

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ТЕЧЕНИЯ РАЗДЕЛЯЕМОЙ СМЕСИ В УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МОДУЛЯХ С ПОЛЫМИ ВОЛОКНАМИ

*Для повышения эффективности обработки воды системами ультрафильтрации необходимо расширить теоретическую базу и провести экспериментальные исследования. В статье представлено теоретическое исследование характера течения смеси в ультрафильтрационном модуле с полыми волокнами Dizzer 5000 SB. Рассмотрен характер течения смеси в полой волокне, сделано сравнение значений отношения скоростей в волокне и в гидродинамических фильтрах, определены дальнейшие пути исследований.*

**Ключевые слова:** вода, ультрафильтрационная мембрана, касательное напряжение, гидродинамический фильтр, гель слой.

### **Постановка проблемы и анализ последних достижений.**

Зачастую металлургическое предприятие является градообразующим. Однако возникающая при этом проблема налаженного и эффективного водного хозяйства предприятия является достаточно распространённой, так как водное хозяйство тесно взаимосвязано с коммунальным хозяйством города: совместные питьевое водоснабжение, отопление и очистка хозяйственно-бытовых сточных вод.

Качество очищенной воды на ультрафильтрационном мембранном модуле не уступает качеству после ультрафиолетового обеззараживания. Мембранные технологии рассматриваются как одна из наиболее перспективных технологий очистки воды с целью получения восстановленной воды [1].

Однако стоимость современных промышленных ультрафильтрационных мембран достаточно высока. Учитывая возможность снижения производительности мембран в процессе эксплуатации и значительные эксплуатационные затраты, связанные с расходом воды на собственные нужды процесс ультрафильтрации может не получить широкого распространения даже несмотря на высокую эффективность [2].

В связи с этим необходимо расширять теоретическую базу по изучению ультрафильтрационных мембран, чтобы понизить за счет различных мероприятий эксплуатационные затраты [3] и увеличить срок службы мембран со временем.

### **Постановка задачи.**

Целью данной работы является теоретическое исследование характера течения разделяемой смеси в ультрафильтрационных фильтрах с полыми волокнами.

### **Результаты исследований.**

Рассмотрим капиллярный ультрафильтрационный промышленный модуль Dizzer 5000 SB. Как видим из паспортных характеристик, поставляемых заводом изготовителем, внутренний диаметр полого волокна  $d = 1,5 \text{ мм}$ , активная поверхность мембраны  $S_{акт} = 30 \text{ м}^2$ , расход по фильтрату  $Q_0 = 2,4 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ , длина волокна (исходя из конструкции модуля)  $L = 1,6 \text{ м}$ , перепад давления (TMP)  $\min 0,1 \text{ до } \max 0,8 \text{ бар}$  [4].

Половолоконный модуль Dizzer 5000 SB, имеющий активную поверхность фильтрования  $30 \text{ м}^2$ , состоит из  $n$ -го количества волокон с внутренним диаметром  $1,5 \text{ мм}$ .

Зная площадь активной поверхности мембраны, можно найти количество воло-

кон в модуле. Если волокна располагаются параллельно оси корпуса без скручиваний, изгибов, то:

$$S_{акт} = \pi \times d \times x \times L, \quad (1)$$

$$x = \frac{S_{акт}}{\pi \times d \times L}, \quad (2)$$

где  $d$  – внутренний диаметр волокна;  
 $L$  – длина волокна;  $S_{акт}$  – активная площадь мембраны;  $x$  – количество волокон.

В модуле Dizzer 5000SB на активной поверхности  $30\text{ м}^2$  содержится 3980 волокон. Зная количество волокон, найдем расход фильтрата в одном волокне:

$$Q_{\phi 1} = \frac{Q_{\phi}}{x}. \quad (3)$$

Найдём среднюю скорость фильтрата в одном волокне, зная расход по фильтрату:

$$V_{\phi.ср.1} = \frac{Q_{\phi 1}}{S_{акт}}. \quad (4)$$

На рисунке 1 представлена схема изменения расхода по длине волокна, где  $Q_0'$  – подача исходной разделяемой смеси на одно волокно,  $Q_{пр}$  – продольный расход,  $Q_{\phi 1}$  – расход фильтрата по всей длине волокна  $L$  (при максимальной пропускной способности),  $Q_{\phi}'$  – расход фильтрата на участке волокна длиной  $l$ ,  $V_{\phi.ср.1}$  – средняя скорость фильтрации в одном волокне (зависит от накопления слоя осадка у стенок волокна),  $Q_{к}$  – расход концентрата (при тупиковой фильтрации значение в конце волокна будет равно нулю).

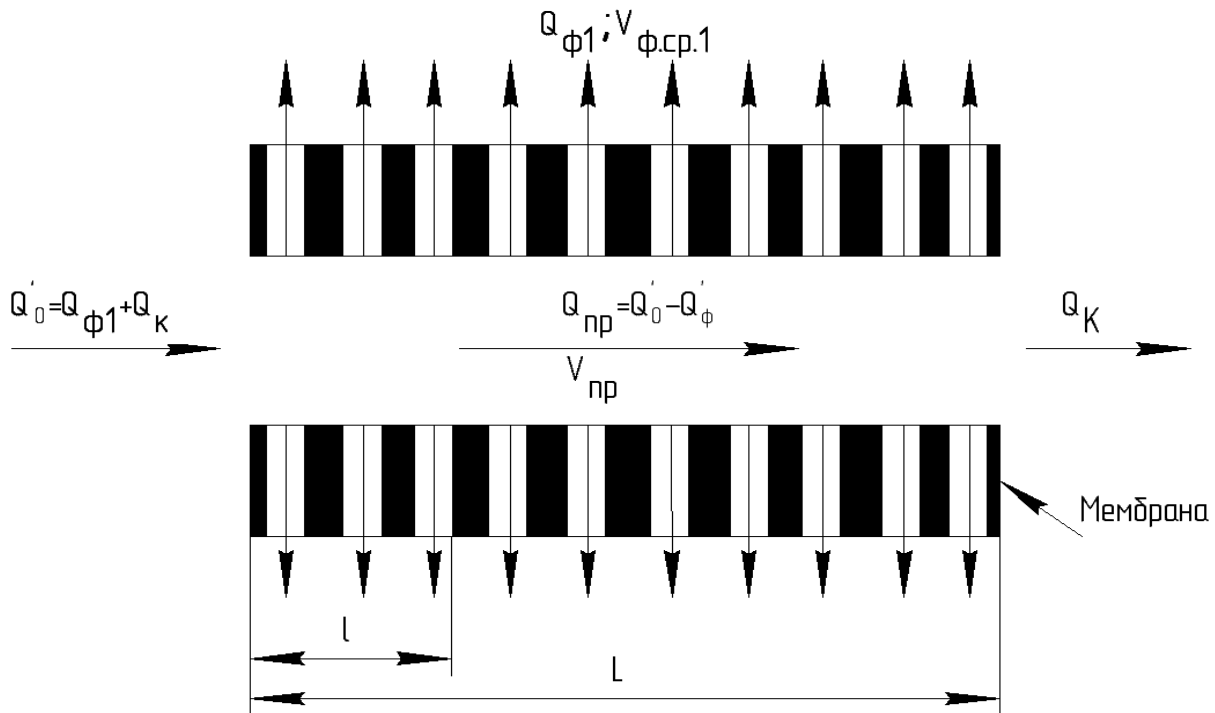


Рисунок 1- Схема изменения расхода по длине волокна

Расход фильтрата на участке волокна длиной  $l$  будет равен:

$$Q_{\phi}^{\cdot} = \pi \times d \times l \times V_{\phi.ср.1}. \quad (5)$$

Найдем расход жидкости на одно волокно:

$$Q_0^{\cdot} = \frac{Q_0}{x}. \quad (6)$$

Зная расход жидкости на одно волокно ( $Q_0^{\cdot}$ ), можно найти продольную скорость и продольный расход в произвольном сечении волокна:

$$Q_{np} = Q_0^{\cdot} - \pi \times d \times l \times V_{\phi.ср.1}, \quad (7)$$

$$V_{np} = \frac{Q_{np} \times 4}{\pi \times d^2} = \frac{(Q_0^{\cdot} - \pi \times d \times l \times V_{\phi.ср.1}) \times 4}{\pi \times d^2}. \quad (8)$$

В гидродинамических фильтрах существует параметр  $i = \frac{V_{np}}{V_{\phi}}$ , который характеризует работоспособность и надежность работы очистителей. Очистители работоспособны только в том случае, если значение отношения продольной скорости  $V_{np}$

жидкости в канале над проницаемой поверхностью фильтроэлемента к скорости фильтрата  $V_{\phi}$  через эту поверхность будет равно значению, отвечающему очистке конкретной очищаемой жидкости или группе жидкостей, предварительно устанавливаемому опытным путем [5].

Опытами установлено [6], что в случае очистки потока технической воды от твердых загрязнений гидродинамическими фильтрами в зависимости от степени загрязненности и ряда других факторов значение  $i$  лежит в пределах от 3 до 12. Поэтому, важным параметром в расчетах гидродинамических очистителей является

$$\text{отношение } i = \frac{V_{np}}{V_{\phi}}.$$

Построим график изменения параметра  $i$  по длине волокна ультрафильтрационного модуля DIZZER 5000 SB.

Из рисунка 2 видим, что отношение  $i = \frac{V_{np}}{V_{\phi}}$  в волокне, по сравнению с отношением  $i = \frac{V_{np}}{V_{\phi}}$  в гидродинамических фильтрах отличается на три порядка.

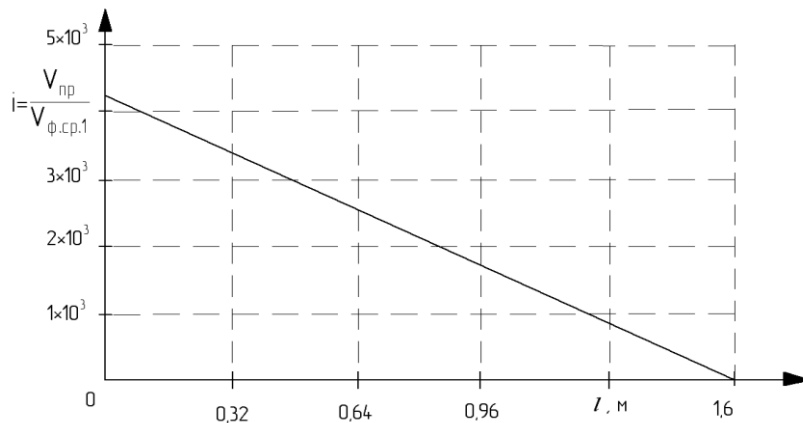


Рисунок 2 - Изменение параметра  $i$  по длине волокна

Из рисунка 2 видим, что отношение  $i = \frac{V_{np}}{V_{\phi}}$  в волокне, по сравнению с отноше-

нием  $i = \frac{V_{np}}{V_{\phi}}$  в гидродинамических филь-

трах отличается на три порядка. Это показывает особенность рабочего процесса и требует дальнейших исследований, а именно определения наиболее рационального и минимально допустимого значения коэффициента, так как если брать из опыта эксплуатации гидродинамических фильтров, значение  $i = \frac{V_{np}}{V_{\phi}}$  существенно влияет на процесс самоочистки проницаемой поверхности.

Для построения эпюры скоростей для разных участков по длине волокна воспользуемся законом распределения скоростей в круглой трубе [7].

$$\Delta p = \frac{V_{np} \times 8 \times \mu \times l}{R^2}, \quad (9)$$

где  $\Delta p$  - перепад давления на участке  $l$ ;  $\mu$  - динамический коэффициент вязкости.

Значение действительной скорости по сечению волокна для различных участков найдем из следующей формулы:

$$V = \frac{V_{np} \times 8 \times \mu \times l}{4 \times R^2} \times (R^2 - r^2) = \frac{\Delta p}{4 \times \mu \times l} \times (R^2 - r^2), \quad (10)$$

где  $R$  - внутренний радиус волокна;  $r$  - текущее значение радиуса изменяющейся от центра сечения волокна до  $R$ .

На рисунке 3 представлены эпюры скоростей для разных участков по длине волокна, где  $V_1$  эпюра скорости при длине волокна 160 мм,  $V_2$  эпюра скорости при длине 640 мм,  $V_3$  эпюра скорости при длине 1120 мм,  $V$  эпюра скорости при  $Q_{\phi 1} = 0$ .

Рисунок 3 говорит о значительной неравномерности продольных скоростей по длине волокна. Интерес вызывает изучение влияния значения абсолютной скорости или отношения  $i$  на возникновение геля слоя или на разрушение этого слоя. Так же необходимо исследовать влияние на этот процесс значений касательных напряжений.

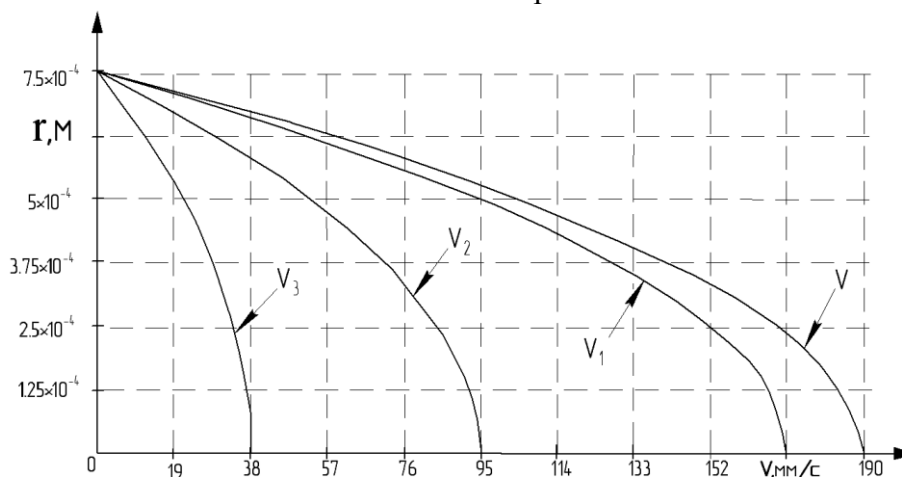


Рисунок 3 - Эпюры скоростей для разных участков по длине волокна

Построим эпюру касательных напряжений по длине волокна [7]

$$\tau = \frac{\Delta p \times r}{2 \times l}, \quad (11)$$

где  $\Delta p$  - перепад давления на участке  $l$ .  
На рисунке 4 представлены эпюры касательных напряжений для разных участков

по длине волокна, где  $\tau_1$  эпюра касательных напряжений при длине волокна 160 мм,  $\tau_2$  эпюра касательных напряжений при длине волокна 640 мм,  $\tau_3$  эпюра касательных напряжений при длине волокна 1120 мм,  $\tau$  эпюра касательных напряжений при  $Q_{\phi 1} = 0$ .

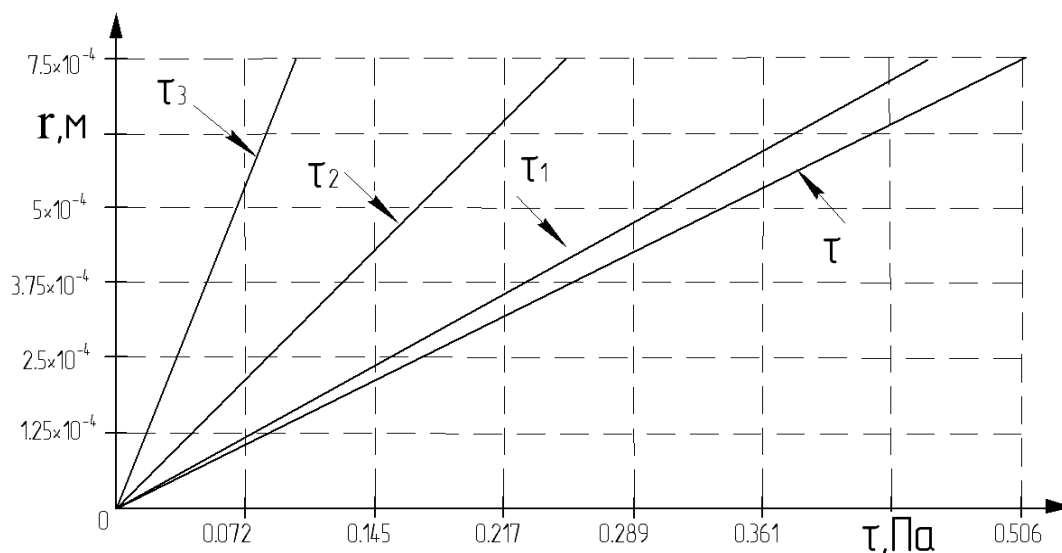


Рисунок 4 – Эпюры касательных напряжений для разных участков по длине волокна

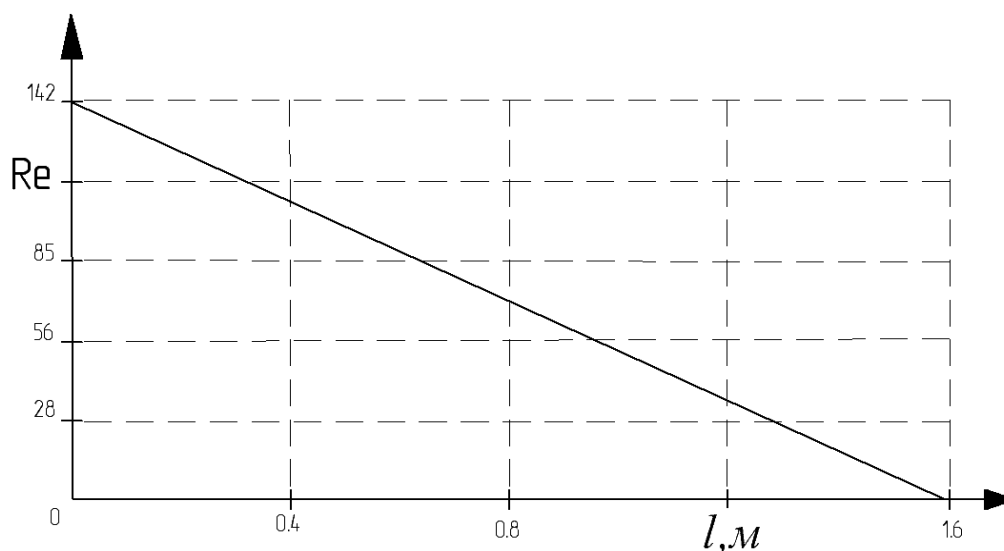


Рисунок 5 – Изменение числа Рейнольдса по длине волокна

Из рисунка 4 следует, что величина касательных напряжений падает вследствие неравномерности продольных скоростей. Как видно из рисунка 4 при прямой промывке, когда  $Q_{\phi 1} = 0$ , значения касательных напряжений  $\tau$  по длине волокна постоянны. Как уже отмечалось выше, интерес вызывает определение влияния значений касательных напряжений на разрушение или интенсивность образования гель-слоя.

Найдем значение числа Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{V_{np} \times d}{\nu}, \quad (12)$$

где  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости.

#### Библиографический список

1. IWA 4-ая Восточноевропейская конференция "Опыт и молодость в решении водных проблем" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://aquaproblems.ru/>
2. Мембранные методы очистки поверхностных вод / А. П. Андрианов, Д. В. Спицов, А. Г. Первов, Е. Б. Юрчевский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. - № 7. - С. 29 – 37.
3. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и УФ / Ю.И. Дытнерский. – 1978. - 328с.
4. Характеристика ультрафильтрационного модуля Dizzer 5000SB [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kaufmannotec.ru/images/ultra.pdf>
5. 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.
6. Пат. 64598 Украина, МПК<sup>6</sup> B01D37/00. Спосіб очищення рідин від механічних домішок у потоці / Бондаренко В.П.; заявник і патентовласник Бондаренко В.П. – №2003076535; заявл. 14.07.03; опубл. 15.07.05. Бюл. № 7.
7. Финкельштейн З.Л. Гидравлика и гидропривод (краткий курс) : учеб. пособ. / З.Л. Финкельштейн, В.Г. Чебан. – Алчевск : ДГМИ, 2001. – 164с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.*

Статья поступила в редакцию 17.06.13.

**к.т.н. Чебан В.Г., Тумин А.Н.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

#### **ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ ТЕЧІЇ СУМІШІ В УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНИХ МОДУЛЯХ З ПОРОЖНІМИ ВОЛОКНАМИ.**

Для підвищення ефективності обробки води системами ультрафільтрації необхідно розширити теоретичну базу і провести експериментальні дослідження. У статті подано теоретичне дослідження характеру течії суміші в ультрафільтраційному модулі Dizzer 5000 SB. Розглянуто характер течії суміші в порожньому волокні, зроблено порівняння значень відношення швидкостей у волокні і в гідродинамічних фільтрах, визначені подальші шляхи досліджень.

**Ключові слова:** вода, ультрафільтраційна мембрана, дотична напруга, гідродинамічний фільтр, гель шар.

**Cheban V.G., Tumin A.N.** (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

На рисунке 5 представлен график изменения числа Рейнольдса по длине волокна.

Из рисунка 5 видно, что режим течения ламинарный, а в случае тупиковой фильтрации, существуют все предпосылки для формирования концентрационной поляризации.

Еще одной особенностью является определение расхода исходя из заданного перепада давления по паспорту. Расход, определённый из перепада давления при ламинарном течении получается на порядок выше, чем в действительности по паспорту. Это показывает и говорит о достаточно сложном течении в волокне и коэффициент потерь на трение надо находить, не исходя из стандартных формул течения жидкости при ламинарном течении.

## **THEORETICAL STUDY OF THE FLOW OF SHARED MIXTURE OF ULTRAFILTRATION MODULES WITH HOLLOW OF FIBERS.**

*For increase of efficiency of processing of water by systems of ultrafiltration it is necessary to expand theoretical base and to conduct pilot researches. Theoretical research of character of a mix current is presented in article in the ultrafiltrational module with hollow Dizzer 5000 SB fibers. It has been considered the nature of current of the mixture in a hollow fiber, made comparing the value of velocity ratio in fiber and in hydrodynamic filters, it has been determined the further ways of research.*

**Key words:** *water, ultrafiltration membrane, the tangent tension, hydrodynamic filter, the gel layer.*