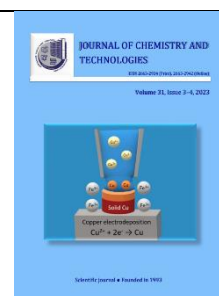




Journal of Chemistry and Technologies

pISSN 2663-2934 (Print), ISSN 2663-2942 (Online).

journal homepage: <http://chemistry.dnu.dp.ua>



UDC 378+66.011

CHEMICAL TECHNOLOGY TEXTBOOKS: A BRIEF HISTORICAL OVERVIEW

Michael A. Podzharsky

Oles Honchar Dnipro National University, 72, Gagarin Ave., Dnipro 49010, Ukraine

Received 2023; accepted 2023; available online 25 January 2024

Abstract

The author, who is a lecturer in chemical technology conducted a retrospective of Ukrainian and Russian-language textbooks on chemical technology published over the past seventy years, and analyzed the content of the most famous English-language books on this topic. The purpose of the work was to help colleagues navigate the large amount of educational literature that has been made so far. The author compares the content of classic books on General Chemical Technology published in the Soviet and post-Soviet periods, highlighting their advantages and disadvantages, and providing some information about the authors. Similar information was provided for books written by professors at leading universities around the world. The author believes that it is time to start using the latest developments of Western colleagues in the educational process of Ukrainian universities along with the usual educational literature. This will undoubtedly contribute to the growth of the real level of competencies of our graduates and, ultimately, to the rise of the Ukrainian chemical industry to the world level.

Keywords: General chemical technology; Processes and apparatuses of chemical technology; General theory of processes and apparatuses of chemical technology; Chemical Engineering; teaching; textbooks.

ПІДРУЧНИКИ З ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ: КОРОТКИЙ ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД

Михайло А. Поджарський

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72, Дніпро, 49010, Україна

Анотація

Автор, викладач хімічної технології, провів ретроспективу україно-, російськомовних підручників з хімічної технології, виданих за останні сімдесят років, а також проаналізував зміст найбільш відомих англійських книг з цієї тематики. Метою роботи було допомогти колегам зорієнтуватися у великому масиві навчальної літератури, який сформувався на теперішній час. Автор навів порівняння змісту «класичних» книг з загальною хімічною технологією, виданих у радянський та пострадянський час, звернув увагу на їх переваги та недоліки, надав деяку інформацію про авторів. Подібну інформацію наведено і для книг, написаних викладачами провідних університетів світу. Автор вважає, що настав час починати використовувати в освітньому процесі українських вишів поряд зі звичною навчальною літературою новітні розробки західних колег. Це, безумовно, сприятиме зростанню реального рівня компетентностей наших випускників і, зрештою, підйому української хімічної галузі до світового рівня.

Ключові слова: Загальна хімічна технологія; Процеси та апарати хімічної технології; Загальна теорія процесів і апаратів хімічної технології; Хімічна інженерія; викладання; підручники

*Corresponding author: e-mail: podzharsky@ua.fm

© 2023 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v31i4.290197

Вступ

В ході підготовки викладання курсу Загальної хімічної технології ЗХТ, зрештою як і будь-якої дисципліни, перед викладачем постає питання вибору підручників, за допомогою яких він створюватиме цей курс. Простіше за все використати ті, за якими навчався сам, та посібники, написані власноруч. Але більш відповідальним було б витратити певний час на опрацювання деякої кількості книг, які знаходяться за межами цього вузького кола.

Звісно, всі підручники мають певні особливості: вони видані в різний час, у різних країнах, їх автори мали або мають різні наукові інтереси. Деякі написані досить давно і здаються застарілими. Але кожен має головне – власну точку зору авторів на тематичну спрямованість підручників, спосіб подачі матеріалу. Саме порівняння та поєднання цих поглядів з урахуванням сучасного стану справ спроможне створити синергійний ефект, що буде сприяти як покращенню наповнення розроблюваного лекційного курсу, так і розумінню дисципліни самим викладачем.

Опрацювання великої кількості навчальної літератури потребує певних зусиль. Надати допомогу в цьому – мета цієї статті. В ній проведено порівняння тематичної наповненості найбільш відомих підручників, які знаходяться у полі зору автора. Якщо якісь книги не потрапили у цей невеликий огляд, автор буде вдячний читачам за доповнення матеріалу.

Методика дослідження

Аналіз тематичного наповнення підручників з Загальної хімічної технології проводилося за їх змістом, який наведений у відповідному розділі. Зміст україно- та російськомовних видань зведений у таблицю, яка знаходиться за цими посиланнями: <https://drive.google.com/file/d/1do05VAsKQPbMy6q-K9aGJSoi00160G3g/view?usp=sharing>.

Таблиця формувалася таким чином, щоб рубрики різних книг з однаковою або схожою тематикою знаходилися в одному рядку. Порядок проходження тем в різних книгах не збігається. Тому деякі рубрики доводилося переміщати. За зразок був взятий зміст підручника С. І. Вольфовича [1; 2] (див. далі), який був першим у цій тематиці. Порядок рубрик інших книг приводився у відповідність до нього.

Зміст англomовних підручників зведений в архів, який знаходиться за цим посиланням: <https://drive.google.com/file/d/1dwTrOYBa5vLkfmCFebzLWvSTlmlqmyzw/view?usp=sharing>

Результати та їх обговорення

У таблиці 1 наведено порівняння змісту україно- та російськомовних підручників. Знак «-» означає відсутність висвітлення теми у даному підручнику. Кількість знаків «+» указує на ступінь повноти висвітлення теми. Звісно, ці оцінки відображають суб'єктивну думку автора, читачі мають право оцінювати по-іншому.

Двотомний підручник «Общая химическая технология», написаний двома групами авторів під керівництвом видатного вченого, уродженця України, академіка, професора Семена Ісааковича Вольфовича (Вольфович С. І., Егоров А. П., Эпштейн Д. А. Общая химическая технология / под ред. С. И. Вольфовича. – М.–Л.: Госхимиздат, 1953 Т. 1. – 632 с.; Общая химическая технология / С. И. Вольфович и др.; под ред. С. И. Вольфовича. – М.: Госхимиздат, 1959, Т. 2. – 850 с.) [1; 2] можна вважати дійсно енциклопедією тогочасних хімічних технологій. В ньому, хоч у стиснутому вигляді, але досить інформативно описані практично всі відомі на час написання технології виробництва хімічних продуктів. А дані про деякі, наприклад, такі як технологія ядерних процесів, в інших підручниках взагалі відсутні. Хоча багато з того матеріалу на сьогодні тою чи іншою мірою застаріло, але теоретична основа, принципи створення технологічних схем і основних апаратів досі актуальні. За умови певного оновлення викладена інформація може бути використана в освітньому процесі.

До недоліку підручника С. І. Вольфовича можна віднести дуже скромну подачу теоретичного матеріалу.

Підручник С. І. Вольфовича, що був першим у галузі, на певний час став зразком, на який не могли не зважати інші автори. Доценти Київського державного університету імені Т. Г. Шевченка Андрій Іванович Гончаров і Іван Петрович Середа створили підручник «Хімічна технологія» (Гончаров А. І., Середа І. П. Хімічна технологія : Підручник. – К.: Вища шк., 1979. Т. 1. – 288 с.; Гончаров А. І., Середа І. П. Хімічна технологія : Підручник. – К.: Вища шк., 1980. Т. 2. – 280 с) [3; 4].

Comparison of the content of Ukrainian and Russian-language textbooks

Таблиця

Порівняння змісту україно- та російськомовних підручників

		[1; 2]	[3; 4]	[5; 6]	[7]	[8]	[9]	[10; 11]	[12]
1	Загальні поняття. Роль і місце хімічної промисловості в економіці. Класифікація хімічних виробництв і технологічних процесів. Хімічна технологія як наука	++	++	++	+	-	++++	+	+
2	Основні задачі, історія та тенденції розвитку хімічної промисловості	++	++	++	-	-	-	++	-
3	Основні поняття і визначення. Основні закономірності хімічної технології. Поняття про хіміко-технологічний процес	-	++	+	++	++	++	++	++
4	Фізико-хімічні основи хіміко-технологічних процесів. Критерії ефективності хіміко-технологічних процесів		+						++
5	Математичне моделювання як основний метод розрахунку і проектування хіміко-технологічних процесів	-	++	+	++	-	+++	++	-
6	Термодинаміка хімічних перетворень. Рівновага в технологічних процесах та способи її зміщення. Термодинамічні розрахунки.	++	++	++	++	+++	+	++	+++
7	Кінетика хімічних перетворень. Способи збільшення швидкості хіміко-технологічних процесів			+++	++	+++	-	++	+++
8	Основні поняття про хімічний реактор. Процес в хімічному реакторі. Основи моделювання хімічних реакторів	-	-	-	+	+++	+++	+++	+++
9	Хімічні реактори с ідеальною структурою потоку в ізотермічному режимі	-	-	++	+	+++	+++	+++	+++
10	Теплоперенос і неізотермічні процеси в хімічних реакторах	-	-	-	+	+++	++++	+++	+++
11	Хімічні реактори з неідеальною структурою потоків	-	-	-	-	+++	++++	-	-
12	Розподіл часу перебування в хімічному реакторі	-	-	-	+	+++		-	-
13	Промислові хімічні реактори	-	-	-	-	-	+++	-	++
14	Гомогенні хіміко-технологічні процеси	-	-	++	+	-	+++	+	+
15	Гетерогенні некаталітичні процеси	-		+++	++	+++	++++	+++	+++
16	Каталітичні хіміко-технологічні процеси	-		+++	+++	++	+++	++	++
17	Принципи розроблення хімічних виробництв або хіміко-технологічних систем	-	-	++	-	-	+++	-	++++ +
18	Організація хіміко-технологічного процесу: створення схеми, вибір параметрів процесу, вибір апаратури	-	-	-	++++	-	-	+++	-
19	Обладнання хімічного виробництва. Основні поняття про процеси та апарати хімічної технології	-	+	-	-	-	-	-	+
20	Гідромеханічні процеси	-	+	-	-	-	-	-	
21	Теплові процеси та апарати	-	+	-	+	-	-	-	
22	Масообмінні та механічні процеси	-	+	-	+	-	-	-	
23	Сировинна база хімічної промисловості	+++	++	-	+++	++	+++	+++	+
24	Енергетика хімічної промисловості	+	+	-	++	++	++	+++	+
25	Вода в хімічній промисловості	++	++	-	+	+	+++	++	+
26	Повітря у хімічній промисловості	-	-	-	-		-	-	-
27	Переробка палива	++	-	-	-	-	-	-	-
28	Хімічне перероблення твердих палив	++	++	++	+++	-	++	-	-
29	Переробка нафти та газів	+++	+++	+	+++	+++	+++	++	++++
30	Газифікація твердого палива	+++	+	-	-	-	+	-	-
31	Виробництво водню, азоту і кисню	++++	++++	+++	-	+++	+++	-	-
32	Технологія аміаку	+++	+++		+++	+	+	++++	+
33	Виробництво нітратної кислоти	++++	++++	+++	++++	+	+++	++++	+
34	Виробництво сульфатної кислоти	++++	++++	++	++++	+	++++	++++	+
35	Технологія солей та мінеральних добрив	++	++	++	++	+	+	-	+
36	Виробництво азотних добрив	+++	++	+	+	-	++++	-	-
37	Виробництво калійних добрив	-	+	-	+	-	++	-	-
38	Фосфорні добрива та фосфорна кислота	+	+++	+	+	-	+++	-	+
39	Інші добрива	++	-	-	++	-	-	-	-
40	Технологія содових продуктів	++	++	++	++	-	++	-	-
41	Електрохімічні виробництва	++	++	++	+	-	+	-	-
42	Виробництво хлориду водню і хлоридної кислоти	++	+	+	+	-	++	-	-
43	Електроліз розплавів	++	-	+	-	-	-	-	-
44	Електротермічні виробництва	++	+	-	-	-	-	-	-
45	Виробництво карбідів	+++	++	-	-	-	-	-	-
46	Виробництво фосфору і фосфорної кислоти	++	+	-	-	-	++	-	-
47	Технологія силікатів: скла і в'язучих матеріалів	++	+++	++	-	-	++++	-	-

		[1; 2]	[3; 4]	[5; 6]	[7]	[8]	[9]	[10; 11]	[12]
48	Технологія силікатів: виробництво кераміки і вогнетривких матеріалів	+++	++		-	-	++	-	-
49	Основи металургії	+++	+	+	-	-	-	-	-
50	Виробництво чорних металів	++	++	+	-	-	-	-	-
51	Виробництво кольорових металів	+++	+++	+	-	-	-	-	-
52	Виробництво рідкісних металів	+++	++++		-	-	-	-	-
53	Технологія ядерних процесів	++	-	-	-	-	-	-	-
54	Ядерні процеси та апарати	+++	+	-	-	-	-	-	-
55	Продукти ядерних реакцій	+++	-	-	-	-	-	-	-
56	Технологія основного органічного синтезу. Сировина і продукти. Основні процеси	+++++	+++	++	-	-	+	-	-
57	Синтези на основі окису вуглецю	++++	++	+	+	++	++	-	-
58	Синтези на основі парафінових вуглеводнів	++++	-	-	+	-	-	-	-
59	Синтези на основі олефінів	+++++	++	++	+	-	++	-	-
60	Синтези на основі ацетилену	+++++	++	+	+	-	++	-	-
61	Синтези на основі ароматичних вуглеводнів	+++++	-	-	+	-	-	-	-
62	Окислення	+++	-	-	-	-	-	-	-
63	Галогенування	+++	-	-	-	-	-	-	-
64	Сульфування	++	-	-	-	-	-	-	-
65	Нітрування та амінування	++	-	-	-	-	-	-	-
67	Виробництво деяких продуктів тонкого органічного	+	++	-	-	-	-	-	-
68	Виробництво барвників	+++++		-	-	-	-	-	-
69	Високомолекулярні сполуки	++++	++	++	+++	-	++	-	-
70	Виробництво та застосування целюлози	++	-	+	-	-	-	-	-
71	Виробництво хімічних волокон	++++	++	+	-	-	-	-	-
72	Виробництво пластичних мас	++++	+++	+	++	-	++++	-	+
73	Виробництво каучуку і гуми	++++	++	+	+	-	-	-	-
74	Виробництво лакофарбових матеріалів і клеїв	++++	-	-		-	-	-	-
75	Біотехнологічні виробництва	-	-	-	+	++	-	-	+++
76	Науково-дослідна, експериментальна і проектна робота в хімічній промисловості	+	+	-	-	-	-	-	
77	Хімічна технологія та захист довкілля	-	-	-	-	+++ ++	-	-	++

У ньому охоплення технологій майже таке ж, як у його попередника, але матеріал осучаснений і поданий більш стисло, що полегшує його сприйняття. На відміну від підручника І. С. Вольфовича ширше поданий теоретичний матеріал – хімічні термодинаміка і кінетика – і обговорюються питання моделювання та оптимізації технологічних процесів. Безумовною перевагою підручника А. І. Гончарова та І. П. Середи є наявність в ньому великого розділу, в якому викладені основні процеси та апарати хімічної технології – те, чого немає в жодному іншому підручнику по ЗХТ. Зазвичай цей матеріал викладається в курсі окремої дисципліни, але його присутність надає підручнику універсальності. Мабуть, тому в його назві відсутнє слово «загальна».

Недоліком підручника можна вважати відсутність матеріалу про теорію хімічних реакторів. Проте двотомник А. І. Гончарова й І. П. Середи й досі є актуальним. Це універсальний підручник, придатний для підготовки інженерів хіміків-технологів за будь-якою освітньою програмою.

Підручник «Общая химическая технология», написаний групою авторів під керівництвом професора Івана Петровича Мухльонова (І частину писали: І. П. Мухльонов, А. Я. Авербух, Е. С. Тумаркіна, І. Е. Фурмер, в ІІ частині до них додалися Д. А. Кузнецов і А. Г. Амелін) (Общая химическая технология: Учебник для вузов / И. П. Мухленов и др. 4-те изд. – М.: Высшая шк., 1984. Т. 1: Теоретические основы химической технологии. – 256 с.; Общая химическая технология: Учебник для вузов / И. П. Мухленов и др. – М.: Высшая шк., 1977. Т. 2: Важнейшие химические производства. – 288 с.) [5; 6] – це лаконічне і зрозуміле викладення теоретичних положень хімічної технології та технологій виробництва хімічних продуктів. Сформульоване поняття про хіміко-технологічний процес (ХТП). Дуже конкретно поданий теоретичний матеріал щодо хімічної рівноваги та швидкості хімічних процесів. Викладені основи теорії хімічних реакторів: розглянуті ідеальні моделі, їх порівняння, принципи вибору типу реактора, температурні режими та усталеність роботи, відмінності реальних реакторів від ідеальних.

Застосований системний підхід – хімічне виробництво розглядається як цілісна хіміко-технологічна система (ХТС), описані способи моделювання ХТС. Докладно описана організація гомогенних, гетерогенних і гетерогенно-каталітичних ХТП. Дані про найважливіші хімічні виробництва наведені не так широко, як у попередніх двох підручниках – автори сконцентрувалися на технологіях, найважливіших для тогочасної економіки тієї країни.

Матеріал поданий гарною, зрозумілою мовою. Текст дуже зручний для підготовки конспектів лекцій. Існують чотири видання першого тому і три видання другого.

Паралельно з цим І. П. Мухльонов в складі іншої авторської групи (І. П. Мухльонов, А. Є. Горштейн, Е. С. Тумаркіна, В. Д. Тамбовцева) видав підручник «Основы химической технологии» (Основы химической технологии: Учебник для студентов вузов / И. П. Мухленов и др.; под ред. И. П. Мухленова. 3-е изд. Перераб и доп. – М.: Высшая шк., 1983. – 335 с.) [7], який фактично є оновленим і скороченим варіантом попереднього двотомника. Книга мала чотири видання. Четверте, яке вийшло у 1991 р., як написано в анотації, значно доповнено порівняно з третім і перероблено згідно з розвитком технічного прогресу. Серед авторів В. Д. Тамбовцеву замінив Н. В. Кузічкін.

Наступний підручник «Общая химическая технология» (Общая химическая технология: учебное пособие / под ред. А. Г. Амелина. – М.: Химия, 1977. – 400 с.) [8] був написаний під керівництвом уродженця України видатного вченого, провідного спеціаліста у галузі виробництва сульфатної кислоти, професора Анатолія Гавриловича Амеліна. Його співавторами були співробітники кафедри Загальної хімічної технології МХТІ ім. Д. І. Менделєєва, яку він очолював: професор Афанасій Іванович Малахов, доценти Є. І. Зубова і Володимир Миколайович Зайцев. Підручник у той час вважався найкращим у даній тематиці. Автори виявили неабияку педагогічну майстерність, щоб викласти складний теоретичний матеріал у доступній формі. І хоча було тільки одне видання підручника, бо передчасна кончина основних авторів завадила подальшій роботі над ним, за його допомогою було підготовлено багато поколінь кваліфікованих хіміків-технологів. У 2015 році книга була перевидана у Єкатеринбурзі (Общая химическая технология: учебное пособие / под ред. А. Г. Амелина. – Екатеринбург: АТП, 2015. – 400 с.)

[9]. Судячи з бібліографічних даних, це видання стереотипне або препринте.

Треба віддати належне поколінню науковців і викладачів 60–70-х років минулого століття. Це були професіонали найвищого класу, високоерудовані, цілком віддані своїй справі. Саме вони заклали науково-методичні основи загальноінженерних дисциплін, за якими й досі проводиться навчання студентів-технологів. Ця основа у тому чи іншому вигляді використана авторами російсько- та україномовних підручників, виданих пізніше.

Підручник «Общая химическая технология» (Кутепов А. М., Бондарева Т. И., Беренгартен М. Г. Общая химическая технология. 3-е изд. – М.: Академкнига, 2004. – 528 с.) [10] написаний академіком Алексієм Митрофановичем Кутеповим, професорами Тетяною Івановою Бондаревою і Михаїлом Георгійовичем Беренгартеном. Всі троє – лауреати премій в галузі науки, техніки та освіти, автори сотень наукових праць, видатні спеціалісти саме у напрямку теоретичних основ хімічної технології. Останнє обумовило зміст та наповнення підручника, в якому на академічному рівні висвітлені теоретичні питання хімічної технології. Найважливіші: термодинаміка і кінетика хімічних перетворень, хімічні реактори з ідеальною та неідеальною структурою потоку, теплоперенос і неізотермічні процеси в хімічних реакторах, розподіл часу перебування в реакторі. Розділ «Промислові хіміко-технологічні процеси» – це ілюстрація застосування теоретичних положень хімічної технології для організації виробництв з випуску найважливішої хімічної продукції. Технологій наведено відносно небагато, але їх опис характеризується повнотою та інформативністю. У великому розділі «Хімічна технологія й охорона навколишнього середовища» описані процеси та апарати, призначені для очищення газоподібних та рідких промислових викидів.

Книга написана зрозуміло, містить велику кількість інформативних ілюстрацій. Може бути використана для поглибленого вивчення хімічної технології на магістерському рівні. Підручник був виданий тричі.

Мабуть, найкращим українським підручником у цій галузі є книга «Загальна хімічна технологія», авторами якої є заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор Національного університету «Львівська політехніка» Віктор Теофілович Яворський,

професори того ж університету Тамара Вікторівна Перекупко, Зіновій Орестович Знак і доцент Людмила Василівна Савчук (Загальна хімічна технологія : Підручник / В. Т. Яворський та ін. – Л. : Вид-во нац. ун-ту «Львів. Політехніка», 2005. 552 с.) [11].

Підручник містить максимум інформації, необхідної для підготовки кваліфікованого хіміка-технолога: основні закономірності хімічної технології, засновані на розгляді системи процесів у хімічному реакторі й понятті про хіміко-технологічний процес; поняття про моделі та моделювання ХТП і ХТС; рівновага хімічних процесів та кінетика гомогенних, гетерогенних та каталітичних процесів; широко подана теорія хімічних реакторів; описи основних типів промислових реакторів; питання опису та створення ХТС. Друга частина книги, яка містить приклади хіміко-технологічних процесів, за змістом ненабагато поступається підручникам [1, 2]. Але наведений матеріал відповідає стану галузі на час її написання.

Книга поєднує широту охоплення проблематики з простотою подачі матеріалу, академічний рівень знань – зі зрозумілістю їх викладення. Ілюстрації якісні та інформативні. Книга є різнобічним підручником, придатним для підготовки хіміків-технологів за будь-якою освітньою програмою. Після 2005 року книга перевидавалась ще тричі: у 2009, 2014 і 2021 роках.

У мережі Інтернет можна знайти двотомник «Общая химическая технология», виданий Тамбовським державним технічним університетом у 2004 і 2006 роках (Леонтьева А. И., Брянкин К. В. Общая химическая технология: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. Т. 1. – 108 с.; Общая химическая технология: учебное пособие / К. В. Брянкин та ін. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. Т. 2. – 172 с.) [12;13]. Автори: професор А. І. Леонтьева, доценти К. В. Брянкін і В. С. Орехов. Книги відзначаються якістю виконання – добре форматований чіткий текст, з душею виконані ілюстрації. Автори явно були натхненні підручником А. М. Кутєпова. Їх твір великою мірою його повторює. А місцями, особливо у її другій частині, можна знайти скопійовані фрагменти тексту. Схоже, автори ставили задачу осучаснити відомий підручник, поліпшити, зробити його більш зрозумілим. Це їм значною мірою вдалося.

Видатний вчений, хімік-технолог, професор РХТУ ім. Менделєєва Володимир Сергійович

Бесков є автором підручника «Общая химическая технология» (Бесков В. С. Общая химическая технология: учебник для вузов. – М.: Академкнига, 2006. – 452 с.) [14]. Це дуже якісний підручник, придатний, у першу чергу, для підготовки спеціалістів-теоретиків, які займатимуться моделюванням процесів в хімічних реакторах, створенням нових хімічних виробництв.

Книга має суттєву перевагу, яка полягає в наявності великого розділу, присвяченого хіміко-технологічним системам. У ньому описані принципи системного і структурного аналізу хімічного виробництва, описи стану ХТС, способи синтезу ХТС і її підсистем з метою максимізації ефективності виробництва.

Технології виробництва хімічних продуктів подані скромно, очевидно, їх мета – лише проілюструвати практичне застосування викладеного теоретичного матеріалу.

Книга є творчим переосмисленням більш раннього підручника, написаного разом з В. С. Сафроновим (Бесков В. С., Сафронов В. С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: Учебник для вузов. – М.: Химия, 1999. – 472 с.) [15]. Через смерть співавтора у В. С. Бєскова виникли проблеми з доопрацюванням матеріалу, тому зміст книги дещо відрізняється від прототипу. Наприклад, розділ, присвячений захисту довкілля вийшов сильно скороченим.

Як бачимо, з часом наповнення радянських та пострадянських підручників змінюється – від чисто практичного у підручнику С. І. Вольфовича до переважно теоретичного у А. М. Кутєпова і В. С. Бєскова. Загальна хімічна технологія перетворюється з описової дисципліни в теоретичну.

Всі ці книги можна вважати класичними. Автори підручників і навчальних посібників з Загальної хімічної технології, виданих згодом, певною мірою на них спиралися.

Український підручник «Теоретические основы химической технологии», написаний З. М. Царьовою і Є. І. Орловою (Царева З.М., Орлова Е.И. Теоретические основы химической технологии: Учебное пособие. – Киев: Вища шк., 1986. – 260 с.) [16], – це якісна, суто теоретична праця, цікава тим, хто хоче присвятити себе науковій діяльності та розраховує зайнятися складенням і аналізом моделей ХТП і ХТС. Книга містить необхідний для цього теоретичний матеріал, гарно викладений і добре систематизований.

Ті ж автори, а також Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ написали «Основы теории химических

реакторов: компьютерный курс» (Основы теории химических реакторов: компьютерный курс: Учебник для студ. химико-технологических спец. / З. М. Царева и др.; ред. З. М. Царева. – Харьков: ХГПУ, 1997. – 624 с.) [17]. Звісно, для моделювання реакторів вони використовували обчислювальні можливості середини 90-х років, але надані ними алгоритми створення моделей заслуговують уваги й у наш час.

Книгу «Технология химической промышленности» її автори – викладачі кафедри управління персоналом і економіки праці Донецького національного університету А. Д. Бондаренко, Ю. А. Гохберг, А. М. Паршиков (Бондаренко А. Д., Гохберг Ю. А., Паршиков А. М. Технология химической промышленности: учебное пособие. 2-е изд. – Донецк: Донец. национальный университет, 2002. – 143 с.) [18] – позиціювали її як навчальний посібник для студентів економічних спеціальностей. Матеріал поданий спрощено, доступно для гуманітаріїв. Теоретичні положення хімічних процесів і опис хімічних реакторів наведені стисло, в одному ряду з іншими процесами та апаратами хімічної технології. Ілюстрації виконані неякісно. Книга придатна як допоміжний посібник для швидкої підготовки до екзаменів з загальноінженерних дисциплін.

Деякі підручники призначені для студентів, які навчаються за спеціальностями, суміжними з хімічною технологією. Наприклад, «Общая химическая технология» Б. П. Кондаурова, В. И. Александрова, А. В. Артемова (Кондауров Б. П. Общая химическая технология: Учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б. П. Кондауров, В. И. Александров, А. В. Артемов – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 336 с.) [19] рекомендована як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальністю «Технологія шкіри та хутра». В стиснутому вигляді там є вся необхідна теорія, після кожного розділу окрім контрольних запитань є ще й задачі.

Свою книгу «Хімічна технологія» доцент Житомирського державного університету ім. І. Франка Р. О. Денисюк (Хімічна технологія: підручник / Р. О. Денисюк. – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2017. – 344 с.) [20] написав «для викладачів вищих та професійно-технічних навчальних закладів, студентів природничих і хімічних спеціальностей, вчителів шкіл та широкого кола читачів». Це така собі «хімічна технологія-light», в якій навчальний матеріал зведений до науково-

популярного формату. Посібник корисний для використання у профорієнтаційній роботі.

Слід згадати про існування книг (Общая химическая технология / под ред. В. И. Ксензенко: Учебник. – М.: Издательство МГОУ, 2001. – 239 с.; Швалев Ю. Б., Коробочкин В. В. Общая химическая технология. Химические процессы и реакторы: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 180 с.; Швалев Ю. Б. Общая химическая технология. Промышленные химико-технологические процессы. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.– 192 с.) [21; 22; 23]. На думку автора, вони мають характер компіляцій, хоча і якісних.

У більшості підручників питання створення та оптимізації хіміко-технологічних процесів та систем розбираються переважно теоретично. В книгах (Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов / И. М. Кузнецова и др. под ред. Х. Э. Харлампиدي.: Учебник. — 2-е изд., перераб. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 448 с.; Общая химическая технология. Основные концепции проектирования химико-технологических систем: учебник / И. М. Кузнецова и др. под ред. Х. Э. Харлампиدي. – 2-е изд., перераб. – Санкт-Петербург: Лань, 2014. – 381 с.) [24; 25] ці аспекти хімічної технології розглядаються практично, на рівні методології проектування хімічних виробництв.

Приблизно так виглядає загальна картина з україно- та російськомовними підручниками. Але сьогодні особливий інтерес становлять сучасні англомовні книги.

Слід зазначити наступне. По-перше: автори розглянутих далі підручників прагнуть до універсальності – всі аспекти хімічної технології розглядаються всебічно і комплексно, без штучного розділення дисципліни, такі як Загальна хімічна технологія, Процеси та апарати хімічної технології, Контроль і керування хіміко-технологічними процесами, Економіка, організація та управління хімічних підприємств. Існує одна тематична направленість – Chemical Engineering. По-друге: матеріал у підручниках подається на найвищому академічному рівні без знижок на можливі пробіли у базовій підготовці студента. Мається на увазі, якщо людина вступила до університету, то вона здатна зрозуміти матеріал. Звісно, з допомогою викладача.

Мабуть, на перше місце серед розглянутих книг слід поставити британське багатотомне

видання «Coulson & Richardson's Chemical Engineering» (Coulson & Richardson's Chemical Engineering // J. M. Coulson, J. F. Richardson, J. H. Harker, J. R. Backhurst. Sixth edition. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. – V1: Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer. – 895 p.; Richardson J. F. Coulson & Richardson's Chemical Engineering // J. F. Richardson, J. H. Harker, J. R. Backhurst. Fifth edition. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. – V2: Particle Technology and Separation Processes. – 1183 p.; Coulson & Richardson's Chemical Engineering // J. M. Coulson, J. F. Richardson, J. H. Harker, J. R. Backhurst; ed J. F. Richardson, D. G. Peacock. Third edition. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 1994. – V3: Chemical & Biochemical Reactors & Process Control. – 860 p.; Coulson & Richardson's Chemical Engineering // J. F. Richardson, J. R. Backhurst, J. H. Harker. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. – V1: Solutions to the Problems in Chemical Engineering. – 332 p.; Coulson & Richardson's Chemical Engineering // J. F. Richardson, J. R. Backhurst, J. H. Harker. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. – V2 and 3: Solutions to the Problems in Chemical Engineering. – 340 p.; Sinnott R. K. Coulson & Richardson's Chemical Engineering // R. K. Sinnott. Fourth edition. – Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. – V6: Chemical Engineering Design. – 1055 p.) [26–31]. Ініціатори та основні автори проекту: John Metcalfe Coulson – почесний професор хімічної інженерії університету Ньюкасл-апон-Тайн, John Francis Richardson – професор, завідувач кафедри хімічної інженерії університет Уельсу, Соунсі, J. H. Harker, J. R. Backhurst – професори кафедри хімічної та технологічної інженерії університету Ньюкасл-апон-Тайн. У редакції 3-го тому брав участь професор Лондонської школи фармації D. G. Peacock. Останній, шостий том написав професор хімічного машинобудування університету Соунсі Ray K. Sinnott, який зробив кар'єру в галузі дизайну та розробки, працюючи в кількох великих компаніях, серед яких DuPont та John Brown.

Це не тільки підручник, але й повний довідник, призначений для підтримки тих, хто пов'язаний з хімічною галуззю упродовж всієї їх кар'єри, оскільки він охоплює всі ключові теми хімічної технології.

У першому тому проекту всебічно розглянуті теоретичні питання потоку рідини в трубах та відкритих каналах у взаємозв'язку енергії та імпульсу. Розглянута течія стисливих рідин та багатофазних сумішей,

процеси змішування та перекачування рідин. Теорія теплопередачі та масообміну наведена із застосуванням до типових технологічних процесів. Окремий розділ присвячений імпульсу тепло- і масопереносу.

У другому томі розглянутий рух твердих частинок у рідині і рідини крізь зернисті шари. Описані практично всі технологічні процеси, які відбуваються за участю твердих частинок: седиментація, псевдозрідження, фільтрація рідини, мембранне розділення, відцентрова сепарація, вилуговування, дистиляція, поглинання газів, екстракція, випаровування, кристалізація, сушка, адсорбція, іонний обмін, хроматографічне розділення.

Третій том присвячений теорії хімічних реакторів. Описані загальні принципи проектування реактора, витратні характеристики реакторів, реактори для процесів газ-рідина і газ-рідина-тверде, інженерія біохімічних реакцій, датчики для вимірювання та контролю, управління процесом.

Наступні два томи присвячені розв'язанню прикладних задач гідродинаміки, тепло- і масообміну.

Автор шостого тому Ray K. Sinnott, на написання якого він витратив чотири роки, зосередився на ключових аспектах проектування хімічних виробництв: основи матеріальних та енергетичних балансів; технологічна схема, трубопроводи та запірна арматура, розрахунок витрат та оцінка проекту, конструкційні матеріали, проектна інформація та дані щодо проектування, безпека та запобігання втратам, вибір обладнання, специфікація та проектування, розділювальні колони, теплообмінне обладнання, механічне проектування технологічного обладнання, загальні міркування щодо місця розташування підприємства. Матеріал поданий широко і повно, але без надмірної деталізації, таким чином, щоб сформувати у читача правильне розуміння головних принципів проектування технологічного обладнання і підприємства загалом.

Проект «Coulson & Richardson's Chemical Engineering» – це не просто шість книг, що стоять на полицях. Це живий організм, який невпинно розвивається. Великий колектив спеціалістів постійно працює над його оновленням і осучасненням. Як написав у вступі до шостого видання другого тому голова цього колективу Raj Chhabra: «Серія книг Coulson & Richardson прислужилася

науковцям, студентам та професіоналам, що працюють, з часу їхньої першої публікації понад 50 років тому. Це свідчить про їхню надійність і, до певної міри, позачасовість» [32].

Посібник «Chemical Technology From Principles to Products» (Jess A. Chemical Technology From Principles to Products // A. Jess, P. Wassersch. Second edition. – Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2020. – 842 p.) [33], авторами якого є професор, завідувач кафедри при Байройтському університеті Andreas Jess і професор Університету Фрідріха-Олександра Ерлангена-Нюрнберга Peter Wasserscheid (Німеччина), призначений як для підготовки інженерів-хіміків, що мають намір розвивати промислову кар'єру, так і для тих, хто мріє про науково-дослідницьку діяльність. Це всеосяжне та інтегроване видання, що охоплює більшість сучасних методів проектування хімічних процесів, фоліант вагою 2.8 кілограма. Окрім викладення, власне, технічних аспектів автори торкаються глобальних економічних, соціальних, екологічних проблем сьогодення, на вирішення яких впливає сучасний розвиток хімічної промисловості. Останнє особливо цінне для виховання всебічно ерудованого спеціаліста-технолога.

Книга складається з шести великих блоків: вступ, хімічні аспекти промислової хімії, Робота теплового та механічного агрегатів, інженерія хімічних реакцій, сировина, продукція, екологічні аспекти та витрати хімічної технології, приклади промислових процесів. Кожен з цих блоків можна вважати окремим тематичним підручником, що містить багато розділів та підрозділів з вельми докладним викладенням матеріалу. В останньому блоці наведений опис сучасних версій технологічних рішень виробництва найважливіших хімічних продуктів: аміаку та кислот, коксу та сталі, продуктів нафтопереробки, деяких продуктів «важкого» та «тонкого» органічного синтезу та деяких інших.

Наступні два видання присвячені важливим теоретичним аспектам хімічної інженерії.

Книгу «Fundamentals of Chemical Engineering Thermodynamics» (Dahm K. D. Fundamentals of Chemical Engineering Thermodynamics // K. D. Dahm, D. P. Visco Jr. – Stamford, USA: Cengage Learning, – 2015. – 768 p.) [34] написали професор Університету Роуен (США), спеціаліст з викладання хімічної інженерії Kevin D. Dahm і професор кафедри хімічної,

біомолекулярної та корозійної інженерії Університету Аркон (США) Donald P. Visco Jr.

Головна чеснота цієї книги полягає у тому, що її автори – досвідчені викладачі, тобто спеціалісти саме у викладанні хімічної інженерії. Вона написана і проілюстрована так, щоб зробити складний матеріал інженерної термодинаміки доступним для вчорашніх школярів. Всі розділи починаються з мотиваційних прикладів, які одразу дають «прив'язку» теоретичних питань до розв'язання конкретних інженерних задач, і роблять зрозумілим цільову спрямованість викладання.

Книга «Fundamentals of Chemical Reaction Engineering» (Davis M. E. Fundamentals of Chemical Reaction Engineering / M. E. Davis, R. J. Davis. – New York, USA: McGraw-Hill, 2003. – 368 p.) [35] – спеціалізоване видання, присвячене інженерному застосуванню хімічної кінетики та організації процесів в хімічних реакторах. Її написали професор хімічної інженерії Каліфорнійського технологічного інституту, член Національних Академії наук, Інженерної та Медичної академії США Mark E. Davis і професор Університету Вірджинії (США), видатний спеціаліст з каталізу Robert J. Davis. Основний зміст книги: основи кінетики для інженерії хімічних реакцій, реактори для вимірювання швидкості реакції, каталіз, вплив транспортних обмежень на швидкість реакцій з твердим каталізатором, мікрокінетика каталітичних реакцій, неідеальна течія в реакторах, неізотермічні реактори, реактори для гетерогенних реакцій. Матеріал викладений стисло, без зайвих подробиць, доступною «інженерною мовою».

Слід приділити увагу виданням, присвяченим проектуванню хімічних виробництв.

Книгу «Chemical Process Design and Integration» (Smith R. Chemical Process Design and Integration / R. Smith. – West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2005. – 687 p.) [36] написав професор Robin Smith, директор Центра інтеграції процесів в Школі хімічної інженерії й аналітичних наук Манчестерського університету, видатний спеціаліст в галузі дослідження, моделювання та інтеграції процесів виробництва. В передмові він пише: «Ця книга присвячена проектуванню та інтеграції хімічних процесів, увага в ній акцентується на концептуальних питаннях, які є фундаментальними для створення процесу... наголошується як на проектуванні

та виборі етапів окремих операцій, так і на їх інтеграції для формування ефективного процесу».

Книга починається з роз'яснення природи хімічного процесу, обговорення його економіки та методів оптимізації. Далі всебічно обговорюються питання вибору реакторів і сепараторів, послідовність процесів дистиляції, реакцій розділення і рециркуляції. Багато уваги приділено розробці мереж теплообмінників, теплової інтеграції реакторів, дистиляційних колон, випарників і сушарок. Описане проектування систем парогенерації та охолодження. Окремі розділи присвячені екологічному дизайну, системам водопостачання і техніці безпеки. У фінальних розділах обговорюється технологія чистого процесу і загальна стратегія проектування та інтеграції хімічних процесів.

У підручнику «Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design» (Towler G. Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design / G. Towler, R. Sinnott. – Burlington, USA, San Diego, USA, London UK: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2008. – 1245 p.) [37] особливо цінним є те, що його автори – спеціалісти-практики. Gavin Towler має 30-річний досвід розробки процесів і продуктів у хімічній та паливній промисловості, є головним науковим співробітником відділу технологій сталого розвитку компанії Honeywell. Роботу у бізнесі він суміщає з викладанням Північно-Західному університеті та Національному університеті Сінгапуру. Другий автор, Ray K. Sinnott, уже знайомий за авторством [31]. І це не випадково – книга вперше була опублікована саме як 6-й том проекту Coulson & Richardson's Chemical Engineering. Ось що пишуть автори у передмові: «Адаптуючи цю книгу для північноамериканського ринку, ми дотримувалися тієї ж філософії, прагнучи створити всеосяжний посібник з проектування технологічних установок, який можна було б використовувати як частину типової навчальної програми з хімічної інженерії, надаючи посилання на більш детальні та спеціалізовані тексти, де це необхідно. Процедури проектування можна використовувати без необхідності посилання на інші книги, дослідницькі статті або вебсайти, що цитуються». Тобто в цьому випадку ми маємо більш «просунуту», самостійну версію вже відомого підручника.

І, нарешті, не можна не згадати про настільну книгу хіміків-технологів – фундаментальний довідник «Perry's Chemical Engineers' Handbook» (Perry's Chemical Engineers' Handbook / ed. by D. W. Green, M. Z. Southard. 9th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2019. – 2274 p.) [38]. Він побачив світ у 1934 році. Носить ім'я першого редактора – John H. Perry, доктора філософії, фізико-хіміка, який працював інженером-хіміком в E. I. du Pont de Nemours & Co. Помічником редактора був W. S. Calcott з DuPont. Довідник перевидавався ще вісім разів, і кожне видання мало оновлену редакцію. Останнє, дев'яте, було відредаговане почесним заслуженим професором хімічної та нафтової інженерії Канзаського університету Dr. Don W. Green і доцентом кафедри хімічної та нафтової інженерії того ж університету Marylee Z. Southard.

Теми, що розглядаються в книзі: фізичні властивості хімічних речовин та інших матеріалів; математика; термодинаміка; тепловіддача; перенесення маси; гідродинаміка; хімічні реактори та кінетика хімічних реакцій; транспортування та зберігання рідини; теплообмінне обладнання; психрометрія і випарне охолодження; дистиляція; газопоглинання; рідинно-рідинна екстракція; адсорбція та іонний обмін; операції газ – тверде тіло, рідина – тверде тіло та тверде тіло – тверде тіло; біохімічна інженерія; поводження з відходами; конструкційні матеріали; економіка процесів та кошторис витрат; безпека процесу та багато інших [39].

Звісно, в цьому тексті наведений далеко не повний огляд англійських книг – це лише невелика частка навчальної літератури, що використовується в провідних університетах світу. Наприклад, за посиланням [40] можна ознайомитись з літературою, яку рекомендують студентам хімікам-технологам Массачусетського інституту технологій, а за [41] – знайти книжкові новинки, які щойно вийшли з друку.

Висновки

Сьогодні для організації викладання Загальної теорії процесів і апаратів хімічної технології, яку в українських вишах традиційно читають у складі окремих дисциплін, таких як Загальна хімічна технологія, Процеси та апарати хімічної технології та ін., доступна певна кількість якісних підручників. По-перше, це добре

знайомі, перевірені часом україно- та російськомовні книги, видані за радянських часів, а також написані пізніше. По-друге, це посібники, написані викладачами провідних університетів світу, за якими навчено кілька поколінь професіоналів, що забезпечили домінування західних компаній на ринку хімічної продукції.

Автор в жодному разі не прагне применшити достоїнства старих, заслужених підручників. Але час – вимагає змін. Треба починати використовувати в освітньому процесі поряд з літературою, до якої ми звикли, новітні розробки західних колег. Тим більше, що можливості для цього є. Це,

безумовно, сприятиме зростанню реального рівня компетентностей наших випускників і, зрештою, підйому української хімічної галузі до світового рівня.

Слід додати, що книги західних колег містять докладні відомості про новітні тенденції удосконалення ХТП задля збереження довкілля. Важливість екологічного аспекту в сучасному світі підкреслена, наприклад, тим, що йому приділено велику увагу в Стратегії сталого розвитку ООН. Вивчення цього матеріалу, безумовно, сприятиме швидшій інтеграції українських спеціалістів в світову професійну спільноту.

References

- [1] Volfkovich, S. I., Yegorov, A. P., Epshteyn, D. A. (1953). [General chemical technology (Vol. 1)]. Moscow-Leningrad, USSR: Goskhimizdat (in Russian).
- [2] Volfkovich, S. I., Rogovin, Z. A., Rudenko, Yu. P., Shmanenkov, I. V. (1959). [General chemical technology (Vol. 2)]. Moscow, USSR: Goskhimizdat (in Russian).
- [3] Ghoncharov, A. I., Sereda, I. P. (1979). [Chemical technology (Vol. 1)]. Kyiv: Vyshha shkola (in Ukrainian).
- [4] Ghoncharov, A. I., Sereda, I. P. (1980). [Chemical technology (Vol. 2)]. Kyiv: Vyshha shkola (in Ukrainian).
- [5] Mukhlenov, I. P., Averbukh, A. Ya., Tumarkina, Ye. S., Furmer, I. E. (1984). [General chemical technology (Vol. 1)]. Moscow, USSR: Vysshaya shkola (in Russian).
- [6] Mukhlenov, I. P., Averbukh, A. Ya., Kuznetsov, D. A., Amelin, A. G., Tumarkina, Ye. S., Furmer I. E. (2002). [General chemical technology (Vol. 2)]. Moscow, USSR: Vysshaya shkola (in Russian).
- [7] Mukhlenov, I. P., Gorshtein, A. Ye., Tumarkina, Ye. S., Tambovtceva, V. D. (1983). [Fundamentals of Chemical Technology]. Moscow, USSR: Vysshaya shkola (in Russian).
- [8] Amelin, A. G., Malakhov, A. I., Zubova, I. Ye., Zaycev, V. N. (1977). [General chemical technology]. Moscow, USSR: Khimia (in Russian).
- [9] Amelin, A. G., Malakhov, A. I., Zubova, I. Ye., Zaycev, V. N. (2015). [General chemical technology]. Yekaterinburg, Russia: ATP (in Russian).
- [10] Kutepov, A. M., Bondareva, M. G., Berengarten, M. G. (1990). [General chemical technology]. Moscow, USSR: Akademkniga (in Russian).
- [11] Javorskyj, V. T., Perekupko, T. V., Znak, Z. O., Savchuk, L. V. (2005). [General chemical technology]. Lviv, Ukraine: Ljvivs'jka politekhnika (in Ukrainian).
- [12] Leonteva, A. I., Bryankin, K. V. (2004). [General chemical technology (Vol. 1)]. Tambov, Russia: Tambov State Technical University Publishing House (in Russian).
- [13] Bryankin, K. V., Utrobin, N. P., Orekhov, V. S., Dyachkova, T. P. (2006). [General chemical technology (Vol. 2)]. Tambov, Russia: Tambov State Technical University Publishing House (in Russian).
- [14] Beskov, V. S. (2006). [General chemical technology]. Moscow, Russia: Akademkniga (in Russian).
- [15] Beskov, V. S., Safronov, V. S. (1999). [General chemical technology and basics of industrial ecology]. Moscow, Russia: Khimia (in Russian).
- [16] Tsareva, Z. M., Orlova, Ye. I. (1986). [Theoretical bases of chemical technology]. Kyiv: Vyshha shkola (in Russian).
- [17] Tsareva, Z. M., Tovazhnyansky, L. L., Orlova Ye. I. (1986). [Fundamentals of chemical reactor theory: computer course]. Kharkiv: Kharkiv State Pedagogical University (in Russian).
- [18] Kondaurou, B. P. (2005). [General chemical technology]. Moscow, USSR: Akademia (in Russian).
- [19] Bondarenko, A. D., Gokhberg, Yu. A., Parshikov, A. M. (1977). [Chemical Engineering Technology]. Donetsk, Ukraine: Donetsk National University (in Russian).
- [20] Denysjuk, R. O. (2017). [Chemical technology]. Zhytomyr, Ukraine: Ivan Franko Zhytomyr State University (in Ukrainian).
- [21] Ksenzenko, V. I. (2001). [General chemical technology]. Moscow, Russia: MGOU Publishing House (in Russian).
- [22] Shvalev, Yu. B., Korobochkin, V. V. (2008). [General chemical technology. Chemical processes and reactors]. Tomsk, Russia: TPU Publishing House (in Russian).
- [23] Shvalev, Yu. B. (2010). [General chemical technology. Industrial chemical-technological processes]. Tomsk, Russia: TPU Publishing House (in Russian).
- [24] Kuznetsova, I. M., Kharlampidi, Kh. E., Ivanov, V. G., Chirkunov, E. V. (2013). [General Chemical Engineering. Methodology of design of chemical-technological processes]. St. Petersburg, Russia: Lan (in Russian).
- [25] Kuznetsova, I. M., Kharlampidi, Kh. E., Ivanov V. G., Chirkunov, E. V. (2014). [General Chemical Engineering. Basic concepts of chemical engineering systems design]. St. Petersburg, Russia: Lan (in Russian).
- [26] Coulson, J. M., Richardson, J. F., Harker, J. H., Backhurst, J. R. (1999). Coulson & Richardson's Chemical Engineering: Fluid Flow (Vol. 1): Heat Transfer and Mass Transfer. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [27] Richardson, J. F., Harker, J. H., Backhurst, J. R. (2002) Coulson & Richardson's Chemical Engineering (Vol. 2): Particle Technology and Separation Processes. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [28] Coulson, J. M., Richardson, J. F., Harker, J. H., Backhurst, J. R. (1994). Coulson & Richardson's Chemical Engineering (Vol. 3): Chemical & Biochemical Reactors & Process Control Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [29] Richardson, J. F., Backhurst, J. R., Harker, J. H., (2001). Coulson & Richardson's Chemical Engineering (Vol. 1): Solutions to the Problems in Chemical Engineering. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [30] Richardson, J. F., Backhurst, J. R., Harker, J. H., (2002). Coulson & Richardson's Chemical Engineering (Vol. 2 and 3): Solutions to the Problems in Chemical Engineering. Oxford: Butterworth-Heinemann.

- [31] Sinnott, R. K. (2005). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering: Chemical Engineering Design*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [32] Redirecting. Home Page
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101098-3.09993-5>.
- [33] Jess, A., Wassersch, P. (2020). *Chemical Technology From Principles to Products*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
- [34] Dahm, K. D., Visco, Jr. D. P. (2015). *Fundamentals of Chemical Engineering Thermodynamics* Stamford, USA: Cengage Learning.
- [35] Davis, M. E., Davis, R. J. (2003). *Fundamentals of Chemical Reaction Engineering*. New York, USA: McGraw-Hill.
- [36] Smith, R. *Chemical Process Design and Integration* (2005). West Sussex, UK: John Wiley & Sons.
- [37] Towler, G., Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. Burlington, USA, San Diego, USA, London UK: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier.
- [38] Green, D. W., Southard, M. Z. (Eds.) *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (2019). New York: McGraw-Hill Education.
- [39] Contributors to Wikimedia projects. Perry's Chemical Engineers' Handbook – Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*
https://en.wikipedia.org/wiki/Perry's_Chemical_Engineers'_Handbook.
- [40] Integrated Chemical Engineering II
<https://ocw.mit.edu/courses/10-491-integrated-chemical-engineering-ii-spring-2006/pages/readings/>
- [41] The MIT Press Bookstore
<https://mitpressbookstore.mit.edu>.