

**Контрольно-оценочные материалы  
по учебной дисциплине «Теоретические основы химической технологии»  
на 2018-2019 учебный год**

1. Сформулируйте понятие и опишите, что подразумеваются под «химико-технологическим процессом». Перечислите и опишите функциональные блоки химико-технологического процесса.
2. Опишите, на каком законе основано составление материального баланса химико-технологического процесса. Перечислите цели и основные принципы составления материального баланса химико-технологического процесса.
3. Опишите, на каком законе основано составление энергетического баланса химико-технологического процесса. Перечислите цели и основные принципы составления теплового баланса химико-технологического процесса.
4. Технологические критерии эффективности расчетов химико-технологических процессов (производительность, интенсивность, степень превращения, выход продукта, селективность).
5. Задачи предварительного термодинамического анализа химического процесса. Опишите, как производятся расчеты тепловых эффектов химических реакций по закону Гесса.
6. Как оценивается термодинамическая вероятность протекания химических и физико-химических процессов.
7. Представление об обратимых химических реакциях. Расчет равновесия обратимых реакций по термодинамическим данным и его задачи.
8. Расчет равновесного состава обратимых химических реакций по константе равновесия.
9. Законы смещения равновесия. Принцип Ле Шателье.
10. Понятие об истинной и средней скорости химического процесса. Закон действующих масс. Понятие о константе скорости химической реакции. Перечислите и опишите основные способы увеличения скорости химической реакции.
11. Уравнение Аррениуса и понятие об энергии активации. Энергетический профиль химической реакции.
12. Скорость технологических процессов. Основные формулы для определения скорости гомогенных и гетерогенных процессов. Движущая сила процесса  $\Delta C$ .
13. Технологические схемы.
14. Способы увеличения скорости технологического процесса. Увеличение движущей силы процесса. Увеличение константы скорости процесса. Увеличение поверхности соприкосновения фаз.
15. Перечислите основные требования, предъявляемые к промышлен-

ным реакторам.

16. Опишите модели идеальных реакторов вытеснения, смешения. Модель реактора смешения периодического действия.

17. Реактор идеального вытеснения. Реактор полного смешения.

18. Каскад реакторов полного смешения. Реактор периодического действия.

19. Произведите сравнение характеристик реакторов вытеснения, смешения и периодического действия. Выбор реактора и селективность

20. Опишите температурный режим работы реакторов. Что понимают под устойчивостью работы реакторов.

21. Дайте характеристику гомогенных химических процессов Гомогенные процессы в газовой фазе Гомогенные процессы в жидкой фазе.

22. Основные закономерности гомогенных процессов Особенности реакторного оформления гомогенных процессов.

23. Общая характеристика и механизм гетерогенных процессов. Равновесие гетерогенных процессов. Скорость гетерогенных процессов.

24. Общая характеристика и кинетика гетерогенных некаталитических процессов в системе газ – жидкость. Абсорбция. Десорбция. Равновесие в системе Г – Ж.

25. Основные типы реакторов для проведения процессов в системе Г – Ж.

26. Система газ – твердое. Обжиг. Адсорбция. Типичные технологические процессы.

27. Кинетика процессов в системе газ – твердое. Типичные реакторы. Классификация промышленных печей.

28. Система жидкость – твердое (Ж – Т). Равновесие в системе Ж – Т. Кинетика взаимодействия в системе Ж – Т. Реакторы для процессов в системе Ж – Т.

29. Значение и области применения катализа. Сущность и виды катализа.

30. Гомогенный и гетерогенный катализ.

31. Свойства твердых катализаторов их изготовление. Носители (трегеры), промоторы (активаторы). Методы изготовления катализаторов.

32. Аппаратурное оформление каталитических процессов.

33. Особенности устройства реакторов для проведения каталитических процессов.

34. Реакторы гомогенного и гетерогенного катализа.

35. Виды аппаратов для гетерогенного процесса. Контактные аппараты поверхности контакта. Аппараты с фильтрующим слоем катализатора. Аппараты с фильтрующим слоем катализатора без теплообменных устройств. Аппараты с периодическим подводом и отводом тепла. Полочные и трубчатые контактные аппараты. Аппараты с взвешенным слоем и движущимся слоем катализатора.

36. Производство серной кислоты
37. Синтез аммиака
38. Синтез метилового спирта
39. Производство ацетилена
40. Производство дивинила
41. Коксование каменных углей
42. Производство азотной кислоты
43. Способы передачи тепла. Схемы взаимного движения теплообменяющихся потоков. Средняя разность температур.
44. Влияние различных факторов на величину коэффициента теплоотдачи. Критерий теплового подобия.
45. Передача тепла конвекцией. Критериальные уравнения при передаче конвекцией.
46. Основные виды теплообменных аппаратов принцип их действия. Кожухотрубчатые теплообменники. Теплообменники типа «труба в трубе». Рибойлеры.
47. Теплообменные аппараты воздушного охлаждения.

### **Практическое задание 1**

**Задача 1.** В качестве побочных продуктов при окислении ацетальдегида в уксусную кислоту получаются метилацетат, этилидендиацетат, муравьиная кислота, оксид углерода (2) и др. Рассчитайте массу метилацетата, которая получается в сутки на установке производительностью 2000 кг/ч уксусной кислоты, если в метилацетат превращается 1 % ацетальдегида, а выход уксусной кислоты на стадии окисления составляет 97 % на ацетальдегид.

**Задача 2.** Составьте упрощенный материальный баланс производства этилового спирта прямой гидратацией этилена. Состав исходной парогазовой смеси (в % по объему): этилен – 60, водяной пар – 40. Расчет вести на 1 т этилового спирта. Побочные реакции и давление не учитывать

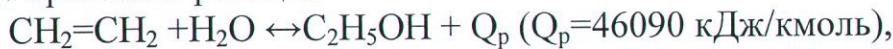
**Задача 3.** Рассчитать расход бензола и пропан-пропиленовой фракции газов крекинга [30% (об.) пропилена и 70% (об.) пропана] для производства 1 т фенола, если выход изопропилбензола из бензола составляет 90% от теоретического, а фенола из изопропилбензола — 93%. Молекулярная масса: бензола — 78, пропилена — 42, пропана—44, фенола — 94.

**Задача 4.** Рассчитать расходный коэффициент природного газа, содержащего 97% (об.) метана, в производстве уксусной кислоты (на 1 т) из ацетальдегида. Выход ацетилена из метана составляет 15% от теоретически возможного, ацетальдегида из ацетилена — 60%, а уксусной кислоты из ацетальдегида — 90% (масс).

**Задача 5.** Составить материальный баланс производства оксида этилена прямым каталитическим окислением этилена воздухом. Состав исходной газовой смеси [% (об.)]: этилен — 3, воздух — 97. Степень окисления этилена 0,5. Расчет вести на 1 т оксида этилена.

**Задача 6.** В барботажный реактор с целью получения этилбензола поступает в час 15000 кг бензола. В процессе алкилирования образуется алкилат, массовая доля этилбензола в котором равна 32 %, а доля бензола 62 %. Определить селективность процесса по этилбензолу, если его степень конверсии равна 31 %.

**Задача 7.** Составьте тепловой баланс реактора синтеза этилового спирта, где протекает реакция



Если исходный газ имеет состав: 40%  $\text{H}_2\text{O}$  и 60%  $\text{C}_2\text{H}_4$ , скорость его подачи в реактор-гидрататор  $2000\text{м}^3/\text{ч}$ , температура на входе 614 К, конверсия за проход этилена 5%. Теплоемкость продуктов на входе и выходе одинакова и равна 27.1 кДж/кмоль. Побочные процессы и продукты не учитывать. Потери теплоты в окружающую среду принимаем 3% от прихода теплоты.

**Задача 8.** 1200 л газовой смеси, содержащей 5% (об.) бензола, пропускают при 20 °С через 0,45 кг активного угля. После насыщения угля парами бензола через него пропускают перегретый водяной пар при 200 °С с целью десорбции бензола. Определить содержание бензола в газе после адсорбции и степень использования его после десорбции.

**Задача 9.** Константа равновесия реакции  $\text{C}_2\text{H}_6 \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$  при температуре 1100 К равна  $K_p = 1.67 \cdot 10^5$  Па. Энталпия реакции  $\Delta H = -144451.4$  Дж/моль. Определите равновесную степень превращения этана при температуре 1000 К и давлении  $p = 1.01 \cdot 10^5$  Па.

**Задача 10.** При некоторой температуре константа скорости реакции  $\text{H}_2(\text{г}) + \text{I}_2(\text{г}) = 2\text{HI}(\text{г})$  равна 0,16 моль/л. Частные порядки по  $\text{H}_2$  и  $\text{I}_2$  совпадают со стехиометрическими коэффициентами в уравнении реакции. Исходные концентрации реагирующих веществ  $C(\text{H}_2) = 0,04$  моль/л,  $C(\text{I}_2) = 0,05$  моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и ее скорость при  $C(\text{H}_2) = 0,03$  моль/л.

**Задача 11.** Рассчитайте, как изменится скорость реакции  $2\text{NO}(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 2\text{NO}_2(\text{г})$ , если: а) уменьшить объем, занимаемый газами, в 2

раза; б) увеличить С(CO) в 3 раза, а С(O<sub>2</sub>) в 2 раза. Частные порядки реакции совпадают с соответствующими стехиометрическими коэффициентами.

**Задача 12.** Во сколько раз увеличится скорость реакции, протекающей в газовой фазе  $C_2Cl_4(g) + Cl_2(g) = C_2Cl_6(g)$ , если температуру повысить от 10 до 100 °C? Температурный коэффициент реакции равен 3.2.

**Задача 13.** Составьте в общем виде кинетическое уравнение реакции  $2CO(g) + O_2(g) = 2CO_2(g)$ . Вычислите во сколько раз изменится скорость прямой реакции при увеличении температуры от 40 до 60°C, если температурный коэффициент реакции равен 4.

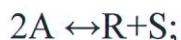
**Задача 14.** Температурный коэффициент протекающей в гомогенной системе реакции  $CH_3CHO(g) = CH_4(g) + CO(g)$  равен 2.5. Вычислите во сколько раз увеличится скорость реакции при изменении температуры от 293 до 333 К. Запишите кинетическое уравнение реакции в общем виде.

**Задача 15.** Рассчитайте среднюю скорость реакции окисления SO<sub>2</sub> в SO<sub>3</sub> на первом слое катализатора, если степень превращения SO<sub>2</sub> в SO<sub>3</sub> составляет 0,67. Исходные концентрации в % по объему: SO<sub>2</sub> – 10%, O<sub>2</sub> – 11%, N<sub>2</sub> – 72%. Константа скорости k=  $2,81 \cdot 10^5$ .

**Задача 16.** Энергия активации реакции 2A+B=2C, протекающей при температуре 1073 К равна E=89700 кДж/моль, понизилась в результате применения катализатора до 59000 кДж/моль. При какой температуре реакция теперь может протекать с той же скоростью? Другие параметры остались неизменными.

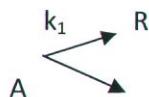
**Задача 17.** Определить объем реактора идеального смешения для реакции протекающего без изменения объема реакционной массы. Если данная реакция A → 2S; порядок реакции n=1; объемный расход исходного вещества G<sub>V</sub> = 0,25 л/мин; начальная концентрация исходного вещества C<sub>A0</sub>= 0,5 моль/л; константа скорости реакции k= 0,15 мин<sup>-1</sup>; степень превращения x<sub>A</sub> = 0,52.

**Задача 18.** Определить объем реактора идеального смешения для обратимой реакции протекающего без изменения объема реакционной массы. Данная реакция



порядок реакции n=2; объемный расход исходного вещества G<sub>V</sub> = 4,8 м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества C<sub>A,0</sub>= 1,5 кмоль/м<sup>3</sup>; константа скорости прямой реакции k<sub>1</sub> =  $2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/(кмоль·с); константа равновесия K<sub>p</sub> = 9; требуемая степень превращения x<sub>A</sub> = 0,8 от равновесной.

**Задача 19.** Определить объем реактора смешения и достигаемую степень превращения вещества A при условии, что производительность (П) по продукту R составляет 4,8 кмоль/ч. объемный расход исходного вещества  $G_V = 100$  л/мин.; начальная концентрация исходного вещества  $C_{A0} = 1,6$  моль/м<sup>3</sup>; константа скорости прямой реакции  $k_1 = 0,28$  л/(моль\*мин.); константа скорости обратной реакции  $k_2 = 0,12$  л/(моль\*мин.). Реакция имеет вид:



**Задача 20.** Рассчитать объем реактора смешения для получения максимального количества продукта R, а также определить селективность и производительность по продукту R. Данная реакция имеет вид:



объемный расход исходного вещества  $G_V = 18$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества  $C_{A0} = 4,8$  моль/л; константа скорости прямой реакции  $k_1 = 5\text{мин}^{-1}$  и  $k_2 = 1,8 \text{ мин}^{-1}$ .

**Задача 21.** Определить производительность реактора по продукту R рассчитать объем реактора идеального вытеснения для полученной производительности, если данная реакция проводиться в РИС-Н. Реакция имеет вид



порядок реакции  $n=2$ ; объемный расход исходного вещества  $G_V = 3,6$  м<sup>3</sup>/ч; начальная концентрация исходного вещества  $C_{A0} = 0,5$  кмоль/м<sup>3</sup>; константа скорости реакции  $k = 2,3$  л/(моль·мин);  $V_{\text{РИС-Н}} = 0,4$  м<sup>3</sup>.

**Задача 22.** Определить, какое количество вещества A можно переработать в РИС – П за сутки при проведении гомогенной жидкофазной реакции в постоянном объеме. Реакция имеет вид  $A \rightarrow R$ ; порядок реакции  $n=1$ ;  $V_{\text{РИС-П}} = 10$  м<sup>3</sup>; время загрузки и выгрузки за одну операцию – 80мин; коэффициент заполнения  $\phi - 0,8$ ; начальная концентрация исходного вещества  $C_{A0} = 20$  кмоль/ м<sup>3</sup>; константа скорости реакции  $k = 0,03 \text{ мин}^{-1}$ ; степень превращения  $x_A = 0,9$ .

**Задача 23.** Объемная скорость подачи этилена в реактор прямой гидратации равна 1900 ч-1, а объемный расход этилена составляет 22000 м3/ч. Определить объем катализатора, необходимый для проведения процесса.

**Задача 24.** При каталитическом крекинге керосина массовая доля газа равна 18% от сырья. Определите массу метана, которая получится из 1 т ке-

росина, если объемные доли компонентов газа крекинга:  $H_2$  – 9,  $CH_4$  – 27,  $C_2H_6$  – 12,  $C_3H_8$  – 3.5,  $C_2H_4$  – 25,  $C_3H_6$  – 15,  $C_4H_8$  – 8.5%.

**Задача 25.** Производительность реактора окисления метанола составляет 3500 кг формалина в час; массовая доля формальдегида в нем равна 37 %. Диаметр сечения аппарата 1,4 м, высота слоя контактной массы 75 мм. Определить производительность 1 кг и 1 контактной массы. Насыпная плотность катализатора равна  $600 \text{ кг}/\text{м}^3$

### Практическое задание 2

**Задача 1.** Вычислить тепловой эффект химической реакции при 298 К  
1) при  $P = \text{const}$ ; 2) при  $V = \text{const}$ .

№ билета	Реакция	№ билета	Реакция
1,23	$4 NO_{\text{г}} + 6H_2O_{(\text{ж})} = 4NH_3 + 5O_2$	13	$C_2H_6 = C_2H_4 + H_2$
3,25	$2H_2 + CO = CH_3OH_{(\text{ж})}$	15	$C_2H_5OH_{(\text{ж})} = C_2H_4 + H_2O_{(\text{ж})}$
5	$CO_2 + H_2 = CO + H_2O_{(\text{ж})}$	17	$CH_3CHO_{(\Gamma)} + H_2 = C_2H_5OH_{(\text{ж})}$
7	$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O_{(\text{ж})}$	19	$C_6H_{6(\text{ж})} + 3H_2 = C_6H_{12}$
9	$2CO_2 = 2CO + O_2$	20	$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O_{(\text{ж})}$
11	$CH_4 + CO_2 = 2CO + 2H_2$		

**Задача 2.** Для указанной реакции при стандартных условиях вычислить: изменение энталпии, изменение энтропии, изменение изобарно-изотермического потенциала и сделать вывод о возможности протекания реакции в данных условиях. Рассчитать константу равновесия для температур 298 К. Сделать вывод о состоянии равновесия.

№ билета	Реакция	№ билета	Реакция
2,24	$4 NO_{\text{г}} + 6H_2O_{(\text{ж})} = 4NH_3 + 5O_2$	14	$C_2H_6 = C_2H_4 + H_2$
4	$2H_2 + CO = CH_3OH_{(\text{ж})}$	16	$C_2H_5OH_{(\text{ж})} = C_2H_4 + H_2O_{(\text{ж})}$
6	$CO_2 + H_2 = CO + H_2O_{(\text{ж})}$	18	$CH_3CHO_{(\Gamma)} + H_2 = C_2H_5OH_{(\text{ж})}$
8	$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O_{(\text{ж})}$	21	$C_6H_{6(\text{ж})} + 3H_2 = C_6H_{12}$
10	$2CO_2 = 2CO + O_2$	22	$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O_{(\text{ж})}$
12	$CH_4 + CO_2 = 2CO + 2H_2$		