

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ В КАНАЛЕ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗАТОРА ПРИ ОБЕССОЛИВАНИИ РАЗБАВЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

**Аннотация:** Объектом исследования является плоский канал электродиализной ячейки, образованный двумя ионообменными мембранами, из свойств которых используем только гидрофильность поверхности, и рамкой из оргстекла со специальными гребнеобразными устройствами ввода и вывода раствора. В процессе работы решалась трехмерная стационарная задача течения раствора в данном канале. Показано, что в нем соблюдается ламинарный гидродинамический режим, но распределение потоков вблизи поверхности мембран неравномерное. Для выполнения этого условия была подобрана наиболее оптимальная геометрия канала, которая позволит не только экономить ресурс мембраны и сократить образование их отходов, но и существенно повысит производительность аппарата в целом.

**Ключевые слова:** электродиализ, очистка сточных вод, ионообменные мембраны, ламинарный поток, параболический профиль скоростей Пуазейля.

Для исследования свойств ионообменных и поведения ионообменных мембран в электромембранных системах необходимо строго контролировать гидродинамические параметры системы [1]. В связи с этим, на кафедре физической химии ФГБОУ ВО «КубГУ» разработана электродиализная ячейка, обеспечивающая ламинарный поток и параболический профиль скоростей в межмембранном канале [2, 3]. Однако, для математического моделирования процессов, протекающих в мембранной системе, необходимо проверить выполнение данных условий.

Исследуемая система показана на рисунке 1, где стрелками обозначено направление течения жидкости в системе. Геометрические параметры модели (Рис.1b,c) соответствуют реальным размерам области электродиализной ячейки (Рис.1a), в которой течет раствор.

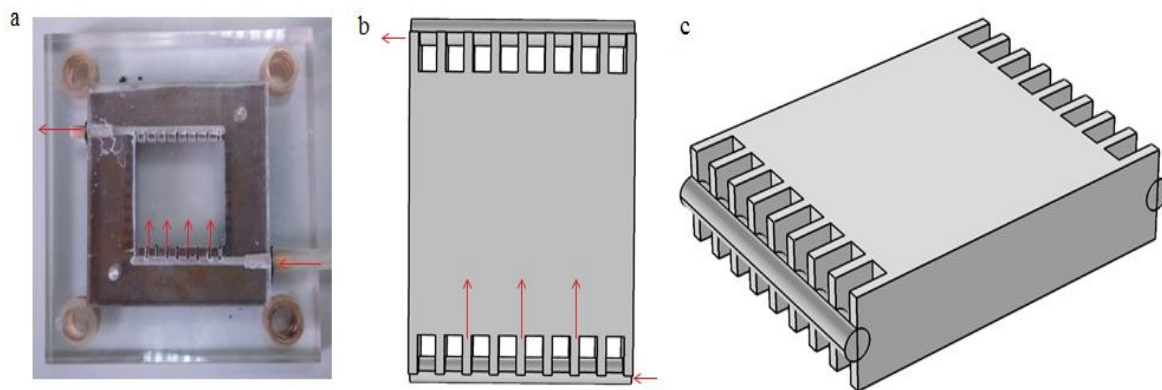


Рис. 1 – Исследуемая система: а) устройство камеры электродиализной ячейки; б,с) геометрия области данной ячейки, в которой течет раствор

Течение раствора в моделируемом канале описывается системой уравнений Навье-Стокса. Граничные условия: на входе и на выходе потока раствора задается равномерное распределение скорости течения жидкости, для всех остальных границ задаем условие прилипания, т.е. скорость потока на этих границах будет равна нулю. Среднюю скорость задаем равной 0.004 м/с, опорный уровень давления 1 атм.

Решение поставленной трехмерной стационарной задачи изображено на Рис.2. Локальная линейная скорость течения жидкости отображена на цветовой шкале в м/с. Линии зеленого цвета – линии направления потока жидкости. Видим, что в межмембранном канале соблюдается ламинарный гидродинамический режим, а распределение потока по ширине канала неравномерное.

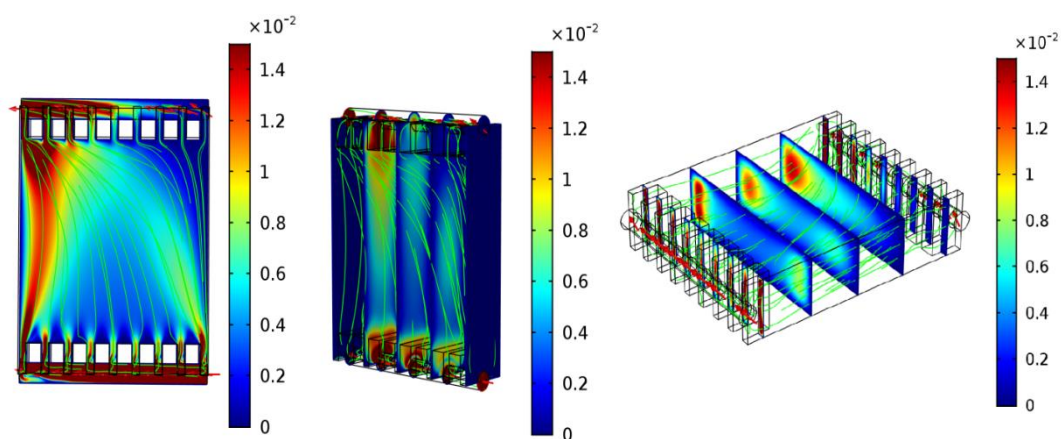


Рис. 2 – Распределение скорости потока в поперечных сечениях исследуемой системы, построенных в различных плоскостях

Профиль скоростей показывает, что основной поток распределяется по краям, ближе к стенкам канала. Это объясняется тем, что жидкость, попадая в систему, движется по цилиндрическому каналу с заданной скоростью: часть раствора устремляется в камеру через гребни (ближе ко входу), но инерционная составляющая не позволяет остальной части раствора резко сменить направление потока, поэтому только достигнув конца цилиндрического канала, раствор устремляется непосредственно в камеру ячейки.

Для обеспечения равномерного распределения скоростей потока в межмембранном канале, методом подбора были заданы наиболее оптимальные геометрические параметры гребнеобразных устройств. Выбор параметров производился с учетом получаемых распределений, путем уменьшения расстояния между гребнями в местах наибольшей скорости потока, и увеличения расстояния в местах наименьшей скорости. Таким образом, после изменения геометрических параметров, была получена конечная модель, изображенная на рисунке 3.

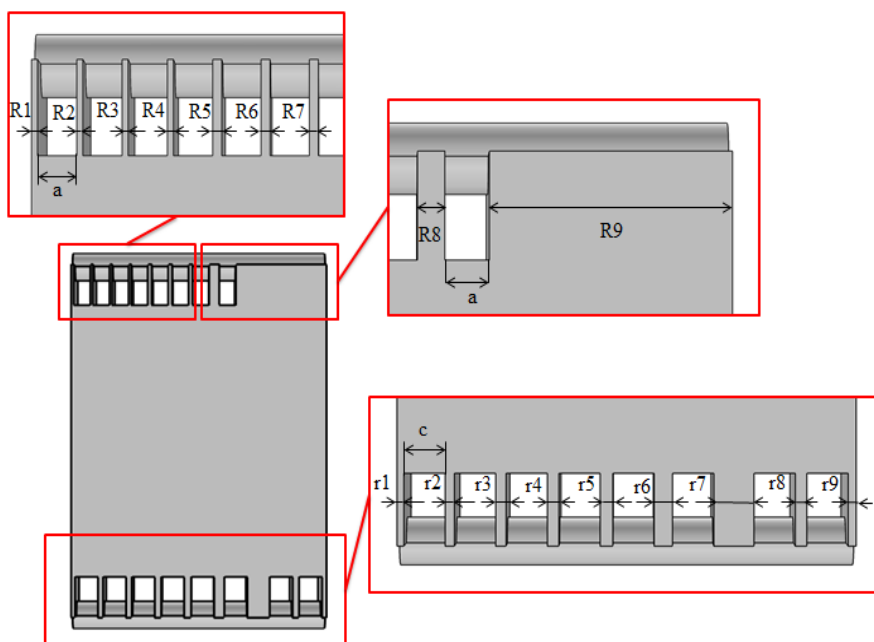


Рис. 3 – Моделируемый канал с оптимизированными геометрическими параметрами, где  $a$  и  $c$  ширина верхних (1.3мм) и нижних (1.8мм) гребней соответственно; расстояние между нижними гребнями, мм:  $r1=0.3, r2=0.4, r3=0.45, r4=0.5, r5=0.55, r6=0.8, r7=1.75, r8=0.5, r9=0.35$ ; расстояние между верхними гребнями, мм:  $R1=R2=R3=R4=0.2, R5=R6=R7=0.3, R8=0.8, R9=7.1$

Остальные параметры, уравнения и граничные условия оставляем без изменений. Решение новой поставленной задачи показывает, что распределение скоростей потока близко к равномерному и симметричному, а также соблюдается ламинарный гидродинамический режим (рисунок 4).

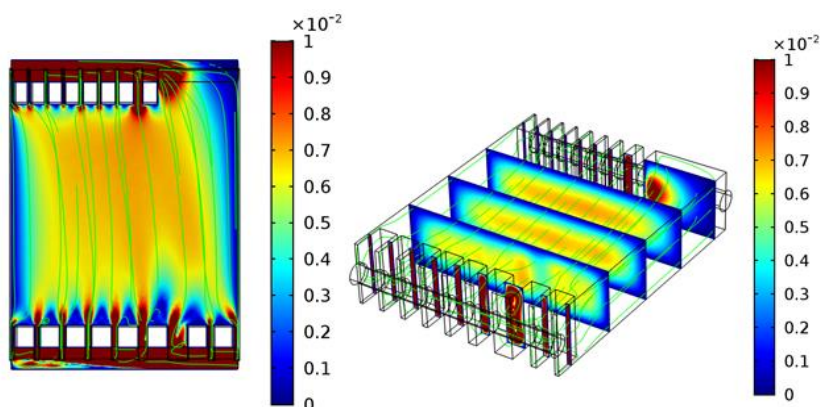


Рис. 4 – Решение трехмерной стационарной задачи течения жидкости в камере лабораторной электродиализной ячейки с оптимизированными геометрическими параметрами гребнеобразных устройств

Для более подробного анализа полученных результатов рассмотрим трехмерный график распределения максимумов скорости потока в сечении, проведенном в середине канала (рисунок 5).

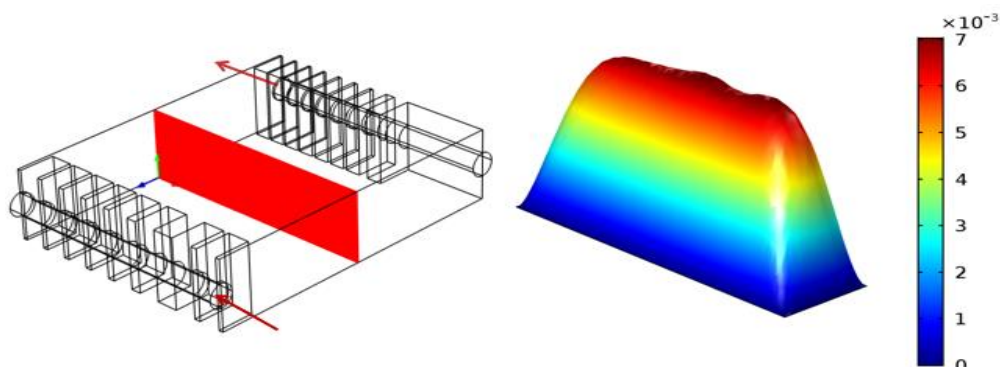


Рис. 5 – Распределение максимумов скорости потока в сечении, проведенном в середине канала

На рисунке 5 видим, что раствор течет равномерно по всей ширине канала, а в системе соблюдается параболическое распределение Пуазейля (расчетная максимальная скорость составляет 5.85 мм/с, что всего на 2.5% отличается от  $1.5V_0$ ). Все это свидетельствует об успешной оптимизации параметров системы.

### Список литературы:

1. Strathmann, H. Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications / H. Strathmann // *Desalination*. – 2010. – Vol. 264. – P. 268.
2. Volodina, E. Ion transfer across ion-exchange membranes with homogeneous and heterogeneous surfaces / E. Volodina, N. Pismenskaya, V. Nikonenko et al. // *J. Colloid Interface Sci.* – 2005. – Vol. 285. – P. 247.
3. Пат. 100275 РФ, МПК51 G01N27/40 (2006.01). Устройство для измерения диффузионных характеристик мембран / В. В. Никоненко, Е. Е. Ведерникова (Невакшенова), Н. Д. Письменская (Краснодар, РФ) ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кубанский государственный университет (РФ). – № 2010121195/28 ; заявл. 25.05.2010 ; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 34. – 2 с.: ил.