

ФИЛЬТРАЦИОННОЕ ОСВЕТЛЕНИЕ МАЛОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СУСПЕНЗИЙ

Макалада сууну тазалоо үчүн ар кандай чыптамаларды жана фильтрлөөчү катмарлары колдонуунун негизи берилген.

В статье изложены основы фильтрационного осветления загрязненных вод суспензионными примесями.

На практике известны теории очистки воды фильтрованием Ю.М. Шехтмана, В.А. Клячко, К. Айвеса, Д.М. Минца, В. Мацкрле, С. Лерка и ряда других авторов, отличающихся различными представлениями о механизме процесса фильтрования.

Ряд авторов считает, что механизм фильтрационной очистки воды обусловлен лишь изменением геометрических характеристик пористой среды, которые приводят к уменьшению вероятности прилипания частиц к зернам загрузки и к ранее прилипшим частицам.

Ю.М. Шехтман [1] в своих ранних работах предполагал, что снижение задерживающей способности загрузки объясняется уменьшением объема пор и соответствующим увеличением истинной скорости потока в толще заиляющегося зернистого слоя. Величина насыщенности порового пространства при этом может быть сколь угодно близкой к единице, а истинная скорость может неограниченно возрастать. Аналогичной концепции придерживается К. Лерк [2].

К. Айвес считает, что по мере накопления осадка уменьшается поверхность прилипания и извилистость потока в порах [3]. В. Мацкрле [4] разработал теорию, в которой предполагает, что по мере накопления отложений уменьшается удельная поверхность поровых каналов, к которой прилипают частицы взвеси.

В 1951г. Д.М. Минц [5] выдвинул гипотезу о механизме фильтрационного процесса, обуславливающего снижение задерживающей способности зернистой загрузки при работе фильтра. Согласно этой гипотезе, осадок, накапливающийся в толще фильтрующей загрузки, подвергается воздействию гидродинамических сил потока, которые возрастают по мере накопления отложений. Под влиянием этих сил неравнопрочная структура осадка частично разрушается и некоторая его часть в виде мелких хлопьев отрывается и переносится в последующие слои загрузки, где задерживается вновь.

Следовательно, при осветлении воды фильтрованием одновременно происходят два противоположных процесса: изъятие частиц из воды и их закрепление на зернах загрузки или на ранее осевших загрязнениях под действием молекулярных сил Ван дер Ваальса и отрыв ранее прилипших частиц. В начале процесса фильтрования преобладает задержание частиц и слой осветляет воду. В дальнейшем все в большей степени сказывается процесс разрушения и отрыва частиц. Когда оба процесса уравниваются наступает состояние предельного насыщения и слой перестает осветлять воду.

По мнению Д.М. Минца изменение динамических условий фильтрования при накоплении отложений в толще фильтра является основной причиной уменьшения задерживающей способности слоев фильтрующей загрузки. Прочностные свойства осадка при этом являются важнейшим фактором, определяющим его фильтрационные свойства.

Таким образом, в настоящее время имеется две принципиально отличные концепции, объясняющие механизм фильтрационного процесса: гидродинамическая, согласно которой механизм процесса обусловлен изменением гидродинамических

условий фильтрации, и геометрическая, объясняющая механизм фильтрационного процесса изменением параметров геометрической структуры пористой среды.

Для подтверждения геометрической концепции исследователи использовали только косвенные методы определения количества отложений в порах фильтрующей среды: путем расчета объема по балансу вещества [6] или путем измерения объема осадка в промывной воде после ее отстаивания [7]. В первом случае приблизительно задаются плотностью осадка в порах, во втором - полагают, что плотность вымытого и осевшего осадка равна его плотности в порах.

Для доказательства гидродинамической концепции были проведены эксперименты, убедительно подтвердившие существенную роль явления отрыва частиц [8]. В этих опытах путем измерений и визуально наблюдали вынос хлопьев из песчаной загрузки, интенсивность которого возрастала с ростом гидродинамических сил.

Несомненным косвенным доказательством гидродинамической теории является также технологический эффект, наблюдаемый при добавлении в воду высокомолекулярных флокулянтов. Этот эффект весьма просто объяснить увеличением прочности поровых отложений, но трудно объяснить с позиций геометрической теории, поскольку она не рассматривает влияние прочностных свойств осадка на механизм процесса фильтрации.

Явление отрыва частиц, когда в фильтрате небольшого по высоте фильтрующего слоя были видны частицы значительного размера, а в исходной воде не было видимых хлопьев, наблюдали многие специалисты [9,10].

В одной из последних работ [11] К. Айвес солидаризируется с теорией развитой Д.М. Минцем о наличии явления отрыва ранее задержанных малопрочных отложений на процесс очистки малоконцентрированных суспензий.

Практическое значение любой теории заключается в возможности осуществления на ее основе технологических и оптимизационных расчетов. Наибольшее признание в настоящее время имеет теория фильтрации малоконцентрированных суспензий Д.М. Минца, которая получила экспериментальное подтверждение и доведена до практического использования.

В настоящее время это единственная теория, которая, благодаря разработке метода технологического моделирования процесса очистки воды фильтрацией, позволяет осуществлять количественную оценку процессов, происходящих в толще зернистой фильтрующей среды, и на этой основе осуществлять сравнение различных фильтрующих загрузок и конструкций фильтровальных сооружений при очистке воды различного качества.

В соответствии с теорией фильтрации малоконцентрированных суспензий Д.М. Минца при осуществлении такого процесса с постоянной скоростью фильтрации в течение определенного времени фильтрующая загрузка способна осветлять воду до заданной степени. Время, в течение которого обеспечивается требуемая степень очистки воды, определяет продолжительность защитного действия загрузки t_3 , а время, в течение которого потери напора возрастают до максимально возможного для данной конструкции фильтра значения, называется временем достижения предельной потери напора t_H . Расчет фильтров сводится к определению этих показателей их работы и оптимизации технологического режима при условии, когда время защитного действия фильтрующей загрузки равно времени достижения предельной потери напора в загрузке.

Эффект осветления воды каждым элементарным слоем загрузки представляет собой суммарный результат двух противоположных процессов: процесса изъятия частиц из воды и их закрепления на зернах загрузки под действием сил прилипания и процесса отрыва ранее прилипших частиц и обратного их поступления в воду под влиянием гидродинамических сил потока.

Осветление воды в каждом элементарном слое происходит до тех пор, пока интенсивность прилипания частиц превышает интенсивность отрыва частиц взвеси.

Явления прилипания и отрыва частиц определяют ход процесса осветления воды и роста гидродинамического сопротивления по толщине слоя фильтрующей загрузки и во времени.

На графике (Рис.1) представлены характерные экспериментальные кривые изменения концентрации взвеси в воде и потери напора в фильтрующем слое. Из графиков видно, что с уменьшением роли первых фильтрующих слоев возрастает роль нижерасположенных по ходу движения воды слоев загрузки, а толщина слоя загрузки, необходимая для извлечения из воды всей массы взвеси увеличивается. Затем наступает такой момент, когда вся имеющаяся толщина загрузки оказывается уже недостаточной для обеспечения требуемой степени осветления воды и концентрация взвеси на выходе из загрузки начинает увеличиваться, при этом если она превышает допустимое значение, то это означает, что период защитного действия загрузки исчерпан.

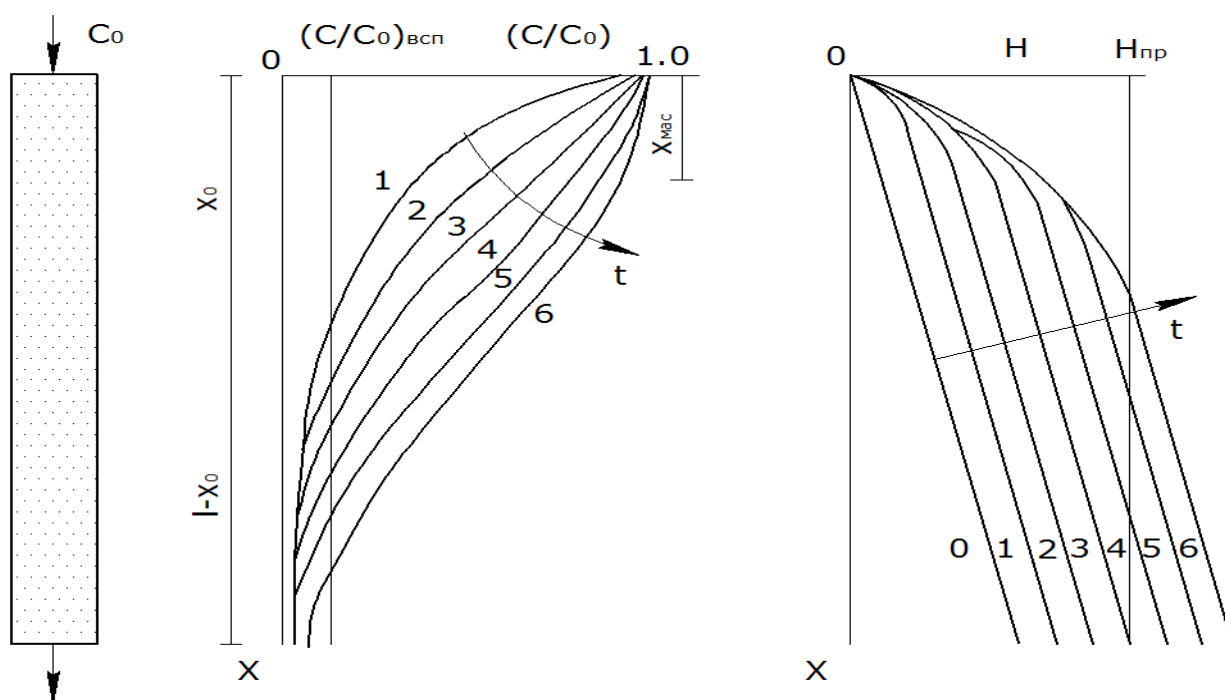


Рис. 1. Изменение концентрации суспензии C/C_0 и прирост потери напора H в зависимости от высоты фильтра и продолжительности фильтрования.

Кинетика фильтрования суспензий с малопрочной, сильногидратированной взвесью через фильтрующую загрузку в общем виде записывается в виде дифференциального уравнения:

$$-\frac{\partial C}{\partial X} = f(C, \rho). \quad (1)$$

В частности для малоконцентрированных суспензий Д.М.Минцем была предложена линейная модель кинетики фильтрации:

$$-\frac{\partial C}{\partial X} = bC - \frac{a\rho}{v}, \quad (2)$$

где C - концентрация взвеси; x - высота фильтрующего слоя; b - параметр фильтрования, характеризующий интенсивность прилипания взвешенных частиц к зернам загрузки; a - параметр, характеризующий интенсивность отрыва ранее задержанных частиц; ρ - плотность насыщения фильтрующей загрузки осадком; v - скорость фильтрования.

В систему уравнений динамики фильтрования входит также уравнение баланса:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = v \frac{\partial C}{\partial X}, \quad (3)$$

где t - продолжительность фильтрования.

Для ряда случаев уравнение кинетики фильтрования является нелинейным, и для них доказывалось существование режима параллельного переноса фронта концентраций. В режиме параллельного переноса зависимость времени защитного действия и прироста потери напора от времени являются линейными функциями.

Для линейной модели (1.2)-(1.3) получено уравнение:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial X \partial t} + a \frac{\partial C}{\partial X} + b \frac{\partial C}{\partial t} = 0. \quad (4)$$

Это уравнение было использовано для разработки и обоснования метода технологического моделирования. Отметим также, что уравнение (4) используется для расчета динамики сорбционных процессов при линейной изотерме.

Основой метода технологического моделирования являются уравнения для расчета времени защитного действия и времени достижения предельной потери напора:

$$t_3 = \frac{1}{K} \frac{b}{a} \left(x - \frac{X_0}{b} \right), \quad (5)$$

$$t_H = \frac{H_{np} - H_0}{i \times F(A) \times \frac{a}{b}}, \quad (6)$$

где: K и X_0 - константы, зависящие только от требуемого эффекта осветления воды C/C_0 ; H_{np} и H_0 - значения предельной и начальной потери напора в фильтрующем слое; $F(A)$ - функция предельной насыщенности порового пространства отложениями.

В более поздних исследованиях рядом отечественных и зарубежных исследователей [12,13,14,15,16,17] осуществлялось развитие теории фильтрования малоцентрированных суспензий. Эти исследования касались либо развития представлений о механизмах транспортирования взвешенных частиц и их закрепления на поверхности зерен фильтрующей среды, либо влияния структурно-механических свойств осадка на параметры кинетики процесса очистки воды фильтрованием.

Проводились также исследования по влиянию отдельных показателей геометрической структуры фильтрующей среды новых зернистых материалов на процесс фильтрования малоцентрированных суспензий. Однако, в целом, общая картина процесса очистки воды фильтрованием, описываемая теорией фильтрования Д.М. Минца, осталась прежней и только получила дополнительное теоритическое и экспериментальное подтверждение.

Список литературы

1. Шехтман Ю.М. Фильтрация малоцентрированных суспензий. Изд. АН СССР, М.,1961.
2. Lerk C.F. Some Aspects of the Deferrisation of Groun-dwater. Technical University, Netherlands, 1965.
3. Ives K.J. Filtration using Radioactive Algae. American Society of Civil Engineers. Vol.127, Part 3. 1962.
4. Mackrle V. The Theory of Rapid Filtration. Internati-onal Water Supply Congress, Barcelona, 1966.
5. Минц Д.М. Кинетика фильтрации малоцентрированных водных суспензий на водоочистных фильтрах. ДАН, т.8, №2. – М., 1951.
6. Петров Е.Г. Исследование характеристик фильтрующих материалов и расчет многослойных загрузок водоочистных фильтров. Кандидатская диссертация.-Л.,1969.
7. Орнатский Н.В., Сергеев Е.М., Шехтман Ю.М. Исследование процесса коагуляции песков. – М.: Изд-во Московского университета, 1955.
8. Минц Д.М. Контактные осветлители для очистки воды. - М.: Изд. МКХ РСФСР, 1955.

9. Минц Д.М., Криштул В.П. Моделирование процесса фильтрации суспензий через зернистые слои. Сб. научных работ АКХ, № 1. – М.: Изд. МКХ РСФСР, 1960.
10. Митин Б.А. Исследование насыщения порового пространства и изменения потерь напора при фильтровании. Сборник "Процессы фильтрования при очистке природных и сточных вод". Южно-уральское изд-во, 1965.
11. Ives K.J. Model Study of Filter Deposition Mechanisms. Department of Civil and Municipal Engineering. London. 1970.
12. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. Справочное пособие. - Л., Стройиздат, 1985. (авторские 60 стр.).
13. Веницианов Е.В., Рубинштейн Р.Н. Динамика сорбции из жидких сред. М. Наука. 1983.
14. Журба М.Г. Очистка воды на зернистых фильтрах. Львов. Віща школа, 1980.
15. Митин Б.А. Исследование влияния структурно-механических свойств осадка на работу осветлительных фильтров. Канд. диссертация. Челябинск, 1964.
16. Ярошевская Н.В. Исследование зернистых материалов и влияния их свойств на процесс очистки воды фильтрованием. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киев, 1980.
17. Ives K.J. Model Study of Filter Deposition Mechanisms. Department of Civil and Municipal Engineering. London. 1970.