

V.3. Amestecarea

Amestecarea se practica in industrie fie ca o operatie independenta, in vederea obtinerii unei omogenitati dorite a unui amestec, fie in scopul intensificarii unor procese cum ar fi: transferul de caldura, transferul de masa sau reactiile chimice.

In principiu se pot amesteca lichide cu solide, lichide nemiscibile, lichide cu gaze, solide cu solide. In continuare se prezinta, ca aplicatie a transferului de impuls, numai amestecarea in mediu lichid, care se realizeaza prin urmatoarele metode:

a. Amestecarea concomitent cu transportul prin conducte in interiorul carara se afla diversi promotori de turbulenta cum ar fi: sicane de diferite constructii, discuri perforate sau dispozitive de constructie speciala, denumite **amestecatoare statice**. Un amestecator static performant este **amestecatorul Kenics**, format din mai multe elemente montate in interiorul conductei. Un element este o banda elicoidala scurta, rasucita spre dreapta sau stanga. Amestecatorul Kenics are cel putin doua elemente montate in conducta astfel incat elementele succesive nu sunt rasucite in acelasi sens (fig.V.52). Efectul de amestecare



Fig. V.52

este dat de divizarea curentului de fluid din conducta de un numar de 2^n ori, unde, n , este numarul de elemente elicoidale al amestecatorului.

b. Amestecarea prin recircularea cu o pompa consta in preluarea lichidului dintr-un utilaj de catre o pompa si refularea lui in acelasi utilaj. Pentru ca efectul de amestecare sa fie mai intens se recomanda ca lichidul refulat sa fie dispersat in utilajul in care se realizeaza amestecarea (fig.V.53)

c. Amestecarea pneumatica se realizeaza prin barbotarea in lichid a unui gaz.

d. Amestecarea mecanica prin actiunea agitatoarelor, denumita si **agitare**.

V.3.1. Amestecarea pneumatica

Aceasta metoda consta in barbotarea in masa lichidului aflat intr-un recipient a unui gaz sau a aburului. Metoda este recomandata in

cazul in care gazul are si alt rol in afara aceluia de a determina amestecarea lichidului, cum ar fi, de exemplu, reactiile in sisteme lichid-gaz, aerarea bazinelor in epurarea biologica a apelor reziduale, s.a. Dispozitivele prin care se realizeaza dispersarea gazelor sau a vaporilor intr-un lichid se numesc **barbotoare**. Barbotoarele disperseaza gazul in lichid sub forma unor bule, care in miscarea lor ascendenta spre suprafata libera a lichidului genereaza turbulenta cu efect de amestecare a lichidului. Barbotoarele sunt de diverse tipuri constructive. Cele mai simple sunt confectionate din tevi din care gazul este dispersat prin orificii avand diametrul cuprins intr 3-6 mm, dispuse in lungul tevilor dupa o spirala. Forma lor geometrica depinde de geometria recipientului in care urmeaza a fi montate (fig.V.54)

Intensitatea amestecarii depinde direct de debitul de gaz raportat la suprafata libera a lichidului. Astfel, se obtine:

- **o agitare slaba** pentru un debit de $0,4 \text{ m}^3\text{gaz}/\text{minut m}^2$;
- **o agitare medie**, pentru $0,8 \text{ m}^3\text{gaz}/\text{minut m}^2$;
- **o agitare intensa**, pentru $1 \text{ m}^3\text{gaz}/\text{minut m}^2$.

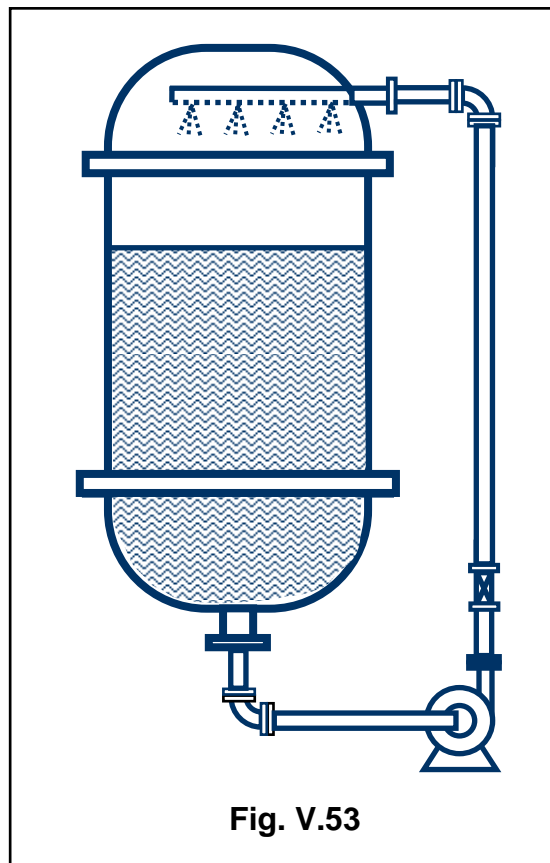


Fig. V.53

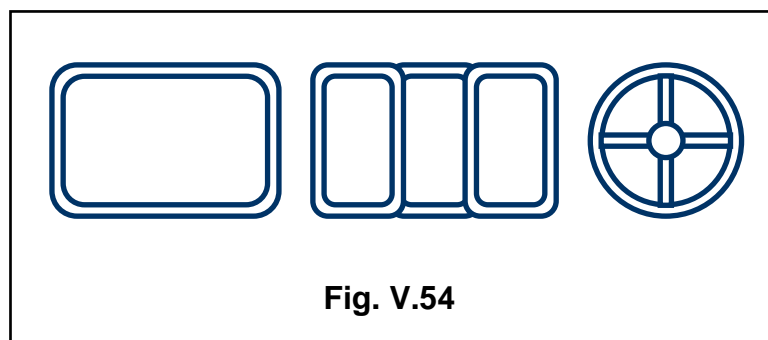


Fig. V.54

Presiunea necesara a gazului se calculeaza din ecuatia lui Bernoulli, care pentru marimile notate ca in fig.V.55, are forma:

Florin Vitan - Ingineria proceselor in textile si pelarie
Vol. II – OPERATII UNITARE

$$P = P_0 + \rho gh + (1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi) \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{V.163})$$

V.3.2. Agitarea

Agitarea este metoda cea mai raspandita pentru amestecarea in mediu lichid. Agitatoarele sunt alcatuite din elemente de amestecare montate pe un arbore vertical, orizontal sau inclinat, actionat in rotatie de un motor electric.

Funcție de proprietatile sistemului lichid, de considerentele tehnologice si de geometria recipientului se alege tipul de agitator cel mai adecvat. Dupa alegerea agitatorului si a recipientului se calculeaza puterea necesara a motorului care il actioneaza.

V.3.2.1. Calculul puterii necesare antrenarii agitatorului

Pentru a stabili expresia de calcul a puterii agitatoarelor se porneste de la functia criteriala generala a curgerii:

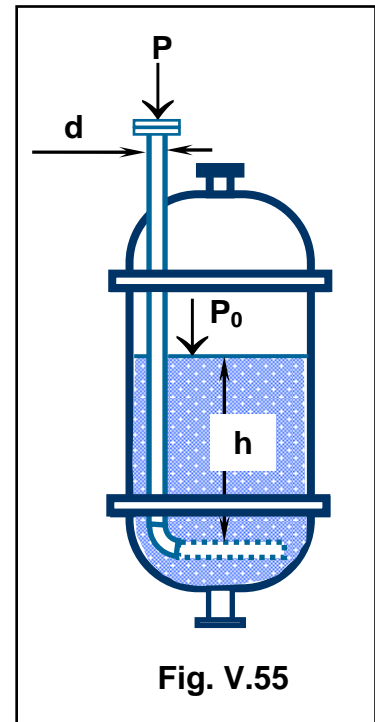
$$f(\text{Re}, \text{Eu}, \text{Fr}, \text{We}) = 0 \quad (\text{V.164})$$

Ecuatia criteriala a curgerii este o relatie de tip Nusselt:

$$\text{Eu} = k \cdot \text{Re}^{n_1} \cdot \text{Fr}^{n_2} \cdot \text{We}^{n_3} \cdot \left(\frac{l_1}{l_0}\right)^{n_4} \left(\frac{l_2}{l_0}\right)^{n_5} \dots \quad (\text{V.165})$$

Pentru un agitator de o anumita constructie, daca sunt respectate conditiile de similitudine geometrica, valorile simplecsilor geometrici, $\left(\frac{l_1}{l_0}\right)^{n_4} \left(\frac{l_2}{l_0}\right)^{n_5} \dots$ sunt incluse in konstanta, **k**. Valorile constantei, **k**, si ale exponentilor n_1 , n_2 si n_3 se determina experimental. Aceste valori sunt prezentate in literatura de specialitate pentru diferite tipuri de agitatoare. Pentru sisteme care nu contin lichide nemiscibile criteriul Weber nu intervine in ecuatia criteriala si in acest caz $n_3=0$. Daca la agitare nu se formeaza vortexul central in recipient, influenta criteriului Froude este neglijabila, adica $n_2=0$. Vortexul central poate fi evitat la intensitati mici si moderate de amestecare, cand $\text{Re}_{\text{ag}} < 300$ sau prin amenajari interioare ale recipientului in care este montat agitatorul. Cu aceste observatii si ipoteze, relatia (V.165) se reduce la:

$$\text{Eu} = k \cdot \text{Re}^n \quad (\text{V.166})$$



Florin Vitan - Ingineria proceselor in textile si pelarie

Vol. II – OPERATII UNITARE

Pentru calculul criteriilor hidrodinamice din relatiile (V.164)-(V.166) acestea trebuiesc adaptate la conditiile de curgere determinate de agitator, care efectueaza o miscare de rotatie generand o curgere circulara a lichidului. Pentru miscarea circulara se prefera exprimarea vitezei periferice, v , in functie de turatia, n , si de diametrul, d , cu relatia:

$$v = 2\pi \cdot n \cdot r \cdot n = \pi \cdot d \cdot n \quad (\text{V.167})$$

Inlocuind viteza, v , data de relatia (V.159) in expresiile generale ale criteriilor Reynolds si Euler, pentru agitare aceste criterii iau forma:

$$\text{Re}_{\text{ag}} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta} = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\eta} \quad \text{respectiv} \quad \text{Eu}_{\text{ag}} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot v^2} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot n^2 \cdot d^2}$$

Criteriul, Eu_{ag} , mai este denumit si criteriul puterii deoarece el se poate exprima si in functie de puterea necesara antrenarii agitatorului. Tinand cont de notatiile din fig.V.56, rezulta:

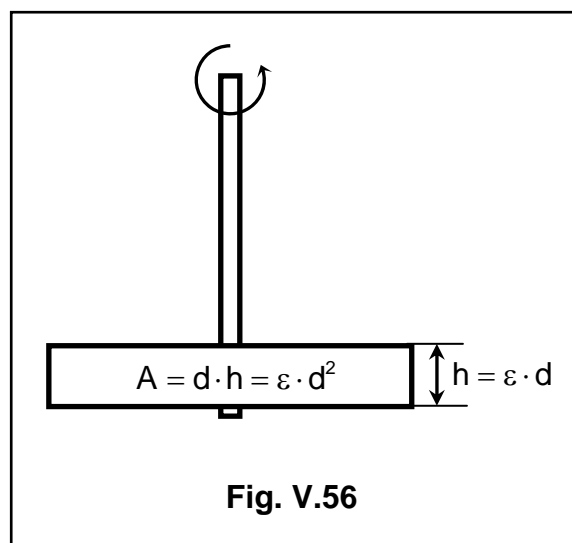
$$\text{Eu}_{\text{ag}} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot n^2 \cdot d^2} = \frac{F}{A \cdot \rho \cdot n^2 \cdot d^2} = \frac{F \cdot v}{A \cdot \rho \cdot n^2 \cdot d^2 \cdot v} = \frac{P}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} \quad (\text{V.168})$$

Prin urmare:

$$P = \text{Eu}_{\text{ag}} \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 \quad (\text{V.169})$$

si tinand cont de relatia (V.158), rezulta:

$$P = k \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \text{Re}^n \quad (\text{V.170})$$



V.3.2.2. Clasificarea si descrierea agitatoarelor

Din punct de vedere constructiv agitatoarele se impart in patru grupe:

- agitatoare cu palete;
- agitatoare cu elice;

Florin Vitan - Ingineria proceselor in textile si pelarie

Vol. II – OPERATII UNITARE

- **agitatoare cu turbina;**
- **agitatoare speciale.**

1. Agitatoare cu palete

Aceste agitatoare sunt frecvent utilizate deoarece au o constructie simpla. Ele sunt recomandate pentru lichide cu viscozitatea mica si medie. Turatia acestora este cuprinsa intre 10-100 rot/min.

Agitatoarele cu palete includ mai multe variante constructive (fig.V.57), dintre care cele mai importante sunt: agitatoare cu paleta dreptunghiulara (inalta), (a), agitatoare cu 2 palete drepte sau inclinate, (b), agitatoare cu 4, 6,... palete drepte sau inclinate, (c), agitatoare cadru, (d), agitatoare ancora cu doua brate, (e), agitatoare ancora cu patru brate, (f), agitatoare planetare, (g), si altele.

Avantajul acestor agitatoare consta in costul lor redus, putere necesara mica, dar prezinta dezavantajul ca nu sunt eficiente pentru lichide cu viscozitatea mai mare de 1000 cP si ca nu realizeaza o amestecare satisfacatoare pe directie axiala.

2. Agitatoare cu elice

Agitatoarele cu elice realizeaza o amestecare intensa a lichidului printr-o curgere preponderent axiala, dar intr-un volum mic de lichid. Ele sunt construite din doua sau mai multe brate de forma unor elemente de elice prinse pe un butuc, fixat prin pana pe arborele agitatorului (fig.V.58). Diametrul agitatoarelor cu elice este mult mai mic decat al celor cu palete dar turatia lor este mare, fiind cuprinsa intre 400-2400 rot/min, ceea ce permite cuplarea arborelui direct la electromotor, fara a mai utiliza reductor de turatie.

Dezavantajul principal al acestor agitatoare consta in aceea ca amestecarea este preponderent axiala, cea pe directie radiala fiind nesemnificativa. Pentru a atenua acest dezavantaj agitatorul se poate monta inclinat la un unghi cuprins intre $10-15^{\circ}$ fata de axa recipientului.

3. Agitatoare cu turbina

Aceste agitatoare au ca element de amestecare un rotor care se aseamana din punct de vedere constructiv si functional cu rotoarele pompelor centrifuge. Efectul de amestecare se realizeaza prin aspirarea axiala a lichidului in rotor si refularea lui tangentiala la periferia rotorului (fig.V.59). Turbinele, intocmai ca si pompele centrifuge pot avea rotorul inchis, deschis sau semideschis. Turatia acestor agitatoare este cuprinsa intre 125-1000 rot/min, in functie de viscozitatea lichidului.

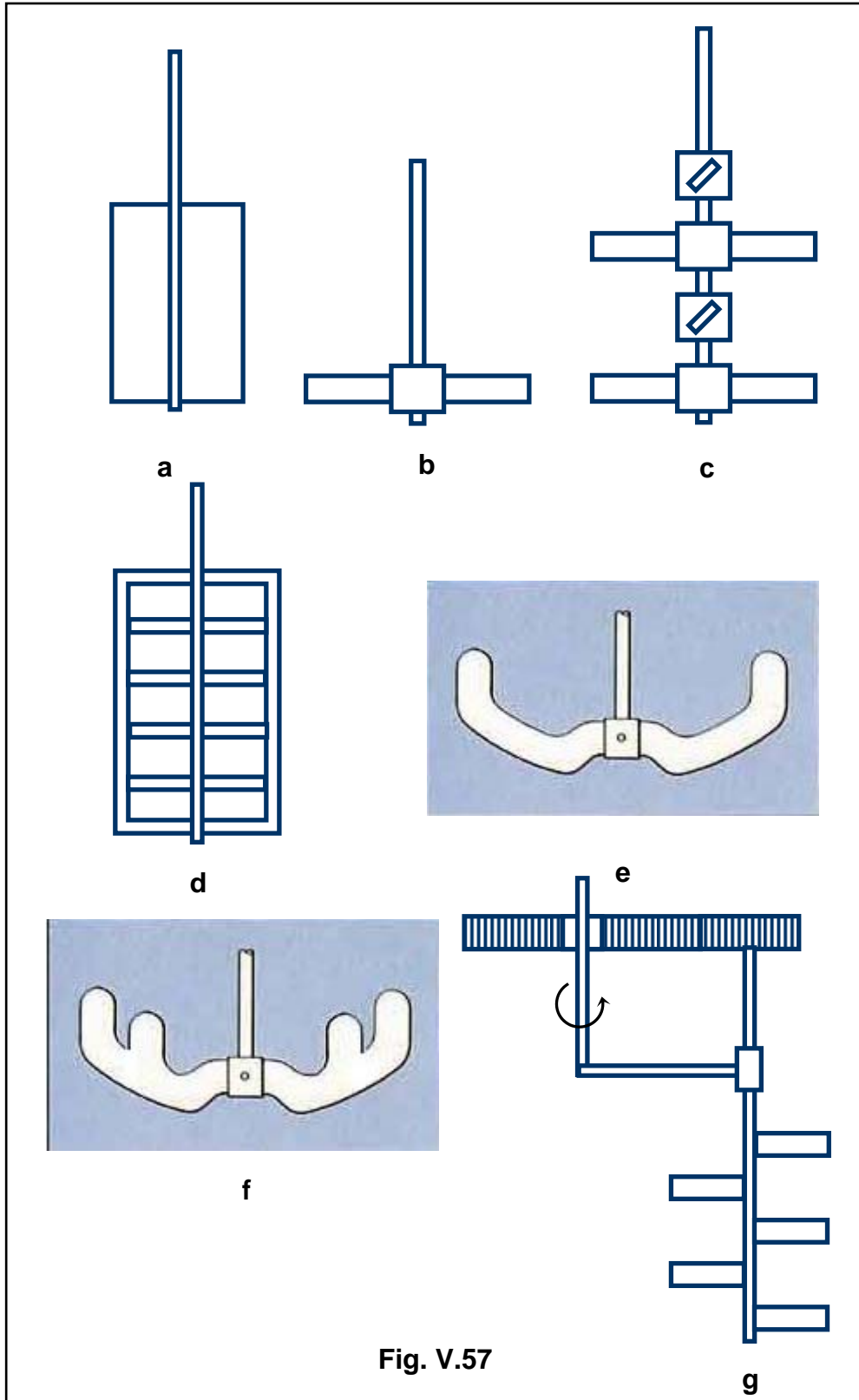


Fig. V.57

