

Министерство образования Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Часть II

МАССООБМЕННЫЕ (ДИФФУЗИОННЫЕ) И МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Программа, методические указания и
контрольные работы
для студентов заочного отделения
специальности 170600

Тамбов • Издательство ТГТУ • 2002

УДК 66.0 (076)
ББК Л81-5я73
П78

Утверждено редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
С. И. Дворецкий

П78

Процессы и аппараты пищевых производств: В 2 ч.
Массообменные (диффузионные) и механические процессы:
Программа, метод. указания и контрольные работы / Сост.: В. А.
Набатов, А. Б. Мозжухин, Е. А. Сергеева. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн.
ун-та, 2002. Ч. II. 12 с.

Даны программа и методические указания по изучению гидромеханических и тепловых процессов курса "Процессы и аппараты пищевых производств", контрольные работы и рекомендуемая литература для студентов заочного отделения специальности 170600.

УДК 66.0 (076)
ББК Л81-5я73

© Тамбовский государственный
технический университет (ТГТУ), 2002

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Часть II

**МАССООБМЕННЫЕ (ДИФФУЗИОННЫЕ) И МЕХАНИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ**

• Издательство ТГТУ •

Учебное издание

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Часть II

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Программа, методические указания и контрольные работы

Составители:

Набатов Вячеслав Александрович,
Мозжухин Андрей Борисович,
Сергеева Елена Анатольевна

Редактор В. Н. Митрофанова

Компьютерное макетирование И. В. Евсеевой

ЛР № 020851 от 13.01.99 г. Плр № 020079 от 28.04.97 г.

Подписано к печати 7.03.2002.

Гарнитура Times New Roman. Формат 60×84/16. Бумага газетная. Печать офсетная.

Объем: 0,7 усл. печ. л.; 0,6 уч.-изд. л.

Тираж 50 экз. С. 167.

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

Часть II МАССООБМЕННЫЕ (ДИФфуЗИОННЫЕ) И МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Раздел 1 Массообменные (диффузионные) процессы: перегонка, ректификация, абсорбция, экстрагирование, экстракция, адсорбция, сушка, кристаллизация и мембранные процессы [1].

В данном разделе студент должен изучить методы физико-химического разделения газовых, жидких и твердых систем, основанных на переносе массы вещества (диффузии) из одной фазы в другую через границу раздела фаз. Изучение необходимо начинать с общей теории массопередачи, при этом обратив особое внимание на равновесные зависимости массообменных процессов, законы массопереноса, на механизм переноса массы вещества из одной фазы в другую, движущую силу и коэффициенты скорости массообменных процессов. Необходимо четко представлять и изображать фазовую диаграмму любого массообменного процесса, понимать и уметь показать на ней рабочую и равновесную линии.

При расчете массообменных процессов уметь составлять материальные и тепловые балансы, хорошо усвоить общие методы расчета основных размеров аппарата с помощью коэффициентов массопередачи, числа единиц переноса и высоты единицы переноса, числа ступеней изменения концентраций, моделирование и оптимизацию этих процессов, общую схему расчета массообменного аппарата.

Процесс перегонки и ректификации (система пар-жидкость): определение процесса и применение в пищевой промышленности. Равновесие в системах пар-жидкость и изображение равновесных линий идеальных и неидеальных систем в $X - Y$ и $T - X, Y$ диаграммах. Принципиальная схема процесса ректификации для разделения двухкомпонентных смесей, материальный и тепловой балансы, изображение на фазовой диаграмме рабочих линий процесса ректификации при минимальном, максимальном и оптимальном флегмовых числах, способы определения оптимального флегмового числа. Знать и уметь изображать схемы ректификации многокомпонентных смесей, схемы только с обогащением и только с исчерпыванием, периодической ректификации; схемы процессов разделения, основанные только на разной летучести компонентов смеси; принципиальные конструкции ректификационных аппаратов и их расчет.

Процесс абсорбции (система газ-жидкость): определение процесса и применение в промышленности, равновесие в системах газ-жидкость, закон Генри. Принципиальные схемы абсорбционных процессов, материальный баланс, изображение процесса на фазовой диаграмме $X - Y$. Основные конструкции абсорбционной аппаратуры и методы ее расчета.

Процесс экстрагирования (система жидкость-твердое тело): определение процесса и использование в пищевой технологии; равновесие в системах жидкость-твердое тело, изображение на фазовой диаграмме рабочей и равновесной линии процесса; принципиальные схемы экстрагирования и их изображение на

фазовой диаграмме $Y - X$; материальный баланс и кинетика процесса; конструкции экстракционной аппаратуры и ее расчет.

Процесс адсорбции (систем твердое тело-парогазовая или жидкая смесь): определение и промышленное применение процесса, физическая сущность, равновесие при адсорбции, принципиальные схемы процесса адсорбции и их графическое представление, материальный баланс и кинетические закономерности, конструкции адсорберов и принципиальные схемы адсорбционных установок непрерывного и периодического действия.

Процесс сушки (система твердое тело-парогазовая смесь); определение и промышленное применение процесса, равновесие в сушильных процессах, свойства влажного воздуха и $I - X$ диаграмма Рамзина, умение пользоваться ей при расчете сушильных процессов.

Принципиальные схемы сушки, материальный баланс и кинетика сушильных процессов. Классификация и конструкции сушильных аппаратов.

Для закрепления изученного материала необходимо решить 2-3 задачи по каждой теме данного раздела [6, 7].

Раздел II. Механические процессы: измельчение и классификация твердых материалов [II].

В этом разделе следует уделить внимание физико-механическим основам измельчения, применению механических процессов в пищевой промышленности. Уметь изображать и объяснять принципиальные схемы измельчающих и классифицирующих машин.

Контрольные вопросы. По каждому вопросу студент должен составить краткий конспект и представить преподавателю перед зачетно-экзаменационной сессией.

- 1 Виды промышленных массообменных процессов и их особенности.
- 2 Диффузионное равновесие и способы выражения состава взаимодействующих фаз.
- 3 Закон массоотдачи Шукарева, его графическая интерпретация.
- 4 Основное уравнение массопередачи. Выражение коэффициентов массопередачи через коэффициенты массоотдачи.
- 5 Закон молекулярной диффузии для газов (I закон Фика), жидкостей и твердых тел.
- 6 Дифференциальное уравнение молекулярной диффузии (II закон Фика), конвективной диффузии, уравнение массопереноса через пограничный слой. Критериальное уравнение конвективного массопереноса.
- 7 Массоперенос в системах с твердой фазой.
- 8 Материальный баланс процессов массопередачи. Рабочая линия процесса и ее изображение на фазовой диаграмме. Оптимальное положение рабочей линии.
- 9 Средняя движущая сила массообменных процессов, понятие числа единиц переноса и способы их вычисления.
- 10 Понятие высоты единицы переноса и определение высоты насадки.
- 11 Понятие ступени изменения концентраций и определение числа действительных тарелок.
- 12 Однократное испарение, простая перегонка, перегонка с водяным паром и молекулярная перегонка.
- 13 Ректификация. Применение в промышленности. Равновесие в системах пар-жидкость.
- 14 Ректификационная установка непрерывного действия для разделения двухкомпонентных смесей, материальный баланс, рабочие линии и их изображение на фазовой диаграмме.
- 15 Минимальное, максимальное и оптимальное флегмовые числа и способы их расчета.
- 16 Тепловой баланс процесса ректификации, расход пара в кубе колонны и воды в дефлегматоре.
- 17 Расчет насадочных и тарельчатых колонн.
- 18 Схемы ректификации многокомпонентных смесей. Только с обогащением или только с исчерпыванием, периодическая ректификация.
- 19 Схемы разделения азеотропных смесей и смесей с близкокипящими компонентами.
- 20 Конструкции ректификационных аппаратов, их расчет. Схемы расположения куба и дефлегматора относительно колонны.
- 21 Абсорбция. Применение в пищевой промышленности. Равновесие в процессах абсорбции.
- 22 Принципиальные схемы в процессах абсорбции (прямоток, противоток, с рециркуляцией фаз) и изображение их на фазовой диаграмме.
- 23 Материальный баланс и кинетические закономерности абсорбционных процессов.
- 24 Классификация и конструкции абсорберов.
- 25 Экстрагирование в системе жидкость-твердое тело. Применение в пищевой технологии. Требования к экстрагентам.
- 26 Диффузионное сопротивление переносу вещества внутри твердого тела.
- 27 Принципиальные схемы процессов экстрагирования.
- 28 Материальный баланс экстрагирования.
- 29 Кинетические закономерности процесса экстрагирования.
- 30 Классификация и конструкции экстракционной аппаратуры.
- 31 Расчет процесса экстрагирования.
- 32 Экстракция. Равновесие в системах жидкость-жидкость и изображение его на фазовой и треугольной диаграммах.

- 33 Принципиальные схемы процессов экстракции (одноступенчатая, многоступенчатая в перекрестном токе и противоточная).
- 34 Материальный баланс экстракции. Рабочая линия и ее изображение на фазовой диаграмме.
- 35 Кинетические закономерности процесса экстракции.
- 36 Классификация и конструкции экстракционной аппаратуры. Методы ее расчета.
- 37 Адсорбция Применение в пищевой промышленности. Адсорбенты и требования к ним.
- 38 Равновесие в адсорбционных процессах
- 39 Принципиальные схемы периодической адсорбции. Уравнение Шилова.
- 40 Принципиальные схемы непрерывной адсорбции.
- 41 Материальный баланс и кинетические закономерности процесса адсорбции.
- 42 Адсорбционные установки периодического и непрерывного действия. Рабочий цикл процесса.
- 43 Сушка. Применение в пищевой промышленности. Равновесие.
- 44 Виды влажных материалов и формы связи влаги с материалом.
- 45 Свойства влажного воздуха и диаграмма Рамзина.
- 46 Изображение изменения состояния влажного воздуха на диаграмме $I - X$.
- 47 Материальный баланс. Кинетика процесса сушки. Время первого и второго периодов сушки.
- 48 Теоретическая сушка. Удельные расходы тепла и воздуха. Рабочая линия.
- 49 Действительная сушка. Тепловой баланс, уравнение рабочей линии.
- 50 Варианты конвективной сушки (с промежуточным подогревом, с рециркуляцией, с замкнутой циркуляцией); их изображение на диаграмме Рамзина.
- 51 Классификация и конструкции сушильных аппаратов.
- 52 Мембранные процессы.
- 53 Измельчение и классификация твердых материалов. Применение в пищевой промышленности.
- 54 Физические основы измельчения.
- 55 Конструкции измельчающих и классифицирующих устройств.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Студенты выполняют две контрольные работы (по указанию преподавателя).

Контрольные работы выполняются в единой системе единиц (СИ) с указанием размерности всех величин, встречающихся в задаче. Работа должна быть подписана студентом.

Номер варианта студент выбирает по номеру в журнале лабораторных и практических занятий из таблицы данных, составленных к каждой задаче.

Контрольная работа должна содержать титульный лист (номер работы, фамилия, имя, отчество студента, номер группы, шифр, название работы, вариант, дату), полное изложение текста задачи со своими данными, схему процесса или аппарата с указанием направления течения материальных потоков, расчет, эскиз аппарата с основными размерами.

Контрольная работа № 1 [8, 9, 10]

В непрерывнодействующую ректификационную колонну подается G_f , кг/ч исходной смеси с начальной концентрацией легколетучего компонента x_f , % масс. Содержание легколетучего компонента в дистилляте x_d , % масс., в кубовом остатке x_w , % масс. Давление в колонне атмосферное. Рассчитать диаметр и высоту ректификационной колонны.

Примечание: оптимальное флегмовое число определить, исходя из минимального объема колонны; число действительных тарелок рассчитать методом кинетической кривой; насадочную колонну рассчитать через число единиц переноса и высоту единицы переноса при оптимальном режиме ее работы; при выборе размеров насадки из колец Рашига принять, что оптимальное отношение диаметра кольца насадки к диаметру колонны равно 0,033. Дать технологическую схему ректификационной установки.

Таблица 1

Вариант	Смесь	G_f	x_f	x_d	x_w	Тип колонны	Вариант	Смесь	G_f	x_f	x_d	x_w	Тип колонны
1	Этанол-вода	1500	25	82	1	Ситч. тар.	16	Этанол-метанол	4500	40	93	2	Колп.
2		2500	30	84	2		17		5500	30	95	4	
3		3500	35	86	3	Колп. тар.	18		7000	35	82	3	Насадоч.
4		4500	40	88	4		19		Метанол-вода	9000	15	90	
Вариант	Смесь	G_f	x_f	x_d	x_w	Тип колонны	Вариант	Смесь	G_f	x_f	x_d	x_w	Тип колонны

Продолжение табл. 1

ант					ы	ант					ны	
5		5500	45	90	5	Наса-	0	1500	45	98	6	
6		6500	15	92	6	доч.	21	8000	25	80	2	Колп.
7		9000	25	98	6	Ситч.	22	2500	35	85	5	тар.
8	Уксу- ная кисло- та- вода	8000	20	95	5	тар.	23	7000	40	95	3	Наса-
9		7000	30	90	4	Колп.	24	3500	30	83	4	доч.
10		6000	40	87	3	тар.	25	9500	15	99	1	Сип.
11		5000	47	85	2	Наса-	26	2000	45	95	2	тар.
12		4000	35	80	1	доч.	27	8500	20	92	6	Колп.
13	Эга- нол- метан ол	1000	20	80	6	Ситч.	28	3000	40	88	5	тар.
14		2000	45	85	1	тар.	29	7500	35	85	4	Наса-
15		3000	25	90	5	Колп.	30	4500	25	81	3	доч.

Контрольная работа № 2 [8, 9, 11]

Рассчитать сушильную установку непрерывного действия производительностью по влажному материалу G_n , кг/ч для высушивания влажного материала от начальной влажности c_n , %, масс. до конечной c_k , %, масс. Влажный материал поступает в сушилку с начальной температурой t_n , °С и выходит с конечной t_k , °С. Сушка осуществляется горячим воздухом с температурой t_1 , °С, отработанный воздух выходит с температурой t_2 , °С. Тип сушилки и место ее установки заданы в таблице. Объемное напряжение по влаге A_v , кг/(м³·ч). Дать технологическую схему установки и схематично изобразить процесс сушки на $I-X$ диаграмме.

В результате расчета сушильной установки определяются:

- производительность сушилки по сухому материалу;
- часовой расход воздуха и тепла на сушку для летних и зимних условий;
- диаметр, длина или высота сушилки;
- ориентировочная поверхность калорифера;
- мощность вентилятора.

Таблица 2

Вариант	Тип сушилки	Высушиваемый материал	Место установки	G_n	c_n	c_k	t_n	t_k	t_1	t_2	A_v
1	Барабанная	Сахарный песок	Тамбов	500	3,7	0,2	15	35	100	40	8,1
2			Киев	1000	3,7	0,2	15	35	100	40	8,1
3			Одесса	2000	3,0	0,1	10	35	110	45	8,1
4			Минск	3000	3,0	0,1	10	35	110	45	8,1
5			Соликамск	4000	4,0	0,3	20	40	120	50	8,1
6	Барабанная	Поваренная соль	Тамбов	1500	7	0,4	20	70	180	80	7,2
7			Москва	2500	7	0,4	20	60	170	70	7,2
8			Харьков	3500	6	0,4	15	70	160	80	7,2
9			Ставрополь	4500	6	0,4	15	60	180	70	7,2
10			Курск	5500	8	0,3	10	80	180	90	7,2
11	Барабанная	Пшеница	Пенза	5000	20	14	15	50	150	65	25
12			Тамбов	4000	20	11	15	50	150	55	25
13			Омск	3000	25	14	10	55	200	70	25
14			Иркутск	2000	25	10	10	55	200	80	25
15			Владивосток	6000	30	15	20	45	180	50	25
16	Распылительная	Молоко нормализованное	Москва	700	60	4	15	60	170	70	3,0
17			Тамбов	1100	62	6	20	55	160	65	3,0
18			Омск	1300	65	5	15	60	165	65	3,0

19	я	ванное	Иркутск	1500	60	7	20	55	170	60	3,0
20			Уфа	1900	55	4	12	50	175	55	3,0
21	Барабанная	Жом свекловичный	Киров	4000	84	12	15	90	700	100	185
22			Пенза	5000	80	16	12	85	750	125	185
23			Тамбов	3000	88	12	20	90	800	130	185
24			Киев	2000	78	16	18	85	660	125	185
25			Харьков	1000	82	10	10	88	720	110	185
26	Взвешенного слоя	Пшено	Минск	2000	20	10	12	45	160	55	30
27			Тамбов	3000	71	10	15	40	150	50	30
28			Курск	4500	30	13	10	45	140	60	30
29			Пенза	5500	33	13	18	40	130	60	30
30			Воронеж	1500	18	8	20	43	170	55	30

Контрольная работа № 3 [6, 7]

Рассчитать диаметр и высоту насадки абсорбера для улавливания из воздуха компонента A поглотителем B . Рассчитать также расход поглотителя, $\text{м}^3/\text{ч}$, если расход газовой смеси в рабочих условиях V , $\text{м}^3/\text{ч}$, с концентрацией компонента A y_n , %, объемн., степень улавливания составляет α , %. Концентрация компонента A в поглотителе B на входе в абсорбер $X_n = 0$, а на выходе составляет n , % от максимально возможной в данных условиях, т.е. от равновесной с входящим газом. Уравнение линии равновесия имеет вид $Y^* = f(X)$, где Y , кмоль $A/\text{кмоль}$ воздуха, X , кмоль $A/\text{кмоль}$ B . Скорость газа в абсорбере w ($\text{м}/\text{с}$), коэффициент массопередачи K_x , кмоль $A/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{кмоль} A/\text{кмоль} B)$, коэффициент смачиваемости насадки $\psi = 0,88$. В качестве насадки используются керамические кольца Рашига размером $25 \times 25 \times 3$, давление в колонне P , МПа и температура 20°C . Дать принципиальную схему абсорбера и фазовую диаграмму $Y-X$.

Таблица 3

Вариант	A	B	V	y_n	α	n	$Y^* = f(X)$	w	K_x	P
1	Аммиак	Вода	1000	11	80	60	$Y^* = 1,8X$	0,2	0,5	0,1
2			2000	5	85	65		0,3	0,6	0,12
3			3000	6	90	68		0,4	0,7	0,15
4			4000	7	95	70	$Y^* = 1,2X$	0,5	0,55	0,3
5			5000	8	87	72		0,6	0,65	0,25
6			6000	10	97	74		0,7	0,35	0,22
7	Ацетон	Вода	4000	5,6	98	78	$Y^* = 1,68X$	0,9	0,7	0,1
8			4500	7,8	95	75		0,8	0,8	0,12
9			5000	9,9	92	68		0,7	0,9	0,14
10			5500	8,4	88	65		0,6	0,2	0,17
11			6000	8,0	90	71		1,1	0,3	0,2
12			7000	6,7	85	67		1,3	0,5	0,18
13	Двуокись углерода	Вода	10000	20	95	65	$Y^* = 150X$	0,1	0,2	2,1
14			12000	25	94	67		0,2	0,4	1,8
15			14000	27	90	74		0,15	0,3	1,6
16			16000	28	87	78	$Y^* = 170X$	0,13	0,25	2,0
17			18000	30	85	70		0,11	0,45	1,7
18			20000	19	82	75		0,18	0,35	1,5

Продолжение табл. 3

Вариант	A	B	V	y_n	α	n	$Y^* = f(X)$	w	K_x	P
19	Ме-		1500	9	90	60	$Y^* = 1,15X$	1,0	0,8	0,23
20			2500	8	92	65		1,2	0,7	0,15

21	тило- вый спирт	Вода	2200	7	96	70	$Y^* = 1,1X$	1,4	0,6	0,11
22			1200	6	98	75		1,3	0,5	0,18
23			2000	5	82	62		1,1	0,78	0,2
24			1800	7,5	87	73		0,8	0,56	0,17
25	Эти- ловы й спирт	Вода	2700	4,0	88	70	$Y^* = 8X$	0,85	1,0	0,1
26			3000	4,5	98	67		0,5	0,6	0,13
27			4000	4,7	96	65		0,9	0,9	0,15
28			$Y^* = 8X$	5000	5,0	94	72	0,6	0,7	0,19
29				6000	5,2	92	77	0,8	0,8	0,12
30				7000	4,8	90	63	0,7	0,65	0,17

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

- 1 Стабников В. Н., Лысянский В. М., Попов В. Д. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1985. 510 с.
- 2 Кавецкий Г. Д., Королев А. В. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: ВО "Агропромиздат", 1991. 432 с.
- 3 Липатов Н. Н. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Экономика, 1987. 272 с.
- 4 Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Госхимиздат, 1971. 784 с.
- 5 Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М.: Химия, 1987. 496 с.
- 6 Процессы и аппараты пищевых производств: Примеры и задачи / А. П. Николаев, А. С. Марценюк, Л. В. Зоткина и др. Киев: Вища шк., 1992. 232 с.
- 7 Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу ПАХТ. Л.: Химия, 1987. 575 с.
- 8 Лунин О. Г., Вельтищев В. Н., Березовский Ю. М. и др. Курсовое и дипломное проектирование технологического оборудования пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1988. 321 с.
- 9 Процессы и аппараты химической технологии / Под ред. Ю. И. Дыт-нерского. М.: Химия, 1983. 272 с.
- 10 Расчет ректификационной колонны: Метод. рекомендации / Сост.: Т. В. Павлова. Тамбов: Тамб. ин-т хим. маш., 1975. 32 с.
- 11 Расчет конвективных сушилок: Метод. рекомендации / Сост.: Т. В. Павлова. Тамбов: Тамб. ин-т хим. маш., 1979. 24 с.
- 12 Процессы и аппараты пищевых производств: Лаб. практикум / Под общей редакцией В. Н. Стабникова. Киев: Вища шк., 1986. 175 с.
- 13 Массопередача в системах с жидкой фазой: Лаб. работы. / Сост.: Е. И. Преображенский, В. А. Набатов, В. Н. Куприянов, В. Н. Ладыжский. Тамбов: Тамб. ин-т хим. маш., 1983. 16 с.
- 14 Массообменные процессы с твердой фазой: Лаб. работы. / Сост.: Т. В. Павлова, В. Б. Коробов, В. М. Нечаев, В. Н. Ладыжский. Тамбов: Тамб. ин-т хим. маш., 1981. 20 с.
- 15 Лебедев П. Д., Шукин А. А. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. М.: Энергия, 1970. 408 с.
- 16 Колонные аппараты: Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1987. 28 с.
- 17 Колонные аппараты: Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1978. 30 с.