

Список літератури

1. Комунальна гігієна / Под. ред. Е.И. Гончарука. – К.: Здоров'я, 2003. – 725 с.
2. Технология очистки природных вод. Кульский Л. А., Строкач П. П. – К.: Вища школа. Главное издательство, 1981. – 328 с.
3. Державні стандартні правила і норми „Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості централізованого господарсько – питного постачання”, 1996 р.

*Рекомендована до публікації д.т.н Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 30.03.2012*

УДК 628.334.51:622

© В.Е. Колесник, Д.В. Куликова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ОТСТОЙНИКА ВОДЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ ВОДООТЛИВА ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ШАХТЫ

Получены значения основных гидравлических параметров перфорированных перегородок усовершенствованного горизонтального отстойника для очистки шахтной воды от взвешенных веществ. Установлены зависимости значений чисел Рейнольдса для отверстий круглого сечения, обеспечивающих ламинарный режим течения воды, от величин ее расхода, приходящегося на единицу рабочей площади перегородок. Проведено моделирование гидравлического режима работы усовершенствованного горизонтального отстойника на примере водоотлива шахты «Степная» ОАО «Павлоградуголь».

Отримано значення основних гідравлічних параметрів перфорованих перегородок вдосконаленого горизонтального відстійника для очистки шахтної води від завислих речовин. Встановлено залежності значень чисел Рейнольдса для отворів круглого перетину, що забезпечують ламінарний режим руху рідини, від величин її витрати, які припадають на одиницю робочої площі перегородок. Проведено моделювання гідравлічного режиму роботи вдосконаленого горизонтального відстійника на прикладі водовідливу шахти «Степова» ОАО «Павлоградугілля».

The values of the basic hydraulic parameters of perforated partitions proposed by the authors of horizontal sedimentation tank improved construction for mine water treatment from suspended solids are obtained. The dependences the values of Reynolds criterion for circular cross-section openings that provide laminar flow of water from the values of flow rate, which accounts for one of the working area of partitions, is established. Modeling of the hydraulic regime of horizontal sedimentation tank improved construction on the example of mine drainage "Stepnaya" JSC "Pavlogradugol" is conducted.

Введение. Широко применяющаяся в практике очистки шахтной воды технология ее отстаивания (осветления) является самой простой, наименее трудоемкой и относительно недорогой. Она обеспечивает выделение из загрязненной воды грубодисперсных примесей, плотность вещества которых превышает плотность жидкости.

При расчете отстойных сооружений следует учитывать как их гидравлические параметры, так и факторы, характеризующие осветляемую воду. К первым относятся гидравлический режим течения (ламинарный, турбулентный или

переходной), скорость движения воды, конструктивные особенности отстойника, его геометрические размеры и т.п. Факторы, характеризующие осветляемую воду и поведение осаждаемой взвеси, как правило, ограничиваются величиной гидравлической крупности взвешенных частиц (фактически скоростью их осаждения в воде), которая определяется экспериментальным путем.

Постановка задачи. Одним из способов интенсификации работы существующих отстойных сооружений является усовершенствование их конструкций, при которых действительные скорости и время пребывания воды в отстойнике как можно меньше отличались бы от теоретических или расчетных. При расчете отстойных сооружений важен наиболее полный учет действительных условий осаждения и взаимосвязи между основными расчетными параметрами. Эти условия и параметры не всегда удается связать одним математическим уравнением, которое можно было бы положить в основу расчета отстойника. Поэтому при расчетах поэтапно решались различные задачи. В настоящей статье авторами ставилась задача выбора параметров горизонтального отстойника усовершенствованной конструкции [1] для обеспечения требуемого гидравлического режима его работы, применительно к условиям водоотлива действующей шахты.

Основные результаты. Предложенная авторами конструкция проточного горизонтального отстойника для очистки шахтной воды, загрязненной механическими примесями полидисперсного состава, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Действующий макет усовершенствованного горизонтального отстойника (масштаб 1:20)

Главным отличием предложенной конструкции отстойника от традиционных сооружений механической очистки сточных вод от взвешенных веществ является то, что корпус отстойника выполнен в виде желоба, сужающегося по направлению к сливному отверстию (на рис.1 слева) при одновременном увеличении глубины. Внутри желоба последовательно установлены перфорированные вертикальные поперечные перегородки с сечениями, соответствующи-

ми сечению корпуса отстойника. Эти перегородки с отверстиями разбивают поток осветляемой воды на множество отдельных струй и способствуют выравниванию скорости потока по сечению перегородок. Поскольку корпус установлен на опоре с наклоном днища в сторону сливного отверстия, это обеспечивает сползание осадка, выпадающего в процессе осветления на дно, в самую глубокую часть отстойника. Оттуда образовавшийся ил может периодически сливаться через отверстие в днище без остановки работы отстойника.

Предложенная конструкция отстойника обеспечивает формирование потока с изменяющейся формой сечения – от не глубокого, но широкого – в области впуска очищаемой воды, до узкого, но глубокого – в области слива. По мере течения очищаемой воды в отстойнике, взвешенные в ней частицы оседают на все большую глубину. Поэтому в области слива образуется достаточно высокий слой осветленной воды, что позволяет сливать ее с минимальным увлечением ила, который собирается ближе к днищу отстойника.

Форма отстойника обеспечивает увеличение коэффициента объемного использования сооружения за счет отсутствия «застойных» зон, а также повышение интенсивности осаждения взвешенных частиц, вследствие более равномерного распределения скорости потока по всей площади поперечного сечения. В конечном итоге повышается эффективность процесса осветления (очистки) шахтной воды в целом.

Расчет параметров гидравлического режима работы горизонтальных отстойников основан на элементарной теории горизонтальных осадочных бассейнов, предложенной В.Т. Турчиновичем [2]. Эта теория базируется на нижеследующих допущениях.

1. Движение воды в отстойнике происходит при ламинарном режиме.
2. Величина горизонтальной скорости движения воды в отстойнике во всех сечениях потока постоянна и принимается по всей глубине равной ее средней величине.
3. Отстойником могут быть задержаны все частицы, траектории движения которых, в процессе их осаждения, пересекают плоскость дна отстойника.
4. Скорость осаждения частиц постоянна, т.е. укрупнения и разрушения частиц взвеси не наблюдается.
5. Размеры отстойника должны быть рассчитаны на наиболее неблагоприятные условия, т.е. должно выполняться условие удержания частиц, находящихся в момент впуска воды в отстойник в верхнем слое потока, поскольку они проделывают наиболее длинный путь до дна.

Для проектирования сооружений механической очистки сточных вод должны быть заданы следующие параметры:

- общее количество сточных вод (расход потока жидкости, требующей очистки) и периодичность их образования;
- температура подаваемых стоков;
- концентрация взвешенных веществ в очищаемой воде, а также экспериментальные данные о кинетике осаждения характерных механических примесей, плотность которых превышает плотность воды [2].

Для определения производительности отстойных сооружений, в частности используемых на шахтах, необходимо располагать сведениями о притоках шахтной воды за последние несколько (3-5) лет и прогнозом притоков на период отработки запасов угля. Прогнозные данные о притоках шахтной воды должны учитывать возможные их изменения в результате расширения предприятия, совершенствования технологии работ, вскрытия новых горизонтов, улучшения условий и безопасности производства. При этом важно знать также пределы и длительность сезонных колебаний притоков воды.

Установить величину притока шахтной воды можно на основании данных, которые содержатся в форме государственной статистической отчетности 2-ТП (водхоз), которую ежегодно заполняют на предприятиях угольной промышленности с указанием количества шахтной воды, извлекаемой из недр на поверхность в процессе производственной деятельности.

Перегородки в предложенной авторами конструкции горизонтального отстойника играют важную роль. Как отмечалось, они способствуют выравниванию скорости потока по сечению и обеспечивают установление ламинарного режима течения очищаемой воды в отстойнике. В качестве перегородок предложено устанавливать перфорированные металлические листы с отверстиями круглой формы, совокупность которых образует шестиугольники. Причем при моделировании гидравлического режима диаметры отверстий (d) варьировались в диапазоне от 2,5 до 10 см.

Как известно, режим движения жидкости зависит от значения числа Рейнольдса (Re) [3]. Поэтому в качестве критического значения числа Re , характеризующего ламинарный режим движения для отверстий круглого сечения, выбираем $Re_{кр} = 2000$. Выше этого числа ламинарный режим течения будет нарушаться, постепенно переходя в турбулентный. Учитывая возможные изменения скорости потока, определение основных гидравлических параметров отстойника будем вести в диапазоне значений $Re = 100-2000$.

Определенное влияние на гидравлический режим работы отстойных сооружений оказывает температура подаваемой на очистку воды, поскольку изменение температурного режима жидкости вызывает изменение ее вязкости, которая, в свою очередь, влияет на эффективность очистки. Так, при уменьшении температуры воды ее вязкость увеличивается, а эффект осветления, наоборот, уменьшается. Поэтому при определении гидравлического режима условно примем температуру воды равной $20^{\circ}C$, для которой коэффициент кинематической вязкости составляет $\mu = 0,0101 \text{ см}^2/\text{с}$. При изменении температуры, которое возможно в производственных условиях, потребуется вводить поправку на изменение вязкости воды [3].

Прежде, чем приступить к установлению зависимости изменения значений чисел Рейнольдса для разных отверстий от величин расхода воды при ламинарном режиме течения, предварительно определим основные гидравлические параметры перегородок. Предварительно зададим схему перфорирования перегородок смещенными рядами круглых отверстий (рис. 2). При этом, зная диаметр отверстий (d) и расстояние между ними (p), можно рассчитать коэффициент пропускания воды (k) через сечения перегородок в расчете на 1 м^2 их

рабочей площади. Поскольку, согласно рис. 2, отверстия образуют шестиугольники, коэффициент k находим как отношение площади семи отверстий, вписанных в шестиугольник (F), к общей площади этого шестиугольника ($S_{\text{шестиуг}}$).

Результаты расчета основных гидравлических параметров перегородок при различном диаметре отверстий представлены в табл. 1.

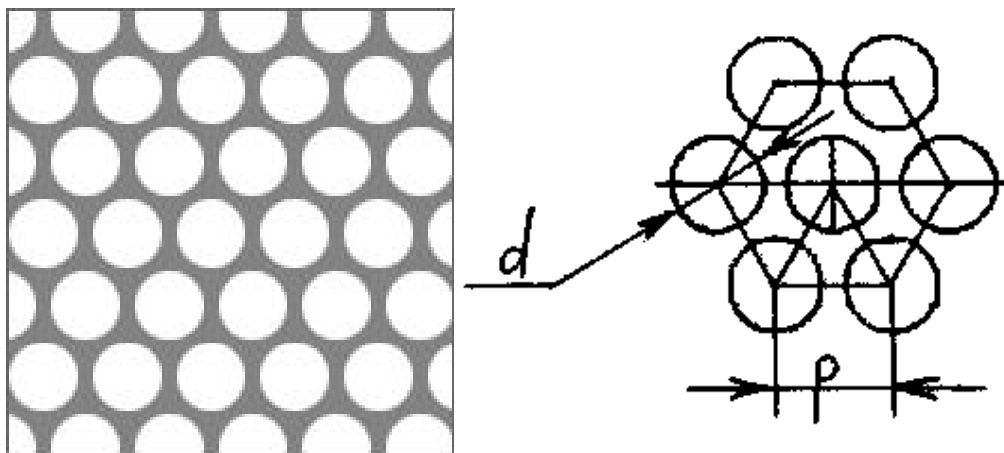


Рис. 2. Схема перфорации перегородок смещенными рядами круглых отверстий, образующих шестиугольники: d – диаметр отверстий, см; p – расстояние между центрами отверстий, см

Таблица 1

Основные гидравлические параметры перегородок отстойника

Диаметр отверстия, d , см	Расстояние между центрами отверстий, p , см	Площадь F , м^2	Общая площадь $S_{\text{шестиуг}}$, м^2	Коэффициент k , в расчете на 1 м^2 рабочей площади перегородок
2,5	3,0	0,001472	0,00234	0,629
3,0	3,6	0,00212	0,00337	0,629
3,6	4,2	0,00305	0,00459	0,666
4,0	4,6	0,00377	0,005498	0,685
5,0	5,8	0,00589	0,00874	0,674
6,0	6,9	0,00848	0,01238	0,685
7,0	8,0	0,01154	0,01663	0,694
8,0	9,2	0,01507	0,02199	0,685
9,0	10,2	0,019076	0,02703	0,706
10,0	11,5	0,02355	0,03436	0,685

Величину расхода воды, проходящей через сечения перегородок отстойника, определяем по формуле:

$$Q = S \cdot k \cdot v, \quad (1)$$

где S – рабочая площадь перегородок отстойника, м^2 ; v – скорость потока жидкости, проходящей через сечения перегородок отстойника, м/с, которую

определим согласно критерию Рейнольдса $Re = v \cdot d / \mu$ [3] для отверстий круглого сечения откуда найдем скорость потока через них в виде $v = Re \cdot \mu / d$.

В результате, при $S=1 \text{ м}^2$

$$Q = \frac{S \cdot k \cdot Re \cdot \mu}{d} = \frac{k \cdot Re \cdot \mu}{d} \quad (2)$$

По формуле (2) можно рассчитать расход воды, приходящейся на 1 м^2 рабочей площади перегородок для значений чисел Рейнольдса, изменяющихся в диапазоне $Re = 100-2000$.

С использованием параметров перегородок и величин расхода воды, согласно математической модели (2), получены зависимости изменения значений чисел Рейнольдса для отверстий круглого сечения, обеспечивающих ламинарный режим течения жидкости, от величин расхода воды в расчете на 1 м^2 рабочей площади перегородок отстойника при задаваемых диаметрах упомянутых отверстий. Эти зависимости представлены на рис. 3 в виде номограмм.

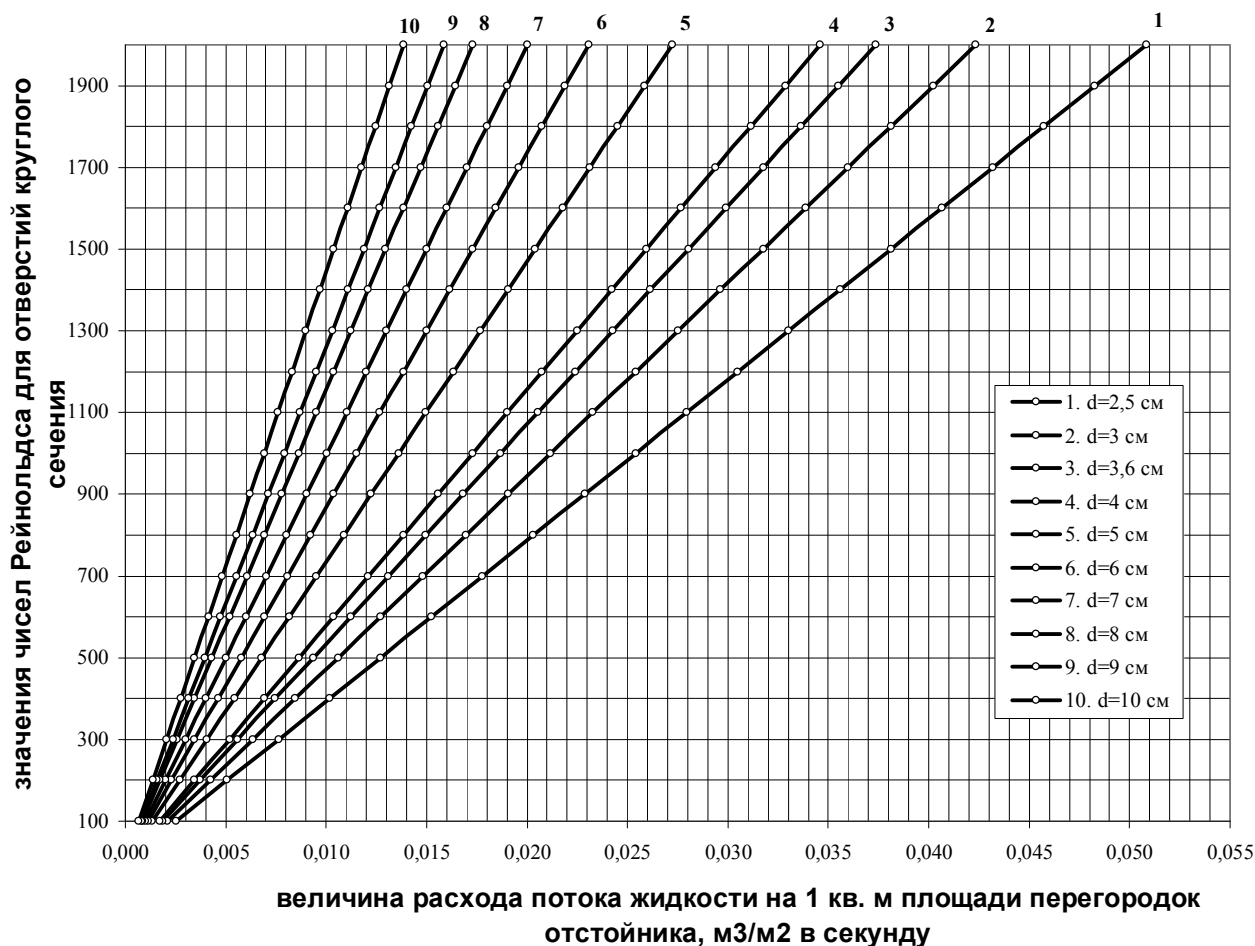


Рис. 3. Номограммы изменения значений чисел Рейнольдса для задаваемых диаметров отверстий круглого сечения, обеспечивающих ламинарный режим течения жидкости, от величин ее расхода в расчете на 1 м^2 рабочей площади перегородок

Пользуясь номограммами, представленными на рис. 3, при проектировании реального отстойника, можно подобрать с учетом требуемого расхода воды, такой диаметр отверстий перегородок, при котором число Re не превысит критического значения ($Re < Re_{кр}$) и поток останется ламинарным. Значения $Re_{кр}$ для реальных отстойников обычно рекомендуют принимать до 500 [4].

Полученные зависимости применим для определения параметров гидравлического режима работы реального отстойника усовершенствованной конструкции в условиях, например, шахты «Степная» ОАО «Павлоградуголь».

Рекомендуемый горизонтальный отстойник усовершенствованной конструкции в натуральную величину характеризуется следующими параметрами:

- общая длина отстойника (L) – 20 м;
- угол наклона дна корпуса отстойника к горизонтальной плоскости $\alpha=30^{\circ}$, т.е. $tg\alpha=0,5774$, т.к. $tg\alpha = \frac{H_k}{L}$, то конечная высота отстойника на выходе осветленной жидкости равна: $H_k = L \cdot tg\alpha = 11,55$ м;
- начальная ширина отстойника (B_0) – 10 м;
- конечная ширина отстойника (B_k) – 5 м;
- угол сужения отстойника, подобран так, чтобы обеспечить приблизительно одинаковый расход жидкости в каждом поперечном сечении всех распределительных перегородок, установленных по направлению движения рабочего потока $\beta=82^{\circ}54'$, т.е. $tg\beta = 8$.

По сечению отстойника рекомендуется установить 7 перфорированных вертикальных поперечных перегородок. Первую перегородку устанавливаем на расстоянии $L_1 = 2$ м от места впуска шахтной воды, подаваемой на очистку, остальные – на расстоянии (L_2-L_7) 2,5 м от каждой предыдущей перегородки отстойника.

Результаты расчета основных геометрических параметров перегородок отстойника в натуральную величину представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные геометрические параметры перегородок усовершенствованного горизонтального отстойника в натуральную величину

Параметры перегородки	Перегородки отстойника							Задняя торцевая стенка
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Ширина, b_i , м	9,5	8,88	8,25	7,63	7,0	6,38	5,75	5,0
Рабочая глубина, h_i , м	0,86	2,3	3,74	5,19	6,63	8,07	9,52	11,25
*Рабочая площадь, S_i , м ²	8,17	20,424	30,855	39,6	46,41	51,49	54,74	56,25

*Примечание – Рабочая площадь определена как площадь перегородки, находящейся в воде, т.е. за вычетом сухой ее части, определенной при высоте борта в отстойнике – 0,3 м.

Как видим, рабочая площадь в реальном отстойнике постепенно возрастает, что приводит к соответствующему снижению скорости потока в каждом последующем сечении и способствует его ламинарности.

Для определения фактических значений числа Рейнольда (Re) для отверстий в перегородках выполним вначале расчет суммарных площадей отверстий ($F, \text{м}^2$), через которые движется очищаемая вода вдоль отстойного сооружения, по формуле:

$$F = S_p \cdot k. \quad (3)$$

Величина шахтного водоотлива является следующим показателем, на основании которого будет проводиться дальнейший расчет гидравлических параметров отстойника в натуральную величину. Количество шахтной воды ($Q, \text{м}^3/\text{с}$), извлекаемой из недр в процессе производственной деятельности шахтой «Степная» ОАО «Павлоградуголь» составляет 708,8 тыс. $\text{м}^3/\text{год}$ ($0,0225 \text{ м}^3/\text{с}$) [5].

Зная значение Q , и вычисленную площадь F при задаваемых диаметрах отверстий перегородок и коэффициенте k , определяем величину расхода потока жидкости, приходящегося на 1 м^2 рабочей площади перегородок для условий водоотлива шахты по формуле:

$$\frac{Q}{S_p \cdot k} = \frac{Q}{F}. \quad (4)$$

Пользуясь номограммами, представленными на рис. 3, определяем значения чисел Рейнольдса (Re) для задаваемых диаметров отверстий перегородок отстойника, рекомендуемого для выбранной шахты при постоянной величине шахтного водоотлива (Q). Некоторые результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения чисел Рейнольдса для задаваемых диаметров отверстий перегородок отстойника, рекомендуемого для условий водоотлива шахты «Степная» ОАО «Павлоградуголь»

Диаметр отверстий перегородок, см	Значения чисел Рейнольдса для отверстий перегородок:						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
2,5	172	69	46	36	30	27	26
3,0	207	83	55	43	36	33	31
3,6	221	89	59	46	39	35	33
4,0	232	93	62	48	41	37	35
5,0	300	120	79	62	53	48	45
6,0	349	139	92	72	61	55	52
7,0	396	159	105	82	70	63	59
8,0	465	186	123	96	82	74	69
9,0	492	197	130	102	87	78	73
10,0	581	232	154	120	102	92	87

Как видно из таблицы, условию $Re_{кр} \leq 500$ отвечают все выбранные диаметры ($d=2,5-9,0$ см) отверстий в перегородках, кроме 10 см. Причем критичной по этому фактору является лишь первая перегородка. В последующих перегородках все представленные диаметры отверстий обеспечивают ламинарный режим течения воды.

С учетом коэффициента пропускания воды через перегородки – k (см. табл. 1), который желательно выбрать наибольшим, для реального отстойника можно принять диаметр отверстий в перегородках от 4 до 9 см. Окончательно выбрать диаметр отверстий можно с учетом технологии перфорирования металлических или пластмассовых листов перегородок.

Выводы. В процессе определения параметров предложенного отстойника, предназначенного для очистки шахтной воды от взвешенных веществ, в условиях действующей шахты были получены следующие результаты:

1. Определены значения основных параметров перегородок отстойника при различных диаметрах их отверстий, на основе которых определялся гидравлический режим отстойного сооружения.

2. Рассчитаны номограммы зависимости значений чисел Рейнольдса для отверстий круглого сечения от величин расхода сточной воды, приходящегося на 1 м^2 рабочей площади перегородок. При наличии данных о количестве воды, подаваемой в отстойник на очистку, и задаваемом диаметре отверстий перегородок, можно установить «критический» расход воды, при котором режим ее движения будет оставаться ламинарным с устойчивым течением.

3. Проведен ориентировочный расчет параметров горизонтального отстойника усовершенствованной конструкции на примере водоотлива шахты «Степная» ОАО «Павлоградуголь».

Список литературы

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

2. Турчинович В.Т. Водоснабжение промышленных предприятий и населенных мест. Ч. III. Улучшение качества воды. – М.: Стройиздат, 1940. – 348 с.

3. Рабинович Е.З. Гидравлика. – М.: Недра, 1980. – 280 с.

4. Воловник Г.И. Теоретические основы очистки воды. Ч. 1. Водные загрязнения. Регенеративная очистка. – Хабаровск: ДВГУПС, 2007. – 162 с.

5. Пономаренко П.И., Моссур П.М., Гринцова Е.А. Шахтные воды Донбасса, их охрана и использование. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 50 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Долговою Т.І.
Надійшла до редакції 19.03.2012*