

Д-р техн. наук А.Д. Полулях
(УкрНИИУглеобогащение),
В.И. Чмелев
(ОАО ЦОФ "Пролетарская"),
асп. О.В. Ищенко
(Национальный горный университет)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСАЖДЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ

Наведена енергетична модель осадження вугільної суспензії у згущувачі. Встановлені залежності швидкості осадження та порізності суспензій від глибини згущувача.

POWER MODEL OF SEDIMENTATION OF SUSPENSIONS

The power model of sedimentation of coal suspension in a thickener is given. Dependences of speed of sedimentation and porosity suspensions from depth of a thickener are established

Изменение энергетического состояния зернистой среды при осаждении ее в жидкости происходит под действием силы тяжести (в гравитационных аппаратах) или центробежной силы (в центробежных аппаратах) и может быть оценено выражением:

$$\Delta E = \frac{E_0 - E}{E_0} = \frac{m_0 - m}{1 - m}; \quad (1)$$

где E_0 , E – соответственно начальное и конечное энергосостояние зернистой среды; m_0 , m – соответственно начальная и конечная порозность суспензии.

Целью данной статьи является выбор оптимальных параметров сгустителей угольной суспензии. Зернистую среду в данном случае можно рассматривать как некоторую единую пористую систему, которая при своем оседании в жидкости изменяет свои параметры такие как: порозность и скорость. Эта система, характеризующаяся большой порозностью в области коллективного осаждения, относительно быстро уплотняется в переходной области и становится более плотной в осадке. Следовательно, чем более удалены от поверхности участки, тем им соответствует большее сопротивление, препятствующее фильтрованию жидкости вверх и опусканию системы твердых частиц вниз. Когда в области осадка сопротивление движению жидкости достигает значения равного относительно весу материала, находящемуся на этом участке, в случайно расположенных точках пониженной прочности целостность слоя осадка будет нарушаться разрывами. Через эти разрывы жидкость будет выходить вверх. А в переходной области разрывы исчезают.

Главным фактором определяющим скорость движения системы твердых частиц вниз на любом уровне является порозность этой системы на данном уровне [1,2]. Д.М. Минц также установил, что скорость осаждения взвесей в области ламинарного движения не зависит от размера частиц, а зависит только от их концентрации (порозности) [3].

В этой связи первостепенное значение для зернистых сред, при осаждении, приобретает закономерность изменения их порозности по высоте осадительного аппарата. Это объясняет изменение скорости осаждения твердой фазы.

Рассмотрим осветление некоторого объема суспензии высотой H . Допустим, что к некоторому моменту времени граница между осветленной жидкостью и сгущенной суспензией опустится на глубину h_1 . За следующий промежуток времени Δt граница осаждения окажется на глубине h_2 , так что $h_1 - h_2 = \Delta h$. При этом изменение средней порозности составит:

$$-\Delta m_c = m_2 - m_1 = \left[1 - \frac{G}{\delta \cdot S} \cdot \frac{1}{(H - h_2)} \right] - \left[1 - \frac{G}{\delta \cdot S} \cdot \frac{1}{(H - h_1)} \right]; \quad (2)$$

где m_1, m_2 – порозность суспензии соответственно в начале и после некоторого времени Δt осаждения суспензии; G, δ – масса и плотность суспензоида; S, H – площадь поперечного сечения и высота данного объема.

Знак минус означает, что порозность уменьшается. Преобразуя выражение (2), получим:

$$-\Delta m_c = \frac{G}{\delta \cdot S} \cdot \frac{\Delta h}{(H - h_1) \cdot (H - h_2)}; \quad (3)$$

Если отрезок времени Δt стремится к бесконечно малой величине, то Δh стремится к малой величине dh , при этом h_1 незначительно отличается от h_2 и можно принять, что $h_1 = h_2 = h$ тогда выражение (3) примет вид:

$$-\frac{dm_c}{dh} = \frac{G}{\delta \cdot S} \cdot \frac{dh}{(H - h)^2}; \quad (4)$$

Интегрируя выражение (4) получим:

$$-m_c = \frac{G}{\delta \cdot S} \cdot \frac{1}{H - h} + C; \quad (5)$$

где C – постоянная интегрирования.

В осадительном аппарате непрерывного действия, при подаче в него суспензии постоянной порозности и постоянного объема в единицу времени, по глубине аппарата устанавливается зависимость изменения порозности от глубины h . Эта закономерность при установившемся режиме загрузки и разгрузки аппарата не изменяется во времени. Постоянную интегрирования в выражении (5) можно определить из начальных условий. При $h=0$ порозность суспензии в поверхностном слое равна порозности подаваемой в аппарат суспензии, тогда:

$$-m_0 = \frac{G}{\delta \cdot S} \frac{1}{H} + C;$$

откуда

$$m_c = m_0 - q_0 \cdot \frac{h}{H(H-h)}; \quad (6)$$

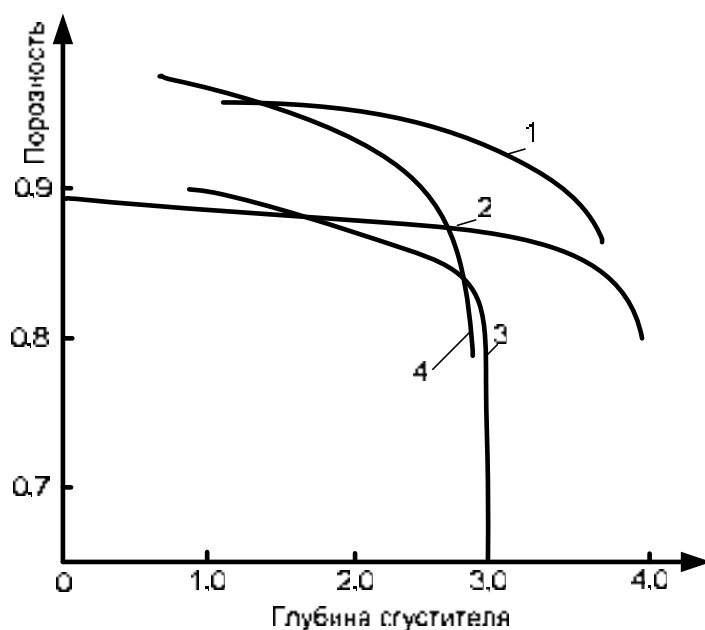
где $q_0 = \frac{G}{\delta \cdot S}$ – удельная объемная нагрузка твердого в питании на единицу площади, $\text{м}^3/\text{м}^2$.

Как видно из выражения (6), в плотных суспензиях изменение порозности по глубине происходит довольно равномерно. В разжиженных суспензиях уменьшение порозности, на большей части глубины аппарата, незначительное и только у дна аппарата порозность резко уменьшается.

Данная зависимость справедлива по всей глубине осадительного аппарата до границы уплотненного осадка. С некоторым допущением можно считать, что порозность осадка постоянна по его толщине h_{oc} . Введя в формулу (6) h_{oc} получим:

$$m_{oc} = m_0 - q_0 \cdot \frac{h_{oc}/H}{1-h_{oc}/H} = m_0 - q_0 \cdot \frac{a}{H(1-a)};$$

В промышленном сгустительном аппарате могут наблюдаться нарушения зависимости (6), которые объясняются местными гидродинамическими возмущениями потоков. Однако в среднем по всему объему аппарата полученная зависимость изменения порозности по высоте всегда справедлива (рис. 1).



1,2 – по замерам авторов, 3 – по данным [4], 4 – по данным [5]
Рис. 1 – Изменение порозности суспензии по глубине сгустителя

Тогда снижение потенциальной энергии системы в соответствии с (1) составит:

$$\Delta E = \frac{m_0 - m_{oc}}{1 - m_{oc}} = \frac{q_0(1 - a)}{aH(1 - m_0) + q_0(1 - a)}; \quad (7)$$

Объем твердого в сгустителе за вычетом слоя осадка определяется интегрированием зависимости (7) по высоте аппарата и составит:

$$V_T = S[Hm_0(1 - a) + q_0(\ln \frac{1}{a} - (1 - a))], \text{ м}^3$$

Объем жидкости:

$$V_B = S[H(1 - a)(1 - m_0) - q_0(\ln \frac{1}{a} - (1 - a))], \text{ м}^3$$

Для процесса сгущения суспензий важно установить также зависимость скорости осаждения твердой фазы от порозности суспензии. Эта зависимость может быть установлена как при непосредственном изучении процесса осаждения, так и при взвешивании зернистых сред в ламинарном потоке жидкости. В последнем случае, пользуясь принципом относительности движения твердой и жидких фаз, зависимость скорости осаждения можно установить из закона фильтрации (уравнение Козена-Кармана):

$$\varpi = K \frac{\Delta P}{\mu h} = C \frac{m_c^3}{(1 - m_c)^2} (1 - m_c)(\delta - \Delta) = C_1 \frac{m_c^3}{(1 - m_c)}; \quad (8)$$

где K – проницаемость осадка; ΔP – перепад давления; Δ – плотность воды; μ – коэффициент вязкости; C и C_1 – коэффициенты пропорциональности.

В выражении (8) скорость фильтрации ϖ одновременно равна скорости осаждения твердой фазы – V . Зависимости скорости осаждения от порозности суспензии описаны в литературе [6], однако теоретические и экспериментальные данные приводят к другому выводу.

Известно, что проницаемость среды есть обратная величина квадрата удельной поверхности [3]. Для взвешенной среды, когда она раскрыта, изменение ее удельной поверхности происходит только за счет изменения порозности, тогда:

$$K = \frac{1}{\rho_0^2} = \frac{1}{\rho_r^2(1 - m_c)^2} = C_2 \frac{1}{(1 - m_c)^2}; \quad (9)$$

$$\rho_0 = \rho_r(1 - m_c)$$

$$\varpi = K \frac{\Delta P}{\mu h} = \frac{C_2}{\mu} \frac{1}{(1 - m_c)} (1 - m_c)(\delta - \Delta) = C_3 \frac{1}{(1 - m_c)}; \quad (10)$$

где ρ_0 – удельная поверхность зернистой среды; ρ_r - удельная поверхность частиц.

Т.е. скорость фильтрации (осаждения) обратно пропорциональна объемному содержанию твердой фазы.

В таблице 1 приведены результаты взвешивания угля и песка в потоке воды.

Таблица 1 – Результаты взвешивания угля и песка в потоке воды

Потери напора, кг/м ²	Высота слоя, мм	Порозность слоя	Скорость фильтрации, м/с	Проницаемость слоя, $K_c \cdot 10^2, \text{м}^2$
Уголь (кл. 1-3 мм) в потоке воды:				
-	47	0,480	-	4,40
5,0	52	0,530	$0,302 \cdot 10^{-2}$	5,36
4,0	67	0,635	$0,656 \cdot 10^{-2}$	8,30
11,0	92	0,733	$1,074 \cdot 10^{-2}$	13,10
8,0	120	0,796	$1,272 \cdot 10^{-2}$	18,60
13,0	125	0,805	$1,53 \cdot 10^{-2}$	19,60
Песок (кл. 1-2 мм) в потоке воды:				
-	80	0,480	-	12,72
11,0	94	0,556	$1,37 \cdot 10^{-2}$	14,95
18,0	107	0,610	$1,80 \cdot 10^{-2}$	17,05
24,0	160	0,740	$3,80 \cdot 10^{-2}$	25,50
36,0	200	0,792	$4,46 \cdot 10^{-2}$	-

Зависимость проницаемости и зависимости скорости осаждения твердой фазы от порозности суспензии, представленные на рисунках 2 и 3, подтверждают справедливость уравнений (9) и (10).

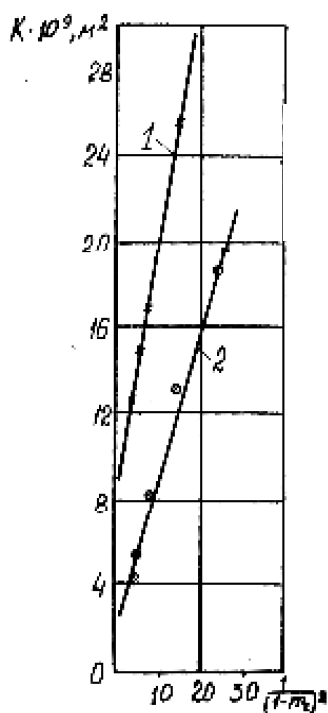
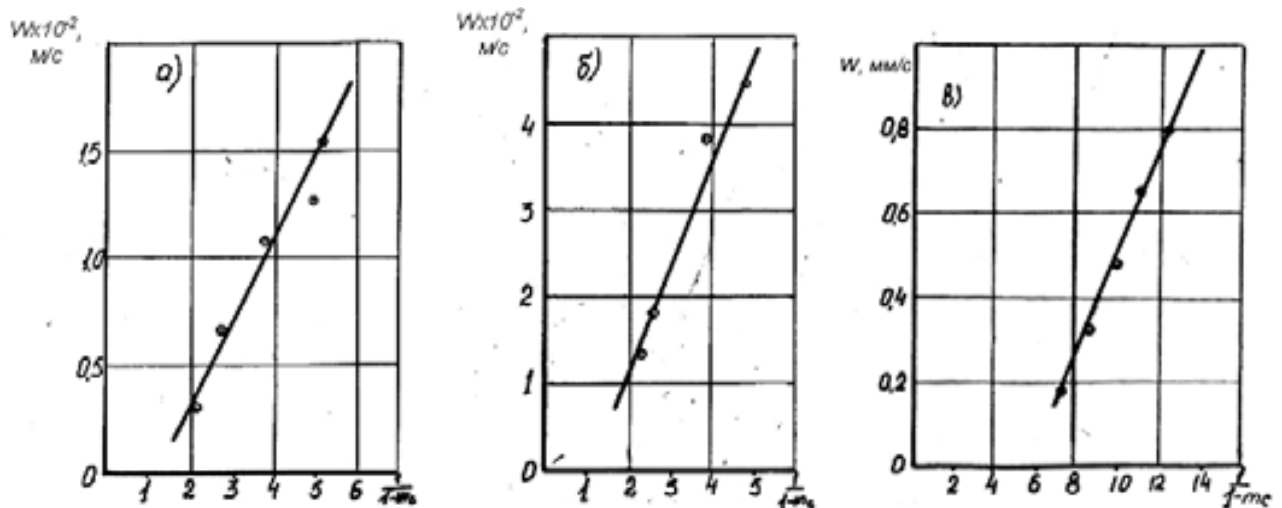


Рис. 2 – Зависимость проницаемости $K=f(1/(1-m_c)^2)$: 1-песок; 2-уголь.



а – уголь; б – песок; в – отходы флотации
 Рис.3 – Зависимости скорости осаждения суспензий от их порозности

В процессе сгущения суспензии в сгустителе изменение скорости осаждения по глубине аппарата в соответствии с (10) примет вид:

$$V = C_3 \frac{1}{(1 - m_c)} = C_3 \frac{1}{\left[(1 - m_c) + q_0 \frac{h}{H(H - h)} \right]}$$

Отношение скоростей в двух сечениях, расположенных на разной глубине составляет:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1 - m_{c2}}{1 - m_{c1}}$$

То же самое можно получить из условий неразрывности потока твердого в сгустителе при работе его в установившемся режиме:

$$V_1 S (1 - m_{c1}) = V_2 S (1 - m_{c2});$$

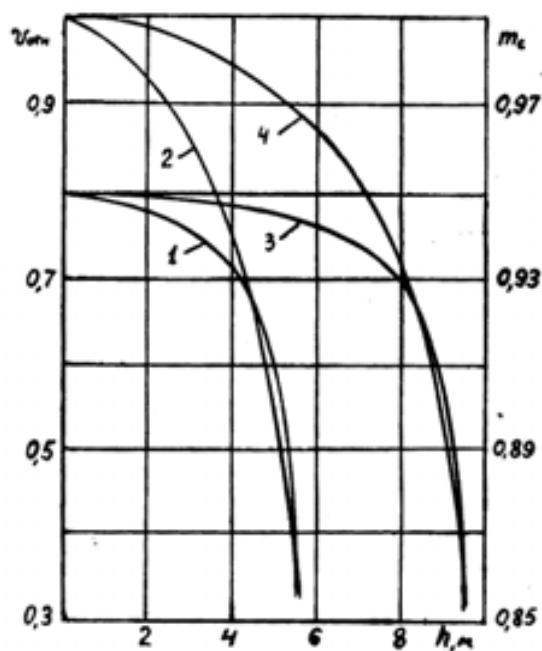
Зависимость скорости осаждения от глубины для двух сгустителей разной общей высоты приведена на рис. 4. Из которого следует, что на одной и той же глубине, скорость осаждения для сгустителя большей высоты выше, а значит и удельная производительность таких аппаратов выше.

Выводы:

1. Скорость осаждения и удельная производительность тем больше, чем больше его высота. Это связано с особенностями распределения порозности суспензии по высоте сгустителя.

2. С точки зрения степени сгущения и величины удельной производительно-

сти высотные сгустители предпочтительнее радиальных.



H=6 м; 1-скорость, 2-порозность; H=10м: 3-скорость, 4-порозность

Рис. 4 – Зависимость скорости осаждения и порозности суспензии от глубины сгустителя

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баттаглия А. Обезвоживание продуктов обогащения и циркуляция моечных вод. – М.: Недра, 1967. – 307 с.
2. Кузькин С.Ф., Небера В.Г. Синтетические флокулянты в процессе обезвоживания. – М.: Недра, Госгортехиздат, 1963. – 242 с.
3. Минц В.В. Осаждение концентрированных суспензий // Химическая промышленность, 1954. – №1. – С. 24-36.
4. Сэкигути Ицума Поведение взвешенных твердых частиц в сгустителе // Танко Перзюцу, 1974. – №3. – С. 5-10.
5. Панфилов Ф.А., Острый В.А., Тресков Е.Г. Создание и испытание сгустителя со временным слоем // Уголь, 1984. – №2. – С. 34-36.
6. Самылин Н.А., Золотко А.А., Починок В.В. Наладка и регулировка отсадочных машин на углеобогажительных фабриках. – М.:Недра. – 1977. – 134 с.