

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

**По дисциплине:** Б1.О.03.02.01 Химическая технология  
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

**для направления подготовки (специальности)** 04.03.01 Химия  
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений  
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

**Квалификация выпускника, уровень подготовки** бакалавр  
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

**Кафедра - разработчик:** химии и строительного материаловедения  
название кафедры - разработчика рабочей программы

**Разработчик(и)** Д.В. Майоров, доцент, к.т.н.  
ФИО, должность, ученая степень, (звание)

**Апатиты  
2019**

## Пояснительная записка

1. **Методические указания составлены** на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 17 июля 2017 года, № 671, учебного плана в составе ОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, профилю «Неорганическая химия и химия координационных соединений».

### 2. Цели и задачи учебной дисциплины (модуля).

Целью дисциплины (модуля) «Химическая технология» является подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра и рабочим учебным планом направления 04.03.01 Химия, что предполагает освоение обучающимися теоретических знаний в области химической технологии, раскрытие взаимосвязи между химией и технологией как наукой, подготовка студентов к активной деятельности по созданию перспективных технологических схем получения материалов. Курс «Химическая технология» замыкает в университетском образовании базовую подготовку студентов по химическим дисциплинам. Для студентов МГТУ, так или иначе, он должен быть привязан к существующим отраслям химической промышленности Мурманской области, с их перспективой развития с привлечением к переработке местного минерального и техногенного сырья. Курс должен пробудить интерес к будущей специальности в части гармонического взаимодействия человека с природой и рациональной экологически оправданной переработкой минеральных и энергетических ресурсов.

**Задачи дисциплины** состоят в ознакомлении с наукой, охватывающей:

- характеристику и ресурсы природного минерального сырья, методы его добычи, обогащения и подготовки к переработке;
- роль и масштабы использования химических процессов в различных сферах материального производства при возрастающем значении проблем ресурсо- и энергосбережения, а также обеспечения безопасности химических производств;
- химическое производство как сложную систему, включающую основные этапы создания технологических схем, принципы, общую стратегию и их структурную иерархию;
- основные направления повышения эффективности использования сырьевых и энергетических ресурсов;
- технико-экономические особенности химических производств;
- прогнозные данные о сырьевом обеспечении крупномасштабных промышленных химических процессов, включая переработку первичных энергоресурсов во вторичные;
- общие сведения об основных источниках промышленных отходов и выбросов, их воздействии на окружающую среду;
- анализ технологических схем важнейших химических производств (серная, соляная, фосфорная, фтористоводородная кислоты, связанный азот, производство удобрений, сода, поташ, электрохимическое производство хлора, каустической соды, алюминия);
- ознакомление с основными методами переработки минерального и техногенного сырья Мурманской области (апатито-нефелиновые, титано-редкометалльные, медно-никелевые и др. руды);
- технологические схемы комплексной переработки минерального сырья Мурманской области (апатит, нефелин, лопарит, перовскит, сфен, цветные металлы и др.);
- энергетические и химико-технологические проблемы горючих ископаемых (уголь, нефть, сланцы, древесина);

- органический синтез как отрасль промышленности (производство метанола, этанола, ацетилена, анилина, целлюлозы, каучука, высокомолекулярных соединений);
- экологические проблемы утилизации твердых, жидких и газообразных отходов;
- принципы составления материальных и энергетических балансов;
- представление процессов химической технологии с их классификацией по элементарным технологическим приемам (для механических процессов: перемещение, измельчение, дозирование, гранулирование; для гидродинамических процессов: отстаивание, фильтрование, центрифугирование; для тепловых процессов: нагревание, выпаривание, кристаллизация, сушка; для массообменных процессов: экстракция, адсорбция, ректификация);

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине «Химическая технология»

Процесс изучения дисциплины «Химическая технология» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия:

**ОПК-2.** Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности химический эксперимент, включая синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследование процессов с их участием;

**ОПК-3.** Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники

**Таблица 1 – Планируемые результаты обучения**

Код и содержание компетенции	Степень реализации компетенции	Этапы формирования компетенции; Индикаторы сформированности компетенций <sup>1</sup> в реализуемой части
<b>ОПК-2.</b> Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности химический эксперимент, включая синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследование процессов с их участием	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	<b>Знать:</b> химические основы экспериментальных процессов, свойства реагентов и безопасные нормы работы с ними <b>Уметь:</b> использовать известные методики получения синтетических продуктов их первичного анализа с целью подготовки их для проведения физико-химических исследований <b>Владеть:</b> основами проведения синтеза химических соединений и методиками исследования полученных продуктов <i>Индикаторы сформированности компетенций</i> <b>ОПК-2.1.</b> Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности <b>ОПК-2.2.</b> Проводит синтез веществ и материалов разной природы с использованием имеющихся методик <b>ОПК-2.3.</b> Проводит стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов на их основе <b>ОПК-2.4.</b> Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием серийного научного оборудования
<b>ОПК-3.</b> Способен	Компоненты компетенции	<b>Знать:</b> основные закономерности естественнонаучных дисциплин

<sup>1</sup> Для ФГОС ВО 3++

применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники	соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	<p><b>Уметь:</b> использовать расчетно-теоретические методы химической технологии при обработке данных проведенных исследований</p> <p><b>Владеть:</b> методами компьютерной обработки экспериментальных данных</p> <p><b>Индикаторы сформированности компетенций</b></p> <p><b>ОПК-3.1.</b> Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности</p> <p><b>ОПК-3.2.</b> Использует стандартное программное обеспечение при решении задач химической направленности</p>
--	--	--

**Таблица 2 – Перечень практических работ**

№ п/п	Наименование тем, их содержание	№ темы по табл.4 РП	Кол-во часов
1	2	3	4
1	Синтез коагулянтов-флокулянтов из нефелина. Определение оптимальных условий процесса без желатинизации системы.	2	6
2	Очистка воды с использованием минеральных, синтетических сорбентов и коагулянтов-флокулянтов в статическом и динамическом режиме	2	5
2	Знакомство с промышленными установками по подготовки полезных ископаемых к химической переработке и примеры составления технологических схем	3	6
3	Принцип составления материального потока на примере производства серной кислоты контактным способом. Решение задач.	4	6
4	Термическое разложение карбоната кальция с получением извести. Расчет выхода продукта. Решение задач.	10	6
5	Разложения сфенового концентрата серной кислотой. Расчет концентрационных параметров процесса, выхода продукции и потерь.	11	6
6	Решение задач с расчетом расходных коэффициентов органических веществ	18	5
	<b>Итого:</b>		<b>40</b>

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

## Введение

Практические занятия по курсу «Химическая технология» проводятся с целью закрепления и практического освоения теоретического (лекционного) материала. Студенту предстоит ознакомиться с региональными химическими предприятиями, основными источниками минерального и техногенного сырья, которое они перерабатывают и основной продукцией, которую получают. Кроме того, студенты знакомятся с экологическими проблемами, возникающими в районе функционирования химических предприятий.

Знакомство студентов с принципами по разработке технологических схем химической переработки минерального сырья осуществляется в технологических лабораториях Института химии КНЦ РАН.

При разработке химико-технологических процессов проводятся разнообразные расчеты для количественной оценки протекающих операций, а также для определения оптимальных значений параметров технологического процесса. Во всех случаях при расчетах учитываются законы термодинамики, тепло- и массопередачи и химической кинетики, поэтому расчеты материальных потоков обычно сочетаются с энергетическими расчетами, для этого составляются материальный и энергетический балансы.

### *Практическое задание №1.*

*Тема:* «Очистка воды с использованием минеральных, синтетических сорбентов и коагулянтов-флокулянтов».

Обучающиеся должны знать основные показатели качества воды (жесткость, общее солесодержание, прозрачность, окисляемость и др.), методы ее очистки (осветление, обеззараживание, умягчение, в т.ч. химические, физические и физико-химические способы, дегазация, дистилляция) и уметь рассчитывать расход реагентов для очистки.

### *Практическое задание №2.*

*Тема:* «Знакомство с промышленными установками по подготовки полезных ископаемых к химической переработке».

Обучающиеся должны знать основные методы обогащения полезных ископаемых:

- гравитационные методы обогащения:
- флотационные процессы обогащения:
- магнитные методы обогащения и др.

Обучающиеся также должны уметь рассчитывать такие свойства дисперсных систем как удельная поверхность и концентрация частиц дисперсной фазы, скорость осаждения твердых частиц и др.

### *Практическое задание №3.*

*Тема:* «Принцип составления материального потока на примере производства серной кислоты контактным способом».

Материальные расчеты производственных процессов по своему существу являются материальными балансами каждой стадии производства и всего производства в целом, основанными на законах стехиометрии и на законе сохранения вещества. В результате материального баланса определяются масса, объем и состав исходных материалов, готовой продукции, отходов и потерь по всем стадиям производства. Это, в свою очередь, служит основой для всех остальных технологических и энергетических расчетов.

Материальный баланс химического процесса составляется следующим образом: пишется уравнение химической реакции и по стехиометрическим соотношениям определяется теоретический выход продукта. Затем выявляются потери продукта в результате побочных реакций и потери механического характера (утечка газов и паров через неплотности, потеря растворов и твердых материалов при перегрузках, транспортировке, хранении) и устанавливается практический выход, на основании которого и подсчитывается количество получаемого продукта.

Если производственный процесс состоит из нескольких стадий и каждой из них соответствует определенный выход, то общий выход готового продукта по всему процессу определяется произведением всех выходов по отдельным стадиям, т.е.

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n,$$

где  $\eta$  - общий выход по всему производству;

$\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_n$  – выходы по отдельным стадиям.

Форма материального баланса зависит от характера производства. При непрерывной схеме производства материальный баланс относят к одному часу или суткам. Часто ведут расчет на тонну, килограмм или кубометр готовой продукции (или исходного сырья) независимо от конструкции и размеров аппаратов, в которых осуществляется процесс. При периодическом процессе производства материальный баланс целесообразно составлять на одну производственную операцию или относить его к суткам. При этом материальный баланс составляется по отдельным стадиям производства; для быстрого выявления расходных коэффициентов удобно вести расчет на тонну сырья или готовой продукции. При составлении материального баланса, отнесенного к суточной (часовой) производительности, необходимо знать мощность производства, которая определяется числом единиц (т или кг) готового продукта, подлежащего выпуску производством в единицу времени (год, месяц, сутки).

Результаты расчета материального баланса сводят в таблицы:

Статья прихода	Кол-во, кг	% (к итогу)*	Статья расхода	Кол-во, кг	% (к итогу)*
Продукт А	$G_A$	$\frac{G_A \cdot 100}{G_A + G_B}$	Продукт А (остаток)	$G'_A$	
Продукт В	$G_B$	$\frac{G_B \cdot 100}{G_A + G_B}$	Продукт В (остаток)	$G'_B$	
			Продукт С	$G'_C$	
			Продукт D	$G'_D$	
			Произв. потери	$G_{\Pi}$	
Итого	$G$		Итого	$G$	

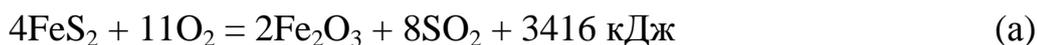
\* - необязательный столбец.

На основании данных материального баланса можно подсчитать расходные коэффициенты по сырью. Расходными коэффициентами называют количества сырья, расходуемое на 1 т готового продукта.

Для ознакомления с составлением материального баланса химического производства, в результате которого образуется несколько продуктов, в качестве примера составим материальный баланс печи кипящего слоя КС-450 для обжига флотационного колчедана.

Флотационный колчедан содержит минерал пирит  $\text{FeS}_2$ , при обжиге которого образуется сернистый ангидрид  $\text{SO}_2$ , служащий сырьем для получения серной кислоты.

Суммарная реакция обжига колчедана описывается уравнением:



В процессе обжига небольшое количество образующегося сернистого ангидрида окисляется до серного ангидрида:



Так как поступающий в процесс флотационный колчедан и кислород, подаваемый с воздухом, содержит влагу, при составлении баланса в статье "Приход" помимо колчедана и воздуха необходимо учитывать влагу колчедана и пары воды из воздуха.

В статье "Расход" необходимо учитывать массу  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (огарка) и массу основных компонентов, входящих в состав образующейся газовой смеси.

С учетом приведенных данных общее уравнение материального баланса в рассматриваемом случае запишется в виде:

$$V_{\text{кол.}} + V_{\text{вл.кол.}} + V_{\text{воз.}} + V_{\text{вл.воз.}} = V_{\text{ог.}} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{SO}_3} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} \quad (\text{в})$$

где:  $V_{\text{кол.}}$ ,  $V_{\text{вл.кол.}}$ ,  $V_{\text{воз.}}$ ,  $V_{\text{вл.воз.}}$  - соответственно масса сжигаемого колчедана (сухого), воды в колчедане, воздуха (сухого), воды в воздухе,  $\text{кг}\cdot\text{ч}^{-1}$ ;

$V_{\text{ог.}}$ ,  $V_{\text{SO}_2}$ ,  $V_{\text{SO}_3}$ ,  $V_{\text{O}_2}$ ,  $V_{\text{N}_2}$ ,  $V_{\text{H}_2\text{O}}$  - соответственно массы образующегося огарка,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{ч}^{-1}$ .

*Условия расчета:*

Производительность Печи КС-450 в пересчете на серную кислоту (100%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ),  $\text{кг}\cdot\text{ч}^{-1}$

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 20833$$

Степень использования серы в колчедане

$$\beta = 0,885$$

Содержание, мас. %:

серы в сухом колчедане

$$C_S = 41$$

Влаги в колчедане

$$C_{\text{вл.}} = 6$$

серы в огарке

$$C_{\text{ог.}} = 1$$

$\text{SO}_2$  в сухом обжиговом газе

$$C_{\text{SO}_2} = 14,5$$

SO<sub>3</sub> в сухом обжиговом газе

$$C_{SO_3} = 0,1$$

Относительная влажность воздуха, %

$$\varphi = 50.$$

Расчет:

Количество серы колчедана, требуемое для обеспечения производительности печи:

$$V_S = M_S \cdot V_{H_2SO_4} / (M_{H_2SO_4} \cdot \beta) = 32,06 \cdot 20833 \cdot 1000 / (98,08 \cdot 885) = 7695 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1},$$

где:  $M_S$ ,  $M_{H_2SO_4}$  - молекулярные массы серы и серной кислоты, соответственно.

Масса сухого колчедана:

$$V_{\text{кол.}} = V_S \cdot 100 / C_S = 7695 \cdot 100 / 41 = 18768 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Масса влаги в колчедане:

$$V_{\text{вл.кол.}} = V_{\text{кол.}} \cdot C_{\text{вл.}} / (100 - C_{\text{вл.}}) = 18768 \cdot 6 / (100 - 6) = 1198 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Масса огарка определяем по формуле:

$$V_{\text{ог.}} = (160 - C_S) \cdot V_{\text{кол.}} / (160 - C_{S(\text{ог.})}) = (160 - 41) \cdot 18768 / (160 - 1) = 14038 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Масса серы в огарке:

$$V_{S(\text{ог.})} = V_{\text{ог.}} \cdot C_{S(\text{ог.})} / 100 = 14038 \cdot 1 / 100 = 140 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Потери серы с огарком:

$$V_{S(\text{ог.})} \cdot 100 / V_S = 140 \cdot 100 / 7695 = 1,82\%.$$

Масса выгоревшей серы:

$$V_S - V_{S(\text{ог.})} = 7695 - 140 = 7555 \text{ кг} \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Общий объем SO<sub>2</sub> + SO<sub>3</sub>:

$$V_{SO_2+SO_3} = (V_S - V_{S(\text{ог.})}) \cdot 22,4 / M_S = 7555 \cdot 22,4 / 32,06 = 5279 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Здесь и далее в расчете объем газов приведен к нормальным условиям.

Объем SO<sub>2</sub>:

$$V_{SO_2} = (V_{SO_2+SO_3}) \cdot C_{SO_2} / (C_{SO_2} + C_{SO_3}) = 5279 \cdot 14,5 / (14,5 + 0,1) = 5243 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Объем SO<sub>3</sub>:

$$V_{SO_3} = V_{SO_2+SO_3} - V_{SO_2} = 5279 - 5243 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Концентрация кислорода в обжиговом газе определяется по формуле:

$$C_{O_2} = n - [m - n \cdot (m - 1) / 100] \cdot C_{SO_2} - [m + 0,5 \cdot n \cdot (m - 0,5) / 100] \cdot C_{SO_3}$$

где:  $n$  - содержание кислорода в воздухе ( $n = 21\%$ );

$m$  - стехиометрическое отношение числа молекул кислорода к числу молекул двуокиси серы ( $m = 1,375$ ):

$$C_{O_2} = 21 - [1,375 - 21 \cdot (1,375 - 1) / 100] \cdot 14,5 - [1,375 + 0,5 \cdot 21 \cdot (1,375 - 0,5) / 100] \cdot 0,1 = 2,06\%.$$

Объем сухого обжигового газа:

$$V_{\Gamma} = V_{SO_2} \cdot 100 / C_{SO_2} = 5243 \cdot 100 / 14,5 = 36159 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Объем кислорода в обжиговом газе:

$$V_{O_2} = V_{\Gamma} \cdot C_{O_2} / 100 = 36159 \cdot 2,057 / 100 = 744 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Объем азота в обжиговом газе:

$$V_{N_2} = V_{\Gamma} - (V_{SO_2} + V_{SO_3} + V_{O_2}) = 36159 - (5243 + 36 + 744) = 30136 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Объем сухого воздуха, поступающего на обжиг колчедана (воздух содержит 79% N<sub>2</sub>):

$$V_{\text{возд.}} = V_{N_2} \cdot 100 / C_{N_2} = 30136 \cdot 100 / 79 = 38147 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Объем паров влаги в воздухе (при 20°C и относительной влажности воздуха  $\phi = 50\%$ , давление паров воды в нем равно  $p_{H_2O} = 8,77$  мм.рт.ст.):

$$V'_{H_2O} = V_{\text{возд.}} \cdot p_{H_2O} / (760 - p_{H_2O}) = 38147 \cdot 8,77 / (760 - 8,77) = 445 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Общий объем паров воды в обжиговом газе:

$$V_{H_2O} = V_{\text{вл.кол.}} \cdot 22,4 / M_{H_2O} + V'_{H_2O} = 1198 \cdot 22,4 / 18 + 445 = 1936 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}.$$

Полученные при расчете данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Материальный баланс печи кипящего слоя КС-450 для обжига флотационного колчедана

<i>Приход</i>	<i>Количество</i>		<i>Расход</i>	<i>Количество</i>	
	кг·ч <sup>-1</sup>	м <sup>3</sup> ·ч <sup>-1</sup>		кг·ч <sup>-1</sup>	м <sup>3</sup> ·ч <sup>-1</sup>
Колчедан	18768	-	Огарок	14038	-
Влага колчедана	1198	-	Обжиговый газ		
Сухой воздух	49400	38147	SO <sub>2</sub>	15337	5243
Влага с воздухом	358	445	SO <sub>3</sub>	129	36
			O <sub>2</sub>	1063	744
			N <sub>2</sub>	37600	30136
			H <sub>2</sub> O	1556	1936
<b>Всего:</b>	<b>69724</b>	<b>38592</b>	<b>Всего:</b>	<b>69724</b>	<b>38095</b>

#### Практическое задание № 4.

*Тема:* «Термическое разложение карбоната кальция с получением извести. Расчет выхода продукта».

Обучающиеся должны знать:

- физико-химические основы процесса разложения карбоната кальция;
- принципы составления материального баланса процесса

и уметь рассчитывать на основе материального баланса процесса расходные коэффициенты по сырью и материалам и выход конечных продуктов.

### *Практическое задание № 5.*

*Тема:* «Разложения нефелинового концентрата серной кислотой. Расчет концентрационных параметров процесса, выхода продукции и потерь.».

Обучающиеся должны знать:

- физико-химические основы процесса разложения нефелинового концентрата серной кислотой;
  - особенности процесса кислотного разложения нефелинового концентрата
  - принципы составления материального баланса процесса;
- и уметь рассчитывать на его основе расходные коэффициенты сырья и материалов и выход конечных продуктов.

### *Практическое задание № 6.*

*Тема:* «Решение задач с расчетом расходных коэффициентов органических веществ».

Обучающиеся должны знать основные процессы синтеза органических веществ (метанола, этанола, ацетальдегида и др.) и уметь рассчитывать выход конечных продуктов с учетом степени превращения исходного сырья и образования побочных продуктов.

### **Рекомендуемая литература**

1. Попков В.А., Общая химия: учебник. Попков В.А., Пузаков С.А. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2010. - 976 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970415702.html?SSr=010134171b106b0b2512518>
2. Пугачев, В.М. Химическая технология / В.М. Пугачев ; Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. - 108 с. [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=278505&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=278505&sr=1)

#### **Дополнительная**

1. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс : учебник : в 2 книгах / В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов [и др.] ; под редакцией В.Г. Айнштейна. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Книга 1 : Книга 1 — 2019. — 916 с. <https://e.lanbook.com/book/111193>
2. Буданов, В.В. Химическая термодинамика : учебное пособие / В.В. Буданов, А.И. Максимов ; под редакцией О.И. Койфман. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 320 с. <https://e.lanbook.com/book/89932>
3. Стромберг А.Г. Физическая химия : учебник для вузов / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко; под ред. А. Г. Стромберга. - Изд. 4-е, испр. - М. : Высшая школа, 2001. - 527 с.