

Лекція. Освітлення води осадженням

1. Теоретичні основи процесу.
2. Типи відстійників, область використання та їх розрахунки.
3. Типи освітлювачів, їх технічна оцінка, область використання та їх розрахунки.
4. Виділення грубодисперсних домішок у полі відцентрових сил.

Осаджування завислих речовин в відстійниках

Відстійниками називаються споруди для вилучення із води основної маси завислих речовин гравітаційним осадженням часток маючих щільність більшу, ніж щільність води.

В нерухомій воді під впливом сили ваги частки осаджуються вертикально вниз. Швидкість руху завислих речовин залежить від розмірів та форми їх часток, їх щільності і коефіцієнту опору води руху часток.

Швидкість v вільного падіння в воді шароподібної частки діаметром d під впливом сили ваги дорівнює:

$$v = \frac{4}{3} g \frac{\rho_4 - \rho_p}{C_{ш}} d ,$$

де g - прискорення сили ваги, 9,8 м/с²;

ρ_4 та ρ_p - густина частки і рідини (води);

$C_{ш}$ - коефіцієнт опору залежний від числа Рейнольдса падаючої шароподібної частки ($Re = v d \rho_p / \mu$),

μ - коефіцієнт динамічної густини рідини.

Швидкість осадження ми вилічуємо в залежності від числа Рейнольдсу для трьох випадків:

- 1) $Re < 2$ (малі частки, мала швидкість осадження);
- 2) $2 < Re < 500$;

3) $Re > 500$.

Коефіцієнт опору C_w виявляється функцією числа Рейнольдса (Re).

При значеннях $Re < 2$ (малі частки, мала швидкість осаджування)

$$C_w = 24 / Re$$

і рівняння приймає вигляд формули Стокса:

$$v = \frac{1}{18} g \frac{\rho_4 - \rho_p}{\mu} d^2 .$$

При значеннях $2 < Re < 500$ - $C_w = 18.5 / Re^{0.6}$.

При значеннях $Re > 500$ сила в'язкості вже не відіграє суттєвої ролі в формуванні величини коефіцієнту опору. Він стає незалежним від числа Re і дорівнює 0,4. В цьому випадку

$$v = 3.3 g (\rho_4 - \rho_p) d ,$$

В наших розрахунках треба зважати на великий вплив на величину коефіцієнту опору форми частки, її полідисперсності, щільності. Тому ми з Вами вводимо поняття коефіцієнту форми для гострокутного, обкатаного піску та антрациту.

$$C_w = K_f C_4 ,$$

де K_f – коефіцієнт форми, рівний для обкатаного піску - 0,85 – 0,87;

для гострокутного піску - 0,67–0,75 і для дробленого антрациту - 0,58–0,7).

Але ми маємо справу з значно більшою розбіжністю в формі, щільності, розмірах часток, коли мова йде про завислі речовини природної води, які ми мусимо висадити в відстійниках. Це й частинки гумусу, які мають різноманітну форму, довжину, ширину і малу вагу. Частки піску мають мінеральну основу і значно більшу вагу, менші розміри. Тому ми при розрахунках відстійників користуємось такими поняттями, як крива осадження, полідисперсної пульпи або показниками осадження завислих

речовин. Криву осадження ми встановлюємо експериментально з допомогою седиментом етра або торзійних терезів. Встановлення показників осадження завислих речовин робиться з допомогою циліндрів по відповідному ГОСТу (2919-57).

Для цього беруться 2 скляних циліндра з конічним дном, висота робочої частини їх 432 мм, об'єм конусної частини – 50 мл. Циліндри заповнюються досліджуємою водою, після чого включається секундомір. Через 6 хвилин після початку досліду відкривають кран одного із циліндрів і зливають 50 мл води разом з осадом і встановлюють кількість завислих речовин; це характеризується як величина А. В другому циліндрі 50 мл води з осадом зливається через 72 хвилини і кількість завислих речовин в них характеризується як величина В.

Запис показника осадження приводиться в вигляді неділимої дробі. Чисельник А виражає кількість завислих речовин в відсотках (процентах), які повністю висаються з гідравлічною крупністю 1,2 мм/с, а знаменник В - кількість завислих речовин, випадаючих з гідравлічною крупністю 0,1 мм/с і вище.

$$\frac{A}{B} = \frac{10}{20} \div \frac{20}{60} - \text{повінь}, \quad \frac{A}{B} = \frac{5}{15} \div \frac{45}{40} - \text{межень}.$$

Метод встановлення показника осаджуваних завислих речовин природної води встановив А.А. Кастальський (рис.19). Якщо по осі абсцис ми відкладемо швидкість висадження завислих речовин, а по осі ординат - кількість осаджених завислих речовин з цими швидкостями, то залежність між цими величинами, в межах швидкостей від 0,1 мм/с до 1,2 мм/с, буде змінюватись як крива осадження, яку ми вже з Вами вивчали. Кастальський запропонував знехтувати кривизною цієї кривої і уявите її прямою.

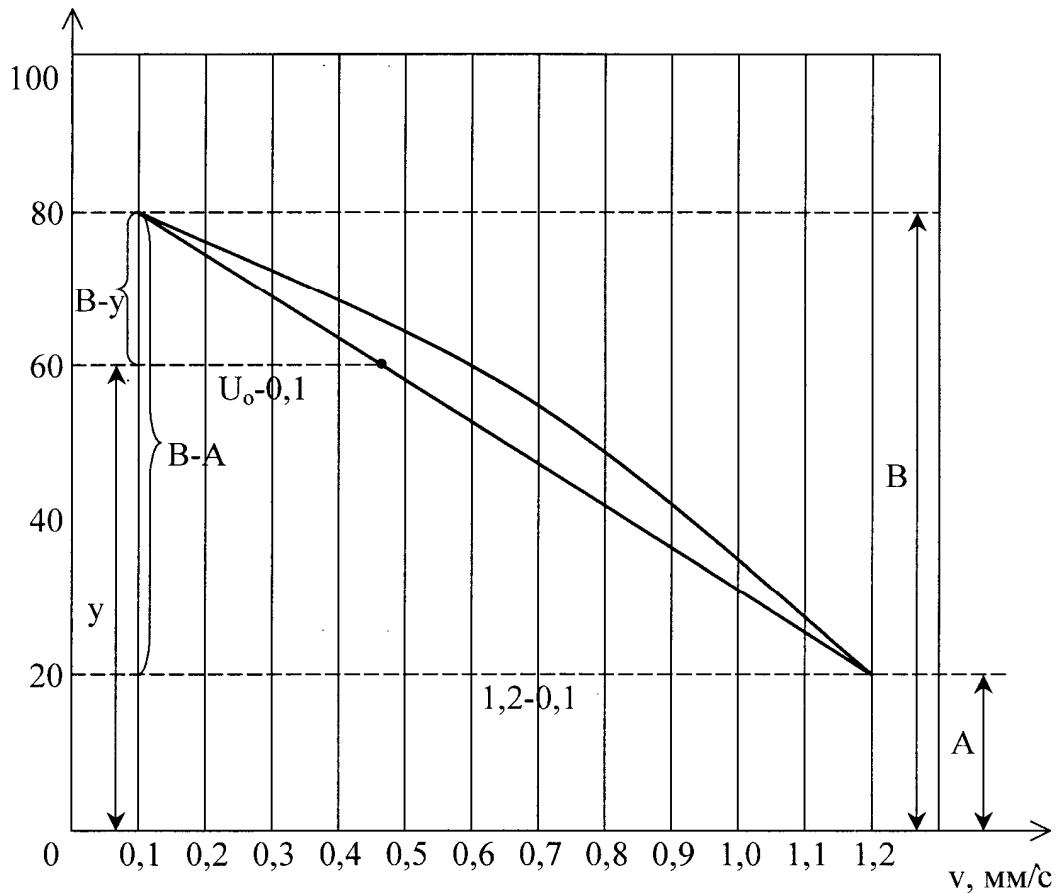


Рисунок 19 – Графік показника осадження завислих речовин

Тоді з допомогою цього графіку та подібності трикутників ми зможемо встановити граничну швидкість осадження часток в відстійнику - U_0 в залежності від заданого відсотку (%) вилучення завислих речовин із води.

Наприклад, кількість завислих речовин $M_n = 24$ мг/л:

$$\frac{U_0 - 0.1}{1.2 - 0.1} = \frac{B - y}{B - A},$$

де y - заданий % (відсоток) вилучення відстійником завислих речовин,
 $y = \frac{M_n - M_k}{M_n} \cdot 100 = \frac{24 - 10}{24} \cdot 100 = 59\%$,
 який встановлюється так :

M_n - початкова каламутність, мг/л ;

M_k - кінцева каламутність, мг/л.

Звідти

$$U_o = \frac{1.2B - 0.1A - 1.1y}{B - A}$$

Тоді швидкість осадження завислих речовин, $U_o = \frac{1,2 \cdot 0,81 - 0,1 \cdot 0,3 - 1,1 \cdot 0,59}{0,81 - 0,3} = \frac{0,972 - 0,03 - 0,649}{0,51} = \frac{0,293}{0,51} = 0,57 \text{ м/с}$ будуть висадженими,

(згідно наведеного прикладу і рис.19). Тобто завислі речовини з гідравлічною крупністю $< 0,57 \text{ мм/с}$ висаджувати необов'язково, їх ми відфільтруємо на швидких фільтрах.

Треба зазначити, що невелика висота циліндрів та їх діаметр в зрівнянні з висотою відстійника та глибиною в ньому потоку дає погрішність (похибку). Фактично % в 1,25-1,45 разів більше. В АКГ Вейцер та Колобова встановили, що для однакового ефекту осадження коагульованих завислих речовин необхідно, щоб термін відстою та висота циліндрів мали таке співвідношення

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^n,$$

де τ_1 і τ_2 - термін відстою в першому та другому циліндрові;

h_1 і h_2 - висота циліндрів;

$n \cong 0,2 - 0,5$.

Якже обійти оце n ? Експерименти по встановленню кривих та показників осадження проводять в циліндрах з висотою більше 3м та $d=75-100 \text{ мм}$. Для води обробленої коагулянтном $\frac{A}{B} = \frac{65}{98} \div \frac{75}{95}$.

Осадження завислих речовин в відстійниках проходить повільніше, чим в нерухомій воді циліндрів, тому що рух води в відстійниках має турбулентний характер. На частку завислої речовини в відстійнику діє горизонтальна і вертикальна складові швидкості турбулентного потоку. Вертикальна

складова швидкості турбулентного потоку уповільнює або прискорює осадження частки і являється випадковою величиною, яка підпорядковується закону нормального розподілу Гауса. Ця складова не постійна по величині і може змінюватися від нуля до 3ω , де $\omega \cong m \frac{v_c}{H^n}$. Тут m - коефіцієнт шорсткості стінок і дна відстійника; v_c - середня швидкість горизонтального руху води в відстійнику; H - глибина відстійника; n - деяка ступінь. По даним Труфанова і Піскунова $n=0,2$; а $m=4c$ (де c - коефіцієнт шорсткості стінок і дна відстійника). Для залізобетонних відстійників глибиною 3-5 м величина $4cH^{0.2} \cong \overline{30}$ величини вертикальної складової швидкості горизонтального турбулентного потоку і буде близька до 1/30 середньої величини горизонтальної швидкості руху води в відстійнику.

Типи відстійників і область їх застосування

Горизонтальні відстійники

Горизонтальний відстійник представляє собою в плані прямокутний басейн, обладнаний водорозподільним і водозбірним пристроями, трубопроводами для підвода освітлюємої і відводу освітленої, відстояної води, а також пристроями для видалення випавшого осаду (рис. 20).

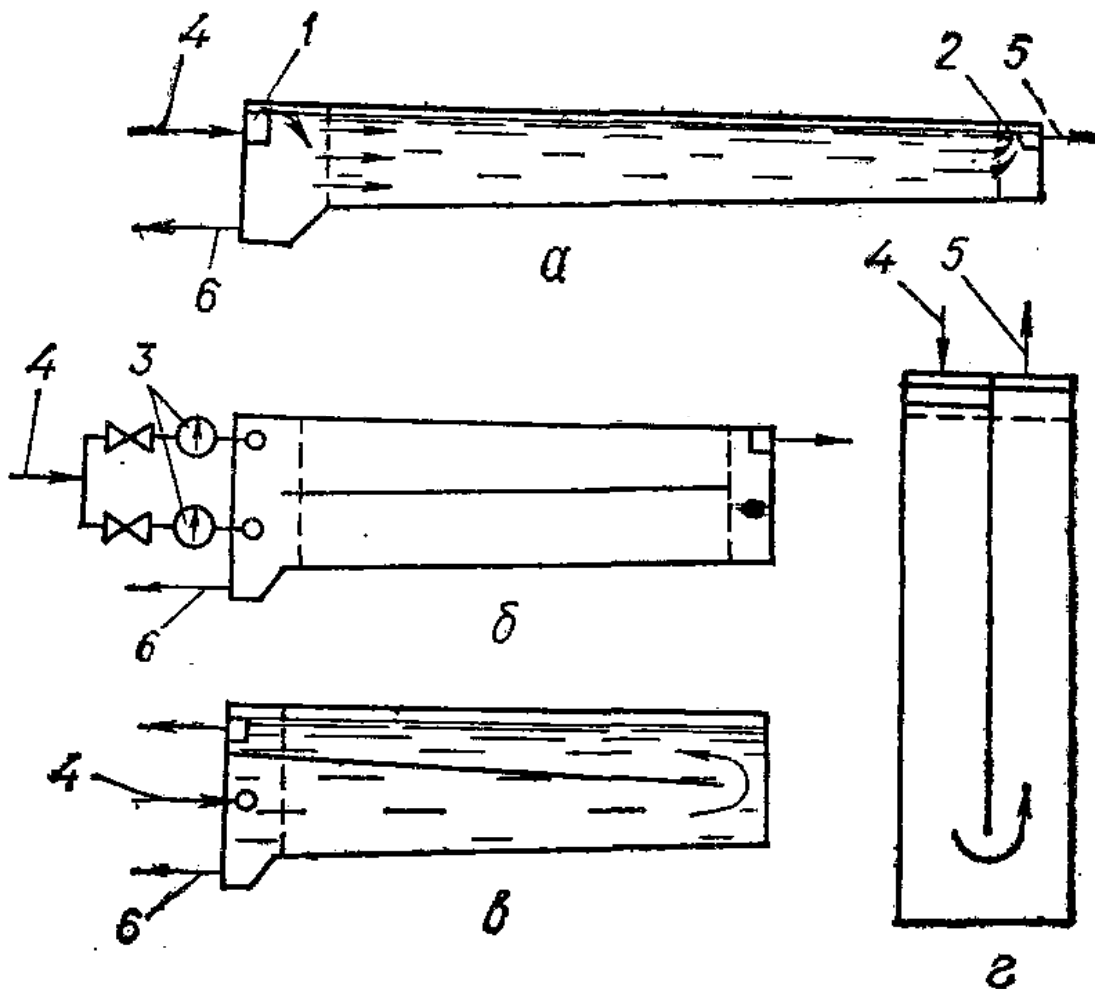


Рисунок 20 - Схеми руху води в горизонтальних відстійниках

а - одноповерховому прямоточному; б - двохповерховому прямоточному; в - двохповерховому з поворотом потоку; г - одноповерховому з поворотом потоку; 1 і 2 - розподільчий і збірний водоскид; 3 - водоміри;

4 - підвід води; 5 - відвід відстояної води; 6 - скид осаду.

Горизонтальні відстійники часто суміщують з камерами пластівцеутворення.

Для більш рівномірного розподілу води по живому перерізу водорозподільного і водозбірних пристроїв відстійників їх влаштовують в вигляді поперечних водоскидів, дірчастих перегородок і дірчастих жолобів (рис.21). Найбільш ефективні дірчасті перегородки, які розташовують на відстані 1-2 м від торцевої стінки відстійника. Площу отворів в дірчастих перегородках вибирають так, щоб швидкість руху води в них була меншого

тої швидкості, при яких починається руйнування пластівців скоагульованих завислих речовин (не більше 0,5 м/с). В нижній частині перегородки на 0,3-0,5м вище зони накопичення і ущільнення осаду отвори не передбачаються. Для зменшення довжини зони збільшеної турбулентності за дірчастою перегородкою на початку відстійника доцільно на виході із отворів перегородки влаштовувати сферичні та конічні заспокійливики (рис. 22).

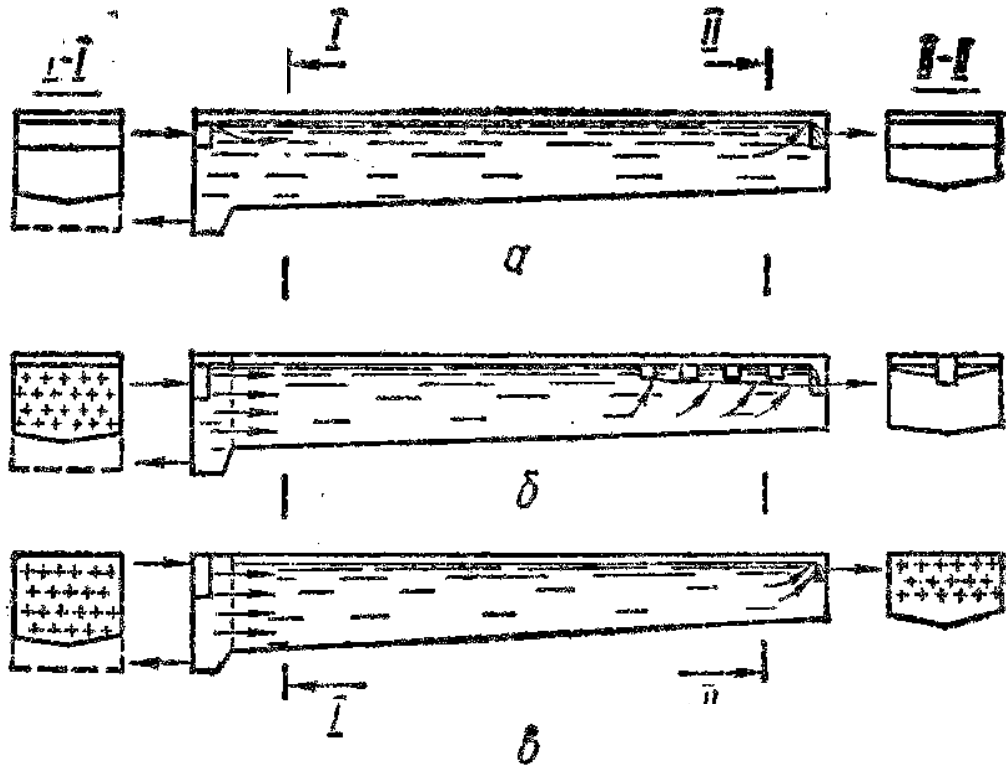


Рисунок 21 – Схеми водорозподільних і водозбірних пристроїв відстійників:

а – поперечний водоскид; б – дірчасті перегородки; в – дірчасті жолоби

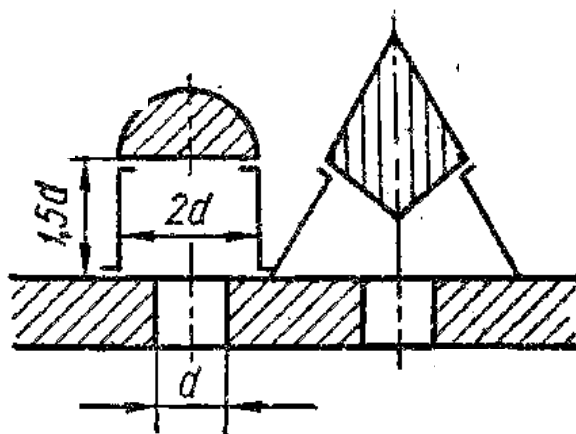


Рисунок 22 – Сферичні та конічні заспокійливики в дірчастих перегородках

Площу горизонтальних відстійників в плані треба розраховувати по формулі [5, с.29]:

$$F_{з.в.} = \frac{\alpha_{об} \cdot q}{3,6 \cdot U_o},$$

де q - розрахункова потужність очисної станції, м³/год;

U_o - швидкість випадання завислих речовин, мм/с;

$\alpha_{об}$ - коефіцієнт об'ємного використання відстійників, приймаємо 1,3.

Висоту відстійника приймають від 3 до 5 м. Довжину його розраховують по формулі [5, с.29]:

$$L = \frac{H_{cp} \cdot v_{cp}}{U_o},$$

де H_{cp} - середня висота зони осадження, 3-3,5 м;

v_{cp} - середня швидкість горизонтального руху води в началі відстійника, яку приймають 6-8, 7-11 і 9-12 мм/с відповідно для вод маломутних, середньої і великої мутності.

По висоті відстійник поділяють на дві частини - *зону осадження*, де завислі речовини осаджуються і *зону накопичення і ущільнення* осаду.

В зв'язку з тим, що осад розподіляється по дну відстійника нерівномірно і більша його частина зосереджується в першій його половині, об'єм зони накопичення і ущільнення роблять більшим спочатку.

Для цього, а також для випуску і змиву осаду водою із шлангу, дно горизонтального відстійника мусить мати уклін 0,02 в напрямі зворотному руху води і поперечні уклони в кожному коридорі не менше 0,05. Для видалення осаду застосовують механічні і гідравлічні пристрої. В першому випадку застосовують скребкові транспортери, в другому - видалення осаду йде через систему перфорованих труб, прокладених по дну відстійника.

Вертикальні відстійники

Вертикальний відстійник (рис. 17а) представляє собою круглий або квадратний в плані резервуар з камерою пластівцеутворення водоворотного типу в центрі, з конусним дном для накопичення і ущільнення осаду. Він обладнується також трубопроводом подачі води на відстійник, жолобами для збору освітленої, відстояної води і трубопроводом видалення осаду. Застосовують вертикальні відстійники на станціях очистки води потужністю до 3 тисяч м³ на добу.

Площу зони осадження розраховують по формулі:

$$F_{в.в} = \beta_{об} q / 3,6 v_p N_p ,$$

де q - розрахункова потужність, м³/год;

v_p - швидкість потоку води в відстійнику, мм/с;

N_p - кількість відстійників;

$\beta_{об}$ - коефіцієнт об'ємного використання відстійника - 1,3-1,5 (при співвідношенні Д/Н=1 - 1,3; Д/Н=1,5 - 1,5).

Період роботи відстійника між скидами осаду належить розраховувати по формулі:

$$T_p = W_{ос.ч} N_p \frac{\delta}{q} (C_{з.р.} - M_{осв.}),$$

де $W_{ос.ч}$ - об'єм зони накопичення і ущільнення осаду, м³;

δ - концентрація осаду в зоні осадження, г/м³;

$M_{осв.}$ - кількість завислих речовин в освітленій воді, яка виході із відстійника (8-15 г/м³);

$C_{з.р.}$ - концентрація завислих речовин в освітлюємії воді, розраховується по формулі:

$$C_{з.р.} = M + K_k D_k + 0,25 K + B_v ,$$

де M - кількість завислих речовин у воді, яка йде на очистку, г/м³;

D_k - доза коагулянту по безводному продукту, г/м³;

K_k - коефіцієнт, який приймають для очищеного сірчанокиисло-го алюмінію - 0,5; хлорного заліза - 0,7;

K - кольоровість води, град.;

B_e - кількість нерозчинених речовин, які вводяться з вапном.

Радіальні відстійники.

Радіальні відстійники застосовуються для освітлення води з кількістю завислих речовин більше 2 г/л (2 кг/м³). Вони представляють собою круглі в плані резервуари, обладнані трубопроводами подачі і відвода води, водорозподільними і водозбірними пристроями, а також обертаючимися фермами з скребками для видалення осаду (рис. 25).

Розрахунок площі радіальних відстійників проводять по формулі:

$$F = 0.2 \left(\frac{q}{U_o} \right)^{1.07} + f, \quad \text{м}^3,$$

де f - площа вихрової зони, м².

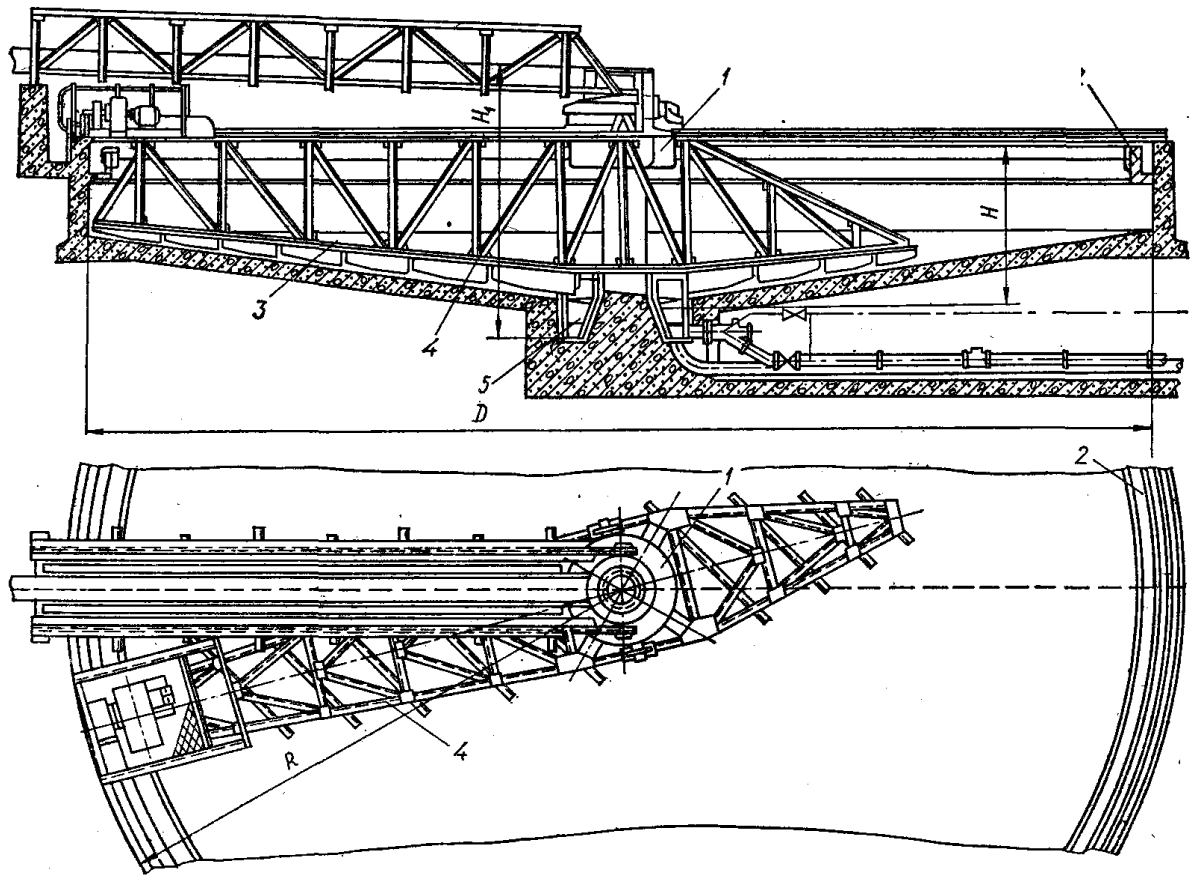


Рисунок 23 - Схема радіального відстійника

1 - розподільчий пристрій; 2 - периферійний жолоб; 3 - скребки;
4 - ферма; 5 - приямок.

Багатоярусні тонкослойні відстійники.

Схема блоку обладнання для освітлення води з багатоярусним відстійником показана на рис. 24. В склад установки входять: камера флокуляції 1, багатоярусний відстійник 2 довжиною $L=2,5\text{м}$ і фільтр 3.

Результати досліджень представлені на рис.25. Вода мала 450 мг/л завислих речовин. Доза коагулянту $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – 100 мг/л , флокулянту ПАА – $0,5\text{ мг/л}$; ефект освітлення досягається за 15 хвилин.

Пісок

Промивна
вода

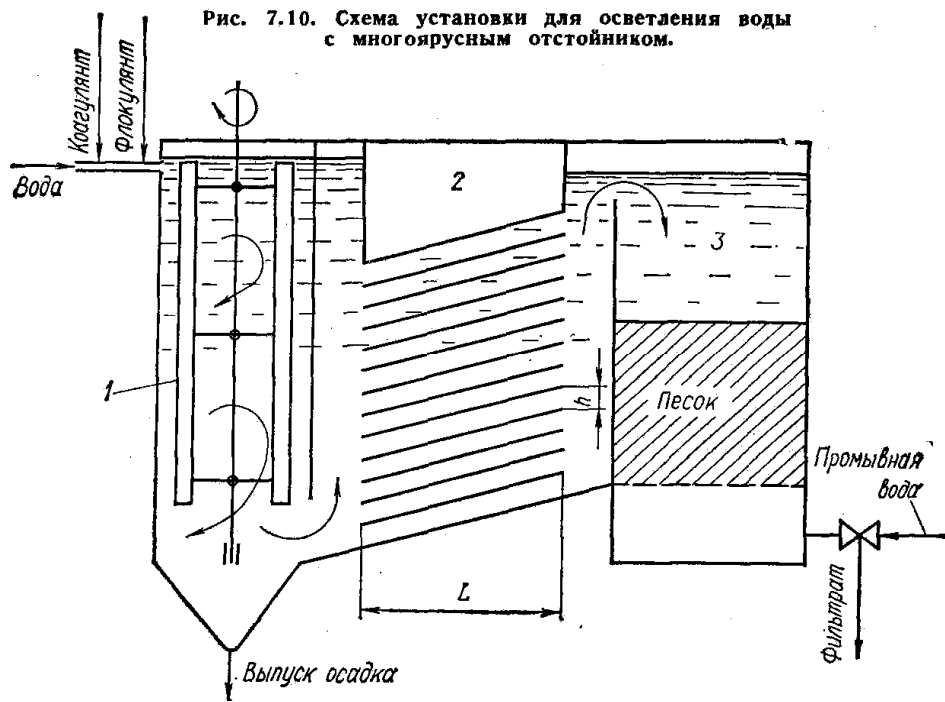


Рисунок 24 – Схема блока обладнання для освітлення води з багатоярусним відстійником

1 – камера флокуляції; 2 – багатоярусний відстійник; 3 – фільтр.

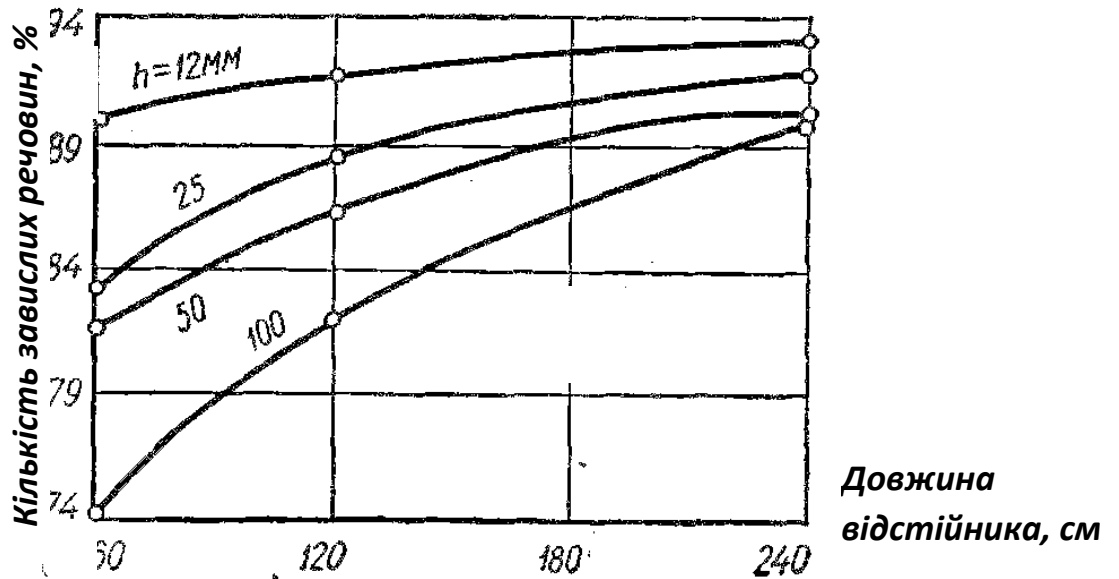


Рисунок 25 – Залежність кількості осаджених завислих речовин в багатоярусному відстійнику від його довжини і глибини зони осадження

Освітлення води в гідро- і мультіциклонах.

Суть освітлення води в гідроциклоні основана на відкиданні часток завислих речовин до периферії споруди відцентровими силами при обертанні води. У відстійниках осадження часток відбувається під дією сили тяжіння з прискоренням рівним $9,81 \text{ м/с}^2$. В гідроциклонах це прискорення за рахунок відцентрової сили при обертанні води складає

$$a = v^2 / R , \quad \text{м/с}^2 ,$$

де v - лінійна швидкість руху води по колу, м/с;

R - радіус обертання часток завислих речовин, м.

Як видно із формули, при великих значеннях швидкості і малих значеннях радіусу, сила, діюча на частку завислої речовини в обертаючій воді може в багато разів бути більшою чим при вільному осадженні за рахунок сили тяжіння.

Вода в гідроциклоні освітлюється під впливом сили, яка дорівнює різниці значень відцентрових сил для твердої і рідкої фаз, які виникають при обертанні води при тангенціальному впуску її в гідроциклон. Ця сила буде дорівнювати

$$P = \frac{\pi \cdot d^3 (\rho_{тв} - \rho_{в}) \cdot v^2}{6 \cdot R} ,$$

де v - швидкість руху води при вході в гідроциклон, см/с;

d - еквівалентний діаметр частки, см;

$\rho_{тв}, \rho_{в}$ - відповідно щільність частки і води;

R - відстань від центра гідро циклону до осі вхідного отвору, см.

Вода підводиться в верхню частину гідроциклону тангенціально (рис.26).

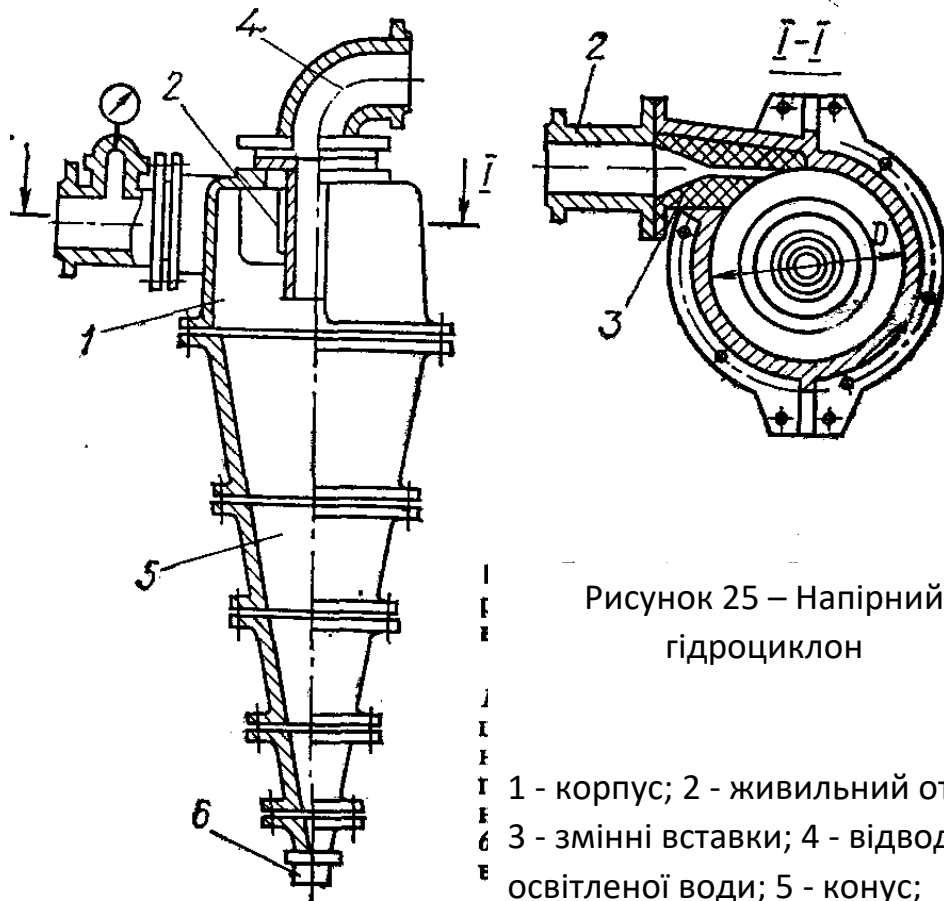


Рисунок 25 – Напірний гідроциклон

- 1 - корпус; 2 - живильний отвір;
 3 - змінні вставки; 4 - відвод освітленої води; 5 - конус;
 6 - змінна насадка для випуску

Продуктивність гідроциклону по освітленій воді може бути розрахована по формулі:

$$Q_{осв} = 3600 \alpha \mu_2 \omega \sqrt{2g\Delta H} \text{ , м}^3/\text{год,}$$

де α - коефіцієнт втрат напору води з осадом 0,85-0,9;

μ_2 - коефіцієнт витрати гідроциклону;

ω - площа перетину живильного патрубку, м²;

ΔH - втрата напору в гідроциклоні, м.

$$\mu_2 = 0,24 d_{зл} / d_{жс} \text{ ,}$$

де $d_{зл}$ і $d_{жс}$ - еквівалентні діаметри зливного і живильного патрубків.

На рис.27 показана залежність ефективності роботи гідроциклонів від втрати в них напору.

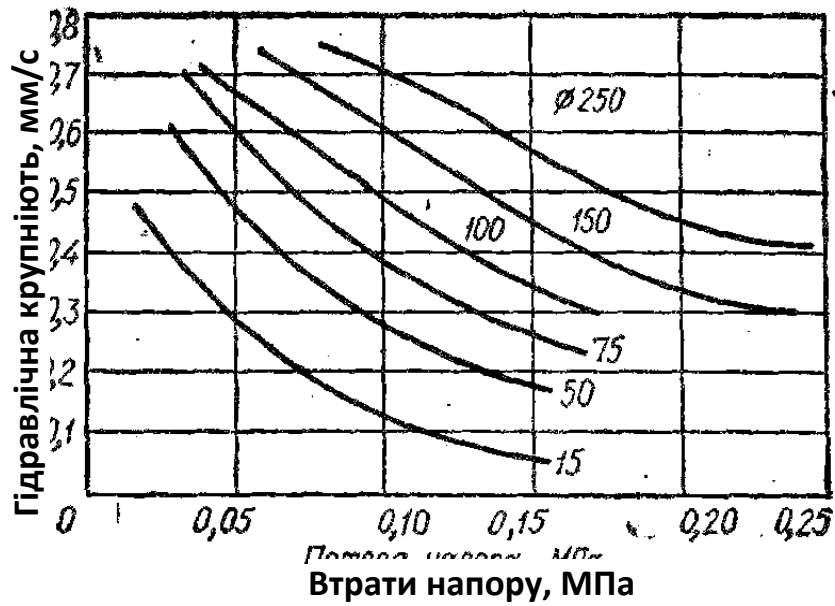


Рисунок 27 – Залежність ефективності роботи гідроциклонів від втрати в них напору

Чим менше діаметр гідроциклонув, тим вище його ефективність по осадженню завислих речовин високого ступеню дисперсності. Тому в промисловості застосовують так звані мультициклони (рис. 28).

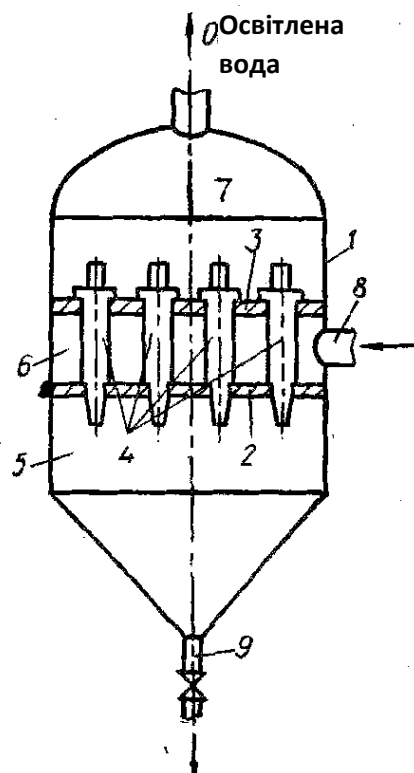


Рисунок 28 – Схеми мультициклону

1 – сталевий резервуар; 2, 3 – плити; 4 – гідро циклони; 5 – нижній відсік;

6 – середній відсік; 7 – верхній відсік; 8 – трубопровід;

9 – скид осаду подачі води на освітлення.

Освітлювачі з завислим осадом.

Досліджуючи вертикальні відстійники Азерьєр, Турчинович і Тетеркін помітили значне збільшення прозорості освітленої води, яка проходила через шар раніше випавшого осаду. Ця ідея втілена в 2 типи конструкцій освітлювачів з завислим осадом.

Це освітлювач Тетеркіна (рис.29), де реалізована ідея взаємодії раніше випавшого осаду з реагентами у вигляді так званого псевдозрідженого шару (киплячого шару).

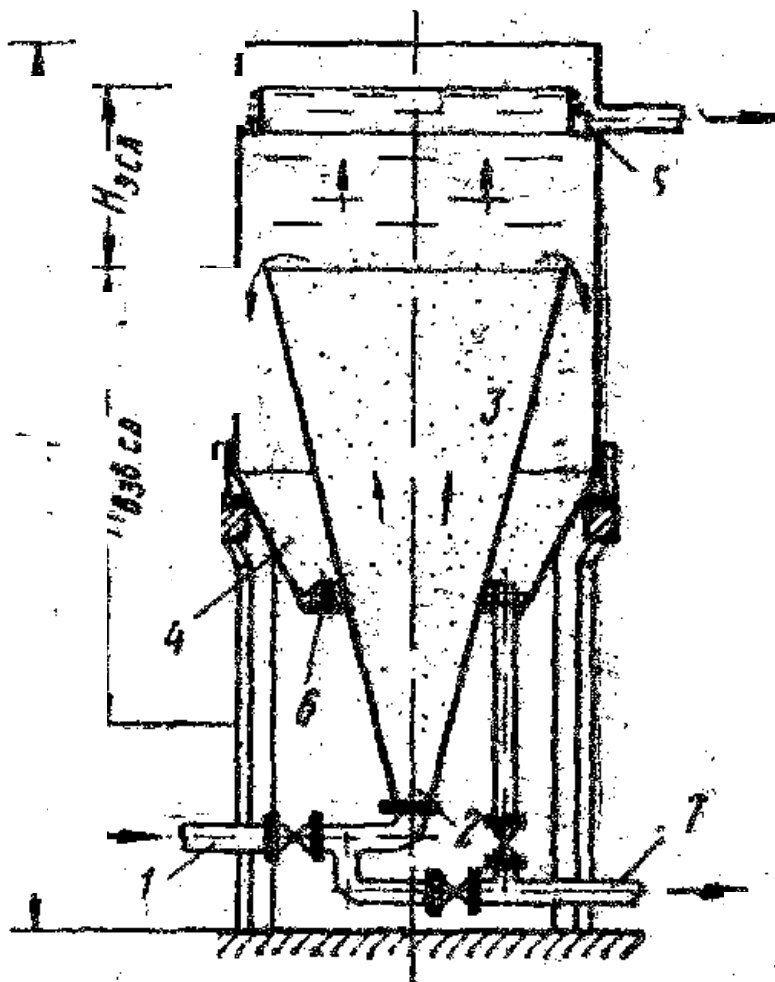


Рисунок 29 - Освітлювач з конічним дифуззором Тетеркіна

1 – подача води в суміші з реагентами; 2 – дифуззор; 3 – шар зваженого осаду; 4 – осадоушільнювач; 5 – відвід освітленої води на фільтри; 6 – відвід надлишків осаду; 7 – скид осаду.

Другий тип освітлювача з завислим осадом Спольдінга (рис.30) побудований на принципі перемішування завислого осаду і води механічними мішалками, а потім розподілу освітленої води і пластівців.

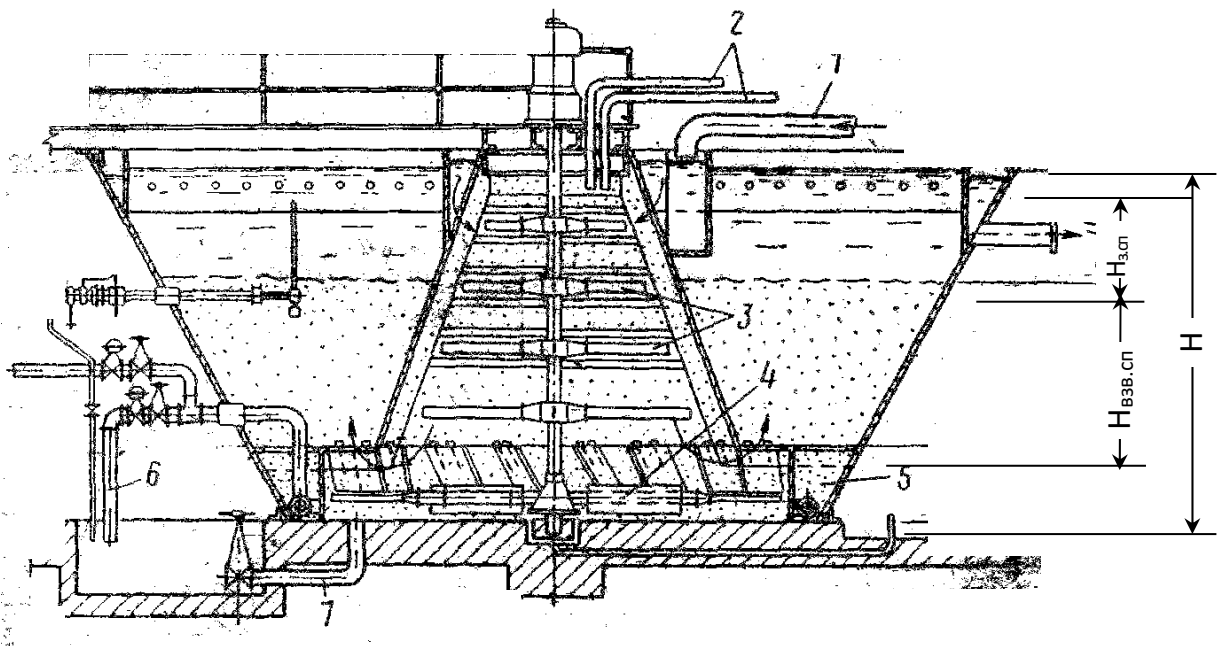


Рисунок 30 – Освітлювачі з влаштованою камерою реакцій Спольдінга

1 – подача освітлюваної води; 2 – подача реагентів; 3 – лопасті мішалок; 4 – нижня мішалка; 5 – осадоушільнювач; 6 – відвід надлишків осаду; 7 – трубопровід спорожнення.

Найбільш досконалыми в роботі являються освітлювачі коридорного типу (рис.31).

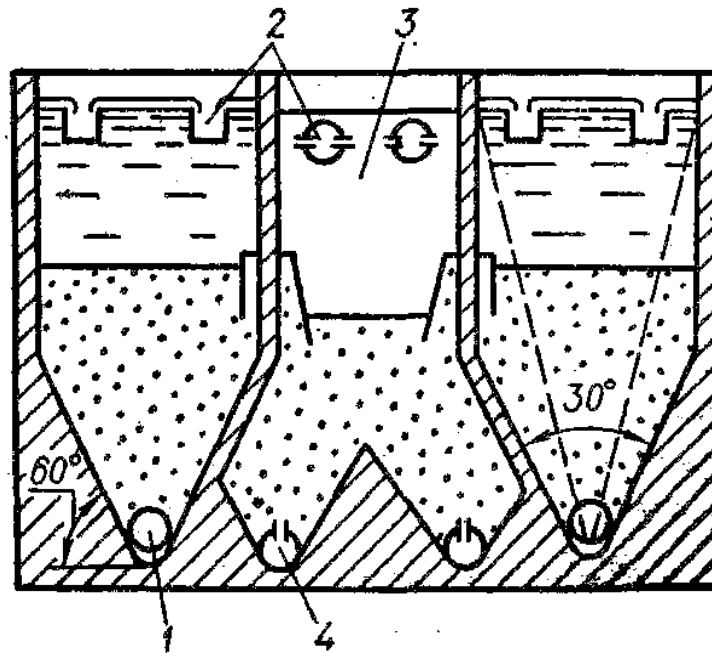


Рисунок 31 – Схема освітлювача коридорного типу

1 – підвід води; 2 – відвід освітленої води; 3 – осадощільнювач;
4 – склад осаду.

Розрахунок освітлювача проводимо з врахуванням річних коливань якості оброблюваної води [5]. Розраховується площа освітлення для зими і літа:

$$F_{осв.} = q K_{р.в.} / 3.6 v_{осв.} ,$$

де $K_{р.в.}$ - коефіцієнт розподілу води між зонами освітлення і ущільнення осаду;

$v_{осв.}$ - швидкість потоку води в зоні освітлення, мм/с.

А потім площа зоні ущільнення осаду:

$$F_{ущ.ос.} = q (1 - K_{р.в.}) / 3.6 v_{осв.} .$$

Вибирається варіант більшої потреби площ освітлення і ущільнення осаду.

Експлуатація освітлювачів з завислим осадом значно складніша чим відстійників. Тому дослідження роботи освітлювачів з завислим осадом для конкретних вод, осадів і схем потрібні, щоб розрахунки елементів

освітлювачів були більш досконаліми. Для цього використовуються методи і досліди на моделях освітлювачів з завислим осадом, які розроблені Первовим. Відповідні описи таких досліджень наведені в [1, 3].