

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ Г.Х. Шарипзянова  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа вступительного испытания по комплексному экзамену  
для поступающих на обучение  
по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
18.06.01 «Химическая технология»**

Москва, 2021

## РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. На вступительное испытание поступающие допускаются при наличии документа, удостоверяющего личность и гражданство (паспорта), и расписки о подаче документов.

2. Форма проведения вступительного испытания: письменный комплексный междисциплинарный экзамен.

Время выполнения задания: 60 минут.

Экзаменационный билет содержит 2 контрольных вопроса по темам, указанным в разделе 2.

3. По результатам вступительного испытания, поступающему выставляется оценка от нуля до ста баллов. Минимальный положительный балл по 100-балльной системе составляет 40 баллов, ниже которого вступительное испытание считается несданным.

Итоговая оценка за вступительное испытание определяется по критериям:

Баллы	Критерий выставления оценки
81-100	Демонстрация отличных знаний по заданному вопросу. Умение иллюстрировать теоретические положения эскизами, графиками, формулами. Широкий кругозор по обсуждаемым вопросам
61-80	Демонстрация твердых знаний по заданному вопросу. Наличие мелких неточностей в ответе и в иллюстративном материале
51-60	Неплохое знание вопроса, но с заметными ошибками
41-50	Слабое знание и понимание рассматриваемого вопроса, со значительными ошибками
0-40	Незнание и непонимание рассматриваемого вопроса

4. Вступительные испытания проводятся в очном формате и с применением дистанционных технологий по расписанию приёмной комиссии университета, размещенному на официальном сайте университета.

Экзаменационные аудитории по каждому направлению подготовки объявляются за 1 день до начала вступительного испытания в очном формате.

5. Вступительные испытания с применением дистанционных технологий проводятся на выделенном образовательном портале Московского Политеха (<http://lms.mospolytech.ru>) (далее – LMS), на котором размещен онлайн-курс «ВИА2021\_<Код и Наименование ООП>» для приема вступительного испытания (Например, «ВИА2021\_18.06.01\_«Химическая технология»»). Взаимодействие между участниками вступительных испытаний (председателем, членами комиссий и абитуриентами) осуществляется с применением дистанционных технологий и видеоконференцсвязи в системе Zoom, Cisco Webex Meet. Ссылка на видеоконференцию размещается в онлайн-курсе на портале LMS. Конкретный вид используемого программного продукта будет указан приёмной комиссией.

6. Онлайн-курс «ВИА2021 <Код и Наименование ООП>», предназначенный для проведения ВИА, содержит разделы для загрузки письменных ответов, Программу вступительных испытаний по направлению

подготовки, правила проведения ВИА, в т.ч. бланк согласия абитуриента о проведении видеофиксации хода испытаний.

7. Регистрация на портале ВИА2021 и доступ к онлайн-курсу «ВИА2021 <Код и Наименование ООП>» осуществляется из личного кабинета абитуриента, сформированного при подаче документов в приемную комиссию Московского Политеха.

8. Ссылка для подключения к видеоконференции ВИА доступна абитуриенту в онлайн-курсе «ВИА2021 <Код и Наименование ООП>» после регистрации на портале ВИА.

9. Перед началом вступительного испытания, поступающим сообщается время и место получения информации о полученных результатах.

10. На вступительных испытаниях разрешается пользоваться справочной литературой, представляемой комиссией. Запрещено пользоваться средствами связи.

11. Поступающий, нарушающий правила поведения на вступительном испытании, может быть удален из аудитории без предупреждения.

У такого поступающего отбираются все экзаменационные материалы. Фамилия, имя, отчество удаленного из аудитории поступающего и причина его удаления заносятся в протокол проведения вступительного испытания.

Поступающий может покинуть аудиторию только полностью сдав все экзаменационные материалы.

12. При проведении вступительного испытания вопросы поступающих по содержанию экзаменационных вопросов членами экзаменационной комиссии не рассматриваются. При обнаружении опечатки или другой неточности какого-либо задания вступительного испытания, члены экзаменационной комиссии обязаны отметить этот факт в протоколе проведения вступительного испытания. Экзаменационной комиссией будут проанализированы все замечания, при признании вопроса не корректным он засчитывается поступающему, как выполненный правильно.

13. Письменные ответы на вопросы оформляются на бланке формата А4 с указанием идентификационных данных абитуриента (Фамилия И.О., номер билета, номер вопроса). Бланк заполняется вручную, разборчивым почерком. Эскизы, схемы выполняются вручную, допускается применение чертёжных инструментов. Каждая страница, содержащая ответ, нумеруется и визируется абитуриентом.

При прохождении вступительного испытания в дистанционном формате, по истечении времени, отведенного на выполнение письменного экзамена, поступающий загружает свой ответ в форме скан-документа (.pdf) или фотографии (.jpg) в онлайн-курсе «ВИА2021 <Код и Наименование ООП>» строго до времени, указанного экзаменационной комиссией.

## **РАЗДЕЛ 2. СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**

### **Тема 1. Основы гидромеханических процессов**

Общие представления о жидкостях как сплошных средах. Идеальные и реальные жидкости. Капельные и упругие жидкости. Объемные и поверхностные силы, действующие на жидкость. Уравнение движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера). Уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости (уравнение Навье-Стокса). Вязкостные свойства сплошных сред.

Методы теории подобия. Скорость осаждения твердых частиц под действием сил тяжести (отстаивание) и методы ее расчета. Конструкции отстойных аппаратов для разделения суспензий, эмульсий и очистки запыленных газов и методы их расчета.

Фильтрация суспензий и газов. Виды осадков и фильтрованных перегородок. Уравнение фильтрации для аппаратов с постоянным перепадом давлений и постоянной скоростью фильтрования. Аппараты для фильтрования и методы их расчета. Центробежное отстаивание и центробежное фильтрование.

Центробежный фактор разделения. Классификация центрифуг. Разделение суспензий и эмульсий в гидроциклонах. Очистка газов от пыли и центробежных пылеуловителей. Методы расчета аппаратов для разделения в поле центробежных сил. Электрофильтры, принцип работы, конструкции и методы их расчета.

Применение процессов перемешивания в жидких средах в химической технологии. Методы перемешивания сред. Силы, участвующие в процессе перемешивания. Типы перемешивающих устройств. Аппаратурное оформление и методы расчета процессов перемешивания. Эффективность и интенсивность перемешивания.

Основы гидравлического расчета химико-технологических аппаратов и трубопроводов. Типы насосов, вентиляторов и компрессоров, применяемых в химической технологии, их характеристики и методы расчета.

### **Тема 2. Основы теплопереноса**

Общие сведения о процессах теплопереноса. Основные понятия. Механизм переноса теплоты. Теплопроводность. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия. Теплопроводность плоских стенок при установившемся тепловом потоке. Математическая постановка и решение задачи о нестационарном переносе теплоты в твердых телах. Коэффициент теплоотдачи. Уравнение Фурье-Кирхгофа. Математическая постановка и решение задачи о переносе теплоты при вынужденном движении жидкостей (газов) в трубе. Математическая постановка и решение задачи о переносе теплоты при естественной конвекции.

Теплообмен между жидкостью (газом) и поверхностью. Безразмерная форма уравнения переноса теплоты и оценка порядка его членов. Толщина теплового пограничного слоя. Представление решения уравнения переноса теплоты в критериальной форме. Некоторые эмпирические соотношения для

расчета коэффициентов теплоотдачи при сохранении агрегатного состояния теплоносителя. Теплоотдача с изменением агрегатного состояния теплоносителя. Кипение жидкостей. Конденсация пара.

Основы переноса теплоты излучения. Методы интенсификации процессов теплоотдачи. Теплоотдача через плоские (одно- и многослойные) стенки при постоянных температурах теплоносителей. Определение движущей силы теплопередачи для тепловых случаев движения теплоносителей в теплообменниках (прямоток, противоток, перекрестный ток, смешанный ток). Классификация промышленных теплоносителей, их сравнительные характеристики и области применения. Схема нагревательных установок. Теплообменные аппараты, их классификации. Устройство типовых теплообменных аппаратов: с трубчатыми поверхностями теплообмена, с плоскими поверхностями, аппараты с очищаемой в процессе работы поверхностью теплообмена, градирни, конденсаторы смешения, регенеративные теплообменники и др.

Расчет основных размеров и рациональных режимов работы теплообменников при их проектировании. Расчет выпарных аппаратов. Классификация процесса выпаривания, основные виды выпарных установок. Элементы расчета выпарных аппаратов: материальный и тепловой балансы процесса выпаривания. Определение температурных потерь и расчет температуры кипения растворов. Способы распределения полезной разности температур по корпусам и оптимизация числа корпусов в многокорпусных выпарных установках. Методы интенсификации процессов выпаривания. Выпаривание с применением теплового насоса.

Применение процессов получения искусственного холода в химической технологии и их классификация. Теоретические основы получения искусственного холода. Холодильные агенты, их характеристики и области применения. Парокомпрессионные установки.

### **Тема 3. Массообменные процессы**

Классификация массообменных процессов химической технологии, как методов разделения многокомпонентных систем. Роль массообменных процессов в решении задачи охраны окружающей среды. Общие сведения о процессах переноса массы. Основные понятия. Механизмы переноса. Общие уравнения переноса вещества в многофазных многокомпонентных средах, начальные и граничные условия. Существующие подходы к описанию массообменных процессов в дисперсных системах, основанные на рассмотрении элементарных актов массообмена.

Инженерные методы расчета массообменных процессов и аппаратов химической технологии. Расчет размеров массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз на основе коэффициентов массопередачи, высоты единицы переноса (ВЕП), высоты эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ). Расчет размеров массообменных аппаратов со ступенчатым контактом фаз. Равновесие жидкость-пар идеальных смесей. Закон Рауля. Расчет равновесия неидеальных смесей в системе жидкость-пар. Константа фазового равновесия, летучесть, их связь с коэффициентами активности. Равновесие в

системах жидкость-газ. Закон Генри. Равновесие в многокомпонентных системах. Равновесие в системах с химическим взаимодействием.

Равновесие в системах жидкость-жидкость. Коэффициент распределения, коэффициент селективности, их расчет по величинам коэффициентов активности. Общая характеристика процесса абсорбции и области ее промышленного применения. Аппаратурное оформление абсорбционно-десорбционных процессов. Методы десорбции. Методы интенсификации абсорбционных процессов. Общая характеристика процесса. Виды процессов ректификации и дистилляции и области их применения. Принципиальная схема ректификационных установок. Аппаратурное оформление процесс ректификации. Расчет бинарной ректификации в колонне непрерывного и периодического действия. Расчет ректификации многокомпонентных смесей. Математическое описание процесса. Специальные методы процесса ректификации: азеотропная, экстрактивная, ректификация с химическим взаимодействием.

Методы интенсификации процесса ректификации. Способы разделения, основанные на различном составе жидкости и пара. Общая характеристика процесса экстракции и области его промышленного применения. Массообмен между каплей и потоком жидкости при различных числах Рейнольдса и Пекле. Влияние внешнего физического воздействия на массообмен между каплей и окружающей жидкостью. Технологические схемы процесса экстракции (схема с противоточным движением фаз, с перекрестным движением фаз, с рециркуляцией части растворителя). Аппаратурное оформление процесса экстракции. Графический расчет экстракции. Методы интенсификации процесса экстракции. Общая характеристика процесса сушки и области его промышленного применения. Виды высушиваемых материалов, используемых в химической и смежных отраслях промышленности. Классификация процессов сушки. Равновесие в системах капиллярно-пористый влажный материал – сушильный агент. Движущие силы обуславливающие перенос вещества и теплоты в капиллярно-пористых влажных материалах. Экстремальные методы исследования процесса сушки. Аппаратурное оформление процесса сушки твердых, дисперсных, пастообразных, жидких и др. материалов. Методы расчета сушильных аппаратов. Методы интенсификации процессов сушки.

Общая характеристика процесса адсорбции и области его применения. Описание явления адсорбции на молекулярном уровне: Изотермы адсорбции. Процессы переноса в зерне адсорбента. Аппаратурное оформление процесса адсорбции. Теоретический анализ и расчет процесса адсорбции в стационарном, движущемся и взвешенном слоях. Методы интенсификации процесса адсорбции.

Общая характеристика процесса растворения и области его промышленного применения. Кинетика растворения одиночной частицы, массовое растворение. Аппаратурное оформление процесса растворения. Методы расчета аппарата для растворения твердых материалов при различной гидродинамической структуре потоков. Методы интенсификации процесса растворения.

Общая характеристика процесса кристаллизации и области его промышленного применения. Основные равновесные состояния, используемые при расчете процесса кристаллизации. Диаграмма состояния раствор (расплав, пар) – кристаллическая фаза для однокомпонентных и многокомпонентных смесей. Образование зародышей. Термодинамические основы образования кристаллической фазы. Механизм зародышеобразования (гомогенное, гетерогенное зародышеобразование, эпитаксия). Теория кинетики зародышеобразования. Кинетические теории роста кристаллов. Тепло-массообмен растущего кристалла с окружающим потоком раствора. Методы интенсификации процесса кристаллизации. Общая характеристика процесса ионного обмена и область его промышленного применения. Равновесие в бинарных и многокомпонентных системах при ионном обмене. Процессы переноса в зерне ионита. Механизм и особенности переноса вещества при ионном обмене. Постановка и решение внешнедиффузионной и внутридиффузионной задачи и ионного обмена.

Технологические схемы установок для осуществления процесса ионного обмена. Аппаратное оформление процессов ионного обмена. Расчет процесса ионного обмена в стационарном, движущемся и взвешенном слоях. Методы интенсификации процесса ионного обмена. Общая характеристика мембранных процессов и области их промышленного применения. Механизм массопереноса в мембранных процессах. Массоперенос в мембранах. Массоперенос в фазе раствора, контактирующего с мембраной. Концентрационная поляризация. Способы снижения концентрационной поляризации. Влияние внешних факторов (давление, температура, концентрация, акустических колебаний и т.д.) на мембранные процессы. Типы мембран. Конструкции мембранных аппаратов. Методы расчета мембранных процессов и аппаратов. Пути интенсификации мембранных процессов.

#### **Тема 4. Химические процессы**

Кинетика химических процессов. Методы расчета химических реакторов идеального перемешивания гомогенных сред. Методы расчета реакторов идеального вытеснения. Методы расчета реакторов с гетерогенными связями

#### **Тема 5. Механические процессы**

Измельчение твердых тел, используемые агрегаты. Классификация дисперсных сред и используемое оборудование. Смешение порошкообразных компонентов и используемое оборудование.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: В 5 т. Т 1. Основы теории процессов химической технологии/Д.А. Баранов, А.В. Вязьмин, А.А. Гухман и др.; Под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2000. – 480 с.

2. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: В 5 т. Т.2.

Механические и гидромеханические процессы/ Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, А.В. Вязьмин и др.; Под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2001. – 600 с.

3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.

4. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1987. – 496 с.

5. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М., Курочкина М.И. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии. – С-Пб.: Химия, 1993. – 496 с.

6. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефте- и газопереработки и нефтехимии. – М.: ООО «НедраБизнесцентр», 2000. – 677 с.

7. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.

8. Кутателадзе С.С. Анализ подобия в теплофизике. – Новосибирск: Наука, 1982. – 280 с.

9. Кутепов А.М., Латкин А.С. Вихревые процессы для модификации дисперсных систем. – М.: Наука, 1999. – 250 с.

10. Жужиков В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, 1980. – 400 с. 11. Соколов В.И. Центрифугирование. – М.: Химия, 1976. – 407 с.