

УДК 504.7 + 06

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2017

Безопасность технологических процессов очистки воды при радиоактивном загрязнении

А. В. Коновалов,

Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону

А. В. Нихаева,

Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону

М. А. Коновалов,

Северо-Кавказская Пригородная Компания,
г. Ростов-на-Дону

Аннотация

Для эффективного решения актуальной проблемы очистки воды от радионуклидов предложено использование компактного, мобильного скорого напорного вертикального фильтра, обеспечивающего двухступенчатую очистку загрязненной воды с помощью пористых цилиндрических фильтроэлементов и загрузки сыпучего сорбента — хлопьев оксида графена.

Ключевые слова: безопасность технологических процессов, двухступенчатая очистка воды, радионуклиды, скорый напорный вертикальный фильтр, пористые цилиндрические фильтроэлементы, хлопья оксида графена.

Содержание

Введение

1. Существующие технологии дезактивации воды от радионуклидов
2. Очистка воды от радионуклидов с помощью скорого напорного вертикального фильтра

Заключение

Литература

Введение

При авариях на атомных электростанциях (АЭС) возникает проблема, связанная с повышением радиационного фона на прилегающих территориях и последующим радиационным облучением персонала, участвующего не только в технологических процессах станции, но и в ликвидации последствий аварий.

Для обеспечения радиационной безопасности технологических процессов, наружной и внутренней обмывки на пункте подготовки в рейс подвижных составов, участвовавших в ликвидации последствий аварий на АЭС, целесообразно осуществлять очистку воды от твердых частиц с радиоактивными веществами (радионуклидов), т. е. проводить дезактивацию посредством отстаивания или фильтрации зараженной воды.

1. Существующие технологии дезактивации воды от радионуклидов

После оседания радионуклидов на дно верхние слои воды с помощью сифона осторожно сливаются в специальную чистую емкость. Для ускорения и улучшения дезактивации воды таким способом в нее приходится добавлять коагулянты — сернокислый аммоний, который образует в воде хлопья, оседающие на дно емкости и увлекающие за собой образующиеся радионуклиды. Технологический

процесс очистки воды от радионуклидов отстаиванием трудоемкий и длительный во времени.

Для очистки воды от радионуклидов фильтрованием применяют активированный уголь и бентонитовую глину. В последнее время наиболее эффективными сорбентами считаются хлопья оксида графена, которые имеют большую площадь поверхности и адсорбируют достаточно много токсинов, при этом технологический процесс занимает лишь несколько минут. Фильтрование воды от радионуклидов с применением хлопьев оксида графена дает высокий эффект — из воды удаляются даже уран и плутоний, отрицательно влияющие на процесс адсорбции. Они связываются в нерастворимые соединения независимо от уровня рН воды [1].

2. Очистка воды от радионуклидов с помощью скорого напорного вертикального фильтра

Для эффективного технического решения актуальной проблемы очистки воды от радионуклидов предлагается использование компактного, мобильного скорого напорного вертикального фильтра (СНВФ) [2], обеспечивающего двухступенчатую очистку воды с помощью пористых цилиндрических фильтроэлементов и загрузки сыпучего сорбента — хлопьев оксида графена.

На рис. 1 представлен скорый напорный вертикальный фильтр (СНВФ) для очистки воды от радионуклидов. Фильтр содержит корпус 5 с подводным 1 и отводящим 13 патрубками, в нем вертикально размещены пористые перегородки в виде цилиндрических фильтроэлементов 10. Между фильтроэлементами и стяжной перфорированной трубой 2 загружается сыпучий сорбент. Пьезометрическое устройство 11 определяет величину потерь напора воды и, соответственно, время начала промывки фильтра при достижении избыточного накопления радионуклидов в порах фильтроэлементов и возможной замены сорбента.

Восстановление фильтрующей способности фильтра осуществляется с помощью промывки обратным током, с повышенным расходом промывной воды [3].

Конструкция фильтра (СНВФ) позволяет производить качественную двухступенчатую очистку воды в необходимых объемах, в труднодоступных

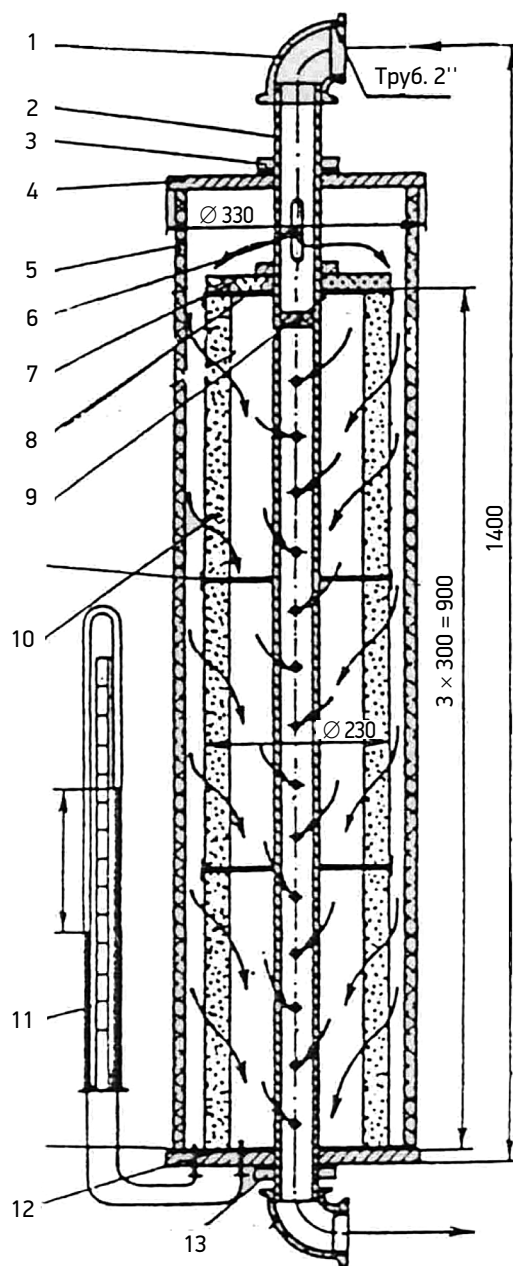


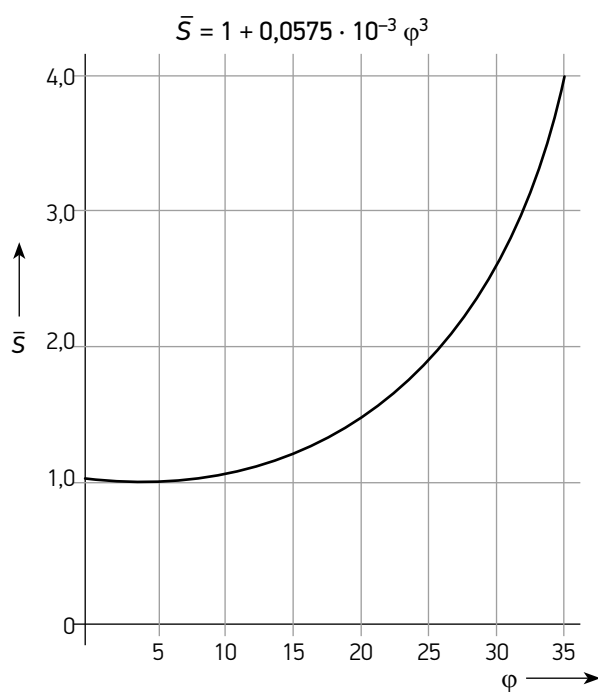
Рис. 1. Скорый напорный вертикальный фильтр для очистки воды от радионуклидов:

- 1 — подводный патрубок; 2 — стяжная труба;
- 3 — гайка; 4 — крышка верхняя;
- 5 — корпус; 6 — перфорация; 7 — упорный диск;
- 8 — уплотнение; 9 — пробка; 10 — фильтроэлемент;
- 11 — пьезометрическое устройство; 12 — крышка нижняя; 13 — отводящий патрубок

Численные значения зависимости площади фильтрования фильтра S от приращения площади сечения межзерновой камеры фильтроэлемента при повороте секущей плоскости на угол φ

Таблица 1

φ_i°	$\cos \varphi_i^\circ$	$S_i' = \frac{2866}{\cos \varphi}$	$\gamma^\circ = \text{arctg} = \frac{0,5775}{\cos \varphi}$	φ_i°	$\beta^\circ = \gamma^\circ - 30^\circ$	$S_i'' = 3,4417 \times \frac{\beta^\circ}{360^\circ} R^2$	$\Delta S_i = S_i' - (S_i + S_i'')$	$(S_i' + S_i'')$ $S_i = 0,2886$	$S_i = S_0 + 2\Delta S_i$ $S_0 = 0,015$	$\frac{S_i}{S_0} = \bar{S}$
5	0,9962	0,28970	0,57950	30 04'	0 04'	0,000643	0,000091	0,289243	0,015984	1,0609
10	0,9848	0,29305	0,53610	30 22'	0 22'	0,003536	0,000914	0,292136	0,01684	1,121867
15	0,9659	0,29878	0,59756	30 52'	0 52'	0,0083578	0,001813	0,296957	0,018628	1,24173
20	0,9397	0,30712	0,61424	33 33'	1 33'	0,0144475	0,003573	0,3035475	0,022145	1,47633
25	0,9063	0,31844	0,63688	32 30'	2 30'	0,024109	0,005731	0,312709	0,02646	1,76413
30	0,8660	0,33326	0,66652	33 41'	3 41'	0,035520	0,01214	0,32122	0,07908	2,605
35	0,8192	0,35364	0,7047	35 10'	5 10'	0,04982	0,01522	0,33842	0,04544	3,0243

Рис. 2. График зависимости $S = f(\varphi)$

местах, в условиях чрезвычайных ситуаций, без значительных материальных затрат благодаря его компактности и мобильности:

1-я ступень — механическая очистка воды с помощью цилиндрических пористых фильтроэлементов, выполненных из кварцевого песка определенной фракции и специального связующего материала;

2-я ступень — очистка от радионуклидов загрузкой из сыпучего сорбента.

Проводимые расчеты и исследования процесса фильтрования позволили установить численные значения зависимости площади фильтрования фильтра S от приращения площади сечения межзерновой камеры фильтроэлемента при повороте секущей плоскости на угол φ (от 0° до $35^\circ 15'$), т.е. $S = f(\varphi)$. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

По полученным численным значениям зависимости $S = f(\varphi)$ удалось построить график (рис. 2),

Значение относительной скорости V_0 в зависимости от S и угла φ

Таблица 2

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
$S, \text{мм}^2$	1,0	1,0609	1,121867	1,24173	1,47633	1,76413	2,605	3,0243
V_{cp}	1,0	0,9426	0,8914	0,8053	0,6774	0,5669	0,3839	0,3301
φ_i°	35	40	45	50	55	60	65	70
$S \cdot 3$	9,0879	7,815	5,29239	4,42899	3,72519	3,35601	3,1827	3,0
V_{cp}	0,1100	0,1280	0,1890	0,2258	0,2684	0,2971	0,3142	0,3333

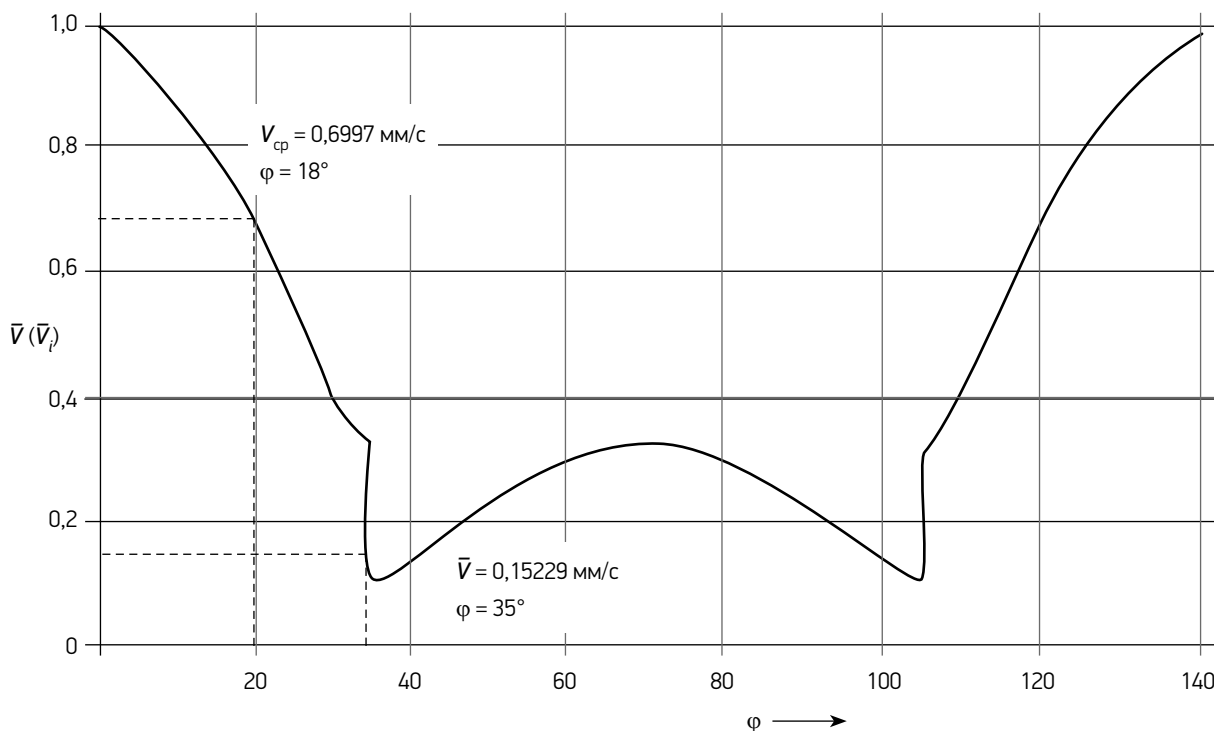


Рис. 3. Угловая развертка изменения относительной средней скорости в поровом канале фильтроэлемента

на котором кривая достаточно точно аппроксимируется уравнением кубической параболы [4]:

$$\bar{S} = f(\varphi) = S_i / S_0 = 1 + 0,0575 \cdot 10^{-3} \varphi^3. \quad (1)$$

Полученная зависимость $S = f_1(\varphi)$ позволяет найти значения средней скорости в любом сечении порового канала, то есть $V_{cp} = f_2(S)$ для приведенного диаметра порового канала $d_{пр}$ на различных его участках от входа до выхода.

Расчетные значения относительной средней скорости V_{cp} в зависимости от S и φ сведены в табл. 2.

Исследования изменения относительной средней скорости V_{cp} в поровом канале фильтроэлемента разбиты на участки:

1) на участке порового канала φ (0—35°):

$$V_{cp} = (1,0 + 0,9426 + 0,8914 + 0,8053 + 0,6774 + 0,5669 + 0,3839 + 0,3301) / 8 = 0,6997 \text{ мм/с.}$$

Среднее сечение порового канала на участке φ (0—35°):

$$S_{cp} = (1,0 + 1,0609 + 1,121867 + 1,24173 + 1,47633 + 1,76413 + 2,605 + 3,0293) / 8 = 1,6624 \text{ мм}^2;$$

2) аналогично определяется средняя относительная скорость на участке φ (35—70°):

$$V_{cp} = (0,1100 + 0,1280 + 0,1890 + 0,2258 + 0,2684 + 0,2971 + 0,3142 + 0,3333) / 8 = 0,15229 \text{ мм/с;}$$

3) среднее сечение порового канала на участке φ (35—70°):

$$S_{cp} = (9,0879 + 7,815 + 5,29239 + 4,42899 + 3,72519 + 3,35601 + 3,1827 + 3,0) / 8 = 4,9860 \text{ мм}^2.$$

По результатам исследований и расчетов построена угловая развертка изменения относительной скорости V_{cp} в поровом канале фильтроэлемента (рис. 3).

$$V \Rightarrow V_i (\varphi = 0^\circ \Rightarrow \varphi = 35^\circ \Rightarrow \varphi = 70^\circ \Rightarrow \varphi = 105^\circ \Rightarrow \varphi = 140^\circ).$$

Установленные закономерные изменения средней скорости в сечениях, соответствующих значениям φ_i (0—140°), позволяют судить о степени загрязнения порового канала фильтроэлемента радионуклидами, а значит, своевременно принимать меры по промывке фильтра.

Заключение

Техническое решение блочной конструкции фильтра позволяет, во-первых, предотвратить избыточное загрязнение фильтроэлементов и сорбента, а во-вторых, обеспечивает безопасность технологических процессов очистки воды от радионуклидов различной концентрации. Значения средней скорости процесса фильтрации изменяются с учетом величины накопления в фильтре загрязнителя, в данном случае — радионуклидов.

Литература

1. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. М.: Изд-во МГУ, 1996. 680 с. 178 ил.
2. Корневский В.И. Полимербетонные фильтры в системах водоочистки и водоотведения. Высокие технологии на пороге XXI века / В.И. Корневский, Г.В. Корневский, А.В. Коновалов. Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2000. 95 с.
3. Разработка конструкции блока очистки воды из открытых источников для хозяйственного и бытового назначения объектов завода и исследование его эффективности в условиях эксплуатации: отчет о НИР / РГУПС; рук. В.И. Корневский, А.В. Коновалов и др. Ростов н/Д, 1990.
4. Коновалов А.В. Теория и практика использования скорых напорных вертикальных фильтров для повышения эффективности очистки воды: монография / А.В. Коновалов, М.А. Коновалов. ФГБОУ ВО РГУПС. Ростов н/Д, 2016. 104 с.: ил. Библиогр.: с. 100—103.

Сведения об авторах

Коновалов Анатолий Васильевич: кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС)

Количество публикаций: 68, в том числе 20 учебно-методических работ

Область научных интересов: безопасность жизнедеятельности

Контактная информация:

Адрес: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2

Тел.: +7 (863) 272-63-11

E-mail: a-v-k-57@mail.ru

Нихаева Алёна Владимировна: кандидат технических наук, доцент, Донской государственный технический университет (ДГТУ), Академия строительства и архитектуры ДГТУ, факультет инженерно-строительный, кафедра «Безопасность технологических процессов и производств»

Количество публикаций: 61, в том числе 13 учебно-методических работ

Область научных интересов: безопасность жизнедеятельности, охрана труда, охрана воздушного бассейна, промышленная безопасность

Контактная информация:

Адрес: 344010, г. Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, д. 1

Тел.: +7 (863) 201-90-80

E-mail: Ecolog-1@mail.ru

Коновалов Максим Анатольевич: сменный инженер пассажирского отдела Северо-Кавказской Пригородной Компании

Число публикаций: 15, в том числе 3 учебно-методические работы

Область научных интересов: безопасность жизнедеятельности

Контактная информация:

Адрес: 344038, г. Ростов-на-Дону, ул. Депутатская, д. 3

Тел.: +7 (863) 238-20-07

E-mail: Maxipad2013@yandex.ru