

Тагибаев Д.Д.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРЯМОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОСТИ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ОТЛОЖЕНИЯМИ**

*D.D.Tagibaev*

**DEVELOPMENT OF THE METHOD OF DIRECT DETERMINE THE SATURATION OF POROUS SPACE DEPOSITS**

УДК:631/033

*Макалада суу тазалоочу филтирлердин өз ара торчолорунун, кармалган кирлери менен, бош мейкиндиктеринин толушун аныктоо жолу берилген.*

*В статье дан разработанный метод, который позволяет определить непосредственной насыщенности порового пространства фильтрующей загрузки задерживаемыми отложениями.*

*The paper developed a method that allows to define direct saturation of porous space of filtering media detain deposits.*

Зависимость гидравлического сопротивления фильтрующей среды от насыщенности порового пространства отложениями является фундаментальной в теории фильтрования суспензий. На практике формулы, предложенные различными авторами дают резко расходящиеся результаты (табл. 1.1., рис. 1.5.). Обычно расхождение результатов расчета по эмпирическим формулам объясняется различием в условиях проведения опытов. В данном случае такое объяснение не является удовлетворительным. Действительная причина расхождений состоит в том, что ни одна из предложенных формул, по существу, не была проверена эмпирически. Выражая гидравлическое сопротивление в, функции насыщенности, исследователи пользовались лишь косвенными методами определения насыщенности, а не ее прямыми измерениями. Величина объема осадка в порах фильтрующего слоя либо вычислялась по балансу вещества, прошедшего через фильтрующий слой [1], либо измерялась по объему осадка в промывной воде после ее отстаивания [2, 3].

В первом случае с достаточной точностью можно установить вес осадка, однако нельзя вычислить его объем, поскольку неизвестна истинная плотность отложений в поровом пространстве зернистого фильтра. Во втором случае нет никаких доказательств того, что осадок после отстаивания и в порах загрузки занимает один и тот же объем.

Д.М. Минц на 7-ом Международном конгрессе по водоснабжению в Барселоне [4] показал, что неизбежная при косвенных методах определения ошибка может привести к прямо-противоположным выводам о характере изменения геометрической структуры пористой среды при ее заилении. Поэто-

му, для установления зависимости гидравлического сопротивления от степени заиления пористой среды необходимо использовать не косвенные, а прямые методы измерения объема поровых отложений.

Отсутствие методов прямого определения насыщенности порового пространства объясняется экспериментальными трудностями проведения подобных измерений без нарушения малопрочной структуры гидратированного осадка в порах зернистого фильтра. Нами было испытано несколько возможных методов определения величины объема поровых отложений непосредственно в толще заиленного фильтрующего слоя. Среди них метод вытеснения, заключающийся в замещении воды из объема пор заиленной фильтрующей загрузки с помощью жидкости несмешивающейся с водой, метод измерения объема отложений по электропроводности фильтрующей среды и метод определения насыщенности с использованием индикатора - "способ меток". Наилучшие результаты были получены при использовании последнего метода.

Для определения скоростей движения жидкостей и газов в технике широко используется "способ меток", при котором скорость определяется по времени прохождения метки между двумя сечениями потока. В качестве метки могут быть использованы различные красители, электролиты, радиоактивные изотопы, инертные газы и пр.

В подземной гидравлике для определения проницаемости грунтов также используется способ меток [5]. Время прохождения потока между двумя скважинами определяется по индикаторным диаграммам, на которых фиксируется изменение концентрации индикатора во времени.

"Способ меток" может быть использован для определения истинной скорости движения жидкости в заиленном слое фильтрующей загрузки. Зная скорость фильтрации и истинную скорость можно определить пористость фильтрующего слоя из известного соотношения:

$$m = \frac{V_{\phi}}{V_{ист}} \quad (1)$$

И насыщенность порового пространства отложениями по формуле

$$\delta = \frac{m_0 - m}{m_0}, \quad (2)$$

где  $V_{\phi}$  – скорость фильтрации;

$V_{ист}$  – истинная скорость движения жидкости в порах заиленного фильтрующего слоя;

$m_0$  – пористость незаиленного фильтрующего слоя.

Единственная попытка прямого определения насыщенности порового пространства с использованием "способа меток" была сделана в исследованиях Б.А. Митина [6,7]. В своих опытах он

измерял электропроводность фильтруемой суспензии при разбавлении ее в момент определения дистиллированной водой. Изменение электропроводности при последовательном прохождении "метки" между тремя парами электродов регистрировалось ленточным самописцем, на котором записывалась ступенчатая диаграмма (рис.1.). По диаграмме определялось время прохождения струй жидкости между контрольными электродами и затем рассчитывалась скорость фильтрации и истинная скорость движения суспензии в порах заиленного фильтра.

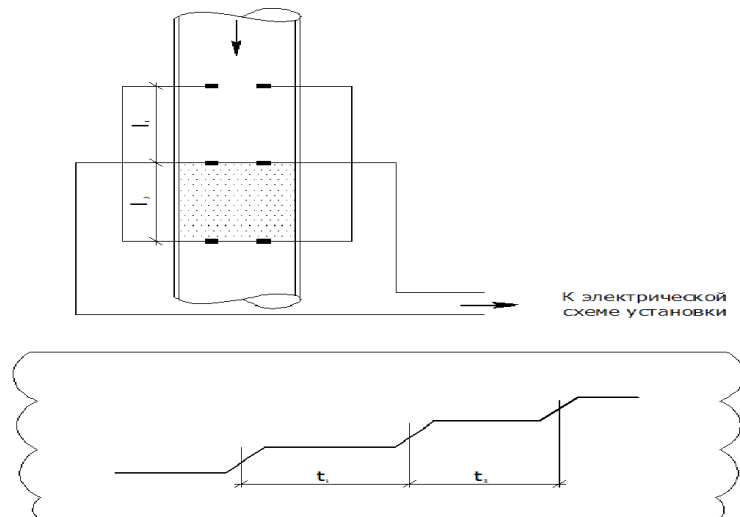


Рис. 1. Расположение электродов в фильтровальной колонке и вид записи на ленточном самописце Б. А. Митина.

Таким образом, Б.А.Митину удалось проследить за кинетикой изменения пористости, а следовательно, и насыщенности в процессе заиления фильтрующей среды и изучить влияние насыщенности на гидравлическое сопротивление фильтрующего слоя (рис.2).

В его опытах на модели фильтра с зернистым фильтрующим слоем из песка и свинцовой дроби проводилось фильтрование суспензий кварца, гидроксида алюминия, а также суспензии кварца, скоагулированной серноокислым алюминием. В некоторых опытах проверялось действие флокулянта - полиакриламида.

Б.А. Митин пришел к выводу, что связь между гидравлическим уклоном и насыщенностью может быть выражена формулой вида:

$$\frac{i}{i_0} = \left( \frac{1}{1-\delta} \right)^n, \quad (3)$$

в которой показатель степени "n" зависит от свойств фильтруемой суспензии. Вычисленные значения "n" приведены в табл.1. Полученные данные позволили Б.А. Митину сделать вывод о том, что характер изменения потерь напора в функции насыщенности порового пространства зависит от

прочности отдельных агрегатов, из которых формируется осадок. Им дано следующее объяснение этому предположению: пластичный мелкозернистый осадок распределяется в порах фильтра равномерно, легко перемещается из слоя в слой и не создает значительного сопротивления движению жидкости, а осадок из прочных агрегатов защемляется в горловинах поровых каналов, при этом гидравлическое сопротивление фильтров резко возрастает.

Данные Б.А. Митина относятся к нехарактерным для обработки воды суспензиям. Эти данные должны быть проверены и дополнены в опытах с фильтрованием цветных и мутных вод, обработанных коагулянтами и флокулянтами, для того, чтобы установить связь между гидравлическим сопротивлением и насыщенностью порового пространства отложениями для реальных вод обычных методов их обработки.

Таблица 1.

№ п/п	Вид суспензии	Показатель степени «n»
1.	Суспензия кварца	1,5 – 1,9
2.	Суспензия кварца, скоагулированная серноокислым алюминием по методу контактной коагуляции	2,3 – 2,6
3.	Суспензия гидроокиси алюминия в «возрасте» до 24 ч.	2,0 – 2,7
4.	То же более 24 ч.	2,8 – 3,0
5.	Суспензия гидроокиси алюминия и суспензия кварца, скоагулированные серноокислым алюминием с добавкой ПАА	2,8 – 3,3

Кроме того, следует отметить, что в работе, проведенной Б.А. Митиным, имеется ряд недостатков, которые не могли не отразиться на точности полученных им данных. Эти недостатки относятся как к технике проведения экспериментов, так и к способу обработки экспериментальных данных:

– при импульсном вводе дистиллированной воды резко увеличивается скорость движения суспензии, что, несомненно, нарушает структуру отложений в порах, и некоторая часть осадка вымывается из тонкого слоя загрузки, в котором производят измерения.

– в опытах остался неизученным характер изменения гидравлического сопротивления во всем диапазоне изменения насыщенности. Б.А. Митин ограничился лишь определением среднеарифметического значения показателя степени "n" в формуле 3.

Несмотря на отмеченные недостатки примененной Б.А. Митиным методики, важно отметить, что он впервые сумел преодолеть основные трудности прямого определения объема отложений в толще фильтрующего материала и показал возможность применения индикаторного метода для этой цели.

С целью установления закономерностей изменения геометрических и гидравлических характеристик пористой среды в процессе кольтматации была предпринята попытка усовершенствовать примененную Б.А. Митиным методику определения объема поровых отложений [8].

При создании установки необходимо было, по мере возможности, исключить недостатки установки и методики Б.А. Митина, о которых говорилось выше. Прежде всего, нужно было подобрать такой записывающий прибор, который позволил бы записывать три кривые одновременно. По разным причинам большинство существующих самописцев не подходит для наших исследований, так как многодорожечные самописцы имеют точечную запись кривой с ходом каретки минимум через 1,2 сек, что не удовлетворяет необходимым требованиям.

Всем необходимым требованиям отвечают оптические самописцы. Был опробован авиационный

оптический самописец К4-51, имеющий 4 гальвано-приемника и позволяющий записывать одновременно 4 кривых на фотопленку. Диапазон скоростей движения фотобумаги также оказался в нужных пределах (0,01-10,0 мм/сек).

В качестве индикаторной жидкости использовали раствор поваренной соли (1,25%), который пропускали через фильтрующий слой снизу вверх. При подаче раствора соли снизу, вследствие разности плотностей раствора NaCl и фильтруемой суспензии всегда получали четкую ровную границу раздела между жидкостями.

Электрическая часть установки, представленная на рис. 3, обеспечивает подачу стабилизированного напряжения 1в на три пары электродов, установленных в фильтровальной колонке. Последовательно с электродами включены три гальванических приемника оптического самописца К4-51, позволяющие фиксировать на фотобумаге изменение силы тока в цепи при прохождении индикаторной жидкости через контрольные пары электродов.

В ходе опыта, после накопления в загрузке некоторого количества отложений, замеряли потери напора, и процесс фильтрования прерывали. В колонку со скоростью 0,2 мм/сек подавали раствор индикаторной жидкости и одновременно включали оптический самописец. При подходе раствора соли к соответствующим парам электродов на ленте самописца последовательно вычерчиваются три эпюры изменения силы тока. Характерные эпюры представлены на рис.4. и 5.

Большой масштаб записи позволял с достаточной точностью по центру тяжести эпюры определять среднее время прохождения раствора соли через заиленную загрузку и в свободном пространстве колонки между контрольными парами электродов и рассчитать значения доли свободного объема пор и насыщенности.

Для проведения экспериментов была смонтирована лабораторная установка (рис.2) с фильтровальной колонкой (1) из оргстекла, в которую было вмонтировано три пары серебряных электродов площадью 4 мм каждый (8,9,10). Расстояние между электродами каждой пары составляло 15 мм. На решетку, выполненную из оргстекла (2), помещался 30 мм слой кварцевого песка (3). Для измерения потери напора в слое загрузки фильтровальная колонка была оборудована пьезометрическими трубками (4). Исходная суспензия, раствор коагулянта и индикаторная жидкость подавались на колонку с постоянным расходом из сосудов Мариотта (5,6,7).

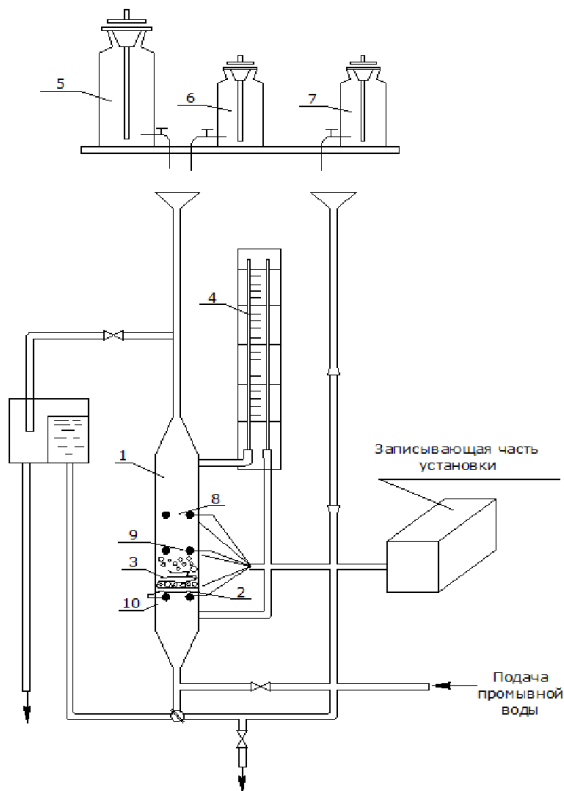


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки.

Рис. 2.2. Схема лабораторной установки.

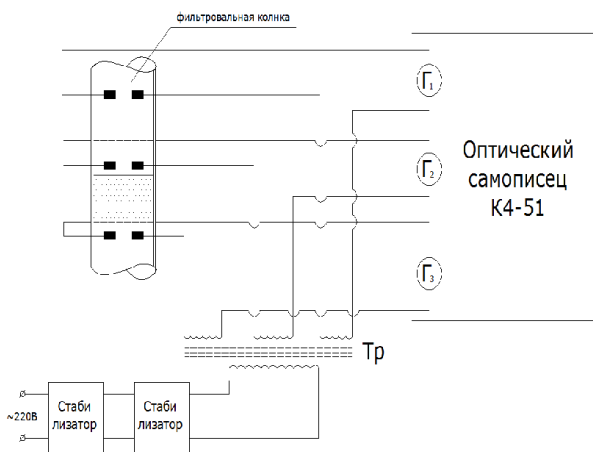


Рис. 3. - Электрическая часть установки.

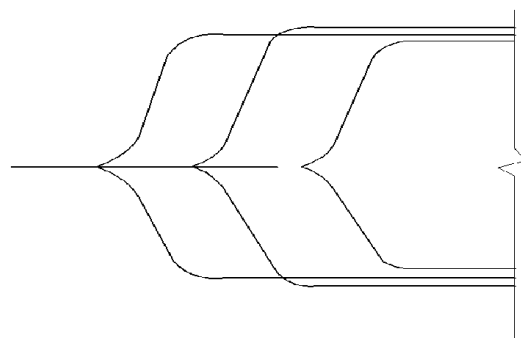


Рис. 4. Характерные эпюры изменения силы тока, записываемые на ленте оптического самописца при прохождении индикаторной жидкости.

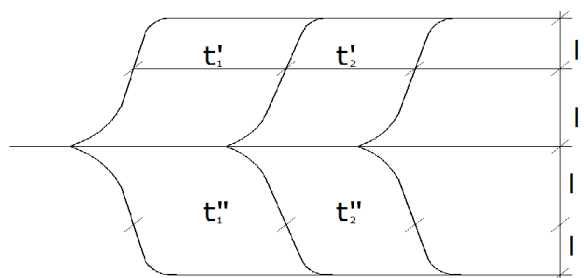


Рис. 5. Схема расшифровки записи.

Литература:

1. Ives K.J. Model Study of Filter Deposition Mechanisms. Department of Civil and Municipal Engineering. London. 1970.
2. Орнатский Н.В., Сергеев Е.М., Шехтман Ю.М. Исследование процесса коагуляции песков. Изд-во Московского университета, 1955.
3. Черкинский С.Н., Рублева М.Н., Мельцер В.З. К гигиенической оценке новых фильтрующих материалов. Журнал "Гигиена и санитария", № 3, 1978г.
4. Melzer V. Die Perspektivisch Entwicklung der Zeitge-nossich Technologie Wasserreinigung. Wasserwirtschaft, Wassertechnik. № 3, 1979.
5. Огильви Н.А., Федорович Д.И. Электролитический метод определения скорости фильтрации подземных вод и условия его практической применимости. - М.: Изд-во Недра, 1964.
6. Митин Б.А. Исследование влияния структурно-механических свойств осадка на работу осветлительных фильтров. Канд. диссертация. Челябинск, 1964.
7. Митин Б.А. Исследование насыщения порового пространства и изменения потерь напора при фильтрации. Сборник "Процессы фильтрования при очистке природных и сточных вод". Южно-уральское изд-во, 1965.
8. Мельцер В.З. Исследование пористости зернистых фильтрующих материалов. Научные труды АКХ. Вып.98. "Водоснабже-ние", № 9, ОНТИ АКХ, М. 1973.

Рецензент: к.т.н., доцент Токтогулов Т.С.