

УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ОБЩЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО

**БИНОМ**

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ОБЩЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

3-е издание

**Учебное пособие**

Под общей редакцией  
проф. В. С. Бескова

Допущено  
Учебно-методическим объединением по образованию  
в области химической технологии и биотехнологии  
в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлениям и специальностям  
в области химической технологии



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний

УДК 66.0  
ББК 35я73  
Л12

*Серия основана в 2009 г.*

Авторский коллектив:

В. А. Аверьянов, С. А. Баташов, Н. П. Белова,  
М. Г. Беренгартен, В. С. Бесков, Т. И. Бондарева,  
М. Г. Давидханова, А. Н. Кабанов, С. Ф. Катышев,  
М. К. Кошелева, Б. Т. Кунин, В. Т. Леонов, В. Р. Миролюбов,  
А. П. Федосеев, Х. Э. Харлампида, Э. В. Чиркунов,  
В. А. Шарнин, Ю. Б. Швалев

**Лабораторный практикум по общей химической технологии** : учебное пособие для вузов / В. А. Аверьянов [и др.] ; под ред. В. С. Бескова. — 3-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. — 279 с. : ил. — (Учебник для высшей школы).

ISBN 978-5-9963-1377-8

Приведены описания 30 лабораторных работ по курсу «Общая химическая технология». Представленные работы разнообразны по поставленным в них задачам и используемой лабораторной технике и значительно расширяют возможности подготовки квалифицированных специалистов. Работы по компьютерному моделированию дополнены специально созданными программами, которые находятся в свободном доступе на сайте издательства.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Химическая технология».

**УДК 66.0**  
**ББК 35я73**

---

*Учебное издание*

Серия: «Учебник для высшей школы»

**Аверьянов Вячеслав Александрович,**  
**Баташов Сергей Александрович, Белова Нина Петровна** и др.

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО ОБЩЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**Учебное пособие для вузов**

Ведущий редактор канд. хим. наук *Д. К. Новикова*  
Художник *С. Инфантэ*. Технический редактор *Е. В. Денюкова*  
Компьютерная верстка: *В. А. Носенко*

Подписано в печать 07.11.13. Формат 60×90/16.  
Усл. печ. л. 17,5. Тираж 1000 экз. Заказ

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»  
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3  
Телефон: (499) 157-5272, e-mail: binom@Lbz.ru, http://www.Lbz.ru

---

ISBN 978-5-9963-1377-8 © БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009

# Содержание

<b>Предисловие</b> .....	<b>5</b>
<b>Введение</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Гетерогенные процессы</b> .....	<b>15</b>
<i>Работа</i> 1. Обжиг сульфидной цинковой руды .....	15
<i>Работа</i> 2. Обжиг колчедана .....	24
<i>Работа</i> 3. Восстановление диоксида углерода углем .....	32
<i>Работа</i> 4. Кинетика гетерогенной реакции окисления сульфита натрия .....	41
<i>Работа</i> 5. Кальцинация гидрокарбоната натрия в псевдооживленном слое .....	48
<i>Работа</i> 6. Абсорбция диоксида углерода .....	57
<b>2. Химические реакторы</b> .....	<b>66</b>
<i>Работа</i> 7. Проточный реактор вытеснения .....	66
<i>Работа</i> 8. Проточный реактор идеального смешения и каскад реакторов .....	74
<i>Работа</i> 9. Окисление диоксида серы .....	81
<i>Работа</i> 10. Обжиг колчедана в кипящем слое .....	91
<b>3. Процессы технологии неорганических веществ</b> .....	<b>99</b>
<i>Работа</i> 11. Получение сернистого натрия .....	99
<i>Работа</i> 12. Каустификация содового раствора .....	104
<i>Работа</i> 13. Получение искусственного карналлита из хлормagneйского щелока .....	113
<i>Работа</i> 14. Обезвоживание двухводного хлористого магния в кипящем слое .....	124
<i>Работа</i> 15. Электрохимическое получение хлора и щелочи электролизом водных растворов хлорида натрия .....	132

<b>4. Процессы технологии органических веществ</b> . . . . .	<b>143</b>
<i>Работа 16.</i> Каталитический крекинг газойля . . . . .	143
<i>Работа 17.</i> Синтез бутадиена по методу Лебедева . . . . .	152
<i>Работа 18.</i> Получение винилиденхлорида щелочным дегидрохлорированием 1,1,2-трихлорэтана . . . . .	159
<i>Работа 19.</i> Дегидрирование вторичных спиртов . . . . .	164
<i>Работа 20.</i> Окисление нефтяных парафинов. . . . .	175
<i>Работа 21.</i> Пиролиз нефтепродуктов. . . . .	187
<i>Работа 22.</i> Фотохлорирование 1,2-дихлорэтана в режиме совмещения с процессом конденсации . . . . .	197
<b>5. Подготовка сырья и материалов</b> . . . . .	<b>203</b>
<i>Работа 23.</i> Флотация . . . . .	203
<i>Работа 24.</i> Определение показателей качества воды . . . . .	211
<i>Работа 25.</i> Очистка природных и сточных вод методом коагуляции . . . . .	216
<i>Работа 26.</i> Умягчение воды . . . . .	228
<i>Работа 27.</i> Определение скорости коррозии металлов . . . . .	235
<b>6. Компьютерное моделирование химико-технологических процессов.</b> . . . . .	<b>244</b>
<i>Работа 28.</i> Реакторы в режимах идеального смешения и идеального вытеснения . . . . .	245
<i>Работа 29.</i> Окисление диоксида серы (процессы и реакторы) . . . . .	254
<i>Работа 30.</i> Тренажер по производству азотной кислоты. . . . .	264
<b>Приложения</b> . . . . .	<b>269</b>
А. Правила по технике безопасности . . . . .	269
Б. Справочные сведения . . . . .	276
<b>Основная литература</b> . . . . .	<b>279</b>

# Предисловие

Дисциплина «Общая химическая технология» включает теоретический (лекционный) курс, практические (расчетные) занятия и лабораторный практикум. Лекционный курс представлен в учебнике В. С. Бескова «Общая химическая технология», практические занятия — в учебном пособии «Примеры и задачи по общей химической технологии», изданных в 2005 году ИКЦ «Академкнига». С появлением настоящего пособия набор учебных изданий становится завершенным. Лабораторный практикум предназначен для развития умений и навыков в практической инженерно-исследовательской работе с конкретными процессами.

При выполнении лабораторной работы студент экспериментально исследует закономерности протекания конкретных химических процессов в различных реакторах, осваивает методы анализа химического процесса, изучает влияние технологических параметров на эффективность процесса и углубляет свои знания о химико-технологических процессах. В лабораторном практикуме можно получить сведения о свойствах некоторых веществ и конструкционных материалов, используемых в химической промышленности, при этом возможно выполнение расчетно-аналитического исследования с применением программных средств, подобных рабочему месту инженера-технолога на основе современной вычислительной техники.

Разнообразие приводимых в лабораторном практикуме лабораторных работ обусловлено широким кругом специальностей, получаемых выпускниками химико-технологических вузов, а также отсутствием производств типового оборудования для проведения практикума по данному курсу. Представленные лабораторные работы разнообразны по поставленным в них задачам и используемой лабораторной технике, не противоречат программе курса, но

значительно расширяют возможности квалифицированной подготовки специалистов.

В настоящий лабораторный практикум включены работы, поставленные и освоенные в высших учебных заведениях: Ивановском государственном химико-технологическом университете, Казанском государственном технологическом университете, Московском государственном текстильном университете им. А. Н. Косыгина, Московском государственном университете инженерной экологии, Новомосковском институте РХТУ им. Д. И. Менделеева, Российском химико-технологическом университете им. Д. И. Менделеева, Томском политехническом университете, Тульском государственном педагогическом университете им. Л. Н. Толстого, Уральском государственном техническом университете. Лабораторные работы представлены сотрудниками указанных университетов.

Лабораторные работы подготовили д.х.н. В. А. Аверьянов (раб. 18, 19, 22), к.х.н. С. А. Баташов (раб. 18, 19, 22), к.т.н. Н. П. Белова (раб. 2, 23), к.т.н. М. Г. Беренгартен (раб. 6, 10, 16, 17, 24, 25), д.т.н. В. С. Бесков (раб. 28, 29, 30), к.т.н. Т. И. Бондарева (раб. 6, 10, 16, 17, 24, 25), к.т.н. М. Г. Давидханова (раб. 28, 29, 30), д.т.н. А. Н. Кабанов (раб. 1, 9), д.т.н. С. Ф. Катышев (раб. 5, 12, 13, 14), к.т.н. М. К. Кошелева (раб. 4, 11, 26), к.т.н. И. М. Кузнецова (раб. 20, 21), к.т.н. Б. Т. Кунин (раб. 3, 7, 8, 25, 27), к.т.н. В. Т. Леонов (раб. 2, 23), к.т.н. В. Р. Миролубов (раб. 5, 12, 13, 14), к.т.н. А. П. Федосеев (раб. 1, 9), д.х.н. Х. Э. Харлампиدي (раб. 20, 21), к.т.н. Э. В. Чиркунов (раб. 20, 21), д.т.н. В. А. Шарнин (раб. 3, 7, 8, 25, 27), к.т.н. Ю. Б. Швалев (раб. 7, 27). Методические указания написаны В. С. Бесковым, правила по технике безопасности — В. П. Крутовой.

Последний раздел ориентирован на выполнение лабораторных работ по компьютерному моделированию химико-технологических процессов, программы для которых разработаны на кафедре общей химической технологии РХТУ им. Д. И. Менделеева. Компьютерные программы, их описание и инструкции к ним, лабораторные задания находятся на сайте издательства [lbz.ru](http://lbz.ru) в разделе Файлы издательства ⇒ Электронные приложения к книгам.

Авторы приносят благодарность коллегам, участвовавшим в подготовке отдельных работ: А. А. Вольберг, В. И. Гашковой, В. Н. Десятнику, В. А. Исаевой, Г. Г. Криницыну, А. Г. Пьянкову, Г. И. Репкину, В. А. Реутскому, Л. М. Теслюку, Т. Р. Усачевой.

Замечания и пожелания по улучшению практикума будут приняты с благодарностью.

*профессор Бесков Владимир Сергеевич*



# Введение

## Цели и задачи лабораторных занятий

В лаборатории общей химической технологии закрепляются и расширяются знания студентов, полученные в лекционном курсе. Поэтому целью лабораторных занятий является экспериментальная проверка основных теоретических положений и получение дополнительных сведений по изучаемому предмету, а также приобретение навыков экспериментального исследования закономерностей химико-технологических процессов с использованием физико-химических методов анализа и современных компьютерных технологий.

При прохождении лабораторного практикума по курсу «Общая химическая технология» студенты исследуют на модельных установках отдельные химико-технологические процессы для получения информации о влиянии параметров процесса на его показатели (конверсию исходных веществ, выход, скорость превращения, расходные коэффициенты и т. д.), для определения оптимальных параметров процесса, знакомятся с основными этапами исследования и разработки химико-технологических систем.

Каждая лабораторная работа представлена как научное исследование технологического процесса и включает в себя все этапы исследовательской работы. Задачами лабораторного практикума являются:

- обобщение полученных в лекционном курсе и получение новых сведений об исследуемом процессе при использовании учебной литературы, дополнительных учебных пособий, научной и справочной литературы, рекомендованных преподавателем;
- освоение методики экспериментального исследования изучаемого процесса, включая постановку задачи эксперимента, привитие навыков работы на экспериментальной установке и использование методов контроля условий и показателей процесса, планирование и порядок проведения эксперимента;

- усвоение правил по технике безопасности и по производственной санитарии при проведении лабораторных работ;
- развитие умения анализировать результаты эксперимента, включая обработку результатов эксперимента, проведение вспомогательных расчетов, представление результатов изучения процесса в виде обобщающих таблиц и графиков, формулировку выводов проведенного исследования;
- привитие навыков составления научно-технической документации, в частности — отчета о выполненной лабораторной работе;
- приобщение к соблюдению производственной дисциплины при строгом выполнении правил работы в лаборатории;
- приобщение к соблюдению технологической дисциплины, заключающейся в строгой последовательности и аккуратности выполнения всех операций при проведении эксперимента, соблюдении правил техники безопасности как действия при управлении химико-технологическим процессом.

## **Тематика и задания лабораторного практикума**

Тематика лабораторных работ по общей химической технологии соответствует основным разделам курса: химические процессы и реакторы, химико-технологические процессы, производство химических продуктов, подготовка сырья и свойства материалов в химическом производстве. Химическая технология как наука изучает взаимодействие химических превращений с явлениями переноса теплоты и вещества и на молекулярном уровне, и в масштабе всего производства.

Взаимодействие химической реакции с переносом теплоты и вещества на молекулярном уровне проявляется в гетерогенном химическом процессе. Исследование реагирующих систем «газ-твердое», «жидкость-твердое», «газ-жидкость» включают лабораторные работы «Гетерогенные процессы». Задача этих работ — экспериментально измерить скорость превращения веществ и определить, как изменение условий процесса влияет на его интенсивность и другие показатели.

Закономерности химического процесса в химическом реакторе осложнены необходимостью учета переноса вещества в масштабе аппарата. В лабораторных работах «Химические реакторы» ставится задача определить, как влияют организация потока реакционной смеси (например, в режиме вытеснения или смешения) и

условия процесса (нагрузка, концентрация, температура) на превращение реагентов в реакторе.

Процессы неорганической и органической технологии — получение определенного продукта из сырьевых компонентов — воспроизводятся в лабораторном масштабе. Процесс может протекать в одну или несколько стадий. В этих работах возможна постановка нескольких задач исследования: воспроизвести в лаборатории основные химико-технологические стадии и получить заданный продукт; составить материальный баланс по результатам лабораторного процесса, построить зависимости влияния различных условий осуществления процесса на его показатели; сопоставить условия и показатели процесса в малом (лабораторном) и крупном (промышленном) масштабах.

### **Правила работы в лаборатории**

В лаборатории кафедры проводят работы, связанные с применением химических веществ, которые могут оказывать вредное воздействие на организм человека. Некоторые из них с кислородом воздуха могут образовывать взрывоопасные смеси. Пожароопасность химических веществ и возможность проявления их токсического воздействия на организм человека резко возрастают при выполнении работ, связанных с применением высоких температур. В лаборатории используют различные электрические приборы и оборудование, неосторожное и неумелое обращение с которыми может привести к травмам.

Правила техники безопасности и производственной санитарии приведены в Приложении А.

Общие правила работы в лаборатории следующие.

1. Перед работой на установке студент должен пройти инструктаж по технике безопасности и правилам безопасного обращения с используемыми в работе веществами, расписаться в контрольном листе лабораторного журнала группы и получить допуск у преподавателя на выполнение конкретной лабораторной работы.
2. В лаборатории студенты должны строго соблюдать дисциплину и поддерживать чистоту. Выполнять эксперименты необходимо в рабочих халатах. На рабочем месте не должно быть посторонних предметов.
3. При выполнении лабораторных работ необходимо следить за показаниями контрольных приборов и работой оборудо-

вания. Запрещается во время эксперимента отходить от работающей установки, поворачиваться к ней спиной и выходить из помещения лаборатории.

4. При выполнении лабораторных работ студент должен соблюдать максимальную осторожность, помня, что неаккуратность, невнимательность, неправильное обращение с приборами и оборудованием может привести к несчастным случаям. Запрещается касаться нагретых частей установок, пользоваться открытым огнем.
5. В помещении лаборатории запрещается принимать пищу и пить воду, в том числе используя химическую посуду.

В случае несоблюдения правил работы в лаборатории, правил по технике безопасности и производственной санитарии студентов отстраняют от проведения экспериментов.

### **Подготовка, выполнение и защита лабораторной работы**

На первом занятии преподаватель знакомит студентов с целями и задачами лабораторных работ, порядком их выполнения, проводит вводный инструктаж по технике безопасности и правилам работы в лаборатории. В контрольном листе инструктажа расписываются и преподаватель, и студент.

Проведение лабораторной работы включает выполнение следующих последовательных этапов:

1. Получение от преподавателя задания по лабораторной работе.
2. Литературная проработка задачи (студент знакомится с теоретическими основами изучаемого химико-технологического процесса, используя учебную литературу, дополнительные учебные пособия, научную и справочную литературу, рекомендованные преподавателем), уяснение цели работы.
3. Ознакомление с лабораторной установкой: ее схемой, методами контроля, порядком работы на установке и выполнения экспериментов.
4. Ознакомление с методом обработки результатов эксперимента, с формой представления экспериментальных данных и результатов их обработки.

5. Составление плана проведения работы, включающего условия эксперимента, последовательность действий для выполнения конкретного задания, фиксируемые исходные данные и результаты, способ их обработки и представления.
6. Изучение инструкции по технике безопасности при выполнении задания.
7. Беседа с преподавателем по вопросам, относящимся к пп. 2–6, при благоприятном исходе которой студент получает допуск к выполнению задания.
8. Экспериментальное выполнение задания.
9. Обработка результатов эксперимента.
10. Составление отчета, включающего:
  - задание (его формулировка, цель исследования, исходные данные);
  - схему и описание лабораторной установки;
  - план эксперимента (последовательность действий, установки для регулирующих и контролирующих приборов и устройств, фиксируемые параметры и показатели);
  - результаты эксперимента (исходные и выходные данные);
  - обработку экспериментальных данных;
  - результаты исследования;
  - выводы
11. Защита отчета.

При защите работы студент должен ответить на вопросы о цели лабораторного исследования, назначении и устройстве отдельных частей лабораторной установки, объяснить методику проведения эксперимента и обработки экспериментальных данных, уметь анализировать полученные результаты, сделать вывод о выборе параметров технологического режима, показать знания теоретических основ изучаемого процесса и его аппаратурного оформления.

Контрольные вопросы для самопроверки приведены в конце описания каждой лабораторной работы.

## **Методические рекомендации по лабораторному практикуму**

Учебная дисциплина «Общая химическая технология» предусматривает проведение 3–5 лабораторных работ. В результате их выполнения студент углубляет свои знания о процессе, изучаемого в курсе, или получает сведения о новом процессе, следуя основным

положениям теоретической части курса. К сожалению, обеспечить лабораторным практикумом все разделы и темы теоретического курса не представляется возможным.

Выбор лабораторных работ определяется рядом факторов.

### **1. Специализация в подготовке выпускников вуза.**

«Общая химическая технология» — курс обязательный в цикле общепрофессиональных дисциплин по направлению подготовки химика-технолога. Использование элементов профессиональной подготовки в общем курсе, что можно сделать при выборе темы лабораторной работы, конечно, методически оправдано.

### **2. Профессиональная специализация преподавателя.**

Лабораторная работа по своей сути — исследование в какой-то отдельной области химической технологии. Методически будет оправдано, если тема лабораторной работы соответствует научной специализации преподавателя.

### **3. Возможность технической реализации лабораторной работы.**

Лабораторные установки предназначены для массового использования потоком студентов и потому их можно представить как элемент производственной системы миниатюрного масштаба. В настоящее время отсутствует производство комплектных учебных установок для лаборатории химической технологии. Как правило, установки комплектуются из отдельных серийно производимых и индивидуально изготовленных элементов. Монтаж и наладка каждой установки проводится по индивидуальному проекту с учетом требований техники безопасности и производственной санитарии. При этом приходится учитывать надежность и наглядность работы изготовленной установки при ее эксплуатации малоопытным постоянно меняющимся контингентом работников — студентов. Выбор системы установок и лабораторных работ по общей химической технологии во многом обусловлен возможностями вуза.

Подготовка лабораторной работы (ее выбор и техническое обеспечение) должна сопровождаться методическим обеспечением.

Лабораторные работы, апробированные и успешно используемые в учебном процессе в ряде вузов, представлены далее. В них приведен материал исключительно по теме и по выполнению определенной работы. Тем не менее, на основе изложенного в данном учебном пособии материала целесообразно подготовить ин-

дивидуальное пособие по каждой лабораторной работе, предложенных к выполнению студентам в конкретном вузе.

Приведенные далее описания можно дополнить:

- общетеоретическими вопросами по теме работы (систематизация и обобщение нужных разделов лекционного курса; общие сведения о новом процессе, области его использования и промышленном применении; теоретические основы процесса или процессов подобного типа);
- дополнительными сведениями о лабораторном оборудовании и работе с ним, учитывающими индивидуальное исполнение лабораторной установки;
- некоторыми вопросами техники безопасности при работе на конкретном оборудовании в конкретном помещении;
- ссылками на дополнительные литературные источники и справочный материал, доступные в конкретном вузе.

Конечно, не следует забывать о высокой подготовке преподавателей к процессу обучения студентов на поставленной лабораторной работе и собственному владению лабораторным оборудованием.

# Гетерогенные процессы

## Работа 1. Обжиг сульфидной цинковой руды

### 1. Цель работы

Исследование основных закономерностей гетерогенного процесса в системе «газ–твердое» на примере обжига сульфидной цинковой руды.

Исследование включает в себя следующие этапы:

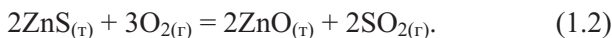
1. Определение влияния технологических параметров на эффективность процесса.
2. Определение наблюдаемой скорости процесса.
3. Определение лимитирующей стадии процесса.

### 2. Теоретическая часть

Гетерогенные химические процессы с участием твердых веществ широко распространены в химической промышленности и металлургии. Одной из разновидностей таких процессов является взаимодействие между газообразным и твердым веществами с образованием газообразных и твердых продуктов:



К процессам такого типа относятся восстановление металлов из оксидов, хлорирование руд черных и цветных металлов, сжигание твердых топлив с образованием шлаков. Примером этого типа реакций служит обжиг сульфидной цинковой руды:



Гетерогенный химический процесс «газ–твердое» (1.1) рассмотрен в учебнике [1], разд. 4.5.3 — модель «с невзаимодействующим ядром».



[ . . . ]