - x_2) \times 2 \quad (5)$$

Продольная скорость течения разделяемой жидкости в сечении OE

$$V_{np}'' = \frac{Q_0 - V_\phi \times (x_0 + x_1) \times (L - x_2) - (V_\phi \times x_1 \times x_2 \times 2)}{\delta \times x_2} \quad (6)$$

Количество фильтрата с МЭ площадью $FKTD$

$$Q_\phi'' = V_\phi \times x_2 \times b \times 2 \quad (7)$$

Количество фильтрата с МЭ площадью $ACFO$

$$Q''' = Q_0 - Q_\phi' - Q_\phi'' \quad (8)$$

Изменение продольной скорости течения разделяемой жидкости по длине напорного канала МЭ от сечения OF до сечения AC

$$x_0'' = x_3 - \frac{x_3 - (b - x_0)}{L - x_2} \times L' \quad (9)$$

$$V_{np}''' = \frac{Q''' - V_\phi \times L' \times (x_3 + x_0'')}{\delta \times x_0''} \quad (10)$$

Величина $x_1 \geq x_3$, а x_2 по техническим соображениям должна быть не больше 30% от L (рис. 3). Изменяя значения x_1, x_2, x_3 для выбранного ре-

жима работы РУФМ и используя зависимости (3-10) найдем оптимальное расположение непроницаемой перегородки в МЭ, чтобы обеспечивалась относительно стабильная продольная скорость течения разделяемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ РУФМ.

Приведем несколько графиков изменения продольной скорости течения разделяемой жидкости в характерных сечениях МЭ РУФМ, от изменения значений x_1 , x_2 , x_3 . при режиме работы РУФМ со сбросом 10% разделяемой жидкости.

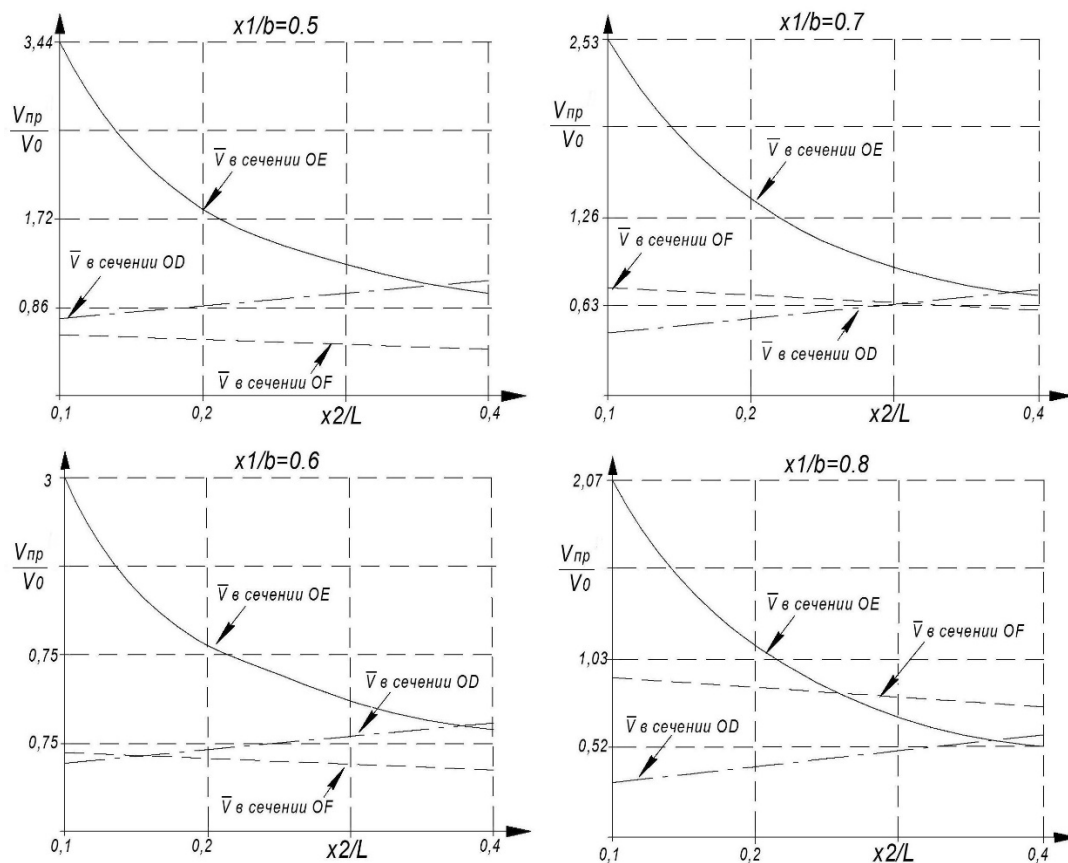


Рисунок 5 – Графики изменения продольной скорости течения разделяемой жидкости в сечениях МЭ РУФМ в зависимости от координаты $\frac{x_2}{L}$ при $\frac{x_1}{b} = const$ в режиме работы РУФМ со сбросом 10 % разделяемой жидкости

Проанализировав полученные графики изменения продольной скорости течения разделяемой жидкости в разных сечениях МЭ РУФМ при различных режимах работы РУФМ (со сбросом от 10 до 30% разделяемой жидкости) мы пришли к выводу, что для оптимального расположения непроницаемой перегородки в МЭ ее свободный край должен иметь следующие координаты

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 0,6 \times b; & x_3 &= 0,4 \times b; \\
 x_2 &= 0,15 \times L \text{ (при } Q_k = 0,1 \times Q_0); \\
 x_2 &= 0,20 \times L \text{ (при } Q_k = 0,2 \times Q_0); \\
 x_2 &= 0,25 \times L \text{ (при } Q_k = 0,3 \times Q_0);
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

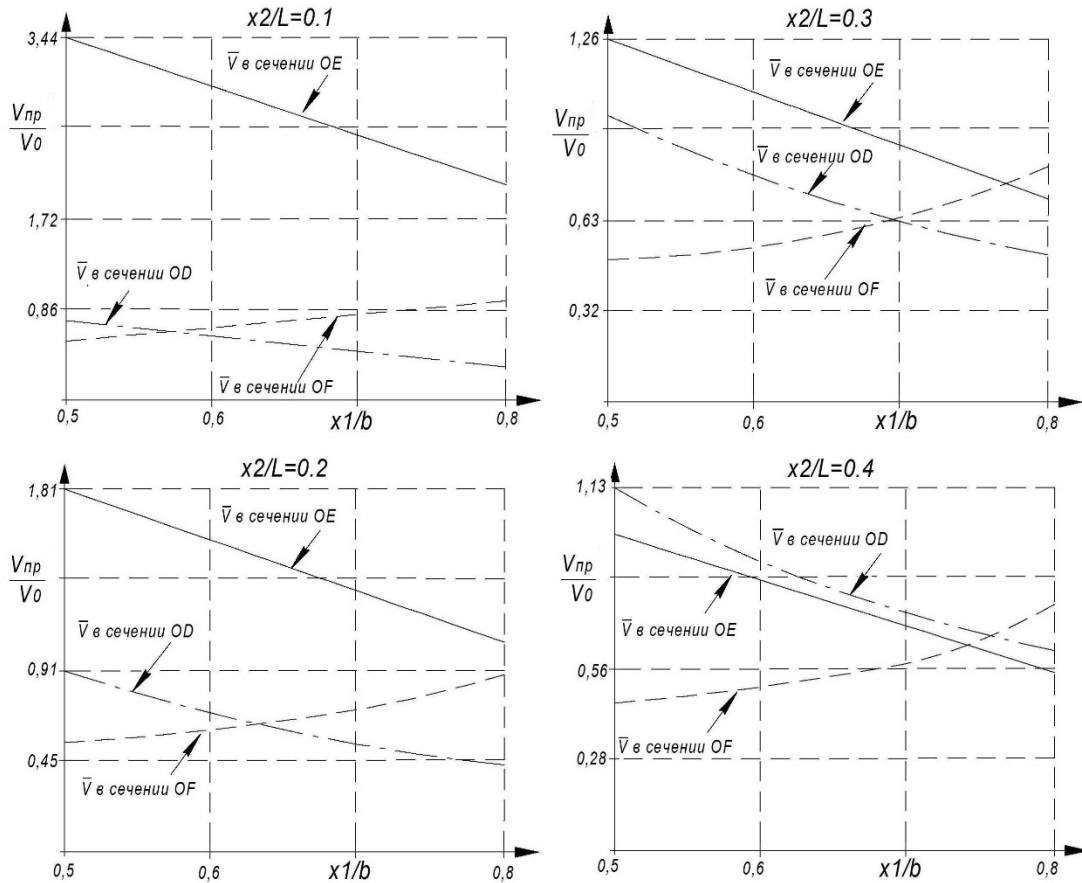


Рисунок 6 – Графики изменения продольной скорости течения разделяемой жидкости в сечениях МЭ РУФМ в зависимости от координаты $\frac{x_1}{b}$ при $\frac{x_2}{L} = const$ в режиме работы РУФМ со сбросом 10 % разделяемой жидкости

Принцип работы РУФМ предложенной конструкции заключается в следующем: подача исходной жидкости Q_0 в напорный канал МЭ, осуществляется через радиальные отверстия, выполненные в центральной трубке 1 (рис. 3). Центральная трубка разделена на два участка x_0 и $(b - x_0)$ непроницаемой перегородкой 2 так, чтобы продольная скорость течения разделяемой жидкости в начале напорного канала АВ, была равна продольной скорости течения разделяемой жидкости в конце сливного канала АС. Благодаря непроницаемой перегородке 6, нанесенной на турбулизирующую сетку 4, с фиксированными начальной и конечными координатами

тами, удастся поддержать относительно стабильную продольную скорость течения разделяемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ РУФМ (табл. 1). Часть разделяемой жидкости, соответствующая выбранному режиму работы, пройдя через сечение АС, сливается через радиальные отверстия, выполненные в центральной трубке 1. Отвод фильтрата Q_{ϕ} осуществляется по торцам МЭ РУФМ, по дренажному материалу.

Значения продольной скорости течения разделяемой жидкости в различных сечениях напорного канала МЭ в зависимости от выбранного режима работы РУФМ и выбранных координат расположения непроницаемых перегородок (11) приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Значение продольной скорости течения разделяемой жидкости в различных сечениях напорного канала МЭ РУФМ предложенной конструкции

Сечения	Продольная скорость течения разделяемой жидкости в напорном канале МЭ РУФМ в зависимости от выбранного режима работы (величины Q_k).		
	$Q_k = 0,1 \times Q_0$	$Q_k = 0,2 \times Q_0$	$Q_k = 0,3 \times Q_0$
AB и AC	$V_{AB} = V_{AC} = V_0$	$V_{AB} = V_{AC} = V_0$	$V_{AB} = V_{AC} = V_0$
OD и OF	$V_{OD} = V_{OF} \approx 0,6 \times V_0$	$V_{OD} = V_{OF} \approx 0,75 \times V_0$	$V_{OD} = V_{OF} \approx 0,8 \times V_0$
OE	$V_{OE} \approx 2,3 \times V_0$	$V_{OE} \approx 1,8 \times V_0$	$V_{OE} \approx 1,5 \times V_0$

Выводы.

1. Таким образом, путем изменения геометрии напорного канала МЭ, за счет применения непроницаемой перегородки, нанесенной на сетку-турбулизатор в МЭ и разделения центральной трубки непроницаемой перегородкой на два участка, удастся, во-первых, повысить значение продольной скорости течения разделяемой жидкости, во-вторых, получить относительно стабильное значение продольной скорости течения разделяемой жидкости во всех сечениях напорного канала МЭ РУФМ. Таким образом, применение непроницаемой перегородки повышает надежность и эффективность работы РУФМ.

2. В предложенной конструкции РУФМ существуют застойные зоны (FK и DT), однако, этот недостаток сводится к минимуму за счет повышения продольной скорости течения разделяемой жидкости на участке напорного канала в сечении OE. Повышение скорости течения в указанном сечении будет способствовать вымыванию частиц загрязнений из застойных зон РУФМ данной конструкции.

3. Возникла необходимость в теоретических и экспериментальных исследованиях влияния эффекта гидродинамической очистки проницаемой поверхности ультрафильтрационных мембран, а именно в определении минимально допустимого расхода подаваемой и сливаемой жидкости в напорный канал МЭ РУФМ, при котором будет происходить самоочистка проницаемой поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ изготовления мембранного рулонного элемента [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ru-patent.info/20/65-69/2069085.html>.
2. Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014: материалы международной конференции [«Теоретическое исследование характера течения воды в рулонном ультрафильтрационном модуле»], Тумин А.Н., Днепропетровск, 26 – 27 марта 2014г.
3. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и УФ / Ю.И. Дытнерский. – 1978. - 328с.
4. Бревнов А.А. Совершенствование гидродинамических фильтров за счет закрутки потока в кольцевой области снаружи фильтроэлемента: Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук / А.А. Бревнов. - Сумы: СумДУ, 2009. - 166 с. – СумДУ.
5. Коваленко В.П. Смазочные и гидравлические масла для угольной промышленности: Справочник / В.П. Коваленко, З.Л. Финкельштейн. – М.: Недра, 1991. – 294 с.
6. Чебан В.Г. Практический расчет фильтроэлемента с грушеобразным профилем фильтрующей поверхности очистителя маловязких жидкостей // Сборник научных трудов ДонГТУ. Вып. 31. – Алчевск: ДонГТУ, 2010. – С.115-126.

УДК 622.271.1:236.73

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ТЕОРЕТИЧЕСКОМУ ОБОСНОВАНИЮ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ГИДРОСМЕСИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДЛАГАЕМОЙ УСТАНОВКИ

Н.П. Хрунина¹, А.Ю. Чебан²

¹кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории проблем освоения россыпных месторождений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Россия, e-mail: npetx@mail.ru

²кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник лаборатории освоения рудных и нерудных месторождений открытым способом, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Россия, e-mail: chebanay@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены закономерности, определяющие гидроимпульсные эффекты воздействия на минеральную составляющую гидросмеси. Предложен концепту-