

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Гуринович А.Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения / А.Д. Гуринович – Мн.: «ТЕХНОПРИНТ», – 2001.— 305 с.
2. Жуков Н.Н., Швец М.Ю. Акционирование предприятий водоснабжения и водоотведения – путь выхода из кризиса // Журнал руководителя и главного бухгалтера ЖКХ. 2003.№5. Часть 1 – С.29-31
3. Новак В.А. Повышение эффективности водопроводно-канализационного хозяйства Республики Беларусь: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук, 05.23.04. – 2003.
4. Шкодов В.В. Акционирование. Опыт ОАО «Слонимводоканал» // Вода.2004. №4 – С.8-11
5. Blokland M., Braadbaart O., Schwartz K. Private Business, Public Owners – Government Shareholdings in Water Enterprises. Published for the Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment of the Netherlands: P. 169-180.
6. [www.watertime.org](http://www.watertime.org)

УДК 628.112.4

*Шейко А.М., Ивашечкин В.В., Гуринович А.Д., Галицкий В.А.*

**ПРОГНОЗ КОЛЬМАТАЖА СКВАЖИН И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СРОКОВ ИХ РЕГЕНЕРАЦИИ**

**Введение.** Многолетний опыт эксплуатации водозаборных скважин показывает, что их дебит существенно уменьшается во времени в связи с развитием кольматажа фильтров и прифильтровых зон. Поэтому необходимо прогнозировать интенсивность этого процесса, чтобы планировать профилактические меры по восстановлению производительности водозаборов или перебурированию скважин [1, 2, 3, 4].

Результаты исследования строения призабойных зон и фильтров скважин, находящихся в эксплуатации, а также характеристика основных физико-химических процессов, определяющих течение и интенсивность химического кольматажа, позволяют заключить, что в общем случае процесс оказывается зависящим от многочисленных факторов: химического состава подземных вод, химического и гранулометрического состава водовмещающих пород (гравийных обсыпок), наличия железобактерий и водорослей, конструкции водоприемной части скважины, ее производительности, коагуляции коллоидных растворов и различных видов сорбции, растворенных в воде солей, типа водоподъемного оборудования, режима эксплуатации и др. [1, 5].

Совершенно очевидно, что в природных условиях будет действовать совокупность указанных выше факторов с различной степенью интенсивности. Этим, в частности, объясняется тот факт, что в пределах водозабора в одних геологических и гидрогеологических условиях, при одинаковых конструкциях скважин и фильтров, способах бурения и освоения никогда не получают равнозначных параметров, характеризующих работу рядом стоящих скважин (дебит, понижение уровня, сопротивление фильтра и др.). Такое многообразие факторов не может быть учтено при аналитическом решении задачи об интенсивности процесса химического кольматажа в различных гидрогеологических условиях [1].

Процесс кольматажа фильтров и прифильтровых зон скважин, представляющий собой постепенное и в разной степени интенсивное отложение кольматирующих соединений, характеризуется уменьшением скважности фильтра и пористости пород в прифильтровой зоне, а также коэффициента фильтрации.

Известно, что сопротивление, обусловленное химическим кольматажем, изменяется по закону близкому к экспоненциальному, но с некоторым периодом запаздывания [6]. Для фильтров, имеющих сниженную по сравнению с пластом проницаемость, изменение удельных дебитов подчиняется экспоненциальной зависимости [7, 3]:

$$q_t = q_0 \cdot e^{-\beta t}$$

где  $q_t$  - текущий удельный дебит;  $q_0$  - начальный удельный дебит скважины;  $\beta$  - коэффициент, учитывающий изменения удельного дебита скважины в связи с кольматажем (коэффициент «старения» скважины);  $t$  - время.

**Исследование закономерностей снижения удельного дебита.** С целью определения закономерностей снижения удельного дебита во времени были обработаны материалы наблюдений за работой скважин 11-ти водозаборов г. Минска, оборудованных трубчатými с проволочной обмоткой и каркасно-стержневыми фильтрами. Скважины каптируют воду из двух водоносных горизонтов: днепровско-сожского ( $f, lg lld-sz$ ) и верхнепротерозойского ( $V vd$ ), имеют различные сроки эксплуатации до восстановительных обработок и начальные удельные дебиты. Данные изменения удельного дебита скважин аппроксимировались экспоненциальной функцией. После этого определялся рациональный межремонтный период, который соответствовал времени снижения удельного дебита на 25% в сравнении с первоначальным удельным дебитом. В качестве критерия сравнения интенсивности изменения сопротивлений фильтров и прифильтровых зон скважин рассматривался коэффициент старения  $\beta$ , определяемый по экспериментальной кривой.

Результаты изучения интенсивности падения удельного дебита для скважин, пробуренных ударно-канатным способом (станки УКС - 22м и УКС - 30м) и роторным способом станками УРБ -ЗАМ, 1БА- 15В (прямая промывка) и ФА - 12 (обратная промывка) представлены в таблице 1.

Из данных таблицы 1 следует, что минимальные значения  $\beta$  равные (0,018-0,026) и соответственно максимальные значения рациональных сроков регенерации (15,4-11,1) лет характерны для скважин верхнепротерозойского водоносного горизонта. Надо отметить, что все скважины этого горизонта пробурены на полускальные трещиноватые породы без применения гравийных обсыпок.

Из скважин днепровско-сожского горизонта, сложенного рыхлыми породами, наименьшую интенсивность «старения» имеют скважины, пробуренные без устройства гравийных обсыпок. Их коэффициенты «старения»  $\beta$  в среднем не превышают значений 0,07 (для скважин, пробуренных роторным способом) и 0,08 (для скважин, пробуренных ударно-канатным способом), в то время как у скважин с гравийными обсыпками значения  $\beta$  на 20-40% больше (табл. 1).

*Шейко Андрей Михайлович, Белорусский национальный университет, аспирант каф. «Гидравлика» т. г. Минск (029) 77-095-42 (e-mail: andro@tut.by).*

*Ивашечкин Владимир Васильевич, Белорусский национальный университет, к.т.н., доцент каф. «Гидравлика», г. Минск т.(029) 7-56-99-32.*

*Гуринович Анатолий Дмитриевич, Белорусский национальный университет, профессор каф. «Экономика строительства», г. Минск.*

*Галицкий Вячеслав Анатольевич, УП «Минскводоканал», инженер, г. Минск.*

Таблица 1. Значения параметров интенсивности снижения удельных дебитов скважин водозаборов г. Минска

Водоносный горизонт	Днепровско-сожский				Верхне-протерозойский	
	Ударно-канатный способ бурения			Роторный способ бурения		
Тип буровой установки	УКС-22м, УКС -30м	УКС-22м, УКС -30м	УКС-22м, УКС -30м	ФА-12 (обратная промывка)	УРБ- 3АМ	УРБ-3АМ 1БА- 15В
Тип фильтра	Трубчатый с пров. обмоткой и грав. обсыпкой	Трубчатый с пров. обмоткой	Каркасно-стержнев. с грав. обсыпкой	Трубчатый с пров. обмоткой и грав. обсыпкой.	Трубчатый с пров. обмоткой	Трубчатый с пров. обмоткой
Первонач. уд. дебит, м <sup>3</sup> /ч·м	Коэффициент $\beta$ / рациональный срок регенерации, лет / количество скважин					
0-15	0,102/2,8/19	0,05/5,5/16	0,191/1,5/3	0,087/3,3/23	0,046/6,2/7	0,018/15,4/10
15-25	0,093/3,1/22	0,09/3,1/12	0,13/2,2/14	0,106/2,7/19	0,079/3,6/5	0,026/11,1/1
25-50	0,083/3,5/10	0,158/1,9/2	0,124/2,3/2	0,138/2,1/20	0,071/4/1	-
>50	0,159/1,8/4	0,089/3,2/3	-	0,223/1,3/3	0,157/1,8/1	-
Средние значения: коэффициента $\beta$ / рационального срока регенерации, год						
-	0,099/2,9	0,077/3,7	0,139/2,1	0,115/2,5	0,068/4,2	0,019/14,6

Одной из причин такого положения может являться то, что в начальный период эксплуатации этих скважин происходит интенсивное уплотнение гравийной обсыпки в прифильтровой зоне, вызванное, как правило, неверным подбором granulометрического состава самой гравийной смеси, и несоблюдением требуемой продолжительности откачки при освоении скважины [8]. Поэтому удельные дебиты таких скважин имеют тенденцию резко уменьшаться в первые годы эксплуатации. Однако отечественный и зарубежный опыт эксплуатации скважин с гравийно-засыпными фильтрами показывает, что обоснованием для их широкого внедрения является их высокая долговечность и удельные дебиты [9]. Несмотря на быстрое снижение удельного дебита скважин с гравийными обсыпками в начальный период эксплуатации, эти скважины имеют постоянный достаточно большой удельный дебит при дальнейшей их работе в течение многих лет.

Анализ результатов показывает, что практически во всех рассмотренных случаях, прослеживается тенденция роста интенсивности снижения удельного дебита скважин с увеличением абсолютных значений их первоначальных удельных дебитов  $Q_0$ . Например, в скважинах, пробуренных роторным способом с обратной промывкой, имеющих гравийную обсыпку, с ростом  $Q_0$  от 2 д 50 м<sup>3</sup>/ч коэффициент  $\beta$  возрастает от 0,087 до 0,138, а их рациональный срок регенерации уменьшается с 3,3 до 2,1 года. Для исследования этой закономерности была проанализирована работа 209 скважин, оборудованных разными фильтрами и пробуренных в различных гидрогеологических условиях. Расчёты показали, что между первоначальными удельными дебитами и значениями  $\beta$  установилась обратная связь с коэффициентом корреляции  $r = -0,51$ . Это означает, что при увеличении первоначального удельного дебита интенсивность «старения» скважины будет увеличиваться. Одной из причин этого положения является неправильный подбор насосов и высокие эксплуатационные расходы, которые не соответствуют проектным дебитам скважин. На практике, если начальный удельный дебит новой скважины превышает 15 м<sup>3</sup>/ч, на нее устанавливается насос производительностью 100-120 м<sup>3</sup>/ч, несмотря на то, что ее проектный дебит обычно составляет 60 м<sup>3</sup>/ч. В итоге интенсифицируется механический коьматаж из-за суффозионных процессов и химический коьматаж из-за роста объема отложений, пропорционально количеству воды, прошедшему через фильтр, что следует из теоретических зависимостей, полученных В.С.Алексеевым [1].

Анализ влияния способа бурения на значения коэффициента  $\beta$  при одинаковых конструкциях фильтров показал, что значения  $\beta$  у скважин, пробуренных роторным способом, на 5-20 % выше, чем у скважин, пробуренных ударно-канатным способом. Это объясняется тем, что применение при роторном бурении в качестве промывочной жидкости буровых растворов и даже чистой воды (из-за нахождения в кровле горизонта глинистых пород и наработки бурового раствора) не гарантирует остаточной коьматации в порах грунта на контактных зонах. Поэтому пористость у скважин, пробуренных роторным способом, вследствие коьматажа уменьшается интенсивнее, чем при ударно-канатном способе бурения, где в ствол доливают при сбрасывании желонки чистую воду. Кроме того, в скважинах, пробуренных ударно-канатным методом, обеспечивается более равномерная толщина гравийной засыпки, так как спуск фильтра с направляющими осуществляется не в открытый ствол, а в ствол, обсаженный трубой. Эта труба после засыпки гравия частично или полностью извлекается с ударами или вибрацией, что обеспечивает уплотнение гравийной обсыпки. Однако из-за высокой металлоемкости скважин и сложной технологии бурения, ударно-канатный метод на водозаборах УП «Минскводоканал» в последние годы применяется редко.

В скважинах, пробуренных роторным способом, рыхлая гравийная обсыпка в начальный период эксплуатации скважины интенсивно уплотняется при пусках-остановках погружных насосов, что приводит к резкому снижению пористости в этот период и увеличению коэффициента старения  $\beta$ . Это также является одной из причин более высоких значений  $\beta$  у скважин, пробуренных роторным способом.

Для выявления зависимости интенсивности коьматации от степени коррозионного воздействия воды (показателя Ризнера) (рис. 1) и содержания железа (рис. 2), были проанализированы 179 скважин. Коэффициенты корреляции в обоих случаях не превышают 0,08, поэтому зависимость считается несущественной. Такое явление связано, по-видимому, с проявлением особенности коьматационных процессов на водозаборах г. Минска, обусловленной биологическим коьматажем – накоплением продуктов жизнедеятельности железобактерий [10, 11]. Таким образом, интенсивность химической коьматации фильтров определяется не только количественным содержанием соединений железа, кальция, магния и др., но их стабильностью при определенных значениях величин рН.

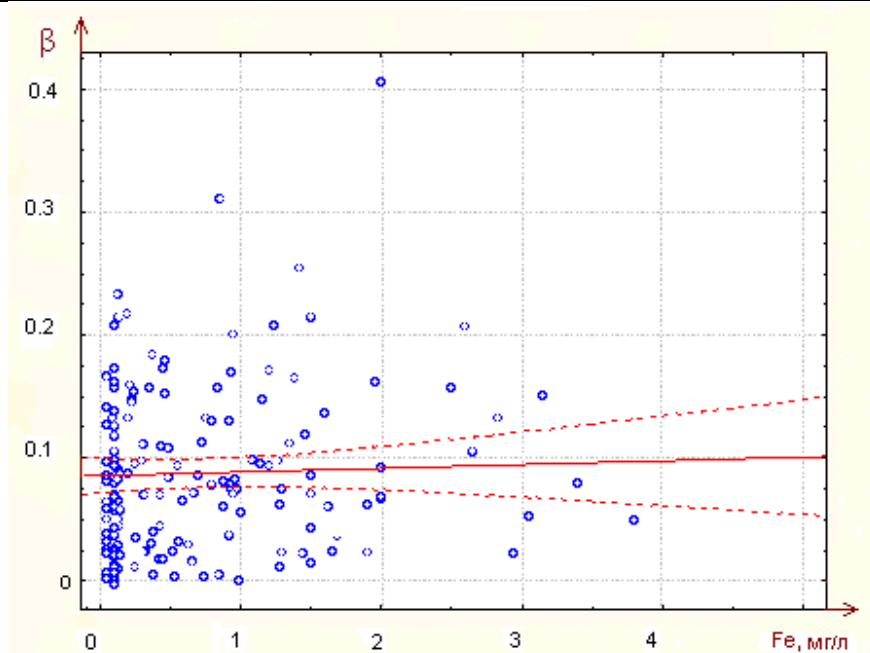


Рис. 1. График зависимости коэффициента «старения»  $\beta$  от содержания железа (Fe)

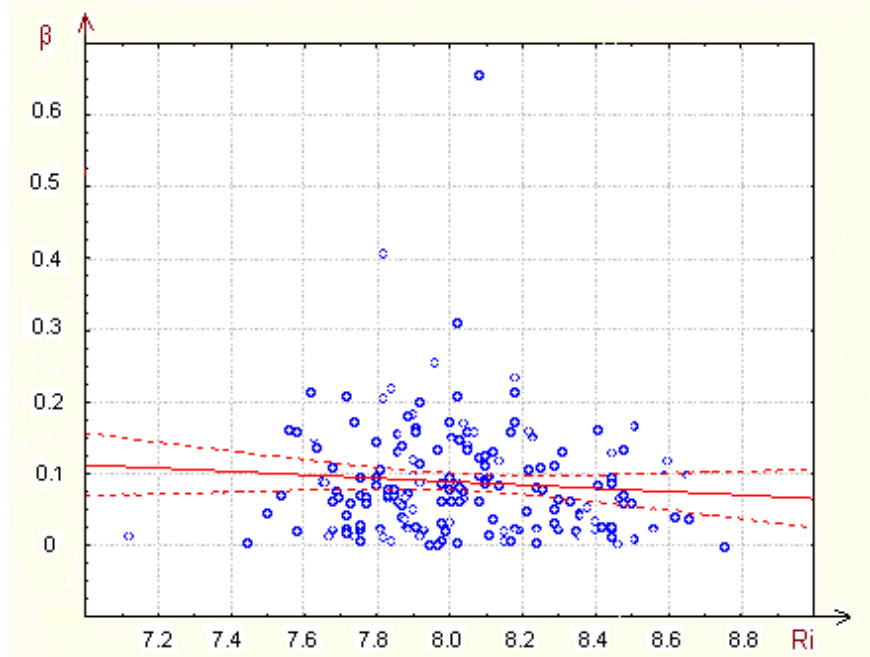


Рис. 2. График зависимости коэффициента «старения»  $\beta$  от показателя Ризнера (Ri)

На рисунке 3 приведены рациональные расчетные межремонтные сроки для скважин водозаборов г. Минска, вычисленные как время уменьшения начальных удельных дебитов на 25%.

Средний межремонтный период для условий естественного старения скважин, при снижении первоначального удельного дебита на 25% в целом по г. Минску составляет 3,35 года (рис. 3). Проанализированные 203 скважины имели первые восстановительные ремонты в среднем через 14 лет, при среднем понижении удельного дебита на 45%, что должно было негативно сказываться на степени извлечения кольматанта. Эффективность таких ремонтов ниже, чем ожидаемая, так как происходит дегидратация, упрочнение не удаленного вовремя кольматанта, что затрудняет дальнейшую регенерацию фильтра и вынуждает в конечном итоге либо прибегнуть к замене фильтра, либо к переобустройству скважины. Это свидетельствует о том, что своевременное проведение восстановительных обра-

боток играет важную роль в дальнейшей эксплуатации скважины и продления её срока службы.

Анализируя результаты исследования, можно сделать следующие **выводы**:

1. Рациональный межремонтный период декольматажа скважин для г. Минска зависит от вида водоносного горизонта, гидрогеологических условий, наличия гравийной засыпки и ее качества, правильности эксплуатации и мало зависит от абсолютных значений показателя Ризнера и количества растворенного в воде железа.

2. Ориентировочный рациональный межремонтный период для водозаборов г. Минска для условий естественного старения скважин при понижении первоначального удельного дебита на 25 % лежит в пределах от 2 до 6,5 года, что в среднем составляет 3,35 года.



Рис. 3. Значения рациональных межремонтных периодов для водозаборов г. Минска

3. Для поддержания эксплуатационного режима работы скважин и продления срока их службы, необходимо проведение своевременных восстановительных профилактических и ремонтных мероприятий с периодичностью, не превышающей рациональных межремонтных сроков регенераций скважин. При определении рационального межремонтного периода регенерации необходимо учитывать природные условия каждой скважины индивидуально, а также эксплуатационные характеристики и её состояние, определяемые наблюдениями в течение всего срока службы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гаврилко, В.М. Фильтры буровых скважин / В.М. Гаврилко, В.С. Алексеев. – 2-е изд. – М.: Недра, 1976. – 345 с.
2. Ивашечкин, В.В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин / В.В. Ивашечкин; под ред. А.Д. Гуриновича. – Минск: БНТУ, 2005. – 270 с.
3. Плотников, Н.А. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод / Н.А. Плотников, В.С. Алексеев. – М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.

4. Houben, G. Regenerierung und sanierung von Brunnen / G. Houben, C. Treskatis. – Munchen: Oldenbourg industriever, 2003. – 280 s.
5. Гуринович, А.Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения / А.Д. Гуринович. – Минск: Технопринт, 2001. – 305 с.
6. Алексеев, В.С. Методика прогноза химического кольматажа водозаборных скважин / В.С. Алексеев // Водоснабжение и санитарная техника. – 1968. – №10. – С. 28-31.
7. Опытнo-фильтрaционные работы / В.М. Шестаков [и др.]; под общ. ред. В.М. Шестакова. – М.: Недра, 1974. – 204 с.
8. Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду / В.В. Дубровский [и др.]; под общ. ред. В.В. Дубровского. – М.: Недра, 1972. – 512 с.
9. Квашнин, Г.П. Водозаборные скважины с гравийными фильтрами / Г.П. Квашнин, А.И. Деревянных. – М.: Недра, 1981. – 216 с.
10. Шейко, А. М. Анализ долговечности водозаборных скважин г.Минска / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, Н.В. Холодинская, Э.А. Макарова // Вестник БНТУ. – 2006. – № 1. – С. 27-32.
11. Работнова И.Л. Общая микробиология / И.Л. Работнова. – М., 1966. – 260 с.

УДК 662.76

Северянин В.С., Горбачёва М.Г., Тимошук А.Л., Янчилин П.Ф., Матвеева А.С.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛОЕВОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ ВОДОРОДА ДЛЯ КОНТАКТНОГО НАГРЕВА ВОДЫ

### ВВЕДЕНИЕ

Использование водорода в качестве топлива для контактного нагрева воды представляет особый интерес. Для водорода, продуктом сгорания которого является водяной пар, разница

между высшей и низшей теплотой сгорания, по сравнению с другими газообразными топливами (таблица 1) наиболее значительна. Поэтому в случае сжигания водорода в традиционных установках при температуре уходящих газов выше 100 °С

*Северянин Виталий Степанович, профессор, д.т.н., профессор каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.*

*Горбачева Мария Григорьевна, доцент каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.*

*Тимошук Александр Леонидович, аспирант каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.*

*Янчилин Павел Федорович, студент факультета водоснабжения и гидромелиорации Брестского государственного технического университета.*

*Матвеева Александр Сергеевич, студент факультета водоснабжения и гидромелиорации Брестского государственного технического университета.*

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика