

Неоднородные системы и способы их разделения. Отстаивание

Доц. Липин А.А.

**Кафедра Процессов и аппаратов химической технологии
ИГХТУ**

Классификация гетерогенных (неоднородных)

систем

Гетерогенная система	Дисперсионная (внешняя) фаза	Дисперсная (внутренняя) фаза
Суспензия	Жидкость	Твердое
Эмульсия	Жидкость	Жидкость
Пена	Жидкость	Газ
Пыль, дым	Газ	Твердое
Туман	Газ	Жидкость

Классификация суспензий по размеру частиц

- **грубые** (> 100 мкм),
- **тонкие** ($0,5 - 100$ мкм)
- **мути** ($0,1 - 0,5$ мкм).

Примеры суспензий



Мука в воде



Цемент в воде



Песок в воде

Примеры эмульсий

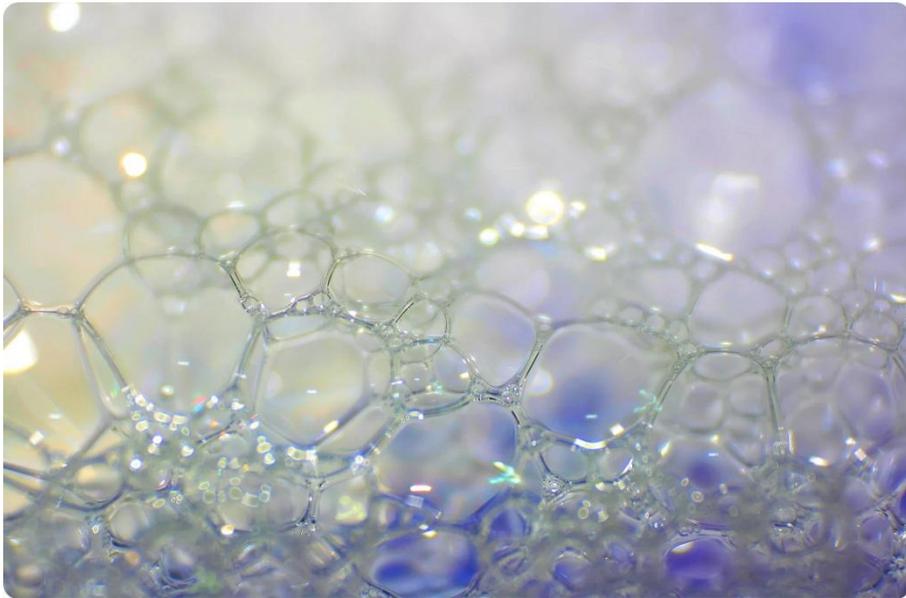


Вода и масло
Вода и бензин



Молоко – капли молочного жира в воде

Примеры пен



Аэрозоли: пыль, дым, туман

Размеры твердых частиц пыли от 3 до 70 мкм, а у дымов от 0,3 до 5 мкм.



Методы разделения неоднородных систем:

- **Осаждение** – процесс разделения, при котором взвешенные в жидкости или газе твердые или жидкие частицы отделяются от нее под действием сил тяжести, инерции или электростатических сил;
- **Фильтрование** – процесс разделения с помощью пористой перегородки, способной пропускать жидкость или газ, но задерживать взвешенные в них твердые частицы;
- **Центрифугирование** – процесс разделения суспензий и эмульсий в поле центробежных сил;
- **Мокрая очистка газов** – процесс разделения, основанный на улавливании взвешенных в газе частиц жидкостью (как правило, под действием сил инерции).

Материальный баланс процесса разделения

$G_{\text{см}}$, $G_{\text{осв}}$, $G_{\text{ос}}$ – масса исходной смеси, осветленной жидкости и получаемого осадка, кг;

$X_{\text{см}}$, $X_{\text{осв}}$, $X_{\text{ос}}$ – содержание дисперсной фазы в исходной смеси, осветленной жидкости и осадке.

Общий материальный баланс:

$$G_{\text{см}} = G_{\text{осв}} + G_{\text{ос}},$$

Материальный баланс по дисперсной фазе:

$$G_{\text{см}} \cdot X_{\text{см}} = G_{\text{осв}} \cdot X_{\text{осв}} + G_{\text{ос}} \cdot X_{\text{ос}}$$

Совместное решение этих уравнений позволяет определить массу осветленной жидкости $G_{\text{осв}}$ и осадка $G_{\text{ос}}$:

$$G_{\text{осв.}} = G_{\text{см.}} \cdot \frac{X_{\text{ос.}} - X_{\text{см.}}}{X_{\text{осв.}} - X_{\text{ос.}}},$$

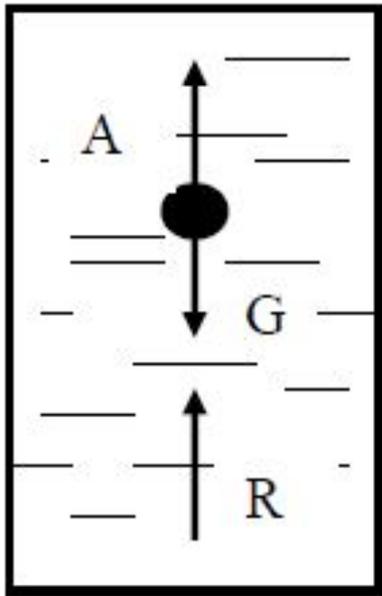
$$G_{\text{ос.}} = G_{\text{см.}} \cdot \frac{X_{\text{см.}} - X_{\text{осв.}}}{X_{\text{ос.}} - X_{\text{осв.}}}.$$

Отстаивание

Отстаивание – осаждение под действием силы тяжести.

Условие разделения выполняется когда плотности твёрдого материала $\rho_{\text{ч}}$ и жидкости $\rho_{\text{с}}$ различны, обычно $\rho_{\text{ч}} > \rho_{\text{с}}$.

Скорость осаждения в гравитационном поле одиночной шарообразной частицы



Сила
тяжести

Сила
Архимеда

Сила сопротивления

$$G = V \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot g = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot g,$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot g,$$

$$R = \frac{C \cdot F \cdot \rho_{\text{с}} \cdot w_{\text{ос}}^2}{2},$$

Приравнявая силы и выражая скорость, получим формулу для расчета скорости осаждения при любом режиме:

$$R = G - A$$

$$\frac{CF\rho_c w_{oc}^2}{2} = \frac{\pi d^3}{6} g(\rho_q - \rho_c)$$

$$w_{oc} = \sqrt{\frac{4 d \cdot g(\rho_q - \rho_c)}{3 \cdot \rho_c}}$$

Закон

Стокса

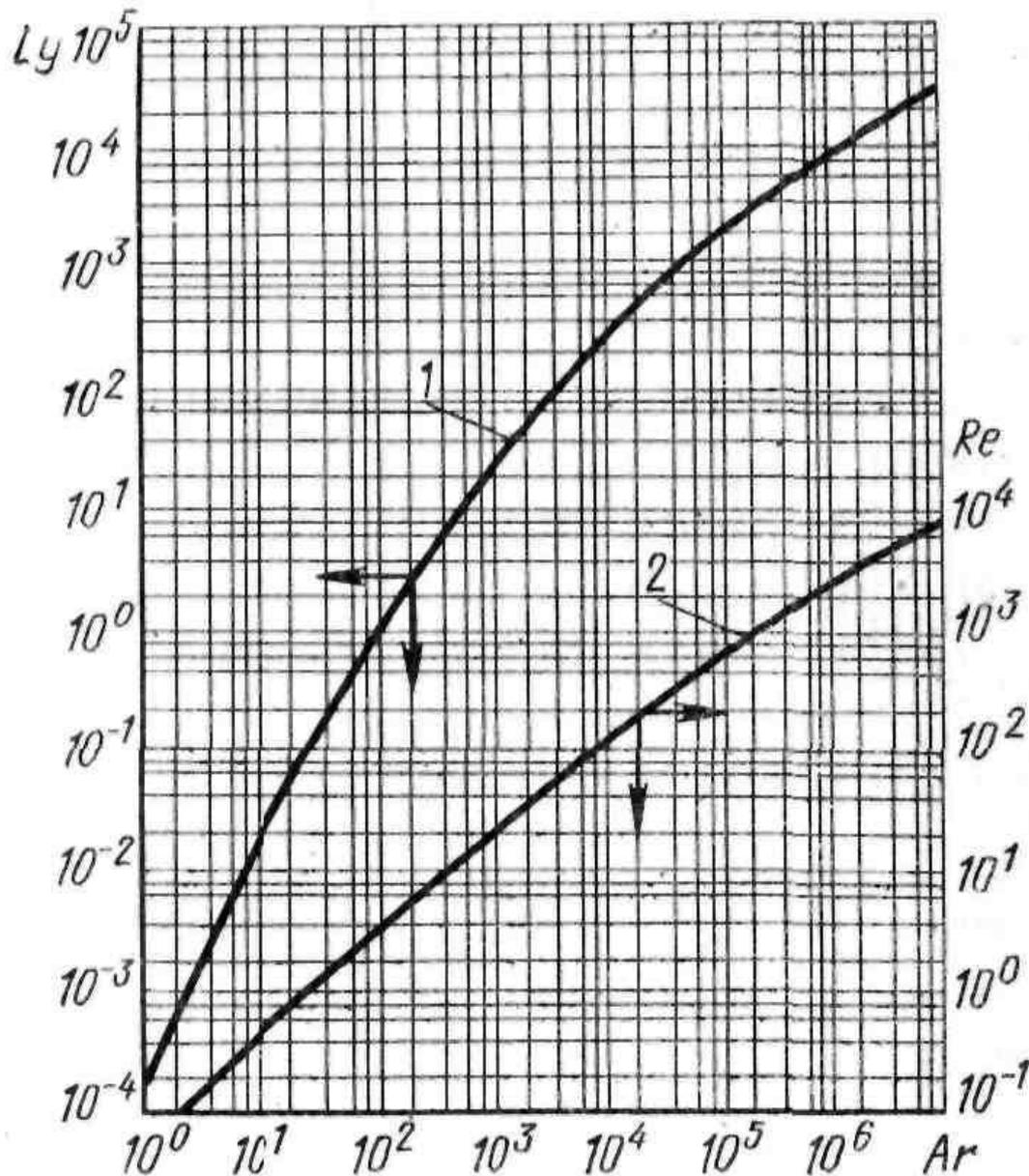
При ламинарном режиме осаждения, когда $Re < 2$, Стоксом теоретически получена формула для скорости осаждения.

$$C = \frac{24}{Re}$$

$$w_{oc} = \sqrt{\frac{4 d \cdot g(\rho_q - \rho_c) w_{oc} d \rho_c}{3 \cdot 24 \cdot \rho_c \mu_c}}$$

$$w_{oc} = \frac{d^2 \cdot g(\rho_q - \rho_c)}{18 \cdot \mu_c}$$

Метод Лященко



1. Определяют критерий Архимеда:

$$Ar = \frac{d^3 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}}) \rho_{\text{с}} g}{\mu_{\text{с}}^2}$$



2. По значению Ar определяют критерий Рейнольдса Re или критерий Лященко Ly, пользуясь диаграммой Лященко:

$$Re = \frac{w_{\text{ос}} \rho_{\text{с}} d}{\mu_{\text{с}}}$$

$$Ly = \frac{Re^3}{Ar} = \frac{w_{\text{ос}}^3 \rho_{\text{с}}^2}{\mu_{\text{с}} (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}}) g}$$



3. Вычисляют скорость осаждения:

$$w_{\text{ос}} = \frac{Re\mu_c}{\rho_c d}$$

$$w_{\text{ос}} = \sqrt[3]{Ly \cdot \mu_c (\rho - \rho_c) g / \rho_c^2}$$

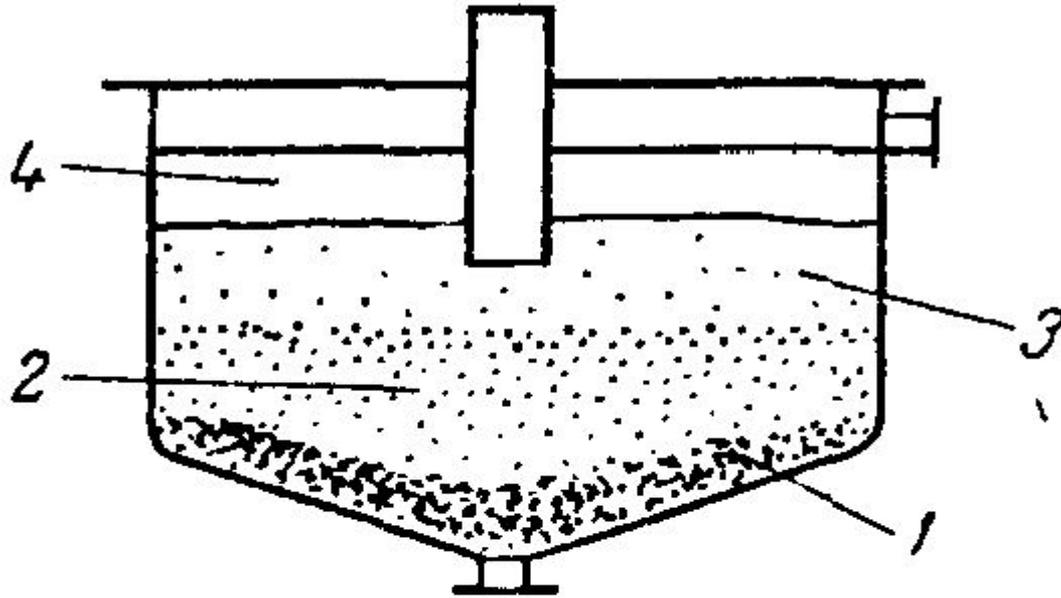
Для частицы неправильной формы скорость осаждения определяют тем же путем из критерия Лященко, но с подстановкой в критерий Архимеда вместо d величины d_9 .

Эквивалентный диаметр частицы неправильной формы вычисляют как диаметр условного шара, объем которого V равен объему тела неправильной формы:

$$d_9 = \sqrt[3]{6V / \pi} = 1,24 \sqrt[3]{M / \rho}$$

где M – масса частицы, кг.

Схема процесса отстаивания. Стесненное осаждение:



- 1 — слой осадка (шлама);
- 2 — зона сгущенной суспензии;
- 3 — зона свободного осаждения;
- 4 — осветленная жидкость.

В условиях высокой концентрации дисперсной фазы происходит **стесненное осаждение**, скорость которого может быть значительно меньше скорости свободного осаждения.

Для определения скорости стесненного осаждения $w_{\text{ос.ст}}$ необходимо учесть влияние формы частиц и объемной концентрации суспензии ε .

$$\varepsilon = V_{\text{ж}} / (V_{\text{ж}} + V_{\text{т}}),$$

где $V_{\text{ж}}$ и $V_{\text{т}}$ - объем соответственно сплошной (жидкой) и дисперсной (твердой) фазы.

Для расчетов могут быть использованы следующие уравнения:

$$\text{при } \varepsilon > 0,7 \quad w_{\text{ст}} = w_0 \varepsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\varepsilon)};$$

$$\text{при } \varepsilon \leq 0,7 \quad w_{\text{ст}} = w_0 \cdot 0,123 \varepsilon^3 / (1 - \varepsilon).$$

Скорость стесненного осаждения можно рассчитать также, исходя из следующей зависимости для критерия Рейнольдса:

$$\text{Re}_{\text{о, ст}} = \text{Ar} \varepsilon^{4,75} / (18 + 0,6 \sqrt{\text{Ar} \varepsilon^{4,75}}).$$

Для инженерных расчетов часто принимают, что: $w_{\text{ос.ст.}} = 0,5 w_0$

Области применения процесса отстаивания

- Сгущение суспензий;
- Классификации суспензий по фракциям частиц твердой фазы;
- Грубая очистка газов от пылей;
- Разделение эмульсий.

Недостатки процесса:

Ввиду малой движущей силы (сила тяжести) в процессе отстаивания возможно с достаточной эффективностью отделять только крупные частицы.

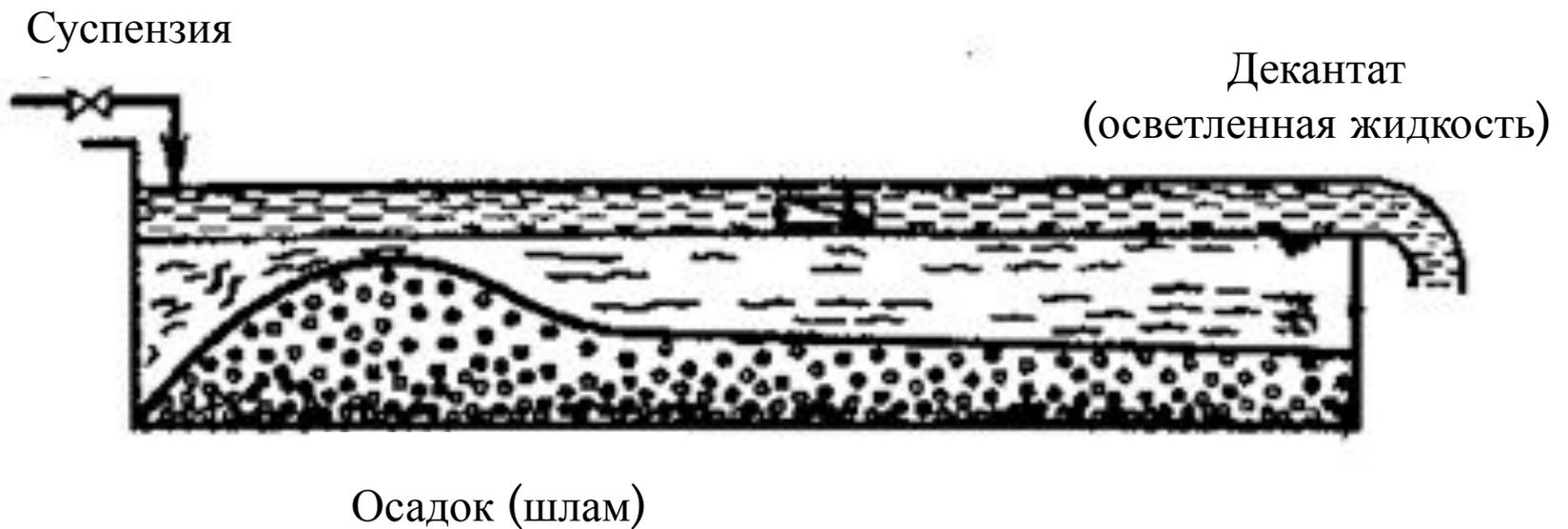
Преимущества процесса:

Это наиболее простой и дешевый процесс среди гидродинамических, поэтому его часто используют для первичного разделения, что удешевляет последующее окончательное разделение гетерогенной смеси более сложными способами.

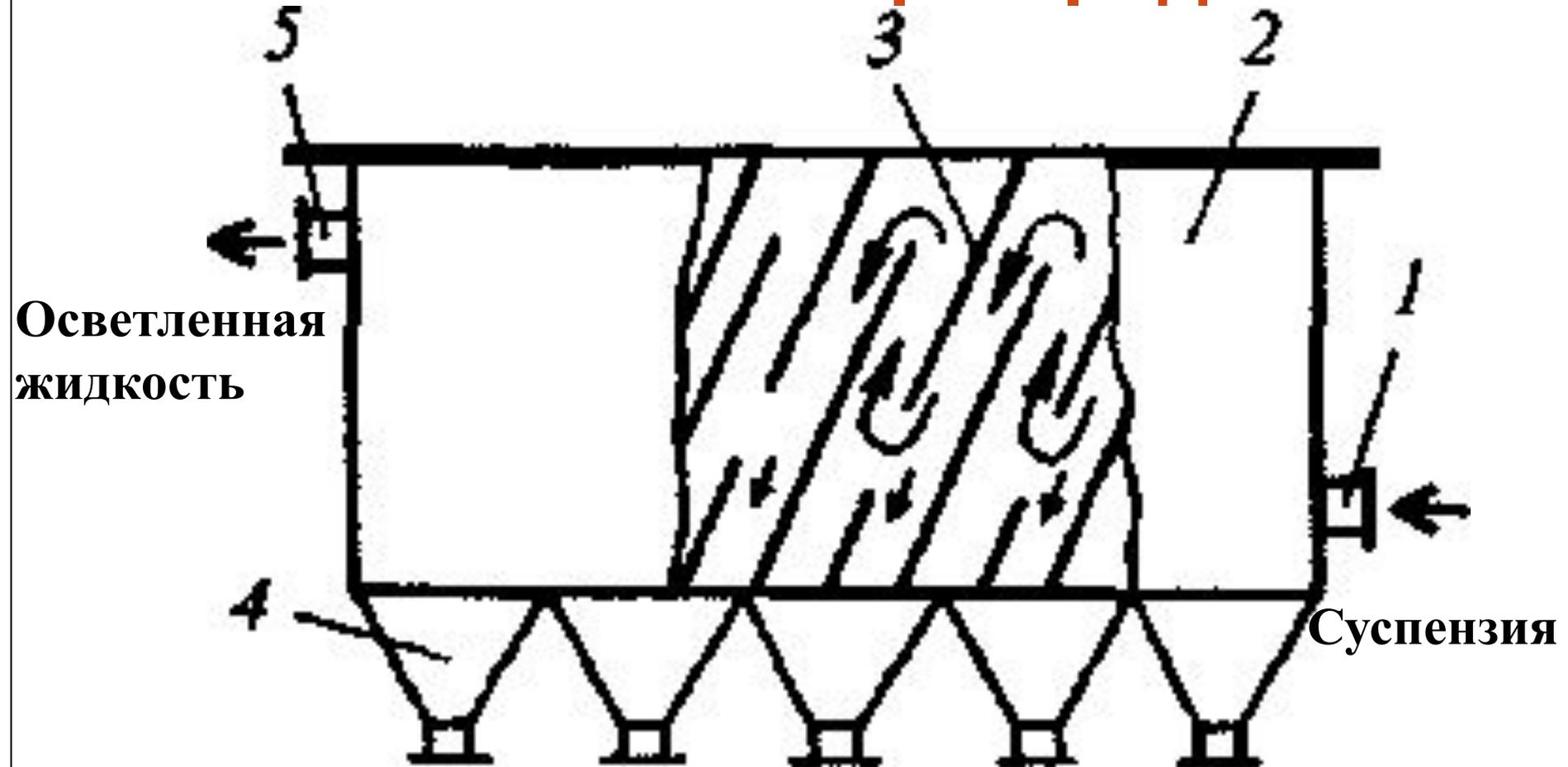
Конструкции отстойников (сгустителей)

Основные процессы и аппараты
химической технологии

Схема отстойника периодического действия

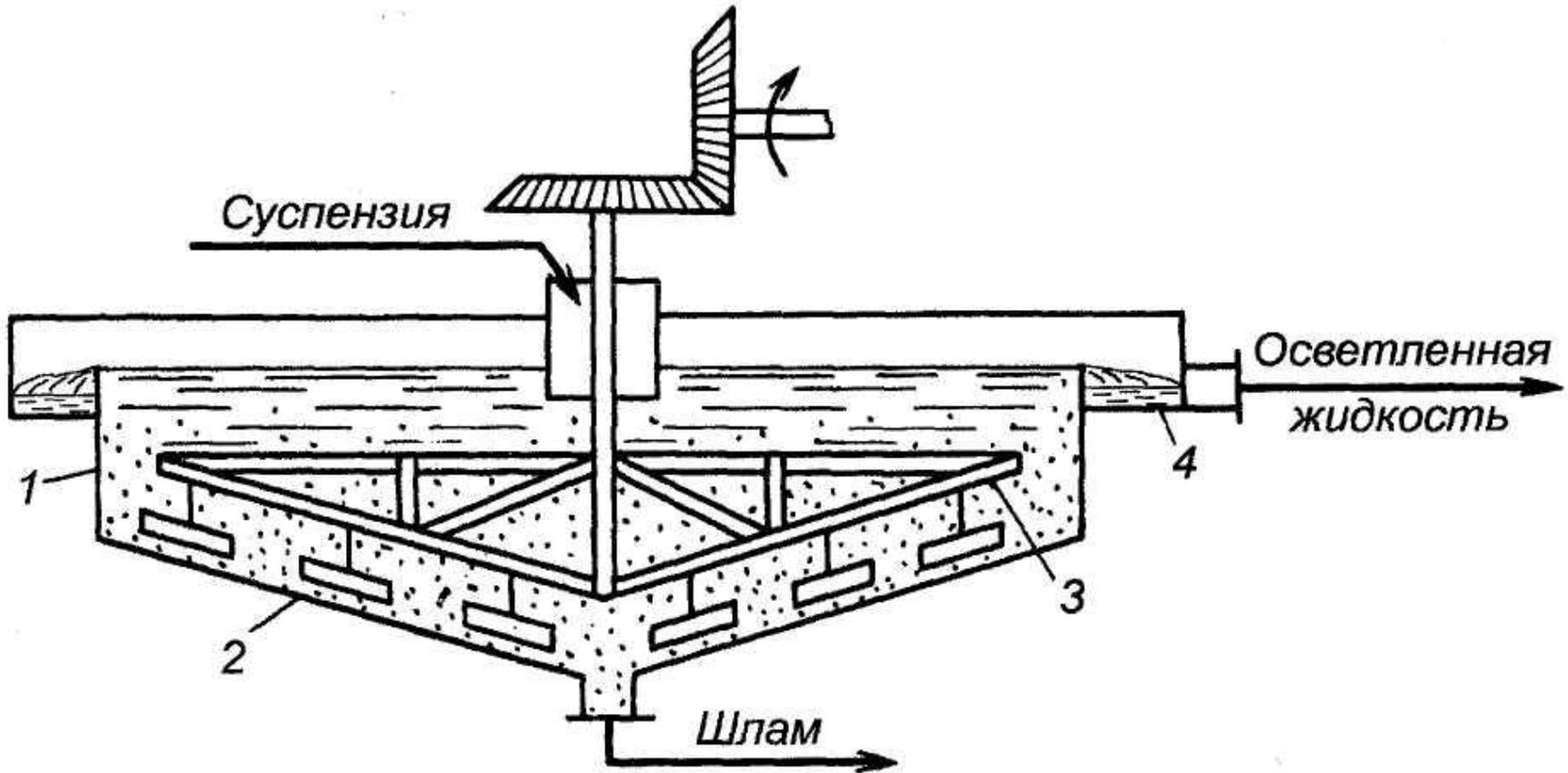


действия с наклонными перегородками



Перегородки увеличивают площадь поверхности осаждения и время пребывания жидкости в аппарате

Отстойник непрерывного действия с гребковой мешалкой



1 – корпус; 2 – лопасти с гребками; 3 – мешалка; 4 – кольцевой желоб

мешалкой



Достоинства:

- Большая производительность;
- Равномерная плотность осадка;
- Обеспечивается более эффективное обезвоживание осадка вследствие легкого взбалтывания его мешалкой;
- Возможность полной автоматизации процесса

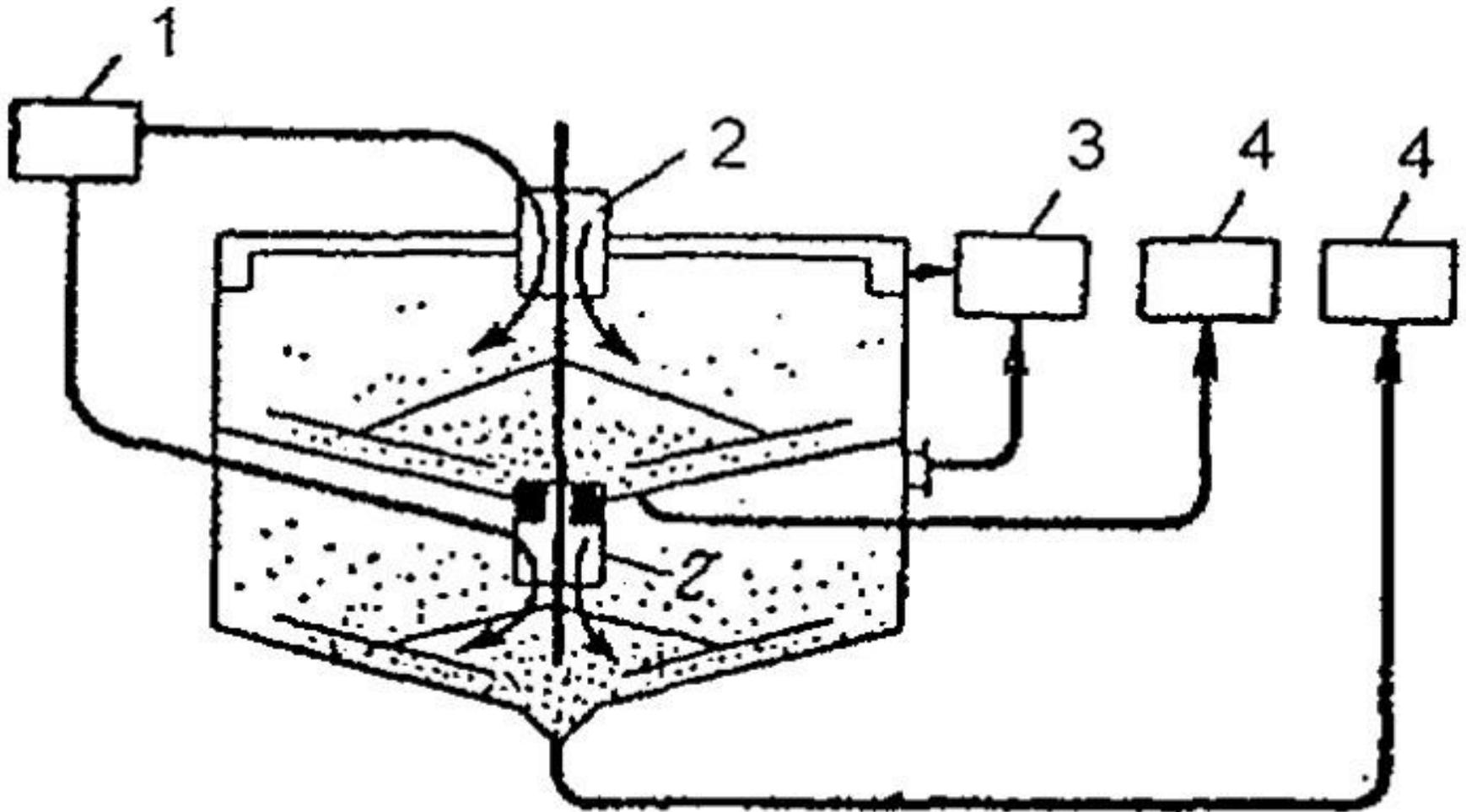
Недостатки:

- громоздкость

Диаметр 1,8 – 30 м (и более)



типа



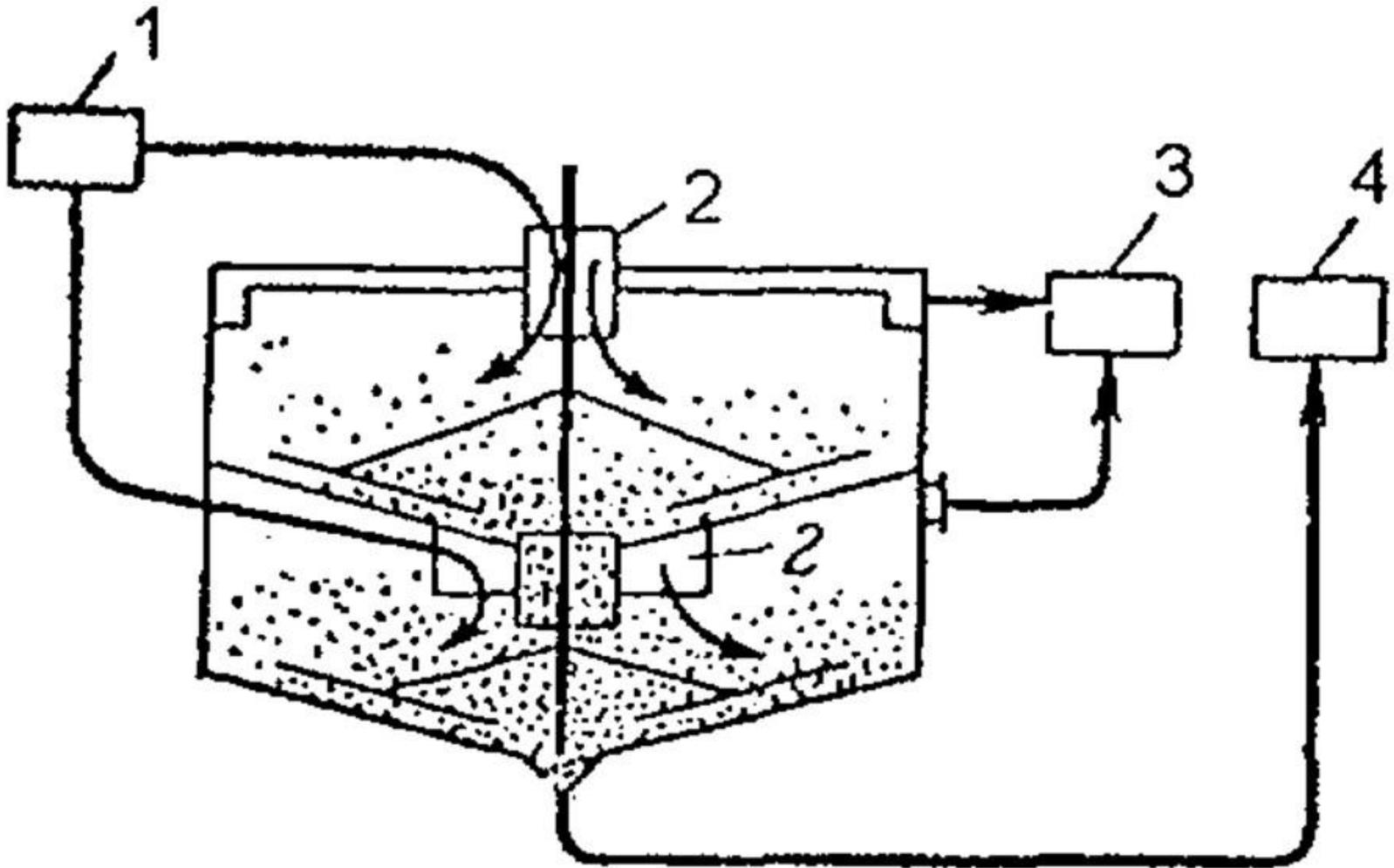
1 – распределитель исходной суспензии

2 – труба для ввода суспензии в каждый ярус

3 – коллектор для сбора осветленной жидкости

4 – сборники осадка (шлама)

типа



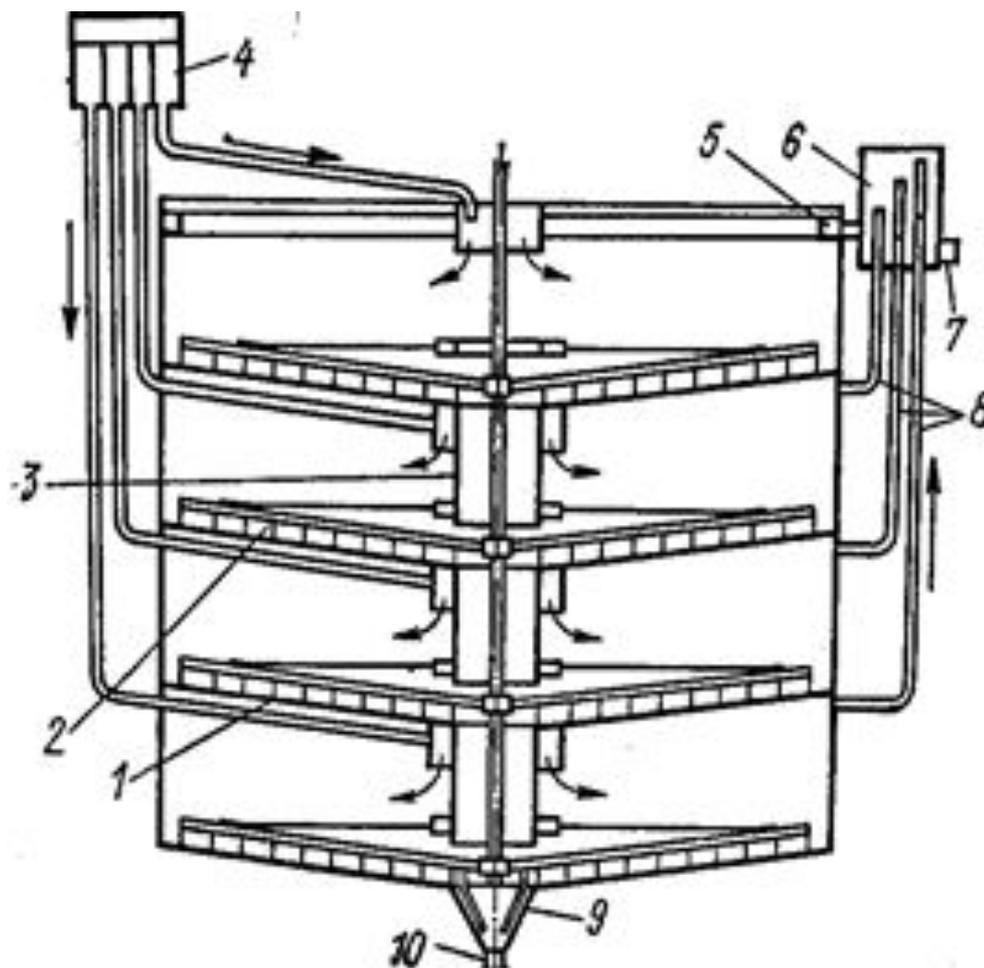
1 – распределитель исходной суспензии

2 – труба для ввода суспензии в каждый ярус

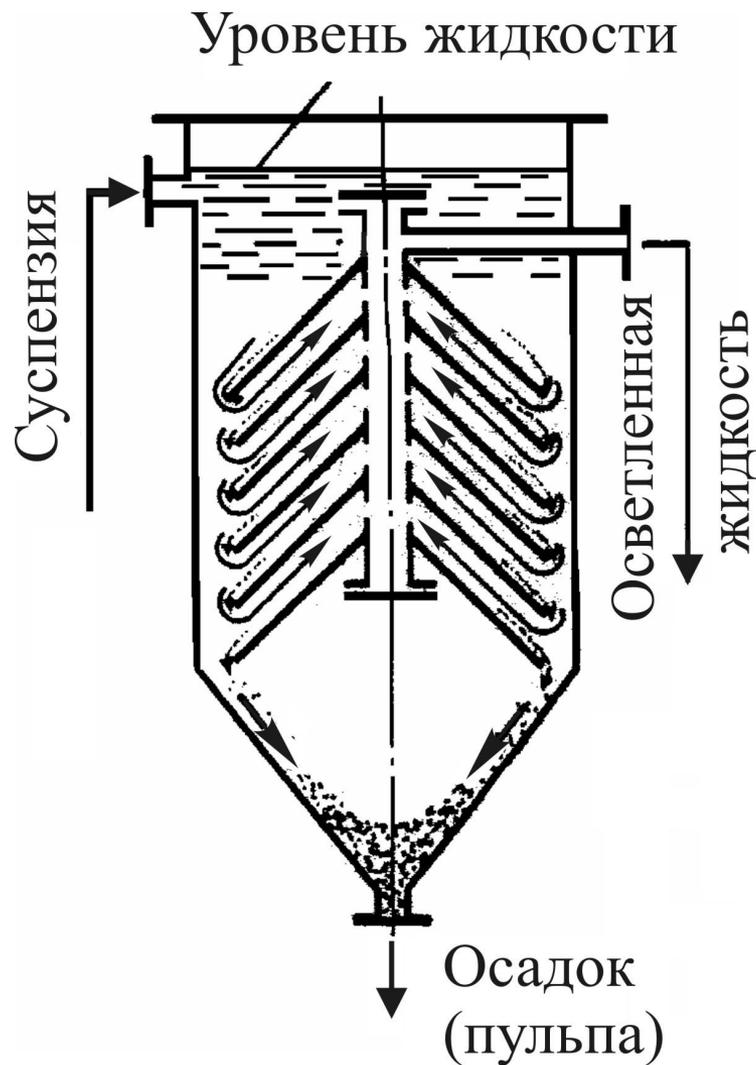
3 – коллектор для сбора осветленной жидкости

4 – сборники осадка (шлама)

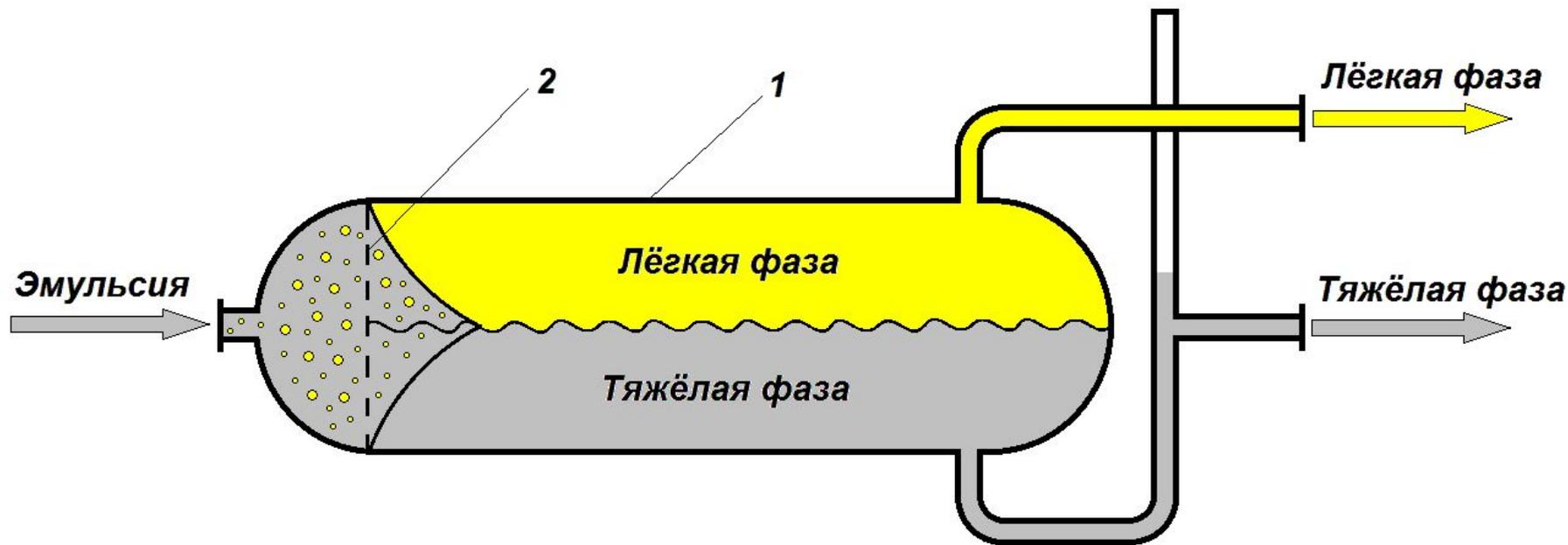
Многоярусный отстойник сбалансированного типа



Отстойник непрерывного действия с коническими полками



Остойник непрерывного действия для разделения эмульсий



1 - корпус

2 – перфорированная перегородка (для предотвращения возмущений жидкости струей поступающей эмульсии)

Очистка газов гравитационным осаждением

Основные процессы и аппараты
химической технологии

Запыленный газ с малой скоростью (скорость газового потока внутри камеры 1-4м/с) поступает во входной патрубке пылеосадительной камеры. Под действием силы тяжести более крупные частицы осаждаются и попадают в накопительный бункер. Очищенный газовый поток выходит через выходной патрубок. Накопительный бункер освобождается с помощью разгрузочного люка.

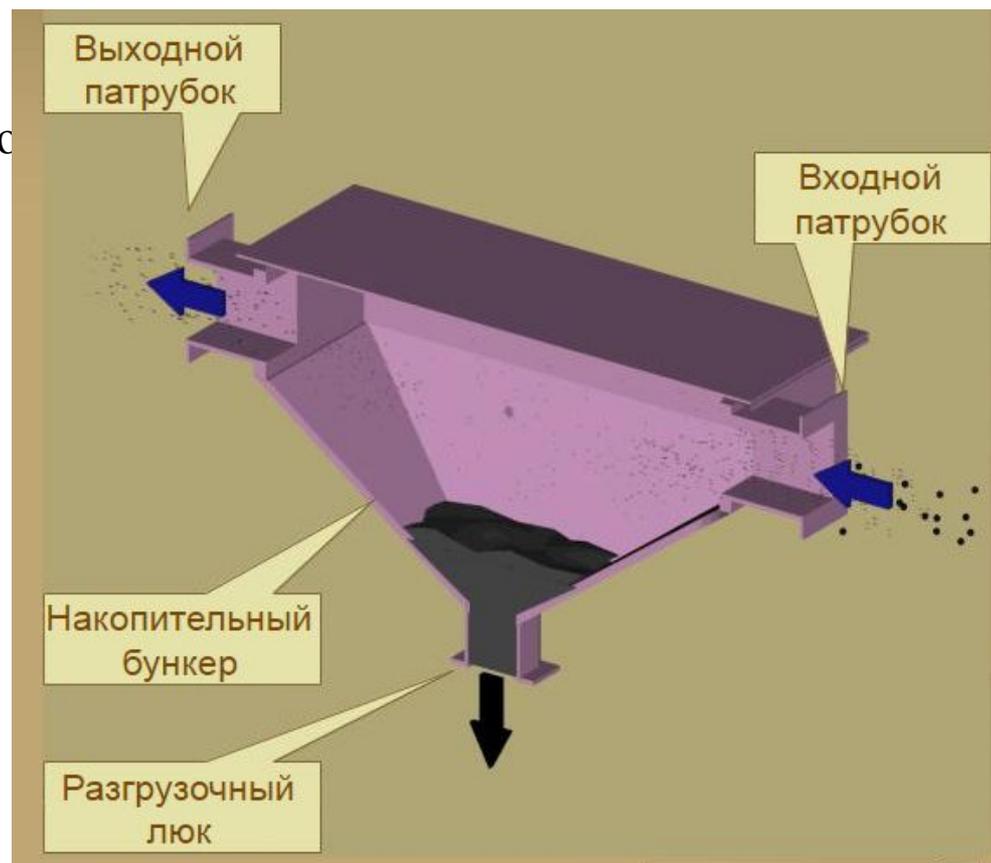
Достоинства и недостатки:

Гравитационное осаждение действенно лишь для крупных частиц диаметром более 50-100мкм.

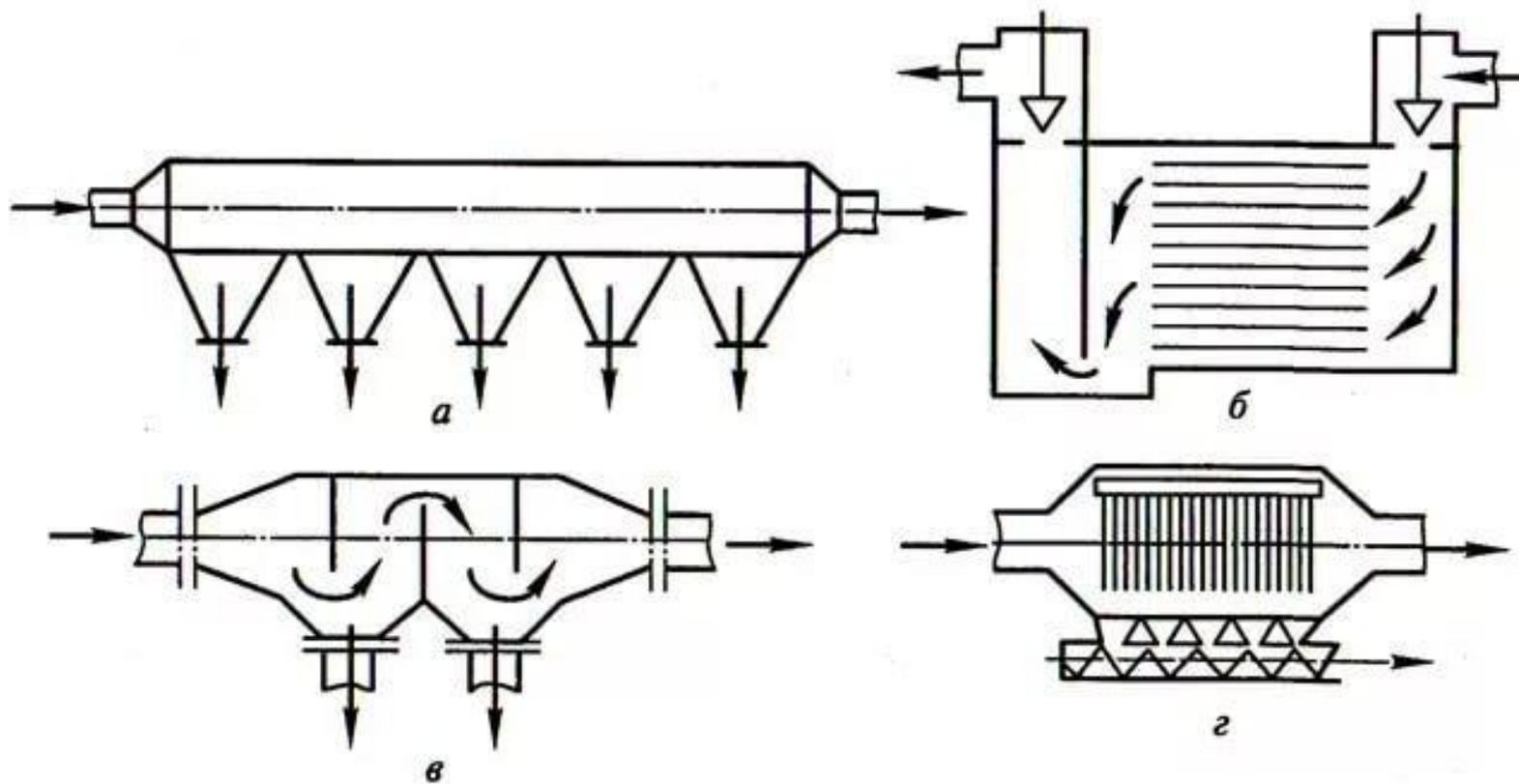
Эффективность:

- 40-50% (диаметр частиц < 20 мкм)
- 80-90%(диаметр частиц 50 мкм)

Метод пригоден лишь для предварительной, грубой очистки газов.



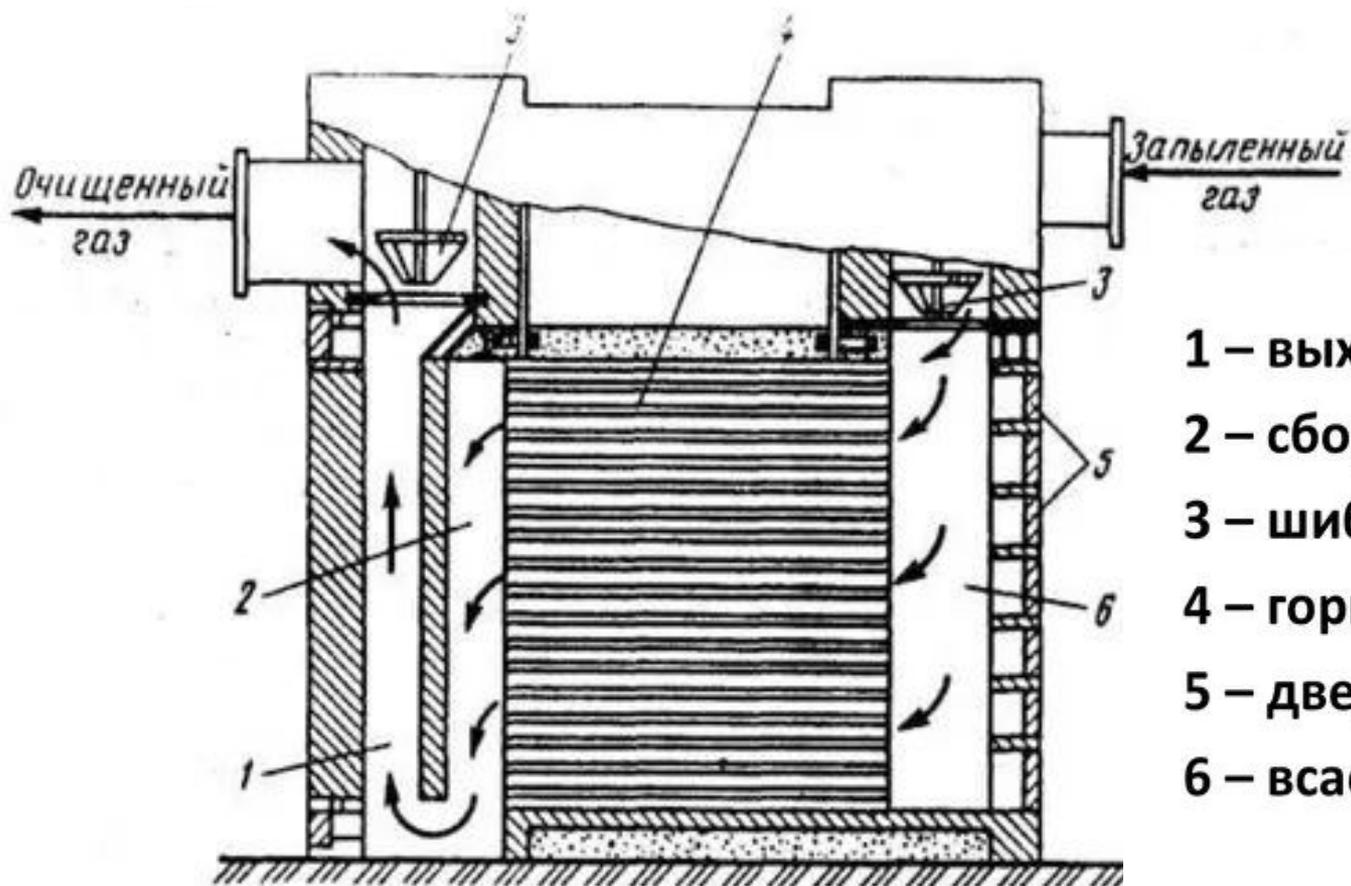
Типы пылесадительных камер



Горизонтальные пылесадительные камеры:

a — простейшая; *б* — многополочная; *в* — с перегородками; *г* — с цепными или проволочными завесами

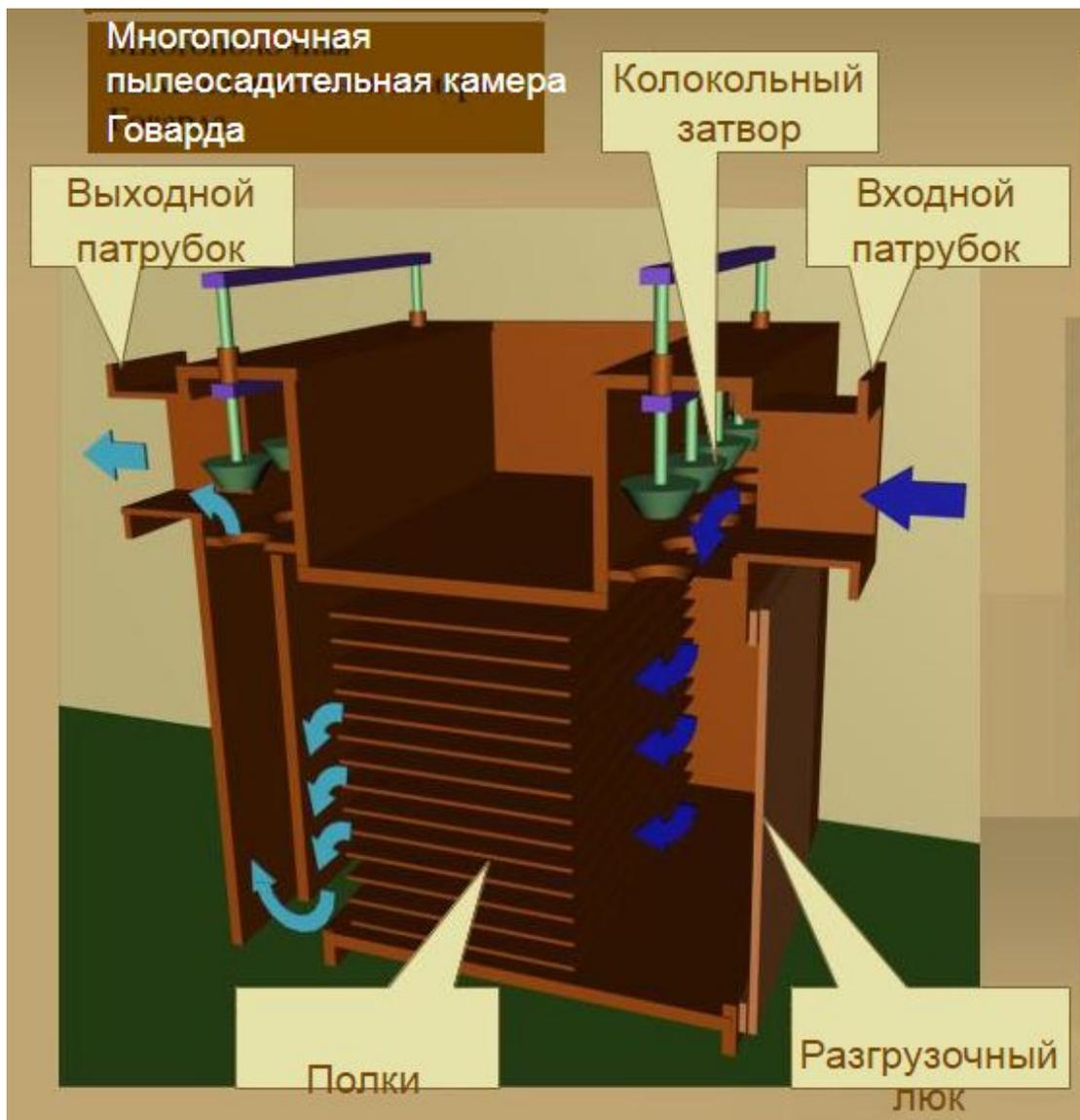
Многополочная пылеосадительная камера



- 1 – выходной канал;
- 2 – сборный канал;
- 3 – шиберы;
- 4 – горизонтальная полка;
- 5 – дверцы;
- 6 – всасывающий канал

Расстояние между полками 40 – 300 мм.

Степень очистки газа от пыли не более 30 – 40 %.



Производительность пылеосадительных камер:

$$\Pi = S w_0,$$

где S — площадь горизонтального сечения камеры, или общая площадь полок, м^2 ;

w_0 — скорость осаждения частиц, м/с .