

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический  
университет имени С.М. Кирова»

**Факультет среднего профессионального образования  
«Колледж автоматизации лесопромышленного производства»**

## **Процессы и аппараты**

Методические руководства  
для проведения практических работ

## Практическое занятие № 1

### Определение расхода мощности на механическую мешалку

#### Задание:

Ознакомится с порядком расчета и определить расход мощности на перемешивание по исходным данным из таблицы 1 для заданного варианта.

#### Теоретическая часть:

Перемешивание применяется для интенсификации процессов тепло- и массопередачи. Основными способами перемещения являются: механическое, пневматическое и циркуляционное. Для механического перемешивания применяют мешалки различных типов. Выбор типа мешалки зависит от необходимой интенсивности перемешивания и свойств перемешиваемой среды.

Одной из основных характеристик перемешивания является расход энергии или мощность электродвигателя, необходимого для вращения мешалки.

Мощность, потребляемая на перемешивание, рассчитывается по уравнению:

$$N = K_N \times \rho \times n^3 \times d^5, \text{ Вт,}$$

где  $\rho$  – плотность перемешиваемой среды, кг/м<sup>3</sup>

$n$  – частота вращения мешалки, с<sup>-1</sup>

$d$  – диаметр лопастей мешалки, м

$K_N$  – коэффициент ( критерий ) мощности.

Коэффициент мощности зависит от типа мешалки и режима перемешивания и может быть найден графически, если известен тип мешалки и значения критерия Рейнольдса.

Критерий Рейнольдса для процесса перемешивания находят по уравнению:

$$Re_M = (\rho \times n^3 \times d^5) / \mu,$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость перемешиваемой среды, Па·с

При значении  $Re_M > 100$  наблюдается турбулентный режим.

Таким образом, для определения мощности электродвигателя для вращения мешалки необходимо:

- определить значение критерия  $Re_M$
- на графике зависимости  $K_N = f(Re_M)$  определить номер кривой для данного типа мешалки и по значению  $Re_M$  найти коэффициент мощности  $K_N$

- рассчитать мощность, потребляемую мешалкой
- принимая запас мощности 20% и КПД передачи =0,9 определить мощность электродвигателя по уравнению:

**Содержание отчета:**

1. Название работы.
2. Задание.
3. Исходные данные для расчета (№ варианта).
4. Расчет (назвать определяемую величину, привести формулу с пояснениями, затем провести расчет).

# Исходные данные для расчета

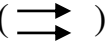

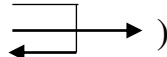
## Практической работы №1

Таблица 1.

№ варианта	Свойства перемешиваемой среды		Диаметр лопастей, $d_m$ , м	Частота вращения вала мешалки, $n$ , $c^{-1}$	Тип мешалки
	Плотность, $\rho$ , $кг/м^3$	Вязкость, $\mu$ , $Па \times c$			
1	1500	0,015	0,5	3	Турбинная с 6 изогнутыми лопастями в сосуде с 4 перегородками
2	1170	0,0014	0,3	4,5	Пропеллерная в сосуде с 4 перегородками с шагом винта $b = 2 \times d_m$
3	1100	0,011	0,6	2	Двухлопастная в сосуде с 4 перегородками
4	1400	0,050	0,5	4	Турбинная с 6 прямыми лопастями в сосуде с 4 перегородками
5	1050	0,1	0,3	5	Пропеллерная в сосуде без перегородок с шагом винта $b = d_m$
6	1200	0,3	0,55	50	Пропеллерная в сосуде с 4 перегородками с шагом винта $b = d_m$
7	1020	0,55	0,3	3	Четырехлопастная в сосуде без перегородок
8	1200	1,5	0,6	50	Закрытая турбинная в сосуде с 4 перегородками
9	990	1,2	0,6	4	Четырехлопастная с наклоном лопастей $60^\circ$ в сосуде без перегородок
10	1100	1,4	0,5	5	Двухлопастная в сосуде с 4 перегородками
11	1050	1	0,5	60	Турбинная с 6 изогнутыми лопастями в сосуде с 4 перегородками
12	980	3,0	0,3	2	Четырехлопастная в сосуде без перегородок
13	1080	0,1	0,3	15	Пропеллерная в сосуде с 4 перегородками с шагом винта $b = d_m$
14	1100	0,015	0,25	20	Пропеллерная в сосуде без перегородок с шагом винта $b = d_m$
15	1260	1,5	0,3	3	Четырехлопастная в сосуде без перегородок

**Определение средней разности температур и средних температур теплоносителей.**

**Задание:**

1. Ознакомиться с методикой расчёта средней разности температур ( $\Delta t_{cp}$ ) при различных направлениях движения теплоносителей и средних температур теплоносителей ( $t_{cp}$  и  $T_{cp}$ ).
2. Рассчитать значения  $\Delta t_{cp}$  и средних температур теплоносителей  $t_{cp}$  и  $T_{cp}$  в случае:
  - а) прямотока (  )
  - б) противотока (  )
  - в) простого смешанного тока (  )
  - г) многократно смешанного тока при движении в межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменника с перегородками и числом  $N=2$ .

Исходные данные для расчёта (  $T_n$ ,  $T_k$ ,  $t_n$ ,  $t_k$  ) взять из таблицы 1 в зависимости от номера варианта.

3. По результатам расчёта сравнить  $\Delta t_{cp}$  при различных направлениях движения теплоносителей.

**Теоретическая часть:**

Движущей силой тепловых процессов является разность температур теплоносителей. Если движению вдоль поверхности теплообмена в аппарате теплоносители изменяют свою температуру, что чаще всего и имеет место, то в качестве движущей силы процесса необходимо использовать среднюю разность температур или средний температурный напор ( $\Delta t_{cp}$ ).

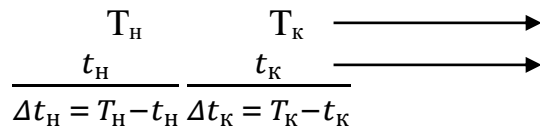
Величина средней разности температур зависит от:

- а) температур теплоносителей на входе и выходе из аппарата (  $T_n$ ,  $T_k$ ,  $t_n$ ,  $t_k$  )
- б) взаимного направления движения теплоносителей.

Взаимное направление движения теплоносителей может быть следующим:

- 1) прямоток – теплоносители движутся параллельно в одном направлении.  
В этом случае для расчёта  $\Delta t_{cp}$  составляют температурную схему процесса, рассчитывают перепад температур на входе  $\Delta t_n$  и выходе из аппарата  $\Delta t_k$  и сравнивают эти величины.

Температурная схема  
процесса:



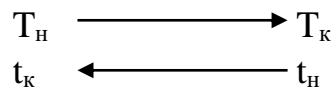
Если  $\frac{\Delta t_H}{\Delta t_K} \leq 2$ ,

то  $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_H + \Delta t_K}{2}$

Если  $\frac{\Delta t_H}{\Delta t_K} > 2$ ,

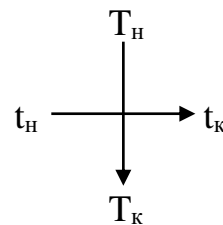
то  $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_H - \Delta t_K}{2,3 \times \lg \frac{\Delta t_H}{\Delta t_K}}$

2) противоток – теплоносители движутся параллельно, но в разных направлениях.



Для расчёта  $\Delta t_{cp}$  составляют температурную схему процесса, определяют перепады температур на входе и выходе из аппарата. При этом за  $\Delta t_H$  принимают большее из полученных значений. Далее расчёт ведут аналогично случаю прямотока.

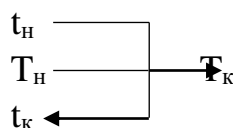
3) перекрёстный ток – теплоносители движутся во взаимно-перпендикулярном направлении.



Для расчёта  $\Delta t_{cp}$  находят среднюю разность температур для случая противотока при тех же температурах ( $\Delta t_{cp}$  ←→) затем находят поправочный коэффициент  $\mathcal{E}$  и рассчитывают

$$\Delta t_{cp} = \Delta t_{cp} \times \mathcal{E}$$

4) простой смешанный ток – сначала теплоносители движутся прямотоком, а затем из-за изменения направления движения одного из них – противотоком.



$$\Delta t_{cp} = \frac{\sqrt{\Delta T^2 + \Delta t^2}}{2.3 \times \lg \frac{\Delta t_H + \Delta t_K + \sqrt{\Delta T^2 + \Delta t^2}}{\Delta t_H + \Delta t_K - \sqrt{\Delta T^2 + \Delta t^2}}}$$

где  $\Delta t_H$  и  $\Delta t_K$  – перепад температур на входе и выходе теплообменника соответственно, как при противотоке.

$\Delta T$  и  $\Delta t$  – изменения температуры при прохождении аппарата для горячего и холодного теплоносителя соответственно.

$$\Delta T = T_H - T_K$$

$$\Delta t = t_K - t_H$$

5) многократно смешанный ток – теплоносители многократно изменяют взаимное направление движения.

Например, для  $N$  ходов в межтрубном пространстве кожух-хотрубного теплообменника и числе ходов в трубном кратном  $N$ :

$$\Delta t_{cp} = \frac{\sqrt{\Delta T^2 + \Delta t^2}}{N \times 2.3 \times \lg \frac{A + \sqrt{\Delta T^2 + \Delta t^2}}{\Delta A - \sqrt{\Delta T^2 + \Delta t^2}}}$$

$$A = (\Delta t_H - \Delta t_K) \times \frac{\sqrt[N]{\Delta t_H} + \sqrt[N]{\Delta t_K}}{\sqrt[N]{\Delta t_H} - \sqrt[N]{\Delta t_K}}$$

При определении физико-химических свойств теплоносителей необходимо знать их средние температуры. Для чего сравнивают изменения их температур в аппарате  $\Delta t$  и  $\Delta T$ .

Средняя температура теплоносителя с меньшим перепадом определяется как среднее арифметическое начальной и конечной.

Среднюю температуру второго теплоносителя находят из уравнения  $\Delta t_{cp} = T_{cp} - t_{cp}$ .

$$\begin{aligned} \text{Если } \Delta t < \Delta T, \quad \text{то } t_{cp} &= \frac{t_H + t_K}{2} \\ T_{cp} &= \Delta t_{cp} + t_{cp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Если } \Delta T < \Delta t, \quad \text{то } T_{cp} &= \frac{T_H + T_K}{2} \\ t_{cp} &= T_{cp} - \Delta t_{cp} \end{aligned}$$

## Содержание отчёта:

1. Название работы
2. Задание
3. Исходные данные для расчёта (№ варианта)
4. Расчет
5. Вывод (сравнение  $\Delta t_{cp}$  при различных направлениях)

## Исходные данные для расчёта практической работы №2

Таблица 1

№ Варианта	Температура горячего теплоносителя		Температура холодного теплоносителя	
	Начальная, $T_n, C$	Конечная, $T_k,$ C	Начальная, $t_n, C$	Конечная, $t_k,$ C
1.	300	200	25	175
2.	150	90	45	80
3.	120	80	30	68
4.	800	530	25	215
5.	500	250	25	200
6.	60	30	15	25
7.	80	65	25	58
8.	140	70	30	67
9.	210	105	15	80
10.	670	170	20	135
11.	120	80	20	46
12.	110	70	10	43
13.	400	150	23	120
14.	160	100	15	60
15.	450	200	25	100
16.	135	85	30	45
17.	70	35	14	30
18.	870	670	20	350
19.	830	250	65	180
20.	90	46	10	30



**Определение температурных потерь при выпаривании и расчёт температуры кипения растворов.**

**Задание:**

1. Познакомится с методикой расчёта температурных депрессий и температуры кипения водных растворов при выпарке.
2. Рассчитать температуру кипения водного раствора при выпарке. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 1.

**Теоретическая часть:**

Температура кипения растворов при выпарке определяется выражением

$$t_{\text{кип}} = t_0 + \sum \Delta, \text{ } ^\circ\text{C}$$

где  $t_0$  – температура кипения чистого растворителя при давлении в аппарате; может быть найдена в справочной литературе

$\sum \Delta$  – суммарная величина всех температурных депрессий (потерь)

$$\sum \Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta''', \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\Delta'$  – концентрационная депрессия или разность температур кипения раствора и чистого растворителя при данном давлении; зависит от концентрации растворенного вещества. При атмосферном давлении для щелоков рассчитываются по эмпирическим формулам:

$$\Delta'_{\text{атм}} = A \times e^{Bx}$$

$$\text{или } \lg \Delta'_{\text{атм}} = B \times X - A$$

где,  $A$  и  $B$  – постоянные, зависящие от вида щелока.

Для черного щелока  $\Delta'_{\text{атм}}$  можно найти графически.

Концентрационные депрессии других водных растворов при атмосферном давлении имеются в справочной литературе, если давление в аппарате отличается от атмосферного, следует учесть это с помощью коэффициента  $K$ .

$$\Delta' = \Delta'_{\text{атм}} \times K$$

$\Delta''$  – гидростатическая депрессия – разность температур кипения раствора в среднем слое кипятыльника ( $\frac{H}{2}$ ) и в верхней части труб, связана с тем, что слой жидкости в трубах создает дополнительное давление, поэтому в среднем слое давление выше, чем в верхней части труб на величину  $\rho \times g \times (H/2)$ , а температура кипения при повышении давления увеличивается.

Значит для того, чтобы раствор кипел не только в верхней, но и в средней части труб, его надо дополнительно догреть на  $\Delta''$ , °С.

Для расчета  $\Delta''$  определяют давление в верхней части труб ( или давление в сепараторе ) и в средней части

$$p_{\text{ср}} = p + \rho \times g \times (H/2),$$

При этих давлениях в справочнике находят температуры кипения воды ( $t_{\text{кип.ср}}$ ,  $t_{\text{кип.в}}$ ) и рассчитывают гидростатическую депрессию как разность этих температур

$$\Delta'' = t_{\text{кип.ср}} - t_{\text{кип.в}}$$

В аппаратах пленочного типа трубки не заполнены раствором, поэтому

$$\Delta'' = 0$$

$\Delta'''$  – гидравлическая депрессия – это повышение температуры кипения, вызванное гидравлическими сопротивлениями при движении парожидкостной смеси в трубках, ее принимают  $\Delta''' = (1 - 2)^\circ\text{C}$

### **Содержание отчета:**

1. Название работы.
2. Задание.
3. Исходные данные для расчета ( № варианта ).
4. Расчет.

## Исходные данные для расчета

Таблица 1.

№ п/п	Тип раствора; концентрация, $x$ , % плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Давление в аппарате, $p$ , ат	Высота труб в аппарате, Н,м	№ п/п	Тип раствора; Концентрация, $x$ , % Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Давление в аппарате, $p$ , ат	Высота труб в аппарате, Н,м
1	сульфитный щелок $x=30$ $\rho=1100$	0,8	3	7	черный сульфатный щелок $x=12$ $\rho=1040$	0,4	4
2	раствор едкого натра $x=20$ $\rho=1180$	0,9	6	8	раствор едкого натра $x=25$ $\rho=1210$	1,0	плёночный аппарат
3	черный сульфатный щелок $x=20$ $\rho=1080$	0,2	плёночный аппарат	9	сульфитный щелок $x=20$ $\rho=1050$	0,8	7
4	раствор хлорида кальция $x=25$ $\rho=1200$	0,6	4	10	хлористый натрий $x=20$ $\rho=1120$	0,6	плёночный аппарат
5	раствор едкого натра $x=15$ $\rho=1120$	1,0	3	11	черный сульфатный щелок $x=30$ $\rho=1140$	1,2	6
6	чрный сульфатный щелок $x=15$ $\rho=1060$	0,6	плёночный аппарат	12	сульфитный щелок $x=50$ $\rho=1240$	1,4	плёночный аппарат