

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СБРОСА ШАХТНОЙ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ОТСТОЙНИКА

В.Е. Колесник, Д.В. Куликова, ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина

Анализируется предложенная авторами оригинальная конструкция проточного отстойника для эффективной очистки шахтной воды от механических примесей полидисперсного состава методом гравитационного отстаивания в потоке, который движется с небольшой скоростью. Выбраны основные геометрические параметры отстойника и необходимое количество перфорированных перегородок с учетом реальных условий водоотлива угольной шахты. Приведены показатели эффективности очистки при простом отстаивании шахтной воды и после предварительной обработки ее раствором коагулянта, которые обеспечивают существенное повышение экологической безопасности сброса шахтной воды в близлежащие поверхностные водоемы.

На предприятиях угольной промышленности Украины широко используются горизонтальные отстойники. Они позволяют выделить из шахтной воды грубодисперсные примеси и часть органических загрязнителей без предварительной обработки. В таких отстойниках осаждаются преимущественно крупные взвешенные примеси (частицы угля или пород). Эффект осветления воды после отстаивания – относительно небольшой и составляет около 30%. Такая эффективность не отвечает современным требованиям водоохранного законодательства Украины, которые ужесточились за последнее десятилетие.

Технология очистки шахтной воды путем продолжительного отстаивания (осветления) является самой простой, наименее трудоемкой и относительно недорогой. Она обеспечивает выделение из загрязненной воды грубодисперсных примесей, плотность вещества которых превышает плотность жидкости.

Осветление воды безреагентным методом отстаивания применяется в тех случаях, когда она загрязнена только грубодисперсными примесями, имеющими заметный гравитационный эффект оседания. Однако примеси, обуславливающие мутность и цветность шахтной воды, содержат частицы малых размеров, вследствие чего их осаждение происходит крайне медленно, так как диффузия превалирует над гравитационным оседанием (седиментацией). Кроме того, наличие коллоидных примесей еще более осложняет процесс седиментации. При этом коллоидные частицы и тонкодисперсные вещества, как правило, заряжены отрицательно, т.е. одноименно, поэтому взаимно отталкиваются и держатся во взвешенном состоянии. Для осветления воды, содержащей коллоидно-дисперсные вещества, необходимо предварительно укрупнить их частицы, что достигается коагулированием (добавлением в воду специальных реагентов), при котором образуются грубодисперсные хлопья, способные под действием собственной силы тяжести достаточно быстро выпадать в осадок.

Целью данной работы является повышение эффективности процесса механической очистки шахтной воды в предложенном проточном горизонтальном отстойнике путем простого и реагентного отстаивания, направленной на повышение экологической безопасности сброса шахтной воды в близлежащие поверхностные водоемы.

Существующие традиционные конструкции отстойников достаточно хорошо изучены. Ожидать от них существенного повышения эффективности не приходится. Поэтому одним из способов интенсификации работы отстойников и повышения их эффективности является усовершенствование их конструкции.

Авторами предложена конструкция проточного горизонтального отстойника для очистки промышленной сточной воды, загрязненной механическими примесями полидисперсного состава, путем их гравитационного осаждения [1]. Общий вид отстойника представлен на рис. 1.

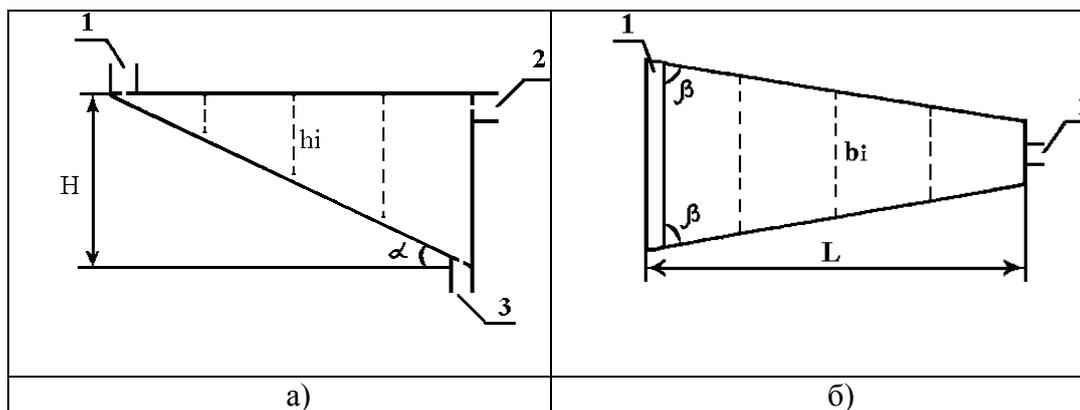


Рис. 1 Схема горизонтального отстойника усовершенствованной конструкции:
а – вид сбоку; б – вид сверху

Главным отличием предложенной конструкции отстойника является то, что его корпус выполнен в виде желоба, который сужается по направлению к сливному отверстию 2 при одновременном увеличении глубины – H . Внутри желоба последовательно размещены поперечные вертикальные перфорированные перегородки переменной высоты – h_i и ширины – b_i , площади которых соответствуют сечению корпуса отстойника. Перегородки разделяют отстойник на несколько секций и имеют отверстия, которые разбивают поток осветляемой воды на множество отдельных струй. Это способствует выравниванию скорости потока в сечениях корпуса отстойника и обеспечивает интенсивное оседание частиц взвеси из потока, течение которого близко к ламинарному. Наиболее крупные частицы осаждаются на дно уже в первой секции. Более мелкие частицы поступают в следующую секцию, где продолжают свое движение в направлении дна.

Согласно рис.1, загрязненная вода поступает в лоток 1. Осветленная (очищенная) вода отводится через сливное отверстие 2. Образовавшийся илистый осадок сползает по наклонному дну. Для этого между днищем и перегородкой предусмотрен зазор. Уплотненный осадок в виде шлама выводится через отверстие 3 без остановки работы отстойника.

Предложенная конструкция отстойника обеспечивает формирование равномерного ламинарного потока очищаемой воды. При этом сечение потока изменяется от не глубокого, но широкого – в области впуска загрязненной шахтной воды, до узкого, но глубокого – в области слива осветленной воды. По мере движения воды, взвешенные частицы оседают на все большую глубину. Поэтому в области слива образуется достаточно высокий слой осветленной воды, что позволяет сливать ее с минимальным захватом ила, который собирается ближе к днищу отстойника. Отстойник имеет высокий коэффициент объемного использования и повышенную интенсивность осаждения взвешенных частиц. Это обусловлено как формой отстойника, так и наличием перфорированных перегородок. Площади сечений каждой последующей перегородки (от впуска сточной воды до выпуска осветленной жидкости в области крайней торцевой стенки отстойника) несколько увеличиваются. Это приводит к снижению скорости потока в каждом последующем сечении и соответственно значения числа Рейнольдса для отверстий в перегородках, что также способствует поддержанию ламинарного режима течения. В конечном итоге, повышается эффективность процесса осветления (очистки) шахтной воды в целом.

Для обеспечения эффективной работы предложенного отстойника важно подобрать его основные геометрические параметры. Авторами установлена связь между основными конструктивными параметрами и технологическими показателями отстойника: коэффициентом использования объема проточной части отстойника (K_{set}), временем пребывания в нем осветляемой жидкости (t_2) и эффективностью осветления воды от взвешенных частиц (P).

Полученные зависимости позволили обосновать основные геометрические параметры отстойника, а также необходимое количество перегородок и мест их размещения по сечению

отстойного сооружения с учетом реальных условий водоотлива действующей угольной шахты. Так, угол наклона его днища принят $\alpha \approx 30^\circ$, а углы сужения в плане – $\beta \approx 84^\circ$. При начальной ширине отстойника $B_0 = 10$ м, базовой для проектирования, его длина составит $L = 20$ м, конечная ширина $B_k = 6$ м и наибольшая глубина $H = 11,5$ м [2].

Рекомендуемый угол $\alpha \approx 30^\circ$ позволяет минимизировать длину отстойника, сокращает время пребывания в нем воды, и обеспечивает наилучшее сползание осадка к отверстию для слива ила. Углы $\beta \approx 84^\circ$ обеспечивают наилучшие условия осаждения взвешенных частиц при достаточно высоком коэффициенте использования проточной части отстойного сооружения $K_{set} = 0,944$, что, приблизительно, в 1,9 раза выше, чем для существующих горизонтальных отстойников.

Для создания стабильной гидродинамической структуры потока по сечению отстойника предложено установить пять перфорированных вертикальных поперечных перегородок с отверстиями круглой формы, совокупность которых образует правильные шестиугольники. При этом перегородки на входе и выходе из отстойника (первую и последнюю) устанавливают на расстоянии 4 м от торцевых стенок, а последующие располагают на равном расстоянии друг от друга ($L_i = 3$ м).

Эффективность осветления (очистки) шахтной воды от содержащихся в ней взвешенных веществ определялась на основе данных седиментационного анализа частиц, характерных для шахтной воды, который проводился путем ее простого и реагентного отстаивания. (Реагентное отстаивание предусматривало предварительную обработку шахтной воды раствором коагулянта).

В качестве коагулянта для обработки шахтной воды использовался широко известный сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, который при растворении в воде подвергается гидролизу. Благодаря противоположным знакам зарядов образующегося гидроксида $Al_2(OH)_3$ и примесей, содержащихся в воде, силы отталкивания ослабевают и постепенно полностью исчезают, что приводит к взаимному слипанию взвешенных и коллоидных частиц очищаемой воды с коллоидными частицами $Al_2(OH)_3$ и увеличению скорости их осаждения.

Главным параметром процесса очистки воды при помощи коагулянта является доза последнего. Исследования реагентной обработки шахтной воды в промышленных условиях различных угольных бассейнов показали, что в ориентировочных расчетах дозу безводного сернокислого алюминия можно принимать в зависимости от мутности исходной воды [3]. Так, для шахтной воды с содержанием взвешенных веществ 200 мг/дм³ доза коагулянта составляет $35-40$ мг/дм³.

Определение времени оседания взвешенных частиц проводилось экспериментально, путем отстаивания (простого и реагентного) образцов шахтной воды в статических условиях. Для этого шахтную воду, которая содержала взвешенные вещества в количестве 200 мг/дм³, наливали в лабораторные мерные цилиндры-седиментаторы. При реагентном отстаивании после добавления раствора коагулянта (сульфата алюминия) в количестве 35 мг/дм³, вода перемешивалась путем десятикратного опрокидывания закрытых пробкой цилиндров. Через определенные промежутки времени из цилиндров отбирались пробы воды, в которых определялась остаточная концентрация взвешенных веществ.

Поскольку высота цилиндра-седиментатора h_s , как правило, отличается от действительной высоты отстаивания в отстойнике H_i , пересчет продолжительности процесса отстаивания шахтной воды в сечениях реального отстойника на высоте H_i выполнялся по формуле:

$$T_i = t \cdot \left(\frac{H_i}{h_s} \right)^n, \quad (1)$$

где h_s и H_i – соответственно высота цилиндра-седиментатора и переменная глубина отстойника, м; t и T_i – соответственно продолжительность отстаивания в цилиндре-седиментаторе и в отстойнике на выбранной глубине, мин.; n – показатель степени, который характеризует способность частиц к агрегации при отстаивании в покое. Для шахтной воды принят $n = 0,35$ [4].

По вычисленным значениям $-T_i$ и, соответствующим этому времени количествам выпавших в осадок частиц взвеси $-P$, строились кривые выпадения взвешенных веществ на глубинах, соответствующих рабочим высотам перегородок отстойника, при простом и реагентном отстаивании шахтной воды. На рис. 2 кривая 1 характеризует продолжительность отстаивания частиц взвешенных в воде веществ в стационарных условиях при высоте лабораторного цилиндра-седиментатора $h_s=0,54$ м.

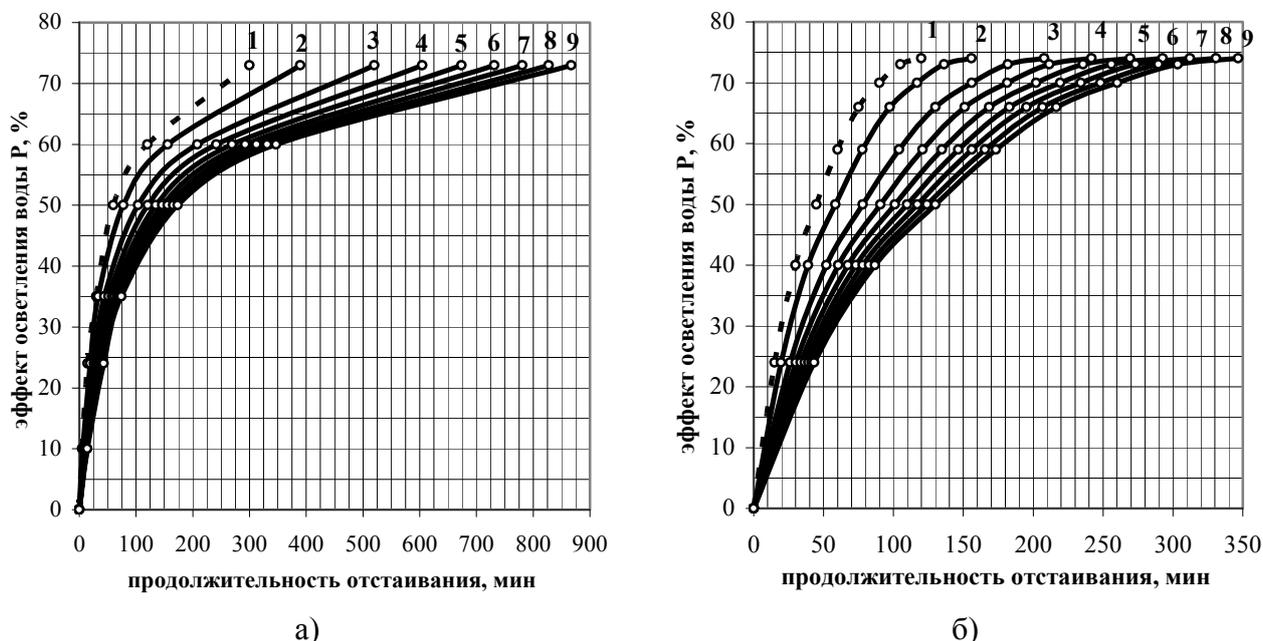


Рис. 2 – Зависимости изменения эффекта осветления воды от продолжительности процесса отстаивания: а) – простого; б) – реагентного, в отстойнике переменной глубины при: 1. $h=0,54$ м; 2. $H=1,14$ м; 3. $H=2,6$ м; 4. $H=4$ м; 5. $H=5,45$ м; 6. $H=6,9$ м; 7. $H=8,3$ м; 8. $H=9,8$ м; 9. $H=11,2$ м

По полученным значениям T_i вычислялись средние скорости осаждения взвешенных частиц (средние значения их гидравлической крупности), как $U_0=H_i/T_i$, мм/с.

На рис. 3-4 представлено семейство значений $U_0 = f(H_i)$, которые соответствуют задаваемому эффекту осветления (очистки) шахтной воды P , %, при простом и реагентом отстаивании.

С помощью этих зависимостей можно определить гидравлическую крупность U_0 частиц взвеси для достижения необходимого эффекта осветления (P) шахтной воды на любой глубине H_i отстойника.

Зная скорость осаждения частиц взвеси в сечениях реального отстойника, можно определить расстояния l , на которых эти частицы осядут на дно отстойника при обеспечении заданного эффекта очистки шахтной воды. Расчет этого расстояния выполнялся по формуле:

$$l = \frac{b_i}{4 \cdot \text{ctg} \beta} - \sqrt{\left(\frac{b_i}{4 \cdot \text{ctg} \beta} \right)^2 - \frac{Q}{2 \cdot k \cdot U_0 \cdot \text{ctg} \beta}} \quad (2)$$

Рассчитанные значения l , чаще всего превышают принимаемую при проектировании длину отстойника L . Поэтому важно оценить фактический эффект осветления (очистки) сливаемой из отстойника шахтной воды P , например, при заданной длине $L=20$ м, углах $\alpha \approx 30^\circ$, $\beta \approx 84^\circ$ и типовом расходе шахтной воды $Q=0,0225$ м³/с.

В этом случае не все частицы достигнут дна в наиболее глубокой части отстойника у задней торцевой стенки, т.е. в сливном сечении. Глубину их оседания (h_{os} , м) при обеспечении заданной эффективности осветления (P) можно оценить по зависимостям $h_{os} = f(P)$, представленным на рис. 5.

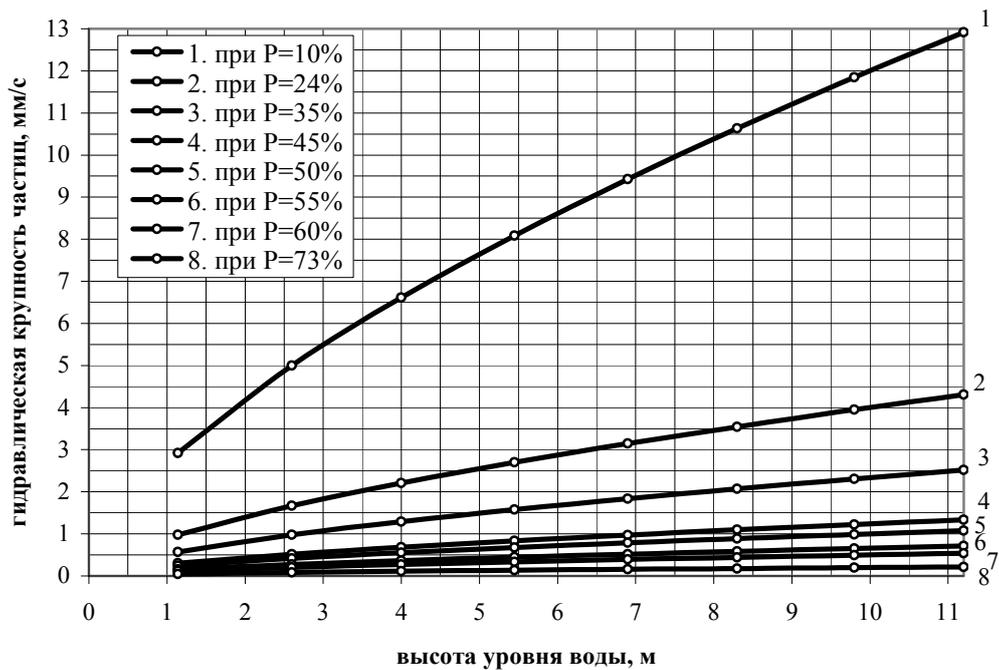


Рис. 3 Зависимости $U_0 = f(H_i)$ – величины гидравлической крупности частиц взвеси – U_0 от высоты – H_i уровня воды при задаваемом эффекте ее очистки – P (простое отстаивание)

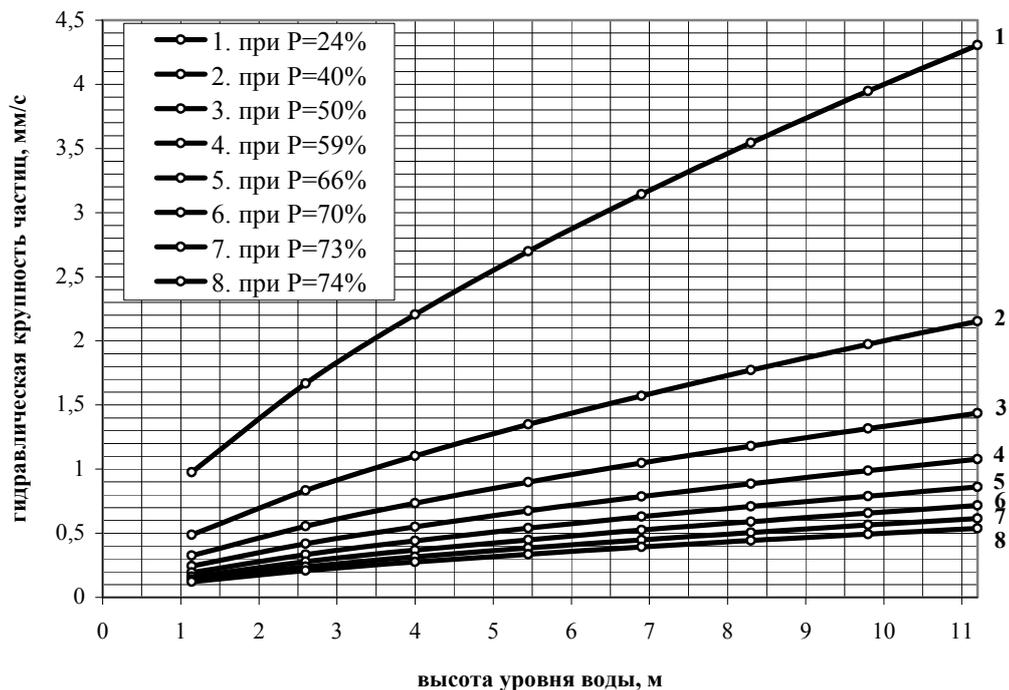


Рис. 4 Зависимости $U_0 = f(H_i)$ – величины гидравлической крупности частиц взвеси – U_0 от высоты уровня воды – H_i при задаваемом эффекте ее очистки – P (реагентное отстаивание)

Полученные на рис. 5 зависимости $h_{os} = f(P)$ при простом и реагентном отстаивании шахтной воды для заданной длины предлагаемого отстойника можно представить математической моделью в виде полиномов второго порядка, которые удобно использовать в расчетах:

- при простом отстаивании – $y = -0,0024 \cdot x^2 + 0,0635 \cdot x + 10,505$, $R^2 = 0,9921$;

- при реагентном отстаивании – $y = -0,0026 \cdot x^2 + 0,1285 \cdot x + 8,8496$, $R^2 = 0,9931$.

Здесь y – глубина оседания частиц взвеси h_{os} , м, а x – эффективность осветления (очистки) P , %.

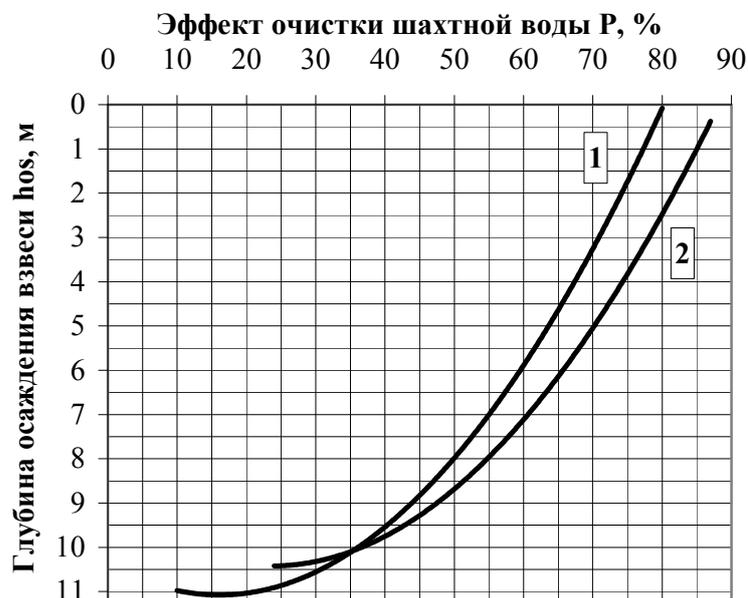


Рис. 5 Зависимости глубины оседания частиц взвеси различной гидравлической крупности – h_{os} от величины эффекта очистки шахтной воды – P для принятых геометрических параметров отстойника: 1 – простое отстаивание; 2 – предварительная обработка шахтной воды раствором коагулянта

В месте выпуска осветленной воды из отстойника задаваемая величина P для частиц разной гидравлической крупности U_0 достигается на различной глубине h_{os} .

Зависимости, представленные на рис. 5, позволяют определить ожидаемый эффект осветления (очистки) воды P , а затем и гидравлическую крупность частиц U_0 , которые оседают с заданной эффективностью. Например, для $P=60\%$ частицы взвешенных веществ с гидравлической крупностью $U_0=0,538$ мм/с при простом (безреагентном) отстаивании шахтной воды окажутся на глубине $h_{os}=6$ м. После же предварительной обработки шахтной воды раствором сульфата алюминия укрупненные частицы взвеси при заданном значении $P=60\%$ смогут опуститься на глубину $h_{os}=7,2$ м, (при гидравлической крупности $U_0=1,016$ мм/с).

В конечном итоге, при простом (безреагентном) отстаивании шахтной воды в предложенном отстойнике ожидаемая эффективность ее очистки достигнет 80%. При этом гидравлическая крупность частиц взвеси, оседающих в наиболее глубокой части отстойника, составит 0,146 мм/с, а сами частицы окажутся на глубине $h_i=0,225$ м..

Анализ расчетных технологических показателей предложенного отстойника шахтной воды, обработанной раствором коагулянта (сульфатом алюминия), показал, что эффективность ее осветления (очистки) от механических примесей может быть увеличена до 87%.

Гидравлическая крупность частиц – U_0 , которые еще оседают в наиболее глубокой части отстойника, составит около 0,35 мм/с. Такие частицы окажутся там на глубине $h_{os}=0,35$ м. Это позволит достаточно просто отводить верхний слой осветленной воды и повысить экологическую безопасность сброса шахтной воды. Степень повышения экологической безопасности несложно определить по соотношению концентраций взвешенных веществ, содержащихся в сбрасываемой воде до и после осветления на действующем сооружении.

Выводы:

1. Предложенная конструкция проточного отстойника позволяет повысить эффективность очистки шахтной воды от механических примесей, которая при простом (безреагентном) отстаивании воды достигает 80%, что более, чем в два раза превышает эффективность традиционных горизонтальных отстойников.

2. После предварительной обработки шахтной воды раствором коагулянта (сульфатом алюминия) в количестве 35-40 мг/дм³, эффективность ее осветления в предложенном отстойнике повышается до 87%.

3. При рекомендуемых геометрических параметрах отстойника наиболее мелкие взвешенные частицы, которые продолжают оседать в наиболее глубокой его части, окажутся на глубине около 0,2–0,35 м. Это позволит беспрепятственно отводить верхний слой осветленной воды в слив и таким путем повысить экологическую безопасность сброса шахтной воды.

Список литературы

1. Патент UA № 98382 України, МПК (2006) B01D 21/02. Пристрій для очистки скидів від завислих речовин /Колесник В.Є., Кулікова Д.В.; заявл. 08.10.2010; опубл. 10.05.2012; Бюл. № 9. – 6 с.

2. Колесник В.Е. Обоснование геометрических параметров усовершенствованного горизонтального для условий водоотлива действующей шахты /В.Е. Колесник, Д.В. Куликова //Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ, 2012. – № 39. – С. 229-239.

3. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1984. – 136 с.

4. Когановский А.М. Очистка промышленных сточных вод /А.М. Когановский, Л.А. Кульский, Е.В. Сотникова – К.: Техника, 1974. – 257 с.