

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Кафедра теоретической механики и сопротивления материалов**

**Задания и методические указания  
для расчетно-проектировочных работ  
по процессам и аппаратам пищевых производств  
для студентов направления (специальности)  
260600 (655800) (260601 (170600))**

**Курган 2004**

Кафедра: "Теоретическая механика и сопротивление материалов"

Дисциплина "Процессы и аппараты пищевых производств"  
(направление 260600 (655800), специальность 260601  
(170600))

Составил доцент, канд. техн. наук Тютрин С.Г.

Утверждены на заседании кафедры 30 сентября 2004 г.

Рекомендованы методическим советом  
университета

"28" декабря 2004 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Расчетно-проектировочные работы являются важной частью самостоятельной работы студентов по усвоению курса. Исходные данные варьируются в зависимости от фамилии студента с помощью таблиц, что позволяет обеспечить необходимое разнообразие задач при одинаковой сложности и содержании. Необходимые для расчетов справочные данные приведены в приложении А.

## I СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Расчетно-проектировочная работа № 1 включает в себя задачи 1,2,3 по теме "Гидромеханические процессы" и предназначена для усвоения студентами методов расчета процессов перемешивания и разделения неоднородных систем, в составе которых имеется как минимум одна жидкая фаза.

*Задача 1.* Определить мощность электродвигателя и частоту вращения мешалки диаметром  $d$ , установленной в аппарате диаметром  $D$  для перемешивания жидкости слоем  $H$  с твердыми частицами, если известны плотность жидкости  $\rho_{ж}$ , ее динамическая вязкость  $\mu_{ж}$ , массовое содержание твердой фазы в жидкости  $x_{ч}$ , эквивалентный диаметр твердых частиц  $d_{ч}$ , их плотность  $\rho_{ч}$  (таблица 1). Характеристики модельных мешалок для каждого вида (номера) указаны в таблице 2 и на рисунке 1. Неуказанные параметры рассчитыва-

Таблица 1 – Исходные данные для задачи 1

Ал-фа-вит	$d$ , м	$D$ , м	$H$ , м	$\mu_{ж}$ , Па·с	$\rho_{ж}$ , кг/м <sup>3</sup>	$d_{ч}$ , мм	$\rho_{ч}$ , кг/м <sup>3</sup>	$x_{ч}$ , %	№ мешалки
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А К Х	0,05	0,6	0,6	0,02	800	0,1	1800	5	1
Б Л Ц	0,1	0,65	0,65	0,04	850	0,2	1900	7,5	2
В М Ч	0,15	0,7	0,7	0,06	900	0,5	2000	10	3
Г Н Ш	0,2	0,75	0,75	0,08	950	0,7	2100	12,5	4
Д О Щ	0,25	0,8	0,8	0,1	1000	1	2200	15	5
Е П Ъ	0,3	0,85	0,85	0,12	1100	1,2	2300	17,5	6
Ё Р Ы	0,35	0,9	0,9	0,14	1200	1,5	2400	20	7
Ж С Ъ	0,4	0,95	0,95	0,16	1300	1,7	2500	22,5	8
З Т Э	0,45	1	1	0,18	1400	2	2600	25	9
И У Ю	0,5	1,05	1,05	0,2	1500	2,2	2700	27,5	10
Й Ф Я	0,55	1,1	1,1	0,22	1600	2,5	2800	30	11

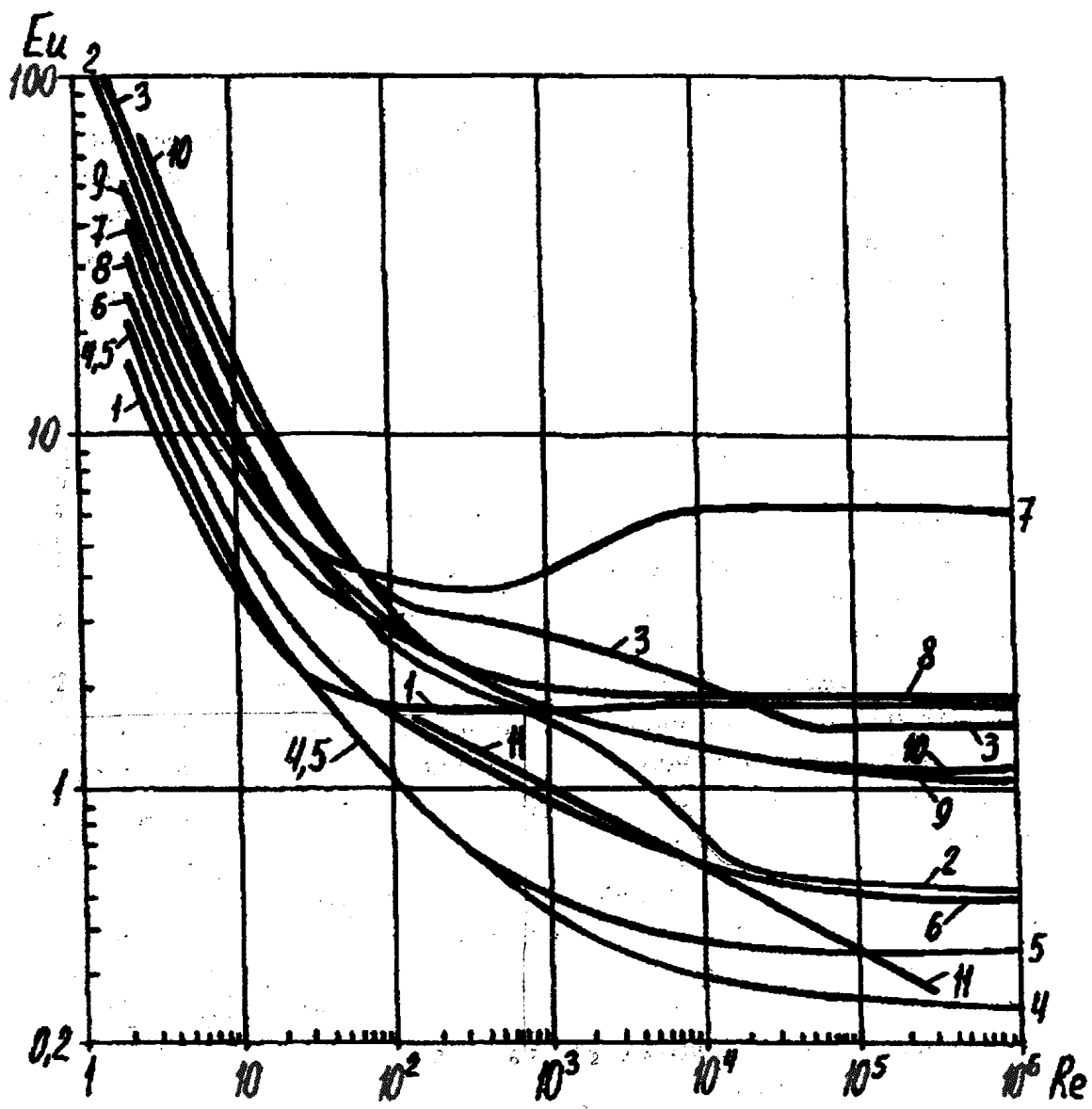


Рисунок 1- Зависимость критерия Эйлера  $Eu$  от числа Рейнольдса  $Re$ : номера кривых соответствуют номерам мешалок, описанных в таблице 2

Таблица 2 - Характеристики модельных мешалок, критериальные зависимости которых приведены на рисунке 1

Номер мешалки	Тип мешалки	$D/d$	$H/D$	$b/d$	$s/d$	Характеристика сосуда
1	Двухлопастная	3	1	0,167	-	С четырьмя перегородками шириной $0,1D$
2	Двухлопастная	2	1	0,885	-	Без перегородок
3	Двухлопастная	2	1	0,885	-	Со змеевиком
4	Пропеллерная	3	1	0,066	1	Без перегородок
5	Пропеллерная	3	1	0,066	1	С четырьмя перегородками шириной $0,1D$
6	Пропеллерная	3	1	0,066	2	Без перегородок
7	Открытая турбинная с шестью плоскими лопатками	3	1	0,2	-	С четырьмя перегородками шириной $0,1D$
8	Открытая турбинная с восемью плоскими наклонными лопатками	3	1	0,125	-	С четырьмя перегородками шириной $0,1D$
9	Закрытая турбинная с шестью лопатками	3	1	0,125	-	Без перегородок
10	Закрытая турбинная с шестью лопатками и направляющим аппаратом	3	1	0,125	-	Без перегородок
11	Якорная	1,11	1	0,066	-	Без перегородок

емой мешалки (расстояние от основания мешалки до днища аппарата  $h$ , ширина лопасти мешалки  $b$ , количество лопастей  $n$  и их угол наклона  $\alpha$  или шаг  $s$  их винтовой поверхности, наличие и расположение отражательных перегородок, змеевика, термометров, шероховатость поверхностей) те же, что у модельной мешалки. Для всех модельных мешалок  $H/D = 1$ .

**Задача 2.** Определить мощность электродвигателя и частоту вращения мешалки диаметром  $d$ , установленной в аппарате диаметром  $D$  для перемешивания эмульсии слоем  $H$ , если известны плотность дисперсионной фазы  $\rho_{ж}$ , ее динамическая вязкость  $\mu_{ж}$ , объемная доля дисперсной фазы  $\varphi_d$ , ее плотность  $\rho_d$  и динамическая вязкость  $\mu_d$ , величина межфазного поверхностного натяжения  $\sigma$  (таблица 3). Характеристики модельных мешалок для каждого вида (номера) указаны в таблице 4 и на рисунке 2. Неуказанные параметры рассчитываемой мешалки (расстояние от основания мешалки до дна аппарата  $h$ , ширина лопасти мешалки  $b$ , количество лопастей  $n$  и их угол наклона  $\alpha$  или шаг  $s$  их винтовой поверхности, наличие и расположение отражательных перегородок, змеевика, термометров, шероховатость поверхностей) те же, что у модельной мешалки. Для всех модельных мешалок  $H/D = 1$ .

Таблица 3 – Исходные данные для задачи 2

Ал- фа- вит	$d$ , м	$D$ , м	$H$ , м	$\mu_{ж}$ , Па· с	$\rho_{ж}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma$ , Н/м	$\mu_d$ , Па· с	$\rho_d$ , кг/м <sup>3</sup>	$\varphi_d$ , %	№ ме- шалки
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
АКХ	0,05	0,6	0,6	0,01	800	0,01	0,2	1800	5	1
БЛЦ	0,1	0,65	0,65	0,02	850	0,02	0,3	1900	7,5	2
ВМЧ	0,15	0,7	0,7	0,03	900	0,03	0,4	2000	10	3
ГНШ	0,2	0,75	0,75	0,04	950	0,04	0,5	2100	12,5	4
ДОЩ	0,25	0,8	0,8	0,05	1000	0,05	0,6	2200	15	5
ЕПЪ	0,3	0,85	0,85	0,06	1100	0,06	0,7	2300	17,5	6
ЁРЫ	0,35	0,9	0,9	0,07	1200	0,07	0,8	2400	20	7
ЖСЬ	0,4	0,95	0,95	0,08	1300	0,08	0,9	2500	22,5	8
ЗТЭ	0,45	1	1	0,09	1400	0,09	1	2600	25	9
ИУЮ	0,5	1,05	1,05	0,1	1500	0,1	1,1	2700	27,5	10
ЙФЯ	0,55	1,1	1,1	0,11	1600	0,11	1,2	2800	30	11

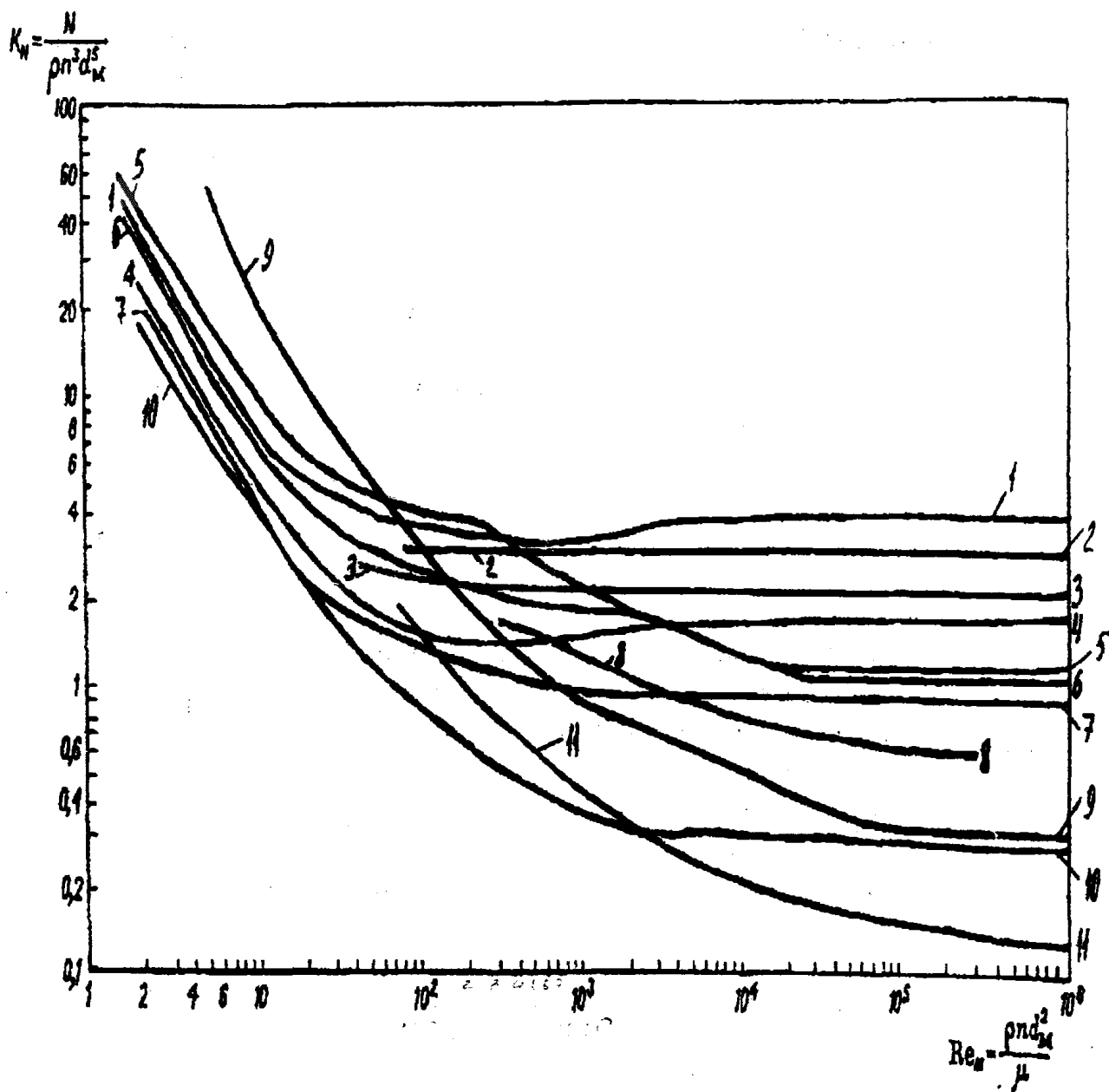


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента мощности  $K_M$  от числа Рейнольдса  $Re_M$ : номера кривых соответствуют номерам мешалок, описанных в таблице 4

Таблица 4 - Характеристики модельных мешалок, критериальные зависимости которых приведены на рисунке 2

Номер мешалки	Тип мешалки	$D/d$	$b/d$	$S$
1	Открытая турбинная с шестью стреловидными лопатками в сосуде с четырьмя перегородками шириной $0,1 d$	3	0,2	-
2	Односторонняя радиально-дисковая с шестью прямыми вертикальными лопатками снизу диска в сосуде с четырьмя перегородками шириной $0,25 d$	2,5	0,1	-
3	Радиальная турбинная с шестнадцатью лопатками со статором в сосуде без перегородок	2	0,1	-
4	Восьмилопастная с прямыми лопастями под углом $45^\circ$ в сосуде с четырьмя перегородками шириной $0,1 d$	3	0,25	-
5	Турбинная закрытая с шестью лопатками без статора в сосуде с четырьмя перегородками шириной $0,1 d$	3	0,066	-
6	Открытая турбинная с шестью прямыми вертикальными лопатками в сосуде без перегородок	3	0,2	-
7	Трехлопастная пропеллерная в сосуде с четырьмя перегородками шириной $0,1 d$	3	0,2	2
8	Четырехлопастная с прямыми лопастями под углом $45^\circ$ в сосуде без перегородок	5,2	0,25	-
9	Якорная	3	0,066	-
10	Трехлопастная пропеллерная в сосуде без перегородок	4,5	0,1	1,04
11	Двухлопастная с прямыми вертикальными лопастями в сосуде без перегородок	1,1	0,13- -0,17	-

Задача 3. Определить частоту вращения, степень погружения и площадь фильтрующей поверхности барабанного вакуумного фильтра (таблица 5) для получения  $m_{oc}$  осадка плотностью  $\rho_{oc}$ , если на  $1 \text{ м}^3$  фильтрата приходится  $C$  твердых частиц (осадка), плотность фильтрата  $\rho_{*}=1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $\delta$  - требуемая толщина слоя осадка,  $\tau_c$  - время подсушки. Зона съема осадка составляет  $\varphi'=70^\circ$ . Данные опытной фильтрации:  $f$  - площадь фильтровальной



перегородки микрофильтра;  $\tau_{10}$  - время, в течение которого собрано 10 мл фильтрата;  $\tau_{20}$  - время, в течение которого собрано 20 мл фильтрата.

Таблица 5 – Исходные данные для задачи 3

Ал- фа- вит	$m_{oc},$ кг/ч	$\delta,$ мм	$\tau_c,$ с	$C,$ кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{oc},$ кг/м <sup>3</sup>	$f_2,$ м <sup>2</sup>	$\tau_{10} / \tau_{20},$ с
	1	2	3	4	5	6	7
АКХ	100	0,5	25	50	1150	0,0010	560 / 1760
БЛЦ	200	1	30	100	1200	0,00125	140 / 427
ВМЧ	300	1,5	35	150	1250	0,0015	65 / 200
ГНШ	400	2	40	200	1300	0,00175	325 / 900
ДОЩ	500	2,5	45	250	1350	0,0020	300 / 933,3
ЕПЪ	600	3	50	300	1400	0,00225	128 / 384
ЁРЫ	700	2,5	45	250	1450	0,0020	595 / 1495
ЖСЬ	800	2	40	200	1500	0,00175	160 / 385
ЗТЭ	900	1,5	35	150	1550	0,0015	75 / 200
ИУЮ	1000	1	30	100	1600	0,00125	1100 / 3200
ЙФЯ	1100	0,5	25	50	1650	0,0010	240 / 680

**Расчетно-проектировочная работа № 2** включает в себя задачи 4,5,6 по теме "Теплообменные процессы" и предназначена для усвоения студентами методов расчета процессов нагревания, испарения, охлаждения, конденсации, кристаллизации и выпаривания, которые широко используются в пищевом производстве, в том числе и в массообменных процессах.

**Задача 4.** Определить число пластин и пакетов пластинчатого пастеризатора объемной производительностью  $Q$  (таблица 6). Температура пастеризации продукта  $t_2$ , его начальная температура  $t_1$ , разность давлений на входе и выходе  $\Delta P$ . Начальная температура горячей воды  $t'_r$ , кратность объема горячей воды  $n$ . Высота пластин  $l$ , ширина  $b$ , зазор между пластинами  $h$ .

Расчет провести упрощенно, приняв неизменными удельную теплоемкость продукта  $c$ , его плотность  $\rho$ , удельную теплоемкость горячей воды  $c_f=4212$  Дж/(кг·град), коэффициент теплопередачи  $K$ , коэффициент сопротивления  $\zeta$ , температурный напор  $\Delta t_{cp}$ .

Таблица 6 - Исходные данные для задачи 4

Алфа внт	$Q$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	$t_1$ , $^{\circ}\text{C}$	$t_2$ , $^{\circ}\text{C}$	$P$ , кПа	$\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$c$ , Дж/ (кг·К)	$t'_{\text{ср}}$ $^{\circ}\text{C}$	$\Delta t'_{\text{ср}}$ $^{\circ}\text{C}$	$n$	$K$ , $\text{Вт}/\text{м}^3$	$\xi$	$\zeta$ , см	$b$ , см	$h$ , мм
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
АКХ	0,5	30	99	15	800	3500	100	5	2	2000	80	40	15	2
БЛЦ	1	30	99	15	850	3600	101	5	3	2100	90	45	15	2
ВМЧ	1,5	35	98	20	900	3700	102	10	4	2200	100	50	20	2,5
ГНШ	2	35	98	20	950	3800	103	10	5	2300	110	55	20	2,5
ДОЩ	3	40	97	25	1000	3900	104	15	6	2400	120	60	25	3
ЕПЪ	4	40	97	25	1100	4000	105	15	7	2500	130	70	25	3,5
ЁРЫ	6	45	96	30	1200	4100	106	20	6	2600	140	80	30	3
ЖСЪ	8	45	96	35	1300	4200	107	20	5	2700	150	90	30	2,5
ЗТЭ	10	50	95	40	1400	4300	108	25	4	2800	160	100	35	2,5
ИУЮ	12	50	95	45	1500	4400	109	25	3	2900	170	110	35	2
ЙФЯ	15	55	94	50	1600	4500	110	30	2	3000	180	120	35	2

**Задача 5.** Определить количество тепла, которое необходимо отвести в процессе кристаллизации сахарозы от насыщенного водного раствора с температурой  $t_p$  (таблица 7). Масса исходного раствора  $G_p$ . Кристаллизация осуществляется без удаления воды путем охлаждения в кристаллизаторе до температуры  $t_m$ . Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь. Данные о концентрации насыщения сахарозы в воде приведены в приложении А.

Таблица 7 – Исходные данные для задачи 5

Ал- фа- вит	$G_p$	$t_p$	$t_m$	Ал фа- вит	$G_p$	$t_p$	$t_m$	Ал фа- вит	$G_p$	$t_p$	$t_m$
	кг	°С	°С		кг	°С	°С		кг	°С	°С
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
А	100	100	0	К	1200	89	11	Х	2300	78	22
Б	200	99	1	Л	1300	88	12	Ц	2400	77	23
В	300	98	2	М	1400	87	13	Ч	2500	76	24
Г	400	97	3	Н	1500	86	14	Ш	2600	75	25
Д	500	96	4	О	1600	85	15	Щ	2700	74	26
Е	600	95	5	П	1700	84	16	Ъ	2800	73	27
Ё	700	94	6	Р	1800	83	17	Ы	2900	72	28
Ж	800	93	7	С	1900	82	18	Ь	3000	71	29
З	900	92	8	Т	2000	81	19	Э	3100	70	30
И	1000	91	9	У	2100	80	20	Ю	3200	69	31
Й	1100	90	10	Ф	2200	79	21	Я	3300	68	32

**Задача 6.** Для утилизации тепла, отводимого с технологической водой, предложено пропускать ее по трубам, уложенным в бассейне. Температура воды в бассейне постоянна и равна  $t_x$  (таблица 8). Определить количество утилизованной теплоты и конечную температуру горячего теплоносителя, если использовать одну трубу длиной  $L$  наружным диаметром  $D$ , внутренним диаметром  $d$ . Начальная температура технологической воды  $t_{гн}$ , расход  $G$ . Коэффициент теплопроводности материала трубы  $\lambda$ .

## 2 ПРАВИЛА ВЫБОРА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Исходные данные для решения задачи должны быть взяты из таблиц 1-8 по буквам фамилии студента: из первого столбца таблиц берут данные напротив первой буквы фамилии, из второго столбца - данные напротив второй буквы фамилии и т.д. Если фамилия студента короткая, то для нахождения исходных данных следует её повторить.

Таблица 8 – Исходные данные для задачи 6

Алфавит	$t_x$ , °С	$L$ , м	$D \times d$ , мм	$t_{гн}$ , °С	$G$ , м <sup>3</sup> /ч	$\lambda$ , Вт/(м·К)
0	1	2	3	4	5	6
А К Х	20	1	10 × 8	100	1	45,4
Б Л Ц	22	1,5	15 × 10	98	1,5	62,8
В М Ч	24	2	20 × 15	96	2	74,4
Г Н Ш	26	2,5	25 × 20	94	2,5	85,5
Д О Щ	28	3	30 × 25	92	3	92,8
Е П Ъ	30	3,5	35 × 30	90	3,5	111
Ё Р Ы	32	4	40 × 35	88	4	92,8
Ж С Ъ	34	4,5	45 × 40	86	4,5	85,5
З Т Э	36	5	50 × 45	84	5	74,4
И У Ю	38	5,5	55 × 50	82	5,5	62,8
Й Ф Я	40	6	60 × 55	80	6	45,5

Например, студент Ежов должен выписать из таблицы 5 такие данные:

**Е Ж О В Е Ж О В**  
1 2 3 4 5 6 7 8

$$m_{oc} = 600 \text{ кг/ч}; \delta = 2 \text{ мм}; \tau_c = 45 \text{ с}; C = 150 \text{ кг/м}^3; \rho_{oc} = 1400 \text{ кг/м}^3; f = 0,00175 \text{ м}^2; \tau_{10} = 300 \text{ с}; \tau_{20} = 933,3 \text{ с}.$$

### 3 ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

Расчетно-проектировочная работа выполняется на листах писчей бумаги формата А4 (210 × 297 мм), скрепленных по левому краю. На титульном листе работы должно быть указано наименование вуза и кафедры, тема (название) работы и её номер, вариант задания, фамилия и инициалы студента и преподавателя, номер группы, год.

Перед описанием решения задачи необходимо привести формулировку задачи и исходные данные. Решение сопровождается необходимыми иллюстрациями и пояснениями, выполненными четким шрифтом.

Работы, выполненные с ошибками, неаккуратно или с нарушением вышеизложенных требований, возвращаются студенту для исправления.

После выполнения расчетно-проектировочной работы она предъявляется преподавателю для защиты. Работа должна быть защищена не позднее срока, предусмотренного учебным планом.

## Список литературы

1. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии.- М.: Колос, 2000.- 551 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.- М.: Химия, 1973.- 752 с.
3. Малахов Н.Н., Плаксин Ю.М., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств: Учебник.- Орел: Изд-во Орловского гос. технич. ун-та, 2001.- 687 с.
4. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2 кн./ В.Г.Айнштейн, М.К.Захаров, Г.А.Носов и др.- М.: Логос; Высшая школа, 2003.
5. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов.- Л.: Химия, 1987.-576 с.
6. Сборник задач по процессам теплообмена в пищевой и холодильной промышленности/ Г.Н.Данилова и др.- М.: Агропромиздат, 1986.- 288 с.
7. Стахеев И.В. Пособие по курсовому проектированию процессов и аппаратов пищевых производств.- Минск: Высшая школа, 1975.- 288 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Концентрация насыщения  $H$  сахарозы в 1 кг воды

$t$ , °C	0	10	15	20	30	40	60	75	80	100
$H$ , кг/кг	1,79	1,90	1,97	2,04	2,175	2,38	2,87	3,477	3,62	4,87

Теплофизические свойства воды на линии насыщения

$t$ , °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$c$ , Дж/(кг·К)	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\mu \cdot 10^6$ , Па·с	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\beta \cdot 10^4$ , К <sup>-1</sup>	$Pr$
0	999,8	4237	0,551	1788	1,790	-0,63	13,7
5	999,7	4224	0,563		1,540		11,3
10	999,6	4212	0,575	1306	1,300	+0,70	9,56
15	998,9	4208	0,586		1,100		8,15
20	998,2	4204	0,599	1004	1,000	1,82	7,06
25	996,9	4204	0,608		0,910		6,20
30	995,6	4199	0,618	801,5	0,805	3,21	5,50
35	993,9	4199	0,626		0,720		4,85
40	992,2	4199	0,634	653,3	0,659	3,87	4,30
45	990,1	4199	0,641		0,615		3,90
50	988,0	4199	0,648	549,4	0,556	4,49	3,56
55	985,6	4199	0,654		0,515		3,25
60	983,2	4204	0,659	469	0,479	5,11	3,00
65	980,5	4208	0,664		0,445		2,75
70	977,7	4212	0,668	406,1	0,415	5,70	2,56
75	974,8	4214	0,671		0,385		2,35
80	971,8	4216	0,674	355,1	0,366	6,32	2,23
85	968,5	4220	0,678		0,347		2,10
90	965,3	4224	0,680	314,9	0,326	6,95	1,95
95	961,8	4227	0,682		0,310		1,85
100	958,3	4229	0,683	282,5	0,295	7,52	1,75
110	951,0	4237	0,685		0,268		1,58
120	943,1	4250	0,686		0,244		1,43
130	934,8	4271	0,686		0,226		1,32
140	926,1	4291	0,686		0,212		1,23

Сергей Геннадьевич Тютрин

Задания и методические указания  
для расчетно-проектировочных работ  
по процессам и аппаратам пищевых производств  
для студентов направления (специальности)  
260600 (655800) (260601 (170600))

Редактор Н.Л.Попова

---

Подписано к печати *28.12.04*

Формат 60×84 1/16

Заказ 2

Усл. печ.л. 1

Тираж 40

Бумага тип. №1

Уч.-изд. л. 1

Цена свободная

---

Издательство Курганского государственного университета.

640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.

Курганский государственный университет, ризограф.