



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

Российского научного центра

«Прикладная химия (ГИПХ)»

Е.В. Козлова

« 02 » ноября 2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена

по специальности

2.6.13 –Процессы и аппараты химической технологии

Рекомендовано решением Ученого совета АО «Российский научный центр «Прикладная химия (ГИПХ)», протокол № ____ 02 ноября 2022 года.

Введение

Настоящая программа экзамена разработана для научной специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химической технологии в соответствии с Федеральными государственными требованиями высшего образования по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология, уровень «аспирант». В основу положена программа-минимум, разработанная экспертным советом Высшей аттестационной комиссии (ВАК) по процессам и аппаратам химической технологии.

Экзаменуемый должен показать высокий уровень теоретической и профессиональной подготовки, знание общих концепций и методологических вопросов научной специальности, понимание основных разделов теории и практики изученного материала.

Оценка знаний экзаменационной комиссией ГИПХ.

Список тем специальной дисциплины ПАХТ

Гидродинамика однородных и неоднородных сред

Методологические основы гидродинамики. Гидродинамические поля. Основные понятия теории поля (непрерывность, движение). Материальное и пространственное описание. Уравнения движения. Уравнения баланса импульса, момента количества движения, кинетической и потенциальной энергии. Термодинамика континуума. Линейные кинематические конститутивные уравнения. Соотношения взаимности. Вывод общего уравнения движения гидродинамики из вариационных принципов.

Вязкостные свойства сплошных сред. Реологические уравнения состояния.

Уравнения движения однородных и неоднородных сплошных сред. Неизотермическое течение сплошных сред. Свободная конвекция. Уравнения движения жидкости в пористой среде. Граничные условия. Турбулентное течение сплошных сред. Основные параметры турбулентности. Развитая, локальная и изотропная турбулентность. Пограничный слой. Уравнения движения в ламинарном и турбулентном пограничных слоях.

Движение неоднородных включений в сплошных средах: твердых частиц, капель и газовых пузырей.

Течение тонких пленок. Уравнения движения жидкости в тонкой пленке. Режимы движения.

Гидродинамические модели для описания структуры потока и времени пребывания элементов потока в аппаратах. Модель идеального смешения, идеального вытеснения, ячеечная модель, диффузионная модель. Методы определения параметров моделей по результатам экспериментов с трассерами. Связь параметров моделей с моментами кривой распределения для различных моделей.

Уравнение теплопроводности и диффузии. Дифференциальное уравнение переноса энергии. Уравнения неразрывности (сплошности) потока и расхода. Объемный и массовый расход жидкости. Векторный анализ. Уравнение постоянства расхода жидкости. Дифференциальное уравнение переноса массы. Дифференциальное уравнение переноса субстанции. Дифференциальное уравнение переноса моментов количества движения. Тензорный анализ. Пример решения уравнений в частных производных. Дифференциальное уравнение движения несжимаемой вязкой жидкости (уравнение Навье-Стокса).

Гидростатика. Уравнение Эйлера и основное уравнение гидростатики. Уравнение поверхности уровня. Давление и поверхности уровня в покоящемся сосуде. Силы давления на стенки. Центр давления.

Гидродинамика. Основные понятия. Линия тока. Трубка тока и поток. Задачи гидродинамики. Уравнения Бернулли для идеальной жидкости. Геометрическая и энергетическая интерпретации уравнения Бернулли. Уравнение равномерного движения Дарси-Вейсбаха. Коэффициент гидравлического сопротивления λ_r . Геометрическое и физическое подобие. Теория подобия, физическое и математическое моделирование.

Основы теории физического и математического моделирования процессов химической технологии.

Расчёт трубопроводов. Местные сопротивления. Трубопроводы простые и сложные. Задачи эксплуатации и проектирования при расчёте трубопроводов. Расчёт газопровода.

Истечение жидкостей из отверстий и насадок. Неньютоновские жидкости.

Гидравлика дисперсных систем. Общая характеристика дисперсных систем с твёрдой фазой. Псевдооживленный слой. Скорость витания одиночной частицы.

Перемещение жидкостей

Классификации насосов. Основные характеристики насосной установки: производительность, напор, мощность.

Поршневые насосы: принцип действия и классификация, производительность. Закон движения поршня. Диаграмма подачи. Неравномерность подачи. Предельная высота всасывания поршневыми насосами. Регулирование производительности.

Центробежные насосы: устройство и принцип работы, основное уравнение центробежного насоса. Производительность центробежных насосов. Зависимость напора от производительности. Рабочая точка. Законы пропорциональности. Универсальная характеристика центробежного насоса. Последовательная и параллельная работа двух насосов. Предельная высота всасывания.

Струйные насосы.

Области применения насосов различных типов. Особенности сжатия и перемещения газов.

Гидромеханические процессы

Свойства сыпучих материалов: гранулометрический состав, поверхность, поверхностные явления, механические свойства сыпучих материалов. Транспортировка и дозирование сыпучих материалов. Использование вибрации и ее влияние на свойства и поведение сыпучих материалов. Конструкции бункеров, питателей и дозаторов.

Разделение суспензий. Свойства суспензий. Закономерности осаждения и разделения суспензий в отстойных аппаратах. Центробежное осаждение, теория осадительного центрифугирования, центробежный фактор разделения. Аппаратура для центробежного осаждения и ее расчет. Фильтрация под действием центробежной силы. Теория процесса и ее кинетика. Фильтрующие и осадительные центрифуги и их расчет. Фильтрация. Теория процесса; движущая сила и сопротивление. Основное кинетическое уравнение фильтрации при постоянном давлении и постоянной скорости. Промывка осадков, роль диффузии. Модели для описания движения жидкости в слоях осадка. Аппаратура для фильтрации, методы ее расчета.

Осаждение. Характеристики разделяемой системы. Производительность.

Конструкции и расчёт отстойников: вертикальных и горизонтальных, периодических и непрерывного действия. Центробежное осаждение. Принцип работы и конструкции центрифуг. Расчёт времени осаждения частиц в поле центробежных сил. Производительность центрифуг. Циклоны. Мультициклоны. Мощность, затрачиваемая при работе центрифуг.

Фильтрация Устройство и работа фильтров. Основное уравнение фильтрации. Фильтрация при постоянной движущей силе и при постоянной скорости фильтрации. Определение параметров процесса фильтрации. Фильтрация в поле центробежных сил.

Перемешивание. Цели процесса перемешивания. Способы перемешивания. Пневматическое перемешивание. Циркуляционное перемешивание. Перемешивание лопастными мешалками. Расчёт мощности на перемешивание для лопастей различной конфигурации. Ультразвуковое перемешивание. Перемешивание в сложных потоках.

Структура потоков

Общие понятия. Модели идеального вытеснения (ИВ) и идеального перемешивания (ИП). Причины продольного перемешивания. Сравнение аппаратов ИВ и ИП. Модель ИВ. Время пребывания. Кривые отклика. Результирующий эффект процесса. Модель ИП: время пребывания (распределение), кривые отклика, результирующий эффект. Параметры кривых отклика моделей ИВ и ИП.

Структура потоков в реальных аппаратах. Ячеечная модель. Сущность модели. Расчётные соотношения. Диффузионная модель потока с продольным перемешиванием. Сущность модели. Расчётные соотношения. Кривые отклика.

Сопоставление и оценка моделей различных уровней. Экспериментальное изучение продольного перемешивания. Общие положения. Связь кривых отклика с функциями распределения. О среднем времени пребывания.

Выбор модели и определение её параметров методом моментов.

Основы термодинамики многокомпонентных систем. Равновесная термодинамика. Равновесие неидеальных смесей в системах “газ-жидкость”, “пар-жидкость”, “жидкость-жидкость”. Уравнения для расчета равновесия в многокомпонентных системах. Неравновесная термодинамика. Принцип наименьшего равновесия энергии, принцип минимального производства энтропии. Интегральный принцип термодинамики.

Вывод уравнений переноса с позиции неравновесной термодинамики. Процессы релаксации возмущений.

Вывод уравнений Фика для изотермической диффузии. Вывод уравнений переноса в движущихся средах в общем виде исходя из интегрального принципа неравновесной термодинамики в многокомпонентных системах.

Тепловые процессы и аппараты

Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов.

Промышленные способы подвода и отвода тепла к химической аппаратуре. Конструктивный и поверочный расчёты теплообменных аппаратов.

Основы теории теплопередачи. Коэффициент теплопередачи. Движущая сила стационарного процесса и температурные профили теплоносителей в рекуперативных аппаратах при прямо-, против- и смешанном токе.

Выпаривание

Физико-химические основы процесса выпаривания.

Типовая схема однокорпусной выпарной установки с барометрическим конденсатором смешения и принцип расчёта основных технологических и конструктивных параметров аппарата.

Многокорпусная выпарная установка, принципиальная схема и расчёт основных технологических и конструктивных параметров аппаратов.

Выпарные аппараты с тепловым насосом. Повышение эффективности выпарных установок за счёт утилизации теплоты.

Основы теории массопередачи и методы расчёта массообменной аппаратуры

Основы массопередачи. Классификация массообменных процессов. Конструкции массообменных аппаратов: тарельчатые и насадочные. Концентрации: массовые и мольные; абсолютные и относительные, правила перевода из одних в другие. Концентрационный треугольник. Правило Курнакова – зависимость между свойствами системы и её химическим составом. Фазовое равновесие в диаграмме $y - x$ и в треугольной диаграмме. Направление и движущая сила массообменного процесса. Основное уравнение массопередачи.

Общая схема процесса массопереноса в аппарате и влияние отдельных стадий на результат для простейшего случая (идеальное перемешивание в каждой из фаз). Поверхностная (кинетическая) и балансовая задачи. Уравнение рабочих линий при прямоточном и противоточном движении фаз в режиме идеального вытеснения. Графический (точный и упрощённый) способ определения числа теоретических ступеней. Аналитический расчёт числа теоретических ступеней при прямой линии равновесия.

Конструкции тарелок: колпачковая, ситчатая, клапанная. К.п.д. тарелок. Расчёт высоты тарельчатых колонн. Расчёт насадочных массообменных аппаратов. Общий путь расчёта высоты насадочных аппаратов.

Двухплёночная теория массопередачи. Определение коэффициентов массопередачи K_x и K_y при известных коэффициентах массоотдачи в фазах β_x и β_y . Подходы к расчёту β . Расчёт средней движущей силы процесса массопередачи в общем случае (кривая линия равновесия) и при прямой. Массопередача в системах «жидкость-газ». Модели массопередачи: двухплёночная модель, теория пограничного слоя, теория обновления поверхности, теория межфазной турбулентности.

Разделение многокомпонентных смесей в системах «жидкость-пар», «жидкость-жидкость». Процессы частичного испарения и конденсации. Испарение в тонких пленках. Расчет пленочных и роторноплёночных испарителей.

Абсорбция, экстракция и ректификация. Расчет числа необходимых теоретических ступеней контакта. Применение ЭВМ для расчета ректификации, абсорбции и экстракции. Учет скорости массопередачи. Расчет тарельчатых и насадочных колонн. Расчет насадочных аппаратов для прямотока и противотока. Различные режимы движения фаз, учет обратного перемешивания.

Массопередача при перекрестном движении фаз в тарельчатых аппаратах. Влияние обратного перемешивания жидкости на тарелке на эффективность работы колонн. Проблема масштабного перехода, влияние продольной и поперечной неравномерности потоков на работу аппаратуры.

Массообменные процессы и аппараты в системах со свободной границей раздела фаз

Абсорбция. Требования к абсорбенту. Равновесие при абсорбции. Влияние температуры и давления. Схема абсорбционно-десорбционной установки. Абсорбция с рециркуляцией абсорбента.

Процессы перегонки: дистилляция и ректификация. Фазовое равновесие жидкость – пар для жидких бинарных смесей. Идеальные смеси с полной взаимной растворимостью компонентов. Закон Рауля. Диаграмма $P - x, y$. Диаграммы $t - x, y$ и $y - x$.

Экстракция. Основные понятия. Требования к экстрагенту. Схемы проведения процессов. Конструкции экстракторов. Расчёты процессов однократной, порционной (дробной) и противоточной экстракции при полной взаимной нерастворимости разбавителя и экстрагента, при $m = \text{const}$ и $m \neq \text{const}$. Распределение экстрагента по ступеням при $m = \text{const}$. Расчёт процессов экстракции при частичной взаимной растворимости разбавителя и экстрагента. Равновесие в треугольной диаграмме. Однократная и порционная экстракции. Расчёт числа ступеней при непрерывной противоточной экстракции.

Массообменные процессы в системах с неподвижной поверхностью контакта фаз.

Растворение и выщелачивание (экстракция из твёрдых тел). Конструкции аппаратов и схемы проведения процессов. Физический смысл и построение линии нижнего продукта (потока). Расчёт процессов однократного, порционного и противоточного выщелачивания.

Сушка влажных материалов. Условия сушки. Свойства влажного воздуха. Влагосодержание и относительная энтальпия влажного воздуха. Условный удельный объём влажного воздуха, диаграмма $I - x$, её построение. Свойства влажного материала. Относительная влажность.

Теплоёмкость материала. Конструкции сушилок. Материальный и тепловой расчёт сушилок. Параметры процесса сушки. Теоретическая сушилка и построение реальных процессов сушки. Полный расход теплоты в сушилке и его распределение между калорифером и сушильной камерой. Многозональная сушилка. Расход теплоты. Порядок расчёта реальных сушилок. Расчёт сушилок с рециркуляцией отработанного воздуха. Схема установки и изображение процесса сушки материалов инертным газом. Сушка топочными газами. Схема установки, диаграмма $I - x$ при сушке топочными газами. Алгоритм расчёта. Расчёт основных потоков.

Адсорбция и ионный обмен. Равновесие при адсорбции и ионном обмене. Конструкции адсорберов. Расчёт адсорберов с ПС. Непрерывная адсорбция в условиях балансовой задачи. Расчёт одноступенчатого (с ПС) и многоступенчатого адсорберов в условиях внутренней задачи. Определение к.п.д. ступени в условиях балансовой и внутренней задач. Расчёт адсорберов непрерывного действия с движущимся слоем сорбента. Объёмный коэффициент массопередачи. Периодическая адсорбция. Идеальная и реальная адсорбция. Уравнение Шилова. Экспериментальное определение

констант уравнения Шилова. Теоретический расчёт скорости движения фронта сорбции и времени потери защитного действия слоя. Динамическая ёмкость сорбента.

Основные понятия и классификация процессов кристаллизации. Фазовое равновесие для однокомпонентных и бинарных смесей. Фракционная кристаллизация. Схема установки и расчёт процесса однократной фракционной кристаллизации бинарных смесей. Кристаллизация из растворов. Способы получения пересыщенных растворов. Выпарные кристаллизаторы с частичной отгонкой растворителя. Технологические схемы процесса перекристаллизации из раствора.

Мембранные процессы. Общие понятия и классификация процессов мембранных процессов. Основные механизмы переноса вещества через мембраны. Конструкции мембранных ячеек. Основы расчёта процессов мембранного разделения при различных структурах потоков.

1. Общие вопросы массопередачи. Уравнение массопередачи. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. Лимитирующие стадии процессов массообмена в системах с капиллярно-пористыми телами. Модели для описания потоков различных фаз в массообменных аппаратах. Граничные условия на поверхности раздела фаз и при входе и выходе из аппарата при прямоточном и противоточном движении фаз. Условия масштабирования массообменных аппаратов.

2. Растворение, промывка, экстрагирование из твердых тел. Кинетика растворения и выщелачивания для одиночной частицы и массового растворения. Растворение и выщелачивание в аппаратах с мешалками. Коэффициент массопередачи в аппаратах с мешалками и его связь с диспергируемой в единице объема энергией. Экстрагирование и промывка твердых веществ, лимитирующие стадии процесса, экспериментальное определение лимитирующих стадий.

3. Кристаллизация. Кристаллизация из расплава, уравнения тепло-массопередачи. Граничные условия. Кристаллизация из раствора. Кинетика кристаллизации. Скорость образования зародышей и рост кристаллов. Описание функции распределения кристаллов по размерам. Описание процессов кристаллизации в аппаратах непрерывного и периодического действия. Тепловой баланс процесса кристаллизации и управление процессом получения кристаллов с заданным гранулометрическим составом.

4. Адсорбция. Кинетика адсорбции и десорбции. Перенос адсорбируемого вещества внутри пористых адсорбентов, определение коэффициентов внутренней диффузии. Методы расчета адсорбированных процессов в неподвижном и псевдоожиженных слоях адсорбента.

5. Сушка. Внешний и внутренний тепло-массоперенос при сушке капиллярно-пористых тел. Кинетика сушки. Закономерности сушки во взвешенном слое. Перемешивание твердой фазы и время пребывания частиц в слое. Применение диффузионной модели для описания процессов сушки во

взвешенном слое. Методы расчета сушильных аппаратов. Особенности тепло- и массообмена в пневмосушилках.

Теплообменные процессы химической технологии.

Энергетический баланс в потоке теплоносителей. Турбулентная теплопроводность. Коэффициенты переноса тепла в гомогенных и гетерогенных средах.

Стационарная теплопроводность. Математические модели процессов. Задачи с внутренними источниками тепла.

Нестационарная теплопроводность. Уравнение переноса тепла для тел различной формы, многослойная теплопроводность. Граничные условия 1-4 рода. Методы решения задач теплопроводности - аналитические и численные. Явная и неявная разностные схемы. Математическое описание процессов конвективного теплообмена для ламинарного и турбулентного режимов течения.

Тепловыделение за счет трения в потоке. Теплообмен в слоях дисперсного твердого материала. Теплообмен при различных режимах кипения. Решение задачи теплообмена при пленочной конденсации.

Основы теплообмена излучением. Законы излучения. Расчет лучистого теплообмена твердых тел. Излучение газов.

Теплообмен в дисперсных системах. Теплообмен псевдооживленного и фонтанирующего слоев с теплообменными поверхностями и межфазный перенос тепла.

Массообменные процессы в системах с твердой фазой.

1. Общие вопросы массопередачи. Уравнение массопередачи. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. Лимитирующие стадии процессов массообмена в системах с капиллярно-пористыми телами. Модели для описания потоков различных фаз в массообменных аппаратах. Граничные условия на поверхности раздела фаз и при входе и выходе из аппарата при прямоточном и противоточном движении фаз. Условия масштабирования массообменных аппаратов.

2. Растворение, промывка, экстрагирование из твердых тел. Кинетика растворения и выщелачивания для одиночной частицы и массового растворения. Растворение и выщелачивание в аппаратах с мешалками. Коэффициент массопередачи в аппаратах с мешалками и его связь с диспергируемой в единице объема энергией. Экстрагирование и промывка твердых веществ, лимитирующие стадии процесса, экспериментальное определение лимитирующих стадий.

3. Кристаллизация. Кристаллизация из расплава, уравнения тепло-массопередачи. Граничные условия. Кристаллизация из раствора. Кинетика кристаллизации. Скорость образования зародышей и рост кристаллов. Описание функции распределения кристаллов по размерам. Описание процессов кристаллизации в аппаратах непрерывного и периодического

действия. Тепловой баланс процесса кристаллизации и управление процессом получения кристаллов с заданным гранулометрическим составом.

4. Адсорбция. Кинетика адсорбции и десорбции. Перенос адсорбируемого вещества внутри пористых адсорбентов, определение коэффициентов внутренней диффузии. Методы расчета адсорбированных процессов в неподвижном и псевдооживленных слоях адсорбента.

5. Сушка. Внешний и внутренний тепло-массоперенос при сушке капиллярно-пористых тел. Кинетика сушки. Закономерности сушки во взвешенном слое. Перемешивание твердой фазы и время пребывания частиц в слое. Применение диффузионной модели для описания процессов сушки во взвешенном слое. Методы расчета сушильных аппаратов. Особенности тепло- и массообмена в пневмосушилках.

Измельчение и классификация твёрдых материалов.

Способы измельчения. Затраты энергии. Основной принцип измельчения. Схемы. Щековые дробилки. Угол захвата. Производительность. Предельное число качений. Расход энергии. Валковые дробилки. Условие захвата. Размеры измельчаемых кусков. Производительность. Мощность. Шаровые мельницы. Принцип действия. Число оборотов. Мощность. Коллоидные мельницы.

Классификация сыпучих материалов. Критерий качества разделения. Грохочение. Конструкции грохотов. Разделение в тяжелых средах. Гидравлическая и пневматическая классификация. Отстойник-классификатор. Инерционные воздушные сепараторы. Простой воздушный сепаратор. Воздушный проходной сепаратор.

Химические реакторы

Методы составления уравнений скоростей химических реакций.

Стехиометрия сложных систем. Независимость реакций. Принцип квазистационарности. Уравнения маршрутов.

Методы определения кинетических констант по экспериментальным данным, полученным в дифференциальном и интегральном реакторах с помощью ЭВМ. Виды функции рассогласования и методы поиска констант.

Математическое моделирование гетерогенных химических реакторов. Адсорбционная кинетика. Учет внутридиффузионного торможения и скорости массопередачи. Фактор эффективности для каталитических систем. Обоснование использования квазистационарной модели для каталитических реакторов.

Определение оптимальных режимов работы химических реакторов: оптимальное распределение объемов в каскаде реакторов, определение оптимального температурного профиля.

Устойчивость химических реакторов. Принципы расчета и моделирования химико-технологических схем (ХТС). Характеристика химико-технологических систем. Классификация моделей ХТС,

технологические операторы, технология ХТС. Матричный метод анализа ХТС. Топологический метод анализа ХТС, принципы построения топологических моделей (графов) ХТС. Расчет ХТС на основе материальных и тепловых потоковых графов.

Литература

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 1973. – 752 с.; 5 табл.; 470 рис. Базовый учебник по ПАХТ. – Доступ: непосредственный печатный в НТБ ГИПХ.
2. Комиссаров Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии. В 5 ч. Часть 1: учебник для вузов / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент; под редакцией Ю. А. Комиссарова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 216 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-09099-4. – С. 16-75 – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/473257/>. Доступ: индивидуальная авторизация в российской электронной библиотеке.
3. Генералов М. Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ. Учебное пособие для вузов / М.: ИКЦ Академкнига, 2004. – 397 с. с илл. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, авторизация в НТБ.
4. Протодяконов И. О., Марцулевич Н. А., Марков А. В. Явления переносов в процессах химической технологии: Основы теории. Л., Химия, 1981. – 263 с. : ил. ; 22 см. Доступ:
5. В.В. Еремин, С.И. Каргов, И.А. Успенская, Н.Е. Кузьменко, В.В. Лунин. *Основы физической химии* учебник в 2-х частях. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Лаборатория знаний, 2019. – 348 с. : ил. ISBN 978-5-00101-160-6 (Ч. 1) , ISBN 978-5-00101-161-3 (Ч. 2), ISBN 978-5-00101-159-0. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, авторизация в НТБ.
6. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство / Под ред. Б. Н. Никольского. Л., Химия, 1987. – 880 с. Доступ:
7. Романков П. Г., Фролов В. Ф. Массообменные процессы химической технологии (Системы с твердой дисперсной фазой). Л., Химия, 1990. – 384 с. Доступ:
8. Дильман В. В., Полянин А. Д. Методы модельных уравнений и аналогий. М., Химия, 1988. – 304 с. Доступ:
9. Островский Г. Н. Прикладная механика неоднородных сред. СПб.: Наука, 2000. – 359 с. Учебник по механике неоднородных сред и сыпучих материалов
10. Хванг С.-Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. Пер. с англ., М., Химия, 1981. – 464 с. Доступ:
11. Шервуд Т., Пигфорд Р., Уилки Ч. Массопередача. Пер. с англ., М., Химия, 1982. – 696 с. Доступ:

12. Кутателадзе С. С. Анализ подобия и физические модели. Новосибирск, Наука С.О., 1986. – 295 с. Доступ:
13. Базаров И. П., Геворкян Э. В., Николаев П. Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. М., Изд. МГУ, 1989. – 241 с. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, авторизация в НТБ.
14. Демиденко Н. Д. Моделирование и оптимизация тепломассообменных процессов в химической технологии. М., Химия, 1991. – 240 с. Доступ:
15. Классен Л. В., Гришаев И. Г., Шомин И. П. Гранулирование. М., Химия, 1991. – 240 с. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, авторизация в НТБ.
16. Тернавский И. Г., Кутепов А. М. Гидроциклонирование. М., Наука, 1994. – 350 с. Доступ:
17. Псевдоожижение / Под ред. В. Г. Айнштейна, А. П. Баскакова. М., Химия, 1991. – 397 с. Доступ:
18. Броунштейн Б. И., Щеголев В. В. Гидродинамика, массо - и. Монография. Л.: Химия, 1988. – 336 с. Учебник по механике неоднородных среды и сыпучих материалов. Доступ: непосредственный печатный в НТБ ГИПХ.
19. Кутепов А. М., Полянин А. Д., Запryanов З. Д., Вязьмин А. В., Казенин Д. А. Химическая гидродинамика: Справочное пособие. М., Бюро Квантум, 1996. – 382 с.
20. Кафаров В. В., Основы массопередачи. Монография, 3 изд., М., 1979. – 382 с. Базовый справочник по ректификации. – Доступ: непосредственный печатный в НТБ ГИПХ.
21. Кафаров В. В., Глебов М. Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. М., Высшая школа, 1991. – 382 с.
22. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: Изд. 6-е перераб. и доп. М., Наука, 1987. – 382 с.
23. Дытнерский Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М., Химия, 1978. – 382 с.
24. Витков Г. А., Холпанов Л. П., Шеретнев С. Н. Гидравлическое сопротивление и тепломассообмен. М., Наука, 1994. – 382 с.
25. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969. – 624 с. Монография по хим. реакторам. – Доступ: непосредственный печатный в НТБ ГИПХ.
26. Кафаров В. В., Макаров В. В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности. М.: Химия, 1990, – 318с.
27. Леонтьев В. С. Современные направления развития технологии и аппаратного оформления процессов ректификации. СПб., ТЕЗА, 2004. – 183 с.
28. Бабенко Ю. И., Иванов Е. В. Экстрагирование. Теория и практические приложения. СПб., НПО «Профессионал», 2009. – 334 с.

29. Лобанова А. А. Химия энергоемких соединений: нитраминаы. Учебное пособие. // А. А. Лобанова, З. В. Орлова. Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск. Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2006. – 106 с. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, авторизация в НТБ.
30. Кубота Н. ТРТ и взрывчатые вещества: Термохимические аспекты горения. – Пермь: НИИПМ, 2009. – 546 с. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, авторизация в НТБ.
31. Механизмы повреждения технологического оборудования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств / В. И. Эльманович, С. О. Гевлич. М.: Metallurgizdat, 2010. 114 с. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, без авторизации.
32. Котомин А. А. Эмпирические методы расчета взрывчатых веществ и композиций: монография / А. А. Котомин, С. А. Душенюк, А. С. Козлов Санкт-Петербург Москва Краснодар: Лань, 2020. – 384 с. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, авторизация в НТБ.
33. Рамм В. М. Абсорбция газов. Изд. 2-е, переработ. и доп. М., "Химия", 1976. – 382 с. **Базовая монография по абсорбции газов.** – Доступ: непосредственный печатный в НТБ ГИПХ.
34. Сокол Б. А., Чернышев А. К., Баранов Д. А. и др. Насадки массообменных колонн / под ред. Д. А. Баранова. М.: Инфохим, 2009. – 358 с.
35. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов: монография / А. М. Каган, А. Г. Лаптев, А. С. Пушнов, М. И. Фарахов; под ред. А. Г. Лаптева ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Казан. гос. энергет. ун-т [и др.]. – Казань: Отечество, 2013. – 454 с.
36. Пригожин И.Р. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / И.Р. Пригожин, П. Гленсдорф. ISBN 5-354-00293-1 Изд.: Эдиториал УРСС, 2003. – 280 с. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, авторизация в НТБ.
37. Пригожин И.Р. Химическая термодинамика / И.Р. Пригожин, Р. Дэфей. пер. с англ. Переводчики: М. М. Андрушевич. ISBN 978-5-9963-0201-7. Изд.: Бином, 2010. – 533 с. с илл. Доступ: виртуальная библиотека ГИПХ, авторизация в НТБ.