

6.5. Флотация

Флотация

Процесс молекулярного прилипания частиц извлекаемого материала к поверхности раздела двух фаз, обычно газа (как правило, воздуха) и жидкости, обусловленный избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также поверхностными явлениями смачивания.

Процесс флотации заключается в образовании флотокомплексов «частицы извлекаемого вещества – пузырек газа», всплывании этих комплексов на поверхность жидкости и их удаления с поверхности жидкости. Прилипание частицы, находящейся в жидкости, к пузырьку газа возможно, если наблюдается ее несмачивание или плохое смачивание жидкостью.

Кроме того, большое значение имеют размер, количество и равномерность распределения пузырьков газа в очищаемой жидкости. Оптимальными размерами принято считать диаметр пузырьков – 15...30 мкм, а максимальными – 100...200 мкм.

Классификация методов флотации по способам насыщения жидкости пузырьками воздуха

- Флотация с выделением воздуха из раствора;
- Флотация с механическим диспергированием воздуха;
- Флотация с подачей воздуха через пористые материалы;
- Электрофлотация.

6.5.1. Флотация с выделением воздуха из раствора

Сущность метода

Заключается в создании перенасыщенного раствора воздуха в сточной воде при избыточном давлении. При снижении давления избыточный растворенный газ выделяется в виде мелких пузырьков, которые образуя с нерастворенными частицами загрязняющих веществ флотокомплексы флотируют их.

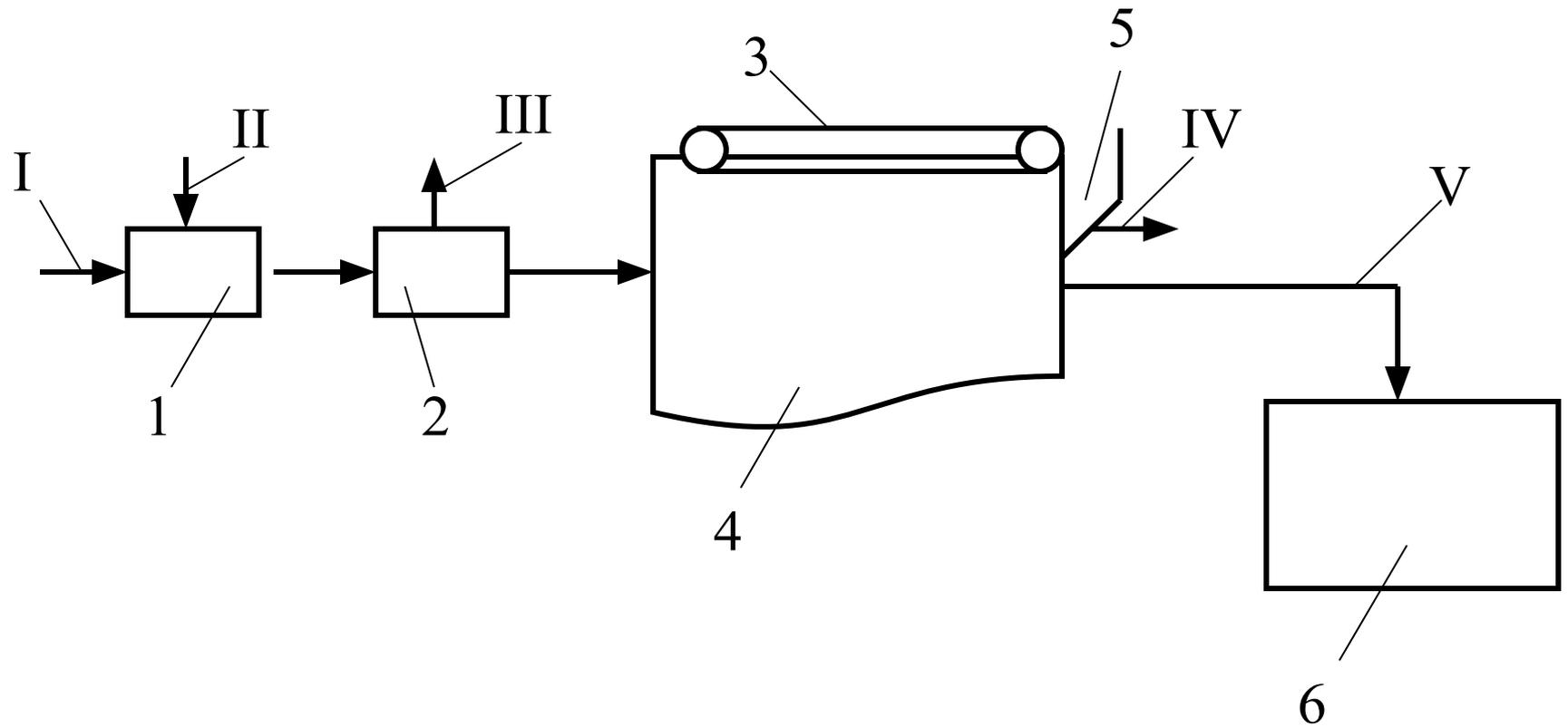
Необходимое для осуществления флотации количество воздуха, обеспечивающее требуемую эффективность очистки, обычно составляет 1...5 % от объема очищаемой воды.

Основные способы

- Вакуумная флотация;
- Напорная флотация;
- Эрлифтная флотация;
- Башенная флотация.

Вакуумная флотация

Схема установки вакуумной флотации



Сущность способа

Сточная вода, поступающая на очистку, предварительно насыщается воздухом в аэрационной камере. Затем поступает в деаэратор для удаления не растворившегося воздуха. Далее под действие разряжения сточная вода поступает во флотационную камеру (флотатор), в которой растворившийся при атмосферном давлении воздух выделяется в виде микропузырьков и выносит частицы загрязняющих веществ в пенный слой. Образующаяся во флотаторе пена (флотоконцентрат) удаляется скребковым механизмом в пеносборник (шламосборник). Отвод очищенной воды осуществляется за счет разности отметок уровней во флотационной камере и приемном резервуаре или насосами.

Основные преимущества способа

- Образование пузырьков газа, их слипание с частицами загрязняющих веществ и всплытие образовавшихся флотокомплексов происходит в спокойной среде, следовательно, вероятность разрушения указанных комплексов сводится к минимуму;
- Минимальные затраты на насыщение воды воздухом, образование и измельчение воздушных пузырьков.

Основные недостатки способа

- Необходимость сооружения герметически закрытых резервуаров;
- Сложность эксплуатации вакуумных установок;
- Ограниченный диапазон применения.

Основные расчетные характеристики

- Продолжительность насыщения сточной воды воздухом в аэрационной камере - 1...2 мин;
- Давление во флотационной камере (флотаторе) - 0,02...0,03 МПа;
- Продолжительность пребывания сточной воды во флотаторе – 20 минут;
- Гидравлическая нагрузка на флотатор при нагрузке на 1 площади зеркала около $200 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$;
- концентрация загрязняющих веществ в очищаемой сточной воде – не более 250 мг/л.

Напорная флотация

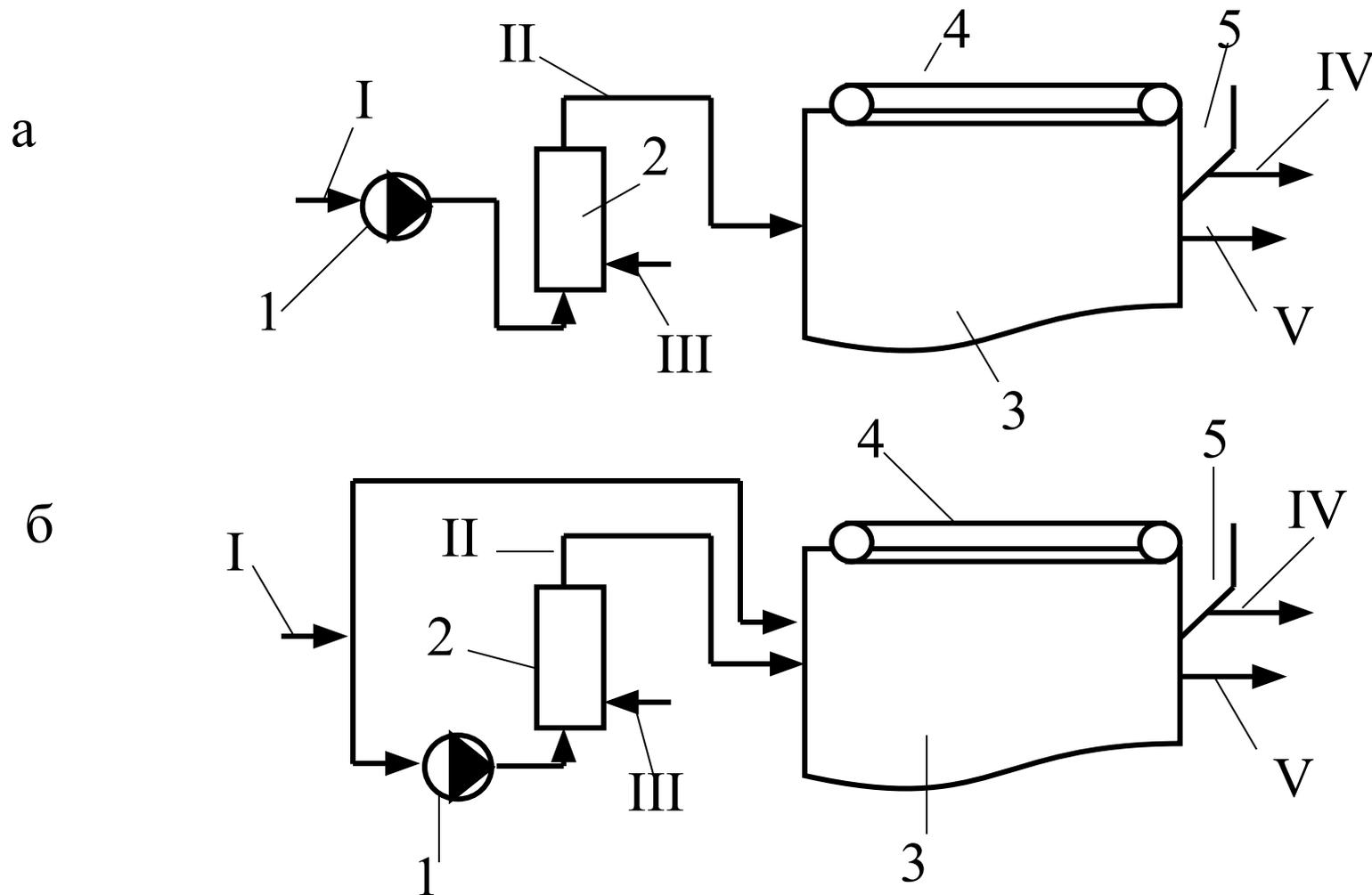
Сущность способа

Процесс насыщения сточной воды воздухом осуществляется в специальном сооружении – напорном баке (сатураторе). В это сооружение под давлением подается насыщаемая вода и сжатый воздух. Затем газонасыщенная вода поступает во флотатор, где давление равно атмосферному. В результате снижения давления от давления насыщения до атмосферного избыточный растворенный воздух выделяется из раствора в виде микропузырьков и, осуществляется процесс флотации.

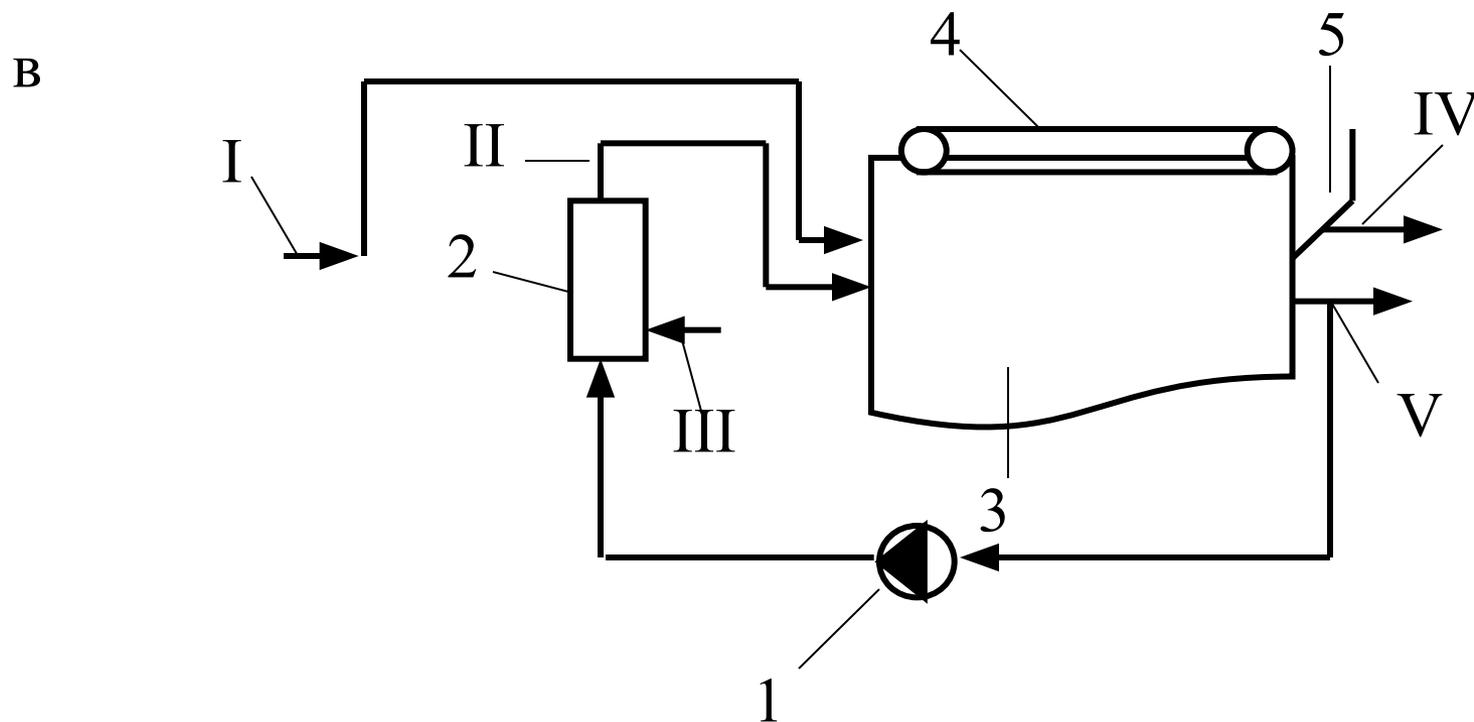
Классификация схем напорной флотации

- Прямоточная флотация: с насыщением воздухом всего потока очищаемой воды или его части;
- Флотация с рециркуляцией насыщенной воздухом воды.

Основные схемы напорной флотации



Основные схемы напорной флотации (продолжение)



Основные типы флотаторов

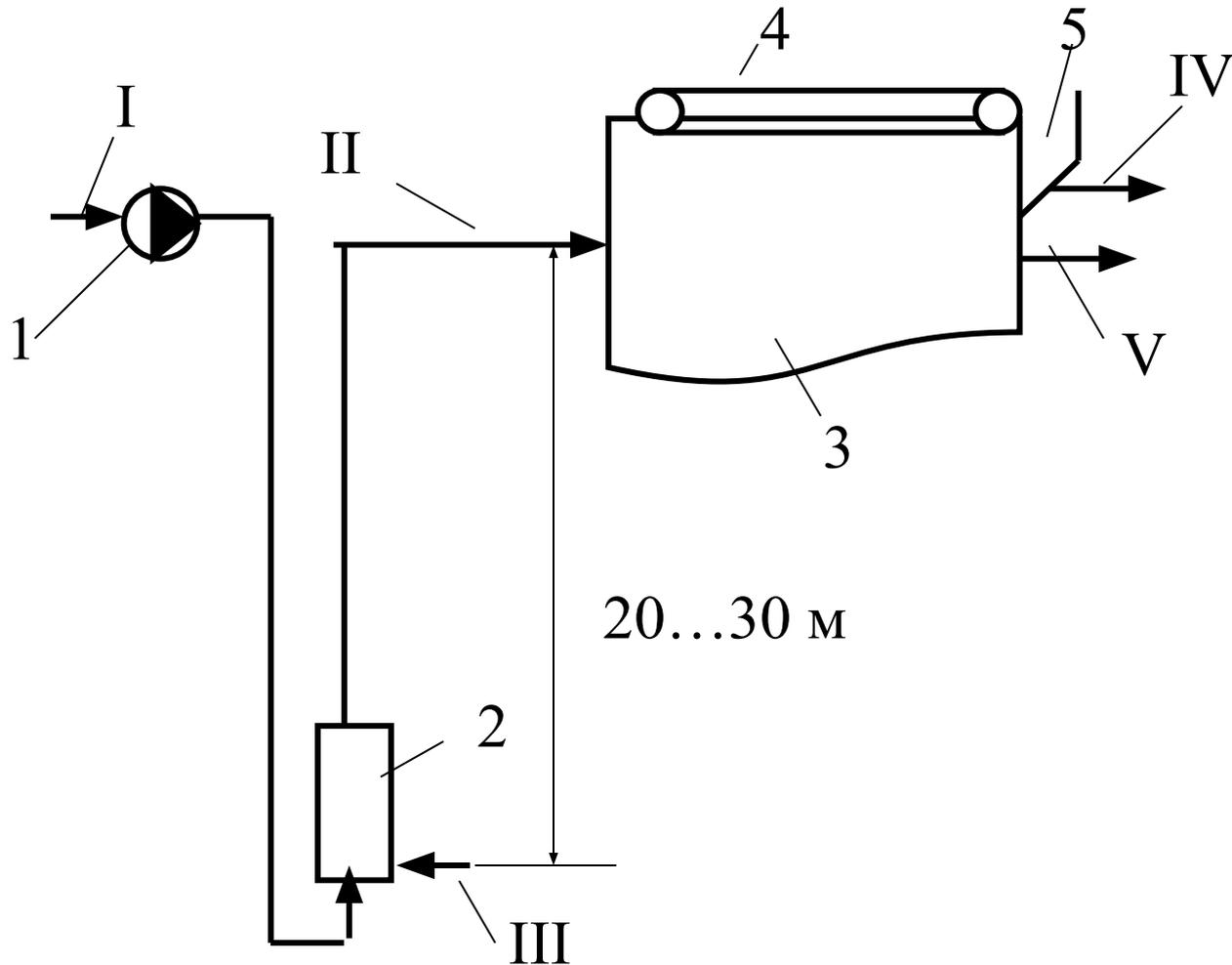
- По форме в плане:
 1. Прямоугольные (при расходах сточных вод до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$);
 2. Радиальные (при расходах сточных вод более $100 \text{ м}^3/\text{ч}$).
- По направлению движения воды:
 1. С горизонтальным движением воды (при расходах сточных вод до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$);
 2. С вертикальным движением воды (при расходах сточных вод до $200 \text{ м}^3/\text{ч}$);
 3. С радиальным движением воды (при расходах сточных вод до $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Основные расчетные характеристики

- Давление насыщения воды воздухом – 0,3...0,7 МПа;
- Продолжительность насыщения воды воздухом – 1...3 мин.;
- Расход воздуха – 3...5 % от расхода очищаемой воды;
- Гидравлическая нагрузка на площадь поверхности флотатора – 3...6 м³/(м²•ч);
- Продолжительность флотации – 20...30 мин.

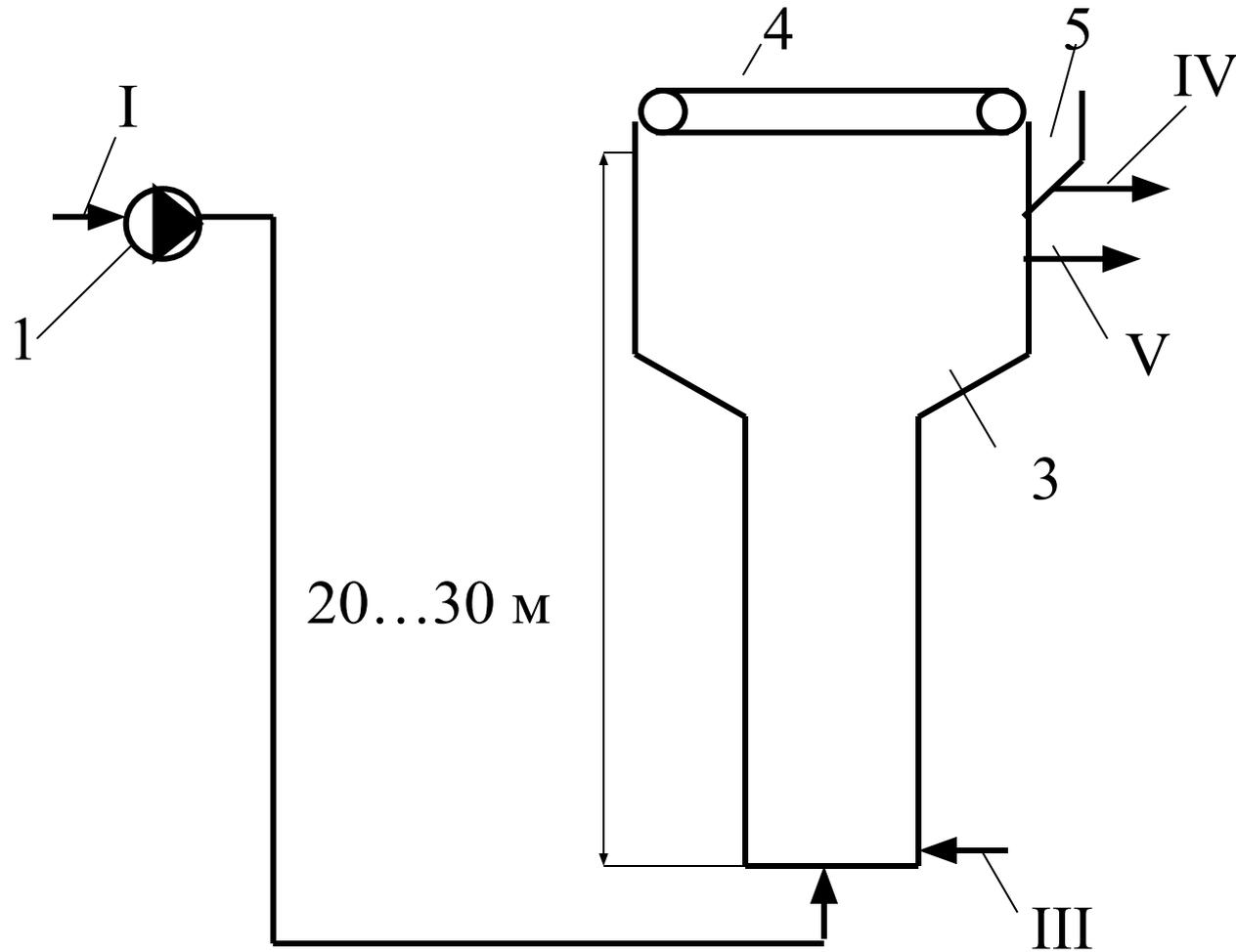
Эрлифтная флотация

Схема установки эрлифтной флотации



Башенная флотация

Схема установки башенной флотации



6.5.2. Флотация с механическим диспергированием воздуха

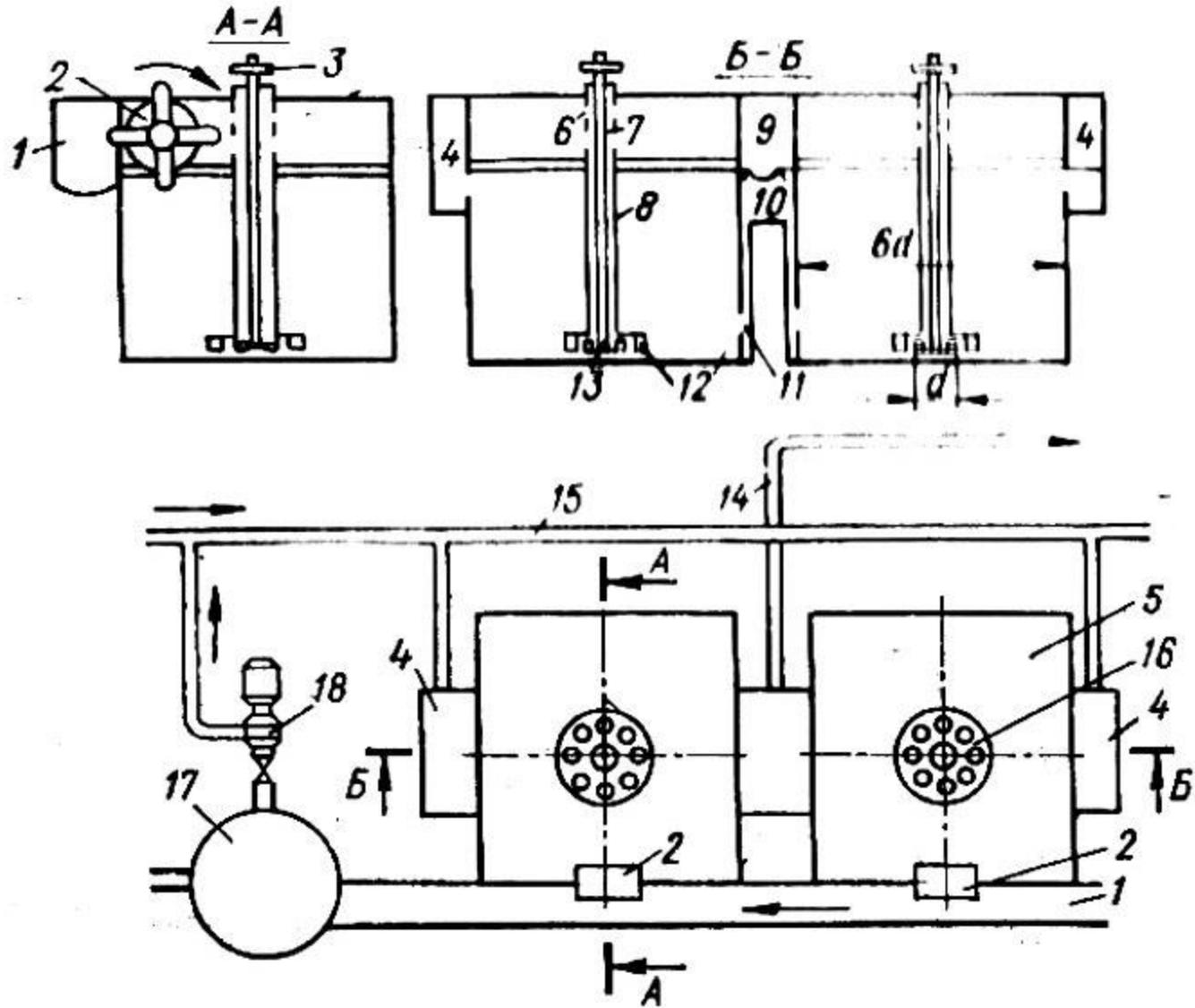
Импеллерная флотация

Сущность способа

Сточная вода из приемного кармана поступает к импеллеру, в который подается воздух. Над импеллером расположен статор, выполненный в виде диска с отверстиями для внутренней циркуляции воды. Перемешанная с воздухом вода выбрасывается через статор, который для более тонкого диспергирования воздуха обычно окружают решетками. Формирование пузырьков и флотокомплексов происходит над решеткой.

Как правило, флотатор состоит из нескольких последовательно работающих камер с импеллерами.

Схема импеллерного флотатора

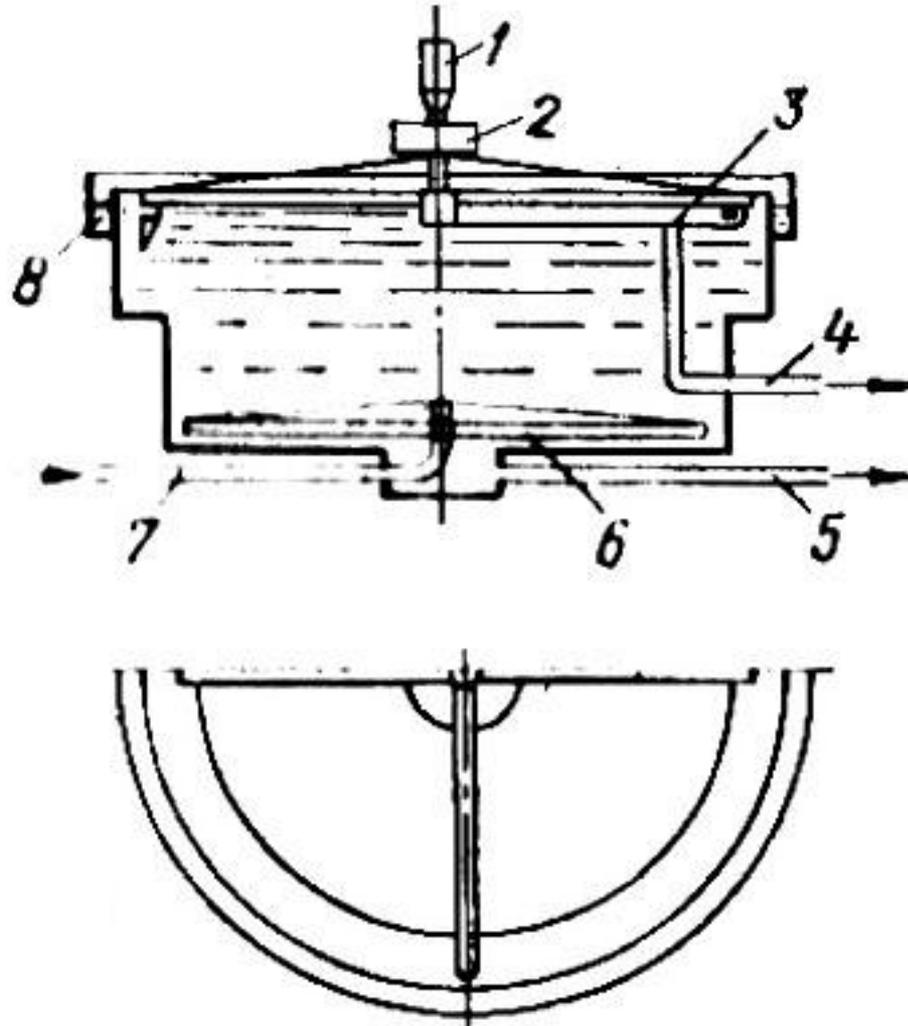


Безнапорная флотация

Сущность способа

Диспергирование воздуха происходит за счет вихревых потоков, создаваемых рабочим колесом центробежного насоса. Технологическая схема таких установок аналогична установкам напорной флотации, только в ней отсутствует сатуратор.

Схема радиального флотатора



Пневматическая флотация

Сущность способа

Измельчение пузырьков воздуха осуществляется путем впуска воздуха во флотационную камеру через сопла воздухораспределительных трубок, уложенных на дно флотатора на расстоянии 0,25...0,30 м друг от друга.

Основные расчетные характеристики

- Диаметр отверстий сопел воздухораспределительных трубок – 1,0...1,2 мм;
- Давление воздуха перед соплами – 0,3...0,5 МПа;
- Скорость выхода струи воздуха из сопла – 100...200 м/с;
- Интенсивность подачи воздуха – 15...20 м³/(м²•ч);
- Глубина флотатора – 1,5...4,0 м;
- Продолжительность флотации – 20...30 мин.

6.5.3. Флотация с подачей воздуха через пористые материалы

Сущность способа

Воздух во флотатор подается через мелкопористые фильтросные пластины, трубы, насадки, установленные по дну сооружения. Размер пор должен составлять 4...20 мкм, давление воздуха – 0,1...0,2 МПа, продолжительность флотации – 20...30 мин., рабочий уровень очищаемой сточной воды – 1,2...2,0 м.

6.5.4. Электрофлотация

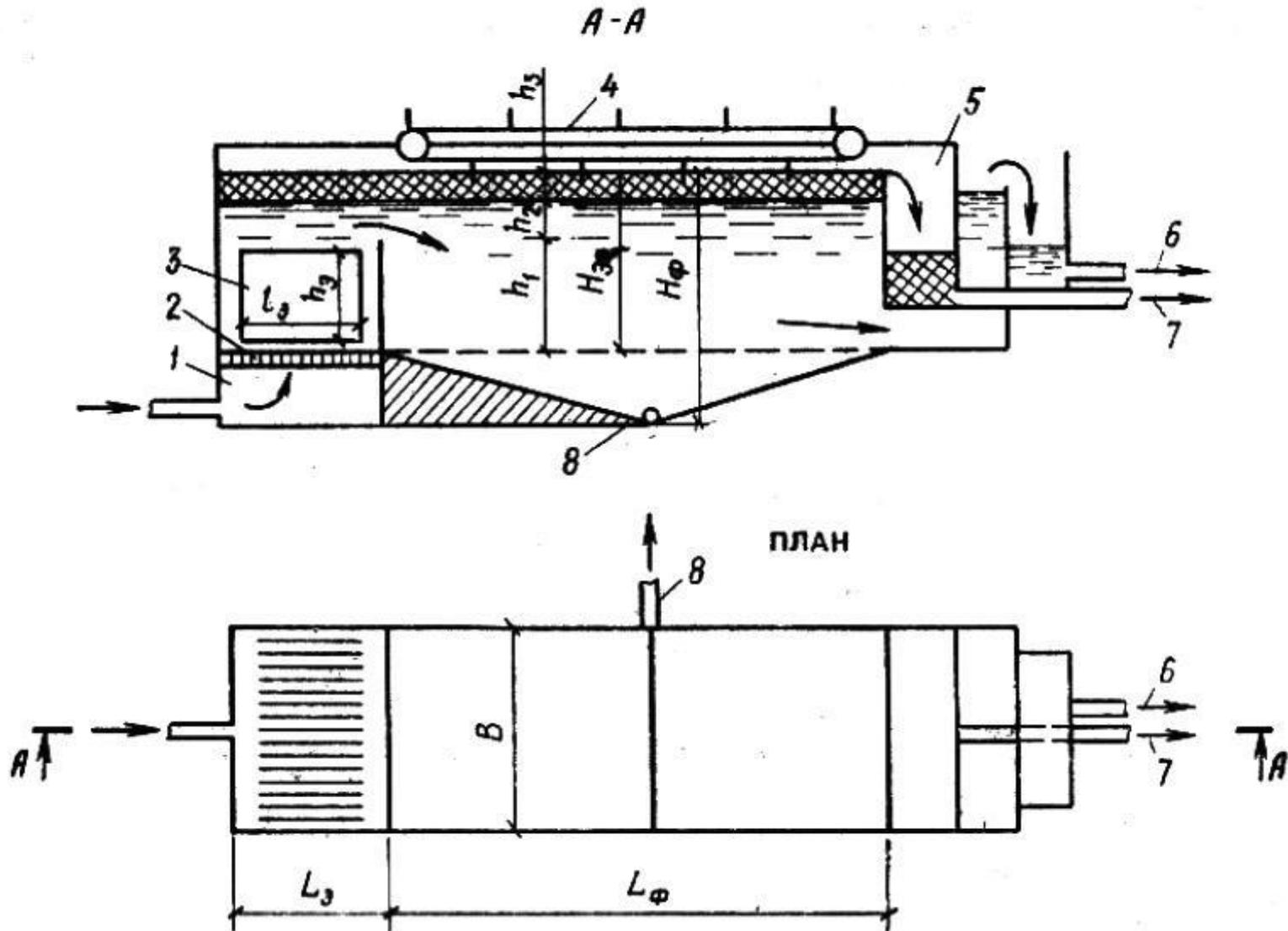
Сущность способа

Заключается в переносе частиц загрязняющих веществ на поверхность жидкости пузырьками газа, образующимися при электролизе воды. В процессе электролиза на катоде выделяется водород, а на аноде – кислород. Основную роль в процессе флотации играют пузырьки газа, выделившиеся на катоде. Размер этих пузырьков зависит от краевого угла смачивания, кривизны поверхности электрода и его конструкции. Поэтому при переходе от пластинчатых электродов к проволочным происходит уменьшение крупности пузырьков и, соответственно, повышение эффективности работы флотатора.

Сущность способа

При использовании растворимых электродов, изготовленных из стали или алюминия, на аноде происходит, так называемое, анодное растворение металла. В результате этого в воду переходят катионы железа или алюминия, которые вызывают образование хлопьев гидроокисей. Гидроокиси указанных металлом являются коагулянтами. Процессы образования гидроокисей и пузырьков газа в межэлектродном пространстве создают предпосылки для надежного закрепления газовых пузырьков на хлопьях и интенсивной коагуляции загрязняющих веществ, что обеспечивает высокую эффективность флотации. Установки такого типа принято называть электрокоагуляционно-флотационными. В зависимости от производительности эти установки выполняют однокамерными (при производительности до 10...15 м³/ч) или двухкамерными (при большей производительности) горизонтального или вертикального типа.

Схема электрофлотатора



Основы расчета

Общий объем установки

$$V_y = V_{\text{э}} + V_{\text{ф}},$$

$V_{\text{э}}$ – объем электродного отделения, м³; $V_{\text{ф}}$ - объем камеры флотации, м³.

Число пластинчатых электродов

$$n_{\text{э}} = \frac{B - 2a_1 + a_2}{\delta + a_2},$$

B – ширина электродного отделения, м; a_1 - величина зазора между крайними пластинами и стенками отделения, м; a_2 - величина зазора между пластинами, м; δ - толщина пластины, м.

Необходимая площадь пластин электродов

$$f_{\text{э}} = \frac{f_{\text{аэ}}}{n_{\text{э}} - 1},$$

$f_{\text{аэ}}$ - площадь активной поверхности электродов, м²:

$$f_{\text{аэ}} = \frac{EQ}{i},$$

E - удельное количество электричества, А·ч/м³; Q - расчетный расход сточных вод, м³/ч; i - плотность тока на электродах, А/м².

Длина электродных пластин

$$l_{\text{э}} = \frac{f_{\text{э}}}{h_{\text{э}}},$$

$h_{\text{э}}$ – высота электродов, м.

Длина электродного отделения

$$L_{\text{э}} = l_{\text{э}} + 2a_1$$

Объем электродного отделения

$$V_{\text{э}} = BH_{\text{э}}L_{\text{э}},$$

$H_{\text{э}}$ - рабочая высота электродного отделения, м:

$$H_{\text{э}} = h_1 + h_2 + h_3,$$

h_1 - высота осветленного слоя; h_2 - высота защитного слоя; h_3 - высота слоя шлама.

Объем флотационной камеры

$$V_{\text{ф}} = Qt_{\text{ф}},$$

$t_{\text{ф}}$ - продолжительность флотации, м.

Количество металла электродов, переходящее в раствор

$$m_{\text{Э}} = k_{\text{T}} \text{Э} E;$$

k_{T} - коэффициент выхода по току; Э - электрохимический эквивалент, г/А·ч

Срок службы электродов

$$T = \frac{1000M}{m_{\text{Э}} Q_{\text{сут}}},$$

M - количество металлов электродов, которое растворяется при электролизе, кг:

$$M = \rho k_{\text{Э}} \delta n_{\text{Э}},$$

ρ - плотность металла электродов, кг/м³; $k_{\text{Э}}$ - коэффициент использования материала электродов; $Q_{\text{сут}}$ - суточный расход сточных вод, м³/сут.

Основные расчетные характеристики

- Ширина электродного отделения (флотационной камеры) - 2 м при $Q < 90 \text{ м}^3/\text{ч}$; $B = 2,5 \div 3,0 \text{ м}$ при $Q = 90 \div 180 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- величина зазора между крайними пластинами и стенками отделения - 100 мм);
- величина зазора между пластинами электродов - $15 \div 20 \text{ мм}$;
- δ - толщина пластины электрода - $6 \div 10$;
- удельное количество электричества - $100 \div 600 \text{ А} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$;
- плотность тока на электродах - $50 \div 200 \text{ А}/\text{м}^2$;
- напряжении постоянного тока - $5 \div 30 \text{ В}$;
- высота электродов - $1,0 \div 1,5 \text{ м}$;
- высота осветленного слоя - $1,0 \div 1,5 \text{ м}$;
- высота защитного слоя - $0,3 \div 0,5 \text{ м}$;
- высота слоя шлама - $0,4 \div 0,5 \text{ м}$;
- продолжительность флотации - $0,30 \div 0,75 \text{ ч}$;
- коэффициент выхода по току - $0,50 \div 0,95$;
- электрохимический эквивалент: Fe^{2+} - $1,042 \text{ г}/\text{А} \cdot \text{ч}$; Fe^{3+} - $0,695 \text{ г}/\text{А} \cdot \text{ч}$; Al^{3+} - $0,336 \text{ г}/\text{А} \cdot \text{ч}$;
- коэффициент использования материала электродов - $0,8 \div 0,9$.