

ГРАНУЛЫ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД

С. М. Азаров

Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220027, г. Минск, Беларусь

Поступила 12.09.2018 г.

В статье анализируются возможности формирования пористых гранул из кварцевого песка и потенциал их использования для очистки промывных вод.

Введение. В процессе эксплуатации систем водоподготовки загрузка фильтров загрязняется и нуждается в промывке, причем количество затрачиваемой на это воды достигает значения до 10–15 % от производительности системы. Наиболее экономически и экологически выгодный вариант утилизации промывных вод фильтров – их повторное использование в системах водоочистки. Для этого осветленная в отстойнике вода проходит доочистку на фильтрах и обеззараживается. Усредненные значения концентраций примесей в загрязненных промывных водах могут достигать 300 мг/дм³, соединений железа – до 200 мг/дм³. Объем загрязненных промывных вод достигает 14 % от добываемой воды из подземных горизонтов. Анализ современного состояния практики очистки загрязненных промывных вод станций обезжелезивания с применением механических и физико-химических аппаратов и установок выявил проблему создания высокопроизводительных, малогабаритных энергосберегающих технологий и оборудования, позволяющих в максимальной степени извлекать примеси и возвращать воду для повторного использования [1]. Применяемые сегодня фильтрующие материалы характеризуются значительным гидравлическим сопротивлением и большим удельным весом, приводящим к большим энергетическим и эксплуатационным затратам. Поэтому создание гранул, используемых в качестве фильтрующих загрузок при очистке промывных вод, является актуальной задачей.

Цель работы – исследовать структуру и свойства гранул на основе кварцевого песка.

Материалы и методики испытаний. Гранулы диаметром 3 мм и высотой 3 мм готовили на основе кварцевого песка марки ВС-020 ГОСТ 22551-77. Формование гранул производили в грануляторе марки ОГМ-1,5; спекание – в лабораторной печи SNOL 7,2/1100 в воздушной среде при 850 °С в течение 3 ч. Вид гранул представлен на рис. 1.

В состав шихты для прессования кроме кварцевого песка входили следующие компоненты: жидкообразная алюмосиликатная связка (далее – АСС), пластификатор (сырье глинистое ТР 37328907-1.01-00), порообразователь ТУ РБ 00959441.005 и неионогенный ПАВ («Фрилан» ТУ РБ 37430824.002-97). Для приготовления связующего использовали: стекло натриевое жидкое ГОСТ 13078-81, натрий едкий технический ГОСТ 2263-79, гидроокись алюминия ЧДА ГОСТ 11841-76, воду дистиллированную ГОСТ 6709-72.

Структуру материалов исследовали методами электронной микроскопии (микроскоп JEOL-5610LS).

Сравнительную оценку прочности керамических материалов на сжатие осуществляли по величине давления, разрушающего целостность образца в процессе испытания. Пористость образцов определяли методом гидростатического взвешивания – по увеличению массы образца при пропитке водой, и рассчитывали по формуле

$$\Pi = (m_2 - m_1) \cdot 100 / V, \quad (1)$$

где Π – пористость, %; m_2 – масса образца после пропитки водой, г; m_1 – масса сухого образца, г; V – объем образца, см³.



Рис. 1. Вид гранул на основе кварцевого песка

Качество очистки проверяли на экспериментальном модуле производительностью 1 м³/ч, на вход которого подавали промывную воду после регенерации опытной станции водоподготовки. В ходе эксперимента изменяли скорости фильтрации и регенерации, одновременно контролируя концентрацию железа на входе и выходе экспериментального модуля.

Экспериментальные результаты. Оптимизацию состава шихты проводили путем варьирования количества компонентов, наиболее значимо влияющих на формирование структуры и свойств исследуемых пористых материалов: АСС и порообразователя. Содержание кварцевого песка, пластификатора и ПАВ оставалось неизменным (34,5, 3,0 и 0,35 г соответственно). Каждая из серий содержала не менее семи образцов.

В табл. 1 представлены свойства экспериментальных образцов в зависимости от содержания АСС и порообразователя в исходной шихте.

Таблица 1. Свойства экспериментальных образцов из шихты разного состава

Серия	Содержание в шихте, г		Свойства образцов	
	АСС	порообразователя	Пористость, %	Прочность, МПа
1	4,5	6	33,5 (30,7–35,7)	13,1 (9,4–18,9)
2	5,5	6	32,1 (31,8–32,6)	21,6 (16,2–27,0)
3	6,5	6	26,9 (25,9–30,0)	34,4 (27,0–39,2)
4	7,5	6	24,3 (23,2–25,5)	30,3 (24,3–33,8)
5	6	4	23,2 (22,6–23,9)	39,4 (33,8–47,2)
6	6	5,5	28,2 (27,0–30,0)	32,9 (27,0–40,5)
7	6	7	30,4 (29,6–31,5)	22,9 (16,2–27,0)
8	6	8,5	35,3 (32,9–36,7)	15,1 (10,8–20,2)

Как следует из представленных в табл. 1 результатов, прочность и пористость исследуемых материалов существенно зависят от содержания

порообразователя: увеличение его количества в 2,1 раза приводит к росту пористости на 51,7 %, при этом потеря прочности составляет 61,7 %. Так как порообразователь полностью выгорает на ранней стадии процесса спекания (до 600 °С), не взаимодействуя с остальными компонентами шихты, зависимости пористости и прочности от содержания порообразователя носят практически прямолинейный характер. В отличие от порообразователя АСС активно взаимодействует с частицами кварцевого песка и глинистым пластификатором, поэтому изменение его количества иначе влияет на пористость и прочность получаемого материала. Очевидно, что увеличение количества жидкого связующего (цементирующего агента) в смеси исходных компонентов приводит к снижению пористости, что должно способствовать росту прочности. Однако этого не происходит. Максимальную прочность имеют образцы серии 3 с содержанием АСС равным 6,5 г. Дальнейшее увеличение количества связки (7,5 г), несмотря на снижение пористости образцов данной серии, не позволяет увеличить их прочность.

На рис. 2 представлена структура излома образца серии 4. Характер излома (рис. 2, в) свидетельствует о химическом взаимодействии кварца с алюмосиликатным связующим в процессе спекания пористых образцов.

Анализируя полученные результаты можно заключить, что оптимальным для формования гранул на основе кварцевого песка является компонентный состав шихты образцов серии 3.

Из материала серии 3 была изготовлена экспериментальная партия гранул, используемых в качестве фильтрующей загрузки экспериментального модуля возврата промывных вод. Для определения сочетания скоростей фильтрации и скоростей промывки обратным потоком, обеспечивающих максимальное качество очистки промывных вод, испытания проводили по следующей методике. Экспериментальный модуль системы возврата промывных вод работал в одном технологическом цикле с опытным образцом станции водоподготовки. Отдельно исследовали параметры режимов фильтрации и промывки. В процессе испытаний контролировали следующие параметры: скорость потока (м/ч) при фильтрации и промывке гранул обратным током для регенерации; концентрацию Fe³⁺ (мг/л)

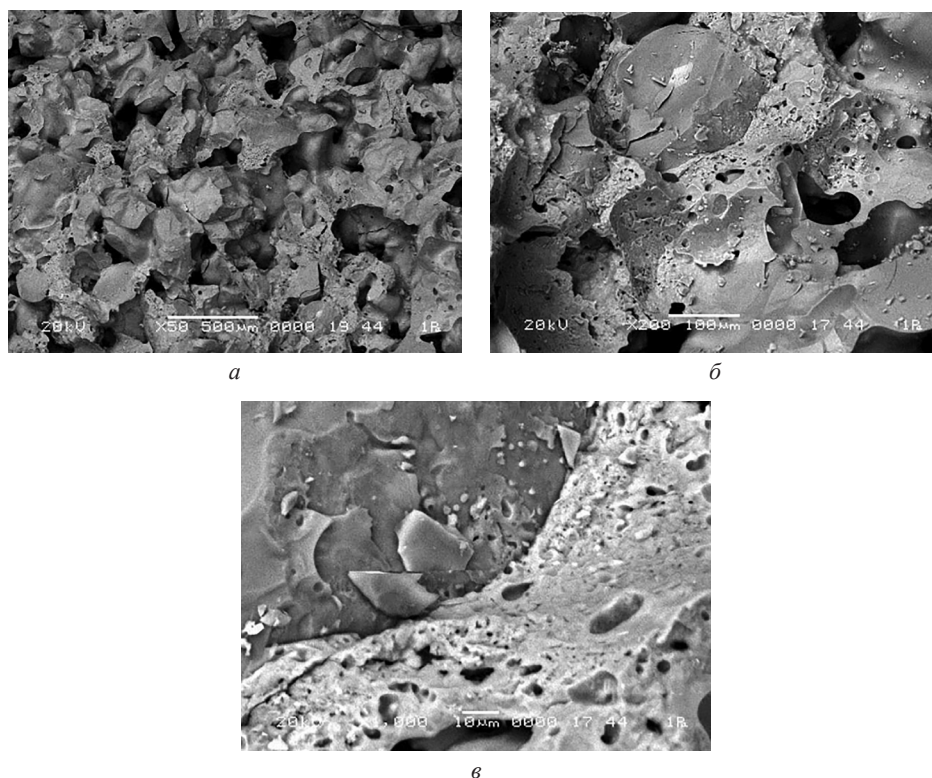


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения излома образца серии 4: *a* – общий вид; *б* – частица кварца в структуре образца; *в* – контактная зона

до, после фильтрации и в режиме регенерации установки возврата промывных вод обратным потоком. Гранулы промывали обратным потоком воды после окончания фильтроцикла. Эффективность очистки определяли по формуле

$$\gamma = \frac{Fe_{вх} - Fe_{вых}}{Fe_{вх}}, \quad (2)$$

где γ – эффективность очистки, %; $Fe_{вх}$ – концентрация общего железа на входе в установку, мг/л; $Fe_{вых}$ – концентрация общего железа на выходе из установки после фильтрации, мг/л.

На основании проведенных ранее экспериментов установлено, что концентрация общего железа на входе экспериментального модуля возврата промывных вод в технологический цикл практически постоянна и для настоящих условий эксперимента составляет 200 мг/л.

Рабочим давлением насоса изменяли скорости фильтрации и регенерации, согласно графикам, представленным на рис. 3 и 4.

Изменение концентрации железа в фильтрованной воде после очистки гранулами представлено на рис. 5.

Для оценки эффективности очистки от соотношения скоростей фильтрации и скорости регенерации гранул промывкой обратным током (определяемых рабочим давлением) использовали полиномиальный метод аппроксимации. В силу того, что неизвестен вид аппроксимирующей зависимости, в качестве эмпирической формулы был выбран алгебраический многочлен второго порядка

$$F(x) = A_1x + A_2x^2 + B, \quad (3)$$

где $F(x)$ – интерполируемая функция; A_1 – коэффициент интерполяции; A_2 – коэффициент интерполяции; B – остаточный член.

При интерполировании функций использовали условие равенства значений интерполяционного полинома и данной функции в узлах интерполяции. Так как исходные данные получены в результате опытных измерений, то требуется лишь приближенное выполнение условий интерполяции. Это условие означает, что интерполирующая функция $F(x)$ проходит не точно через заданные точки, а в некоторой их окрестности.

Соотношения скоростей определяли для значений $\gamma = 0,3-0,5; 0,6-0,7; 0,8-0,9$. Используя по-

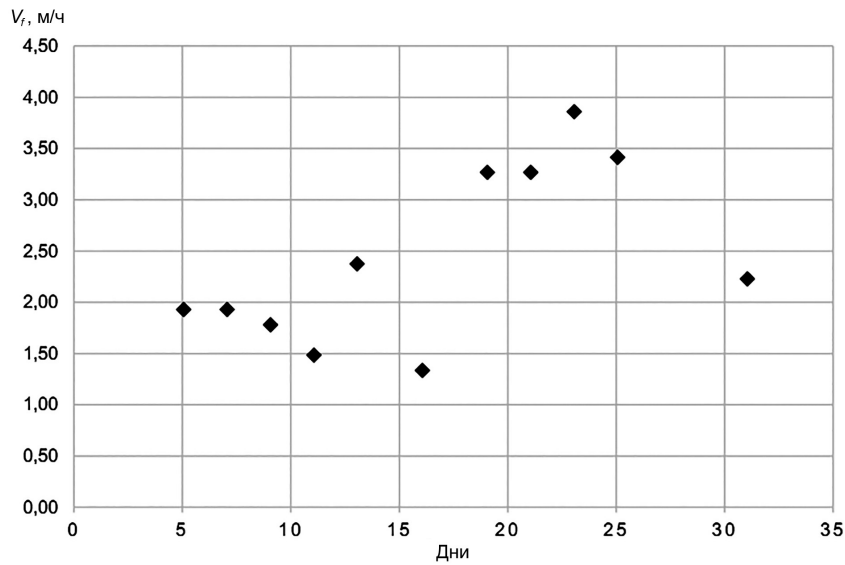


Рис. 3. Изменение скорости фильтрации во времени

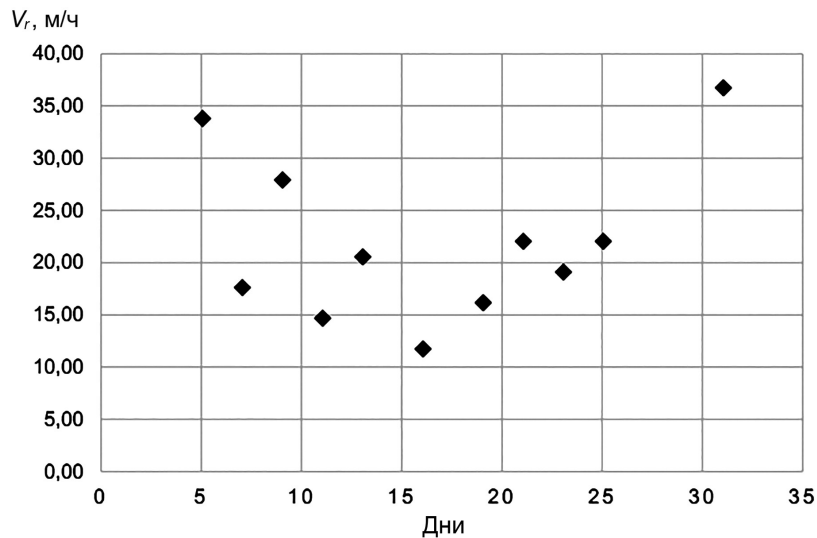


Рис. 4. Изменение скорости регенерации фильтрации во времени

ложения теории анализа функций, для выбранных значений γ были рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии. Значения коэффициентов представлены в табл. 2.

Кривые равных значений γ , рассчитанных по уравнениям регрессии в координатах скорость фильтрации, м/ч – $\text{Ln}(v_r)$, представлены на рис. 6.

Таблица 2. Коэффициенты уравнений регрессии

γ	A_1	A_2	B
0,3–0,5	–0,42	0,037	3,12
0,6–0,7	14,7	–3	–12
0,8–0,9	–1,12	0,291	3,79

Анализ представленных зависимостей показывает, что в исследуемой области значений максимальная эффективность очистки достигается в определенном диапазоне отношения

$$\sigma = \frac{v_f}{\text{Ln}(v_r)}. \quad (4)$$

При выполнении условия $0,1 < \sigma < 0,15$ достигается максимальная эффективность очистки.

Как видно из расположения представленных на рис. 6 кривых, при нарушении указанных соотношений эффективность очистки резко ухудшается.

Закключение. В результате проведенных исследований структуры и свойств материала гра-

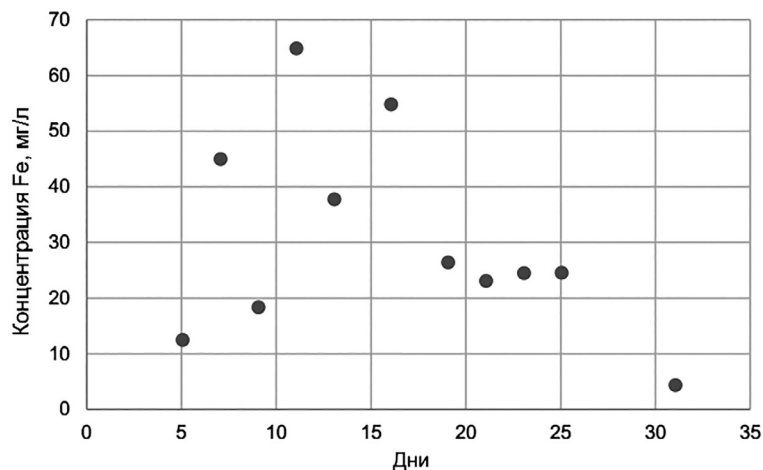
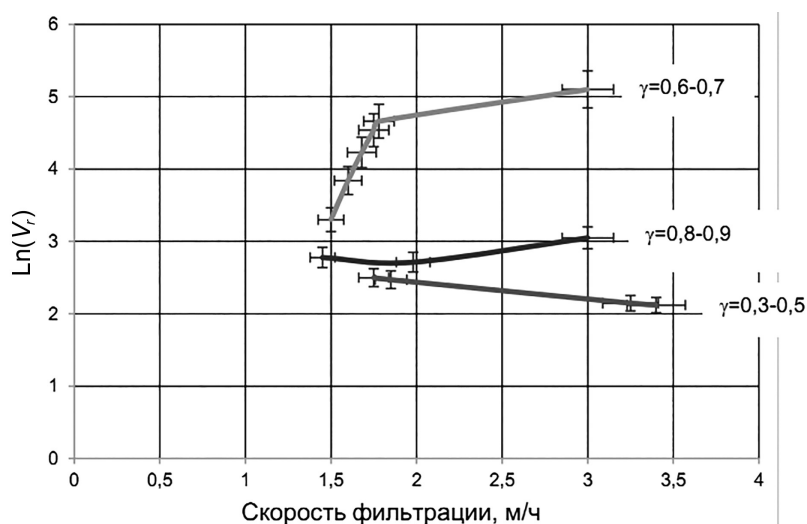


Рис. 5. Изменение концентрации железа во времени

Рис. 6. Кривые равных значений γ , рассчитанных по уравнениям регрессии в координатах скорость фильтрации– $\ln(v_f)$

нул на основе кварцевого песка установлено, что прочность и пористость исследуемых материалов существенно зависят от содержания порообразователя: увеличение его количества в 2,1 раза приводит к росту пористости на 51,7 %, при этом потеря прочности составляет 61,7 %.

В результате проведенных экспериментов по оценке качества очистки промывных вод раз-

работанными гранулами определено сочетание скоростей фильтрации и регенерации обратным потоком, обеспечивающее максимальное качество очистки промывных вод. Установлено, что в исследуемой области значений максимальная эффективность очистки достигается в диапазоне $0,10 < \sigma < 0,15$.

Литература

1. Курочкин, Е. Ю. Чистка загрязненных промывных вод станций обезжелезивания вакуум-фильтрованием [Электронный ресурс] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : ВАК РФ 5.23.04 / Е. Ю. Курочкин ; Томск, 2003. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/247/2479337.html>. – Дата доступа: 05.08.2018.

GRANULES OF SILICA SAND FOR CLEANING WASH WATER

S. Azarau

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The paper investigates possibilities of forming porous granules from silica sand for cleaning wash water.