

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)



«УТВЕРЖДАЮ

Проректор

по учебно-методической работе

_____ А. А. Панфилов

« 05 » 02 _____ 201 5 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

МЕМБРАНЫ И МЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Направление подготовки 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Программа подготовки: «Мембранная технология»

Уровень высшего образования магистратура

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ ОЧНАЯ

Семестр	Трудоемкость зач. ед, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
2	4(144ч)	18	18	36	72	зачет с оценкой
3	5(180ч)	-	36	18	90	КР, экзамен (36ч)
Итого	9(324ч)	18	54	54	162	Зачет с оценкой, КР, экзамен (36ч.)

I. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Мембраны и мембранные процессы» являются изучение теоретических основ создания полимерных мембран и процессов, протекающих при их использовании, способов получения мембран и технологии их использования.

II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Настоящий курс входит в состав вариативной части дисциплин магистратуры по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии». Изучение дисциплины базируется на следующих дисциплинах бакалавриата:

- органическая химия
- химия и физика полимеров
- процессы и аппараты химической технологии

Магистратуры:

- современные методы исследования в химии.

Дисциплина «Мембраны и мембранные процессы» необходима для изучения дисциплины «Современные технологии мембран» и выполнения магистерской диссертации.

III КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует следующие компетенции:

- способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки (ОПК-3);
- способность использовать современные методики и методы, в проведении экспериментов и испытаний, анализировать их результаты и осуществлять их конкретную интерпретацию (ПК-4);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

Знать:

- теоретические основы мембранных процессов (ПК-4);
- влияние различных факторов на основные параметры мембран (ПК-4);
- основы проектирование фильтрующих систем (ОПК- 3);

Уметь:

- подобрать к данному процессу соответствующую мембрану и предложить оптимальную фильтрующую систему (ПК-4)

- целенаправленно изменять технологические параметры получения мембран (ОПК-3).

Владеть:

- методом расчета и проектирования мембранных систем (ОПК- 3, ПК-4).

IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Объем и учебной работы с применением интерактивных методов (в часах/%)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практ. занятия	Лаб. работы	СРС	КП/КР		
II семестр										
1	Введение Раздел 1 Этапы развития мембранной технологии	2	1-4	4	4	-	10		4/50%	
2	Раздел 2 Диффузионные мембранные процессы	2	5-8	4	4	8	16		4/25%	Рейтинг – контроль №1
3	Раздел 3 Фазовое разделение в полимерных системах	2	9-16	8	4	16	20		4/16,7%	Рейтинг – контроль №2
4	Раздел 4 Влияние различных параметров на морфологию мембран.	2	17-18	2	6	12	26		6/25%	Рейтинг – контроль №3
	Итого по семестру	2		18	18	36	72		18/25%	Зачет с оценкой
III семестр										
5	Раздел 5 Характеристик и мембран	3			8	-				
6	Раздел 6 Мембранные процессы	3			10	10			8/50%	Рейтинг – контроль №1

7	Раздел 7 Термомембранные и электромембранные процессы	3			10	-				Рейтинг – контроль №2
8	Раздел 8 Основы проектирования мембранных фильтрующих систем.	3			8	8	90	КР	8/50%	Рейтинг – контроль №3
	Итого по семестру	3		-	36	18	90	КР	16/29,6%	КР, экзамен (36ч.)
	Всего	2,3		18	54	54	162	КР	34/27%	Зачет с оценкой, КР, экзамен (36ч.)

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА

2 семестр:

Лекции 1-2, в которые входит: раздел 1

Раздел 1 Этапы развития мембранной технологии.

Рассмотрены история развития мембранных процессов, место мембранных процессов в ряду других процессов разбавления (дистилляции, вымораживания, электродиализу и т.п.).

Лекции 3-4, в которые входит: раздел 2

Раздел 2 Диффузионные мембранные процессы

Рассмотрены мембранные процессы (микрофильтрация, ультрафильтрация, обратный осмос, пьезодиализ, диализ, термоосмос и др.) и движущие силы этих процессов. Представлены феноменологические уравнения, связывающие массоперенос с движущейся силой процесса.

Лекции 5-6, в которые входит: раздел 3

Раздел 3 Фазовое разделение в полимерных системах

Детально описаны основные принципы формования мембраны с помощью метода инверсии фаз. Рассмотрены термодинамические и кинетические принципы фазового разделения растворов полимеров. Подробно рассмотрены процессы осаждения путем погружения в не растворитель.

Лекции 7-9, в которые входит: раздел 4

Раздел 4 Влияние различных параметров на морфологию мембран.

Рассмотрены влияние выбора системы растворитель/не растворитель, концентрация полимеров, состав коагуляционной ванны, состав раствора полимер и морфологию мембран.

3 семестр:

Практические занятия 1-5неделя, рассмотрение вопросов раздел 5:

Раздел 5 Характеристики мембран

Рассмотрены особенности определения характеристик мембран в зависимости от типа мембраны (пористая или непористая). Рассмотрены методы определения характеристик пористых мембран (определение размера пор, распределение пор по размерам, толщины верхнего слоя, точка пузырька, измерения проницаемости, ртутная порометрия и т.д.) и непористых мембран (проницаемость к газам или жидкостям, температура стеклования).

Практические занятия 6-10неделя, рассмотрение вопросов раздел 6:

Раздел 6 Мембранные процессы

Классификация мембранных процессов ПО движущей силе процесса. Рассмотрены осмотические явления, наблюдаемые в мембранах в процессе массопереноса. Показаны случаи обязательного учета осмотического давления в мембранных процессах. Рассмотрены теоретические основы микрофльтрации, ультрафльтрации обратного осмоса. Приведены сравнительные характеристики этих процессов, рассмотрены особенности полимерных мембран для этих процессов.

Практические занятия 11-14неделя, рассмотрение вопросов раздел 7:

Раздел 7 Термомембранные процессы

Рассмотрены процессы мембранной дистилляции, уравнения Уилсона, Маргулиса и Ван Маре, параметры процесса. Особенности мембран для термомембранного процесса.

Практические занятия 15-18неделя, рассмотрение вопросов раздел 8:

Раздел 8 Основы проектирования мембранных фильтрующих систем.

Рассмотрены достоинства и недостатки двух основных типов рабочих модулей, режим тупиковой фильтрации и режим фильтрации из потока перпендикулярного направлению транспорта. Рассмотрены режимы работы при поперечном потоке, параллельный поток, противотоки, поперечный поток, идеальное смешение. Каскадные режимы работы. Необходимость использования каскадных режимов. Примеры оформления систем разделения получения сверхчистой воды, обессоливания морской воды, дегидратация этанола.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторные занятия имеют цель приобретения практических навыков по получению мембран, оценки качества полученной продукции. Подготовку к лабораторной работе и ее оформление студенты выполняют внеаудиторно в соответствии со стандартом университета. Выполненные работы защищают, анализируя полученные результаты и теоретически обосновывая их.

Перечень лабораторных работ:

1. Определение осадительного числа 40% растворов по отношению к формовочному раствору ПА-6.

Осадительная способность является важной характеристикой осадителя в процессах выделения высокомолекулярных соединений из растворов. Она

определяет не только полноту, но и скорость осаждения. В мембранных процессах от нее зависит структура мембран. На практике эту характеристику часто оценивают по осадительному числу.

2. Изготовление микрофльтрационных мембран на основе ПА-6.

3. Изготовление микрофльтрационных мембран на основе ПА-66.

4. Изготовление микрофльтрационных мембран на основе полисульфона.

Получение микрофльтрационных мембран на основе полиамидов инверсионным способом является типичным и широко используемым способом. Однако, характеристики конкретного полимера вносят в технологический процесс свои особенности. Ознакомление с этими особенностями являются задачами лабораторных работ.

5. Поверхностная модификация мембран.

Известно, что свойства мембран во многом определяются их поверхностными свойствами. Поэтому используя поверхностную модификацию можно значительно изменить такие характеристики мембран, как селективность, производительность, электрический заряд, сорбционную способность.

6. Объемная модификация мембран.

С помощью объемной модификации можно значительно изменить структуру мембран и тем самым изменить их механические свойства, что очень важно при их переработке.

7. Измерение вязкости формовочных растворов ПА-6.

Вязкостные свойства формовочных растворов являются важнейшими характеристиками в процессе переработки их в мембраны. Поэтому приобретение навыков по их определению формирует ценный опыт у испытателя работающего в области мембранных технологий.

8. Определение производительности полиамидной мембраны.

9. Определение точки пузырька полиамидной мембраны.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ:

На практических занятиях студенты решают задачи и рассматривают вопросы тем, которые представлены в тематической плане данной рабочей программы.

V. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении лабораторного практикума магистрам предлагается работа в малых группах:

- учебная группа разбивается на несколько небольших групп — по 3-4 человека

- каждая группа получает своё задание

- процесс выполнения задания в группе осуществляется на основе обмена мнениями, оценками.

Для закрепления пройденного материала магистрам предлагается **деловые игры**. Цель ролевых игр – имитация студентами реально профессиональной деятельности с выполнением функции специалистов на различных рабочих местах.

Кроме того используются **методы ИТ** – это применение компьютеров для доступа к интернет ресурсами, использование рабочих программ с целью расширения информационного поля, повышения скорости обработки и передачи информации. Часть разделов лекционного курса оформлено в виде слайдов, объяснение к которым дает лектор – 35% аудиторных часов

Некоторые разделы теоретического курса изучаются с использованием **опережающей самостоятельной работы**: магистры получают задание на изучение нового материала до его изложения на лекции.

Для оценки освоения теоретического материала магистрами используются традиционные письменные и устные контрольные мероприятия (коллоквиумы).

Таким образом, на интерактивные формы изучения данной дисциплины приходится 27% общего количества часов.

VI. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль знаний проводится 3 раза за семестр: 5неделя, 10неделя и 14 неделя семестра.

РЕЙТИНГ - КОНТРОЛЬ №1 ДЛЯ 2 СЕМЕСТРА

1. Определение мембран.
2. Классификация мембран.
3. Движущиеся силы мембранного разделения.
4. Феноменологические уравнения.
5. Феноменологические коэффициенты.
6. Мембранные процессы второго поколения.
7. Мембранные процессы. Осмос. Уравнение Вант-Гоффа.
8. Мембранные процессы. Микрофитрация.
9. Мембранные процессы ультрафитрации, теоретические основы.
10. Мембранные процессы, обратный осмос.
11. Теоретические основы мембранного газоразделения.
12. Понятие перапарация, место перапарации в мембранном разделении.
13. Термоосмос. Место этого метода в мембранном разделении.
14. Уравнения Хагенс-Пуазейля и Козени-Кармана.
15. История развития мембран и мембранных процессов.

РЕЙТИНГ - КОНТРОЛЬ №2 ДЛЯ 2 СЕМЕСТРА

1. Термодинамика фазового разделения полимерных систем.
2. Теория Флори-Хаггинса.
3. Процессы фазового разделения растворов на примере бинарной смеси.
4. Процессы фазового разделения растворов на примере тройной системы.
5. Влияние диффузии на процессе фазового разделения.
6. Влияние системы растворитель/не растворитель на морфологию мембран.
7. Влияние концентрации полимера на морфологию мембран.
8. Влияние состава коагуляционной ванны на морфологию мембран.
9. Влияние состава поливочного раствора полимера на морфологию мембран.

РЕЙТИНГ - КОНТРОЛЬ №3 ДЛЯ 2 СЕМЕСТРА

1. Методы определения характеристик микрофльтрационных мембран.
2. Методы определения характеристик ультрафльтрационных мембран.
3. Определение пор максимального размера методом термопарометрии.
4. Определение пор максимального размера методом точки пузырька.
5. Определение пор максимального размера методом ртутной парометрии.
6. Определение характеристик активных пор методом пермопорометрии.

К данному рейтингу будут приложены варианты задач, решение которых рассматривается на практических занятиях.

РЕЙТИНГ - КОНТРОЛЬ №1 ДЛЯ 3 СЕМЕСТРА

1. Требования к мембранам для микрофльтрации.
2. Мембранные процессы. Ультрафльтрация. Уравнение Козени-Кармана.
3. Требования к мембранам для ультрафльтрации.
4. Промышленное применение микрофльтрации.
5. Промышленное применение ультрафльтрации.
6. Мембранные процессы. Обратный осмос..
7. Требования к мембранам для обратного осмоса.
8. Промышленное применение обратного осмоса.
9. Мембранные процессы. Пьезодиализ.
10. Мембранные процессы. Газоразделение с помощью пористых мембран.
11. Мембранные процессы. Газоразделение с помощью непористых мембран.
12. Требования к непористым мембранам.
13. Применение непористых мембран.

РЕЙТИНГ - КОНТРОЛЬ №2 ДЛЯ 3 СЕМЕСТРА

1. Термомембранные процессы. Мембранная дисцилляция.
2. Параметры процесса мембранной дистилляции.
3. Требования к мембранам для мембранной дистилляции.
4. Особенности применения мембранной дистилляции.

5. Мембранные процессы. Термоосмос.
6. Мембранные процессы. Первапорация.
7. Требования к мембранам для первапораций.
8. Применение мембран для первапораций.
9. Схема установки мембранной дистилляции.
10. Электродиализ. Принцип процесса электродиализа.
11. Параметры процесса электродиализа.
12. Мембраны для электродиализа.
13. Применение электродиализа для разделения аминокислот.
14. Применение электродиализа для производства хлора и едкого натра.

РЕЙТИНГ - КОНТРОЛЬ №3 ДЛЯ 3 СЕМЕСТРА

1. Классификация конструкций мембранных модулей.
2. Достоинства и недостатки плоскорамного модуля.
3. Достоинства и недостатки трубчатого модуля.
4. Проектирование фильтрующих систем.
5. Тупиковая система – достоинства и недостатки.
6. Система – «фильтрация из потока» достоинства и недостатки.
7. Режимы работы мембранной системы при потоке.
8. Каскадные режимы работы.
8. Примеры оформления систем разделения. Сверхчистая вода.
9. Примеры оформления систем разделения. Извлечение паров органических веществ.
10. Примеры оформления систем разделения. Обессоливание морской воды.
11. Примеры оформление систем разделения. Дегидратация этанола.
12. Обратный осмос. Диафильтрация.
13. Обратный осмос. Газоразделение.
14. Обратный осмос. Одностадийное обессоливание воды.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Задача 1. Определить конвективный поток вод, при, например,

Толщина мембраны – 100 мкм, средний диаметр пор – 0,1 мкм, извилистость τ – 1, пористость $\varepsilon = 0,6$. Через мембрану проникает вода при перепаде давления 1 бар. Вязкость при 20°C $\eta = 10^{-3}$ Па·с.

Толщина мембраны, мкм	Средний диаметр пор, мкм	Извилистость, τ	Пористость, ε	Перепад давления, бар	Вязкость при 20°C, Па*с
50	0,1	1	0,6	1	10^{-3}
75	0,2	1	0,5	1	10^{-2}
120	0,4	1	0,4	2	10^{-2}
150	0,5	1	0,3	2	10^{-3}
200	0,1	1	0,2	1	10^{-3}

180	0,2	1	0,5	1	10^{-2}
220	0,4	1	0,4	0,5	10^{-3}
250	0,5	1	0,3	0,5	10^{-3}
275	0,1	1	0,5	1	10^{-2}

Задача 2. Определить пригодность мембран для получения питьевой воды, если $C_{\text{норм}} = 500 \text{ мг/л}$.

Для опреснения морской воды с концентрацией солей (по NaCl) 32,0 г/л предложены 2 мембраны с различным солезадержанием:

1 – полипропиленовая, $R = 50\%$;

2 – ацетатцеллюлозная, $R = 98,5\%$;

1 – полипропиленовая, $R = 50\%$;	2 – ацетатцеллюлозная, $R = 98,5\%$;	концентрацией солей (по NaCl), г/л
10	25	35
20	30	38
30	35	40
40	40	45
50	45	50
60	50	52
75	55	55
80	60	60
85	65	65

Задача 3. Определить пригодность мембран для получения питьевой воды, если $C_{\text{норм}} = 500 \text{ мг/л}$.

Для получения питьевой воды из солоноватой воды с содержанием NaCl 16,0 г/л предложены 2 мембраны с различным солезадержанием:

1 – полисульфоновая, $R = 90\%$;

2 – полиамидная, $R = 99,8\%$.

1 – полисульфоновая, $R = 50\%$;	2 – полиамидная, $R = 98,5\%$;	концентрацией солей (по NaCl), г/л
10	25	35
20	30	38
30	35	40
40	40	45
50	45	50
60	50	52
75	55	55
80	60	60
85	65	65

Задача 4. Определить абсолютную и практическую селективность разделения воздуха на мембране из силиконового каучука вакуумным способом, если

коэффициенты растворимости $S^{O_2} = 1,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{см}^3(\text{н.у.})}{\text{см}^3 \cdot \text{см Hg}}$;

$$S^{N_2} = 10^{-3} \frac{\text{см}^3(\text{н.у.})}{\text{см}^3 \cdot \text{см Hg}} ;$$

а коэффициенты диффузии - $D^{O_2} = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$;

$$D^{N_2} = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}.$$

Задача 5. Определить величину $C_{m(\text{ст})}$.

При опреснении воды Черного моря ($C_0 = 32 \text{ г/л}$) наблюдаемая селективность полиамидной мембраны $R_{\text{набл}} = 98,2\%$ при ее паспортной характеристике $R_{\text{пасп}} = 99,1\%$.

Паспортная характеристика $R_{\text{пасп}} - 99,1\%$.	Селективность - полиамидной мембраны, $R = 98,2\%$;	концентрация солей (по NaCl), г/л
99	98	35
99,2	95	38
99,4	93	40
99,3	92	45
99,5	91	50
89	90	52
98	89	55
97	85	60
98,5	83	65

Задача 6. Рассчитайте степень концентрирования потока в условиях предотвращения отложений микроорганизмов на поверхности мембраны, если ее диаметр – 16 мм, $L = 2 \text{ м}$, коэффициент взаимодействия клеток с мембраной $k = 5,6 \cdot 10^3$, а линейная скорость жидкости в пограничном слое составляет 0,125 от скорости по оси канала.

Удельная производительность трубчатой микрофильтрационной мембраны по культуральной жидкости, содержащей дрожжевые клетки ($d_f = 1 \text{ мкм}$), при давлении 0,25 МПа составляет 300 л/м²час.

Диаметр мембраны	L – длина, м	коэффициент взаимодействия клеток с мембраной k, 10^3	линейная скорость	Удельная производительность, л/м ² час	Давление, МПа
10	2	5,5	0,125	300	0,25
12	1,5	5,2	0,130	320	0,3
15	1	5,4	0,128	330	0,1
16	1,4	5,5	0,132	350	0,15
18	1,8	5,6	0,133	340	0,2
20	2	6	0,135	40	0,25
16,5	2,2	5,8	0,118	500	0,25
18,5	2,5	5,9	0,120	600	0,3
20	2	6	0,124	550	0,2

Задача 7. Определить среднечисловую и средневесовую молекулярную массу образца полимера, состоящего из двух фракций:

1 – 10 г вещества с $M = 10000$;

2 – 10 г вещества с $M = 50000$.

Первая фракция, г	Вторая фракция, г	Молекулярная масса (1 фракции)	Молекулярная масса (2 фракции)
10	10	10000	50000
20	20	15000	40000
15	15	20000	30000
18	18	15000	20000
20	20	20000	50000
15	15	25000	40000
20	20	30000	30000
17	17	10000	25000
20	20	15000	40000

Задача 8. Для опреснения воды Черного моря ($C_o=32$ г/л) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по периметру $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране, рассчитанные на рабочее давление 55 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl 98,2%. Площадь мембраны в рулонном модуле – 3 м^2 . Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0,5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 15 ат, составила $55 \text{ л}/\text{м}^2\text{ч}$. π – осмотическое давление водопроводной воды, $\pi = 0,4 \text{ бар} = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задача 8.1 Для опреснения воды Черного моря ($C_o=35$ г/л) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по периметру $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране, рассчитанные на рабочее давление 50 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl 98,2%. Площадь мембраны в рулонном модуле – 2 м^2 . Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0,5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 10 ат, составила $50 \text{ л}/\text{м}^2\text{ч}$. π – осмотическое давление водопроводной воды, $\pi = 0,4 \text{ бар} = 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задача 8.2 Для опреснения воды Черного моря ($C_o=32$ г/л) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по периметру $50 \text{ м}^3/\text{ч}$. Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране, рассчитанные на рабочее давление 40 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl 95,2%. Площадь мембраны в рулонном модуле – 5 м^2 . Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0,5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 10 ат, составила $50 \text{ л}/\text{м}^2\text{ч}$. π – осмотическое давление водопроводной воды, $\pi = 0,4 \text{ бар} = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задача 8.3 Для опреснения воды Черного моря ($C_o=32$ г/л) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по периметру $40 \text{ м}^3/\text{ч}$. Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране,

рассчитанные на рабочее давление 45 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl 96,2%. Площадь мембраны в рулонном модуле – 7 м². Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0,5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 15 ат, составила 40 л/м²ч. π – осмотическое давление водопроводной воды, $\pi = 0,5 \text{ бар} = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задача 8.4 Для опреснения воды Черного моря ($C_o=35 \text{ г/л}$) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по периметру 55 м³/ч. Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране, рассчитанные на рабочее давление 40 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl 98,2%. Площадь мембраны в рулонном модуле – 8 м². Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0,5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 10 ат, составила 53 л/м²ч. π – осмотическое давление водопроводной воды, $\pi = 0,5 \text{ бар} = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задача 8.5. Для опреснения воды Черного моря ($C_o=32 \text{ г/л}$) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по периметру 60 м³/ч. Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране, рассчитанные на рабочее давление 10 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl 90,2%. Площадь мембраны в рулонном модуле – 3 м². Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0,5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 12 ат, составила 40 л/м²ч. π – осмотическое давление водопроводной воды, $\pi = 0,4 \text{ бар} = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задача 8.6 Для опреснения воды Черного моря ($C_o=30 \text{ г/л}$) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по периметру 48 м³/ч. Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране, рассчитанные на рабочее давление 15 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl 93,2%. Площадь мембраны в рулонном модуле – 4 м². Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0,5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 10 ат, составила 25 л/м²ч. π – осмотическое давление водопроводной воды, $\pi = 0,4 \text{ бар} = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задача 8. 7 Для опреснения воды Черного моря ($C_o=35 \text{ г/л}$) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по периметру 40 м³/ч. Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране, рассчитанные на рабочее давление 40 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl 98,2%. Площадь мембраны в рулонном модуле – 3 м². Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0,5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 15 ат, составила 60 л/м²ч. π – осмотическое давление водопроводной воды, $\pi = 0,5 \text{ бар} = 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задача 8.8 Для опреснения воды Черного моря ($C_o=30 \text{ г/л}$) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по периметру 40 м³/ч. Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране, рассчитанные на рабочее давление 40 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl

96,2%. Площадь мембраны в рулонном модуле – 4 м². Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0,5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 15 ат, составила 50 л/м²ч. π – осмотическое давление водопроводной воды, $\pi = 0,4 \text{ бар} = 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Задача 9. Необходимо провести концентрирование и обессоливание белкового компонента до концентраций $C_A^k = 24 \text{ г/л}$ и $C_B^k < 0,05 \text{ г/л}$.

Исходный раствор объемом 6 м³ содержит белковый компонент (А) с молекулярной массой 65000, концентрация $C_A^o = 2,0 \text{ г/л}$, и солевой компонент (В) с молекулярной массой 58, концентрация $C_B^o = 5,0 \text{ г/л}$.

Белковый компонент (А) с молекулярной массой	Концентрация $C_A^o = \text{г/л}$	Солевой компонент (В) с молекулярной массой	Концентрация $C_B^o = \text{г/л}$	Исходный раствор объемом, м ³
50000	2	60	4	5
40000	1,8	55	3	4
35000	1,9	50	2	3
30000	2,0	57	1	2,5
25000	1,5	56	0,5	3
20000	1,7	58	5	4
35000	1,6	60	4,5	6
45000	1,8	59	3,5	7
50000	2	57	4	8

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:

Самостоятельная работа студентов проводится в соответствии с тематическим планом курса. Программой предусматривается систематическое изучение теоретического материала по конспектам лекций и учебным пособиям, подготовку к лабораторным работам, проведение расчетов по программам для ЭВМ, с которыми бакалавры могут ознакомиться на занятиях и проконсультироваться у преподавателя. Для самостоятельной работы магистров выдается перечень вопросов по каждой теме с указанием источников информации - основной и дополнительной литературы. Контроль самостоятельной работы осуществляется при сдаче отчетов по лабораторным работам, сдаче практических работ (решение задач) и КР, сдаче зачета и экзамена.

Вопросы для СРС для 2 семестра

1. Этапы развития мембранной технологии?
2. Ученые, внесшие значительный вклад в развитии мембран и мембранной технологии?
3. Коэффициент диффузии, коэффициент проницаемости, коэффициент теплопроводности, кинематическая вязкость и удельная теплопроводность как феноменологические коэффициенты уравнения движущей силы мембранного процесса?

4. Двойные и тройные диаграммы состояния применительно к мембранам и мембранной технологии?

5. Выбор системы растворитель/нерастворитель для различных полимеров?

6. Влияние концентрации полимера в растворе на конечные свойства получаемой мембраны?

7. Выбор осадительной ванны на морфологию полимерных мембран?

Вопросы для СРС для 3 семестра

Индивидуальным заданием (для самостоятельной работы студентов) в данном семестре является то, что студент должен выполнить курсовую работу по предложенным темам.

ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ

1. Получение сверхчистой воды;

2. Опреснение морской воды;

3. Дегидратация спирта;

4. Очистка сточных вод гальванических производств

5. Переработка концентрированных рабочих растворов и отработанных электролитов

6. Регенерация концентрированных рабочих растворов и отработанных электролитов

7. Регенерация серной и соляной кислот из отработанных травильных растворов

8. Регенерация отработанного электролита хромирования

9. Очистка промывных вод плавиковой кислоты после процесса травления стекла

10. Регенерация отработанных обезжиривающих и моющих растворов

11. Переработка отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей

12. Очистка хозяйственно - бытовых сточных вод

13. Очистка сточных вод полигонов ТБО

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ С ОЦЕНКОЙ ДЛЯ 2 СЕМЕСТРА

1. Мембранные процессы второго поколения.

2. Мембранные процессы. Осмос. Уравнение Вант-Гоффа.

3. Мембранные процессы, обратный осмос.

4. Понятие первапорация, место первапорации в мембранном разделении.

5. Термоосмос. Место этого метода в мембранном разделении.

6. Уравнения Хагенс-Пуазейля и Козени-Кармана.

7. История развития мембран и мембранных процессов.

8. Процессы фазового разделения растворов на примере бинарной смеси.

9. Процессы фазового разделения растворов на примере тройной системы.

10. Влияние диффузии на процессе фазового разделения.

11. Методы определения характеристик микрофильтрационных мембран.
12. Методы определения характеристик ультрафильтрационных мембран.
13. Определение пор максимального размера методом термопараметрии.
14. Определение пор максимального размера методом точки пузырька.
15. Определение пор максимального размера методом ртутной парометрии.
16. Определение характеристик активных пор методом пермопорометрии.
17. Определение мембран.
18. Классификация мембран.
19. Движущиеся силы мембранного разделения.
20. Феноменологические уравнения. Феноменологические коэффициенты.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ ДЛЯ 3 СЕМЕСТРА

1. Требования к мембранам для микрофильтрации.
2. Мембранные процессы. Ультрафильтрация. Уравнение Козени-Кармана.
3. Требования к мембранам для ультрафильтрации.
4. Промышленное применение микрофильтрации.
5. Промышленное применение ультрафильтрации.
6. Мембранные процессы. Обратный осмос..
7. Требования к мембранам для обратного осмоса.
8. Промышленное применение обратного осмоса.
9. Мембранные процессы. Пьезодиализ.
10. Мембранные процессы. Газоразделение с помощью пористых мембран.
11. Мембранные процессы. Газоразделение с помощью непористых мембран.
12. Требования к непористым мембранам.
13. Применение непористых мембран.
14. Термомембранные процессы. Мембранная дисцилляция.
15. Параметры процесса мембранной дистилляции.
16. Требования к мембранам для мембранной дистилляции.
17. Особенности применения мембранной дистилляции.
18. Мембранные процессы. Термоосмос.
19. Мембранные процессы. Первапорация.
20. Требования к мембранам для первапораций.
21. Применение мембран для первапораций.
22. Схема установки мембранной дистилляции.
23. Электродиализ. Принцип процесса электродиализа.
24. Параметры процесса электродиализа.
25. Мембраны для электродиализа.
26. Применение электродиализа для разделения аминокислот.
27. Применение электродиализа для производства хлора и едкого натра.
28. Классификация конструкций мембранных модулей.

29. Достоинства и недостатки плоскораменного модуля.
30. Достоинства и недостатки трубчатого модуля.
31. Проектирование фильтрующих систем.
32. Тупиковая система – достоинства и недостатки.
33. Система – «фильтрация из потока» достоинства и недостатки.
34. Режимы работы мембранной системы при потоке.
35. Каскадные режимы работы.
36. Примеры оформления систем разделения. Сверхчистая вода.
37. Примеры оформления систем разделения. Извлечение паров органических веществ. Примеры оформления систем разделения. Обессоливание морской воды.
38. Примеры оформления систем разделения. Дегидратация этанола.
39. Обратный осмос. Диафильтрация. Обратный осмос. Газоразделение.
40. Обратный осмос. Одностадийное обессоливание воды.

VII. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Физико-химические основы синтеза полимерных сорбентов [Электронный ресурс] / Ю.А. Лейкин. – 2-е изд. (эл.) – М.: БИНОМ, - (Учебник для высшей школы)., 2014 — 166 с.
2. Процессы массопереноса с участием твердой фазы [Электронный ресурс] / А.И. Разинов, П.П. Суханов - Казань: Издательство КНИТУ, 2012.
3. Водоподготовка [Электронный ресурс]: Учеб. для вузов / Фрог Б.Н., Первов А.Г. - М. : Издательство АСВ, 2014г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Беляева Н.П., Браяловский Г.П. Промышленные применение мембранных процессов: учеб. пособие / Под общ. ред. Ю.Т. Панова, А.А. Поворова, Н.С. Попова.- Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А. В., 2011 .-82с. (Библиотека ВлГУ).
2. Мембраны и мембранные процессы: учеб. пособие в 2 частях / Под общ. ред. Ю.Т. Панова, Н.С. Попова – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2011 – 148 с.
3. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой воды и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация. [Электронный ресурс]. Монография / Первов А.Г. – Издательство АСВ, 232с., 2009.
4. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программные расчеты [Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов / Копылов А.С., Очков В.Ф., Чудова Ю.В. - М. : Издательский дом МЭИ, 2009.

VIII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теоретический курс:

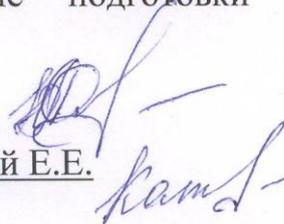
1. Мультимедийные средства.
2. Слайды-лекции.

Лабораторный практикум:

1. Лабораторный практикум проводится в лаборатории № 125, оснащенной всем необходимым оборудованием.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 18.04.02. «Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» и программе подготовки «Мембранная технология»

Рабочую программу составила к.х.н., доцент Федотов Ю.А.
Рецензент к.х.н ОАО «Владисарт», ген. директор Каталевский Е.Е.



Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Химические технологии» от 5.02.15 года, протокол № 6

Заведующий кафедрой



Ю.Т. Панов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления

протокол № 7 от 5.02.15 года.

Председатель комиссии



Ю.Т. Панов