

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ВОДОСНАБЖЕНИЕ (ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ)

Методические указания к выполнению лабораторных работ

Составители А. В. Приходченко, Д. И. Приходченко, Т. Ф. Рыльцева

Волгоград. ВолгГАСУ. 2016



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2016



УДК 628.16(076.5)
ББК 38.761.104я73
В625

Водоснабжение (очистные сооружения) [Электронный ресурс] :
Методические указания к выполнению лабораторных работ / М-во
образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост.
А. В. Приходченко, Д. И. Приходченко, Т. Ф. Рыльцева. — Электронные
текстовые и графические данные (0,3 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ,
2016. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем.
требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0;
Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного
архитектурно-строительного университета. Режим доступа:
<http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Разработаны в помощь студентам при выполнении лабораторных работ по
дисциплине «Водоснабжение (очистные сооружения)».
Для студентов очной, заочной и сокращенной формы обучения

УДК 68.16(076.5)
ББК 38.761.104я73

План выпуска учеб.-метод. документ. 2016 г., поз. 44

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*
Технический редактор *И. Б. Чижикова*

Минимальные систем. требования:
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 28.08.2016.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 0,3. Объем данных 0,3 Мбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

- Работа 1. Определение осаждаемости взвешенных частиц в воде
- Работа 2. Ситовый анализ песка для загрузки скорых фильтров и определение его пористости
- Работа 3. Установление зависимости гидравлического клона от скорости фильтрации для чистого песка
- Работа 4. Определение эффекта осветления воды фильтрацией по слоям фильтрующей загрузки
- Работа 5. Экспериментальное определение необходимой интенсивности промывки для песчаной загрузки фильтра

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАЖДАЕМОСТИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ВОДЕ

Осаждаемость определяется для установления эффекта задержания взвеси из подлежащей отстаиванию воды при расчете отстойника.

Согласно реальным условиям, имеющими место в натуральных отстойниках при глубине 4,0 м., осаждаемость взвеси из воды находится в пределах скоростей от 1,2 до 0,2 мм/с соответственно времени прибавления воды в отстойнике от 1 до 6 ч.

Скорость осаждения, мм/с, находится по формуле

$$U = \frac{H1000}{\tau \cdot 3600},$$

где H — глубина отстойника, м; τ — время пребывания воды в отстойнике в часах

Определение ведется в приборе, приведенном на рис. 1.1, в трех отстойниках, укрепленных на штативе.

Порядок работы:

1. Градуировка отстойника.
2. Определение осаждаемости воды.
3. Определение процента выпавшей взвеси.

1. Градуировка прибора проходит в три этапа:

- 1) в отстойник наливаем 50 мл воды и ставим метку 1;
- 2) доливаем воду в цилиндрическую часть отстойника на высоту 400 мм и ставим метку 2. Объем пошедшей воды равен 450 мл;
- 3) наливаем еще 50 мл воды и ставим метку 3.

Определение осаждаемости воды происходит:

- а) в некоагулированной воде;
- б) в коагулированной.

Результат должен браться средний из трех определений.

2. Определение осаждаемости в некоагулированной воде.

В приборы № 1 и № 2 наливаем исследуемую воду до метки 3.

Через 6 минут из отстойника № 1 сливаем 50 мл воды в стакан (от метки 3 до метки 2), определяем количество выпавшего осадка весовым методом (применением бумажных фильтров «синяя лента» с высушиванием их при $t = 110^\circ$ в течение 3 ч).

Через 38 минут от начала опыта спускаем 50 мл воды из отстойника № 2 и также определяем количество выпавшего осадка весовым методом.

Параллельно с этим также весовым методом определяем количество взвешенных веществ в исследуемой воде (фильтруя 100 мл воды).

3. Определение процента выпавшей взвеси.

Содержание взвеси в рабочем объеме цилиндра (при метке 1) принимаем за 100 %.

$$M = Wm,$$

где W — рабочий объем цилиндра, л; m — содержание взвеси в исследуемой воде, мг/л.

Количество взвеси, мг, выпавшей в осадке за 6 мин, равно

$$K_1 = P_1 - 0,05m,$$

где K_1 — количество взвеси, выпавшей в осадке за 6 минут; P_1 — прирост веса в мг фильтра, через который фильтровалась вода из прибора № 1; 0,05 — количество взвешенных веществ, находящихся в 50 мл исходной воды в конусной части прибора.

За 38 мин выпадает осадка

$$K_2 = P_2 - 0,05m,$$

где K_2 — количество взвеси, выпавшей в осадок за 38 минут; P_2 — прирост веса фильтра в мг, через который фильтровалась вода из прибора № 2.

Тогда процент выпавшей взвеси в первом случае определяется как

$$A = \frac{K_1 \cdot 100}{M}.$$

Процент выпавшей взвеси во втором случае определяется по формуле

$$B = \frac{K_2 \cdot 100}{M}.$$

Показатель осаждаемости определяется по формуле

$$S = \frac{A}{B}.$$

4. Определение осаждаемости в коагулированной воде. Опыт проводим аналогично предыдущему при известной заранее оптимальной дозе коагуляции. Вода с коагулянтom заливается в отстойник и слегка перемешивается деревянной палочкой. Отсчет времени опыта ведется с момента интенсивного хлопьеобразования. По данным опыта строим график процентных скоростей выпадения взвеси.

При проведении работы студенты делятся на три подгруппы по 3-4 человека. Первая подгруппа определяет количество взвешенных веществ в исследуемой воде, вторая подгруппа — количество выпавшей взвеси через 6 минут, третья подгруппа — количество выпавшей взвеси через 36 минут.

Образец журнала заполнения приведен в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Журнал заполнения

Время, мин	Количество взвешенных	Количество выпавшей взвеси,	Определение осаждаемости взвешенных веществ в воде
------------	-----------------------	-----------------------------	--

	веществ, мг/дм ³	мг/дм ³	
Исходная вода			
6 мин			
36 мин			

Минимально необходимое количество приборов:

Отстойники — 2 шт.

Весы аналитические с разновесами — 2 шт.

Эксикатор — 1 шт.

Воронки стеклянные — 3 шт.

Стаканы (100...250 мл) — 3 шт.

Фильтры бумажные «синяя лента» сухие — 6 шт.

Цилиндр мерный 100 мл — 2 шт.

15%-ный раствор СА,Дк $\approx 40...35$ мг/дм³.

Бежон — 6 шт.

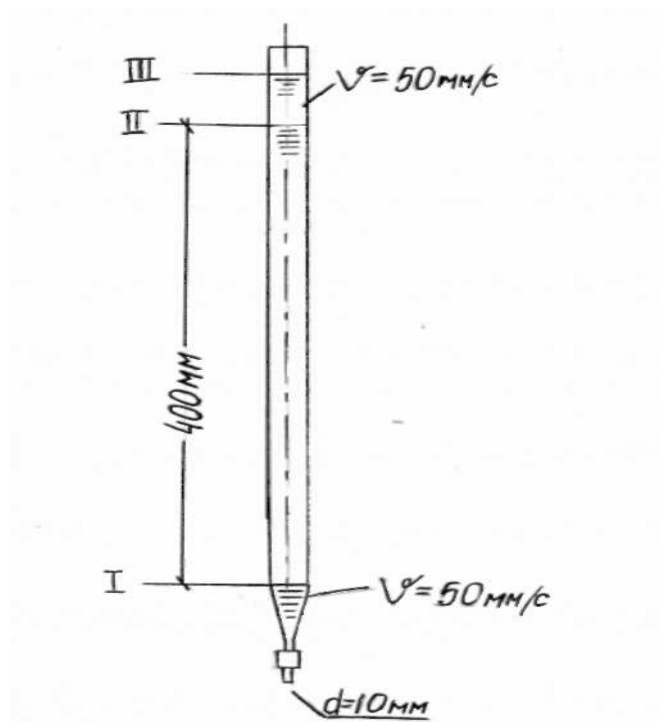


Рис. 1.1. Схема лабораторного отстойника

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяется скорость оседания?
2. С какой целью определяется осаждаемость взвешенных веществ?
3. Построение графика процентных скоростей выпадения взвеси?
4. Какой вид имеет кривая оседания взвеси мелких и крупных частиц?

Работа 2. СИТОВЫЙ АНАЛИЗ ПЕСКА ДЛЯ ЗАГРУЗКИ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ПОРИСТОСТИ

Материалы должны удовлетворять следующим требованиям.

- 1) хорошо задерживать находящиеся в воде взвешенные вещества;
- 2) легко отмываться от задержанной взвеси;
- 3) не измельчатся и не истираться при промывке;
- 4) не обогащать фильтрующую воду каким-либо веществом, входящим в состав самого материала;
- 5) быть стойким против химического воздействия на него фильтруемой воды.

Указанным требованиям лучше всего удовлетворяет кварцевый песок, вследствие чего он нашел широкое применение на фильтрах для очистки воды. Находит применение также дробленый антрацит или оба материала вместе — комбинированная загрузка.

Эффект задержания взвеси из воды фильтром зависит от ряда факторов: размера и электрохимических свойств частиц взвеси, размера зерен фильтрующей загрузки, толщины ее слоя, скорости фильтрации, температуры воды.

Большое значение для осветляющего действия фильтра имеет глубина проникновения фильтрующей загрузки, зависящая от крупности загрузки и скорости фильтрации. Гранулометрический состав фильтрующего материала устанавливается путем ситового анализа его.

Порядок работы. Берется навеска воздушно-сухого песка 200 г. и просеивается через набор стандартных сит калибром 0,25; 0,50; 1,0; 2,20; 3,0 мм. Остаток песка на каждом сите взвешивается. Запись ведется по форме — табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результат ситового анализа песка

Калибр сит, мм	Осталось на сите		Прошло через сито	
	г	%	г	0

На основании данных табл. 2.1 строится график ситового анализа песка. Песок для загрузки скорых фильтров должен иметь следующие показатели:

$$d_{эф} = d_{10}.$$

Коэффициент неоднородности должен быть не более 2,0:

$$K = \frac{d_{80}}{d_{10}}.$$

Эффективным диаметром песка называется калибр теоретического сита. d_{10} — соответствует 10 % прошедшего песка; d_{80} — калибр теоретического

сита, соответствующего 80 % прошедшего песка. Эти величины определяют по графику

По графику также определяется средний диаметр песка d_{50} — калибр теоретического сита, соответствующего 50 % прошедшего песка.

Величина среднего диаметра позволяет установить предельную скорость фильтрации для данной фильтрующей загрузки.

При принятой толщине фильтрующего слоя 700 мм и 25 % запаса надежности работы фильтра допустимая глубина проникновения загрузений и слоя песка должна быть определена.

При этом средний диаметр загрузки должен быть не более 0,88 мм — при скорости фильтрации 5,0 м/ч; 0,62 мм — при скорости фильтрации 10,0 м/ч.

На основании проделанной работы сделать заключение о соответствии песка (по механическому составу) предъявленным к нему требованиям.

При этом одна группа работает с песком, аналогичным по механическому составу загруженному в фильтр № 1. Калибровка песка производится следующим образом: наибольшее количество песка просеивается через сито. После окончания просеивания сито помещают над листом бумаги и сильно встряхивают. На бумагу падают зерна наиболее крупные, проходящие через это сито. Зерна пересчитывают и взвешивают на аналитических весах. Затем, допуская, что эти зерна имеют шарообразную форму, определяют их средний диаметр (калибр сита) по формуле

$$d = \sqrt[3]{\frac{6q}{n\pi\gamma}},$$

где q — вес зерна, мг; n — число зерен; γ — удельный вес зерен, г/см³.

Определение удельного веса песка. В мерный цилиндр емкостью 100 мг наливается вода в количестве 50 мл и отмечается ее объем v_1 . Берется навеска сухого песка $p \approx 100$ г и всыпается в цилиндр с водой. Отмечается объем воды с песком v_2 . Удельный вес, г/см³, определяется по формуле

$$\gamma = \frac{p}{v_1 - v_2}.$$

Определение пористости песка. Сухой песок по механическому составу аналогичной загрузке фильтра № 1 насыпается в цилиндр емкостью 250 см³ в количестве 100 см³, при этом для уплотнения песка цилиндр слегка встряхивают и постукивают.

Затем берут 100 (или 50) мл воды и осторожно по стенке цилиндра влияют и песок до уровня песка в цилиндре с постоянным вытеснением воздуха из пор песка.

Количество воды, ушедшей в поры песка, отнесены к количеству песка, будет соответствовать пористости песка. Опыт производят две подгруппы, результат берется средний из двух определений.

Для проведения работы необходимо иметь:

1. Стандартный набор сит — 2 комплекта.
 2. Весы технические с разновесами — 2 комплекта.
- Для калибровки сит необходимо дополнительные приборы:
1. Весы аналитические с разновесами — 2 комплекта.
 2. Мерный цилиндр емк. 100 мл — 2 шт.
- Схема фильтрационной установки приведена на рис. 2.1.

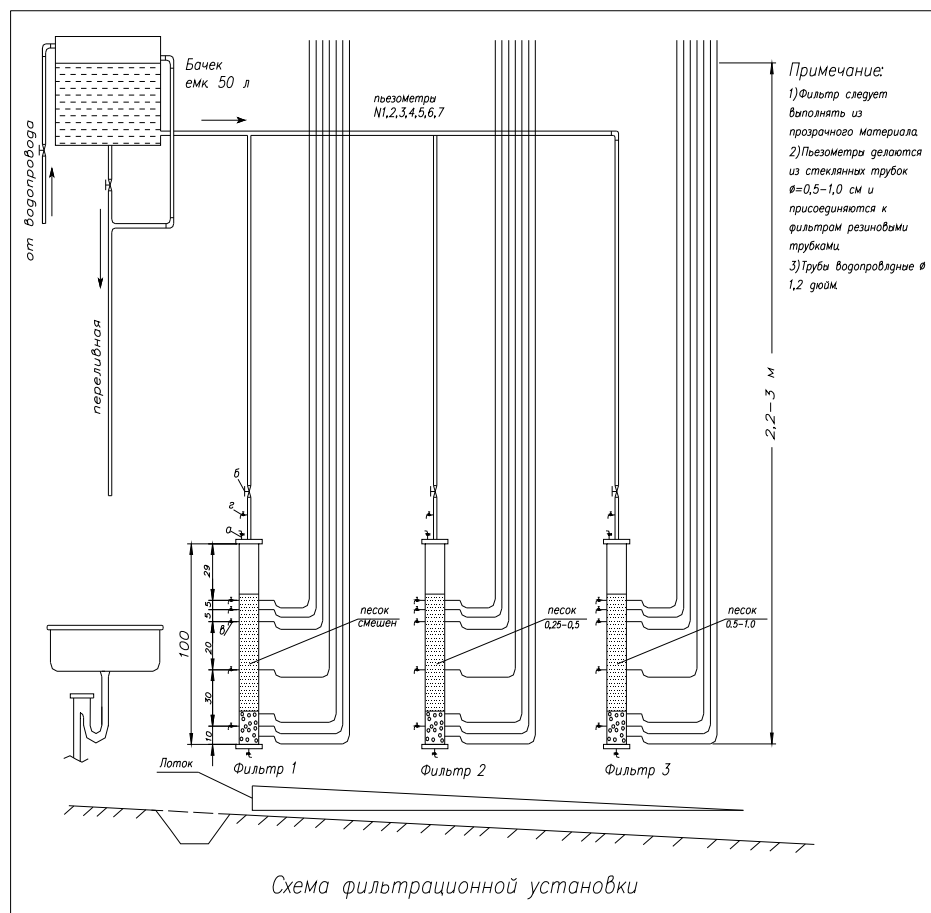


Рис. 2.1. Схема фильтрационной установки

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким требованиям должны удовлетворять фильтрующие материалы?
2. От чего зависит эффект задержания взвеси?
3. Как построить график ситового анализа песка?

Работа 3. УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УКЛОНА ОТ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ЧИСТОГО ПЕСКА

Работа проводится на лабораторной фильтрационной установке.

Согласно закону Дарси гидравлический уклон в зернистых грунтах при ламинарном движении воды пропорционален скорости фильтрации:

$$i = cv.$$

Гидравлический уклон определяется делением величины потери напора h_M в слое песка толщиной l_M :

$$i = \frac{h}{l}.$$

При равной толщине слоя песка потеря напора зависит от крупности его зерен.

Последовательность работы:

1. Устанавливаем скорость фильтрации.
2. Замеряем по пьезометрам потери напора в песке и толщину слоя песка.
3. Вычисляем гидравлический уклон, коэффициент C и строим график зависимости скорости фильтрации и гидравлического уклона.

1. Определение скорости фильтрации объемным способом. Открыв кран под фильтром, собираем воду в сосуд емкостью около 1 л. Отмечая по секундомеру время t , мин, начала и конца поступления воды в сосуд. Воду из сосуда выливаем в мерный цилиндр и отмечаем объем W_1 , л.

Скорость фильтрации, м/ч, находим по формуле

$$V = \frac{Q}{F}.$$

$$Q = \frac{W_1 \cdot 60}{t \cdot 1000}, \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Запись ведем по форме табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты измерений

№ фильтров	Фильтр № 1 площадь F , м ²				Фильтр № 2 площадь F , м ²				Фильтр № 3 площадь F , м ²			
Объем воды W , л												
Время t , мин												
Расход воды Q , м ³ /ч												

Скорость фильтрации V , м/ч												
-------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Для каждого фильтра опыт приводиться при четырех различных скоростях фильтрации от 3 до 6 м/ч.

Примечания:

1. С достаточной точностью можно замеры воды после фильтра производить в течение $\approx 0,5$ мин.

2. Замер потерь напора h_M при фильтрации и толщины слоя песка 1 м.

2. **Потеря напора слоя песка** замеряется как разность между уровнями воды в пьезометрах № 1 и № 6

Слой песка замеряется метром. Запись ведется по форме табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты измерений на фильтрах

Фильтр № 1			Фильтр № 2			Фильтр № 3		
Скорость фильтрации V_1 , м/ч	Потеря напора h , м	Гидравлический уклон i	V	h	i	V	h	i

3. **Вычисление гидравлического уклона i , определение коэффициента C и построение графика для трех составов загрузки фильтров.**

По данным опытов строится график.

При проведении работы студенты делятся на подгруппы по 3-4 человека.

Примечание: при проведении работы замеряется температура фильтруемой воды.

Для работы необходимо иметь:

1. Фильтрационная установка — 1 шт.

2. Секундомеры — 3 шт.

3. Кружки металлические емкостью 1,0 л — 3 шт.

4. Мерные цилиндры емкостью 250...500 мл — 3 шт.

5. Метр стальной — 1 шт.

6. Термометр до 100 °С — 1 шт.

Схема фильтрационной установки приведена на рис. 3.1.

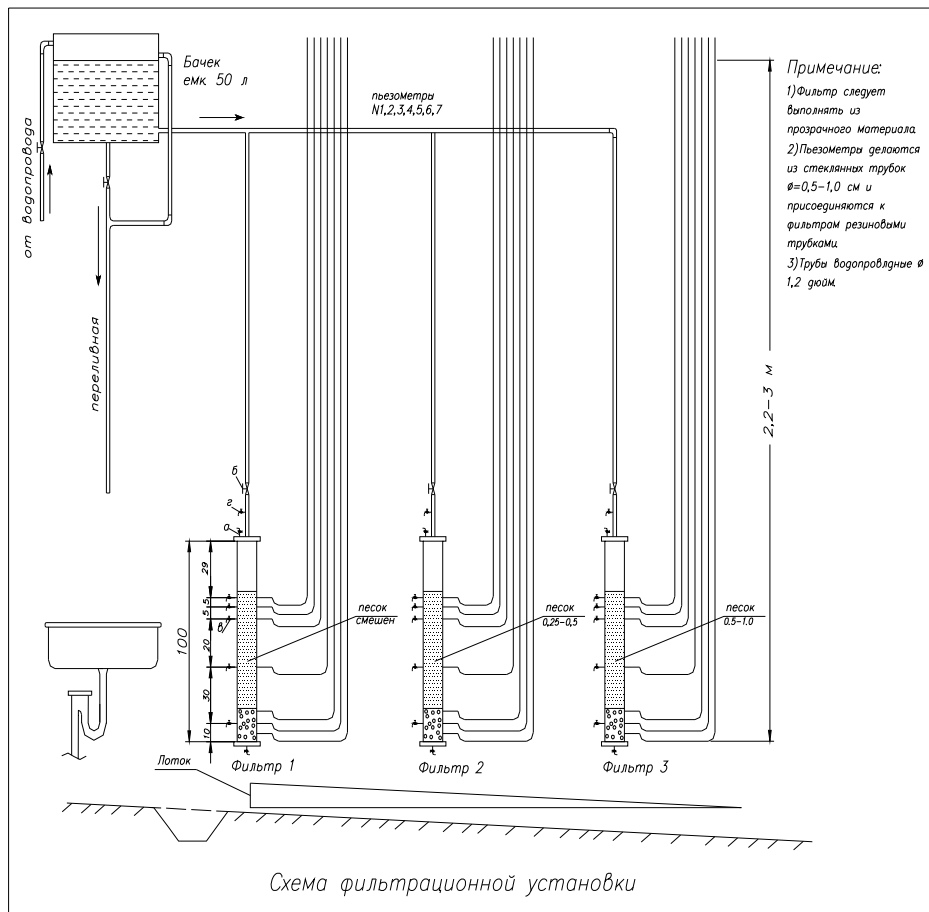


Рис. 3.1. Схема фильтрационной установки

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяется скорость фильтрации объемным способом?
2. Как правильно построить график зависимости скорости фильтрации и гидравлического уклона?
3. Как вычислить гидравлический уклон по закону Дарси?

Работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ОСВЕЩЕНИЯ ВОДЫ ФИЛЬТРАЦИЕЙ ПО СЛОЯМ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ

Порядок выполнения работы:

1. Фильтры наполняются водопроводной водой при помощи резиновой трубки снизу при закрытых вентилях *б* с выпуском воздуха через краник *а*. В бачок заливается водопроводная вода и добавляется замутнитель. Замутненная вода в бочке перемешивается деревянной палочкой.

2. На каждом фильтре устанавливается начальная скорость фильтрации $\approx 3,0$ м/ч с контролем ее объемным способом, т. е. объем профильтрованной воды должен быть на каждом фильтре 0,5 л/мин (из кранов *г*).

3. Под краны *в* и *д* и каждому фильтру подвешиваются сосуды емкостью по 150...200 мл. Краники осторожно открываются так, чтобы вода из них вытекала медленно по капле с расчетом наполнения склянок в течение 15...20 мин (рис. 4.1).

В пробах воды: нефilterованной — из краника *д*; filterованной — из краников *в* и *г* определяется мутность воды при помощи нефелометра.

По результатам работы на всех трех фильтрах строится совмещенный график эффекта их работы. Мутность воды измеряется в мг/дм³.

По работе делается вывод о влиянии крупности загрузки и толщины слоя ее на эффект задержания взвеси из воды.

Примечание: при отсутствии нефелометра мутность воды можно определить по шрифту, тогда емкость сосудов для сбора filterованной воды следует увеличить до 0,5 л, а в бачок, в случае необходимости, во время опыта следует добавить замутненную воду с принятой ранее концентрацией взвеси в ней, приготовленную в чистом ведре дополнительно.

Для работы необходимо иметь:

1. Прибор фильтрационный — 1 шт.
2. Нефелометр — 1 шт.
3. Мерный цилиндр емкостью 250 мл — 3 шт.
4. Секундомеры — 3 шт.
5. Стаканы емкостью 250 мл — 3 шт.
6. Склянки (бутылки) емкостью 150...200 мл — 9 шт.
7. Ведро — 1 шт.

Схема фильтрационной установки приведена на рис. 4.1.

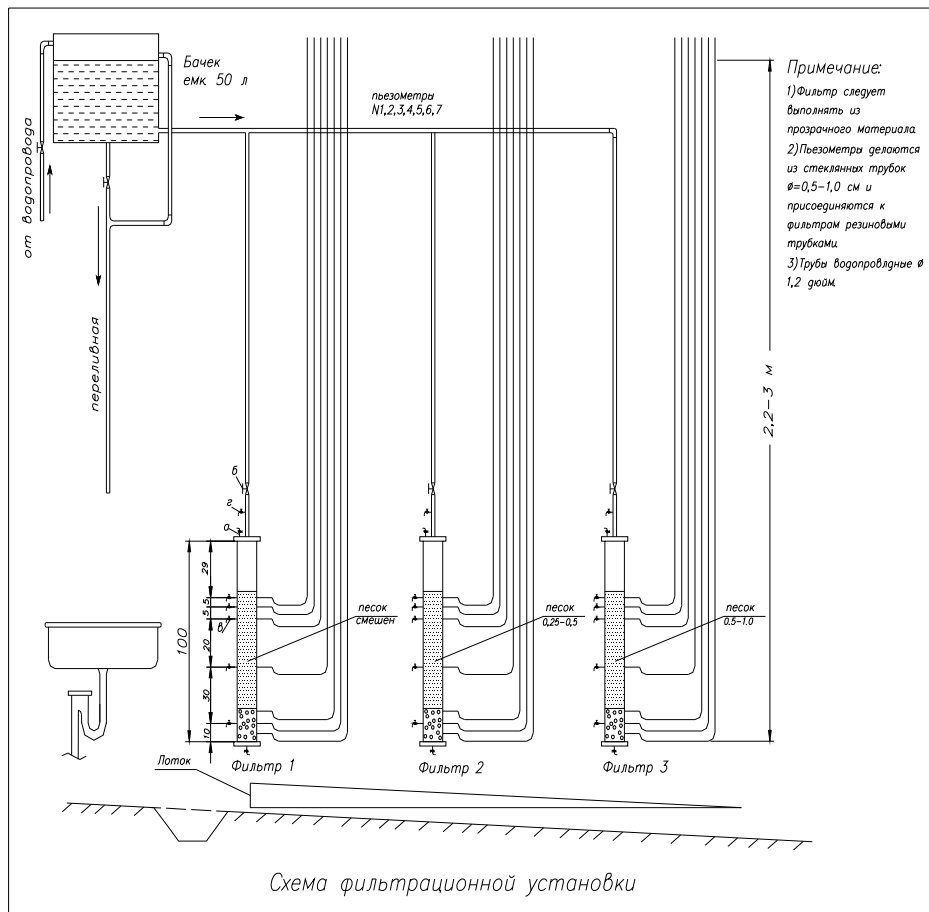


Рис. 4.1. Схема фильтрационной установки

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как правильно построить совмещенный график эффекта работы на фильтрах?
2. Как влияет крупность загрузки и толщина ее слоя на эффект задержания взвеси?
3. Какой замутнитель не рекомендуется применять для проведения работы?

Работа 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОМЫВКИ ДЛЯ ПЕСЧАНОЙ ЗАГРУЗКИ ФИЛЬТРА

При промывке фильтров током воды снизу вверх происходит взвешивание фильтрующего слоя и гидравлическая сортировка зерен песка. Крупные зерна песка сосредотачиваются в нижних слоях загрузки, а мелкие зерна — у ее поверхности.

При неоднородной загрузке фильтра взвешивание зерен песка при промывке начинается с мелких фракций, а затем постепенно происходит взвешивание всего слоя загрузки. Каждому значению скорости соответствует определенная в данных условиях толщина взвешенного зернистого слоя.

Внутри этого слоя песчинки хаотично движутся, но весь слой в целом находится в состоянии динамического равновесия. Скорость, при которой начинается взвешивание наиболее мелких фракций песка, называется нижней критической скоростью v_1 , а скорость при которой происходит взвешивание всего зернистого слоя — верхней критической скоростью v_2 . Эти скорости, см/с, выражаются формулами

$$v_1 = 1,69 \frac{d_1^{1,31}}{\mu_1^{0,54}},$$

$$v_2 = 1,69 \frac{d_2^{1,31}}{\mu_2^{0,54}},$$

где d_1 — величина наименьшего диаметра зерен песка, см; d_2 — величина наибольшего диаметра зерен песка, см

Если выразить скорость промывки v , л/м²с, через интенсивность промывки W т. е. отнести расход промывки воды к 1 м² поверхности фильтра, то формулы примут следующий вид:

$$W_1 = 1,69 \frac{d_1^{1,31}}{\mu_1^{0,54}},$$

$$W_2 = 1,69 \frac{d_2^{1,31}}{\mu_2^{0,54}}.$$

При промывке фильтров для достижения надлежащего эффекта промывки расширение фильтрующей загрузки должно составить 40...50 % от толщины слоя загрузки.

Последовательность работы:

1. Опытное определение критических скоростей взвешивания песчаной загрузки v_1 и v_2 и соответствующих им интенсивности промывки.

2. Опытное определение необходимой интенсивности промывки для достижения 45%-го расширения слоя фильтрующей загрузки.

3. Вычисление критических скоростей v_1 и v_2 .

1. Опытным определением критических скоростей служит взвешивание песчаной загрузки v_1 и v_2 .

Перед загрузкой песка определяется диаметр цилиндра d , см, затем цилиндр загружается сухим песком толщиной слоя около 25 см.

Через 1...2 мин кран a закрывается и после осаждения песка производится замер толщины слоя фильтрующей загрузки h (верхнего слоя песка). При этом в определенный промежуток времени τ_1 измеряют расход Q_1 мерным сосудом.

Увеличивая скорость движения воды через цилиндр, доводим ее до величины, при которой начинается расширение всего слоя песчаной загрузки.

При этом измеряют расход воды Q_2 за время τ_2 и измеряют толщину взвешенного слоя загрузки h_2 и температуру воды. Опыт повторяют три раза, берется средний результат.

По данным опыта вычисляют нижний предел скорости v_1 и верхний предел скорости v_2 , см/с, по формулам

$$v_1(\text{оп}) = \frac{Q_1}{t_1 F},$$

$$v_2(\text{оп}) = \frac{Q_2}{t_2 F}.$$

Полученные величины скоростей, г/м²с, выражаются через интенсивность промывки:

$$W_1 = 10v_1(\text{оп}),$$

$$W_2 = 10v_2(\text{оп}).$$

Определяем относительно расширение песка e по формуле

$$e = \frac{h_2 - h_1}{h_1} 100\%.$$

2. Опытное определение необходимой интенсивности промывки для достижения 45%-го расширения слоя фильтрующей загрузки. Зная первоначальную толщину слоя загрузки h_1 и требуемое расширение загрузки на 45 % от h_1 , находим толщину взвешенного слоя $h_3 = 1,45h_1$, отмечаем величину h_3 на стенке цилиндра.

Доводим скорость воды в цилиндре до величины, при которой получается взвешивание зернистого слоя до толщины h_3 . Производим замер воды Q_3 за время t_3 .

Определяем скорость взвешивания загрузки, см/с, по формуле

$$v_3 = \frac{Q_3}{t_3 F}$$

Интенсивность промывки, л/м²с, определяется по формуле

$$W_3(\text{оп}) = 10v_3.$$

Зная гранулометрический состав песчаной загрузки, наименьший диаметр фракции d_1 и наибольший d_2 вычисляем скорости v_1, v_2 .

Для работы необходимо иметь:

1. Опытную установку, представленную на рис 5.1. — 3 шт.
2. Сосуд емкостью 1 литр — 3 шт.
3. Мерный цилиндр емкостью 100...250 мл — 3 шт.
4. Секундомер — 3 шт.
5. Термометр до 100 °С — 1 шт.
6. Метр — 1 шт.

Схема опытной установки

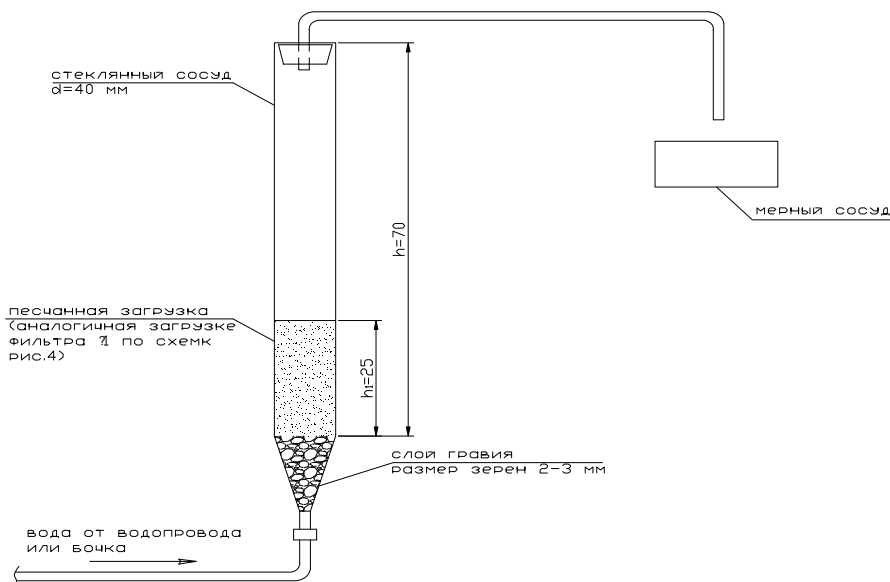


Рис. 5.1. Схема опытной установки

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под нижнем и верхнем критериями скорости?
2. Что обеспечивает нормальную промывку песка?
3. С каких фракций нужно начинать взвешивание зерен песка при промывке загрузки фильтра?

