

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 628.334.51:622

А.І. Горова, д-р біол. наук, проф.,
В.Є. Колесник, д-р техн. наук, проф.,
Д.В. Кулікова

Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”, м. Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: kulikova1979@rambler.ru

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РЕЖИМУ ДІЮЧОГО МАКЕТУ ВІДСТІЙНИКА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ВІД ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН

A.I. Horova, Dr. Sci. (Biol.), Professor,
V.Ye. Kolesnyk, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
D.V. Kulikova

State Higher Educational Institution
“National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine,
e-mail: kulikova1979@rambler.ru

EXPERIMENTAL RESEARCH OF HYDRAULIC CONDITIONS OF PHYSICAL MODEL OF SEDIMENTATION TANK FOR WASTE WATER TREATMENT FROM SUSPENDED SOLIDS

Мета. Проведення досліджень на фізичній моделі – діючому макеті горизонтального відстійника вдосконаленої конструкції для з’ясування впливу різних гідравлічних чинників на режим роботи відстійної споруди.

Методика. Режим роботи запропонованого макету відстійника досліджувався за загальноприйнятою методикою гідравлічного розрахунку горизонтальних відстійників.

Результати. Визначено коефіцієнт використання об’єму проточної частини макету відстійника. Встановлено, що потік рідини, який надходить у робочу зону відстійної споруди, розділяється на велику (за числом отворів у перегородках) кількість чітко виражених струмків, паралельних осі потоку, які не змішуються між собою за перетином відстійника, що вказує на наявність ламінарного режиму течії. Розраховано основні геометричні та гідравлічні параметри отворів розподільчого лотка і перегородок, встановлених у макеті відстійника, на підставі яких досліджувався гідравлічний режим роботи відстійної споруди.

Наукова новизна. Встановлено залежності між часом проходження часток завислих речовин за довжиною макету відстійника, середньою швидкістю руху потоку рідини через перетини отворів його перегородок та довжиною. Визначено зв’язок основних гідравлічних параметрів перегородок макету відстійника і витратами потоку рідини.

Практична значущість. Внаслідок створення нових конструктивних ознак у запропонованому відстійнику забезпечується більш рівномірний розподіл швидкостей потоку за його перетином та можливе більш повне використання його об’єму. Це сприяє поліпшенню гідравлічних умов роботи відстійної споруди та інтенсифікації процесу освітлення стічної води, унаслідок чого підвищується ефективність очистки промислових стоків від механічних домішок.

Ключові слова: *стічні води, механічна очистка, горизонтальний відстійник, гідравлічні параметри, ламінарний режим течії*

Вступ Найбільш поширеним методом будь-якої технологічної схеми очистки промислових стічних вод є механічна очистка від завислих речовин. На багатьох шахтах України шахтну або стічну воду очищують, переважно, відстоюванням, тобто шляхом осадження завислих важких грубодисперсних домішок на дно відстійних споруд під дією сили тяжіння. Така технологія очистки шахтних вод у відстійниках без попередньої обробки знайшла широке розповсю-

дження як найбільш проста в обслуговуванні та у конструктивному виконанні [1]. На більшості шахт відстійники є самостійними й останніми спорудами, після яких очищені стоки скидаються до водойм.

У практиці очистки шахтних вод широке використання знайшли горизонтальні відстійники, оскільки саме в них можливе створення гідравлічного режиму, що сприяє випадінню завислих речовин. Вони призначені для вловлювання часток зависі конкретного розміру (d) з урахуванням необхідної ефективності очистки.

Головним недоліком у роботі існуючих горизонтальних відстійників, що встановлені на вугледобув-

них підприємствах, є те, що кількість затримуваної суспензії зменшується, а її винос у кінцевий жолоб донними течіями збільшується, унаслідок інтенсивного нерівномірного переміщення основної маси завислих речовин у нижні шари, втрати стійкості потоку, підвищення горизонтальної швидкості і вертикальної складової, які перешкоджають випадінню твердих часток і підвищують їх концентрацію в потоці з виносом із відстійника. Відсутність пристроїв гідравлічного розподілу потоків призводить до зниження ефективності використання об'єму відстійника і, як наслідок, ефект освітлення води не відповідає сучасним вимогам водохоронного законодавства України, що підсилюються за останнє десятиліття. Крім того, проблема якості очистки води посилюється відсутністю досить ефективних пристроїв для чищення відстійників від осаду у вигляді мулу, що призводить до накопичення його в зоні освітлення і виносу в очищену воду.

Постановка завдання досліджень. Для підвищення ефективності роботи сучасних очисних споруд запропонована вдосконалена конструкція горизонтального відстійника [2], яка відноситься до засобів безреагентної очистки промислових стічних вод різноманітного походження, забруднених механічними домішками полідисперсного складу, методом гравітаційного відстоювання в потоці, що знаходиться у стані спокою або рухається з невеликою швидкістю. Авторами ставилося завдання проведення досліджень на експериментальній моделі (діючому макеті) горизонтального відстійника вдосконаленої конструкції для з'ясування впливу тих чи інших гідравлічних чинників на режим роботи відстійної споруди, а також надання рекомендацій щодо поліпшення гідравлічних умов відстійника та інтенсифікації процесу освітлення стічної води в цілому.

Основні результати. Для проведення експериментальних досліджень гідравлічного режиму роботи запропонованого пристрою для очистки стічних вод від завислих речовин, на підставі креслень [2] розроблено діючий макет удосконаленого відстійника в масштабі 1:20 (рис. 1), який характеризується наступними параметрами:



Рис. 1. Діючий макет удосконаленого горизонтального відстійника масштабом 1:20

– загальна довжина макету відстійника (L) – 100 см;

– початкова ширина (B_0) – 50 см. Оскільки співвідношення кінцевої ширини до початкової складає 1:3, кінцеву ширину (B) приймаємо 16,5 см;

– кут нахилу днища корпусу макету відстійника до горизонтальної площини (α) становить $30^{\circ} \pm 2^{\circ}$. Даний кут нахилу забезпечує утворення осаду та подальше його рівномірне сповзання під дією сили тяжіння по нахиленому жолобу в нижню частину корпусу, яка є зоною збору осаду, до приймального бункера. Така конструкція горизонтального відстійника з нахилом днища у бік зливної отвору виключає каламучення осаду, що утворюється, та підвищує ефективність розділення зависі, що випадає на дно пристрою, й освітленої води;

– кут β , який фактично забезпечує приблизно однакові витрати рідини у кожному перетині всіх розподільчих перегородок, що встановлені в напрямку руху робочого потоку, становить $80^{\circ} \pm 2^{\circ}$;

– початкова глибина (H_0) – 0 см. Оскільки кут $\alpha=30^{\circ}$, тобто $\operatorname{tg}\alpha=0,6$, кінцева глибина (H) на виході освітленої рідини дорівнює: $H = L \cdot \operatorname{tg}\alpha = 60$ см.

Подача стічної рідини в робочу зону макету відстійника здійснюється через розподільчий лоток з отворами, робоча довжина якого складає 40 см, ширина – 8 см, а висота – 10 см. Отвори, що розташовані на дні цього лотка, мають круглий перетин з діаметром $d=0,3$ см.

У макеті відстійника відбір освітленої води пропонується здійснювати через водозливну кишеню на торці відстійної споруди, розташовану зовні корпусу поблизу вільної поверхні потоку рідини. Ширина водозбірної кишені відповідає кінцевій ширині корпусу відстійника (16,5 см), висота становить 8 см, а довжина – 9 см.

В якості проміжних вертикальних перегородок у макеті відстійника виступають перфоровані металеві листи з отворами круглого перетину, діаметр яких становить $d=0,3$ см, що стаціонарно встановлюються в робочу зону пристрою, і практично повністю перекривають увесь його поперечний перетин, забезпечуючи включення в процес освітлення всієї маси води, що очищується. Основне призначення перфорованих перегородок є не затримка завислих часток і домішок, а вирівнювання горизонтальної швидкості руху освітлюваної води за глибиною й, одночасно, її зниження за довжиною відстійної споруди.

Також необхідно відзначити, що, виконавши днище корпусу вдосконаленого відстійника у формі рівнобедреного трикутника, можна значно зменшити звуження живого перетину відстійної споруди шаром осаду.

Таким чином, внаслідок обладнання макету вдосконаленого відстійника проміжними перфорованими перегородками й незатопленим розподільчим лотком, забезпечується ефективне гасіння турбулентних завихрень на вході у відстійну споруду, а також рівномірне розподілення стічної води безпосередньо у самому пристрої. Наявність перегородок, встановлених за перетином відстійника, змінного за формою, забезпечує збільшення траєкторії руху потоку рідини і додає потокові односпрямованого ламінарного характеру течії, що, у свою чергу, сприяє більш ефективному випадін-

ню механічних домішок на дно відстійної споруди. Ламінарний режим руху потоку рідини у вдосконаленому горизонтальному відстійнику запобігає руйнуванню сповзаючого шару осаду (так званому „ефекту повторного каламучення“), оскільки швидкість зустрічного потоку в придонному шарі близька до нуля. Крім того, відбувається прискорення процесу осадження і виділення дрібнодисперсних часток.

Удосконалена конструкція горизонтального відстійника, завдяки створенню нових конструктивних ознак, забезпечить формування потоку змінного перетину в процесі освітлення, запобігання виносу забруднень робочим потоком, збільшення коефіцієнта об'ємного використання пристрою, за рахунок відсутності „застійних“ зон та інтенсивного випадіння завислих часток за рахунок більш рівномірного розподілу швидкостей потоку по всій площі поперечного перетину, внаслідок чого підвищується ефективність процесу освітлення стічних вод, що надходять в очисну споруду. При проведенні експериментальних досліджень гідравлічного режиму роботи макету відстійника ці завдання вирішувались по чергово, суть вирішення яких викладено нижче.

Визначення коефіцієнта використання об'єму проточної частини макету відстійника. Щоб визначити гідравлічну ефективність макету відстійника необхідно знайти коефіцієнт використання об'єму його проточної частини (K_{set}). Для цього було виведено формулу (1), що дозволяє розрахувати геометричний і активний об'єми очисної споруди

$$V = \frac{H^2 \cdot B}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \frac{H^3}{3 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta} \quad (1)$$

При розрахунку об'єму активної зони макету відстійника приймається не загальна, а робоча кінцева глибина, тобто не враховується висота борта пристрою, яка в даному макеті становить 6 см. Також враховано поправку на товщину оргскла (0,5 см), з якого було виготовлено макет.

На підставі розрахунків за формулою (1), встановлено, що, завдяки системам раціонального впуску стічної води (незаоплений розподільчий лоток) і впуску освітленої рідини (збірна водозливна кишеня на торці відстійної споруди), коефіцієнт K_{set} збільшився до 0,78–0,88, що в 1,6–1,8 разів перевищує даний показник для традиційних горизонтальних відстійників ($K_{set}=0,5$).

Дослідження основних гідравлічних елементів потоку в макеті відстійника. Дослідження проводилося з урахуванням того, що основним елементом гідравлічної моделі потоку є його елементарна струмка. Загальне уявлення про переміщення окремих часток за перетином макету відстійника дає спостереження над потоком, в якому струмки рідини забарвлені (для цього у воду додався концентрований розчин перманганату калію). Яскраво зафарбована вода надходить у розподільчий лоток, звідки через отвори на його дні потрапляє в робочу зону відстійника. На ділянці від впуску води у відстійну споруду до першої перегородки спостерігаються чітко виражені пульсації швидкостей, внаслідок чого забарвлена рідина активно переміщується з водою, що раніше зна-

ходила у відстійнику. Досягнувши першої перегородки, і, починаючи проходити через її отвори, кінетична енергія потоку поступово знижується, внаслідок чого відбувається вирівнювання за глибиною горизонтальної швидкості течії з одночасним її зменшенням за довжиною відстійної споруди.

Завдяки малим швидкостям течії через перетини отворів першої перегородки, забарвлена рідина рухається за довжиною макету відстійника у вигляді чітко виражених тонких струмків, які не змішуються з потоком незабарвленої води, що вказує на шаруватий характер течії рідини і на відсутність перемішування.

Внаслідок досить малого поперечного перетину елементарних струмків, що у свою чергу пов'язано з достатньо невеликим перетином отворів у перегородках макету відстійника ($w=0,07065 \text{ см}^2$), швидкості у різних точках перетину незначно відрізняються одна від іншої і їх можна вважати однаковими. Вздовж струмків, за їх довжиною, як поперечний перетин, так і середня швидкість руху води змінюються, у зв'язку з розширенням потоку рідини, внаслідок чого площа поперечних перетинів усіх отворів перегородок збільшується, а швидкість, навпаки, знижується. Якщо взяти ряд таких елементарних струмків, то їх сукупність утворює потік рідини. У несталому потоці форма елементарних струмків безперервно змінюється, а в сталому, навпаки, елементарні струмки зберігають постійну форму, що й було підтверджено в процесі проведення експериментальних досліджень.

Як відомо, рух рідини при малих швидкостях, коли окремі забарвлені струмки рухаються паралельно осі потоку, називають ламінарним. Ламінарний характер течії можна розглядати як чітко впорядкований рух окремих шарів рідини, що відбувається без перемішування часток і без пульсації швидкостей [3].

При проведенні досліджень із зафарбованими струмками рідини було встановлено, що в макеті відстійника мали місце тільки швидкості, паралельні осі потоку, поперечні ж швидкості були відсутні, що ще раз підтверджує наявність ламінарного режиму течії. У даному випадку рідина, що рухається вздовж відстійної споруди, як би розділяється на нескінченно велике число чітко виражених тонких струмків, паралельних осі потоку, які переміщуються з різною швидкістю, що збільшується від стінок макету відстійника до центральної осі потоку. При цьому, швидкість у шарі, що безпосередньо стикається зі стінками (пристінний шар), дорівнює нулю, а максимального значення вона досягає у шарі, що рухається за віссю потоку (осьова струмка) (рис. 2).

У макеті відстійника (завдяки звуженню його перетину до виходу) швидкість течії за віссю весь час зростає, а у стінок, навпаки, зменшується. Це відбувається доти, доки пристінний шар не захопить усього перетину потоку, а ядро не буде зведено до нуля (рис. 3).

Для ламінарного потоку рідини, що формується в макеті відстійника, характерним є параболический розподіл швидкостей, тобто, у цьому потоці осьова швидкість, що є максимальною (v_{max}), у 2 рази перевищує середню ($v_{max} = 2 \cdot v_{cp}$).

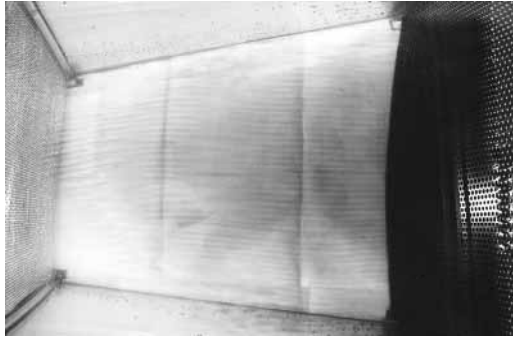


Рис. 2. Формування ламінарного потоку рідини в макеті відстійника (з початку подачі зафарбованої води)

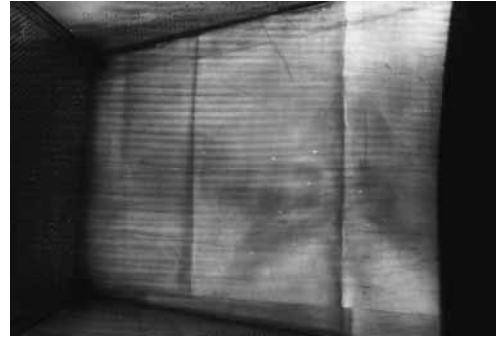


Рис. 3. Зображення ламінарних струмків течії, що сформувалися в макеті відстійника

Таким чином, під час проведених експериментальних досліджень у макеті вдосконаленого відстійника було встановлено, що потік рідини, який надходить у робочу зону відстійної споруди, розділяється на велику (за числом отворів) кількість чітко виражених струмків, паралельних осі потоку, які не змішуються між собою за перетином відстійника, змінного за формою, що вказує на наявність ламінарного режиму течії. Крім того, встановлено, що для ламінарного потоку рідини, який формується в макеті відстійника, характерним є параболічна епюра розподілу швидкостей у його поперечних перетинах.

Визначення геометричних і гідравлічних параметрів перегородок і розподільчого лотка макету відстійника. За перетином макету відстійника, змінного за довжиною, встановлено 3 перфоровані вертикальні поперечні перегородки. Перша перегородка встановлена на відстані $L_1=22,5$ см від початку відстійної споруди, друга – на відстані $L_2=23$ см від першої перегородки, третя – на відстані $L_3=24$ см від другої. В якості матеріалу, з якого виготовлено перегородки та дно розподільчого лотка, виступають перфоровані металеві листи з отворами круглого перетину діаметром $d=0,3$ см. Гідравлічний режим роботи макету відстійника досліджувався при витратах

потоку рідини, що проходить через поперечні перетини отворів перегородок, величиною $Q=7,7$ см³/с.

Для визначення характеру режиму руху рідини у відстійній споруді необхідно в кожному окремому випадку обчислити число Рейнольдса (Re) та зіставити отриманий результат з його критичним значенням, при якому потік уже стабілізується. Для отворів круглого перетину число Рейнольдса обчислюють за формулою [3]

$$Re = \frac{v \cdot d}{\mu}, \quad (2)$$

де v – швидкість руху потоку рідини через поперечні перетини отворів, см/с; d – діаметр отворів перегородок, см; μ – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, см²/с.

Температуру води, поданої в макет відстійника, приймаємо рівною 20 °С, отже, коефіцієнт μ складає 0,0101 см²/с [3].

Критичне значення числа Рейнольдса для отворів круглого перетину становить $Re_{кр} = 2300$ [3]. Отже, для підтримки ламінарного режиму течії повинна виконуватись умова $Re < Re_{кр}$, при якій рух потоку рідини у відстійнику буде цілком стійким.

Результати розрахунку основних геометричних і гідравлічних параметрів перегородок і розподільчого лотка макету відстійника наведено в таблиці.

Таблиця

Основні геометричні й гідравлічні параметри макету відстійника

Основні параметри	Розподільчий лоток	Перегородки		
		1	2	3
Ширина (В), см	40,0	41,5	33,5	25,5
Робоча глибина (висота) (Н), см	5,5	7,5	21,5	36,0
Робоча площа (S), см ²	220,0	311,25	720,25	918,0
Загальна кількість отворів, N	1056	1472	3478	4424
Площа поперечних перетинів усіх отворів, F, см ²	74,61	104	245,72	312,56
Середня швидкість руху потоку рідини через поперечні перетини, v_{cp} , см/с	0,1032	0,074	0,031	0,025
Число Рейнольдса для отворів круглого перетину, Re	3,1	2,2	0,92	0,74

Для розрахунку середньої швидкості руху потоку рідини через перетини отворів перегородок макету відстійника застосовувалась формула (3) [3]

$$v_{cp} = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{N \cdot w} = \frac{Q}{N \cdot \pi \cdot d^2} \quad (3)$$

Із формули (3) видно, що швидкість руху рідини через отвори та їх кількість у перегородках пов'язані

зворотньопропорційною залежністю, тобто, зі збільшенням кількості отворів у перегородці, швидкість руху потоку через перетини цих отворів поступово знижується, і навпаки. У той же час, площа поперечних перетинів усіх отворів перегородки відстійника знаходиться у прямопропорційній залежності від кількості отворів у них, тобто, чим більше отворів зроблено в перегородці, тим більше буде площа їх

поперечних перетинів і, навпаки. Це означає, що площа поперечних перетинів усіх отворів у перегородці і середня швидкість руху потоку рідини через ці перетини також пов'язані зворотнопропорційною залежністю, тобто, зі збільшенням площі поперечних перетинів отворів у перегородці, значення середньої швидкості руху поступово зменшуються, що підтверджується проведеними дослідженнями.

Площа поперечних перетинів отворів першої перегородки (F_1) є найменшою (104 см^2), а середня швидкість руху потоку рідини через ці отвори (v_{cp1}) – найвищою ($0,074 \text{ см/с}$). У той час як площа поперечних перетинів отворів другої перегородки (F_2) у 2,4 рази більше ($245,72 \text{ см}^2$) першої (F_1), а середня швидкість руху потоку рідини через перетини при цьому зменшилася в 2,4 рази ($0,031 \text{ см/с}$). Аналогічна ситуація спостерігається й при проведенні досліджень у перетині третьої перегородки макету відстійника. Площа поперечних перетинів отворів (F_3), за рахунок поступового збільшення глибини відстійної споруди, є найбільшою ($312,56 \text{ см}^2$) і в 3 рази перевищує F_1 . При цьому величина середньої швидкості руху потоку рідини, навпаки, знижується в 3 рази ($0,025 \text{ см/с}$), у порівнянні з v_{cp1} .

Кількість перегородок, що встановлюються у запропонованому відстійнику, також відіграє важливу роль у поліпшенні гідравлічного режиму його роботи. При встановленні перегородок за перетином відстійника, змінного за формою (на вході стічної води широкого, але невисокого, а на виході освітленої рідини – вузького з глибиною, що досягає максимального значення), відбувається розширення потоку рідини за рахунок поступового збільшення площі поперечних перетинів отворів у цих перегородках, внаслідок поступового зростання глибини (висоти) відстійної споруди.

Таким чином, внаслідок встановлення перфорованих вертикальних перегородок за довжиною макету відстійника і розширення потоку рідини за перетином відстійної споруди, змінного за формою, за рахунок поступового збільшення площі поперечних перетинів отворів у цих перегородках, середня швидкість руху потоку рідини через ці отвори вирівнюється за висотою (глибиною) й одночасно знижується. При цьому подовжується шлях проходження потоку рідини в межах удосконаленого відстійника, а, отже, й час перебування води в ньому. Все це сприяє підвищенню ефективності процесу очистки промислових стічних вод від механічних домішок із густиною часток, що перевищує густину води. Крім того, отримані значення чисел Рейнольдса для отворів круглого перетину також зменшуються за ходом руху рідини за довжиною макету відстійника. Це дозволяє стверджувати, що режим руху потоку рідини через перетини всіх отворів кожної перегородки в макеті вдосконаленого відстійника є ламінарним зі сталою течією.

Визначення залежності основних гідравлічних параметрів перегородок макету відстійника при заданих значеннях величин витрат потоку рідини. При проведенні досліджень, величини витрат потоку рідини Q , що подавалась в макет відстійника, зміню-

валися в діапазоні $7,7\text{--}167 \text{ см}^3/\text{с}$. Отримані під час проведення досліджень результати представлено у вигляді графіків (рис. 4, 5).

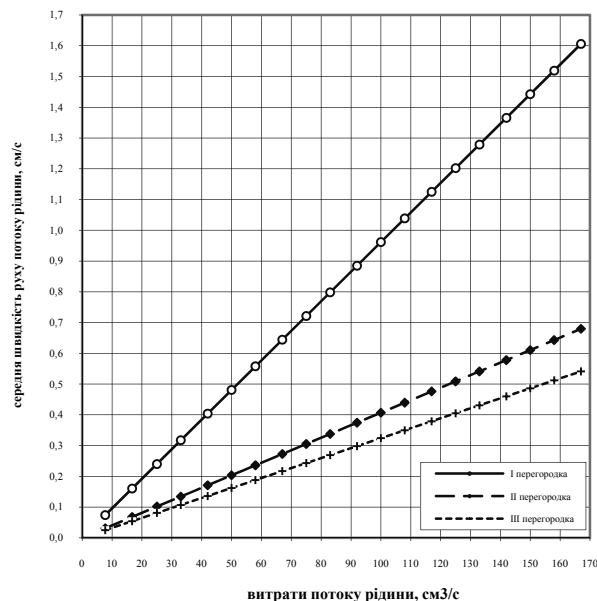


Рис. 4. Залежності зміни середньої швидкості руху потоку рідини через поперечні перетини перегородок у макеті відстійника при заданому діапазоні значень витрат потоку рідини

На підставі отриманих результатів, встановлено, що основні гідравлічні параметри перегородок макету відстійника пов'язані між собою прямопропорційною залежністю, а саме, при збільшенні витрат потоку рідини, що подається у відстійну споруду, відповідно буде поступово зростати й середня швидкість руху води через перетини отворів перегородок і, як наслідок, будуть збільшуватися значення чисел Рейнольдса для отворів круглого перетину при постійному розмірі їх діаметра ($d=0,3 \text{ см}$).

Визначення часу проходження часток завислих речовин за перетином макету відстійника. Починаючи від впуску води, що містить завислі речовини, через незатоплений розподільчий лоток, у міру проходження потоку рідини вздовж макету відстійника, середня швидкість руху води через перетини отворів перегородок (v_{cp}) поступово зменшується за рахунок розширення потоку рідини при сталому ламінарному режимі течії води у відстійнику. Знаючи значення середніх горизонтальних швидкостей руху потоку рідини, що містить завислі речовини, за перетином відстійника, змінного за формою (табл. 1), й задані при виготовленні макету відстані між перегородками, можна обчислити час проходження часток завислих речовин за довжиною відстійної споруди за формулою [4]

$$t_2 = \frac{L}{v_{cp}}, \quad (4)$$

де L – відстань між перегородками відстійника, см; v_{cp} – середня горизонтальна швидкість руху потоку рідини через перетини отворів перегородок, см/с.

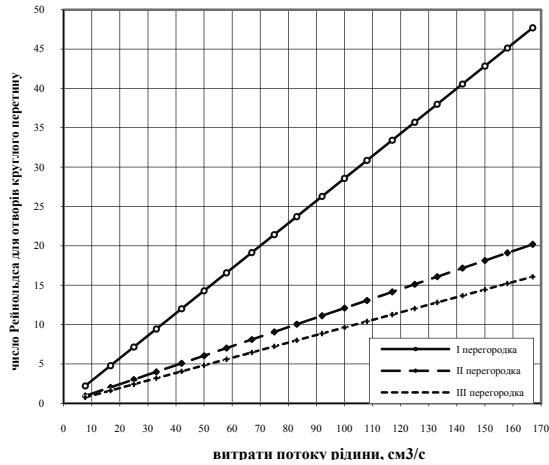


Рис. 5. Залежності зміни значень чисел Рейнольдса для отворів круглого перетину в перегородках макету відстійника при заданому діапазоні значень витрат потоку рідини

За результатами розрахунку побудовано графік зміни часу проходження часток завислих речовин за перетином макету відстійника, змінного за формою (рис. 6).

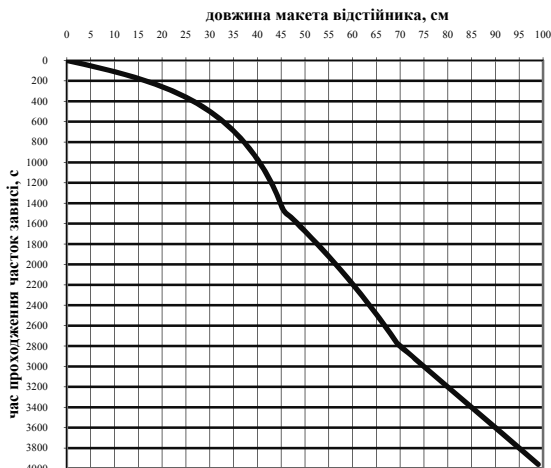


Рис. 6. Графік зміни часу проходження часток завислих речовин за перетином макету відстійника

На підставі розрахунків встановлено, що частки завислих речовин, які містяться у воді, пройдуть відстань від незатопленого розподільчого лотка до водозбірної кишені, рівну 99 см, за 3960 с. Крім того, слід зазначити, що час проходження часток завислих речовин за перетином відстійника і середня швидкість руху потоку рідини через перетини отворів перегородок пов'язані зворотньо-пропорційною залежністю, тобто, з поступовим зниженням швидкості за довжиною відстійника, змінного за формою, час проходження часток завислих речовин збільшується, що підтверджується отриманими розрахунками. Разом з тим, час перебування води у відстійнику змінюється пропорційно його розміру, тобто, зі збільшенням довжини відстійної споруди зростає тривалість відстоювання, внаслідок чого підвищується ефективність очистки промислових стічних вод від завислих речовин.

Висновки. У результаті проведених експериментальних досліджень на діючому макеті горизонталь-

ного відстійника вдосконаленої конструкції було встановлено наступне:

1. Визначено коефіцієнт використання об'єму проточної частини відстійної споруди (K_{set}), що визначає гідравлічну ефективність пристрою, та виведено формулу для розрахунку об'єму горизонтального відстійника удосконаленої конструкції. Внаслідок обладнання пристрою системами раціонального впуску стічної води через розподільчий лоток з отворами і випуску освітленої рідини через водозливну кишеню на торці відстійної споруди, коефіцієнт K_{set} збільшився до 0,78–0,88, що в 1,6–1,8 разів перевищує цей показник для традиційних горизонтальних відстійників, що переважно складає $K_{set}=0,5$.

2. Встановлено, що потік рідини, який надходить у робочу зону відстійної споруди, розділяється на велику (за числом отворів) кількість чітко виражених струмків, паралельних осі потоку, які не змішуються між собою за перетином відстійника, змінного за формою, що вказує на наявність ламінарного режиму течії. Крім того, встановлено, що для ламінарного потоку рідини, який формується в макеті відстійника, характерним є параболічна епюра розподілу швидкостей у його поперечних перетинах.

3. Розраховано основні геометричні і гідравлічні параметри отворів розподільчого лотка і перегородок, встановлених у макеті відстійника, на підставі яких досліджувався гідравлічний режим роботи відстійної споруди.

4. Встановлено зв'язок між площею поперечних перетинів отворів у перегородках (F) і середньою швидкістю руху потоку рідини через ці перетини (v_{cp}). Внаслідок встановлення перфорованих вертикальних перегородок за довжиною макету відстійника і розширення потоку рідини за перетином відстійної споруди, змінної за формою, за рахунок поступового збільшення площі поперечних перетинів отворів у цих перегородках, середня швидкість руху потоку рідини через ці отвори вирівнюється за висотою (глибиною) й одночасно дещо знижується. При цьому, отримані значення чисел Рейнольдса для отворів круглого перетину також зменшуються за ходом руху рідини за довжиною макету відстійника. Це дозволяє стверджувати, що режим руху потоку рідини через перетини всіх отворів кожної перегородки в макеті вдосконаленого відстійника є ламінарним зі сталою течією.

5. Встановлено зв'язок основних гідравлічних параметрів перегородок, що розташовані в макеті удосконаленого відстійника, і витратами потоку рідини. Вказані гідравлічні параметри пов'язані між собою прямопропорційною залежністю. Так, при збільшенні витрат потоку рідини, що подається у відстійник, відповідно буде поступово зростати й середня швидкість руху води через перетини отворів перегородок, і, як наслідок, будуть збільшуватися значення чисел Рейнольдса для отворів круглого перетину при постійному розмірі їх діаметра.

6. Встановлено зв'язок між часом проходження часток завислих речовин за довжиною макету відстійника і середньою швидкістю руху потоку рідини через перетини отворів перегородок. При поступово-

му зниженні швидкості за перетином відстійника, змінного за формою, час проходження часток завислих речовин збільшується.

7. Встановлено зв'язок між часом проходження часток завислих речовин за довжиною макету відстійника і його розміром. Зі збільшенням довжини відстійної споруди зростає тривалість відстоювання, внаслідок чого підвищується ефективність очистки промислових стічних вод від завислих речовин.

Список літератури / References

1. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки / Долина Л.Ф. – Днепропетровск: Молодежная экологическая лига Приднепровья, 2000. – 43 с.

Dolina, L.F. (2000), *Stochnye vody predpriyatiy gornoy promyshlennosti i metody ikh ochistki* [Waste Water from the Mining Industry and Methods of Treatment], Molodezhnaya ekologicheskaya liga Pridneprovya, Dnepropetrovsk, Ukraine.

2. Пат. на корисну модель № 55988 Україна, МПК⁸ В 01 D 21/02. Пристрій для очистки скидів від завислих речовин / Колесник В.С., Кулікова Д.В.; Заявл. 12.10.2010; Опубл. 27.12.2010; Бюл. № 24. – 4 с.

Kolesnik, V.Ye. and Kulikova, D.V. Patent for useful model No.55988 Ukraine, МПК⁸ В 01 D 21/02. The equipment for treatment dumping from suspended solids, Dated December 27, 2010; Bulletin no. 24, 4 p.

3. Левицький Б.Ф. Гідравліка / Б.Ф. Левицький, Н.П. Лещій – Львів: Світ, 1994. – 264 с.

Levytskyi, B.F. and Leshchii, N.P. (1994), *Hidravlika* [Hydraulics], Svit, Lviv, Ukraine.

4. Томаков П.И. Экология и охрана природы при открытых горных работах / Томаков П.И., Коваленко В.С., Михайлов А.М. – М.: МГУ, 1994. – 417 с.

Tomakov, P.I., Kovalenko, V.S. and Mikhaylov, A.M. (1994), *Ekologiya i okhrana prirody pri otkrytykh gornykh rabotakh* [Ecology and Protection of the Environment in Open Cast Mining], MGGU, Moscow, Russia.

Цель. Проведение исследований на физической модели – действующем макете горизонтального отстойника усовершенствованной конструкции для выяснения влияния различных гидравлических факторов на режим работы отстойного сооружения.

Методика. Режим работы предложенного макета отстойника исследовался по общепринятой методике гидравлического расчета горизонтальных отстойников.

Результаты. Определен коэффициент использования объема проточной части макета отстойника. Установлено, что поток жидкости, поступающей в рабочую зону отстойного сооружения, разделяется на большое (по числу отверстий в перегородках) количество четко выраженных струек, параллельных оси потока, не смешивающихся между собой по сечению отстойника, что указывает на наличие ламинарного режима течения. Рассчитаны основные геометрические и гидравлические параметры отверстий распределительного лотка и перегородок, установленных в макете отстойника, на основании которых исследовался гидравлический режим работы отстойного сооружения.

Научная новизна. Установлены зависимости между временем прохождения частиц взвешенных веществ по длине макета отстойника, средней скоростью движения потока жидкости через сечения отверстий его перегородок и длиной. Определена связь основных гидравлических параметров перегородок макета отстойника и расходом потока жидкости.

Практическая значимость. Вследствие применения новых конструктивных признаков, в предложенном отстойнике обеспечивается более равномерное распределение скоростей потока по его сечению, а также более полное использование его объема. Это ведет к улучшению гидравлических условий работы отстойного сооружения и интенсификации процесса осветления сточных вод, вследствие чего повышается эффективность очистки промышленных стоков от механических примесей.

Ключевые слова: сточные воды, механическая очистка, горизонтальный отстойник, гидравлические параметры, ламинарный режим течения

Purpose. To conduct the research on the physical model being the working model of the horizontal sedimentation tank of improved construction in order to determine the influence of different hydraulic factors on the regime of sedimentation facility.

Methodology. Operation mode of the proposed physical model of sedimentation tank was investigated by the standard methods of hydraulic calculation of horizontal settling tanks.

Findings. The coefficient of volumetric use for flow part of horizontal sedimentation tank model was calculated. The flow of liquid entering the working zone of the sedimentation tank appears divided into a large number (meeting the number of holes in the partitions) of parallel to the flow axis and separate streams which do not mix in cross-section of sedimentation tank. That indicates the presence of laminar-flow regime. Basic geometric and hydraulic parameters of opening of distribution tray and partitions, set by in horizontal sedimentation tank model, which was investigated on the basis of the hydraulic regime of sedimentation settler, were calculated.

Originality. The dependence between time spent on drifting suspended particles along the horizontal sedimentation tank model, its length, and average flow velocity through openings of sedimentation settler partitions was established. The basic relationship of hydraulic parameters of the partitions of sedimentation tank model and fluid flow rate was determined.

Practical value. As a result of new constructive characteristics applied in the proposed horizontal sedimentation tank, it provides more uniform distribution of flow velocity over its cross-section and more complete use of its volume. It leads to improved hydraulic conditions of sedimentation constructions and intensification of the waste water purification process, thereby increasing the efficiency of industrial waste water treatment from mechanical impurities.

Keywords: waste water, mechanical treatment, horizontal sedimentation tank, hydraulic parameters, laminar-flow conditions

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Т.І. Долговою. Дата надходження рукопису 15.09.11