

***ВОДОБЕСПЕЧЕНИЕ
ГОРОДОВ
И ТЕРРИТОРИАЛЬНО-
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
КОМПЛЕКСОВ***



РАДИАЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД: РАСЧЕТ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

© 2010 г. В.В. Дзюбо

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск

Ключевые слова: радиальные водоочистные фильтры, подземные воды, методика расчета фильтров.



В работе приведены методика расчета радиальных фильтров обезжелезивания подземных вод, основные конструктивные параметры фильтров, пример расчета радиальных фильтров на конкретную производительность и качество подземных вод.

Необходимость обезжелезивания подземных вод Западно-Сибирского региона перед подачей в системы питьевого водоснабжения подтверждается работами многих исследователей, например, Н.Д. Артеменка, Ю.Л. Сколубовича, В.Л. Драгинского и др., занимающихся вопросами обработки природных вод. Характерный перечень показателей (химических элементов, соединений и свойств), ухудшающих качество подземных вод в естественном их состоянии (ненарушенном антропогенным воздействием условия залегания), либо подверженных антропогенному воздействию и делающих их непригодными для хозяйственно-питьевого водоснабжения без специальной подготовки, включает Fe (доминирующий показатель, как правило, превышающий нормативную величину в 5—50 раз), Mn, NH_4^+ , фенолы, нефтепродукты, органические вещества, жесткость (Ca^{2+} , Mg^{2+}), растворенные газы, цветность, мутность и запах. Следует отметить, что в подавляющем большинстве повышенные концентрации указанных компонентов в подземных водах Западно-Сибирского региона имеют природное происхождение и обусловлены характерными условиями их залегания и формирования [1].

Водное хозяйство России № 1, 2010

Водное хозяйство России

В работах [2, 3] показаны преимущества и эффективность работы радиальных фильтров при обезжелезивании подземных вод региона до требований питьевого стандарта [4].

При расчете радиальных фильтров следует учитывать, что особенностью радиального фильтрования от центра к периферии фильтра является нелинейное изменение скорости в направлении фильтрования по радиусу фильтра, поэтому назначение скоростей фильтрования (рис. 1) на входе v_1 и на выходе v_2 во многом определяет, во-первых, эффективность по качеству получаемого фильтрата работу фильтра, во-вторых, его геометрические размеры. В конструкциях радиальных фильтров при заданной (принятой) рабочей высоте фильтрующей обоймы фильтра (Ω) и постоянстве подаваемого расхода воды (q_v) скорость фильтрования (v) является функцией площади поперечного сечения фильтра по радиусу (r) фильтра по направлению фильтрования, а ее величину для любого произвольного сечения фильтра можно определить, исходя из уравнения:

$$v = q_v / 2\pi r' \cdot \Omega, \quad (1)$$

где r' — произвольное значение радиуса в направлении фильтрования;
 q_v — расход воды.

В радиальных напорных фильтрах [2, 3] обезжелезивания подземных вод динамика изменения скорости фильтрования по направлению движения потока воды в толще фильтрующей загрузки заложена и определяется конструктивными особенностями фильтров. Характер динамики и интенсивность изменения скорости фильтрования зависят от геометрических размеров фильтра, качества очищаемой воды, характеристик фильтрующего материала и требуемого соответствия скорости фильтрования гранулометрическим характеристикам загрузки.

Принципиальная конструктивная схема напорного радиального фильтра, в котором реализуется технология фильтрования с непрерывно уменьшающейся скоростью приведена на рис. 1.

В центральной части фильтра расположен распределительный канал, из которого подаваемая в фильтр вода равномерно распределяется по высоте загрузочного материала, а затем фильтруется в направлении от центра фильтра к его периферии (по радиусу). Профильтрованная вода собирается в периферийной части фильтра и отводится через сборно-распределительный коллектор. Из нижней части отводится первый фильтрат после промывки фильтра, а также осуществляется его опорожнение.

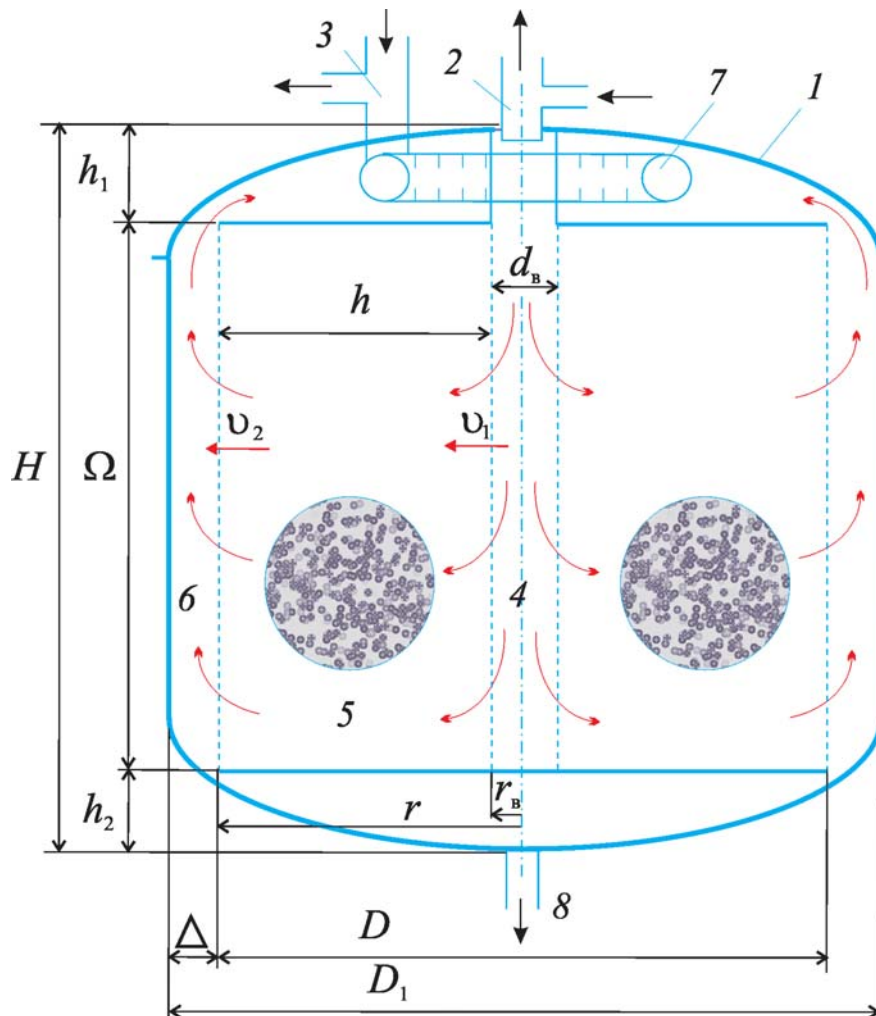


Рис. 1. Конструктивная схема радиального напорного фильтра (1 — корпус фильтра; 2 — подача исходной и отвод промывной воды; 3 — подача промывной и отвод очищенной воды; 4 — центральный распределительный канал фильтра; 5 — фильтрующий материал; 6 — периферийная зона сбора фильтрата; 7 — кольцевой коллектор сбора и отвода фильтрата; 8 — опорожнение, сброс первого фильтрата; d_b — диаметр центрального распределительного канала; Ω — конструктивная высота фильтрующей обоймы фильтра; h — рабочая «высота» слоя фильтрующей загрузки по радиусу фильтра; r_b — радиус центрального распределительного канала фильтра; D — рабочий диаметр фильтра; D_1 — конструктивный (полный) диаметр радиального фильтра; H — полная конструктивная высота радиального фильтра; Δ — размер водосборной зоны).

Таблица. Рекомендуемые технологические и конструктивные параметры напорных радиальных фильтров

Параметр	Рекомендуемая величина
Высота фильтрующей обоймы фильтра Ω , м	(1,5—2) h
Размер периферийной водосборной зоны Δ , м	0,2—0,3
Конструктивная высота h_1 , м	0,25—0,5
Конструктивная высота h_2 , м	0,25—0,5
v_1 , м/ч	35—45
v_2 , м/ч	2—5

В отличие от обычных вертикальных фильтров, в которых скорость фильтрования неизменна по высоте слоя загрузки, радиальные фильтры (базовая конструкция — фильтрование от центра к периферии) характеризуются падением скорости фильтрования в направлении фильтрования при постоянстве расхода фильтруемой воды. Снижение скорости фильтрования в радиальном направлении обусловливается увеличением площади поперечного сечения, в котором перемещается поток фильтруемой воды.

При расчете радиальных напорных фильтров для работы в технологических схемах обезжелезивания подземных вод следует руководствоваться рекомендуемыми технологическими и конструктивными параметрами, приведенными в таблице.

Требуемая «высота» слоя фильтрующей загрузки по радиусу фильтра h (м), рассчитывается по уравнению, предложенному в работе [5]:

$$h = \frac{C_0^{1,33} \cdot [v_1/v_2]^{1,14}}{\Omega^{1,06} \cdot a^{0,14} \cdot \text{pH}^{0,93} \cdot T^{1,04}}, \quad (2)$$

где C_0 — содержание железа в исходной воде, мг/л;

v_1, v_2 — скорость фильтрования на входе и выходе, м/ч;

Ω — конструктивная высота фильтрующей обоймы фильтра, м;

$a = 6\alpha(1 - n_0)/d_s$ — параметр, учитывающий гранулометрические характеристики фильтрующего материала;

α — коэффициент формы зерен материала;

d_s — эквивалентный диаметр зерна материала, мм;

n_0 — пористость плотно лежащей загрузки;

pH — величина pH исходной воды;

T — температура обрабатываемой воды, °C.

Диаметр центрального канала d_b (м) радиального фильтра рассчитывается по расходу очищаемой воды q_b (м³/ч), принятой скорости фильтрования воды на входе v_1 (м/ч) и принятой конструктивной высоты фильтрующей обоймы фильтра Ω (м):

$$d_b = q_b / \pi v_1 \cdot \Omega. \quad (3)$$

Рабочий диаметр радиального фильтра D (м), определяется как

$$D = 2h + d_b. \quad (4)$$

Исходя из уравнения (4), рабочая площадь радиального фильтра F (м²) равна

$$F = \pi D^2 / 4. \quad (5)$$

Размер периферийной зоны Δ (м) для сбора и отвода профильтрованной воды принимается конструктивно в пределах 0,2—0,3 м.

Конструктивный (полный) диаметр D_1 (м) радиального фильтра рассчитывается по формуле

$$D_1 = D + 2\Delta, \quad (6)$$

полная площадь радиального фильтра в плане:

$$F_1 = \pi D_1^2 / 4. \quad (7)$$

Диаметры подводящих и отводящих трубопроводов рассчитываются по расходу воды и скорости движения воды, как и для обычных вертикальных фильтров, с учетом рекомендаций [6].

Полная высота радиального фильтра H (м):

$$H = \Omega + h_1 + h_2, \quad (8)$$

где h_1, h_2 — конструктивная высота (0,25—0,5 м).

Продолжительность защитного действия (фильтроцикла) фильтрующей загрузки t (сут) рассчитывается по уравнению:

$$t = \left(\frac{C_0}{C_1} \right)^{\pm 0,98} \cdot \frac{1,26 \cdot 10^2 \cdot h^{1,94}}{a^{0,11} (v_1/v_2)^{0,16}} \text{pH}^{0,14} \cdot T^{0,12}, \quad (9)$$

где C_0, C_1 — содержание железа в исходной и в очищенной воде, соответственно, мг/л.

После исчерпания защитного действия фильтрующей загрузки фильтр выводится в режим промывки. Промывка осуществляется обратным током воды, при этом параметры промывки (интенсивность, продолжительность) принимаются по рекомендациям [6] в зависимости от принятого материала фильтрующей загрузки.

Пример расчета

Исходные данные: $q_b = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$; $C_0 = 6 \text{ мг/л}$; $C_1 = 0,3 \text{ мг/л}$; $\text{pH} = 7,2$; $T = 6,5 \text{ }^\circ\text{C}$; принятый материал загрузки фильтра — горелые породы («горелики»): $d_s = 1,8 \text{ мм}$; $\alpha = 2,0$; $n_0 = 0,35$; тогда параметр a , входящий в уравнение (2) будет равен 4333.

Требуемая рабочая «высота» слоя загрузки по радиусу фильтра (2):

$$h = \frac{6^{1,33} \cdot [35/3]^{1,14}}{1,5^{1,06} \cdot 4333^{0,14} \cdot 7,2^{0,93} \cdot 6,5^{1,04}} = 0,81 \text{ м.}$$

Приняв высоту фильтрующей обоймы фильтра $\Omega = 1,5 \text{ м}$ ($1,5 - 2 \cdot h$), диаметр его центрального канала, в соответствии с формулой (3), будет равен

$$d_b = 20/3,14 \cdot 35 \cdot 1,5 = 0,12 \text{ м} = 120 \text{ мм};$$

рабочий диаметр радиального фильтра (4):

$$D = 2 \cdot 0,81 + 0,12 = 1,74 \text{ м};$$

рабочая площадь радиального фильтра (5):

$$F = 3,14 \cdot 1,74^2/4 = 2,38 \text{ м}^2;$$

конструктивный (полный) диаметр радиального фильтра (6):

$$D_1 = 1,74 + 2 \cdot 0,2 = 2,14 \text{ м};$$

полная площадь радиального фильтра в плане (7):

$$F_1 = 3,14 \cdot 2,14^2/4 = 3,6 \text{ м}^2;$$

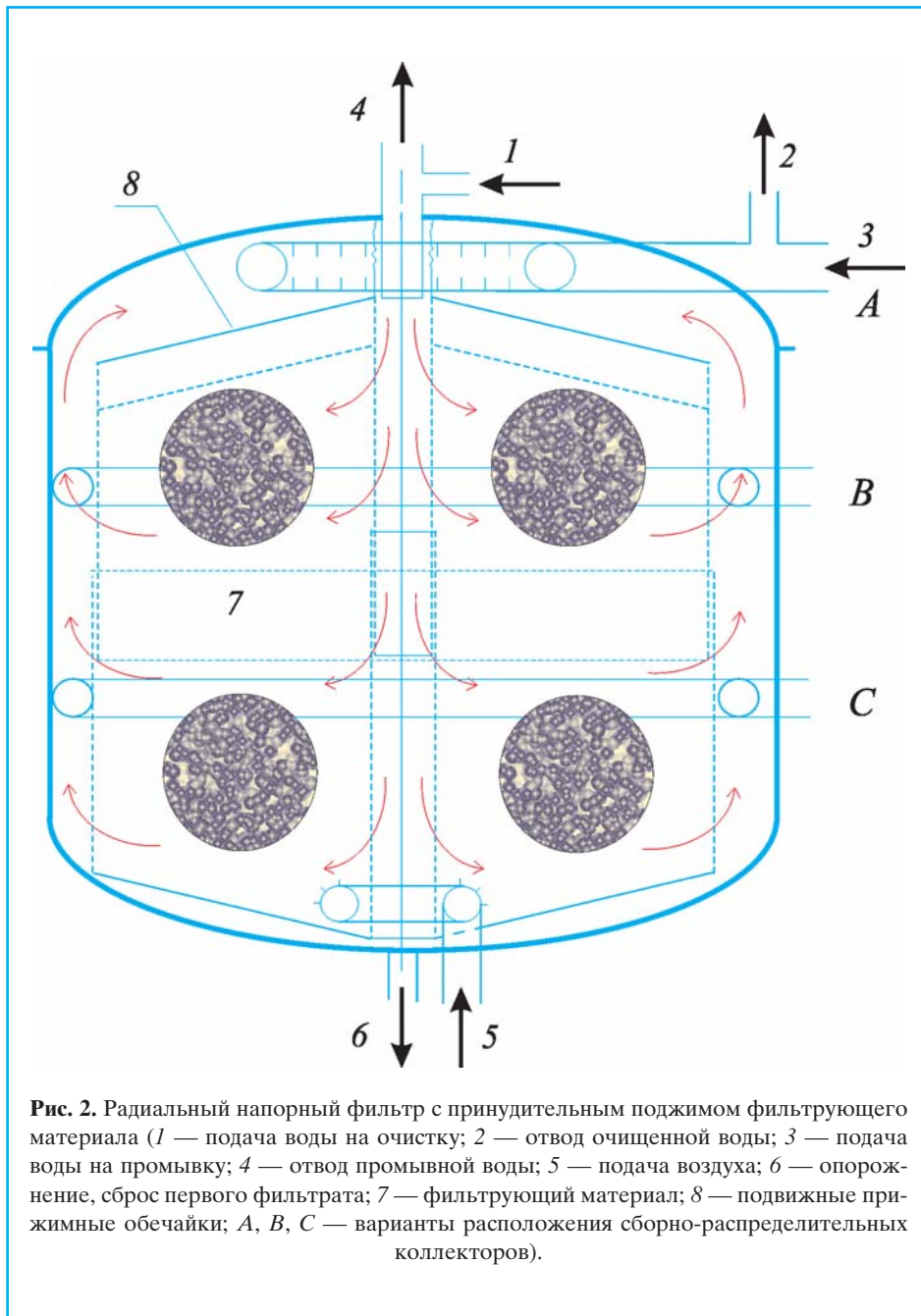
полная высота радиального фильтра (8):

$$H = 1,5 + 0,5 + 0,35 = 2,35 \text{ м};$$

продолжительность фильтроцикла для принятой фильтрующей загрузки по уравнению (9):

$$t = \left(\frac{6,0}{0,3}\right)^{\pm 0,98} \cdot \frac{1,26 \cdot 10^2 \cdot 0,81^{1,94}}{4333^{0,11} \cdot (35/3)^{0,16}} \cdot 7,2^{0,14} \cdot 6,5^{0,12} = 1,97 \text{ сут.}$$

На станциях очистки подземных вод следует проектировать не менее двух рабочих фильтров и одного резервного, который запускается в работу при необходимости.



Анализ адекватности приведенных выше уравнений для расчета конструктивных размеров напорных радиальных фильтров производился на основании промышленных испытаний фильтров в реальных условиях Западно-Сибирского региона, расчет которых выполнен по приведенным зависимостям. Результаты испытаний показали вполне удовлетворительную работу фильтров, обеспечивающую качество очищенной воды в соответствии с [4].

В конструктивном отношении радиальные фильтры могут иметь различное оформление. Прежде всего, это относится к водораспределительным и водосборным трубопроводам, кроме того в зависимости от применяемых типов (несжимаемые жесткие или мягкие синтетические) фильтрующих материалов радиальные фильтры могут конструироваться с поджимом фильтрующего материала (рис. 2), благодаря чему можно направленно регулировать пористость фильтрующего материала [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферова Л.И., Дзюбо В.В. Подземные воды Западно-Сибирского региона и проблемы их использования для питьевого водоснабжения // Водное хозяйство России. 2006. № 1. С. 78—92.
2. Дзюбо В.В. Радиальные фильтры обезжелезивания подземных вод. Инженерные и технологические решения // Сантехника. 2006. № 4. С. 16—19.
3. Дзюбо В.В. Радиальные фильтры обезжелезивания подземных вод. Конструктивные решения // Сантехника. 2006. № 5. С. 6—10.
4. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 2002. 103 с.
5. Дзюбо В.В., Алферова Л.И. Исследование необходимой высоты и продолжительности защитного действия загрузки фильтров обезжелезивания подземных вод // Водочистка. 2007. № 8. С. 5—8.
6. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 1997. 128 с.

Сведения об авторе:

Дзюбо Владимир Васильевич, д. т. н., профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Томского государственного архитектурно-строительного университета, г. Томск, dzv1956@mail.ru.