© В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, 2007

УДК 622.272

В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк

ОСВЕТЛЕНИЕ ФИЗИКО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СПОСОБОМ ШЛАМОВЫХ ВОД УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Физико-электрический способ осветления шламовых вод основан на воздействии постоянного электрического поля на надмолекулярную структуру воды с целью уменьшения ее статической вязкости и снижения влияния парашютного эффекта на осаждение твердых частиц, при этом весь технологический процесс выполняется в четыре этапа: первый этап – воздействие на воду (на ее надмолекулярную структуру) слабым энергетическим полем (0,8-2,0 В/см); второй этап – инкубационный, во время которого идет за счет памяти воды изменение ее структуры на дополнительные объемы воды (коэффициент «катализации» не менее 3); третий этап – осаждение твердых частиц в соответствии с единым законом осаждения (перекрывающий законы Стокса, Алена и Риттенгера); четвертый этап – выгрузка осадка классифицированного по величине частиц твердого от 1 мм до 1 мкм и его утилизация.

Вышеназванные свойства воды и технология ее осветления, как экологически чистая, является достижением науки последних лет и еще не вошла в справочники новейших знаний. Поэтому здесь вкратце приведем основные положения, объясняющие новые понятия. Надмолекулярная структура воды определяет ее так называемые «аномальные» свойства.

Вода – это не простой континиум молекул H_2O. Учитывая, что каждая молекула воды имеет четыре водородные связи (две положительные и две отрицательные), то молекулы в жидкой воде группируются в совокупности (твердокристаллические единицы), содержащие от 200 до 40 000 молекул.

Заметим, что в жидкой воде количество разорванных водородных связей меняется от 15,91 % при температуре 0 ^{0}С до 26,08 % при температуре 100 ^{0}С. Молекулы с разорванными водородными связями расположены на «поверхности» совокупности, в ее «оболочке». При этом в «оболочке» совокупности располагаются молекулы с одной, двумя или тремя разорванными связями. Поэтому количество молекул в «оболочке» меняется в широких пределах: при 0 ^{0}С - 35 раз, а при 90 ^{0}С – 43 раза.

Группы совокупностей (не менее 12 шт.) образуют колонии. Размеры колоний соизмеримы с броуновскими частицами. Связь между совокупностями полугибкая, в ней участвуют от 3 до 27 водородных связей.

В свою очередь колонии объединяются гибкими связями в миникапли. Последние обладают свойствами текучести воды.

Известен ряд зависимостей, характеризующих надмолекулярную структуру воды:

количество разорванных водородных связей в воде зависит от температуры

$\delta_T = 0{,}1591 + 0{,}0001017\ t$

где δ_T – доля разорванных водородных связей при температуре t; t – температура воды, ^{0}С; 0,1591 – доля разорванных водородных связей в воде при $t = 0\ ^0$С; 0,0001017 – коэффициент, 1/^{0}С;

Теоретически существуют три идеальных случая, когда в «оболочке» совокупности молекул воды имеют одну разорванную связь ($i = 1$), две разорванных водородных связи ($i = 2$) или три разорванных водородных связи ($i = 3$). Фактически величина i находится в интервале ($1 < i > 3$).

Промышленные воды шахт «Красногорская», «Заречная», «Инская», «Анжерская», «Тырганская» и обогатительных фабрик «Абашевская», «Беловская», «Березовская» в Кузбассе характеризуются числом $i \approx 2{,}6$.

Радиус совокупности представлен зависимостью

$$R_C = \frac{2r_m}{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{2\delta_T}{i}}},$$

где R_C – радиус совокупности, м; r_m – радиус молекулы H_2O, $r_m = 1{,}38 \cdot 10^{-10}$ м.

Количество молекул в совокупности n_C представлен зависимостью

$$n_C = \frac{2}{\left(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{2\delta_T}{i}}\right)^3}.$$

Количество молекул H_2O в «оболочке» совокупности $n_{об}$ представлено зависимостью

$$n_{об} = \frac{2\delta_T}{i} n_C.$$

Аналогично как в механике твердых тел существует трение покоя, так и для воды существует статическая вязкость, которая удерживает в устойчивом состоянии твердые частицы, которые имеют плотность больше плотности воды. Статическая вязкость воды измеряется в МПа и зависит от структуры воды

$$H_{ti} = n_C \cdot 10^{-2}.$$

Осаждение твердых частиц в воде описывается единым законом

$$\upsilon_к = \sqrt{\frac{8g}{3c_л}\left(\frac{\rho_T}{\rho_B} - 1\right)\frac{\sqrt{R}}{1 + \frac{d}{R}}},$$

где $\upsilon_к$ – конечная скорость оседания в стоячей воде, м/с; g – гравитационное ускорение. м/с^2; $c_л$ – коэффициент обтекания частицы; ρ_T – плотность твердого, кг/м^3; ρ_B – плотность воды, кг/м^3; R – радиус частицы, м; d – толщина «граничного» слоя, вызванная силами адгезии и когезии и зависящая от размеров частиц.

Этот «граничный» слой создает парашютный эффект.

$$d = a_0 + a_1 c_1^{(\lg R + 6)} + a_2 c_2^{(\lg r + 6)^2},$$

где $a_0 = 10^{-4}$ м; $a_1 = 0{,}0202 \cdot 10^{-4}$ м; $a_2 = 7{,}65 \cdot 10^{-4}$ м; $c_1 = 7{,}22$; $c_2 = 0{,}618$; R – радиус частицы, м.

Эта зависимость перекрывает законы Стокса, Алена и Риттенгера. При наличии бокового течения скорость осаждения уменьшается в соответствии с зависимостью

$$\upsilon_{oc} = \frac{\upsilon_к}{\sqrt{1 + \left(\frac{3}{8}\frac{(1 - c_л)^3 \upsilon_\delta^2}{\left(\frac{\rho_T}{\rho_B} - 1\right)пK}\right)^2}},$$

где υ_δ – скорость бокового течения, м/с.

Эффективный радиус частицы равен

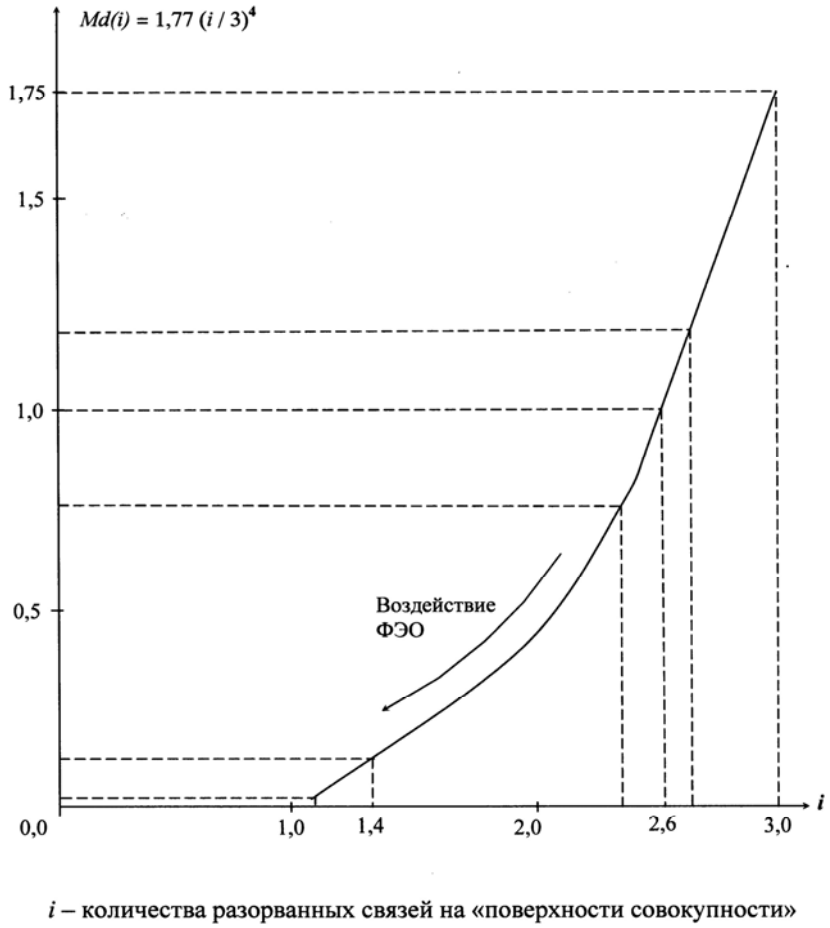


Рис. 1. Зависимость модуля масштаба «граничного слоя» частиц от усредненного значения

$$R_{эф} = \frac{R\left(1+\frac{d}{R}\right)}{\sqrt{\frac{\rho_T}{\rho_B}-1}}.$$

А эффективная площадь сопротивления движению составляет

$$S_{эф} = \pi R^2 \frac{\left(1+\frac{d}{R}\right)^2}{\left(\frac{\rho_T}{\rho_B}-1\right)}.$$

Структура воды чувствительна к воздействию магнитного и электрического полей. При воздействии магнитным полем совокупности укрупняются (идет изменение i от 1 к 3). При воздействии постоянным электрическим полем на структуру совокупности измельчаются. Это воздействие изотермическое. Энергия затрачивается на изменение структуры при $\delta_T = const$. Взамен классической формулы Геппера получена формула времени осаждения твердых частиц

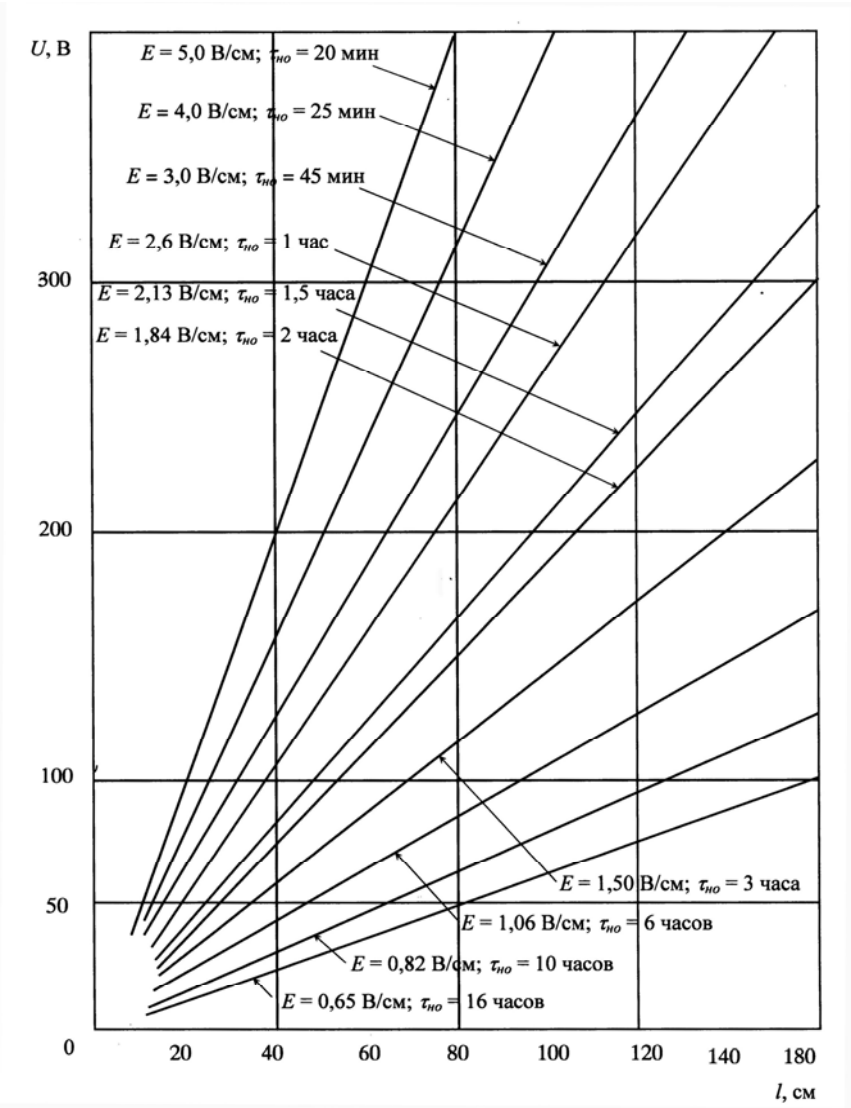


Рис. 2. Номограмма для определения инкубационного времени после обработки в поле (l, U) – расстояние между электродами и напряжениями на них

$$\tau = \frac{\left(1 + \frac{d}{R} \cdot 1,77\left(\frac{i}{3}\right)^4\right)h}{\left(\frac{\rho_T}{\rho_B}\right)\sqrt{\frac{8g}{3c_л}}\sqrt{R}},$$

где τ – время осаждения частицы, с; h – высота осаждения частицы, м.

Кроме известных методов сокращения времени осаждения:

– уменьшение h – тонкослойное осветление;

– увеличение ускорения – центрифуги, гидроциклоны;

– увеличение R – коагуляция частиц;

– уменьшения плотности частиц ρ_T – барботаж создана еще одна экологически чистая возможность умень-

шения «граничного» слоя воды, сопровождающего оседающую частицу, а именно изменение множителя на который уменьшается размер «граничного» слоя

$$Md(i) = 1,77\left(\frac{i}{3}\right)^4 .$$

Эта зависимость приведена на рис. 1.

Установлено, что электростатическая память воды составляет около 700 часов. Это свойство целесообразно использовать в производстве для повторного применения воды после очистки, то есть в замкнутом цикле [1].

Выяснено, что вода обладает еще одним свойством «повторение – мать учения», то есть инкубационным периодом. Это значит, что оседание твердых частиц начинается не сразу, а через некоторое время после окончания обработки. Инкубационное время – время до начала осаждения $\tau_{но}$ зависит от напряженности электрического поля Е (В/см). Это время используют для перелива обработанной воды в место ее осветления-осаждения взвешенных частиц. Номограмма для определения этого времени в зависимости от напряженности электрического поля в пределах от 0,65 В/см до 5,00 В/см представлена на рис. 2.

Самая большая энергоемкость обработки была получена при непрерывной обработке воды. Более эффективной является периодически повторяемая с суммарным временем равным постоянной обработке.

Выявлено оптимальное минимальное значение для времени инкубации

$$\tau_{но} = 2,8\left(\theta - \theta_{\min}\right)^2 + 4,7\lg^2\left(\frac{T}{T_{\min}}\right) + 0,25 \text{ ч},$$

где $\tau_{но}$ – инкубационное время, ч; θ – отношение времени обработки τ_o к времени повторяемости (периоду T)

$$\theta = \frac{\tau_0}{T};$$

θ_{min} – минимальное значение, равное 0,40; T – период повторяемости обработки; T_{min} – период равный 4 ± 1 минута; 2,8 – размерный коэффициент, ч; 4,7 – размерный коэффициент, ч; 0,25 – минимальное время инкубации, час (15 мин.).

Описанная зависимость представлена на рис. 3. Как видно из графика вода лучше всего запоминает воздействие при спокойном, не торопливом режиме с повторяемостью 4 ± 1 минута, и отношении воздействия к величине периода равном ≈ 0,40 ± 0,05.

На основании исследований, изложенных кратко выше, стало возможным проектировать установки пропускающие до 720 м^3/ час шламовых вод при обработке их прерывно-повторным электрическим полем в течении 45 минут, достигая при этом увеличение скорости оседания микронных взвесей в 15-20 раз.

Выгрузка осевшего материала (d > 0,5 мм) ведут с помощью специально оборудованного конвейера [2, 3], а микронные фракции осаждают в сменные контейнеры, при этом используют различные варианты тонкослойного осаждения частиц или осаждение на встречных жалюзях, установленных в проточных каналах. Выбор применяемого способа и устройства осаждения зависит от требований дальнейшего использования осевшего шлама, его переработки, утилизации или захоронения.

Заметим, что при обработке шламовой воды электрическим периодическим постоянным полем в воде существенно снижается содержание фосфатов (~ в 7 раз), нитратов азота (~ в 4 раза), кремния (~ в 5 раз), цинка (~ в 10 раз), маг-

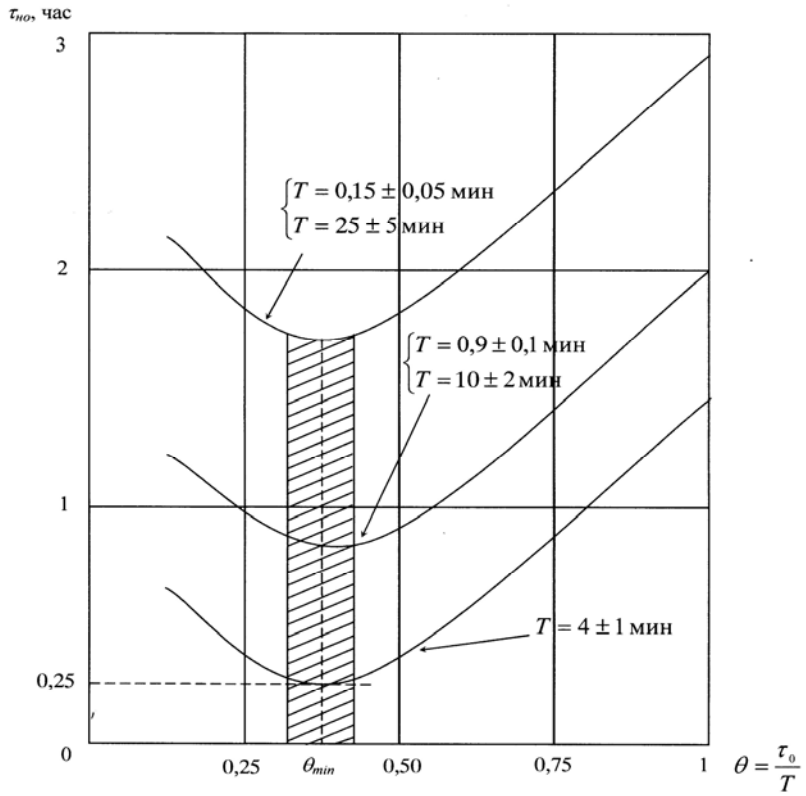


Рис. 3. Зависимость времени инкубации от режима обработки воды

ния (~ в 2 раза), железа (~ в 5 раз). Вода становится кристально прозрачной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Патент РФ* № 2152343. Скребковый конвейер для обезвоживания транспортируемого материала. /Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус В.В., Фомичев К.С. МКИ С1 Подано 06.11.1998 Опубл. 10.07.2000. Бюл. № 19.

2. *Патент РФ* 2082661 от 02.1293. Скребковый конвейер для предварительного обезвоживания транспортируемого материала М.кл.[3] В 65 G 19/00. /А.А. Атрушкевич, А.И. Кравченко, В.А. Атрушкевич, О.А. Атрушкевич./

3. *Патент РФ* № 2157348. Способ обезвоживания сыпучих материалов. / Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус В.В., Фомичев К.С. МКИ С 02 F 11/12. Подано 06.11.1998. Опубл. 10.10.2000. Бюл. № 28. ГИАБ

Коротко об авторах

Сенкус В.В., Стефанюк Б.М. – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк.

© **В.В. Сенкус, 2007**

УДК 622.08

В.В. Сенкус

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ШАХТНЫХ ВОД

В основе системы управления потоками шахтных вод лежит балансовая модель прихода шахтного притока из разработанных водоносных пластов, нарушений и трещин горного массива, связанных с поверхностными водами, и выходом его на поверхность в отстойники, а затем сбросы, которая описывается выражением:

$$Q^{пр} \le Q^{в} + (Q^{вод} - Q^{тв}),$$

где $Q^{пр}$ – шахтный приток, м^3/ч;

$$Q^{пр} = \sum_{i=1}^{n} Q_i^{пр},$$

где $Q^{пр}$ – шахтный приток из i-го водоносного пласта (трещины), м^3/ч; $Q^{в}$ – расход выделяемой на поверхность воды, м^3/ч.

$$Q^{в} = \sum_{i=1}^{n} \eta_i \cdot Q_i,$$

где η_i – КПД i-го насоса; Q_i – производительность насоса, м^3/ч; n – число насосов в насосной камере; $Q^{вод}$ – пропускная способность водосборника, м^3/ч.

$$Q^{вод} = \frac{V}{t},$$

где V – объем водосборника, который по требованиям [ПБ]V = (4÷6) $Q^{пр}$, м^3; t – время нахождения воды в отстойнике, ч.

$$t = \frac{L}{\upsilon},$$

где L – длина отстойника, *м;* υ – скорость движения потока воды в отстойнике, м/ч.

$$\upsilon = \frac{Q^{пр}}{S},$$

где S – площадь сечения водосборника, м^2.

$$Q^{тв} = f\,(h,\ \upsilon,\ L,\ K_p),$$

где h – глубина водосборника, м; υ – скорость движения потока, м/ч; L – длина водосборника, м; K_p – крупность осажденного шлама, *м*.

Зависимость объема осаждения шлама от параметров водосборника и шлама рассматривается в разделе очистки шахтных вод различными способами.

На практике объем шахтного притока за единицу времени определяется экспериментально методом откачек на 30 % за счет оседания шлама требуется его очистка, которая является обязательной перед наступлением периодов максимального шахтного притока (осенний, весенний) [ПБ].

В существующей системе управления шахтный приток выделяется шламовым непосредственно при неглубоких или через станции на верхних горизонтах в глубоких шахтах, и осевший в водосборнике шлам переодически удаляют из водосборника.

Разработанные способы и средства позволяют пересмотреть систему управления потоками шахтных вод и схемы шахтного водоотлива, которые реализуют балансовую модель, описываемую выражением:

$$Q^{пр} \le (Q^{вод} - Q^{тв}) + Q^{ск} + Q^{в},$$

Система управления потоками шахтных вод

где $Q^{ск}$ – производительность насосов, нагнетающих очищенный шахтный приток, м^3/ч.

$$Q^{ск} = \sum_{i=1}^{n} Q_i^{ск},$$

где $Q_i^{ск}$ – поглощающая возможность i-й скважины водоносного пласта м^3/ч, $Q^{пов}$ – приток, выдавливаемый на поверхность, м^3/ч.

В балансовой модели предполагается, что шахтный приток аккумулируется и непрерывно очищается от загрязнения и насосами подается в нижележащие за пределами декомпрессионной воронки водоносные пласты, залегающие за пределами гор-ных работ, и остаток воды не принятый водоносным пластом выдается на поверхность в отстойники.

Предложенная система управления потоками шахтных вод (рисунок) включает подсистемы: очистки шахтного потока в подземных условиях различными способами; обезвоживания шлама; аккумуляции воды; выдачи шахтного притока, нагнетания воды в скважины водоносных пластов; аккумуляции воды в отстойнике на поверхности; дополнительной очистки воды.

Для реализации экологически безопасной системы управления потоками шахтных вод необходимо для каждой подсистемы разработать ряд требований, обеспечивающих производственную, технологическую, экологическую и санитарную безопасность потоков подземных вод.

Основным технологическим требованием системы управления является обеспечение баланса прихода и выдачи воды

$$Q^{пр} = Q^{в} + Q^{шл},$$

где $Q^{пр}$ – шахтный приток, м^3/ч; $Q^{в}$ – выдача воды, м^3/ч; $Q^{шл}$ – объем осевшего шлама, м^3/ч.

Для подсистемы очистки воды основным технологическим требованием является обеспечение пропускной способности для вод шахтного притока

$$Z \quad Q_{пр} \le Q_{про},$$

где $Q_{про}$ – производительность подсистемы очистки шахтных вод, м^3/ч.

Дополнительным требованием является снижение концентраций загрязняющих веществ в шахтном притоке до предельно допустимых концентраций (ПДК).

Обеспечение ПДК для загрязняющих веществ в подземных условиях является сложной задачей, т.к. использование химических методов и применение ПАВ в условиях нестабильного загрязнения может привести к дополнительному загрязнению подземных вод, при этом отсутствует возможность регенерации ПАВ, что ведет к высокой стоимости очистки.

К существующим способам очистки вод в подземных условиях можно отнести механический, фильтрационный и электрофизический. Механический можно реализовать на шпальтовых ситах, обеспечивая обезвоживание шлама крупностью 0,1 *мм* и выдачу его из водосборника, при этом частицы шлама крупностью меньше 0,1 мм обезвоживаются вместе с более крупными частицами за счет сил адгезии, вызывающих их слипание.

Для очистки воды от частиц малой крупности в подземных условиях могут быть использованы тонкослойные осветлители различной конструкции, основанные на гравитационном способе их осаждения, сменные грубые фильтры и электрофизическая обработка воды пульсирующим постоянным током, которая способствует бактерицидной очистки воды.

Очистку воды можно организовать при наличии условий в обрушенных горных породах. Подсистема аккумуляции шахтного потока должна отвечать требованиям Правил безопасности [ПБ] и принимать 4-6 часовой нормальный шахтный приток.

Подсистема выдачи шахтного притока должна отвечать Правилам безо-пасности и для ступени выдачи шахтного притока на поверхность; нагнетание шахтного притока в скважину.

Ступень выдачи шахтного притока по требованиям не отличаются от существующих систем управления потоками подземных вод, прописанным в правилах безопасности. Для нагнетания воды в скважины, должны учитываться условия и поглощающая способность водоносного пласта, при этом нагнетательный насос должен обеспечивать давление близкое к гидроразрыву пласта, и для скважины предотвращать возврат воды из водоносного горизонта в горные выработки.

Подсистема аккумуляции воды в отстойнике на поверхности должна обеспечивать очистку от взвешенных частиц, что не возможно сделать на существующих отстойниках, т.к. при их проектировании не учитывается температурные наслоения воды в отстойнике.

Подсистема дополнительной очистки воды должна обеспечивать предельно допустимую концентрацию загрязняющих веществ в сбросах во внешние водоемы, отвечающих требованиям хозяйственно-бытового, рыбного и др. назначения.

Экологически безопасная система управления потоками шахтных вод реализуется на основе способа восстановления гидрологических режимов угольных шахт, который формирует ее методическую базу. ГИАБ

Коротко об авторах

Сенкус В.В. – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк.

© В.В. Сенкус, 2007

УДК 622.22. 06

В.В. Сенкус

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ШЛАМА В КАНАЛЕ С ТОНКОСЛОЙНЫМИ ОСВЕТЛИТЕЛЯМИ

На гидрошахтах в течение 30 лет применялась очистка шламовых вод с помощью тонкослойных осветлителей [1, 2, 3], в которых принята схема встречной подачи воды, которая подается снизу на пластины, имеющие наклон 60-65°, а осажденные частицы сползают по ним вниз в пирамидальную часть осветлителя [1].

На практике межпластинчатое пространство, а расстояние между пластинами устанавливается около 30-35 мм, забивается шламом, что объясняется наличием встречных потоков воды и осажденного шлама, поэтому для борьбы с забучиванием применяется вибрация пластин.

Следует отметить, что шламование пространства проявляется, когда скорость восхождения воды вверх и конечная скорость осаждения частиц сравниваются, а силы адгезии действующие на расстоянии 6-7 мм удерживают частицы на наклонной плоскости. Конечная скорость частиц при заданных размерах и плотности материала остается постоянной, а величина потока меняется в широком диапазоне, поэтому стабилизировать его сложно, чтобы добиться условий, исключающих шламование пластин тонкослойных осветлителей.

Для очистки шахтных вод в канавах в работе [4] используют поверхностные заграждения – перегородки, которые заставляют менять направление движения воды сверху вниз к придонной части канала, и перемещаться по принципу сообщающихся сосудов.

Однако проход между перегородкой и дном канала в сечении в 4-5 раз меньше сечения канала, поэтому скорость потока возрастает в 4-5 раз, которая, в свою очередь, снижает конечную скорость осаждения шлама в десятки раз, что препятствует осаждению частиц размером менее 100 мкм.

В работе предлагается способ осветления шламовых вод в канале с помощью тонкослойных осветлителей типа жалюзи, пластины которого расположены под углом 60-65° к горизонтальной плоскости и 35÷40° к вертикальной плоскости канала с наклоном пластин навстречу потоку, отстоящих друг от друга на расстоянии 100 мм и перекрывающих по высоте друг друга на 10-20 мм (рис. 1, 2).

Лабораторные исследования показали, что поток шламовых вод со скоростью $\upsilon_б$, несущей частицы мелкого шлама при встрече с пластиной раздваивается, верхний слой небольшой по высоте понимается и огибает верхнюю часть пластины, а нижний - отражается от нее и уходит вниз скоро-

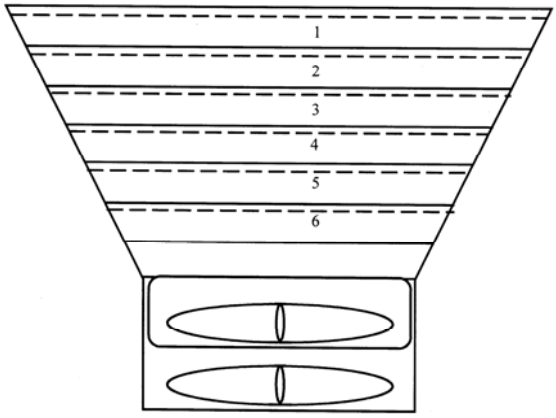


Рис. 1. Расположение пластин в канале – осветлителе

стью близкой $\upsilon_б$, который увлекает частицы вниз вместе с потоком.

Вторая пластина сбрасывает частицы при повороте верхнего слоя воды за счет центробежных сил и скорость движения частицы вниз увеличивается. Подобное явление происходит на последующих пластинах, и частицы осаждаются на дно. Поток воды практически не меняет скорость, так как энергия уклона канала *i* постоянно его поддерживает.

По течению за первым осветлителем предполагается устанавливать второй и третий, при этом в каждом последующем осветлителе ширина и расстояние между пластинами меньше предыдущего.

Последующие осветлители предназначены для сброса более тонких шламов и устанавливаются по длине секции канала (рис. 3), а их пластины могут, но не более чем на половину, перекрывать друг друга.

Вода поступает в канал, на дне которого установлен конвейер СР 70М Анжерского машиностроительного завода, ширина которого составляет 710 мм, высота секции 380 мм (рис. 4).

Оценка параметров очистки воды при использовании тонкослойных осветлителей проводилась при следующих условиях: шахтный приток Q = 1000 м^3/час =0,27 м^3/с; поток поступает по трубе диаметром d = 300 мм = =0,3 м; площадь сечения трубы $S_{тр}$. = $\frac{\pi d^2}{4} = 0,07$ м^2; скорость потока в трубе $\upsilon_{тр}$ $= \frac{Q}{S} = 3,85$ м/с; ширина канала по дну составляет 740 мм = 0,74 м; высота канала над конвейером 800 мм = 0,80 м; высота уровня воды над конвейером 700 мм = 0,70 м; наклон боковых стенок канавы 60°;
ширина канала в верхней части 1540 мм = 1,54 м; площадь сечения канавы над конвейером $S_к = 0,8$ м^2.

Средняя скорость воды в канале

$$\upsilon_{кан} = \frac{Q}{S_к} = 0,34 \text{ м/с.}$$

Конечную скорость оседания частиц при скорости течения определялась по графикам (рис. 5) [5].

Для частиц диаметром d = 1 мм = 10^{-3} м

для угля $\upsilon_{ку}$ = 5 мм/с;

для породы $\upsilon_{кп}$ = 7 см/с.

Для частиц диаметром d = 100 мкм = 10^{-4} м

для угля $\upsilon_{ку}$ = 0,05 мм/с;

для породы $\upsilon_{кп}$ = 2 мм/с.

Для прохождения потоком первого осветлителя 1,4 м потребуется время

$$\tau = \frac{1,4}{0,34} = 4 \text{ с.}$$

Частицы угля d = 1 мм при этом могут осесть на 20 мм = 2 см; породы на 28 см.

Радиус поворота слоя воды меняется для пластин от 10 мм до а/2 мм,

где a – ширина пластины (рисунок 6), поэтому величина центробежного ускорения для частиц будет лежать в диапазоне:

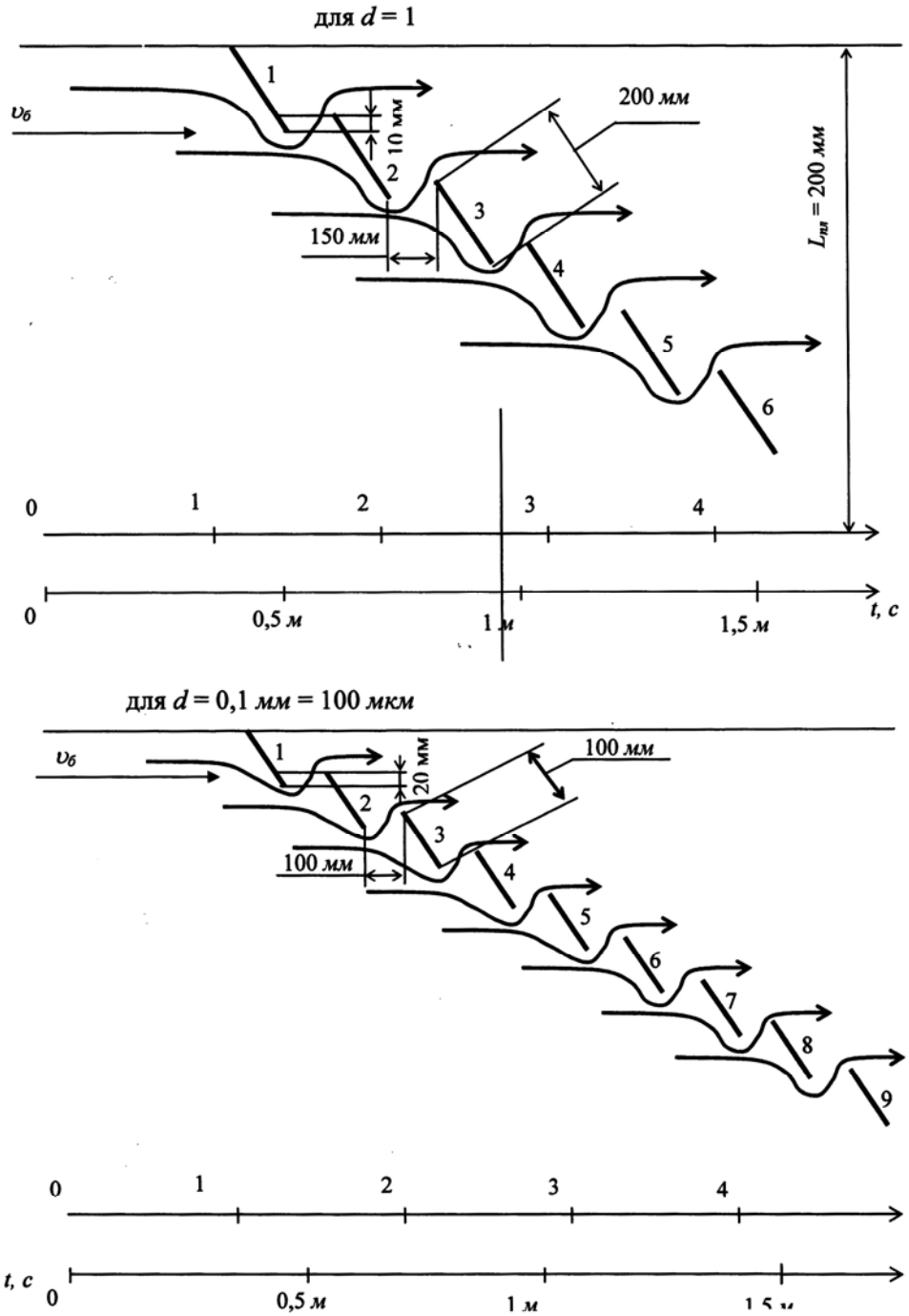


Рис. 2. Основные размеры пластин и зазоров

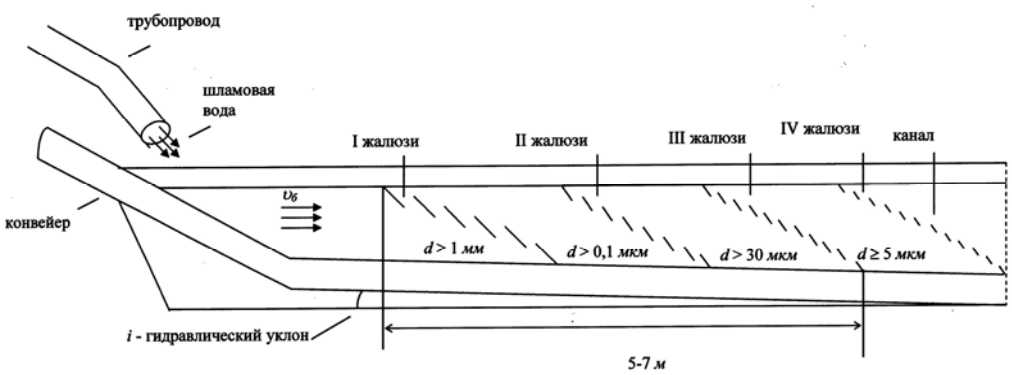


Рис. 3. Последовательная установка жалюзи

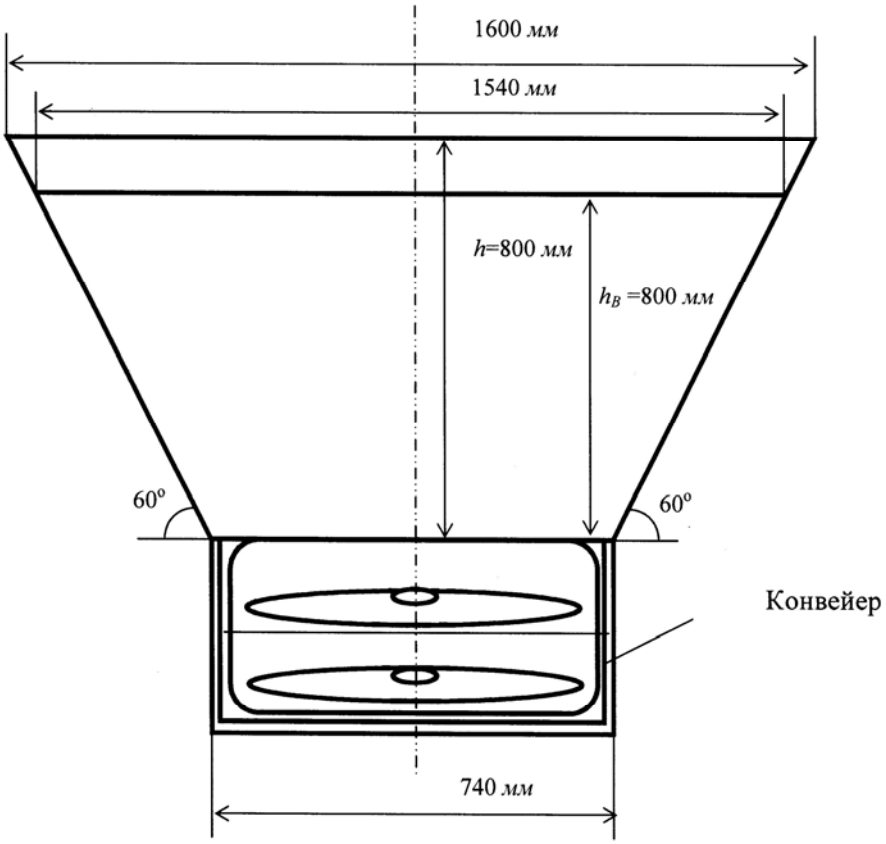


Рис. 4. Канал – осветлитель

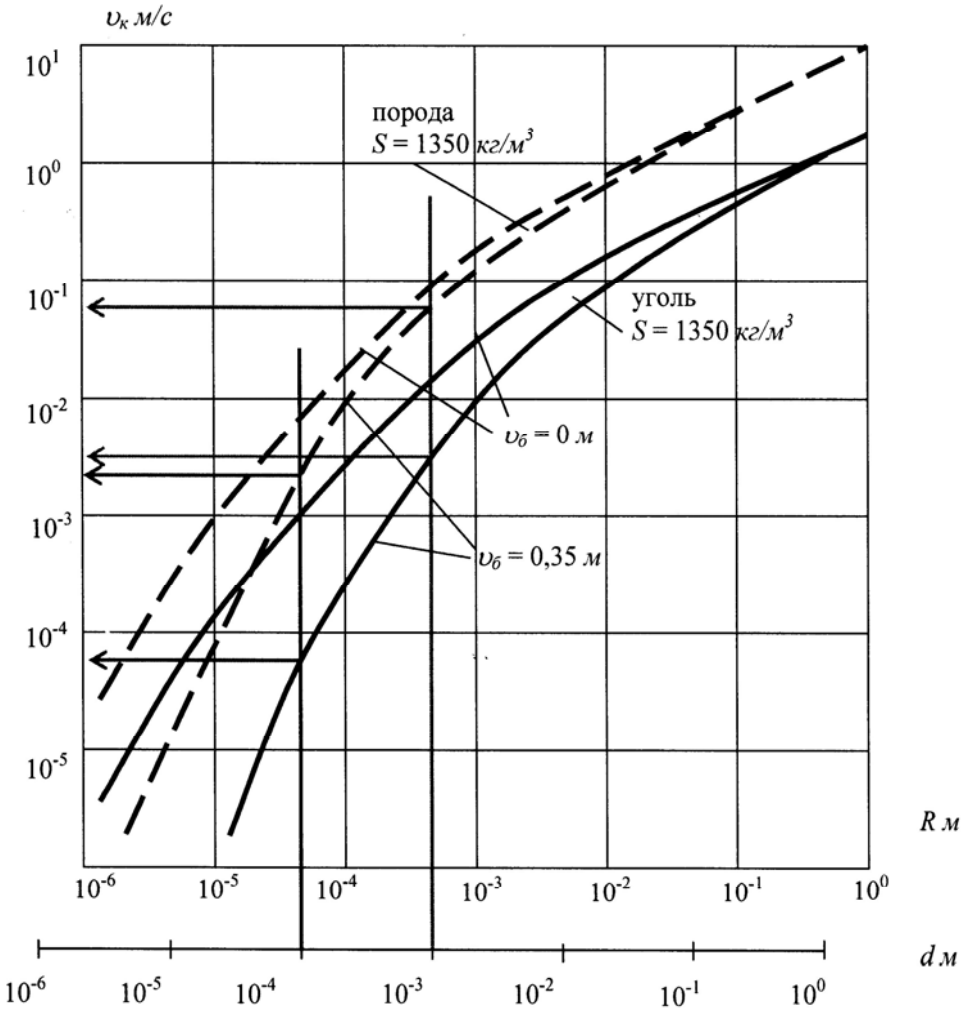


Рис. 5. Графики конечных скорости осаждения твредых

частиц при боковам течении $\upsilon_б$

для 1 – й пластины шириной, а = 200 мм

от $\frac{(0,34)^2}{0,01} = 11,5$ м/с^2

до $\frac{(0,34)^2}{0,1} = 1,15$ м/с^2;

для 2 - й пластины с шириной а = 100 мм

от $\frac{(0,34)^2}{0,01} = 11,5$ м/с^2

до $\frac{(0,34)^2}{0,05} = 2,3$ м/с^2;

для 3 – й пластины с шириной а = 60 мм

от $\frac{(0,34)^2}{0,01} = 11,5$ м/с^2

до $\frac{(0,34)^2}{0,03} = 3,8$ м/с^2.

Центробежное ускорение увеличит скорость осаждение частиц в среднем в

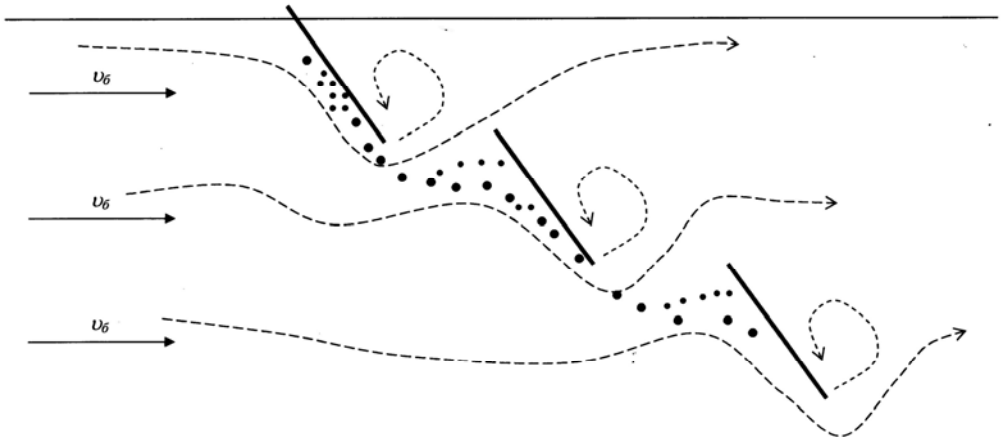


Рис. 6. Течение на жалюзи и ожидаемые траектории частиц

2 раза, обеспечивает их осаждение до конечной пластины.

Осевшие на тыльной стороне пластин частицы не препятствуют процессу очистки. С помощью нескольких осветлителей можно осадить частицы с размером больше 30 мкм, при этом длина канала составляет 5-7.5 м.

Экспериментально следует проверить возможность осаждения на пластинах частиц с размером от 5 мкм до 20 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Волченко, В.А., Ильичев В.И., Вежан Г.И.* Технологические схемы обезвоживания угля для гидроучастков // Сб. науч. трудов ВНИИгидроугля Научные и технические проблемы технологии добычи угля при гидромеханизации. – 1982. – С. 172-179.
2. *Виноградов Н.Н., Волченко В.А., Белоликова Л.И.* Исследования проточной части тонкослойного осветлителя // Сб. научн. Трудов ВНИИгидроугля. – 1987. – с. 107-110.
3. *Волченко В.А., Стафиевский А.Н., Белоликова Л.И., Трутникова Л.Т.* Совершенствование приема пульпы на ОФ гидрошахт // Сб. науч. трудов ВНИИгидроугля. – 1981. – С. 123-129.
4. *Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус Вас. В., Конакова Н.И., Черкасов А.Д.* Очистка шахтных вод и промышленных сбросов // Сб. трудов международной научно-практи-ческой конференции, посвященной 10-летию НФИКемГУ / Безопасность жизнедеятельности: экологические, производственные, правовые, медико- биологические и социальные аспекты. – Новокузнецк, 2005. – С. 40-51.
5. *Стефанюк Б.М.* Снижение энергозатрат гидравлической технологии добычи угля. – диссертация на соискание звания доктора техн. наук. Гл. 7 Физические процессы осаждения частиц в воде. – ВНИИгидроуголь, 1996. – С. 264-285.
6. *Кухлин Х.* Справочник по физике (пер. с нем.) – М.: Мир, 1982. – 520 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Сенкус В.В. – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк.

© В.В. Сенкус, 2007

УДК 622.08

В.В. Сенкус

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГНЕТАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД В ВОДОНОСНЫЕ ПЛАСТЫ

Водоотлив шахты представляет один из важных элементов технологии добычи угля, который отнесен к I категории бесперебойного электроснабжения, и в зависимости от величины шахтного притока и глубины шахты, требует больших энергетических затрат, постоянного контроля и систематического обслуживания.

С точки зрения экологии, осушение шахтного поля ведет к изменению экологического равновесия на поверхности шахты, а откачиваемые воды становятся источником загрязнения внешних водоемов. В настоящее время систему шахтного водоотлива, обеспечивающего сброс вод во внешние водоемы, нельзя признать удовлетворительной, так как в ней не учитывается расслоение воды в отстойниках по тепловому градиенту.

В работе представляется физическое обоснование и реализация способа нагнетания вод шахтного притока в водоносные пласты для сохранения гидрологических режимов и снижения экологического ущерба ландшафту в районе разработки месторождения.

Физической моделью нагнетания воды в водоносный горизонт может служить совершенная поглощающая скважина, схема которой представлена на рис. 1, а дебит поглощающей скважины описывается формулой [1]

$$Q = 1,36k\frac{H_2^2 - h_{скв}^2}{\lg\frac{R_{скв}}{r_{скв}}},$$

где Q – дебит скважины, м^3/с; k – коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/с; H_2 – мощность водоносного горизонта, м; $h_{скв}$ – глубина воды в скважине, м; $r_{скв}$ – радиус скважины, м; $R_{скв}$ – радиус влияния скважины, м.

Радиус влияния скважины $R_{скв}$ определяется из выражения [1]

$$R_{скв} = 3000\ S_0\sqrt{k},$$

где $S_0 = h_{скв} - H_0$, м; H_0 – естественный напор, м; k – коэффициент фильтрации, м/с.

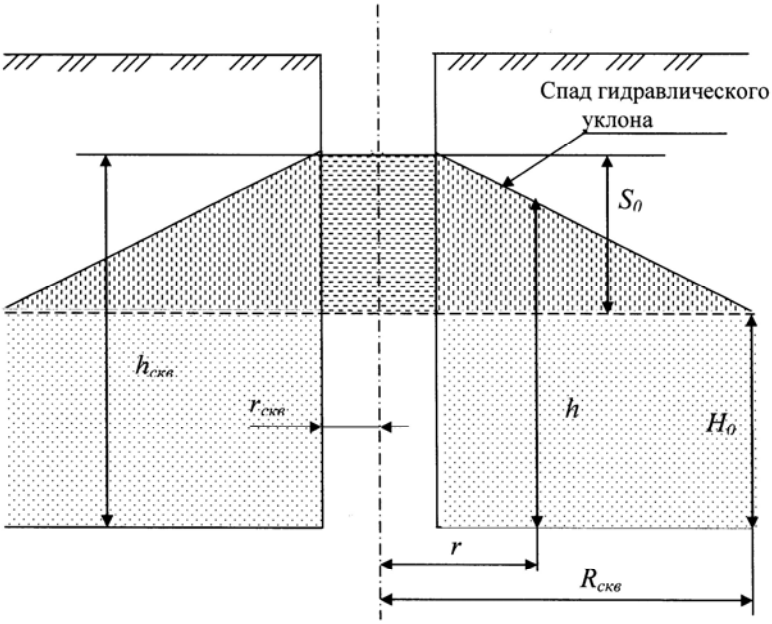
Значение коэффициента фильтрации является гидравлической характеристикой водоносного горизонта, зависящего от системы пор и трещин, что учитывается пористостью пласта m как отношение объема пор W_n к общему объему грунта W

$$m = \frac{W_n}{W}.$$

Пористость различных грунтов приведена в табл. 1, а вмещающих пород угольные пласты приведены в табл. 2 [3].

$$R_{скв} = 3000\ S_0\sqrt{k};\ [м];\ R\ [м],\ S_0\ [м].$$

Коэффициент фильтрации k зависит от пористости грунта m, при этом зависи-



$$R_{скв} = 3000\, S_0 \sqrt{k}\ ;\ [м];\ R\ [м],\ S_0\ [м].$$

Рис. 1. Поглощающая скважина

мость не является однозначной. На основании экспериментальных данных различными авторами предложены эмпирические формулы для коэффициента фильтрации [2]:

формула Конепп $k = \alpha_1 \dfrac{d^2}{\mu} \cdot \dfrac{m^3}{(1-m)^2}$;

формула Цункера $k = \alpha_2 \dfrac{d^2}{\mu} \cdot \dfrac{m}{(1-m)^2}$;

формула Терчаги $k = \alpha_3 \dfrac{d^2}{\mu} \cdot \dfrac{m^{-\frac{1}{3}}}{\sqrt[3]{1-m}}$;

формула Шмиделя $k = \alpha_4 \dfrac{d^2}{\mu} \cdot \dfrac{m}{(1-m)^{1,5}}$,

где α_1, α_2, α_3, α_4 – опытные числа; d – диаметр частиц грунта; μ – статическая вязкость;

по Слихерту коэффициент фильтрации следует определять по формуле [2]

$$k = 10,21 \frac{d^2}{\nu\ U},$$

где ν – кинематическая вязкость воды; U – скорость фильтрации.

Для выявления зависимости проницаемости от параметров грунта рассматривается линейный закон фильтрации Дарси, проявляющийся при ламинарном режиме, со скоростью U, которая определяется по формуле

$$U = kj,$$

где j – гидравлический уклон, т.е. отношение разности давления к расстоянию между рассматриваемыми точками

$$j = \frac{dH}{dr}.$$

Проницаемость грунтов характеризуется коэффициентом k_n, которой в общем виде есть функция [1]

$$k_n = df(m),$$

Таблица 1

Пористость грунтов

Грунты	Пористость *m*
Гравий (d = 2 ÷20 *мм*)	0,3÷0,4
Песок (d = 0,05 ÷2 *мм*)	0,3÷0,45
Супесь	0,35÷0,45
Суглинок	0,35÷0,5
Глина	0,4÷0,55
Торф	0,6÷0,95
Бурый уголь	0,17
Уголь	0,23÷0,25

Таблица 2

Пористость пород

Породы	Пористость *m*	Примечание
Песчаник почвы пласта	0,04-0,16	Восточный Донбасс
Песчаник кровли пласта	0,01-0,06	
Сланец песчано-глинистый (кровля)	0,04-0,07	
Сланец песчано- глинистый (почва)	0,06-0,12	
Известняк (кровля)	0,06	
Алевролиты	0,05	
Аргелиты	0,09	
Алевролиты карбонатные	0,13-0,24	Канско-Аческий бассейн
Песчаники	0,04-0,14	
Суглинки	0,45	
Алевролиты	0,05-0,07	Северный Кузбасс
Песчаники мелко- и среднезернистые	0,05-0,09	
Суглинки	0,44	
Глины	0,13-0,37	

где d – эффективный диаметр гранул грунта; m – пористость грунта.

Коэффициент фильтрации k и пористости k_n связаны зависимостью [1]

$$k = \frac{g \quad k_n}{v},$$

где g - ускорение свободного падения, *м/с*^{2}; v – кинематическая вязкость воды.

Закон фильтрации Дарси, представленный через коэффициент пористости будет иметь вид

$$U = \left(\frac{g \quad k_n}{v} \right) j .$$

Для определения скорости фильтрации необходимо знать коэффициент фильтрации k или коэффициент пористости k_n.

В табл. 3 приведены значения коэффициента фильтрации k для различных грунтов [3].

Павловский П.П. [2] определяет коэффициенты ламинарной фильтрации величинами, представленными в табл. 4, которые характеризуют ее условия. С увеличением напора фильтрация переходит в турбулентный режим, особенно в крупнозернистом грунте.

Радиус влияния скважины, в первую очередь, зависит от гидравлического напора (линейно) и во вторую очередь, от коэффициента фильтрации нелинейно (степенная функция 1/2).

Таблица 3

Коэффициенты фильтрации для грунтов

Грунт	*k, м/сут.*
Глины	0,001
Суглинок тяжелый	0,05
Суглинок легкий	0,05-0,1
Супесь	0,1-0,5
Лесс	0,25-0,5
Песок пылеватый	0,5-1,0
Песок мелкозернистый	1-5
Песок среднезернистый	5-20
Песок крупнозернистый	20-50
Гравий	20-150
Галечник	100-500
Крупный галечник без песочного заполнителя	500-100 и более

Таблица 4

Коэффициенты фильтрации грунтов k [2]

Грунт	*k, м/сут*
Песчаные грунты с примесью глины	5,2-6,1
Песчано-глинистые грунты	2,6-3,5
Грунты проницаемые глинистые	0,86

Таблица 5

Радиусы влияния скважины [1]

Грунт	Радиус влияния скважины, *м*
Мелкозернистые пески	100-200
Среднезернистые пески	250-500
Крупнозернистые пески	500-600
Мелкий гравий	700-1000
Крупный гравий	1500-3000

В табл. 5 приведены примерные величины радиусов влияния скважины.

Дополнительное давление (м. вод.ст.), при котором сохраняется ламинарный режим фильтрации определяем из формулы [1]

$$S_0 = \frac{R_{скв}}{3000\ \sqrt{k}},$$

где k – коэффициент фильтрации, м/с.

Полное давление насоса для нагнетания воды в водоносный горизонт представляется выражением с учетом, что $S_0 = H_{нас} + h_{гор}$

$$H_{нас} = \frac{\gamma_п}{\gamma_в} h_{гор} + \frac{R_{скв}}{3000\ \sqrt{k}},$$

где $h_{гор}$ – глубина горизонта от уровня поверхности, м; $\gamma_п$ – плотность горных пород, т/м^3; $\gamma_в$ - плотности воды т/м^3.

Среднее отношение плотности пород к плотности воды составляет 2,6, что в дальнейшем используется в расчетах.

Например. Глубина водоносного горизонта $h_{гор}$ = 200 м; грунт водоносного горизонта – среднезернистые пески с коэффициентом фильтрации k = 5-20 м/сут ($0{,}058 \cdot 10^{-3}$ – $0{,}232 \cdot 10^{-3}$ м/с).

Таблица 6

Скорость фильтрации U* м/сут *в зависимости от гидравлического уклона i для грунтов со средним диаметром гранул d* мм *[2].

Гидравлический уклон *i*	**Средний диаметр гранул грунта *d, мм***							
	1,0	**1,8**	**3**	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**
0,0005	0,5	1,5	3,5	10	30	80	150	250
0,001	1,0	2,9	7	21	58	145	275	450
0,002	1,9	6	14	40	110	275	480	710
0,006	5,2	18	40	113	275	620	930	1240
0,01	8,5	30	67	175	385	830	1220	-
0,02	16	56	125	300	580	1080	-	-
0,03	30	100	183	400	860	1800	-	-
0,06	54	200	280	660	1060	-	-	-
0,1	85	320	500	930	1550	-	-	-
0,2	160	550	970	1530	-	-	-	-
0,3	290	930	1600	-	-	-	-	-
0,6	460	1600	-	-	-	-	-	-
0,8	580	-	-	-	-	-	-	-

Рассчитывается два предельных давления

$$H_{нас1} = 200 \cdot 2,6 + \frac{250}{3000 \sqrt{0,232 \cdot 10^{-3}}} = 553 \text{ м. вод. ст.}$$

$$H_{нас2} = 200 \cdot 2,6 + \frac{500}{3000 \sqrt{0,232 \cdot 10^{-3}}} = 532 \text{ м. вод. ст.}$$

Следовательно, для закачки воды в водоносный горизонт требуется насос с давлением подачи 6 МПа.

Дополнительное давление S_0 составляет от 12,3 до 33,0 м. вод. ст., т.е. 0,12-0,33 МПа.

Различие величин дополнительного давления оказывает влияние на скорость фильтрации при не учтенных условиях, которые можно оценить опираясь на экспериментальные данные в широком диапазоне различия грунтов и давлений, выраженных через гидравлический угол *i*, как отношение разности давлений в двух точках к расстоянию между ними

$$i = \frac{dh}{dr}.$$

В табл. 6 сведены данные, полученные разными авторами для грунтов со средним значением гранул *d* в диапазоне от 1 до 40 *мм*; диапазон гидравлического уклона *i* охватывает величины от 0,0005 до 0,8.

Если представить данные в логарифмической шкале (*i, U*) (рис. 2), то можно выделить линейные зависимости для гранул различной величины, расположенные под углом, умень-шающимся с увеличением диаметров гранул.

Аналитически эту зависимость можно записать уравнением

$$\frac{\lg U - \lg U_0}{\lg i - \lg i_0} = \alpha(d),$$

где $lU_0 = d\left(\sqrt{d} - 0,5\right)$;

$\lg i_0 = 0,0005; \alpha(d) = \dfrac{100 - d}{105}$.

При преобразовании получают

$$\frac{\lg\left(\dfrac{U}{U_0}\right)}{\lg\left(\dfrac{i}{i_0}\right)} = \alpha(d),$$

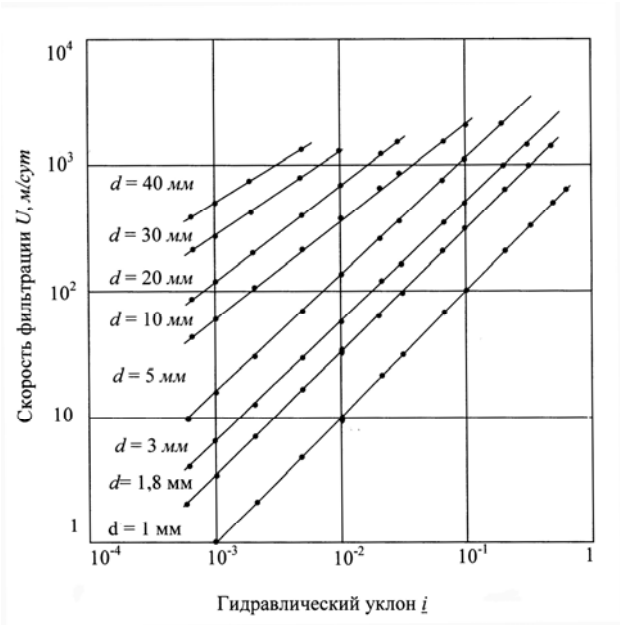


Рис. 2. Скорость фильтрации в зависимости от гидравлического уклона

$$\lg\left(\frac{U}{U_0}\right) = \lg\left(\frac{i}{i_0}\right)^{\alpha(d)}, \frac{U}{U_0} = \left(\frac{i}{i_0}\right)^{\alpha(d)}.$$

Следовательно

$$U = d(\sqrt{d-0,5})\left(\frac{i}{0,0005}\right)^{\left(\frac{100-d}{105}\right)}.$$

Полученная зависимость дает возможность определить скорость фильтрации с погрешностью не более 8 %.

Сложность зависимости объясняется фактором влияния капиллярных сил на скорость фильтрации, а именно дальнодействием сил капиллярного влияния.

Лордом Релем [4], а затем Стефанюком Б.М. [5] при решении капиллярного уравнения получены радиусы и высота дальнодействия капиллярных сил воды как функция угла смачивания материала с водой.

Ранее известные модели фильтрации не учитывали влияние капиллярных сил на скорость фильтрации, но для мелкозернистых грунтов оно значительно и представлено в табл. 7.

Радиус дальнодействия капиллярных сил меняется в диапазоне 6,65–7,68 мм, а высота дальнодействия (-6,65 – + 6,65 мм).

Следовательно, в зависимости от краевого угла смачиваемости капиллярных силы усиливается, или ослабляется скорость фильтрации, особенно для грунтов с гранулами 10 мм и менее. Это влияние очень сильно проявляется на песчано-глинистых грунтах.

В поглощающей скважине скорость

Таблица 7

Дальнодействие капиллярных сил воды [4]

Краевой угол смачивания воды и материала θ^0	**Радиус дальнодействия капиллярных сил r_g, *мм***	**Высота дальнодействия капиллярных сил Δh_g, *мм***
0	6,65	6,65
15	6,85	5,33
25	6,95	4,46
30	7,04	4,07
45	7,30	3,02
60	7,52	2,02
90	7,68	0,00
120	7,52	-2,02
150	7,04	-4,07
180	6,65	-6,65

фильтрации уменьшается с увеличением расстояния от скважины, а кривая спада гидравлического уклона зависит от краевого угла смачивания грунта, подтверждающие вывод о том, что аналогичные скважины в шахтах с жирным и тощими углями будут вести себя поразному.

В линейном законе Дарси, первом приближении процесса фильтрации, отмечается, что кажущееся невлияние величины гранул на пористость *m* (табл. 1) не подтверждается экспериментально, о чем свидетельствует табл. 3, дающая значение коэффициентов фильтрации *k*. Однако величины этих коэффициентов меняются для схожих грунтов от 2 до 7 раз. Разброс значений, по видимому, вносят силы адгезии, проявляющиеся через краевой угол смачивания водой грунта водоносного горизонта.

С учетом вышесказанного скорость фильтрация равна

$$U = d\left(\sqrt{d} - 0,5\right)\left(2 \cdot 10^3 i\right)^{\left(\frac{100-d}{105}\right)}$$

или, умножив и разделив на величину гидравлического уклона *i*, можно получить

$$U = d\left(\sqrt{d} - 0,5\right)\left(2 \cdot 10^3 i\right)^{\left(\frac{100-d}{105}\right)} \cdot i^{\left(\frac{100-d}{105}-1\right)+1}$$

Сравниваем выражение с формулой Дарси $U = k\ I$, если считать, что линейный закон Дарси справедлив, то можно получить значение *k* в следующем виде

$$k = \frac{d\left(\sqrt{d} - 5\right)\left(2 \cdot 10^3\right)^{\left(\frac{100-d}{105}\right)}}{i^{\left(1-\frac{100-d}{105}\right)}}.$$

Следовательно, коэффициент фильтрации *k* зависит от размеров гранул водопроницаемого грунта и гидравлического уклона.

Так как всегда d >0, то формула будет иметь вид

$$k = \frac{d\left(\sqrt{d} - 5\right)\left(2 \cdot 10^3\right)^{\left(\frac{100-d}{105}\right)}}{i^{\left(\frac{5+d}{105}\right)}}.$$

Например, для грунта с величиной гранул $d = 5$ мм (табл. 6), согласно закону Дарси

$$k = \frac{U}{i}.$$

Тогда

при $i = 0,001$ $k = \frac{21}{0,001} = 21000$ м/сут;

при $i = 0,01$ $k = \frac{175}{0,01} = 17500$ м/сут;

при $i = 0,1$ $k = \frac{930}{0,1} = 9300$ м/сут;

при $i = 0,2$ $k = \frac{1530}{0,2} = 7650$ м/сут.

Примермоделирования показывает, что с увеличением гидравлического уклона коэффициент фильтрации уменьшается более чем в 2 раза.

Следовательно, водоносный горизонт проявляет «инерционность»: с увеличением напора повышает гидравлическое сопротивление и уменьшает коэффициент фильтрации, т.е. снижает амплитуду колебаний скорости фильтрации относительно амплитуды колебаний напора.

При сопоставлении столбцов табл. 6 для гранул с диаметрами 1, 3, 5 и 10 мм, можно заметить, что «инерционность» изменения коэффициента филь-трации *k* при изменении гидравлического уклона *i* от 0,001 до 0,1 обладает линейной зависимостью. Результат представлен в табл. 8. График изменения кратности уменьшения коэффициента фильтрации представлен на рис. 3.

Выводы

1. Дебит поглощающей скважины определяют пять параметров: коэффициент фильтрации грунта, напор, глуби-

Таблица 8

Кратность изменения коэффициента фильтрации k в зависимости от диаметра гранул грунта d

Диаметр гранул грунта *d, мм*	**Коэффициент фильтрации при гидравлическом уклоне *i, м/сут***		**Кратность изменения коэффициента фильтрации *k***
	0,001	**0,1**	
1	1000	850	1,17
3	7000	5000	1,40
5	21000	9300	2,25
10	58000	15500	3,75

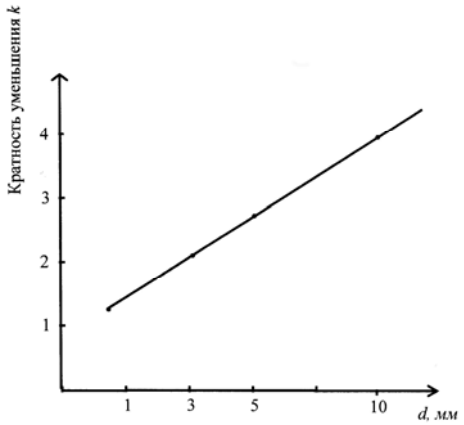


Рис. 3. Кратность уменьшения коэффициента фильтрации k в зависимости от диаметра гранул грунта d при увеличении гидравлического уклона i от 0,001 до 0,1

на скважины, радиус скважины и радиус влияния скважины на водоносный горизонт.

2. Скорость фильтрации пропорциональна коэффициенту фильтрации и гидравлическому уклону, но коэффициент фильтрации имеет сложную нелинейную зависимость от величины гранул грунта и гидравлического уклона.

3. Коэффициент фильтрации заданного грунта уменьшается с увеличением гидравлического уклона.

4. Кратность уменьшения коэффициента фильтрации с увеличением гидравлического уклона пропорциональна диаметру гранул грунта.

5. На изменение коэффициента фильтрации влияют силы адгезии воды с грунтом в пределах их дальнодействия, проявляясь как инерционность изменения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Штеренлихт, Д.В.* Гидравлика. Книга 2 [Текст] / Штеренлихт, Д.В. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 367 с.
2. *Гидравлика* [Текст] / Лейбензон Л.С., Валькер Д.С., Шумилов П.П., Яблонский В.С. – М.– Л.– Новосибирск: Гос. науч.-техн. горно-геолог-нефтяное изд-во, 1934. – 370 с.
3. *Справочник* (кадастр) физических свойств горных пород [Текст]. – М.: Недра, 1975. – 279 с.
4. *Адамсон, А.* Физическая химия поверхностей [Текст]. – М.: Мир, 1979. – 630 с.
5. *Стефанюк, Б.М.* Снижение энергозатрат гидравлической технологии добычи угля [Текст]: диссертация на соискание уч. степени доктора техн. наук, глава 6. – Новокузнецк: ВНИИгидроуголь, 1998. – С.215 –263. ГИАБ

Коротко об авторах

Сенкус В.В. – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк.

© В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, В.К. Буторин, 2007

УДК 622.22.08

В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, В.К. Буторин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОСАЖДЕНИЯ ШЛАМА В ОТСТОЙНИКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Моделирование процессов осаждения шламов основано на ряде новых представлений об осаждении частиц иерархичной структуры, из жёстких совокупностей, содержащих от 190 до 40000 молекул. Количество молекул зависит от температуры и структурной формы: по ступеням «совокупность- колония- мини капля» (рис. 1).

Осаждёние частиц описывается формулой д.т.н. Стефанюка Б. М., которая перекрывает законы Стокса, Аллена, Риттингера и учитывает влия-ние сил агдезии и когезии через, так называемый, парашютный эффект, сопровождающий процесс осаждения частиц в воде [1-2, 11].

Длительное стойкое не осаждение взвешенных частиц объясняется надмолекулярной структурой воды, которая проявляется как статистическая ее вязкость (свойство аналогичное трению покоя в механике движения твёрдых тел).

Предлагаются новые способы изменения структуры воды, в результате которых можно изменить её статическую вязкость посредством магнитной обработки воды для увеличения статической вязкости воды, и физико-электрической обработкой для уменьшения статической вязкости воды (рис. 2). При этом принимается во внимание временная устойчивость структуры: магнитная обработка сопровождается «памятью» на 5-7 часов с постепенным её угасанием [8].

Физико-электрическая обработка воды сопровождается восстановления ее «памяти» на 500-700 часов с более слабым угасанием, а эффект проявления памяти сдвигается на время от 1 до 30 часов за счёт проявления каталитического эффекта рекомбинации структуры в изотермном режиме [3].

Эти свойства проявляются за счет водородных связей между молекулами H_2O [7, 9].

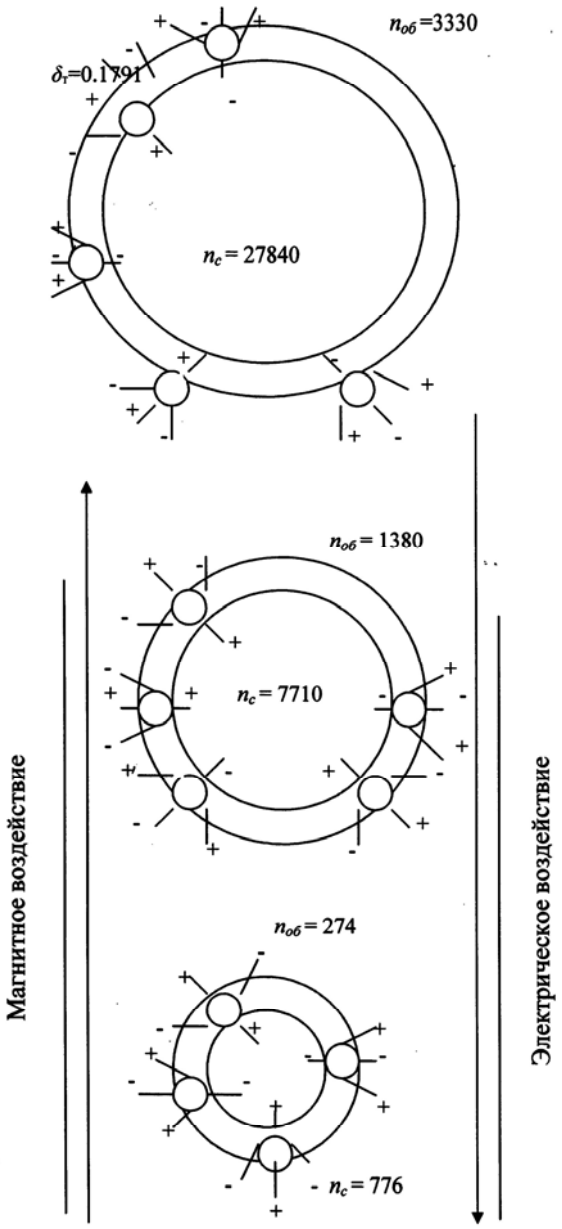
Рентгеновские исследования [6-7] воды показывают, что в жидкой воде не существует молекул H_2O, не входящих своими водородными связями в структуру совокупностей, но при этом существует около 4-5 % молекул переходящих от одной структуры к другой.

Условный диаметр молекулы воды H_2O равен 2,76 A°= $2{,}76 \cdot 10^{-10}$ м), она способна образовывать четыре водородные связи за счёт неразделённых электронов внешней оболочки молекулы кислорода, две со знаком «+» и две со знаком « - », что обусловлено валентным углом *H·OH* равным 103,8º [7-9].

С изменением температуры меняется количественная доля разорванных водородных связей. Например, при 0 °C в воде их разрывается 0.1591 или 15.91 %; при 100 ºC в воде разорвано 0.2608

(26.08 %); при 100 ºС водяного пара разорвано 0,8764 (87,64 %).

Лёд при 0 ºС имеет разорванных 0, 0681 (6,81 %); при переходе температуры 0 ºС от льда к воде разрывается 9.1 % водородных связей, а при переходе от воды к пару (при 100 ºС) разрывается 61,56 % водородных связей [4].



T = 20°C,

n = 13920

i	Количество совокупностей	Количество молекул в оболочках
3	5	16650
2	18	24890
1	182	49880

10
4°

Рис. 2. Изотермические преобразования надмолекулярной структуры воды.
Рис. 1. Структурные свойства воды

Энергоёмкость разрыва 1 % водородных связей равна $Q_{1\%}$= 36,65 кДж/кг, или для энергии разрыва всех водородных связей требуется энергия Q_{BC}= 65,97 кДж/моль, а на разрыв одной из четырёх (i = 1) во всех молекулах Q_{BC1} = 16,49 кДж/моль, на разрыв двух из че-

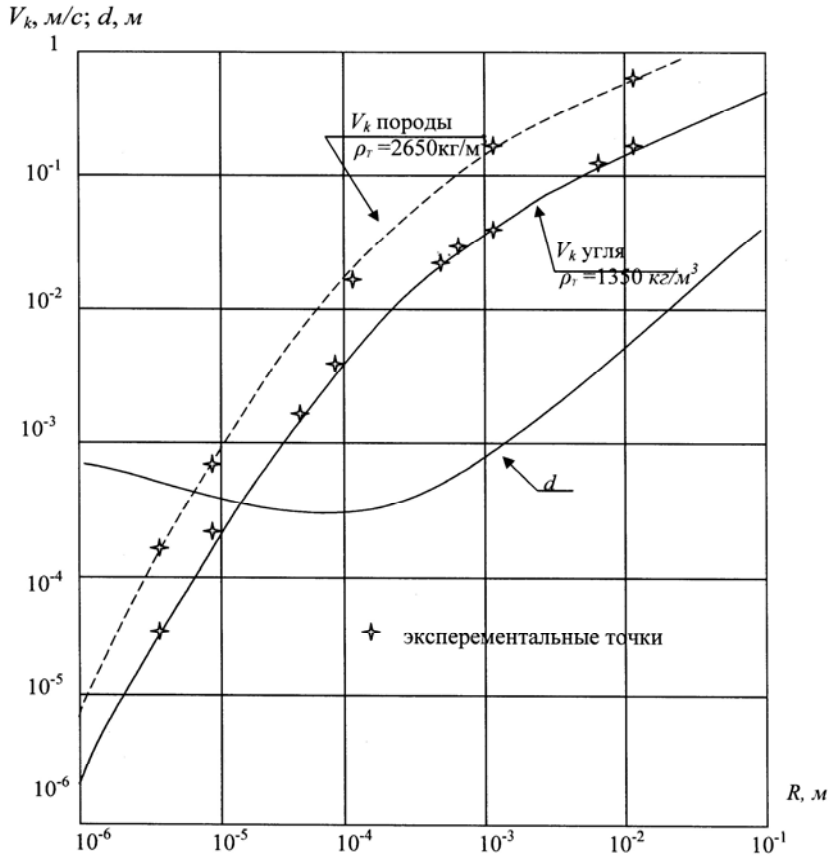


Рис. 3. Зависимости конечной скорости ($V_к$) осаждения частиц угля и породы в стоячей воде и величины «граничного» слоя от радиуса частиц (R)

тырёх (i =2) во всех молекулах $Q_{BC\text{-}2}$ = 32,98 кДж/моль, на разрыв трёх их четырёх (i = 3) во всех молекулах $Q_{BC\text{-}3}$ = 49,47 кДж/моль.

В воде разрывы водородных связей возможны у молекул, расположенных на «поверхности» совокупностей (нижнего звена структуры воды).

Осаждение частиц в воде происходит, когда частицы сопоставимы по размерам с колонией воды (вторым звеном структуры воды) и имеет плотность воды [11].

Результаты опытов и графики скоростей осаждения твёрдых частиц (конечная скорость) при средней структуре воды i = 2,6 представлены в табл. 1 и на рис. 3, которые описываются следующими уравнениями [5-6].

$$V = \sqrt{\frac{8g}{3C_л}}\left(\frac{\rho_m}{\rho_в} - 1\right)\frac{\sqrt{R}}{1 + \frac{d}{R}}, \qquad (1)$$

где $V_к$ – конечная скорость осаждения частицы, м/с; g- гравитационное ускорение, g = 9,81 м/с^2; $C_л$ - коэффициент лобового сопротивления частицы $0<C_л<1$; $C_л$ = 0,3; ρ_m – плотность частицы, кг/м^3; $\rho_в$ – плотность воды, *кг/м*^{3}; R- радиус

Таблица 1

Конечная скорость осаждения угольных и породных частиц в стоячей воде

Радиус частиц *R*, м	**Толщина граничного слоя *d*, м**	**Конечная скорость *Vк*, м/с угольных частиц с плотностью ρ_m = 1350 кг/м^3**	**Конечная скорость *Vк*, м/с породных частиц с плотностью ρ_m = 2650 кг/м^3**
$5\cdot 10^{-6}$	$6{,}15\cdot10^{-4}$	$5{,}8\cdot10^{-5}$	$2{,}73\cdot10^{-4}$
10^{-5}	$5{,}36\cdot10^{-4}$	$1{,}7\cdot10^{-4}$	$8{,}01\cdot10^{-4}$
10^{-4}	$3{,}17\cdot10^{-4}$	$7{,}8\cdot10^{-3}$	$3{,}63\cdot10^{-2}$
10^{-3}	$8{,}70\cdot10^{-4}$	$5{,}4\cdot10^{-2}$	$2{,}56\cdot10^{-1}$
10^{-2}	$5{,}6\cdot10^{-4}$	$2{,}05\cdot10^{-1}$	$9{,}65\cdot10^{-1}$

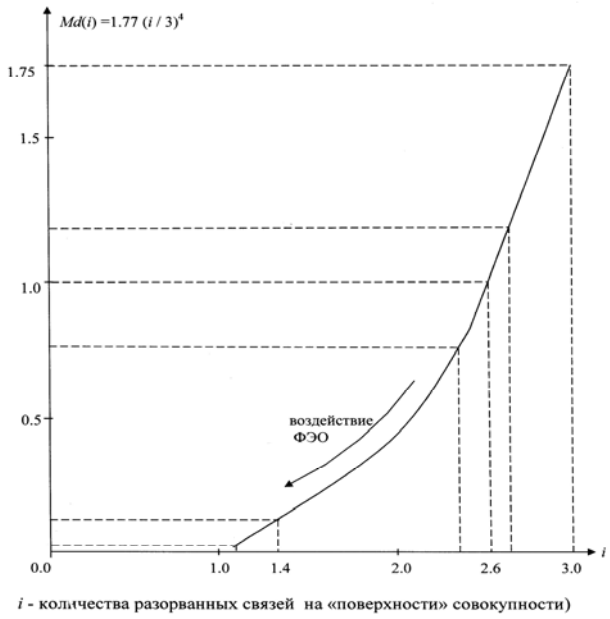


Рис. 4. Зависимость модуля масштаба «граничного слоя» частиц от усреднённого значения

частицы, *м*; *d* – толщина граничного слоя, м.

$$d = a_0\,[1+a_1(C_1)^{(lgR+6)}+a_2\,C_2^{(\lg R+6)^2}\,], \qquad (2)$$

где a_0 - константа, верхняя граница минимальной шкалы меры воды как жидкости, a_0 = 100 мкм = 10^{-4} м при i = 2,6; a_1 - константа, характеризующая строение молекул H_2O, а именно её молекулярный угол H-O-H, выраженный в радианной мере 103°39´20´´= 1,809 радиана = 1 + +Ф/2, а именно $a_1 = \Phi/(10\cdot2^3)$= =0,0202; C_1 – константа, характеризующая радиус совокупности C_1= 7, 2204; a_2 – константа, равная

7,65; C_2 - константа, равная Φ^{-1}= =0,618039; i – среднее число разорванных водородных связей в молекулах воды.

При подстановке значений

$$d_{2,6} = 10^{-4}[1+0{,}0202\times\times(7{,}22)^{(\lg R+6)}+ +7{,}5\,(0{,}618)^{(\lg R+6)^2}]. \qquad (3)$$

Обобщенная формула имеет вид

$$d_i = Md(i)10^{-4}[1+0{,}0202\times\times(7{,}22)^{(\lg R+6)}+ +7{,}65(0{,}618)^{(\lg R+6)^2}], \qquad (4)$$

где *Md(i)* - модуль масштаба «граничного» слоя (рис. 4).

$$Md(i) = 1{,}77\,(i/3)^4; \qquad (5)$$

где i - усреднённый показатель количества разорванных водородных связей в «оболочке» совокупностей в расчёте на одну молекулу.

Скорость осаждения твёрдых частиц при наличии боковой скорости V_{oc} (рис.

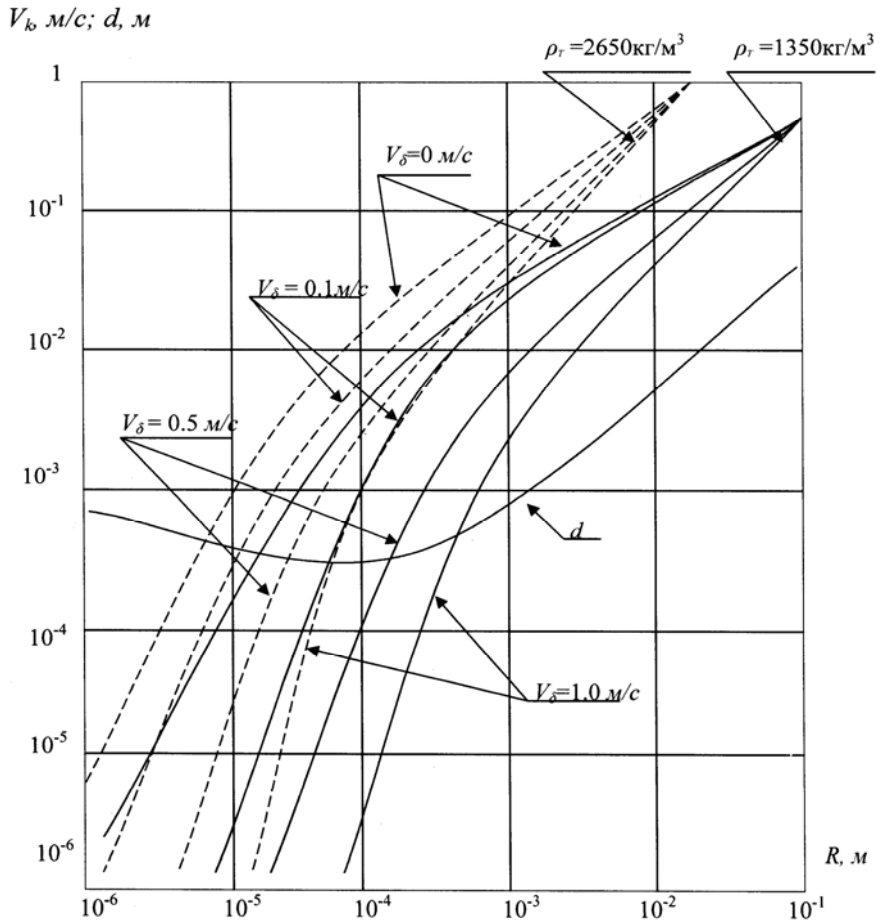


Рис. 5. Зависимость скорости осаждения частиц от их размера при боковой скорости.

5) описывается следующим уравнением [4]

$$Voc = V_k \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{3}{8} \frac{(1 - C_л)^3 V_б^2}{\left(\frac{\rho_m}{\rho_в} - 1 \right) gR} \right)^2}}, \qquad (6)$$

При $C_л$ = 0,35, для угольных частиц ρ_m = 1350 кг/м^3 скорость осаждения $V_{осу}$ равна

$$V_{осу} = V_к \frac{1}{\sqrt{1 + 4 * 10^{-4} \frac{V_б^4}{R^2}}}, \qquad (7)$$

для породных частиц ρ_m = 2650 кг/м^3 скорость осаждения $V_{осп}$ равна

$$V_{осп} = V_К \frac{1}{\sqrt{1 + 9 * 10^{-5} V_б^4 / R^2}}, \qquad (8)$$

где $V_б$ - боковая скорость воды, м/с.

Расчётные величины приведены в табл. 2, 3 соответственно.

Доля разорванных водородных связей в воде в зависимости от температуры

Таблица 2

Скорость осаждения угольных частиц при боковой скорости

Размер частиц *R, м*	**Конечная скорость в стоячей воде, *м/с***	**Скорость осаждения $V_{ос}$, *м/с* при боковом течении со скоростью, *м/с***			
		0,01	**0,1**	**0,5**	**1,0**
10^{-6}	$3{,}7\cdot10^{-6}$	$1{,}17\cdot10^{-6}$	$1{,}23\cdot10^{-8}$	$4{,}9\cdot10^{-10}$	$1{,}23\cdot10^{-10}$
10^{-5}	$1{,}7\cdot10^{-4}$	$1{,}63\cdot10^{-4}$	$5{,}67\cdot10^{-6}$	$2{,}27\cdot10^{-7}$	$5{,}67\cdot10^{-8}$
10^{-4}	$7{,}8\cdot10^{-3}$	$7{,}8\cdot10^{-3}$	$2{,}46\cdot10^{-3}$	$1{,}04\cdot10^{-4}$	$2{,}6\cdot10^{-5}$
10^{-3}	$5{,}42\cdot10^{-2}$	$5{,}42\cdot10^{-2}$	$5{,}21\cdot10^{-2}$	$7{,}08\cdot10^{-3}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$
10^{-2}	$2{,}05\cdot10^{-1}$	$2{,}05\cdot10^{-1}$	$2{,}05\cdot10^{-1}$	$1{,}63\cdot10^{-1}$	$1{,}25\cdot10^{-1}$

Таблица 3

Скорость осаждения породных частиц при боковой скорости

Размер частиц *R, м*	**Конечная скорость в стоячей воде, *м/с***	**Скорость осаждения $V_{ос}$, *м/с* при боковом течении со скоростью, *м/с***			
		0,01	**0,1**	**0,5**	**1,0**
$5\cdot10^{-6}$	$2{,}73\cdot10^{-4}$	$2{,}7\cdot10^{-4}$	$2{,}15\cdot10^{-5}$	$8{,}65\cdot10^{-8}$	$2{,}16\cdot10^{-7}$
10^{-5}	$8{,}01\cdot10^{-4}$	$8{,}0\cdot10^{-4}$	$3{,}57\cdot10^{-4}$	$5{,}05\cdot10^{-5}$	$1{,}25\cdot10^{-6}$
10^{-4}	$3{,}63\cdot10^{-2}$	$3{,}63\cdot10^{-2}$	$3{,}07\cdot10^{-2}$	$2{,}20\cdot10^{-3}$	$5{,}70\cdot10^{-4}$
10^{-3}	$2{,}56\cdot10^{-1}$	$2{,}56\cdot10^{-1}$	$2{,}55\cdot10^{-1}$	$1{,}37\cdot10^{-1}$	$1{,}15\cdot10^{-1}$
10^{-2}	$9{,}65\cdot10^{-1}$	$9{,}65\cdot10^{-1}$	$9{,}59\cdot10^{-1}$	$9{,}59\cdot10^{-1}$	$8{,}15\cdot10^{-1}$

Таблица 4

Параметры совокупностей воды при различных температурах

Температура *T*°C	**Доля разорван-ных водородных связей δ_m**	**Радиус совокупностей R_c, A°,n_i**			**Количество молекул H_2O в совокупности, n_c**			**Количество молекул в «оболочке» $n_{об}$ совокупности**		
		***i* =1**	***i* =2**	***i* =3**	***i* =1**	***i* =2**	***i* = 3**	***i* =1**	***i* = 2**	***i* =3**
0	0,1591	23,03	39,15	75,24	1161	11313	110513	369	1800	4257
10	0,1693	21,44	46,04	70,53	939	9290	33373	317	1571	3767
12,9	0,1722	21,00	45,20	69,30	887	8772	31746	304	1510	3644
20,0	0,1791	20,60	43,24	68,39	766	7708	27838	274	1383	3330
22,5	0,1819	19,7	42,6	65,4	729	7380	26667	267	1342	3235
32,1	0,1917	18,5	40,3	61,9	606	6230	22727	232	1197	2904
40,2	0,2000	17,6	38,5	59,2	521	5435	19802	208	1087	2640
50,0	0,2099	16,8	36,8	56,7	438	4639	16997	184	974	2379
89,4	0,2500	13,4	30,2	46,8	228	2614	9756	114	653	1626
99,0	0,2598	12,8	29,1	45,3	196	1737	8630	102	451	1495

$$\delta_m = \delta_0 + d\delta/dt = 0{,}1591 + 0{,}0001017t, \qquad (9)$$

где δ_0 - доля разорванных водородных связей в воде при температуре 0 °С; $d\delta/dt$ - градиент изменения доли разорванных водородных связей при повышении температуры на 1 °С;

$d\delta/dt$ = 0,0001017, 1/°С; t - температура воды, °С.

Условный радиус совокупности равен

$$R_c = \frac{2r_m}{\left(1 - \sqrt[3]{1 - 2\delta_m / i}\right)}, \qquad (10)$$

где r_m- условный радиус молекулы H_2O, r_m= 1,38 A°.

Количество молекул в совокупности равно

$$n_C = \frac{2}{\left(1 - \sqrt[3]{1 - 2\delta_m / \iota}\right)^3}. \qquad (11)$$

Количество молекул в «оболочке» совокупности, т.е. молекул, имеющих хотя бы одну разорванную водород-ную связь, равно

$$N_{об} = n_c \cdot 2\,\delta_m/i, \qquad (12)$$

где n_c – число с разорванными водородными связями.

Расчёт величин по формулам (9-12) приведён в табл. 4:

Совокупности, касаясь между собой, образуют колонии. Радиус «площади» касания совокупностей равен

$$r_k = 0{,}127 R_C \qquad (13$$

В зависимости от величины i в межсовокупностном контакте при температуре t = 20 °С участвуют от 3 до 27 молекул воды, которые образуют временно- постоянную полу эластичную связь между совокупностями в колонии.

Аналогичную временную эластич-ную связь имеют колонии внутри мини капли. Статически вязкость связана со структурной зависимостью (рис. 6) и описывается уравнением $H = 10^{-2} n_C$

Время гравитационного осаждения частиц в бассейне стоячей воды равно [1-2]

$$\tau_\iota = \frac{\left(1 = 1{,}77\left(\frac{\iota}{3}\right)^4 \cdot \frac{d_{2,6}}{R}\right)h}{Cm\sqrt{R}}; \qquad (14)$$

$$Cm = \left(\frac{\rho_t}{\rho_B} - 1\right)\sqrt{\frac{8}{3}\frac{g}{Cл}}. \qquad (15)$$

Сократить время осаждения τ_i можно за счёт: уменьшения пути осаждения h; увеличения размеров частиц R (коагуляция), изменения структуры воды (уменьшить i).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стефанюк Б.М.* Структура воды и осветление шламовых вод физико-электрическим способом. // Теоретические и практические аспекты создания наукоёмких технологий новых уровней эффективности для сложных горно-геологических условий: Сб. докл. - Новокузнецк: СМИ, 1992.
2. *Стефанюк Б.М.* Структура воды и осветление шламовых вод физико-электрическим способом/ Современная технология разработки месторождений полезных ископаемых. – Новокузнецк: СибГИУ, 1998.
3. *Стефанюк Б.М.* Снижение энергозатрат гидравлической технологической добычи угля. // Диссертация на соискание докт. техн. наук Институт Угля и Углехимии СО РАН, 1998. гл.7 «Физические процессы осаждения частиц в воде и пути снижения энергозатрат на осветление технологической воды».
4. *Стефанюк Б.М.* Структура воды и осветление шламовых водошахт, 6 с.: Деп. в Научной библиотеке ЛНУ. Отдел рукописных, старопечатных и редкостных книг. №3595, 1998.
5. *Стефанюк Б.М.* Физика интенсификации осветления шламовой воды, 11 с.: Деп. в Научной библиотеке ЛНУ. Отдел рукописных, старопечатных и редкостных книг. №3596, 1998.
6. *Синюков В.В.* Вода известная и неизвестная. – М.: Знание, 1989. – 175 с.
7. Сокольский Ю.М. Омагниченная вода: правда и вымысел. – Л.: Химия, 1990. - 144 с.
8. *Фридрихсберг Д.А.* Курс коллоидной химии. – М.: Химия.1984. – 368 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Сенкус В.В., Стефанюк Б.М., Буторин В.К. – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк.

© В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, Вит.В. Сенкус, 2007

УДК 622.22.08

В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, Вит.В. Сенкус

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

При использовании электрофизического способа очистки шахтных вод в отстойнике с подачей 1200 м^3/ч потребуется затратить ~480 кВт·ч/час или около 20 тыс. кВт·ч/сутки на 28,8 тыс. м^3 воды в сутки.

При расчёте отстойников осветителей использующих электрофизический способ необходимо учитывать:

- зависимость конечной скорости осаждения частиц от их величин и плотности;
- сопротивление статической вязкости гравитационному осаждению частиц, существенным для частиц – 50 мкм;
- максимальный путь осаждения и необходимое для этого время;
- возможную разность температуры воды в отстойнике осветлителе и воды, подаваемой на осветление.

Осветление воды следует разделить на два этапа (схема отстойника-осветлителя представлена на рис. 1):

1. Гравитационное осаждение частиц с сокращенным путём осаждения. Сокращение путей достигается за счёт установки верховых плавающих перегородок, которые обеспечивают переток воды по принципу сообщающихся сосудов.

2. Обработка воды физико-электрическим способом обеспечивает сокращение времени осаждения микронных частиц в десятки раз.

На первом и втором этапах образуется придонное горизонтальное течение со скоростью, которая не существенно влияет на конечную скорость осаждения частиц, т.е. значительно меньше 0,01 м/с.

Компенсация температурной разницы подаваемой воды и воды отстойника, т.е. устранения теплых течений в отстойнике, особенно в зимнее время, обеспечивается за счёт установки вертикальных перегородок

Скорость движения воды вниз равна

$$V = Q/al_1, \qquad (1)$$

где Q - подача воды в отстойник, м^3/с; a - ширина отстойника, м; l_1- расстояние до перегородки, м.

Скорость понижения уровня принимаем в пределах 0,3- 0,5 мм/с, средняя V_1 = 0,4 мм/с = $4\cdot10^{-4}$ м/с.

Расстояние до первой перегородки равно

$$l_1 = Q/aV_1, \qquad (2)$$

Например, если сброс воды в отстойнике составляет Q = 1200 м^3/час = 0,334 м^3/с, а ширина отстойника a = 25 м, то расстояние до первой перегородки должно быть не менее

l_1=0,334/4·10^{-4}·25=3,34·10^1=33,4 м.

Время оседания частиц (максимальное для частиц породы R_n=5·10^{-6} м или D_n = 10^{-5} м = 10 мкм, для частиц R_y= =2·10^{-5} м или D_y = 4·10^{-5} м = 40 мкм)

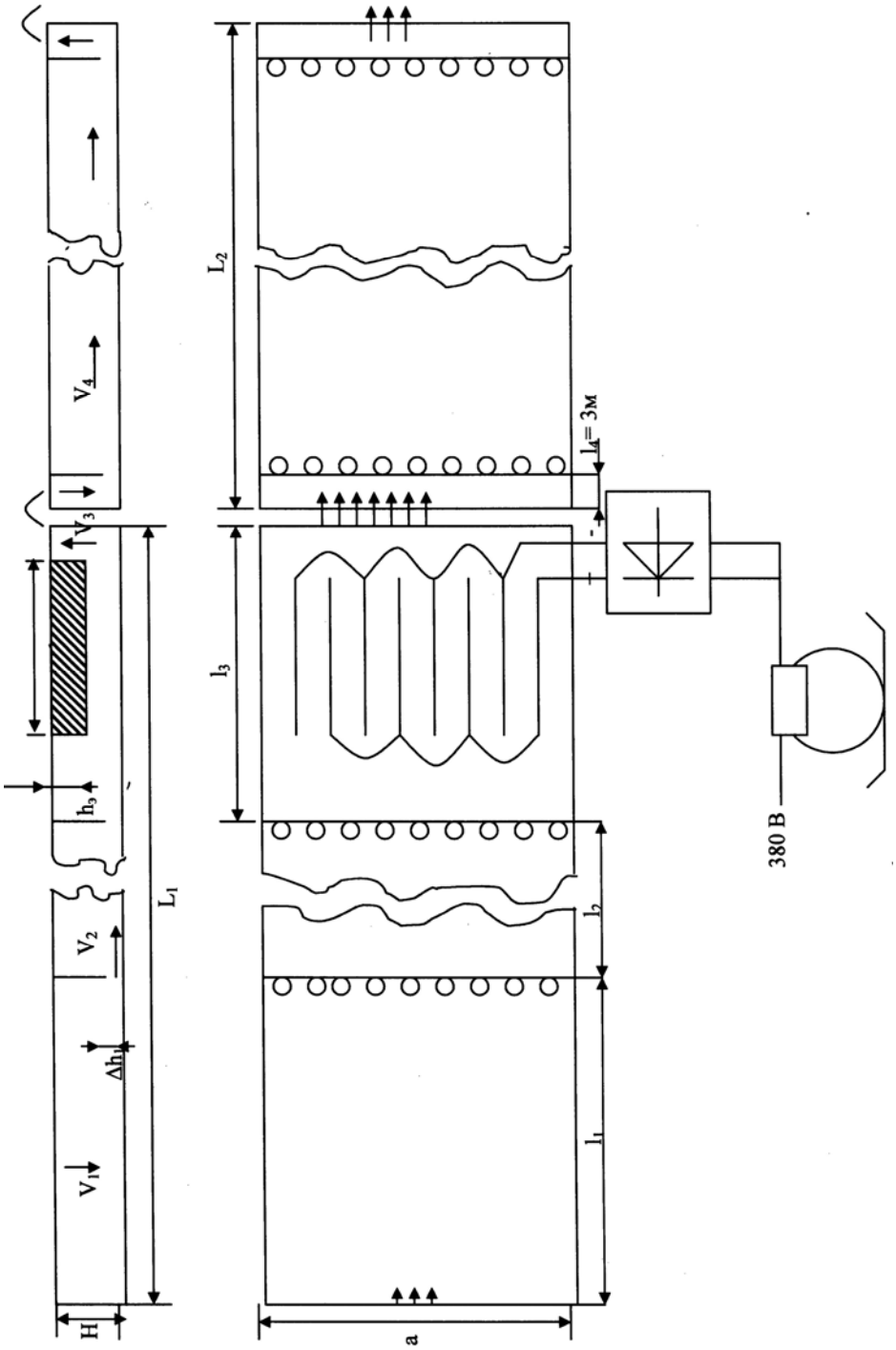


Рис. 1. Общая схема отстойника- осветлителя

$\tau_1 = (h/V_k + V_1)$, с, (3)

где h - глубина отстойника, м; V_k, V_1 – конечная и начальная скорости, м/с.

Для примера $V_1 = V_k$ (для D= 10 мкм) $\tau_1 = (5/0{,}4\cdot10^{-3}$ м/с) = $12{,}5\cdot10^3$ с = 3,5 часа.

Зазор между первой перегородкой и дном отстойника Δh_1 должен быть не менее 1,6 м, т.е. Δh_1 = 1,6 м. Поток воды разворачивается на 90° и через щель S_1

$S_1 = a\,\Delta h_1$, (4)

набирает горизонтальную скорость V_2

$V_2 = Q/S_1 = Q/\,a\,\Delta h_1$, (5)

Для примера

V_2= 0,334 м^3/с /25·1,6 м^2 =

=$8{,}35\cdot10^{-3}$ м/с = 8,35 мм/с.

Боковая скорость составляет

$V_Б = V_2$ = 8,35 мм/с, т.е.

$V_Б$<10,0 мм/с.

Для осаждения частичек угля 50 мкм на глубину 1,6 м потребуется время

$\tau_2 = \Delta h_1/V_{ку}$ (50)= 1,6 м /10^{-3} м/с = =$1{,}6\cdot10^3$ с = 27 мин,

для угольных частиц 30 мкм потребуется время

$\tau_2' = \Delta h_1/V_{ку}$ (30)= 1,6 м/$2{,}5\cdot10^{-4}$ м/с=

= $6{,}4\cdot10^3$ с = 107 мин,

для угольных частиц 10 мкм потребуется время

$\tau_2'' = \Delta h_1/V_{ку}$ (10)= 1,6 м / $6\cdot10^{-5}$ м/с = =$26{,}7\cdot10^3$ с = 445,0 мин = 7,4 часов,

для угольных частиц 5 *мкм* потребуется время

$\tau_2''' = \Delta h_1/V_{ку}$ (5)= 1,6 м /10^{-5} м/с= $160\cdot10^3$ с = 2667 мин = 44,7 часов.

длина отстойника в зависимости от величины разделённого зерна определяется из уравнения

$l_2 = \tau_2 \cdot V_Б$ (6)

для D = 50 мкм

$l_2 = 8{,}35^{\cdot-3}\cdot1{,}6\cdot10^3 = 13{,}3$ м

для D = 30 мкм

$l_2 = 8{,}35^{\cdot-3}\cdot16{,}4\cdot10^3 = 53{,}6$ м

для D = 10 мкм

$l_2 = 8{,}35^{\cdot-3}\cdot26{,}7\cdot10^3 = 222$ м

для D = 5 мкм

$l_2 = 8{,}35^{\cdot-3}\cdot160\cdot10^3 = 1336$ м

На первом этапе целесообразно осаждать угольные частицы размером до 30 мкм, а расстояние от первой до второй перемычки устанавливать на расстоянии около 55 м.

Физико-электрический способ изменения структуры воды предусматривает воздействие на воду электрическим потенциалом величиной 1,5-2,6 В/см в течение часа постоянного пульсирующего тока скважностью не ниже 0,4.

Осаждение частиц происходит со сдвигом (с задержкой) на время $t_{Но}$- начало осаждения, величина которого зависит от напряжённости электрического поля E, которым была обработана вода.

$t_{Но} = K\,(E_0/E)^2 = 6{,}8/E^2$, (7)

где $t_{Но}$ - время сдвига начала осаждения твёрдых частиц, час; K - коэффициент, равный 1 часу; E_0 - напряжённость электрического поля, E_0= 2,6 В/см; E - напряжённость электрического поля, которой фактически обработана вода, В/см.

$E = U/l$, (8)

где U- напряжение на полюсах электродов, B; l - расстояние между электродами, см.

Время сдвига начала охлаждения твёрдых частиц прямо пропорционально квадрату расстояния между электродами и обратно пропорционально квадрату напряжения на электродах

$\tau_{н.\,о} = 6{,}8/E^2 = 6{,}8\cdot l^2/U^2$. (9)

Расчётное время сдвига начала охлаждения

Напряжённость *E*, *В/см*	**Время сдвига $\tau_{н.о}$, *часов***
0,65	16,0
0,82	10,0
0,88	9,0
1,00	6,8
1,06	6,0
1,50	3,0
1,84	2,0
2,00	1,7
2,13	1,5= 90 мин
2,50	1,1= 66 мин
2,60	1,0= 60 мин
3,00	0,75= 45 мин
4,00	0,42= 25 мин
5,00	0,27= 20 мин

Расчётное время сдвига начала охлаждения приведена в таблице и на рис. 2.

Мощность, необходимая для изменения структуры воды без изменения её температуры, равна

$N = IU = U^2/r,$ (10)

где N - мощность, *Вт*; U - напряжение, *В*; I - ток, *А*; r - электрическое сопротивление, Ом.

$U = El;\ r= \rho \cdot l/S,$

где l - длина проводника, м; S - сечение проводника, м^2; ρ - удельное электрическое сопротивление, Ом · м

$N = E^2Sl/\rho= E^2V/\rho.$

Согласно справочным данным, удельное сопротивление воды равно:

химически чистой воды 10^6 Ом·м;

дистиллированной воды 10^4 Ом·м;

морской воды 0,3 Ом·м;

шахтной воды 5- 20 Ом·м.

Удельная мощность составляет

$\delta N = N/V = E^2/\rho.$ (12)

При средней напряжённости 1,0 В/см = 100 В/м и ρ = 10 Ом·м. δN = =$10^4/10$ = 10^3 Вт/м^3 = 1 кВт/м^3, время обработки 1 час.

Затраченная энергия составляет

$\delta W=\delta N \cdot t$. (13)

Учитывая каталитический эффект, который сопровождает физико-электрическую обработку воды, которые снижает затраты не менее, чем в 2,5 раза, то средняя удельная затрата энергии составляет

$\delta W= 1/ 2{,}5 \cdot \delta N \cdot t,$ (14)

что даёт следующую величину затрат энергии

δW=1/2,5·1 кВт·1 ч/м^3 = 0,4 кВт·ч/м^3.

Для обеспечения осаждения частиц 30 мкм необходимо выполнить физико-электрическую обработку воды, т. е. перейти к следующему этапу осветления.

Обработку воды осуществляют в третьем отсеке первого осветлителя, где вода от придонного горизонтального движения переходит к восходящему вертикальному движению. Площадь зеркала воды этого отсека целесообразно выбирать в пределах 600 – 650 м^2.

Это значит, что длина третьего этапа l_3

$l_3 = S_3/a,$ (15)

где S_3 - площадь зеркала, м^2; a - ширина бассейна, м.

При a = 25 м, S_3 = 625 м^2,
l_3 = 625/25 = 25 м.

Общая длина первого отстойника

$L_1=l_1+ l_2 +l_3$. (16) (11)

В примере L_1= 35+ 55 +25=115 м.

Восходящая скорость воды в третьем отсеке

$V_3 = Q/S_3 = Q/ al_3,$ (17)

В примере она равна
V_3 = 0,334 м^2/с / 625 м^2 =
=0,00054 м/с = 0,54 мм/с.

Время поднятия воды на высоту h-Δh равно

$\tau_3 = h\text{-}\Delta h/V_3,$ (18)

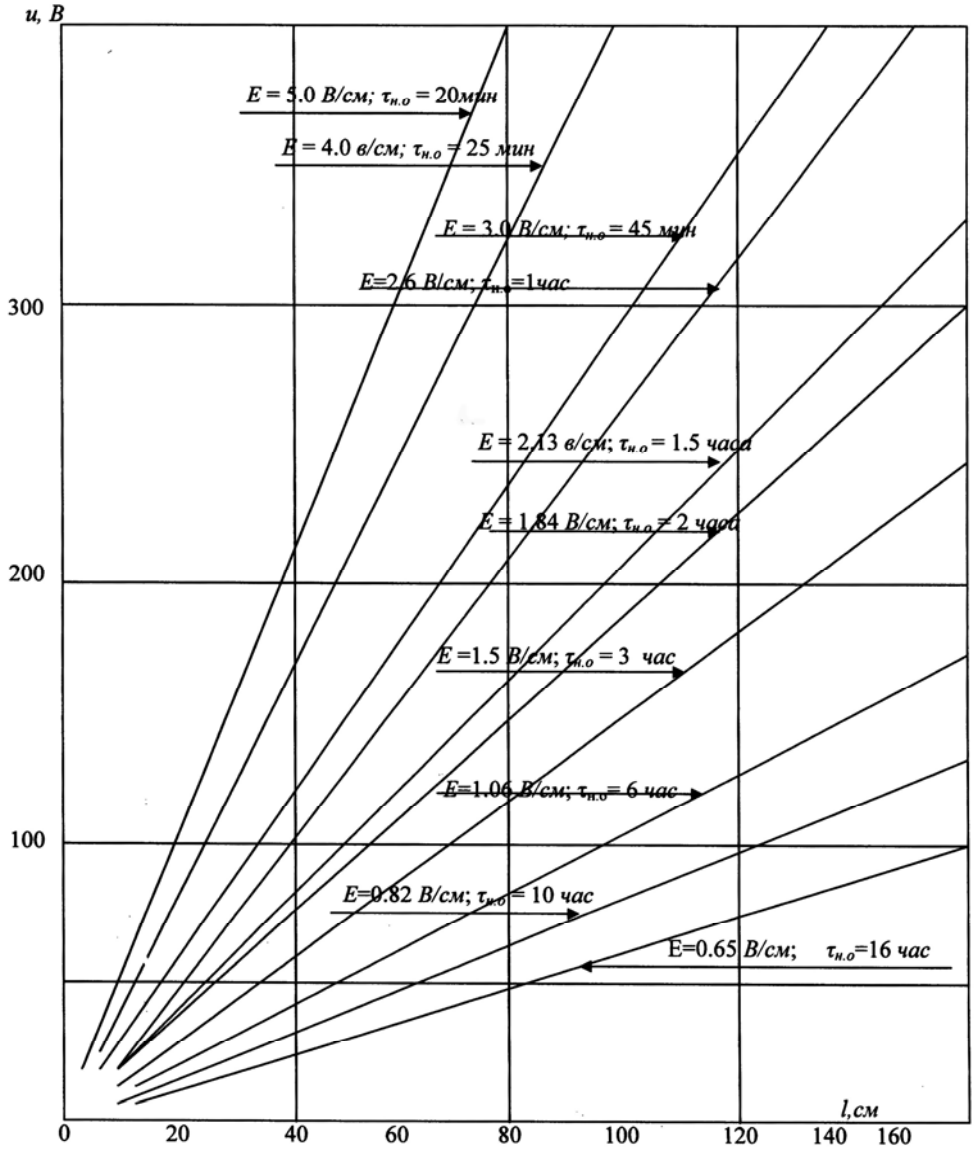


Рис. 2. Диаграмма напряжённости и времени до начала осаждения в шкале «напряжение-расстояние между электродами»

где h - глубина бассейна, м; Δh - глубина придонного течения (глубина щели от нижнего края плавающей перемычки до дна бассейна), м.

В примере $\tau_3 = (5\text{-}1{,}6)/0{,}54\cdot10^{-3} = 6{,}3\cdot10^{3}$ с = 105 мин = 1,75 часа.

Вода между пластинами электродов должна проходить в течении часа- времени необходимого для обработки.

Высота электродов должна быть

$$h_э = h\text{-}\Delta h/\tau_3. \qquad (19)$$

В примере высота электродов равна

$h_э$ = 3,4/ 1,75 = 1,95 = 2,0 м.

Обработанная вода переливом (не насосами, которые могут изменить за счёт теплоты, выделяемой при низком КПД, структуру воды) подают во второй отстойник микродисперсных фракций угля и породы.

Длину электродов выбирают из расчёта, чтобы их расстояния до борта и перемычки были больше чем расстояние между электродами. Электроды размещают вдоль отстойника.

Длина электродов равна

$l_э = l_3 - 2 \cdot 2$ м, (20)

В примере $l_э$ = 25- 2·2 = 21 *м*.

При подводимом на электроды выпрямленном напряжении 220 *В* и выбранной напряжённости *E*=1,4 В/см, расстояние между электродами должно быть

$\Delta a_э = U/E$. (21)

В примере $\Delta a_э$ = 220 В/1,4 В/см= = 155 см =1,5 м.

Пластины электродов «+» и «-» должны чередоваться. При ширине отстойника *a* = 25 м и расстоянии крайних электродов от бортов примерно 2 м количество электродов должно быть 14 штук. В качестве электродов используются алюминиевые листы толщиной 2-3 *мм*. Их общая площадь равна 14·2·21= 575 м^2.

Во втором отстойнике вода движется с одинаковой скоростью на исходящей, горизонтальной и восходящей ветви через сечение S_2 = 50 м^2.

Для этого в начале и в конце отстойника на расстоянии от торца на 2-3 м устанавливают плавающие перемычки на глубину до 2 м от дна отстойника.

Скорость движения составляет

$V_4 = Q/S_2$. (22)

В примере

V_4=0,334 м^3/с /50 м^2 =6,7·10^{-3} м/с= = 6,7 мм/с.

Время пребывания воды в бассейне должно состоять из времени до начала осаждения $t_{но}$ с учётом

$\tau_{но}: \tau_{ос}=1:1,8$. (23)

$\tau_{2эт}$ = 3,3 ч+6,0 ч = 9,3 часа.

$L_2 = V_4 \cdot \tau_{2о} - 2(h - \Delta h_2)$. (24)

В примере

L_2 = 6,7·10^{-3}·9,3·3600- 2·3 = 218 м.

Для безопасности бассейн первого отстойника, где расположены электроды, должен быть ограждён сеткой, предотвращающей попадание в него посторонних металлических предметов и людей.

Общая площадь зеркала отстой-ника-осветлителя равна

$S = a (L_1+L_2)$. (25)

В примере *S* = 25(115 + 218) = =8325 м^2 = 0,83 га.

С учётом подъездных путей шириной до 6 м, земельный отвод составит *S* = 1,0 га.

Моделирование и расчет осаждения шлама показывают, что отстойник в обычных условиях должен иметь большой объем и протяженность, даже при дополнительной обработке воды постоянным пульсирующим током.

Основная причина длительного осаждения шлама заключается в большой глубине отстойника и наличие расслоения воды по температурному градиенту и боковых течений в верхних слоях воды. Подобная система не пригодна для использования в подземных условиях, где требуются небольшие габариты отстойников и высокая скорость осаждения шлама, поэтому необходима разработка специальных устройств и технологий, обеспечивающие указанные требования..

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стефанюк Б.М.* Структура воды и осветление шламовых вод физико-электрическим способом. // Теоретические и практические аспекты создания наукоёмких технологий новых уровней эффективности для сложных горно-геологических условий: Сб. докл. - Новокузнецк: СМИ, 1992.

2. *Стефанюк Б.М.* Структура воды и осветление шламовых вод физико-электрическим способом/ Современная технология разработки месторождений полезных ископаемых. – Новокузнецк: СибГИУ, 1998.

3. *Патент* РФ №2031857 C02F 1/46, B03C 5/00 / Стефанюк Б.М. заявл. 16.07.91, опубл.16.07.1995 Б.И. №19

4. *Стефанюк Б.М.* Снижение энергозатрат гидравлической технологической добычи угля. // Диссертация на соискание докт. техн. наук Институт Угля и Углехимии СО РАН, 1998. гл.7 «Физические процессы осаждения частиц в воде и пути снижения энергозатрат на осветление технологической воды».

5. *Стефанюк Б.М.* Структура воды и осветление шламовых водошахт, 6с. : Деп. в Научной библиотеке ЛНУ. Отдел рукописных, старопечатных и редкостных книг. №3595, 1998.

6. *Стефанюк Б.М.* Физика интенсификации осветления шламовой воды, 11 с. : Деп. в Научной библиотеке ЛНУ. Отдел рукописных, старопечатных и редкостных книг. №3596, 1998.

7. *Синюков В.В.* Вода известная и неизвестная. – М.: Знание, 1989. – 175 с.

8. *Сокольский Ю.М.* Омагниченная вода : правда и вымысел. – Л.: Химия, 1990. - 144 с.

9. *Мэано Н.* Наука о льде (пер. с японск.). – М.: Мир, 1988. -232 с.

10. *Кузов К.* Мир без форм (пер с болг.). – М.: Мир, 1976. -246 с.

11. *Фридрихсберг Д.А.* Курс коллоидной химии. – М.: Химия.1984. – 368 с.

12. *Адамсон А.* Физическая химия поверхностей (пер. с англ.0. – М.: Мир, 1976. - 568 с.

ГИАБ

Коротко об авторах

Сенкус В.В., Стефанюк Б.М., Вит.В. Сенкус – Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк,

© **В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк**,

УДК 622.22

В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, В.К. Буторин

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОГЛОЩЕНИЯ СКВАЖИНОЙ ВОДОНОСНОГО ПЛАСТА ПОТОКА ВОДЫ

В качестве исходных данных принимаются: мощность водоносного горизонта H_0, изменяющегося в диапазоне от 0,6 до 6,0 м; коэффициенты фильтрации грунтов k в диапазоне от $0{,}2 \cdot 10^{-6}$ м/с до $6000 \cdot 10^{-6}$ м/с; радиус влияния (дальнодействия) скважины $R_{скв}$ в диапазоне от 100 м до 3000 м; радиус скважины $r_{скв} = 0{,}1$ м.

Разность напора в скважине и пласте S_0 определяется по формуле [1]

$$S_0 = \frac{R_{скв}}{3000 \sqrt{k}}.$$

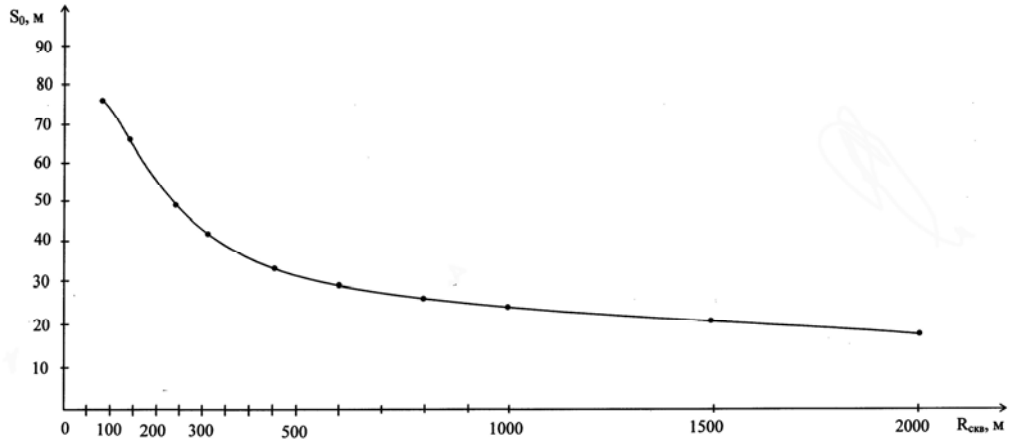
Полный напор в скважине определяется из выражения [1]

$$h_{скв} = S_0 + H_0.$$

Дебит поглощения воды скважиной определяется по формуле [1]

$$Q = 1{,}36k\frac{h_{скв}^2 - H_0^2}{\lg\frac{R_{скв}}{r_{скв}}} = 1{,}36k\frac{(h_{скв} + H_0)(h_{скв} - H_0)}{\lg\frac{R_{скв}}{r_{скв}}} = . = 1{,}36k\frac{(S_0 + 2H_0)}{\lg\frac{R_{скв}}{r_{скв}}}$$

Расчет проводится для H_0 {0,6, 1, 2, 3, 4, 5, 6}, влияние скважины $R_{скв}$, м {100, 150, 200, 300, 450, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000}.



Зависимость напора пласта S_0 от радиуса влияния скважины $R_{скв}$

Таблица 1

Изменяемые величины

№	Коэффициент фильтрации $k \cdot 10^6$, *м/с*	Радиус влияния скважины $R_{скв}$, *м*	Напор воды в пласте S_0, *м*	Грунты
1	0,2	100	74,3	Песок пылеватый
2	0,6	150	65	
3	2,0	200	47	Песок мелкозернистый
4	5,8	300	41,5	
5	23,0	450	31,2	Песок среднезернистый
6	58,0	600	26,2	Песок крупнозернистый
7	120	800	24,0	Гравий
8	225	1000	22,2	Галечник
9	580	1500	20,1	
10	1700	2000	16,0	Крупный галечник
11	6000	3000	12,9	

Таблица 2

Результаты моделирования при мощности пласта H_0 = 0,6 м

№	Коэффициент фильтрации $k \cdot 10^6$, *м/с*	Радиус влияния скважины $R_{скв}$, *м*	Напор воды в пласте S_0, *м*	Полный напор скважины $h_{скв}$, *м*	Поглатительная способность скважины Q, $м^3/с$	Поглатительная способность скважины Q, $м^3/ч$
1.	0,2	100	74,3	74,9	$0{,}509 \cdot 10^{-3}$	1,82
2.	0,6	150	65	65,6	$1{,}11 \cdot 10^{-3}$	3,91
3.	2,0	200	47	47,6	$1{,}87 \cdot 10^{-3}$	6,73
4.	5,8	300	41,5	42,1	$4{,}02 \cdot 10^{-3}$	14,5
5.	23	450	31,2	31,8	$8{,}66 \cdot 10^{-3}$	31,2
6.	58	600	26,2	26,8	$15{,}0 \cdot 10^{-3}$	53,9
7.	120	800	24,0	24,6	$25{,}29 \cdot 10^{-3}$	91,0
8.	225	1000	22,2	22,6	$39{,}74 \cdot 10^{-3}$	143,0
9.	580	1500	20,1	20,7	$80{,}86 \cdot 10^{-3}$	291,1
10.	1700	2000	16,0	16,7	$147{,}9 \cdot 10^{-3}$	532,5
11.	6000	3000	12,9	13,5	$331 \cdot 10^{-3}$	1192

Таблица 3

Результаты моделирования при мощности пласта H_0 = 1 м.

№	Коэффициент фильт-рации $k \cdot 10^6$, *м/с*	Радиус влияния скважины $R_{скв}$, *м*	Напор воды в пласте S_0, *м*	Полный напор скважины $h_{скв}$, *м*	Поглатительная способность скважины Q, $м^3/с$	Поглатительная способность скважины Q, $м^3/ч$
1	0,2	100	74,3	75,3	$0{,}507 \cdot 10^{-3}$	1,83
2	0,6	150	65	66	$1{,}12 \cdot 10^{-3}$	4,03
3	2,0	200	47	49	$1{,}90 \cdot 10^{-3}$	6,83
4	5,8	300	41,5	42,5	$4{,}10 \cdot 10^{-3}$	14,7

5	23	450	31,2	32,2	$8{,}87 \cdot 10^{-3}$	31,9
6	58	600	26,2	27,2	$15{,}4 \cdot 10^{-3}$	55,5
7	120	800	24,0	25,0	$26{,}09 \cdot 10^{-3}$	93,9
8	225	1000	22,2	23,2	$41{,}10 \cdot 10^{-3}$	148,0
9	580	1500	20,1	21,1	$83{,}90 \cdot 10^{-3}$	302,1
10	1700	2000	16,0	17,0	$154{,}8 \cdot 10^{-3}$	557,3
11	6000	3000	12,9	13,9	$350 \cdot 10^{-3}$	1260

Таблица 4

Результаты моделирования при мощности пласта H_0 = 2 м

№	Коэффициент фильт-рации $k \cdot 10^6$, *м/с*	Радиус влияния скважины $R_{скв}$, *м*	Напор воды в пласте S_0, *м*	Полный напор скважины $h_{скв}$, *м*	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/с$	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/ч$
1	0,2	100	74,3	76,3	$0{,}527 \cdot 10^{-3}$	1,9
2	0,6	150	65	67	$1{,}15 \cdot 10^{-3}$	4,15
3	2,0	200	47	49	$1{,}98 \cdot 10^{-3}$	7,11
4	5,8	300	41,5	43,5	$4{,}25 \cdot 10^{-3}$	15,3
5	23	450	31,2	33,2	$9{,}40 \cdot 10^{-3}$	33,9
6	58	600	26,2	28,2	$16{,}5 \cdot 10^{-3}$	59,5
7	120	800	24,0	26,2	$28{,}1 \cdot 10^{-3}$	101,2
8	225	1000	22,2	24,2	$44{,}5 \cdot 10^{-3}$	160,2
9	580	1500	20,1	22,1	$91{,}5 \cdot 10^{-3}$	329,4
10	1700	2000	16,0	18,0	$172 \cdot 10^{-3}$	619
11	6000	3000	12,9	14,9	$397 \cdot 10^{-3}$	1430

Таблица 5

Результаты моделирования при мощности пласта H_0 = 3 м

№	Коэффициент фильтрации $k \cdot 10^6$, *м/с*	Радиус влияния скважины $R_{скв}$, *м*	Напор воды в пласте S_0, *м*	Полный напор скважины $h_{скв}$, *м*	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/с$	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/ч$
1	0,2	100	74,3	77,3	$0{,}54 \cdot 10^{-3}$	1,95
2	0,6	150	65	68	$1{,}19 \cdot 10^{-3}$	4,27
3	2,0	200	47	50	$2{,}05 \cdot 10^{-3}$	7,74
4	5,8	300	41,5	44,5	$4{,}47 \cdot 10^{-3}$	16,1
5	23	450	31,2	34,2	$9{,}94 \cdot 10^{-3}$	35,8
6	58	600	26,2	29,3	$17{,}6 \cdot 10^{-3}$	63,4
7	120	800	24,0	27,0	$30{,}1 \cdot 10^{-3}$	108,4
8	225	1000	22,2	25,2	$47{,}9 \cdot 10^{-3}$	172,4
9	580	1500	20,1	23,1	$99{,}1 \cdot 10^{-3}$	357
10	1700	2000	16,0	19,0	$192{,}4 \cdot 10^{-3}$	693
11	6000	3000	12,9	15,9	$444{,}4 \cdot 10^{-3}$	1600

Таблица 6

Результаты моделирования при мощности пласта H_0 = 4 м

№	Коэффициент фильтрации $k \cdot 10^6$, *м/с*	Радиус влияния скважины $R_{скв}$, *м*	Напор воды в пласте S_0, *м*	Полный напор скважины $h_{скв}$, *м*	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/с$	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/ч$
1	0,2	100	74,3	78,3	$0,56 \cdot 10^{-3}$	1,99
2	0,6	150	65	69	$1,22 \cdot 10^{-3}$	4,39
3	2,0	200	47	51	$2,13 \cdot 10^{-3}$	7,67
4	5,8	300	41,5	45,5	$4,57 \cdot 10^{-3}$	16,4
5	23	450	31,2	35,2	$10,4 \cdot 10^{-3}$	37,7
6	58	600	26,2	30,2	$18,7 \cdot 10^{-3}$	67,3
7	120	800	24,0	28,0	$32,1 \cdot 10^{-3}$	115,6
8	225	1000	22,2	26,2	$51,3 \cdot 10^{-3}$	184,6
9	580	1500	20,1	24,1	$107 \cdot 10^{-3}$	384
10	1700	2000	16,0	20,0	$206 \cdot 10^{-3}$	743
11	6000	3000	12,9	16,9	$491 \cdot 10^{-3}$	1769

Таблица 7

Результаты моделирования при мощности пласта H_0 = 5 м

№	Коэффициент фильтрации $k \cdot 10^6$, *м/с*	Радиус влияния скважины $R_{скв}$, *м*	Напор воды в пласте S_0, *м*	Полный напор скважины $h_{скв}$, *м*	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/с$	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/ч$
1	0,2	100	74,3	79,3	$0,57 \cdot 10^{-3}$	2,04
2	0,6	150	65	70	$1,25 \cdot 10^{-3}$	4,51
3	2,0	200	47	52	$2,21 \cdot 10^{-3}$	7,95
4	5,8	300	41,5	46,5	$4,85 \cdot 10^{-3}$	17,5
5	23	450	31,2	36,2	$11,0 \cdot 10^{-3}$	39,6
6	58	600	26,2	31,2	$19,8 \cdot 10^{-3}$	71,3
7	120	800	24,0	29,0	$34,1 \cdot 10^{-3}$	122,8
8	225	1000	22,2	27,2	$54,7 \cdot 10^{-3}$	197
9	580	1500	20,1	25,1	$114 \cdot 10^{-3}$	411
10	1700	2000	16,0	21,0	$227 \cdot 10^{-3}$	819
11	6000	3000	12,9	17,9	$538 \cdot 10^{-3}$	1938

Таблица 8

Результаты моделирования при мощности пласта H_0 = 6 м

№	Коэффициент фильтрации $k \cdot 10^6$, *м/с*	Радиус влияния скважины $R_{скв}$, *м*	Напор воды в пласте S_0, *м*	Полный напор скважины $h_{скв}$, *м*	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/с$	Поглатительная способность скважины *Q*, $м^3/ч$
1	0,2	100	74,3	80,3	$0,58 \cdot 10^{-3}$	2,09
2	0,6	150	65	71	$1,29 \cdot 10^{-3}$	4,63
3	2,0	200	47	53	$2,29 \cdot 10^{-3}$	8,23
4	5,8	300	41,5	47,5	$5,04 \cdot 10^{-3}$	18,1
5	23	450	31,2	37,2	$11,5 \cdot 10^{-3}$	41,6
6	58	600	26,2	32,2	$20,9 \cdot 10^{-3}$	75,3
7	120	800	24,0	30,0	$36,1 \cdot 10^{-3}$	130,1

8	225	1000	22,2	28,2	$58,1 \cdot 10^{-3}$	209,1
9	580	1500	20,1	26,1	$121,9 \cdot 10^{-3}$	439
10	1700	2000	16,0	22,0	$240 \cdot 10^{-3}$	867
11	6000	3000	12,9	18,9	$585 \cdot 10^{-3}$	2108

Результаты расчета величин разности давления S_0, м. вод. ст. для различных грунтов водоносного горизонта приводятся в табл. 1; а зависимость $S_0 = f(R_{скв})$ приведена на рисунке.

В табл. 2-8 приведены расчетные данные дебита поглощения скважины Q при различных диаметрах скважины $R_{скв}$ и коэффициенте фильтрации грунтов.

Расчеты проведены для скважины, когда ее влияние на 360^0. При ограничении угла влияние скважины следует уменьшить пропорционально углу сектора α

$$Q_{огр}(\alpha) = \frac{\alpha}{360} Q .$$

При односторонней работе скважины $\alpha = 180^0$:

$$Q_{огр} = \frac{180}{360} \quad Q = 0,5 \quad Q .$$

Анализ результатов показывает, что водоносные горизонты с коэффициентом фильтрации k меньше $2 \cdot 10^{-6}$ м/с практически могут принять без нарушения структуры малое количество воды не более 8 м^3/час, а водоносные пласты (горизонты) с крупным галечником, которые являются источниками рек, речушек, ручьев и родников в состоянии принять весь шахтный приток.

Выводы

1. Для закачки шахтного притока в водоносные горизонты следует использовать пласты с крупнозернистым песком, гравием, галечником и крупным галечником, которые могут принять от 50 м^3/час до 2000 м^3/час воды в зависимости от мощности.
2. При односторонней работе скважины ее дебит уменьшается вдвое.
3. При нагнетании воды под давлением, отвечающему дебиту структура водоносного горизонта не нарушается, а ее работа не ограничивается во времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Штеренлихт, Д.В.* Гидравлика. Книга 2 [Текст] / Штеренлихт, Д.В. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 367 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Сенкус В.В., Стефанюк Б.М., Буторин В.К.– Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк.

Статьи авторов *Сенкуса В.В., Стефанюка Б.М., Буторина В.К.* представлены Новокузнецким филиалом - институтом ГОУВПО «Кемеровский государственный университет.
Рецензенты: *Мельник В.В.,* доктор технических наук, профессор,
Атрушкевич В.А., доктор технических наук, профессор,
Московский государственный горный университет.