

Практичне заняття № 3

РОЗРАХУНОК АПАРАТІВ ДЛЯ ВИЛУГОВУВАННЯ ТА ПЕРЕМІШУВАННЯ РОЗЧИНІВ І ПУЛЬП

Апарат для вилуговування є реактором з пристроями для перемішування і нагрівання пульпи, її завантаження й вивантаження. Поширеним типом апаратів для вилуговування є механічний агітатор – реактор з механічною мішалкою і паровою сорочкою або змійовиком для обігрівання.

Потужність, споживана пристроєм, що перемішує, залежить багатьох чинників: форми і розмірів апаратів та перемішувальних органів, наявності перешкод: змійовиків, гільз для термометрів, труб, відбивних перегородок тощо. Визначення потужності, що витрачається при механічному перемішуванні, є одним зі складних завдань гідродинаміки.

Потужність N_M (Вт), споживану мішалкою власне на перемішування, тобто необхідну для обертання лопаті мішалки, визначають за формулою:

$$N_M = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 \quad (1)$$

де d – діаметр лопаті мішалки, м;

ρ – густина рідини, яку перемішують, кг/м³;

n – частота обертання мішалки, об./с;

K_N – критерій потужності.

Величину K_N визначають в залежності від типу мішалки (рис. 1) та режиму перемішування рідини за графіками $K_N = f(\text{Re})$, що побудовані за дослідними даними (рис. 2).

Величина критерію Рейнольдса для будь-якої мішалки (табл. 1) визначається за формулою:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu}, \quad (2)$$

де μ — динамічна в'язкість рідини, Па·с.

На рис.2 наведені дослідні значення K_N як функції від критерію Re для мішалок різних типів при обумовлених відношеннях діаметра D посудини, висоти H рівня рідини, ширини b лопаті та діаметра d лопаті мішалки (D/d ,

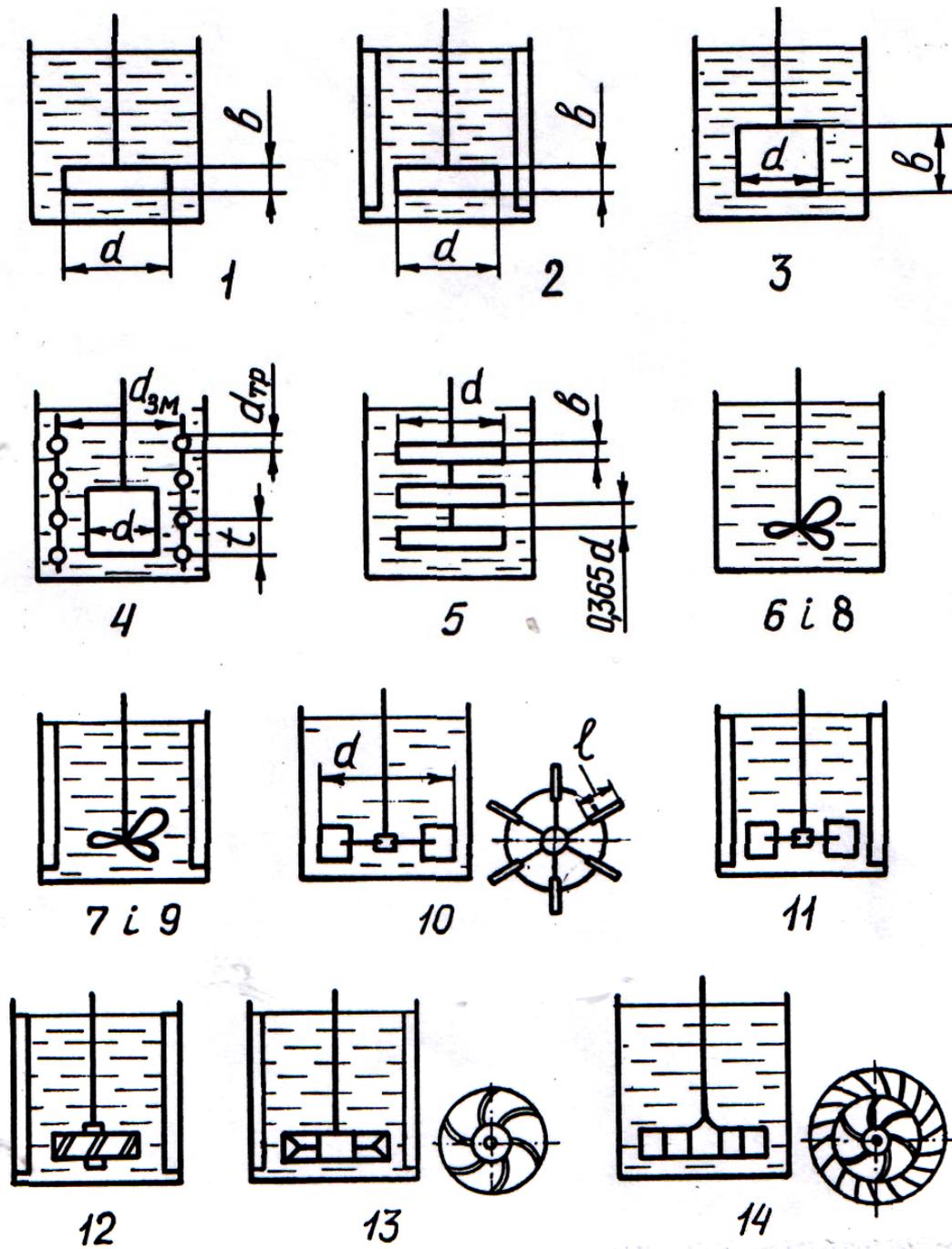


Рисунок 1 – Типи механічних мішалок (цифри відповідають номерам мішалок у табл. 1)

$H/D, b/d$), а також для пропелерних мішалок при відношенні кроку гвинта до діаметра посудини s/d , що дорівнює 1 або 2.

За рис. 2 знаходять значення K_N , та підставляючи його до формули (1), визначають потрібну потужність.

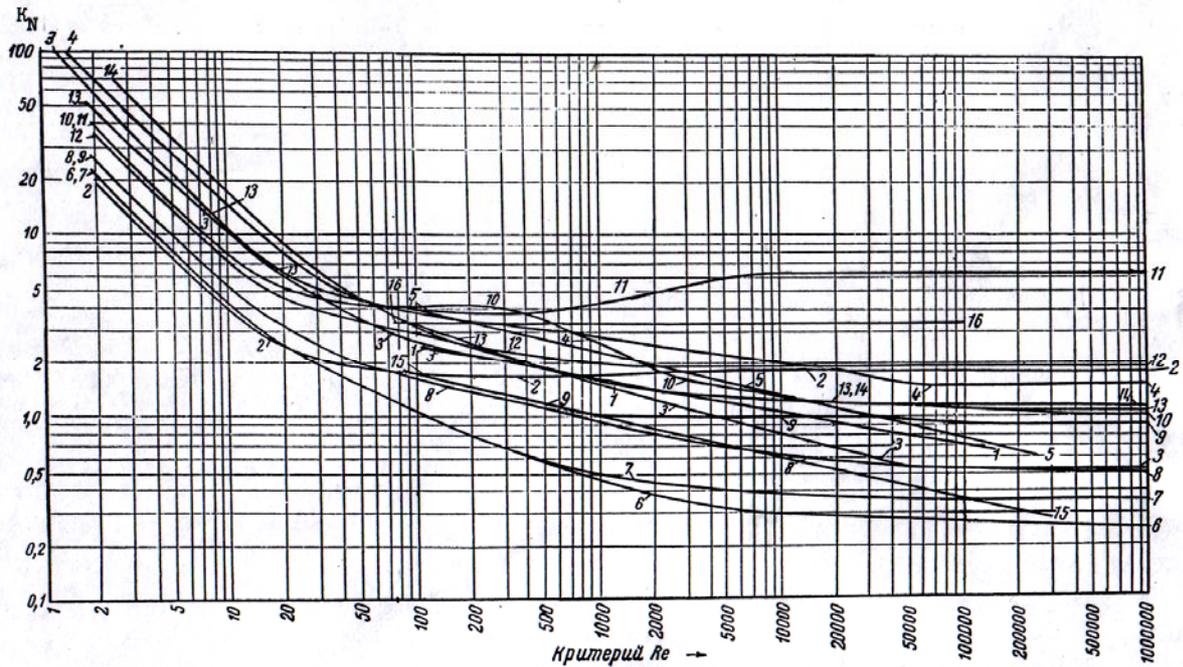


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта потужності K_N від критерію Re для мішалок різних типів (цифри на лініях відповідають номерам мішалок у табл. 1)

Однак величини K_N , одержані за графіком, будуть точними тільки для мішалок, геометрично подібних тим, до яких відносяться дослідні дані. Тому, у випадку відсутності геометричної подібності, значення K_N , що знайдено за рис.2, треба помножити на відповідні поправочні коефіцієнти:

$$\begin{aligned}
 f_D &= \left(\frac{D}{\alpha \cdot d} \right)^a, & f_b &= \left(\frac{b}{\beta \cdot d} \right)^k, \\
 f_l &= \left(\frac{l}{0,25 \cdot d} \right)^m, & f_t &= \left(\frac{t}{0,1 \cdot D} \right)^r, \\
 f_H &= \left(\frac{H}{D} \right)^h, & f_s &= \left(\frac{s}{d} \right)^p, & f_N &= \left(\frac{N}{4} \right)^n,
 \end{aligned} \tag{3}$$

де $\alpha = D/d$ – для модельної мішалки (табл. 1);

$\beta = b/d$ – для модельної мішалки (табл. 1);

b і l – ширина та довжина лопаті, м;

t – ширина перегородки, м;

N – кількість перегородок.

Таблиця 1 – Характеристика мішалок та посудин

№	Тип мішалки	Характеристика мішалки при $H/d=1$			Характеристика посудини
		$\alpha = D/d$	$\beta = b/d$	s/d	
1	Дволопатова	3	0,25	-	Без перегородок
2	Дволопатова	3	0,167	-	3 4 перегородками шириною 0,1D
3	Дволопатова	2	0,885	-	Без перегородок
4	Дволопатова	2	0,885	-	3 зміювиком ($t=0.12*d$ $d_{зм} = 1.9*d, d_{ТР}=0.066*d$)
5	Шестилопатова	1,11	0,066	-	Без перегородок
6	Пропелерна	3	-	1	Без перегородок
7	Пропелерна	3	-	1	3 4 перегородками шириною 0,1D
8	Пропелерна	3	-	2	Без перегородок
9	Пропелерна	3	-	2	3 4 перегородками шириною 0,1D
10	Відкрита турбінна з 6 плоскими вертикальними лопатками	3	0,2 ($l/d=0.25$)	-	Без перегородок
11	Відкрита турбінна з 6 плоскими вертикальними лопатками	3	0,2 ($l/d=0.25$)	-	3 4 перегородками шириною 0,1D
12	Відкрита турбінна з 8 плоскими похилими лопатками	3	0,125 ($l/d=0.25$)	-	3 4 перегородками шириною 0,1D
13	Відкрита турбінна з 6 лопатками	3	-	-	3 4 перегородками шириною 0,1D
14	Закрита турбінна з 6 лопатками та направляючим апаратом (статором) з 6 лопатками	3	-	-	Без перегородок

Значення показників степенів у рівняннях (3) для поправочних коефіцієнтів можна приймати за табл. 2.

Таблиця 2 – Значення показників степенів у формулах (3)

Тип мішалки	a	h	k	m	p	r	n
Лопатеві без перегородок	1,1	0,6	0,3	–	–	–	–
Лопатеві з перегородками	1,1	0,6	0,3	–	–	0,3	0,4
Пропелерні без перегородок	0,93	0,6	–	–	1	–	–
Пропелерні з перегородками	0	0	–	–	1,7	0,3	0,4
Турбінні без перегородок	0,93	0,6	1	1,5	–	–	–
Турбінні з перегородками	0	0	1	1,5	–	0,3	0,4

При наявності в апараті додаткового обладнання (змійовиків, труб та інше), а також при великій шершавості стінок посудини витрата енергії на перемішування збільшується. Орієнтовно можна використовувати такі поправочні коефіцієнти до значення K_N :

гільза для термометра $f_{\Gamma} = 1,1$;

труба $f_{TP} = 1,2$;

посудина з шершавими стінками $f_{III} = 1,1 \dots 1,2$.

При пуску мішалки в рух енергія витрачається не тільки на подолання тертя, а також й на виведення рідини із стану спокою, тобто на подолання сил інерції. Однак пускова потужність перевищує робочу не більш, як у двічі та витрачається протягом короткого часу. Відповідно тому електродвигун завжди вибирають за робочою потужністю мішалки N_p , враховуючи можливість короткочасного збільшення моменту кручення на валі електродвигуна.

Приклад 1. Виконати розрахунок шестилопатевої мішалки та вибрати електродвигун для мішалки, якщо діаметр кожної пари її лопатів $d = 1,2$ м, а ширина лопатів $b = 0,1$ м. Кількість обертів мішалки $n = 40$ об/хв. Мішалка установлена в чавунному апараті з шершавими стінками, його діаметр $D = 1,7$ м. В апараті перемішується рідина з густиною $\rho = 1300$ кг/м³, динамічна

в'язкість рідини $\mu = 0,03$ Па·с. Висота стовпа рідини в апараті $H = 1,7$ м. В рідину занурена гільза термометра.

Розв'язання

Для визначення режиму перемішування визначаємо значення критерію Рейнольдса для мішалки за формулою (2):

$$Re = \frac{1300 \cdot 40 \cdot 1,2^2}{0,03 \cdot 60} = 41300 .$$

За рис. 2 (крива 5) для модельної шестилопатевої мішалки з характеристикою $\alpha = D/d = 1,1$; $H/D = 1$ та $\beta = b/d = 0,066$ (табл. 1) при $Re = 41300$ величина коефіцієнту K_N дорівнює 0,95.

Для мішалки, яка працює у вказаних вище умовах:

$$D/d = 1,7/1,2 = 1,42 ;$$

$$H/D = 1,7/1,7 = 1 ;$$

$$b/d = 0,1/1,2 = 0,0833 .$$

Тому вводимо до величини K_N поправки, що враховують відсутність геометричної подібності модельної і даної виробничої мішалок:

$$f_D = (1,42/1,11)^{1,1} = 1,32 ;$$

$$f_H = 1^{0,6} = 1 ;$$

$$f_b = (0,0833/0,066)^{0,3} = 1,07 .$$

Крім того, вводимо поправочні коефіцієнти для врахування шершавості стінок апарата $f_{ш} = 1,15$ та наявності гільзи термометра $f_{Г} = 1,1$. Тоді

$$K_1 = K_N \cdot f_D \cdot f_H \cdot f_b \cdot f_{ш} \cdot f_{Г} = 0,95 \cdot 1,32 \cdot 1 \cdot 1,07 \cdot 1,15 \cdot 1,1 = 1,7 .$$

За формулою (2) визначаємо робочу потужність, що споживає мішалка:

$$N_p = K_1 \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 = 1,7 \cdot 1300 \cdot (40/60)^3 \cdot 1,2^5 = 1960 \text{ Вт} .$$

Приймаємо, що коефіцієнт корисної дії від двигуна до вала мішалки $\eta_M = 0,9$, коефіцієнт запасу потужності в 20 % (на випадок коли можливо перевантаження) $f_3 = 1,2$ та визначаємо потужність електродвигуна:

$$N_{ДВ} = \frac{N_P \cdot f_3}{1000 \cdot \eta_M} = \frac{1960 \cdot 1,2}{1000 \cdot 0,9} = 2,6 \text{ кВт.}$$

Висновки: Для шестилопатевої мішалки з діаметром лопатів 1,2 м вибрано електродвигун потужністю 2,6 кВт.

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Виконати розрахунок механічної агітатора за умовами табл. 3 та вибрати електродвигун для мішалки, якщо діаметр лопатів d м, їхня ширина b м, діаметр лопатів l м. Кількість обертів мішалки становить n об./хв. Мішалка установлена в чавунному апараті з діаметром D м, висотою H м рівня рідини в апараті, з N перегородками шириною t м. В апараті перемішується рідина з густиною ρ кг/м³, динамічна в'язкість рідини μ Па·с. Висота стовпа рідини в апараті H м. В рідину занурена гільза термометра. Номер типу мішалки у табл.3 відповідає цифрі під схемою мішалки на рис. 1 та номеру мішалки в табл. 1.

Умовні позначення в табл. 3:

- D – діаметр посудини, м;
- H – висота рівня рідини, м;
- d – діаметр лопаті мішалки, м;
- b – ширина лопаті мішалки, м;
- l – довжина вертикальної лопаті, м;
- n – частота обертання мішалки, об./с;
- ρ – густина рідини, яку перемішують, кг/м³;
- μ – динамічна в'язкість рідини, Па·с;
- s – крок гвинта, м;
- t – ширина перегородки, м;
- N – кількість перегородок.

Таблиця 3 – Вихідні дані для розрахунку механічного агітатора

№ варіанта	Тип мішалки	a , м	b , м	l , м	n , $\frac{\text{об.}}{\text{хв.}}$	ρ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	μ , Па·с	D , м	H , м	t , м	N	s	Додаткове обладнання
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	2,0	0,2	-	32	1330	0,15	6,0	6,4	-	-	-	f_{10}
2	2	1,5	0,251	-	29	1240	0,02	5,8	5,8	1,16	8	-	f_1
3	3	0,5	0,485	-	40	1200	2,86	1,4	1,8	-	-	-	f_{10}
4	4	2,2	1,947	-	54	1148	0,20	5,5	6,0	0,44	8	-	f_{10}
5	5	1,8	2,376	-	50	1133	1,02	2,5	3,0	-	-	-	f_1
6	6	0,8	-	-	379	1520	0,10	2,8	3,2	-	-	0,9	f_1
7	7	0,9	-	-	270	1400	1,85	2,7	4,0	0,4	6	0,9	-
8	8	1,0	-	-	180	1225	9,18	3,3	3,9	-	-	2,0	f_{10}
9	9	0,6	-	-	500	1010	2,75	1,8	2,3	0,20	9	1,5	-
10	10	0,3	0,12	0,08	498	1270	1,11	1,0	1,2	-	-	-	f_{10}
11	11	0,7	0,16	0,28	270	1480	1,20	2,1	2,5	0,40	10	-	-
12	12	0,8	0,10	0,44	135	1540	2,01	2,5	2,7	0,30	4	-	-
13	13	0,5	0,08	0,18	152	1810	5,73	2,0	3,0	0,30	4	-	f_{10}
14	14	0,9	0,18	0,30	132	1285	0,38	2,9	3,4	-	-	-	f_1
15	11	1,0	0,22	0,30	135	1005	0,56	3,0	3,6	0,33	4	-	f_{10}
16	12	0,6	0,12	0,15	270	1300	0,11	1,8	2,0	0,20	6	-	-
17	1	1,0	0,40	-	48	1025	0,04	3,8	4,5	-	-	-	f_1
18	2	1,4	0,234	-	24	1085	1,77	4,2	4,2	0,42	4	-	f_{10}
19	3	1,1	1,54	-	86	1400	0,81	3,2	3,6	-	-	-	-
20	1	2,0	0,50	-	45	1340	0,20	3,0	4,5	-	-	-	f_{10}
21	5	1,68	0,111	-	32	1023	0,11	2,4	2,8	-	-	-	f_{10}
22	6	0,5	-	-	400	1100	0,07	2,5	3,0	-	-	0,6	f_1
23	7	0,7	-	-	180	1800	2,50	2,4	3,2	0,30	4	0,9	-
24	8	0,9	-	-	120	1055	3,42	2,7	3,0	-	-	2,5	f_{10}
25	9	0,8	-	-	270	1200	0,11	2,6	2,8	0,30	4	1,8	-
26	10	0,9	0,18	0,45	135	1700	1,54	2,9	2,9	-	-	-	f_{10}
27	11	0,6	0,12	0,15	180	1740	1,85	2,4	3,0	0,20	8	-	f_{10}