

## ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 665:628.33:628.316

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-133-142

*Д. В. Кулікова**Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»*

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСВІТЛЕННЯ ШАХТНИХ ВОД ЗА ВДОСКОНАЛЕНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ ОЧИЩЕННЯ ДЛЯ УМОВ ВОДОВІДЛИВУ ДІЮЧОГО ВУГЛЕДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Головною відмінністю шахтних вод, що ускладнює їхнє очищення, є наявність дрібнодисперсних (менше 10 мкм) агрегативно-стійких вугільних і породних часточок, кількість яких може складати 50-70% від загальної маси механічних домішок. Завислі речовини, що містяться в шахтній воді, відіграють суттєву роль у забрудненні прилеглих поверхневих водойм, оскільки вони або містять у собі багато хімічних забруднювачів, або адсорбують важкі метали, що вказує на важливість ефективного відстоювання шахтної води. Проведено моделювання процесу освітлення шахтних вод за вдосконаленою технологією очищення для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства (шахта «Степова» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля») за рахунок впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції. Встановлено залежності (у вигляді графіків та рівнянь регресії) між глибиною осідання частинок зависі різної гідравлічної крупності в запропонованому відстійнику вдосконаленої конструкції, його довжиною й ефективністю освітлення (очистки) шахтної води після її обробки розчином коагулянту (сульфату алюмінію). Визначено значення очікуваної ефективності освітлення шахтної води та гідравлічну крупність частинок зависі, які зможуть осісти на дно у кінцевій торцевій стінці запропонованого відстійника. Загальна ефективність освітлення шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Степова», після очистки у відстійнику модернізованої конструкції та доочищення в ставку-накопичувачі шахтних вод буде складати 90-91% від вихідної концентрації завислих речовин. Кінцева концентрація механічних домішок після очищення за запропонованою вдосконаленою технологією не перевищує гранично допустимого нормативу, який пред'являється до водойм культурно-побутового призначення за вмістом завислих речовин.

**Ключові слова:** вугледобувне підприємство, шахтні води, завислі речовини, механічна очистка, горизонтальний відстійник, підвищення ефективності освітлення.

**Постановка проблеми.** Вугільна промисловість є потужним техногенним чинником впливу на навколишнє природне середовище, що викликає його негативне перетворення, найбільш чутливими до якого виявляються поверхневі та підземні води.

Практично вся шахтна вода в більшій чи меншій мірі забруднена завислими речовинами (у вигляді дрібних частинок вугілля та породи). Незважаючи на те, що всі шахти мають очисні споруди, вміст твердих суспендованих частинок в шахтній воді залишається досить високим. Це пояснюється тим, що велика кількість шахтних очисних споруд побудовані з порушенням основних вимог Санітарних норм і правил [1], і, відповідно, не забезпечують належної якості очищення шахтної води. Крім того, значна частина наявних ставків-накопичувачів, куди надходить шахтна вода після відстійників, замулена, а деякі взагалі розмиті, через що шахтні води в таких інженерних спорудах майже не освітлюються.

Як наслідок, скид забрудненої шахтної води становить екологічну небезпеку для прилеглих поверхневих водойм, якість води в яких також не відповідає встановленим нормативним значенням для водних об'єктів відповідної категорії. Це робить воду річок непридатною для господарсько-побутового та технічного водопостачання, а також вона втрачає своє рибогосподарське значення. Хімічні речовини, що містяться в шахтній воді, змінюють не тільки

склад поверхневих водойм, але й становлять підвищену екологічну небезпеку для водних живих організмів і здоров'я населення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виходячи з вимог, що пред'являються до якості води, основними методами очищення шахтних вод від завислих речовин є відстоювання у відстійниках і ставках-освітлювачах та фільтрування через шар зернистого матеріалу, сітки та тканини. Дослідницькі роботи [2-6] та практичний досвід очищення шахтних вод свідчать про те, що застосовувані методи очищення та очисні споруди мають цілком певну ефективність, яка досягається при оптимальних технологічних параметрах роботи споруд та їхній правильній експлуатації.

Технологічна схема зі ставками-освітлювачами може ефективно застосовуватися для очищення шахтних вод, в яких завислі речовини мають гарні седиментаційні властивості, тобто кінетично нестійкі та здатні до коагуляції без введення хімічних реагентів (коагулянтів). При цьому, технічно досягнута якість очищеної шахтної води після ставка-освітлювача за вмістом завислих речовин не перевищує 30-50 мг/л [7].

Перевагою технології очищення стічних вод з використанням ставків-освітлювачів є поєднання процесів освітлення води та складування осаду, простота їх влаштування та експлуатації, а також високі ефективність та надійність їхньої роботи.

Особливо хороші результати отримуються в початковий період: у ставках вода повністю очищується. Потім, по мірі накопичення осаду, ефективність очищення падає, кількість завислих речовин на виході перевищує допустимі концентрації і використовувати ці води в господарсько-побутових цілях можна тільки після додаткового очищення.

В роботі [8] наведено результати досліджень по розробці методів, як механічного, так і реагентного очищення шахтних вод. На базі виконаних досліджень в залежності від властивостей вихідної шахтної води та вимог, що пред'являються до якості очищеної, розроблені та впроваджені технологічні схеми очищення шахтних вод [9].

Різниця складу і технологічних властивостей шахтних вод, з одного боку, і вимог до якості очищеної води, з іншого, не дозволяє обрати одну універсальну технологічну схему, яка в усіх випадках забезпечувала б необхідний ступінь очищення і одночасно була б найбільш економічною.

**Постановка завдання.** Існуючі відстійники не відповідають сучасним вимогам «Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами», які передбачають скид у поверхневі водойми забруднюючих речовин в кількості, яка не повинна перевищувати їхньої гранично допустимої концентрації. Саме тому, подальше підвищення ефективності очищення забрудненої шахтної води, і, тим самим, підвищення рівня екологічної безпеки її скиду, пов'язане з видаленням тонкодисперсних часточок. Однак методи і технології, що використовуються в даний час, не дозволяють зробити цього. Тому необхідно їх удосконалити в напрямку інтенсифікації процесу осідання найбільш дрібних завислих часточок і, як наслідок, підвищення рівня екологічної безпеки за рахунок скиду в поверхневі водойми високоосвітленої шахтної води.

Метою роботи є удосконалення технологічної схеми водовідведення на прикладі діючого вугледобувного підприємства Західного Донбасу за рахунок впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції.

**Виклад основного матеріалу.** Шахта «Степова», що входить до складу Приватного акціонерного товариства «ДТЕК Павлоградвугілля», розташована в місті Першотравенськ Дніпропетровської області. Шахта працює стійко й ритмічно при видобутку вугілля на рівні 1250-1360 тис. т на рік. Балансові запаси вугілля складають 193,3 млн. т. Видобувається вугілля марки Г (газовий) з зольністю 35,5%.

На шахті «Степова» експлуатується багатоступенева схема водовідливу. Вона складається з двох головних водовідливних установок, 4 дільничних і трьох насосних установок для відкачування води з зумпфів головного і допоміжного стволів.

Сумарний приплив води, що надходить в шахту, становить 300 м<sup>3</sup>/годину. Вода відкачується на поверхню головною водовідливною установкою, що прокладена в допоміжному стволі, і спеціальним водовідливним свердловинам.

На поверхні шахтна вода надходить до горизонтального відстійника ємністю 700 м<sup>3</sup>. Відстійник шахтної води служить для забезпечення 30-хвилинного контакту гіпохлориту натрію з шахтною водою. З відстійника шахтна вода насосами перекачується в ставок балку Косьмінна і після освітлення скидається в річку Самара.

Існуючий ставок-накопичувач шахтної води ємністю 5,3 млн. м<sup>3</sup> був розрахований на акумулювання річного припливу шахтної води в кількості 5,16 млн. м<sup>3</sup>/рік від Першотравневої групи вугледобувних підприємств у складі шахт «Ювілейна», «Першотравнева» та «Степова» з випорожненням його ємності в період весняної повені протягом 10 діб. У зв'язку з розвитком гірських робіт, відбувається постійне збільшення припливу шахтної води, прогноз якого становить близько 20 млн. м<sup>3</sup>/рік.

Таким чином, ставок-накопичувач, розташований в балці Косьмінна, в даний час через майже триразове перевищення фактичного припливу від Першотравневої групи шахт, в порівнянні з проектним припливом, не забезпечує освітлення шахтної води до санітарних норм перед скидом у річку Самара.

Концентрації завислих речовин, які містяться в шахтних водах, що відкачуються на поверхню вугледобувним підприємством шахта «Степова», та після механічного очищення з вказаною ефективністю освітлення у відстійних спорудах за існуючою технологією наведено в табл. 1. Крім того, наведено значення гранично допустимого вмісту завислих речовин у поверхневих водах річки Самара, яка відноситься до водойм культурно-побутового призначення, в місці скиду очищеної шахтної води.

Таблиця 1

**Усереднені концентрації завислих речовин в шахтній воді до та після очищення за існуючою технологією з наведеним значенням ефективності освітлення у відстійних спорудах**

Показник	Вихідна шахтна вода	Шахтна вода після відстоювання в:		Нормативне значення*
		горизонтальному відстійнику	ставку-накопичувачі	
Концентрація завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	55,53	29,69	20,67	10+0,75
Ефективність освітлення шахтної води за вмістом завислих речовин, %	-	46,5	30,4	-

\* Гранично допустима концентрація для водойм культурно-побутового призначення [1]

Виходячи з отриманих в табл. 1 результатів, можна зробити висновок, що внаслідок механічного очищення шахтних вод у відстійних спорудах за існуючою технологією, концентрація завислих речовин під час скиду освітлених стоків у поверхневі води річки Самара не відповідає величині гранично допустимого вмісту механічних домішок для водойм культурно-побутового призначення, тобто фактичне значення перевищує нормативне в 2 рази.

В умовах недостатності природних водних об'єктів у досліджуваному регіоні, населення прилеглих до шахти районів найчастіше використовують ставки, як для поливу сільськогосподарських угідь, так і в рекреаційних цілях (відпочинку, купання, риболовлі), тому зниження рівня забруднення води в них до нормативних значень набуває особливої актуальності.

Для дотримання умов екологічної безпеки в місцях скиду недостатньо очищених шахтних вод у поверхневі водойми запропоновано технологію їхньої очистки за рахунок впровадження відстійника модернізованої конструкції, схема якої наведена на рис. 1.

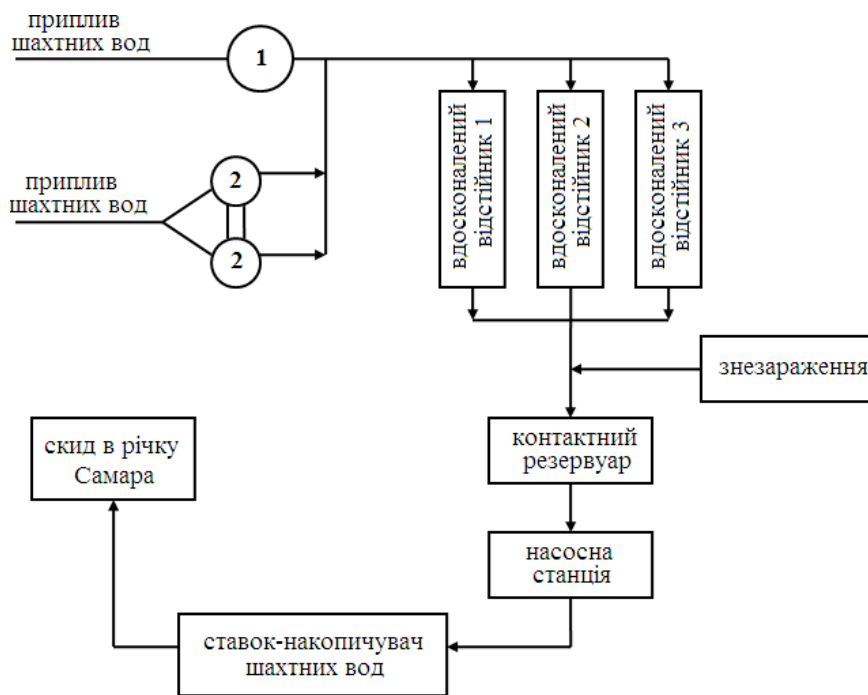
Вдосконалена конструкція відстійника [10] застосовується для очищення шахтної води від нерозчинних механічних домішок полідисперсного складу шляхом їхнього гравітаційного відстоювання в потоці.

Конструкція запропонованого відстійника відрізняється від існуючих відстійних споруд тим, що її корпус виконано у вигляді жолоба, який поступово звужується в напрямку від місця подачі забруднених шахтних вод до зливного отвору, звідки відводиться освітлена вода. При цьому глибина запропонованого відстійника поступово збільшується.

Кут нахилу днища запропонованого відстійника до горизонтальної площини приймається  $\alpha \approx 30^\circ$ . Рекомендоване значення кута  $\alpha$  дозволить мінімізувати довжину відстійника, внаслідок чого скоротиться тривалість перебування в ньому води, та забезпечить краще сповзання осаду, який буде осідати у відстійній споруді.

Кути звуження відстійника приймаються  $\beta \approx 84^\circ$ . Рекомендовані значення кутів  $\beta$  забезпечать найкращі умови осідання завислих речовин у запропонованій відстійній споруді.

Таким чином, виходячи з прийнятих значень кутів, при початковій ширині відстійної споруди  $B_0=10$  м, її кінцева ширина буде складати  $B_k=6$  м. При цьому при довжині відстійника  $L=16$  м, його глибина в місці відведення освітлених шахтних вод буде складати  $H_k=9,2$  м.



**Рис. 1.** Удосконалена технологічна схема водовідливу шахти «Степова» (1 – допоміжний ствол; 2 – водовідливні свердловини)

Всередині відстійної споруди встановлено вертикальні перфоровані поперечні перегородки перетин яких відповідає змінному перетину корпусу відстійника. Головним призначенням перегородок є вирівнювання горизонтальної швидкості руху потоку шахтної води, що подається на освітлення, за глибиною при поступовому її сповільненні за довжиною відстійника. В цьому випадку прискорюється процес випадіння частинок зависі на дно відстійної споруди, внаслідок чого підвищується показник ефективності освітлення шахтної води.

На підставі виконаного порівняльного аналізу впливу кількості перегородок на гідравлічний режим течії освітлюваної води й осідання частинок зависі в запропонованому відстійнику [11] доведено про доцільність встановлення у відстійній споруді чотирьох або п'яти перегородок. Саме така кількість перегородок забезпечить найбільшу ефективність очищення шахтної води від завислих речовин. Перегородки в місцях подачі забруднених і відведення освітлених шахтних вод рекомендовано встановлювати на відстані 3,5 м від торцевих стінок відстійної споруди. Наступні перегородки розташовуються на рівній відстані одна від одної.

На підставі виконаного обґрунтування раціональних параметрів перфорованої області перегородок [12], розташованих у запропонованій відстійній споруді, рекомендується встановлювати вертикальні поперечні перегородки з отворами квадратної, прямокутної або шестигранної форми. Тип їхнього розташування один відносно одного може бути з прямими, зі зміщеними або з діагонально-зміщеними рядами в залежності від форми отворів.

Рекомендовані форми отворів та тип їхнього розташування один відносно одного дозволяє отримати максимальне значення коефіцієнта пропускної здатності перфорованої області перегородки ( $k$ ), величина якого складе 0,826, а відповідно й підвищити ефективність освітлення забруднених завислими речовинами шахтних вод.

Моделювання процесу освітлення шахтних вод (встановлення оптимальних конструктивних і технологічних параметрів запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції) для умов водовідливу шахти «Степова» виконувалося відповідно до методик, наведених в роботах [10, 13].

Розраховані конструктивні параметри запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції в місцях розташування перфорованих поперечних перегородок та торцевої стінки, що необхідні для подальших розрахунків, наведено в табл. 2.

Для очищення шахтної води необхідно провести розділення рідкої та твердої фази. Інтенсифікувати процес розділення можна за рахунок укрупнення часточок в агрегати під дією коагулянтів з подальшим відділенням агрегованих частинок шляхом відстоювання. В якості коагулянтів для обробки шахтної води широке поширення отримав сірчаноокислий алюміній.

Таблиця 2

**Конструктивні параметри запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції**

Конструктивні параметри	Значення конструктивних параметрів відстійника в місці розташування:				
	перегородки:				торцевої стінки
	I	II	III	IV	
Загальна висота $H_i^o$ , м	2,0	3,8	5,5	7,2	9,2
Робоча висота $H_i^p$ , м	1,7	3,5	5,2	6,9	8,9
Ширина $b_i$ , м	8,63	8,0	7,37	6,74	6,0
Відстань $L_i$ , м, від місця подачі шахтної води до і-тої перегородки відстійника, м	3,5	6,5	9,5	12,5	16,0

В процесі осідання завислих речовин розмір, щільність і форма часточок, а також фізичні властивості полідисперсної системи постійно змінюються. Найбільш надійним шляхом встановлення достовірної швидкості осідання (гідралічної крупності) тієї чи іншої частинки зависі є проведення лабораторних досліджень в циліндрах з невеликою висотою рівня рідини. Це дозволяє порівняно швидко визначити необхідні параметри для розрахунку реальних відстійників з високим рівнем води.

Визначення швидкості осідання завислих частинок (гідралічної крупності) в циліндрах з конусним дном рекомендовано здійснювати за методикою [14]. Відповідно до цієї методики, проби стічної води, в якій попередньо визначають вихідну концентрацію завислих речовин –  $C_0$ , мг/дм<sup>3</sup>, відстоюють в циліндрах з органічного скла діаметром 0,12 м і робочою висотою 0,54 м. Для цього шахтну воду, що містить завислі речовини в кількості 65 мг/дм<sup>3</sup>, наливають у вісім лабораторних мірних циліндрів. Після додавання розчину коагулянту (сульфату алюмінію) воду перемішують і через певні проміжки часу (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 і 120 хвилин) із циліндрів відбирають проби води, в яких визначають залишкову концентрацію завислих речовин.

Результати експерименту з визначення кількості завислих речовин, що випадають на дно лабораторних циліндрів, залежно від тривалості процесу відстоювання шахтної води обробленої коагулянтном, представлені в табл. 3.

Таблиця 3

**Результати дослідження процесу випадіння частинок зависі в лабораторних циліндрах при відстоюванні шахтної води попередньо обробленої коагулянтном**

Параметри	Вихідна шахтна вода	Шахтна вода після відстоювання тривалістю, хвилини:							
		15	30	45	60	75	90	105	120
Концентрація завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	65,0	46,15	35,1	27,95	20,8	16,9	13,0	10,4	7,8
Ефективність освітлення шахтної води, %	0	29	46	57	68	74	80	84	88

Умова, за якою при різних висотах рівня води забезпечуються рівні ефекти освітлення стічних вод, служить критерієм седиментаційної подібності.

Завислі речовини, що випадають в осад, під час руху зіштовхуються між собою, внаслідок чого відбувається їхнє укрупнення, що, в свою чергу, збільшує швидкість осідання. В цьому випадку, критерій седиментаційної подібності виражається нелінійним співвідношенням [2]:

$$\frac{t_i}{T_i} = \left( \frac{h}{H_i} \right)^n, \quad (1)$$

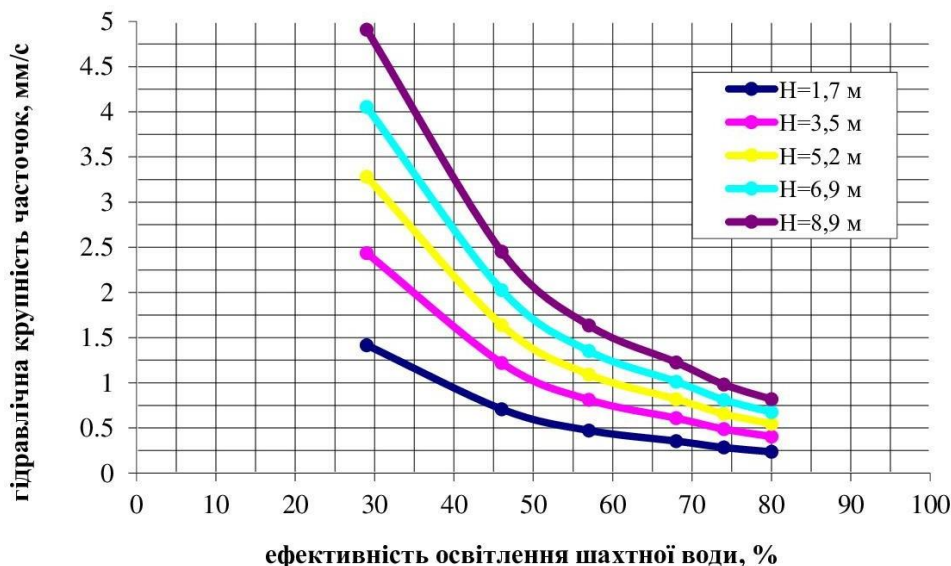
де  $t_i$  – тривалість процесу відстоювання (секунди) шахтної води в лабораторних циліндрах висотою  $h=0,54$  м;  $H_i$  – змінна глибина реального відстійника, що відповідає робочим висотам перегородок, встановлених у певних місцях очисної споруди, та кінцевої торцевої стінки, м;  $T_i$  – тривалість процесу відстоювання води (секунди) для досягнення однакового ефекту освітлення, тобто відсотку випадіння завислих часточок ( $P$ ) при висоті рівня води, що дорівнює глибині відстійника  $H_i$  (м);  $n$  – показник, що характеризує здатність частинок зависі до агрегації при відстоюванні в стані спокою (для шахтної води, що обробляється коагулянтном,  $n=0,25$  [2]).

Дане співвідношення дозволяє перерахувати час, необхідний для отримання заданої ефективності освітлення шахтної води за результатами технологічного моделювання для приведення результатів експерименту до натурних умов.

Величини гідравлічної крупності полідисперсної зависі, тобто швидкість її осідання, що відповідають заданому відсотку випадіння завислих часточок ( $P$ ) визначаються за формулою:

$$U_i = \frac{H_i}{T_i}, \text{ мм/с.} \quad (2)$$

Розраховані значення  $U_0$ , що характеризують режим осідання частинок зависі, тобто освітлення шахтної води обробленої коагулянтном у запропонованому відстійнику натуральних розмірів, наведені на рис. 2.



**Рис. 2.** Залежність ефективності освітлення від швидкості осідання частинок зависі, що містяться в шахтній воді, на різних глибинах запропонованого відстійника

На підставі отриманих експериментальних даних встановлено, що величини гідравлічної крупності частинок зависі ( $U_0$ , мм/с) та ефективність освітлення ( $P$ , %) шахтної води, при заданій глибині запропонованого відстійника, яка відповідає певній висоті перегородки та торцевої стінки, описуються експоненціальними залежностями (табл. 4).

Таблиця 4

**Залежності величин гідравлічної крупності частинок зависі від ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном при заданій глибині запропонованого відстійника**

Глибина запропонованого відстійника	Отримана залежність	Достовірність апроксимації
$H_1=1,7$ м	$U_o=3,6105 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	$R^2=0,9964$
$H_2=3,5$ м	$U_o=6,2006 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	
$H_3=5,2$ м	$U_o=8,3462 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	
$H_4=6,9$ м	$U_o=10,32 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	
$H_K=8,9$ м	$U_o=12,49 \cdot e^{-0,0344 \cdot P}$	

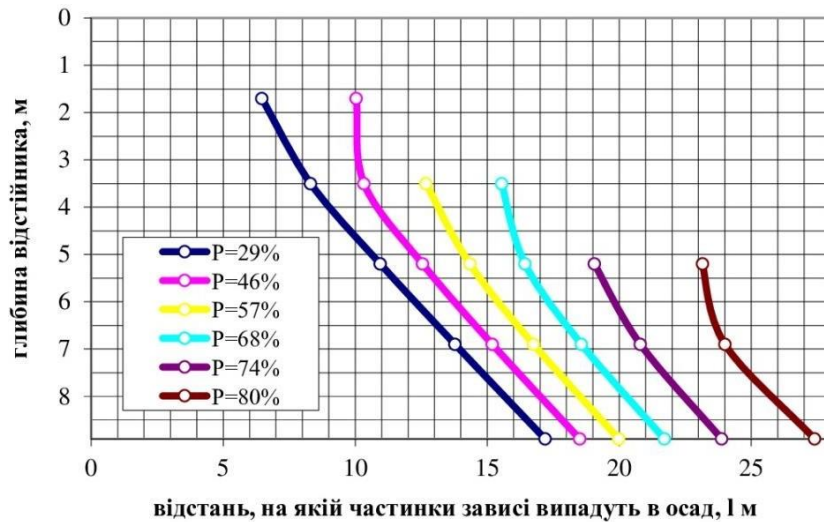
Отримані залежності дозволяють визначати гідравлічну крупність завислих речовин, яка відповідає певній процентній кількості частинок зависі, що осідають на дно запропонованого відстійника змінної глибини протягом певного заданого проміжку часу при попередній обробці шахтної води розчином сульфату алюмінію.

Для визначення очікуваних технологічних параметрів запропонованого відстійника, що розраховуються для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства, необхідно знайти відстані  $l$ , на яких частинки зависі певної гідравлічної крупності випадуть на дно очисної споруди, за формулою:

$$l = \frac{b_i}{4 \cdot \text{ctg}\beta} - \sqrt{\left(\frac{b_i}{4 \cdot \text{ctg}\beta}\right)^2 - \frac{Q}{2 \cdot k \cdot U_i \cdot \text{ctg}\beta}}, \text{ м.} \quad (3)$$

Виходячи з фактичної кількості забруднених шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Степова» (300 м<sup>3</sup>/годину), удосконалена технологічна схема очистки передбачає встановлення трьох відстійників модернізованої конструкції. Таким чином, витрати шахтної води, що надходить на очищення, в розрахунку на одну запроповану відстійну споруду, становлять Q=100 м<sup>3</sup>/годину.

Результати розрахунків величин *l* представлено у вигляді графічних залежностей глибини осідання частинок завсі певної гідравлічної крупності від відстані, на якій вони зможуть випасти на дно запропованого відстійника, при заданому значенні ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном (рис. 3).



**Рис. 3. Залежності глибини осідання частинок завсі певної гідравлічної крупності від відстані, на якій вони зможуть випасти на дно запропованого відстійника, при заданому значенні ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном**

За допомогою цих графіків можна визначити глибину (*H<sub>ос</sub>*, м) осідання частинок завсі певної гідравлічної крупності в місці випуску освітленої води (кінцева торцева стінка запропованого відстійника). Зазначені глибини при заданому значенні ефективності освітлення (*P*, %) шахтної води обробленої коагулянтном, при прийнятій довжині відстійника (*L*=16 м) представлені в табл. 5 і на рис. 4.

Таблиця 5

**Глибина осідання частинок завсі певної гідравлічної крупності при заданому значенні ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном**

Ефективність освітлення шахтної води <i>P</i> , %	29	46	57	68
Глибина осідання частинок завсі певної гідравлічної крупності <i>h<sub>ос</sub></i> , м	8,1	7,4	6,4	4,5

За допомогою цієї залежності можна визначити значення очікуваної ефективності освітлення шахтної води обробленої коагулянтном, а потім, за раніше отриманими залежностями, й гідравлічну крупність частинок завсі, які зможуть осісти на дно у кінцевій торцевій стінці запропованого відстійника, висота якої складає *H<sub>к</sub>*=8,9 м.

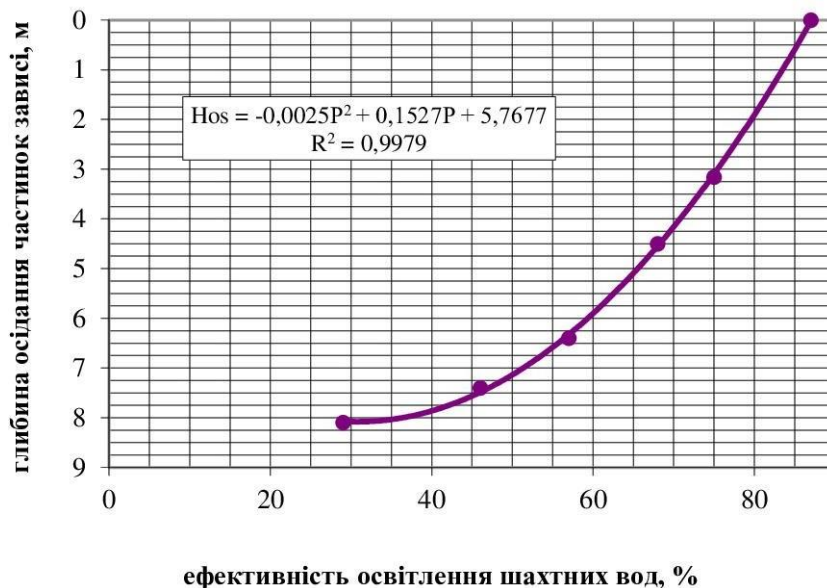
Значення очікуваних технологічних показників запропованого горизонтального відстійника, що розраховуються для умов водовідливу шахти «Степова», наведено в табл. 6.

Таблиця 6

**Значення очікуваних технологічних показників запропованого відстійника для умов водовідливу шахти «Степова»**

Очікувана ефективність освітлення шахтної води, <i>P</i> , %	Орієнтовна глибина осідання частинок завсі, <i>H<sub>ос</sub></i> , м	Гідравлічна крупність завсі речовин, <i>U<sub>о</sub></i> , мм/с
87,0	0,13	0,583

Концентрації завислих речовин, які містяться в шахтних водах, що відкачуються на поверхню вугледобувним підприємством, та після механічного очищення з вказаною ефективністю освітлення в запропонованих відстійних спорудах за вдосконаленою технологією наведено в табл. 7.



**Рис. 4.** Залежність глибини осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності від величини ефективності освітлення шахтної води, при заданій довжині запропонованого відстійника

Таблиця 7

**Концентрації завислих речовин в шахтній воді до та після очищення за вдосконаленою технологією з наведеним значенням ефективності освітлення у відстійних спорудах**

Показник	Вихідна шахтна вода	Шахтна вода після відстоювання в:		Нормативне значення*
		удосконаленому відстійнику	ставку-накопичувачі	
Концентрація завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	65,0	8,45	5,88	10+0,75
Ефективність освітлення шахтної води за вмістом завислих речовин, %	-	87	30,4	-

\* Гранично допустима концентрація для водоїм культурно-побутового призначення [1]

Виходячи з даних табл. 7 можна зробити висновок, що загальна ефективність освітлення шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Степова», після очистки у відстійнику вдосконаленої конструкції та доочищення в ставку-накопичувачі шахтних вод буде складати 90-91% від вихідної концентрації завислих речовин. При цьому кінцева концентрація механічних домішок після очищення за запропонованою вдосконаленою технологією не перевищує гранично допустимого нормативу, який пред'являється до водоїм культурно-побутового призначення за вмістом завислих речовин.

**Висновки.** В роботі вирішена актуальна науково-практична задача, що полягає в удосконаленні існуючої технологічної схеми водовідливу на прикладі шахти «Степова» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», на основі впровадження горизонтального відстійника модернізованої конструкції та подальшого доочищення шахтної води в ставку-накопичувачі.

На підставі проведеного технологічного моделювання процесу освітлення шахтної води для умов водовідливу діючого вугледобувного підприємства отримано графічну залежність зміни глибини осідання завислих часточок від величини ефективності освітлення шахтної води при заданих конструктивних параметрах запропонованого відстійника. Ця залежність дозволяє визначити значення очікуваних технологічних параметрів запропонованого відстійника, а саме прогнозовану величину ефективності освітлення шахтної води, орієнтовну глибину осідання



частинок зависі в місці відведення очищеної води з відстійної споруди та гідравлічну крупність цих часточок.

Впровадження запропонованої технологічної схеми водовідливу на діючому вугледобувному підприємстві дозволить знизити концентрації завислих речовин, які містяться в шахтних водах, до нормативних показників, дозволених до скиду в прилеглі поверхневі водойми.

### Література

1 Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001). Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001. №137. 376 с.

2 Харионовский А.А. Комплексная очистка шахтных и карьерных вод от техногенных загрязнений. Шахты: Изд-во ЮРО АГН, 2000. 238 с.

3 Виговська Д.Д., Виговський Д.Д., Пікульова Т.П. Технологічні особливості очищення шахтних вод // Вісті Донецького гірничого університету. 2012. №1(30)-2(31). С.78-83.

4 Гулько С.Е., Гомаль І.І. Анализ состава и состояния гидротехнических сооружений угольных шахт // Вісті Донецького гірничого університету. 2013. №1(32). С.78-84.

5 Кривошеков В.И., Чутчева А.Г. Проблема очистки шахтной воды и направление ее решения // Збагачення корисних копалин. 2013. Вип. 55(96). <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2013-55-96/11.pdf>.

6 Ворон Л.В., Ланге Л.Р., Благоразумова А.М. Проблемы очистки шахтных вод // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. №2(12). С. 76-79.

7 Горшков В.А. Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности. М.: Недра, 1981. 269 с.

8 Витренко Л.М., Сергиенко С.Ф. Новые технологические схемы очистки шахтных вод в Донбассе // Научные труды ВНИИОСуголь «Очистка и использование шахтных вод». 1973. Вып. XVI. С. 73-85.

9 Технологические схемы очистки от взвешенных веществ и обеззараживание шахтных вод: каталог. Пермь: ВНИИОСуголь, 1986. 69 с.

10 Kolesnyk V., Kulikova D., Kovrov S. In-stream settling tank for effective mine water clarification In: Annual Scientific-Technical Collection "Mining of Mineral Deposits". CRC Press/Balkema, Netherlands; Taylor & Francis Group, London, UK. 2013. P. 285-289.

11 Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V. Justification of quantity perforated partitions and intervals their placement in improved sedimentation tank of mine water // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2013. №4. P. 92-98.

12 Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V., Pavlychenko A.V. Substantiation of rational parameters of perforated area of partitions in an improved mine water settling basin // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016. №6. P. 120-127.

13 Колесник В.Е., Куликова Д.В. Разработка алгоритма выбора и расчета основных параметров отстойника для очистки сточной воды от взвешенных частиц // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2013. №1. С. 48-56.

14 Horova A.I., Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V. Physical modeling of precipitation process of the suspended materials in physical model of sedimentation tank for mine water treatment // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2012. №3. P. 92-98.

*D. Kulikova*

*Dnipro University of Technology*

## MODELING THE PROCESS OF MINE WATER CLARIFICATION USING IMPROVED PURIFICATION TECHNOLOGY FOR WATER DISPOSAL CONDITIONS OF OPERATING COAL MINING ENTERPRISE

The main difference between mine waters, which makes it difficult to clean them, is the presence of finely dispersed (less than 10 microns) aggregate-resistant coal and rock particles, the amount of which can be 50-70% of the total mass of mechanical impurities. Suspended solids that are contained in mine

water play a significant role in the contamination of nearby surface water bodies, since they either contain many chemical pollutants or adsorb heavy metals, which indicates the importance of effective mine water settling. Modeling of the mine water clarification process using an improved treatment technology for the conditions of wastewater disposal of an operating coal mining enterprise (Stepova mine of DTEK Pavlohradcoal Private Joint-Stock Company) through the introduction of a horizontal sedimentation tank of a modernized design was carried out. Dependences (in the form of graphs and regression equations) between the depth of particle settling depending on their the different hydraulic size in the proposed sedimentation tank of an improved design, its length and the efficiency of clarification of mine water after its treatment with a coagulant solution (aluminum sulfate) have been established. Using these dependencies, it is possible to determine the value of the expected efficiency of mine water clarification and the hydraulic particle size of suspended particles that can settle to the bottom at the end wall of the proposed sedimentation tank. The overall efficiency of mine water clarification, which is pumped to the surface by the Stepova mine, after treatment in a modernized sedimentation tank and post-treatment in a mine water storage pond, will be 90-91% of the initial concentration of suspended solids. The final concentration of mechanical impurities after treatment according to the proposed improved technology does not exceed the maximum allowable standard for water bodies for cultural and community purposes in terms of the content of suspended solids.

**Keywords:** coal mining enterprise, mine water, suspended solids, mechanical treatment, horizontal sedimentation tank, clarification efficiency.

### References

- 1 Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Dopustymi dozy, kontsentratsii, kilkosti ta rivni vmistu pestytsydiv u silskohospodarskii syrovyni, kharchovykh produktakh, povitri robochoi zony, atmosfernomu povitri, vodi vodoimyshch, grunti» (DSanPiN 8.8.1.2.3.4-000-2001). Postanova Holovnoho derzhavnoho sanitarnoho likaria Ukrainy vid 20.09.2001. №137. 376 s.
- 2 Harionovskij A.A. Kompleksnaja ochistka shahtnyh i kar'ernyh vod ot tehnogennyh zagryaznenij. Shahty: Izd-vo JuRO AGN, 2000. 238 s.
- 3 Vyhovska D.D., Vyhovskyi D.D., Pikulova T.P. Tekhnolohichni osoblyvosti ochyshchennia shakhtnykh vod // Visti Donetskoho hirnychoho universytetu. 2012. №1(30)-2(31). S. 78-83.
- 4 Gul'ko S.E., Gomal' I.I. Analiz sostava i sostojanija gidrotehnicheskikh sooruzhenij ugol'nyh shaht // Visti Donetskoho hirnychoho universytetu. 2013. №1(32). S. 78-84.
- 5 Krivoshhekov V.I., Chutcheva A.G. Problema ochistki shahtnoj vody i napravlenie ee reshenija // Zbahachennia korysnykh kopalyn. 2013. Vyp. 55(96). <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2013-55-96/11.pdf>.
- 6 Voron L.V., Lange L.R., Blagorazumova A.M. Problemy ochistki shahtnyh vod // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta. 2015. №2(12). S. 76-79.
- 7 Gorshkov V.A. Ochistka i ispol'zovanie stochnyh vod predpriyatij ugol'noj promyshlennosti. M.: Nedra, 1981. 269 s.
- 8 Vitrenko L.M., Sergienko S.F. Novye tehnologicheskie shemy ochistki shahtnyh vod v Donbasse // Nauchnye trudy VNIOSugol' «Ochistka i ispol'zovanie shahtnyh vod». 1973. Vyp. XVI. S. 73-85.
- 9 Tehnologicheskie shemy ochistki ot vzveshennyh veshhestv i obezzarazhivanie shahtnyh vod: katalog. Perm': VNIOSugol', 1986. 69 s.
- 10 Kolesnyk V., Kulikova D., Kovrov S. In-stream settling tank for effective mine water clarification In: Annual Scientific-Technical Collection “Mining of Mineral Deposits”. CRC Press/Balkema, Netherlands; Taylor & Fransis Group, London, UK. 2013. P. 285-289.
- 11 Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V. Justification of quantity perforated partitions and intervals their placement in improved sedimentation tank of mine water // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2013. №4. P. 92-98.
- 12 Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V., Pavlychenko A.V. Substantiation of rational parameters of perforated area of partitions in an improved mine water settling basin // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016. №6. P. 120-127.
- 13 Kolesnik V.E., Kulikova D.V. Razrabotka algoritma vybora i rascheta osnovnyh parametrov otstojnika dlja ochistki stochnoj vody ot vzveshennyh chastic // *Jenergotehnologii i resursosberezhenie*. 2013. №1. S. 48-56.
- 14 Horova A.I., Kolesnyk V.Ye., Kulikova D.V. Physical modeling of precipitation process of the suspended materials in physical model of sedimentation tank for mine water treatment // *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2012. №3. P. 92-98.