

## **Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Методи досліджень хіміко-технологічних систем і процесів»**

У підготовці магістрів за спеціальністю “Хімічні технології та інженерія” дисципліна «Методи досліджень хіміко-технологічних систем і процесів» є важливим світоглядним курсом, мета якого полягає в наданні теоретичних і практичних знань з методів математичного планування експерименту, моделювання хіміко-технологічних процесів на різних масштабних рівнях хіміко-технологічних систем, основ системного аналізу в хімічній технології, розрахунку, аналізу, синтезу, оптимізації і керуванню процесами хіміко-технологічних систем.

Практичні заняття з даної дисципліни – важливий етап підготовки студентів до самостійного рішення інженерних задач. Її виконання дозволить студентам закріпити і поглибити отримані в процесі навчання теоретичні і практичні знання.

Метою практичних занять з дисципліни «Методи досліджень хіміко-технологічних систем і процесів» є поглиблення та закріплення знань про методологію експерименту, математичного моделювання і системного аналізу в хімічній технології, а також формування вмій та навичок моделювання хіміко-технологічних процесів та розрахунків їх технологічних показників і матеріальних балансів.

### **Практична робота № 1 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

Моделювання ХТП здійснюється під час їх дослідження, на стадії проектування нових виробництв і для визначення оптимальних параметрів технологічного режиму діючих апаратів. Воно створює можливість переходу від дослідницької роботи до проектної, від лабораторних досліджень до реалізації процесу у виробничих умовах.

Моделлю може служити математичний опис (тобто система математичних рівнянь) конкретного виробництва або його стадії, розв'язуванням якої знаходять потрібні величини. Моделлю можуть служити також апарати невеликих розмірів, наприклад, лабораторна установка чи окремий лабораторний реактор. Отже, розрізняють модель і об'єкт моделювання, тобто апарат цієї самої конструкції, але невеликих розмірів.

Застосовуються різні методи моделювання хіміко-технологічних процесів і апаратів. Їх орієнтовно можна розділити на три типи, а саме:

- математичне моделювання;
- фізичне моделювання;
- моделювання методом масштабного переходу на підставі певних часткових співвідношень (метод масштабування).

**Математичне моделювання.**

Математичне моделювання охоплює низку послідовних операцій, першою і найголовнішою з яких є відтворення процесу у вигляді математичних залежностей, що зв'язують між собою головні параметри впливу на цей процес з урахуванням граничних умов. На підставі цих математичних залежностей складається алгоритм (програма) розв'язання отриманої системи рівнянь.

Другий етап математичного моделювання полягає в тому, що за допомогою алгоритму змінюються різні параметри, вибираються оптимальні умови, які забезпечують найефективніший перебіг процесу (одержання найкращих показників цього процесу – найвищого виходу цільового продукту, найбільшої селективності, найвищих ступенів перетворення сировини і використання енергії тощо).

Завершальною операцією математичного моделювання є перевірка відповідності одержаних на моделі значень об'єкта моделювання. Для цього процес здійснюється спочатку на збільшеній установці, а потім і у виробничих умовах за визначених на моделі оптимальних параметрів процесу, що служить підставою для порівняння одержаних показників. Якщо ці показники для об'єкта моделювання значно відрізняються від одержаних значень на моделі, вносяться відповідні корективи в модель, і процес знову прораховується за допомогою алгоритму.

#### **Фізичне моделювання.**

Фізичне моделювання передбачає вивчення ХТП безпосередньо на моделі, тобто в апаратах різних розмірів. При цьому експериментально визначається вплив фізичних параметрів і лінійних розмірів моделі на показники процесу. Експеримент здійснюють безпосередньо на системі, яку досліджують, а одержані дослідні дані обробляють складанням критеріальних рівнянь, використовуючи загальний метод подібності або метод аналізу розмірностей. Ступінь впливу кожного параметра визначається експериментально і виражається показниками степенів біля критеріїв, до яких входить цей параметр.

Необхідно зауважити, що для складних систем і процесів одержують великий набір критеріїв, які іноді стають несумісними. Процес, що досліджується, доводиться відтворювати в декілька етапів і поступово переходити від менших масштабів до більших, закономірно змінюючи лінійні розміри апаратів на підставі теорії подібності.

Порівняно з математичним фізичне моделювання має нижчу точність. Це зумовлюється насамперед тим, що в критеріальному рівнянні шуканий критерій визначається як добуток критеріїв. Насправді ж відповідний показник описується складною системою диференціальних рівнянь, що охоплюють множину факторів, які впливають. І нарешті, найсуттєвішим недоліком методу фізичного моделювання є той, що критеріальні рівняння можна застосовувати лише в тих межах зміни параметрів, які досліджувались на модельних установках.

#### **Метод масштабування.**

Моделювання методом масштабного переходу на підставі певних часткових співвідношень застосовується переважно тоді, коли немає ні повного

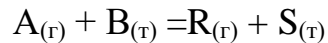
математичного опису процесу, ні критеріальних рівнянь. Для моделювання в цьому випадку використовують відповідні технологічні параметри подібних або аналогічних виробництв. Метою масштабування є досягнення в більшому масштабі (на об'єкті) оптимальних умов, одержаних в меншому масштабі (на моделі). При цьому, як і у випадку математичного та фізичного моделювання, використовують теорію подібності. Для досягнення повної подібності процесів необхідно дотримуватись геометричної і гідродинамічної подібності, подібності процесів масообміну і теплопередачі, а також хімічної подібності. Слід зауважити, що масштабування є найменш точним методом моделювання і вимагає великого досвіду та інтуїції від дослідника і проектанта.

### **Завдання для практичної роботи**

- 1.** Гранульований колчедан подається у піч випалу з рухомим шаром колчедану. Фракційний склад колчедану наступний (масові частини): 10% частинок з  $R_0 = 3$  мм; 20% – частинки з  $R_0 = 4$  мм; 70% – частинки з  $R_0 = 6$  мм. Середній час перебування частинок в зоні реакції – 6 хвилин, час повного згорання частинок, відповідно, 3,5 хвилини, 5 та 8 хвилин. Визначити середній ступінь перетворення колчедану, якщо процес лімітується хімічною реакцією.
- 2.** Гранульований колчедан подається у піч випалу з рухомим шаром колчедану. Фракційний склад колчедану наступний (масові частини): 10% частинок з  $R_0 = 3$  мм; 20% – частинки з  $R_0 = 4$  мм; 70% – частинки з  $R_0 = 6$  мм. Середній час перебування частинок в зоні реакції – 6 хвилин, час повного згорання частинок, відповідно, 3,5 хвилини, 5 та 8 хвилин. Визначити середній ступінь перетворення колчедану, якщо процес лімітується зовнішньою дифузиею.
- 3.** Гранульований колчедан подається у піч випалу з рухомим шаром колчедану. Фракційний склад колчедану наступний (масові частини): 10% частинок з  $R_0 = 3$  мм; 20% – частинки з  $R_0 = 4$  мм; 70% – частинки з  $R_0 = 6$  мм. Середній час перебування частинок в зоні реакції – 6 хвилин, час повного згорання частинок, відповідно, 3,5 хвилини, 5 та 8 хвилин. Визначити середній ступінь перетворення колчедану, якщо процес лімітується внутрішньою дифузиею.
- 4.** Випал ZnS здійснюється в трубчастому реакторі, який обертається. Частинки твердої речовини рухаються в реакторі зі швидкістю 10 см/хв. Відомо, що при цих умовах за 1 хвилину ступінь перетворення ZnS складає 70%. Визначити довжину реактора, що забезпечую ступінь перетворення вихідної сировини 95%, якщо випал протікає у кінетичній області.
- 5.** Випал ZnS здійснюється в трубчастому реакторі, який обертається. Частинки твердої речовини рухаються в реакторі зі швидкістю 10 см/хв. Відомо, що при цих умовах за 1 хвилину ступінь перетворення ZnS складає 70%. Визначити довжину реактора, що забезпечую ступінь перетворення вихідної сировини 95%, якщо процес випалу лімітується зовнішньою дифузиею.

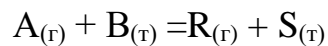
**6.** Випал ZnS здійснюється в трубчастому реакторі, який обертається. Частинки твердої речовини рухаються в реакторі зі швидкістю 10 см/хв. Відомо, що при цих умовах за 1 хвилину ступінь перетворення ZnS складає 70%. Визначити довжину реактора, що забезпечую ступінь перетворення вихідної сировини 95%, якщо процес випалу лімітується внутрішньою дифузією.

**7.** Тверді частинки розміром 10 мм реагують в газовому потоці за 600 хв на 80% за наступною реакцією:



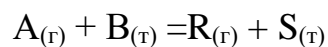
Процес відбувається у зовнішньодифузійній області. Який час перебування речовини потрібен для досягнення ступеня перетворення 95%, якщо гранулометричний склад твердої суміші наступний: 10% – частинки розміром 5 мм, 15% – частинки розміром 6 мм, 75% – частинки розміром 8 мм?

**8.** Тверді частинки розміром 10 мм реагують в газовому потоці за 600 хв на 80% за наступною реакцією:



Процес відбувається у внутрішньодифузійній області. Який час перебування речовини потрібен для досягнення ступеня перетворення 95%, якщо гранулометричний склад твердої суміші наступний: 10% – частинки розміром 5 мм, 15% – частинки розміром 6 мм, 75% – частинки розміром 8 мм?

**9.** Тверді частинки розміром 10 мм реагують в газовому потоці за 600 хв на 80% за наступною реакцією:

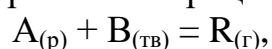


Процес відбувається у кінетичній області. Який час перебування речовини потрібен для досягнення ступеня перетворення 95%, якщо гранулометричний склад твердої суміші наступний: 10% – частинки розміром 5 мм, 15% – частинки розміром 6 мм, 75% – частинки розміром 8 мм?

**10.** Випал FeS<sub>2</sub> здійснюється в трубчастому реакторі. Частинки твердої речовини рухаються в реакторі зі швидкістю 8 см/хв. Відомо, що при цих умовах за 1 хвилину ступінь перетворення FeS<sub>2</sub> складає 75%. Визначити довжину реактора, що забезпечую ступінь перетворення вихідної сировини 95%, якщо випал протікає у внутрішньодифузійній області.

**11.** Випал FeS<sub>2</sub> здійснюється в трубчастому реакторі. Частинки твердої речовини рухаються в реакторі зі швидкістю 8 см/хв. Відомо, що при цих умовах за 1 хвилину ступінь перетворення FeS<sub>2</sub> складає 75%. Визначити довжину реактора, що забезпечую ступінь перетворення вихідної сировини 95%, якщо випал протікає у кінетичній області.

**12.** В реакторі відбувається гетерогенний процес, що описується реакцією:



в якому тверді частинки розміром 10 мм мають ступінь перетворення 90%. Константа швидкості реакції – 0,6 см/хв, коефіцієнт масовіддачі – 0,4 см/хв. В якості рідкої фази використовують сульфатну кислоту концентрацією 80%, а тверда фаза – залізо, густина якого дорівнює 7 г/см<sup>3</sup>. Концентрація C<sub>A0</sub>=0,015 моль/л, C<sub>B0</sub> = 0,125 моль/л. Розрахувати спостережувану константу швидкості

процесу, віднесені до одиниці об'єму твердої фази, якщо час перебування частинок в зоні реакції дорівнює 20 хвилин.

## Практична робота № 2 МАТЕРІАЛЬНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ БАЛАНСИ ХІМІКО- ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Хіміко-технологічний процес розглядається як сукупність перетворень і впливів на речовини та потоки, що відбуваються у хімічному виробництві в цілому, або у його окремих частинах та апаратах. Основою розрахунків ХТП є його матеріальний та тепловий баланси.

**Матеріальний баланс** відображає закон збереження маси речовини. Для усіх речовин, що беруть участь у ХТП, матеріальний баланс може бути записаний за допомогою рівняння, де у лівій частині відображається маса вихідних речовин  $\sum G_{j,вих}$ , а у правій – маси отриманих продуктів  $\sum G_{k,прод}$ :

$$\sum_j^B G_{j,вих} = \sum_k^П G_{k,прод},$$

де  $П, B$  – кількості вхідних та вихідних потоків;  $k, j$  – їх нумерація.

Окрім балансу за усіма речовинами, використовують баланс для окремих компонентів. Для  $i$ -го компонента:

$$G_{i,над} = G_{i,кін} + \Delta G_{i,пер},$$

де  $G_{i,над}$  – маса  $i$ -го компоненту, що надійшов у процес,  $G_{i,кін}$  – маса  $i$ -ої речовини, що залишилось в кінці процесу,  $\Delta G_{i,пер}$  – маса  $i$ -ої речовини, що перетворилася у системі.

Якщо відбувається ряд перетворень, то:

$$\Delta G_{i,пер} = \sum_r^R \Delta G_{i,r},$$

де  $\Delta G_{i,r}$  – зміна кількості  $i$ -ої речовини у  $r$ -ому перетворенні;  $R$  – загальна кількість перетворень.

Декілька перетворень може відбуватися підчас перебігу складної реакції (тоді  $r$  слід віднести до етапу складної реакції) або внаслідок послідовних перетворень (тоді  $r$  слід віднести до червоно перетворення), або в результаті обох цих випадків.

На основі матеріального балансу складається **тепловий баланс**, який відображає закон збереження енергії:

$$\sum q^{ен} + \sum q^{дж} = \sum q^{вин},$$

де  $\sum q^{ен}$  та  $\sum q^{вин}$  – теплота або енергія, що відповідно, вноситься з реагентами та виноситься з продуктами реакції, залишками сировини, включно з витратами;  $\sum q^{дж}$  – енергія джерел, тобто теплота реакцій, що протікають, та

теплота фізичних процесів (випарка та конденсація, розчинення та десорбція, стиснення та розширення (та ін.).

Результати розрахунків матеріального балансу записують у вигляді таблиці (табл.2). Виходячи із умови збереження маси, цифри у рядку «Разом» повинні співпадати. Але через помилку у розрахунках та округлення отриманих результатів ці дані можуть трохи відрізнятись.

Таблиця теплового балансу має аналогічний вигляд таблиці матеріального балансу.

Табл.2. – Форма запису матеріального балансу ХТП.

Надходження (вхід)				Витрата (вихід)			
Речовина	Кількість			Речовина	Кількість		
	кг	м <sup>3</sup>	%		кг	м <sup>3</sup>	%
А				А (залишок)			
В				В (залишок)			
С				R			
				S			
Разом				Разом			

### Задачі з розрахунків балансів

1. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія оливкова - 35, ланолін - 5, емульгатор - 8,4, дистильована вода - 50, консерванти - 1,6.
2. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 200 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 30, бджолиний віск - 7, ланолін - 3, емульгатор - 10, дистильована вода - 47, вітамінний комплекс - 1,4, консерванти - 1,6.
3. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія оливкова - 35, бджолиний віск - 3, ланолін - 2, емульгатор - 10, дистильована вода - 47, вітамінний комплекс - 1,5, консерванти - 1,5.
4. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія оливкова - 30, бджолиний віск - 8, ланолін - 2, емульгатор - 9, дистильована вода - 48, ефірна олія - 0,1, консерванти - 2,9.
5. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 200 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 8, ланолін - 1, емульгатор - 8,

дистильована вода – 50, вітамінний комплекс - 1,3, ефірна олія - 0,2, консерванти - 1,5.

**6.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 10, емульгатор - 7, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,5, консерванти - 1,5.

**7.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 3, ланолін - 7, емульгатор - 7, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, консерванти - 1,6.

**8.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія оливкова - 30, ланолін - 10, емульгатор - 12, дистильована вода - 45, вітамінний комплекс - 1,5, консерванти - 1,5.

**9.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 200 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 2, ланолін - 8, емульгатор - 15, дистильована вода - 42, вітамінний комплекс - 1,5, консерванти - 1,5.

**10.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, бджолиний віск - 27, ланолін - 1, емульгатор - 8, дистильована вода - 50, ефірна олія - 0,1, консерванти - 2,9.

**11.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 250 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 8, ланолін - 2, емульгатор - 7, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, ефірна олія - 0,1, консерванти - 1,5.

**12.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 300 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 8, ланолін - 3, емульгатор - 6, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, ефірна олія - 0,1, консерванти - 1,5.

**13.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 400 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 8, ланолін - 1, емульгатор - 8, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, ефірна олія - 0,1, консерванти - 1,5.

**14.** Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 500 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 8, емульгатор - 9, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, ефірна олія - 0,1, консерванти - 1,5.

15. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 7, емульгатор - 10, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, ефірна олія - 0,1, консерванти - 1,5.

16. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 7, ланолін - 3, емульгатор - 7, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, консерванти - 1,6.

17. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 20, олія оливкова - 10, бджолиний віск - 7, ланолін - 3, емульгатор - 10, дистильована вода - 45,6, консерванти - 1,6.

18. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 10, олія оливкова - 20, бджолиний віск - 6, ланолін - 4, емульгатор - 7, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, ефірна олія - 0,1, консерванти - 1,5.

19. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 100 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 15, олія оливкова - 15, бджолиний віск - 3, ланолін - 6, емульгатор - 8, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, ефірна олія - 0,1, консерванти - 1,5.

20. Розрахувати матеріальний баланс виробництва емульсійного крему потужністю 200 кг/добу за наступною рецептурою (у %): олія мигдальна - 5, олія оливкова - 25, бджолиний віск - 6, ланолін - 4, емульгатор - 7, дистильована вода - 50, вітамінний комплекс - 1,4, ефірна олія - 0,1, консерванти - 1,5.

### Практична робота № 3 ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Технічна досконалість процесу або виробництва визначається його технічними показниками.

**Продуктивність виробництва** визначає кількість продукту, що виготовляється в одиницю часу. Зазвичай вимірюється у тоннах на добу (т/доб.) або тисячі тонн на рік (тис.т/рік), або кілограми на годину (кг/год.). Максимальна продуктивність виробництва є його **потужністю**.

Хімічне виробництво працює 300-330 діб у рік, тобто за виключенням часу на планово-попереджувальні ремонти та можливі аварійні зупинки. Таким чином:



$$П \text{ [т/доб]} \approx 0,3 * П \text{ [тис.т/рік]}.$$

При розрахунку годинної продуктивності приймають, що виробництво працює 8000 годин у рік, тобто:

$$П \text{ [т/доб]} \approx П \text{ [тис.т/рік]} / 8.$$

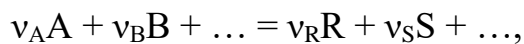
**Витратний коефіцієнт** визначає витрату сировини, води, палива або електроенергії на одиницю виробленої продукції:

$$K = G_{\text{вих}} / G,$$

де  $G_{\text{вих}}$  – витрати сировини, палива, енергії на виготовлення продукту у кількості  $G$ .

Витратні коефіцієнти можуть вимірюватись у тоннах сировини на тонну продукту, в метрах кубічних газу на тонну продукту, у кіловат-годинах електроенергії на тонну продукту і т.п. Витратний коефіцієнт відображає ефективність даної технології за ресурсо- та енергозбереженню по сировині і часто є визначаючим показником ефективності процесу.

**Теоретичний витратний коефіцієнт** враховує стехіометричні співвідношення а якими відбувається перетворення вихідних речовин у цільовий продукт. Для цього використовують стехіометричне рівняння хімічного перетворення:



яке показує, в яких співвідношеннях речовини вступають в хімічну взаємодію одне з одним. Якщо перетворилось  $N_A$  молей речовини  $A$ , то витрачається  $N_A(v_B/v_A)$  молей речовини  $B$  і утворюється  $N_A(v_R/v_A)$  молей продукту  $R$  і  $N_A(v_S/v_A)$  молей продукту  $S$ .

**Практичний витратний коефіцієнт** враховує виробничі втрати на усіх стадіях процесу, а також побічні реакції, якщо вони є. Якщо  $E_{\text{втр}}$  – втрати продукту (у частках від речовини, що витрачається), то:

$$K_{\text{пр}} / K_{\text{т}} = 1 + E_{\text{втр}}.$$

**Вихід продукту** від теоретичної величини є показником досконалості процесу і показує відношення кількості отриманого продукту  $G$  до його теоретичної кількості  $G_{\text{теор}}$  яке може бути отримані з тієї ж самої сировини при ідеальній організації процесу:

$$E = G / G_{\text{теор}}$$

Величину  $G_{\text{теор}}$  визначають з рівноважного перетворення вихідної речовини за умовами процесу або також можна визначити за повним перетворенням вихідної речовини в продукт (утворення побічних продуктів виключено). При визначенні виходу продукту враховується неповнота перетворення вихідної речовини, а у визначенні практичного витратного коефіцієнта – як неповнота перетворення, так і виробничі втрати вихідної речовини.

**Задачі з розрахунків технологічних показників**

1. Розрахувати витратний коефіцієнт технічного ацетальдегіду, який містить 98% ацетальдегіду, для отримання 1 т оцтової кислоти в процесі його окиснення за наступною реакцією:  $\text{CH}_3\text{CHO} + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$ , якщо вихід кислоти за альдегідом становить 89%.
2. Розрахувати витратні коефіцієнти за сировиною у виробництві 1 т фосфату амонію за наступною реакцією:  $\text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{NH}_4\text{OH} \rightarrow (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ . Концентрація фосфорної кислоти дорівнює 58%, вміст води в аміаку – 2%.
3. Негашене вапно містить 94%  $\text{CaO}$ , 12%  $\text{CO}_2$  та 4,8% домішок. Вапно отримують випалом вапняку, який містить 89%  $\text{CaCO}_3$ . Оксид карбону(IV) у негашеному вапні отримують через присутність в ньому карбонатів  $\text{CaCO}_3$ , кількість яких визначає ступінь випалу вапняку. Визначити витратний коефіцієнт вапняку на 1 т вапна заданого складу і ступінь випалу вапняку.
4. Для задач з розрахунку матеріальних балансів ХТП (див. завдання до практичної роботи № 2) розрахувати:
  - а) *продуктивність виробництва* (у кілограмах на годину (кг/год.), тоннах на добу (т/доб.) та тисячах тонн на рік (тис.т/рік));
  - б) *теоретичний і практичний витратні коефіцієнти* (у тоннах сировини на тонну продукту);
  - в) *втрати продукту* (у частках від речовини, що витрачається).

## Рекомендована література

### Основна література:

1. Химико-технологические системы: Синтез, оптимизация, управление / Под ред. И.П. Мухленова – Л.: Химия, 1986. – 424 с.
2. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1985. – 448 с.
3. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1982. – 288 с.
4. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологи. – Киев: Вища школа, 1973. – 279 с.
5. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологи. Основные положения, примеры и задачи – Киев: Вища школа, 1976. – 219 с.
6. Рузинов Л.П., Слободникова Р.И. Планирование эксперимента в химической технологи. – М.: Химия, 1980. – 280 с.
7. Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. Общая химическая технология. Учебник. – М.: Высш. шк., 1990. – 520 с.
8. Общая химическая технология. Учебное пособие / Под ред. проф.А.В. Амелина. – М.: Химия, 1977. – 400 с.
9. Царева З.М., Орлова Е.И. Теоретические основы химической технологии. Учебное пособие. – Киев: Вища шк., 1986. – 260 с.
10. Расчеты химико-технологических процессов. Учебное пособие / Под ред. И.П. Мухленова. – Л.: Химия, 1982. – 248 с.
11. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии. – М.: Химия, 1999. – 470 с.
12. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. – М.: Химия, 1969. – 622 с.
13. Кафаров В.В., Глебов М.К. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: «Высшая школа», 1991. – 400 с.