

КИНЕТИКА И ИНЖЕНЕРНО-АППАРАТУРНОЕ  
ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА  
ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ  
ВОД ГАЛЬВАНОПРОИЗВОДСТВ С СОДЕРЖАНИЕМ  
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ Zn, Cd, Pb

Специальность 05.17.08 - "Процессы и аппараты химических технологий"

Автор: аспирант Акулинчев А.  
М.

Научный руководитель:  
к.т.н., доцент Абоносимов О.А.

Разработка инженерно-аппаратурного оформления и изучение основных кинетических характеристик процесса обратноосмотической очистки сточных вод гальванопроизводств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- *Разработать конструкции экспериментальных установок и методики для исследования кинетических характеристик обратноосмотической очистки сточных вод гальванопроизводств.*
- *Провести экспериментальные исследования кинетики процесса обратноосмотической очистки сточных вод гальванопроизводств и определить влияние физико-химических факторов на этот процесс.*

- Разработать усовершенствованную математическую модель массопереноса при обратноосмотическом разделении сточных вод гальванопроизводств.*
- Проверить адекватность разработанной математической модели.*
- На базе проведенных исследований и разработанной математической модели создать наиболее простую и надежную инженерную методику расчета аппаратов обратноосмотического разделения.*
- Разработать технологическую схему очистки промышленных сточных вод гальванопроизводств*

## Растворы

При проведении исследований использовались модельные и реальные водные растворы, содержащие ионы тяжелых металлов  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ , т.е. металлы содержащиеся в сточных водах гальванопроизводств.

Реальные растворы – растворы отобранные на очистных сооружениях ОАО "ТКС "ТамбовВодоканал".

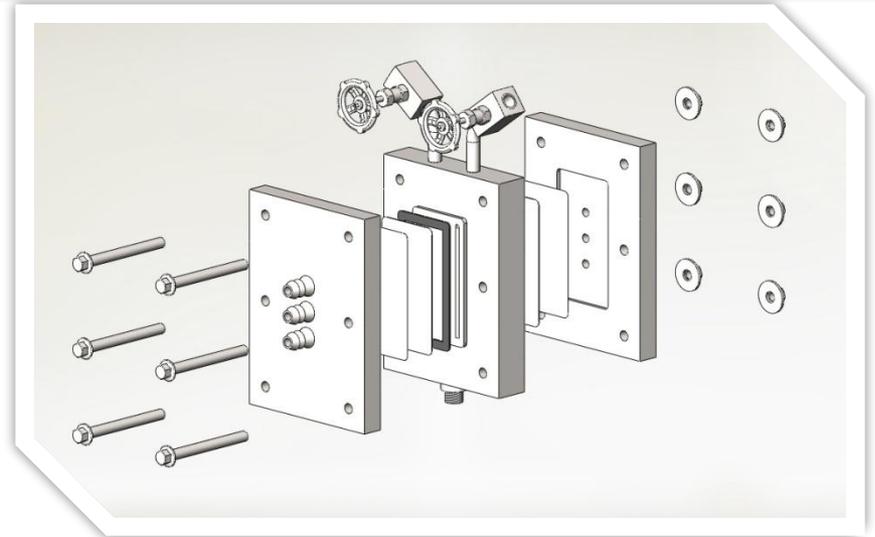
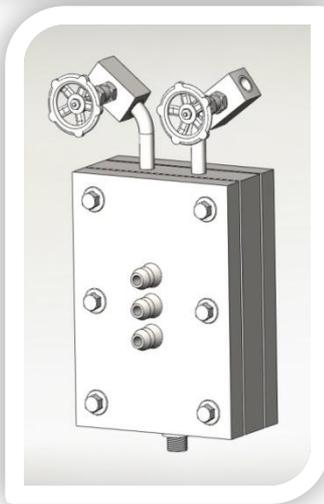
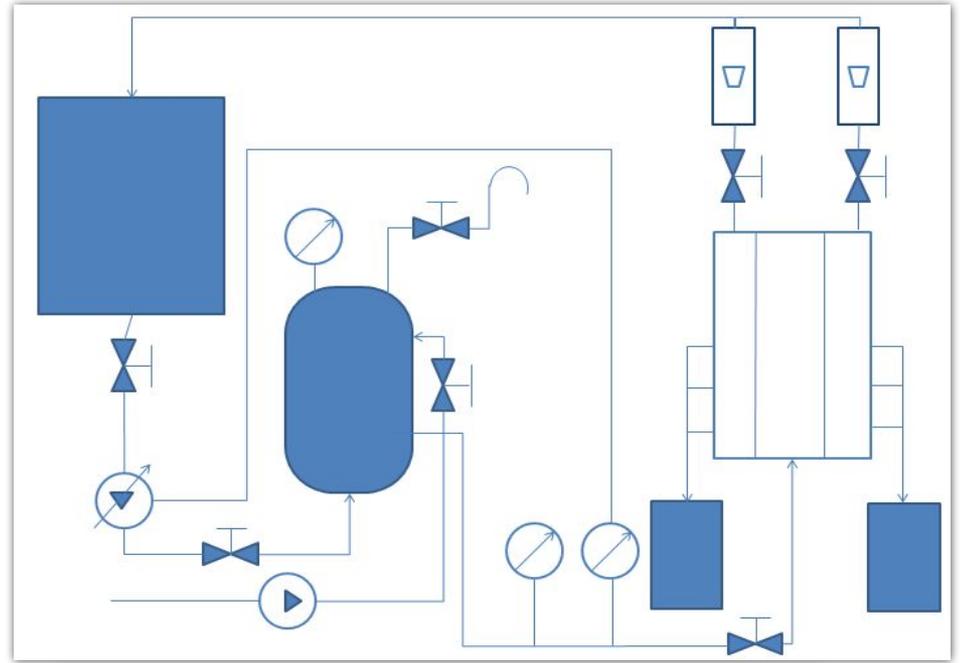
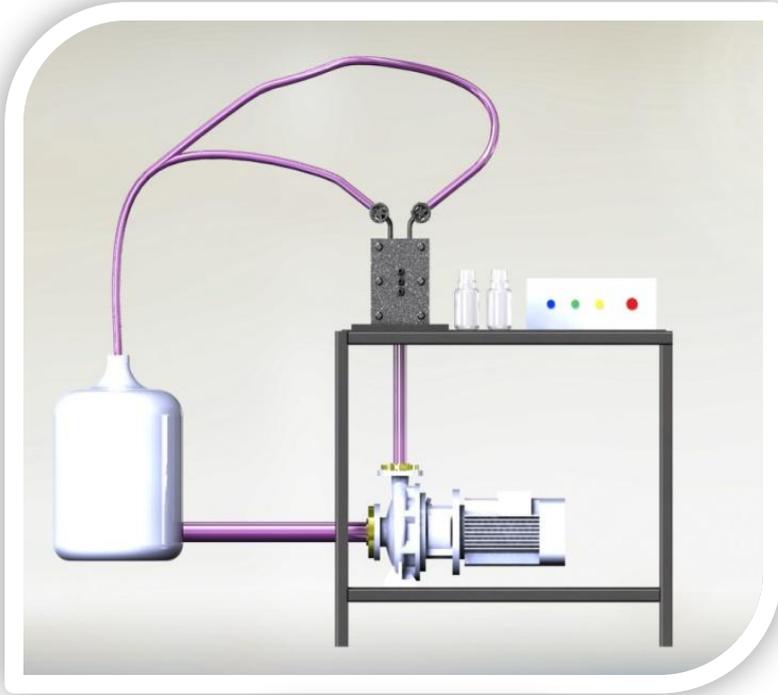
Модельные растворы -  $Zn(OH)_2$ ,  $CdSO_4$ ,  $PbCO_3$

## Мембраны

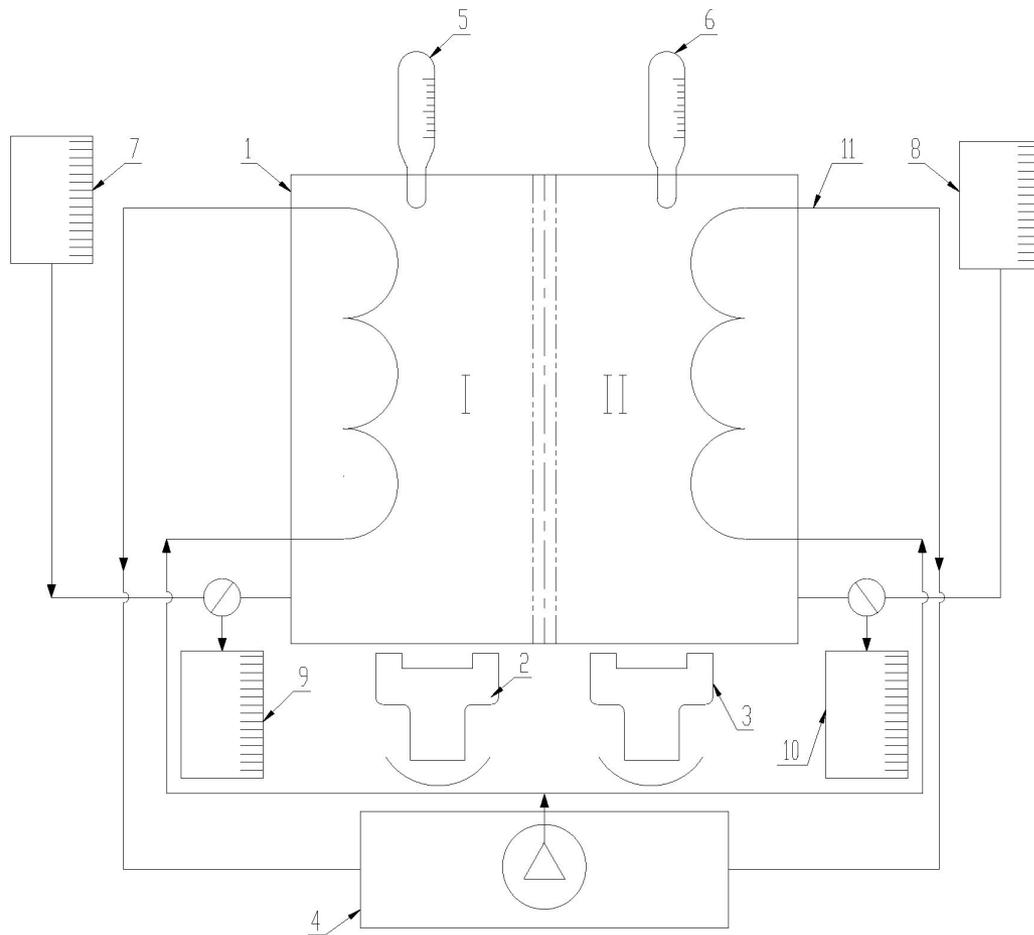
Основным элементом разделяющей системы любой обратноосмотической установки является полупроницаемая мембрана.

Для исследований на лабораторной обратноосмотической установке плоскораменного типа использовались мембраны типа МГА-100 и МГА-95, выпускаемые ЗАО НТЦ "Владипор" (г.Владимир).

# ОБРАТНООСМАТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА



# УСТАНОВКА ДИФфуЗИОННОЙ ПРоницаЕМОСТИ И МЕМБРАН



- 1 - диффузионная ячейка
- 2,3 – магнитная мешалка
- 4 – термостат
- 5,6 – термометр
- 7,8,9,10 – мерные емкости

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ МЕМБРАН

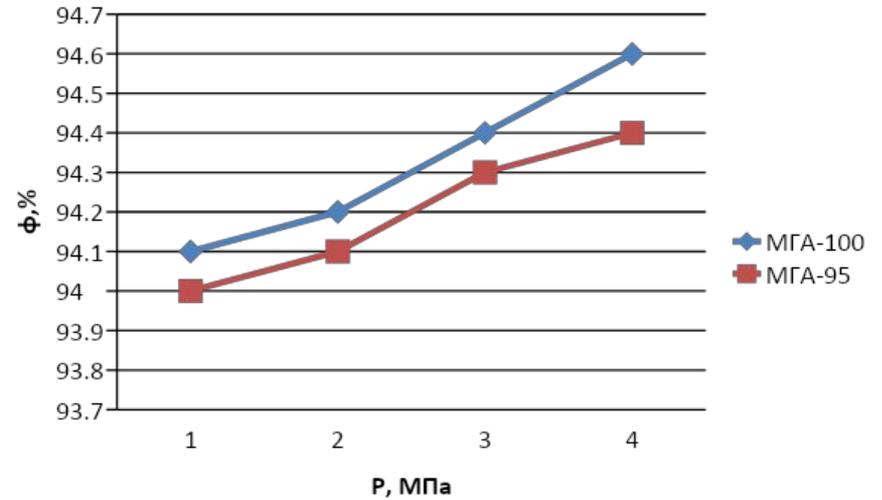
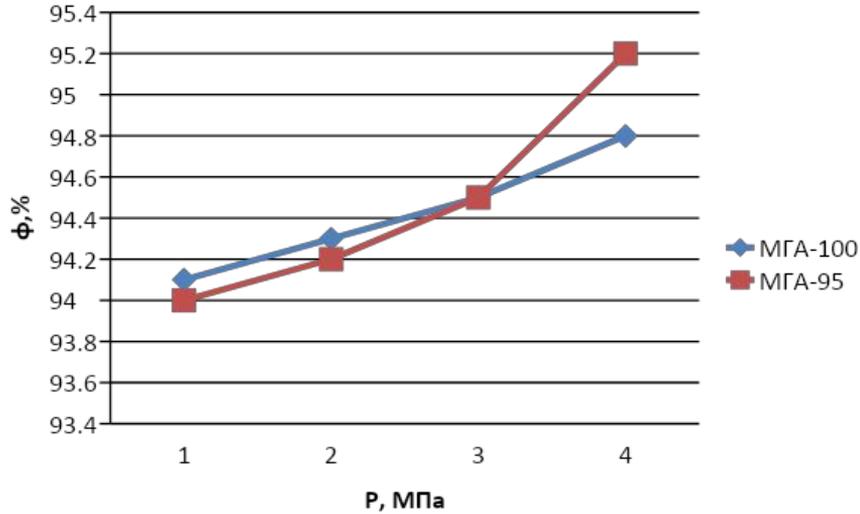
В исследовании сорбции мембран растворенных веществ использовались стеклянная тара, принадлежности для измерения линейных размеров образцов мембран и водяной термостат.

Данные по сорбционной способности мембран использовали для определения коэффициента распределения:

$$K = \frac{C_m}{C_{исх}},$$

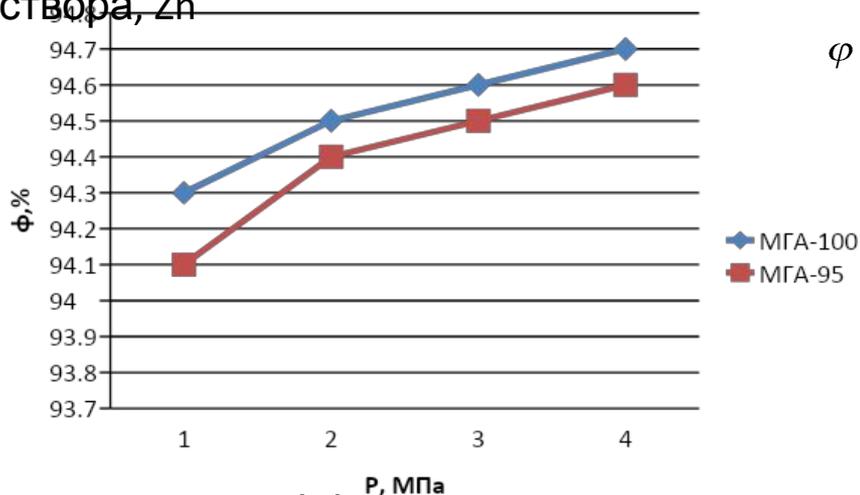
где  $k$  - коэффициент распределения;  $C_m$  - концентрация растворенного вещества в мембране;  $C_{исх}$  - концентрация растворенного вещества в исходном растворе.

# КОЭФФИЦИЕНТ ЗАДЕРЖАНИЯ



Зависимость коэффициента задержания мембран МГА-95, МГА-100 от давления раствора, Zn

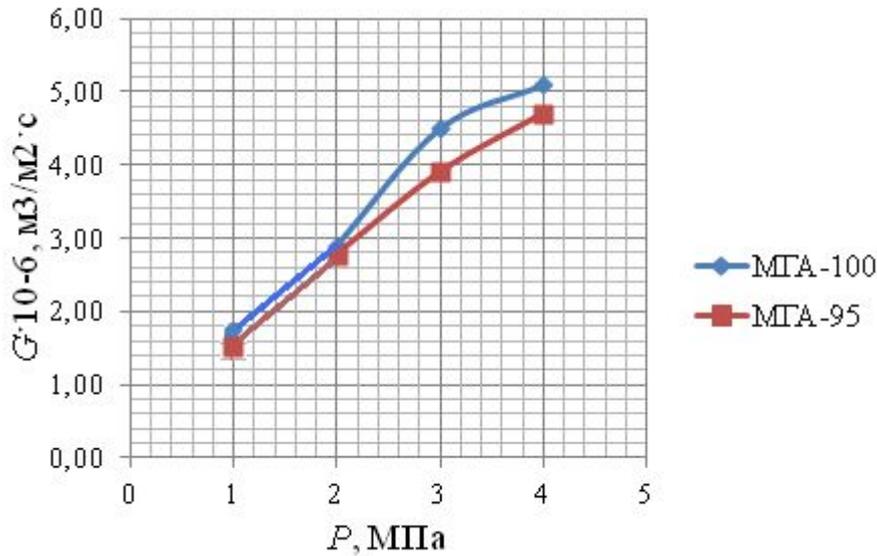
Зависимость коэффициента задержания мембран МГА-95, МГА-100 от давления раствора, Cd



Зависимость коэффициента задержания мембран МГА-95, МГА-100 от давления раствора, Pb

$$\varphi = 1 - \frac{1}{1 + (\gamma - 1) \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\nu \cdot h}{D_m}\right) \right] \cdot \exp\left(-\frac{\nu \cdot E \cdot Re^n}{D_o}\right)}$$

По представленным данным можно сказать, что для разбавленных растворов при повышении давления коэффициент задержания увеличивается совсем незначительно.



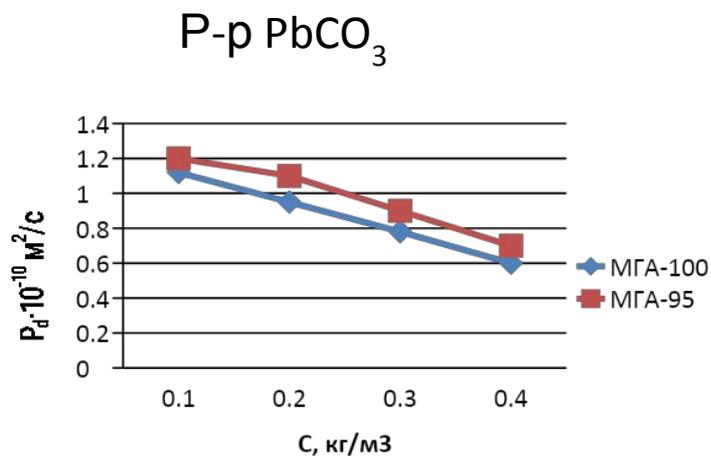
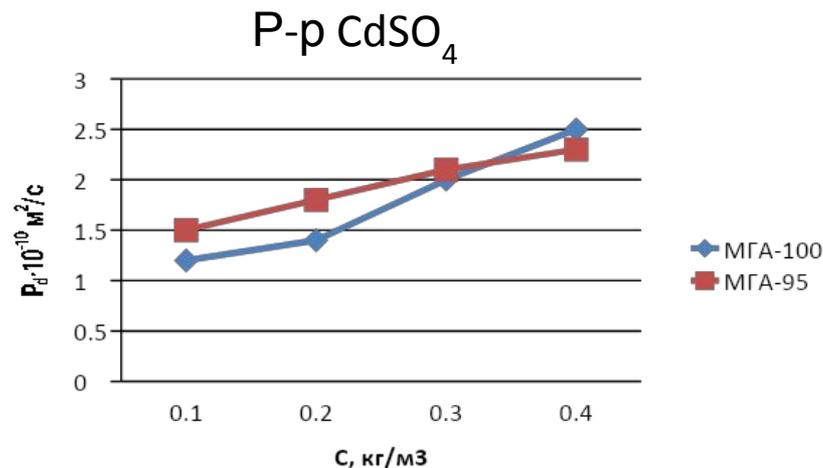
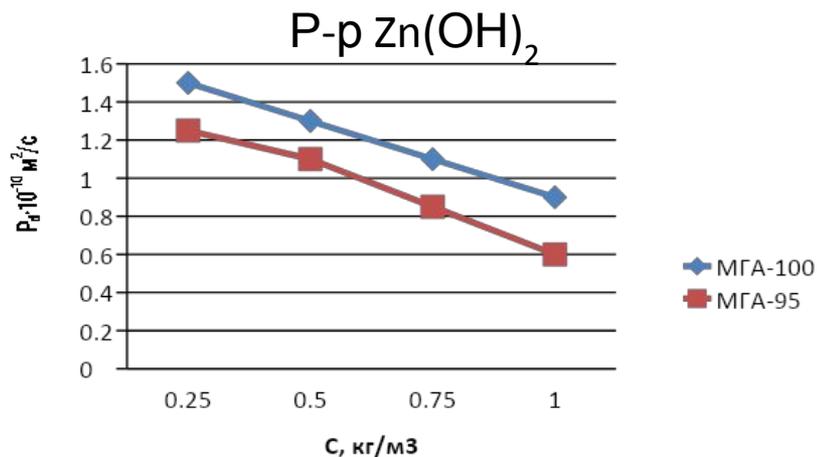
Зависимость удельной производительности мембран МГА-95, МГА-100 от давления раствора

$$G = K \cdot (\Delta P - \Delta \pi) \cdot \alpha \cdot \text{Re}^n \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^m,$$

Из приведенных зависимостей следует, что удельная производительность мембран при обратном осмосе, увеличивается с ростом движущей силы, т.к. увеличивается конвективный поток растворителя через мембрану.

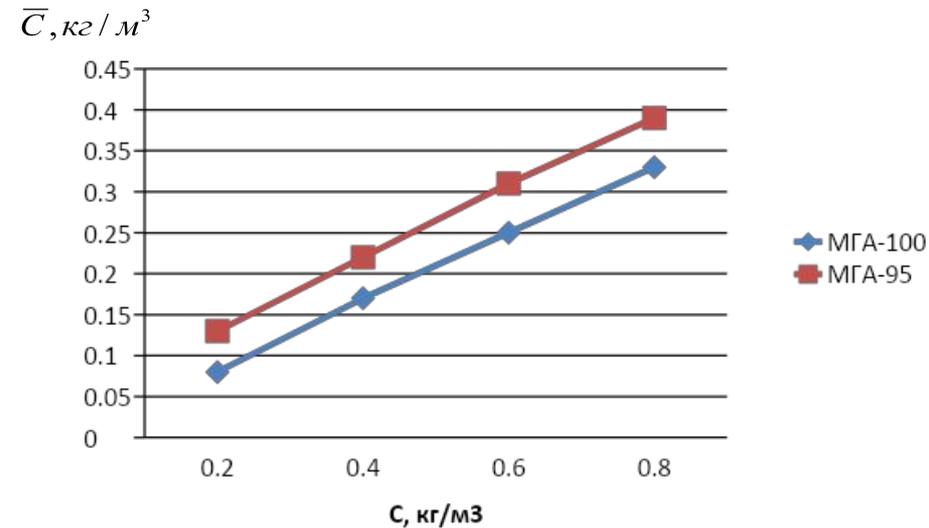
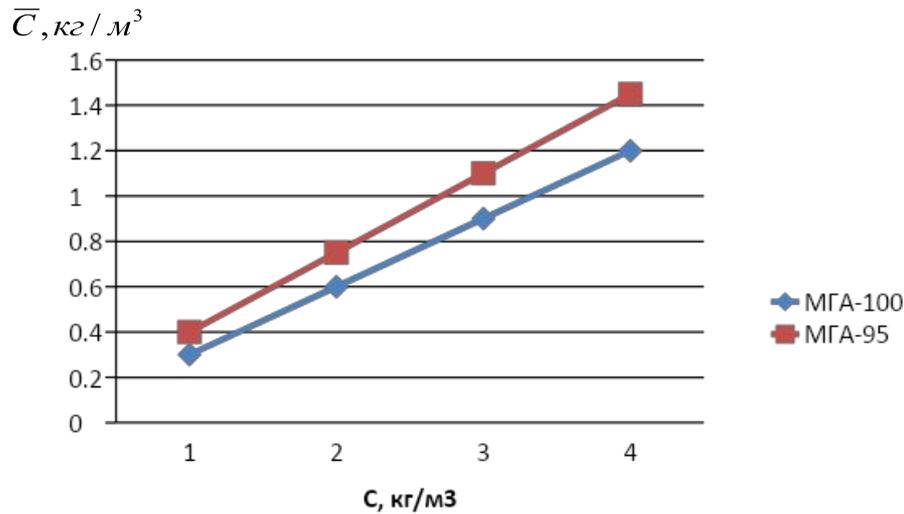
$k, \alpha, m, n$  - эмпирические коэффициенты  
 $T_0, T$  - реперная и рабочая температура разделяемого раствора

# КОЭФФИЦИЕНТ ДИФФУЗИОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ



По экспериментальным данным были рассчитаны аппроксимационные зависимости коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации исследуемых растворов.

$$P_d = b \cdot C^n, \quad \text{где } b, n - \text{ эмпирические коэффициенты}$$



Зависимость сорбции мембран от концентрации раствора  $Zn(OH)_2$

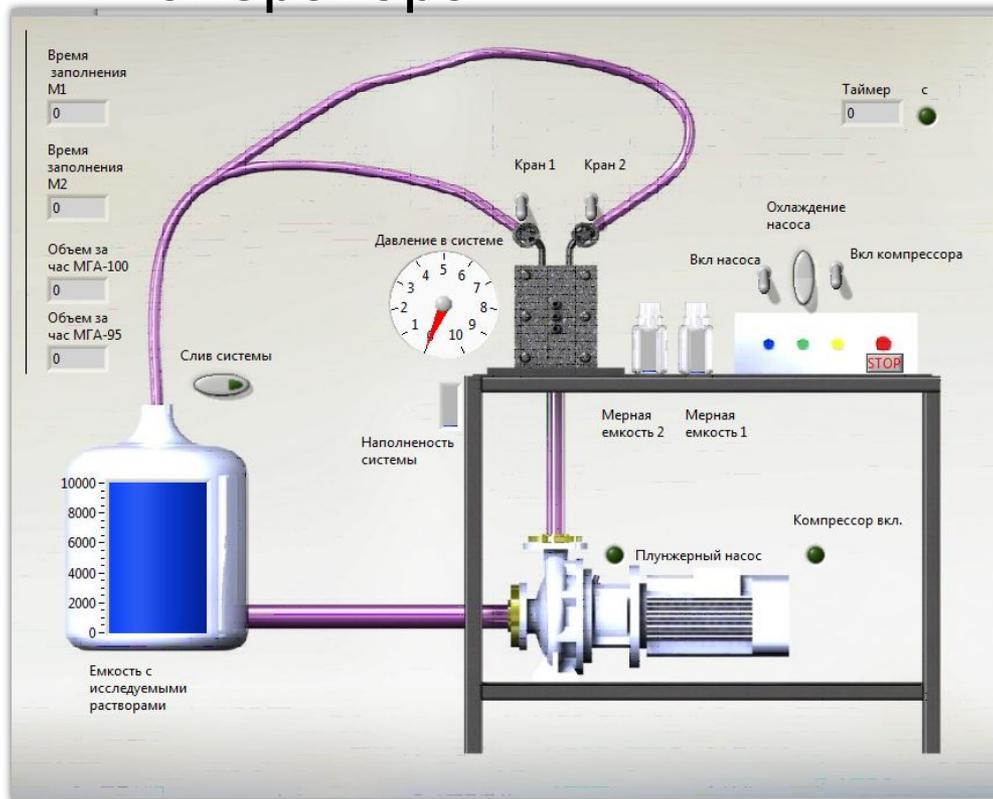
Зависимость сорбции мембран от концентрации раствора  $CaSO_4$

Как видно из графиков, с ростом концентрации сорбционная способность обратноосмотических мембран по обоим растворам возрастает.

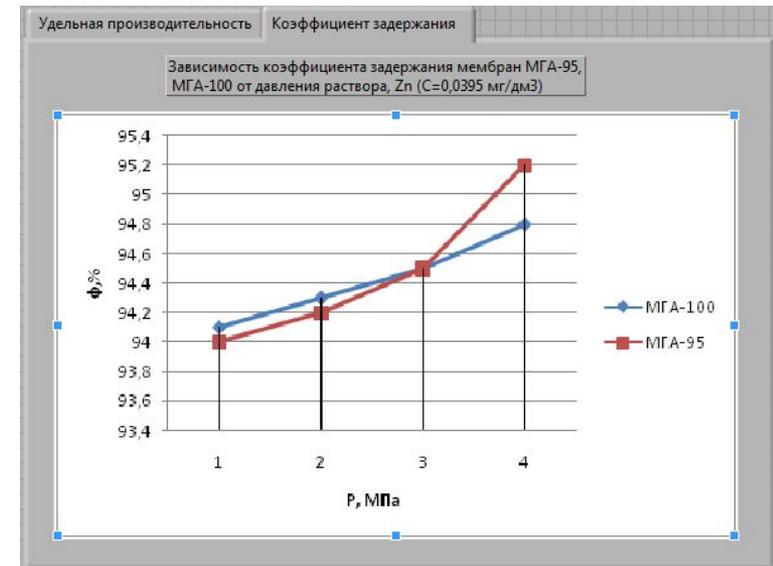
Коэффициент распределения будет определяться зависимостью:

$$k = B \cdot C^{n-1}, \quad \text{где } B, n - \text{эмпирические коэффициенты}$$

## Рабочее место оператора

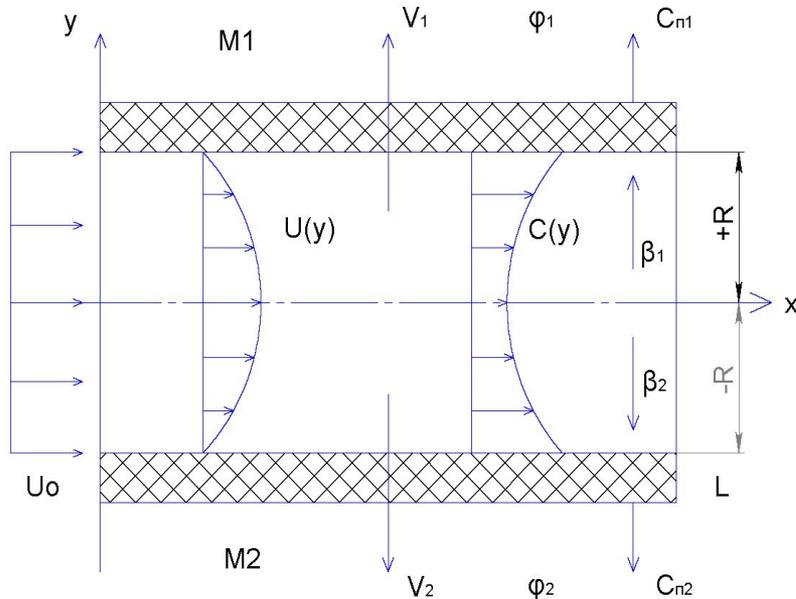


## Вспомогательная панель



# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Математическая запись модели  
массопереноса в  
обратноосмотических аппаратах:



$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0;$$

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}$$

$$U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$$

$\nu$  -  
кинематическая  
вязкость раствора.

Начальные и граничные

УСЛОВИЯ:  $U(x; b/2) = 0; U(x; 0) = 0$

В конечном

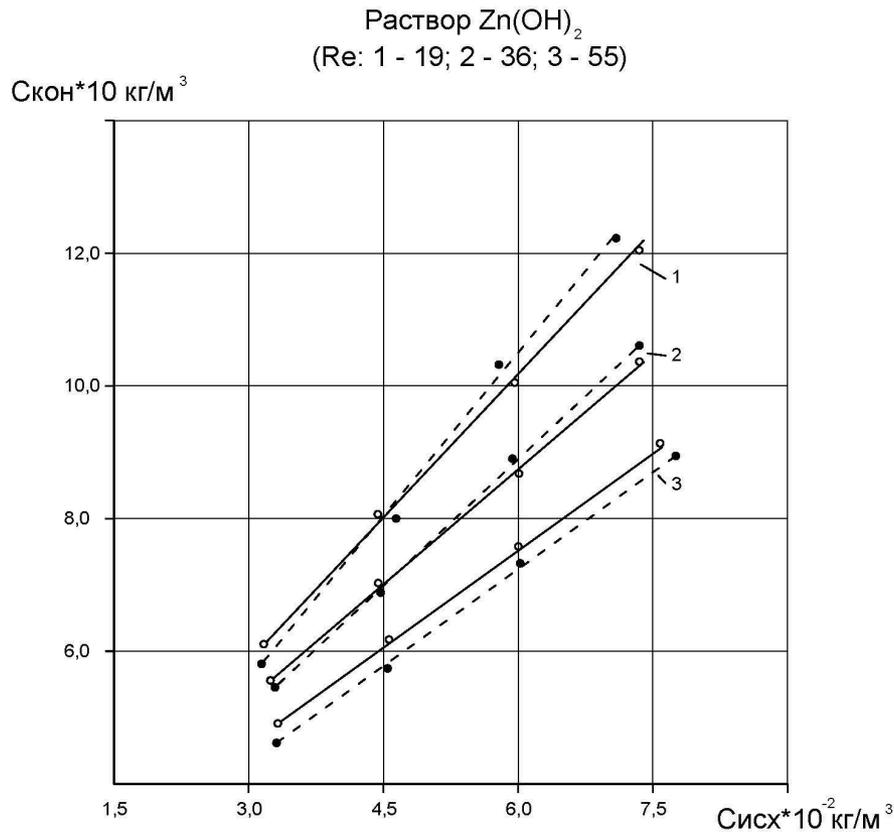
виде:

$$f_1(x) \left( (b/2)^2 - y^2 \right) \frac{\partial C}{\partial x} + f_2(x) \frac{\partial C}{\partial y} = \varepsilon \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad C(x, b/2) f_2(x) = m \frac{\partial C(x, b/2)}{\partial y}$$

$$\frac{\partial C(x, 0)}{\partial y} = 0$$

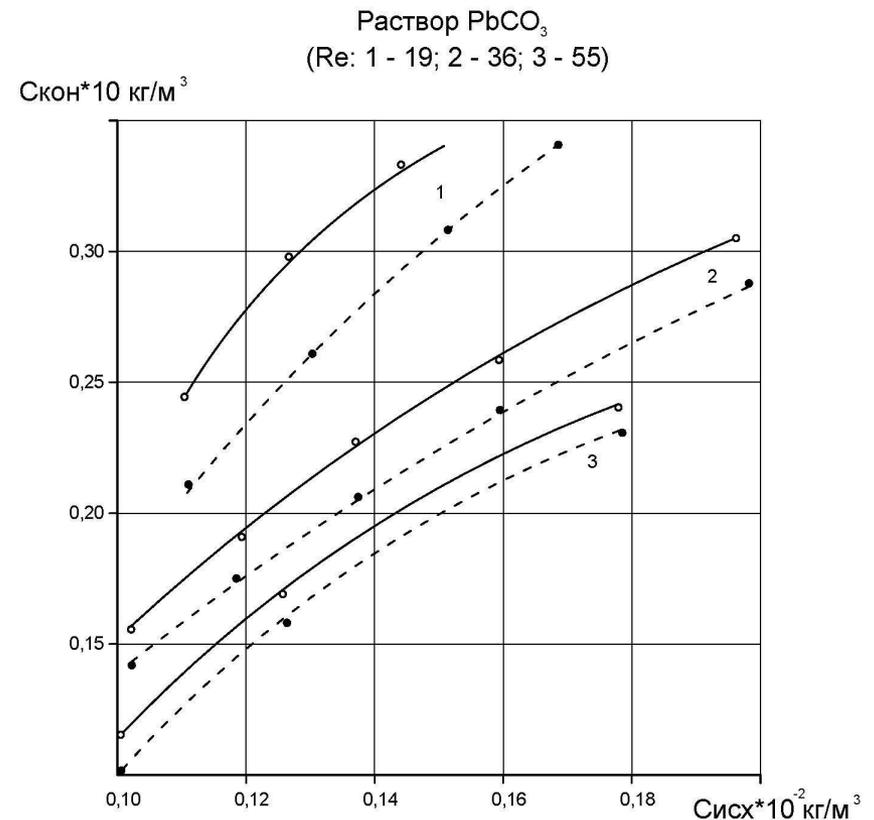
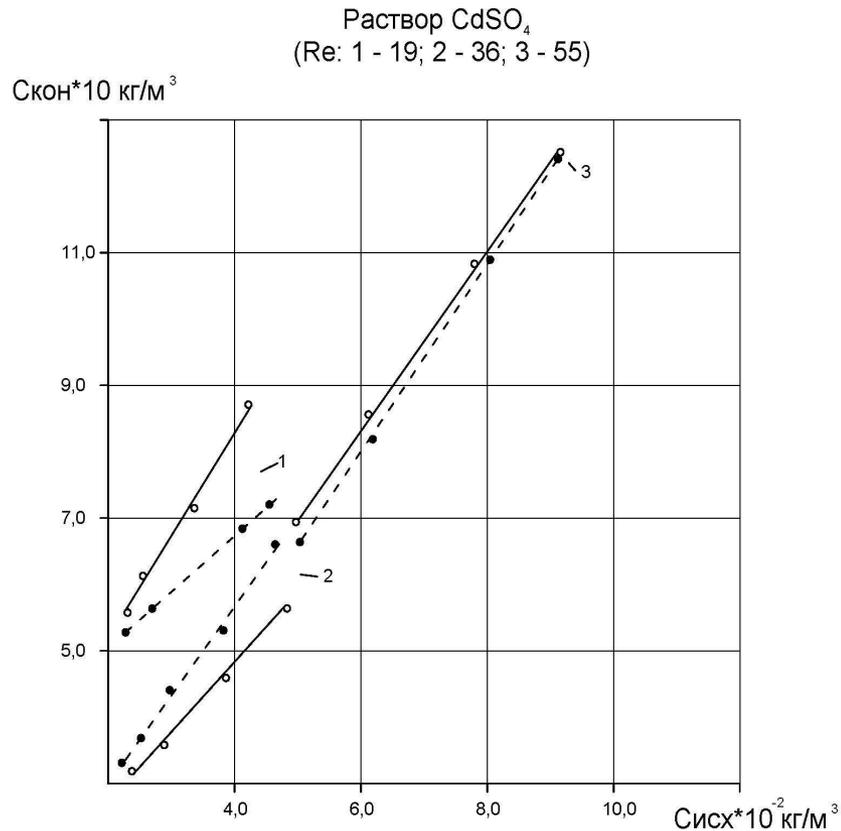
$$C_0(0, y) = C_0$$

# ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ



Проверка адекватности, разработанной математической модели, осуществлялась путем сравнения экспериментальных и расчетных данных. При этом использовались экспериментальные данные полученные при разделении модельных растворов сточных вод гальванопроизводств, содержащих  $Zn(OH)_2$ ,  $CdSO_4$ ,  $PbCO_3$  на лабораторной обратноосмотической установке, в которой использовались мембраны МГА-95.

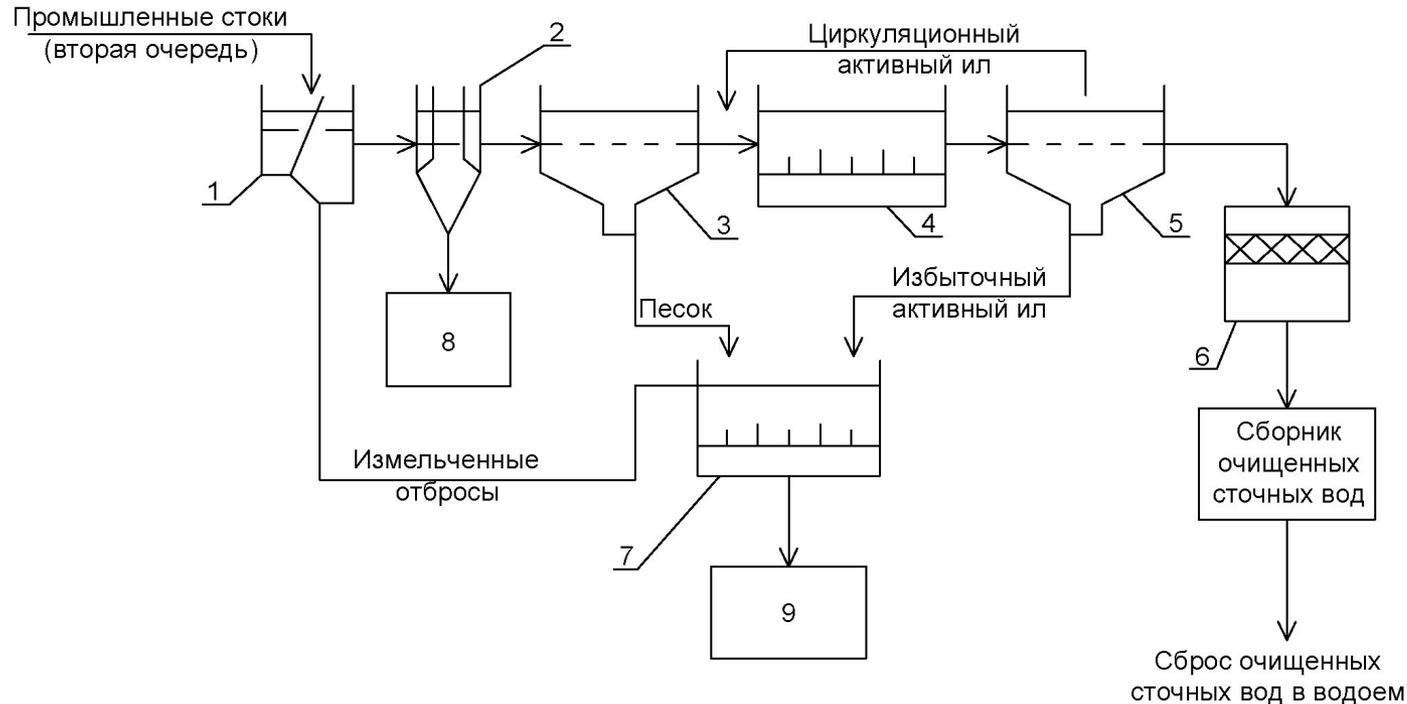
# ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ



Как видно совпадение расчетных и экспериментальных величин не превышает 15%, что свидетельствует о приемлемой адекватности разработанной математической модели реальным процессам массопереноса в обратноосмотических аппаратах.

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Модернизированная технологическая схема очистных сооружений  
ОАО РКС "Тамбовводоканал" (вторая очередь)



1 – решетки; 2 – горизонтальные песколовки с круговым движением воды; 3 – первичный радиальный отстойник; 4 – аэротенк-вытеснитель с естественной аэрацией; 5 – вторичный радиальный отстойник; 6 – промышленная обратноосмотическая установка; 7 – аэробный стабилизатор; 8 – песковые площадки; 9 – иловые площадки



392000, г. Тамбов, ул. Тулиновская, 5  
тел./факс 8 (4752) 713229, 8 (4752) 714634  
www.tamcomsys.ru, e-mail: roscomsys@tamb.ru

## СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы

**Акулинчева А.М. "Кинетика и инженерно-аппаратурное оформление процесса обратноосмотической очистки сточных вод гальванопроизводств с содержанием тяжелых металлов Zn, Cd, Pb"**

Справка дана Акулинчеву А.М. в том, что на предприятии филиала ОАО «ТКС» «Тамбовводоканал» по результатам диссертационных исследований была разработана модернизированная технологическая схема очистных сооружений филиала ОАО «ТКС» «Тамбовводоканал». Предложенный метод очистки сточных вод является прогрессивным, менее энергоемким по сравнению с другими методами разделения.

Благодаря внедрению мембранного разделения в технологический процесс очистки сточных вод с промышленных объектов удастся улучшить качество очистки сточных вод и достичь положительный экономический эффект в размере 170 000 рублей в ценах 2014 года.

В настоящее время рассматривается вопрос о дальнейшей модернизации технологического процесса очистки сточных вод на очистных сооружениях филиала ОАО «Тамбовводоканал» на основе диссертационных исследований, что позволит упростить технологическую схему, уменьшить размеры очистных, снизить расходы на обслуживание и содержание и повысить качество очистки.

Директор филиала ОАО  
«Тамбовские коммунальные системы»  
«Тамбовводоканал»



А.А. Макшаков

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

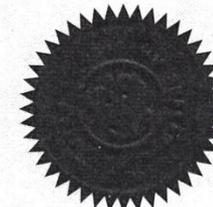
**№ 2012615861**

**Расчет локальных кинетических коэффициентов  
в плоскокамерном электробаромембранном аппарате**

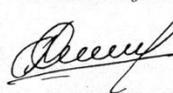
Правообладатель(ли): **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (RU)**

Автор(ы): **Головашин Владислав Львович, Ковалев Сергей Владимирович, Лазарев Константин Сергеевич, Акулиничев Андрей Михайлович, Ворожейкин Юрий Александрович (RU)**

Заявка № **2012613420**  
Дата поступления **27 апреля 2012 г.**  
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
**27 июня 2012 г.**



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 **Б.П. Симонов**

1. Выполнен критический обзор литературных данных по разделению сточных вод гальванопроизводств. Рассмотрены существующие методы разделения промышленных растворов. Определена область применения, преимущества и недостатки данных методов. Произведен обзор конструкций мембранных аппаратов и установок. Рассмотрены инженерные методы расчета обратноосмотических аппаратов.
2. Получены экспериментальные данные по коэффициенту задержания, удельной производительности, диффузионной проницаемости в зависимости от концентрации, давления, вида растворенных веществ и мембраны для сточных вод с содержанием ионов Zn, Cd, Pb.
3. Получены аппроксимационные зависимости, для расчета кинетических коэффициентов процесса обратноосмотической очистки сточных вод гальванопроизводств.
4. На основе методики проведения и конструкции лабораторной обратноосмотической установки очистки сточных вод гальванопроизводств, был создан комплекс виртуальных тренажеров, который способствует формированию у операторов практических навыков и умений принятия и выполнения решений по управлению технологическими процессами стадий очистки сточных вод, а также позволяет свести к минимуму ошибки операторов при управлении реальными объектами.

5. Разработана математическая модель процесса обратноосмотической очистки растворов. Проверена ее адекватность путем сравнения расчетных и экспериментальных данных. Расхождение не превышает 10 %. Предложена методика инженерного расчета обратноосмотического аппарата.

6. Результаты исследований были использованы предприятием ОАО «ТКС» "Тамбовводоканал" для разработки промышленной технологической схемы очистки растворов с рассчитанным экономическим эффектом 170 000 рублей в год по ценам 2014 года.