

## **ДВУСТВОЛЬНАЯ ФИЛЬТРОВАЯ ВОДОЗАБОРНАЯ СКВАЖИНА ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОДНОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА**

**В.В. Ивашечкин**, доктор технических наук, профессор

**Ю.А. Медведева**, ассистент

**А.Н. Курч**, магистрант

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь

### **Аннотация**

В данной статье рассматривается установившееся движение жидкости в прифилтровой зоне двуствольной скважины при ее регенерации циркуляционно-реагентным методом. Описывается технология сооружения двуствольной скважины. Проводится теоретическое исследование фильтрационного потока при регенерации водозабора.

**Ключевые слова:** скважина, регенерация, эксплуатационная колонна, фильтр, циркуляция, водозабор

### **Abstract**

**V.V. Ivashechkin, Ju.A. Medvedeva, A.N. Kurch**  
**DOUBLE FILTER WATER BORE TO EXPLOIT ONE WATER HORIZON**

This article discusses the steady-state motion of a fluid in near filtering zone of double bore in its regeneration by circulation-reagent method, describes the technology of construction of double bore. Theoretical investigation of flow during regeneration of the water intake is carried out.

**Keywords:** bore, regeneration, exploitation column, filter, circulation, water intake

### **Введение**

Буровые скважины являются наиболее распространенными типами водоприемных сооружений и применяются для добычи подземных вод в самых разнообразных гидрогеологических условиях. В практике проектирования водозаборов часто предусматривается сооружение основной и резервной скважин для обеспечения бесперебойной подачи воды водопотребителю. У каждой скважины имеется своя зона санитарной охраны, где устанавливается особый режим эксплуатации территории для защиты от загрязнения. Для сокращения территории, необходимой для зоны санитарной охраны двух скважин, предлагается применять конструкцию водозабора, состоящего из рабочей и резервной скважин, оборудованных циркуляционными трубками, и размещенных в одном буровом стволе большого диаметра.

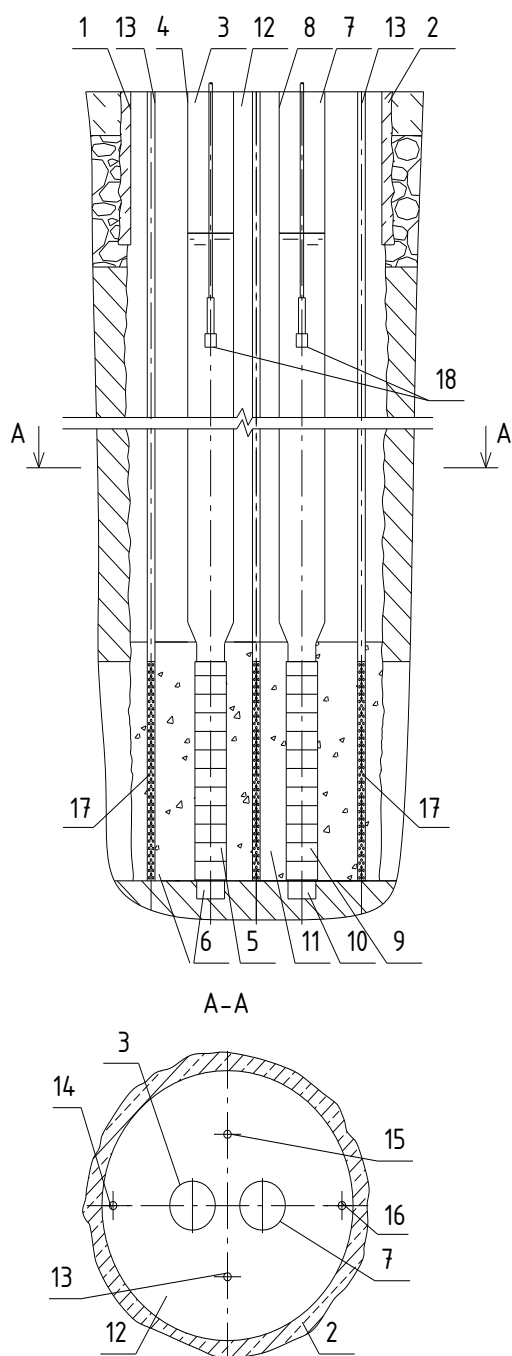
Известно применение многоствольных бесфильтровых скважин, которые позволяют сократить размеры зон санитарной охраны [1]. Дополнительным преимуществом многоствольных конструкций является применение одного павильона на два ствола, так как они близко размещены. Недостатком известной конструкции [1] является возможность применения только традиционных методов регенерации, которые предполагают воздействие на кольматирующие отложения только изнутри фильтра. Однако

большая часть этих отложений находится в прифилтровой зоне (0,5-2 м) снаружи водоприемной поверхности. Анализ конструкций скважин показал, что перспективными являются конструкции, позволяющие осуществлять воздействия на «кольматационное кольцо» с двух сторон (внутренней и наружной), что повышает эффективность регенерации.

С целью увеличения долговечности водозаборов и снижения капитальных затрат на строительство резервных скважин в БНТУ на кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство» предложена скважина, каждый из стволов которой оборудован циркуляционными трубками (рисунок 1).

Скважина состоит из кондуктора 1 с затрубной цементацией 2, первого ствола 3, имеющего в своем составе эксплуатационную колонну 4, фильтр 5 с рабочей частью и отстойник 6 второго ствола 7, имеющего в своем составе эксплуатационную колонну 8, фильтр 9 с рабочей частью и отстойник 10 гравийной обсыпки 11, песчаной засыпки 12, циркуляционных трубок 13,14,15 и 16 с перфорацией 17, выполненной напротив рабочей части фильтров 5 и 9.

Основным отличием новой скважины (рисунок 1) от известных конструкций является размещение в одном кондукторе двух стволов, а также установка в фильтрующей обсыпке специальных циркуляцион-



**Рисунок 1.– Конструкция двухствольной фильтровой водозаборной скважины**

ных трубок из полиэтиленовых труб малого диаметра для обеспечения циркуляции реагента во всем объеме гравийной обсыпки. Конструкция скважины предполагает возможность воздействия на кольматирующие отложения как изнутри, так и снаружи водоприемной поверхности.

В процессе эксплуатации скважины в порах гравийной обсыпки 11 и в отверстиях фильтров 5 и 9 накапливаются отложения – продукты химического и биологического кольматажа. Снижается проницае-

мость прифильтровой зоны, уменьшается производительность скважины. Для регенерации фильтров 5 и 9 и прифильтровой зоны можно использовать циркуляционно-реагентную промывку, которая заключается в следующем. Глубинные насосы 18 из обоих стволов демонтируют, устанавливают специальную емкость с реагентом на устье скважины (на рисунке не показана). Емкость оснащена заливочными шлангами для подачи реагента и погружным насосом или эрлифтом для откачки продуктов растворения. При регенерации по заливочным шлангам реагент самотеком вначале подают в циркуляционные трубки 13, 14 и 15. Реагент поступает через перфорацию 17 циркуляционных трубок 13, 14 и 15 в гравийную обсыпку 11. Одновременно из фильтра 5 первого ствола 3 скважины, установленным здесь реагентным погружным насосом или эрлифтом, откачивают продукты растворения в емкость с реагентом. Насос (эрлифт) создает депрессию внутри фильтра 5 и обеспечивает непрерывную циркуляцию реагента в фильтре 5 и гравийной обсыпке 11. Это позволяет обеспечить необходимую интенсивность растворения отложений. Для повышения степени извлечения кольматажа меняют направление потока реагента (обеспечивают реверс движения реагента). Для этого реагент закачивают в циркуляционные трубки 13, 15 и 16, а откачивают продукты реакции из второго ствола 7. Это позволяет обеспечить необходимое качество обработки. Например, в качестве реагента для растворения отложений могут быть использованы соляная кислота  $HCl$  или дитионит натрия  $Na_2S_2O_4$ .

#### Технология сооружения водозабора

Технологическая последовательность сооружения водозабора, состоящего из двух стволов, оборудованных циркуляционными трубками, и размещенных в одном буровом стволе представлена на рисунке 2.

Отрывают отстойник и бурят долотом разведочный ствол на проектную глубину [2]. Производят в разведочном стволе геофизические исследования с целью определения глубины залегания и мощности водовмещающих пород. После расшифровки коротажных диаграмм, устанавливают направляющую колонну, производят ударно-канатным способом бурение ствола под кондуктор 1, выполняют затрубную цементацию 2 кондуктора 1 на всю его высоту до устья скважины. Срок твердения цемента для кондук-

торов обычно устанавливают 24 часа. Затем опустив долото через кондуктор на забой, разбуривают цементную пробку в кондукторе 1, производят бурение ствола, вскрывают водоносный горизонт на нужную глубину. Так как бурение производится большим диаметром, его выполняют методом обратной промывки чистой водой.

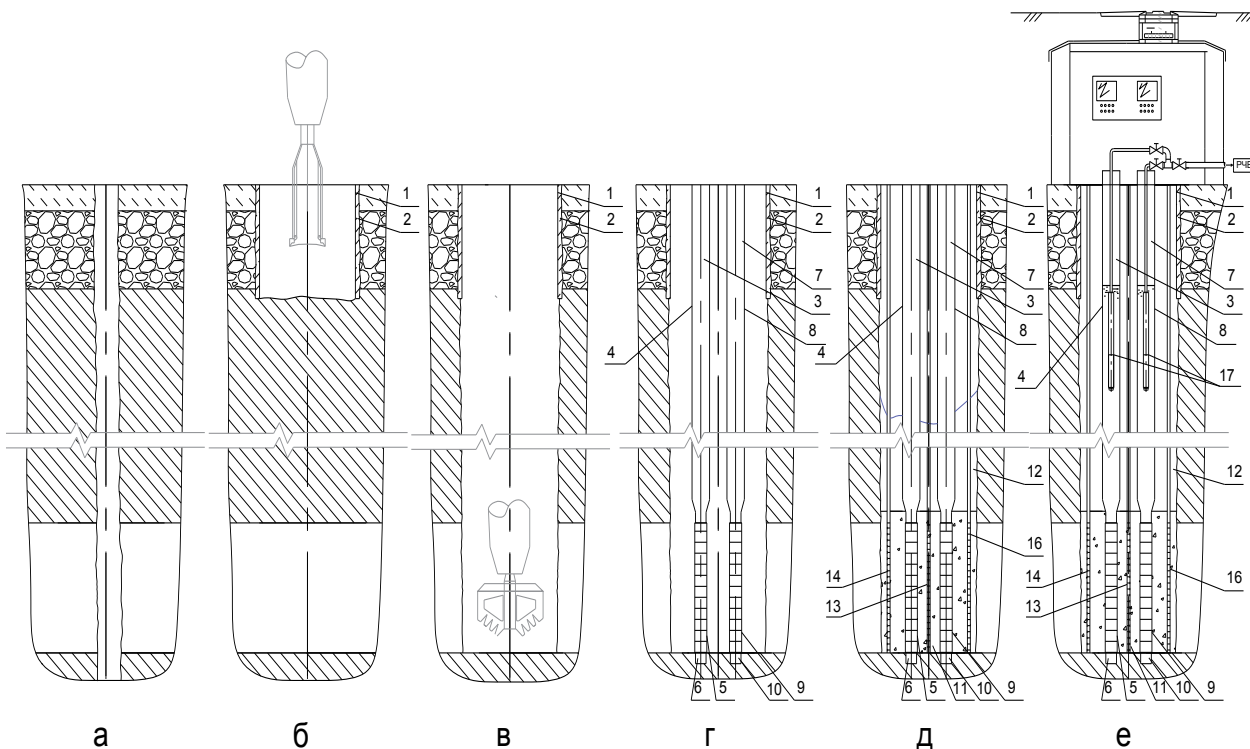
Затем опускают в ствол скважины следующие элементы: первый ствол 3, включающий в себя эксплуатационную колонну 4 с фильтром 5 и отстойником 6, второй ствол 7, включающий в себя эксплуатационную колонну 8 с фильтром 9 и отстойником 10. Циркуляционные трубки 13, 14, 15 и 16 с перфорацией, выполненной напротив фильтров 5 и 9, устанавливают в ствол скважины в проектное положение. После этого производят засыпку гравия в пространство между циркуляционными трубками 13, 14, 15 и 16, первым 3 и вторым 7 стволами с целью создания гравийной обсыпки 11 вокруг фильтров 5 и 9. Запас гравия над верхом фильтров 5 и 9 должен составлять не менее 5 м. В первый 3 и второй 7 стволы опускают эрлифты и производят освоение водоносного горизонта, путем пульсирующей прокачки, которую могут сочетать со свабированием. При необхо-

димости гравий при прокачке досыпают. Затем наверх гравия засыпают непромытый песок 12 до устья скважины. Скважину снабжают оголовком и оснащают два ствола отдельными глубинными насосами 17.

### Гидродинамика циркуляционного потока

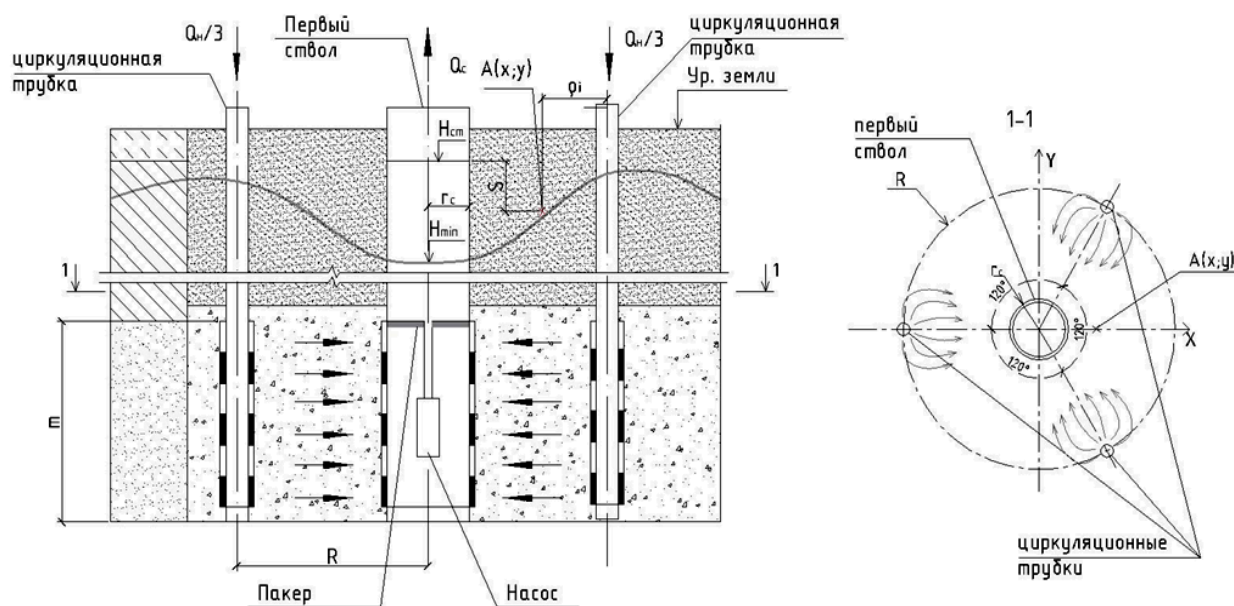
Рассмотрим гидродинамику движения фильтрационного потока жидкости от нескольких циркуляционных трубок, работающих в режиме закачных к первому (водозаборному) стволу скважины, работающему в режиме откачного (рисунок 3).

Пусть водозаборная скважина вскрывает напорный водоносный горизонт и применяемый для ее реагентной регенерации раствор незначительно отличается по физическим свойствам от подземных вод. В момент времени  $t=0$  начинается откачка из водозаборной скважины с расходом  $Q$ , с того же момента времени в каждую из  $n$  циркуляционных трубок начинает поступать расход раствора  $Q/n$ . В части пласта, примыкающего к водозаборной скважине, формируется депрессия, а у циркуляционных трубок – репрессия. Для напорного пласта установившийся режим фильтрации наступает практически мгновенно.



а – разведочный ствол; б – посадка кондуктора ударно-канатным способом; в – бурение ствола; г – установка фильтровых колонн первого и второго ствола и циркуляционных трубок; д – засыпка гравием и прокачка скважин; е – готовая конструкция скважинного водозабора водоподъемным оборудованием и павильоном.

Рисунок 2. – Технологическая последовательность бурения водозабора



**Рисунок 3.– Расчетная схема заfiltrовкой гидродинамической промывки водозаборной скважины в напорном пласте**

Для простейшей лучевой схемы взаимодействия скважин при циркуляционной регенерации, представленной на рисунке 3, можно использовать общее уравнение для расчета изменения уровня в любой точке прифилтровой зоны после установления квазиустановившегося движения, имеющее вид [3]:

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \left( \ln \frac{2,25at}{r^2} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{2,25at}{\rho_i^2} \right) = \frac{Q}{4\pi km} \left( -\ln r^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \rho_i^2 \right), \quad (1)$$

где  $r$  – расстояние от водозаборной скважины радиусом  $r_c$  до точки, в которой определяется понижение;  $\rho_i$  – расстояние от  $i$ -ой циркуляционной трубки до точки, в которой определяется понижение;  $n$  – число циркуляционных трубок;  $k$  – коэффициент фильтрации прифилтровой зоны;  $m$  – мощность пласта;  $t$  – время от начала работы системы;  $a$  – коэффициент пьезопроводности.

Уравнение (1) получено на основе метода наложения фильтрационных течений [4].

Для построения гидродинамической сетки необходимо в выражении (1) перейти от полярных координат к прямоугольным координатам, расположив начало в центре водозаборной скважины, а ось абсцисс, проходящей через  $n$ -ую циркуляционную трубку. Тогда получим [3]:

$$\begin{aligned} r^2 &= x^2 + y^2 \\ \rho_i^2 &= (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2; \\ x_i &= R \cos \alpha; \\ y_i &= R \sin \alpha; \\ \alpha &= \frac{2\pi}{n} i, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $x, y$  – координаты точки, в которой определяется изменение уровня;  $x_i, y_i$  – координаты циркуляционных трубок;  $\alpha_i$  – угол между лучом, проходящим из начала координат через циркуляционную трубку с номером  $i$ , и осью абсцисс;  $R$  – расстояние от циркуляционной трубки до водозаборной скважины.

С учетом выражений (2) уравнение (1) принимает вид:

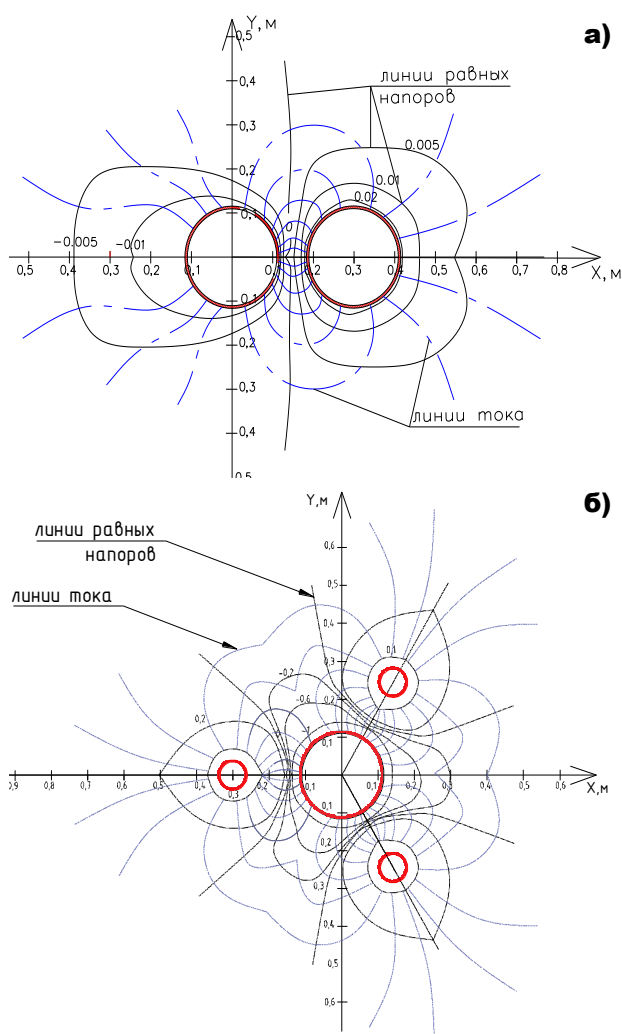
$$S = \frac{Q}{4\pi km} \left\{ -\ln(x^2 + y^2) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \ln \left[ (x - R \cos \frac{2\pi}{n} i)^2 + (y - R \sin \frac{2\pi}{n} i)^2 \right] \right\} \right\} \quad (3)$$

Используя выражение (3), построим гидродинамические сетки для водозаборной скважины с радиусом фильтра первого ствола  $r_c=0,11$  м, второго ствола с таким же радиусом фильтра, а также с дополнительными циркуляционными трубками при следующих исходных данных: циркуляционные трубки, работающие в режиме закачных, располагаются на расстоянии  $R = 0,3$  м от скважины, работаю-



щей в режиме откачной, водопроницаемость пласта –  $k_m=10^{-3}$  м<sup>2</sup>/с, расход жидкости, откачиваемый из водо-заборной скважины –  $Q = 0,006$  м<sup>3</sup>/с = 21,6 м<sup>3</sup>/час.

Расчет удобно выполнять в форме таблицы с использованием ЭВМ. Задавая координаты  $x$  и  $y$ , подставив исходные данные в уравнение (3), определяем изменение напора  $S_b$  данной точке. На рисунке 4 показаны гидродинамические сетки фильтрации для первого и второго стволов водозабора (а) и для первого ствола водозабора и трех циркуляционных трубок (б).



**Рисунок 4. – Гидродинамические сетки фильтрации**

Анализ гидродинамической сетки показывает, что на рисунке 4а между двумя стволами скважин линии равных напоров располагаются часто, а кривизна и длина линий тока, выходящих из циркуляционных трубок, наименьшая. Следовательно, на этом участке зоны кольматации выщелачивание будет проходить намного быстрее, чем с внешних сторон.

По принципу наименьшего сопротивления весь реагент будет поступать только во внутреннюю часть между стволами, а внешняя часть обрабатываться не будет. Поэтому было предложено оборудовать водозабор циркуляционными трубками, которые размещены относительно него симметрично под углом 120° для осуществления регенерации (рисунок 4б). Из рисунка 4б видно, что охват зоны кольматации потоками реагента лучше, поэтому регенерация будет проходить равномерно.

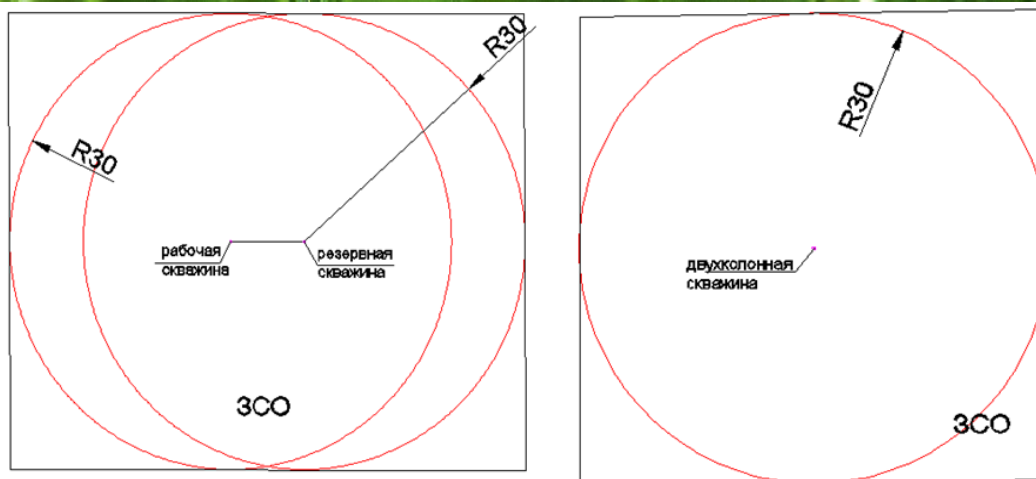
**Экономическое сравнение вариантов**

Для экономического обоснования было рассмотрено два случая. Первый случай – это бурение рабочей и резервной скважин в разных кондукторах на расстоянии 10 метров друг от друга с павильонами. Второй случай – это бурение водозабора, состоящего из рабочей и резервной скважин, в одном кондукторе с павильоном.

В первом случае стоимость бурения двух скважин на глубину 60 метров составит порядка  $30000 \cdot 2 = 60000$  у.е. Для каждой скважины отдельно сооружается павильон со всем необходимым оборудованием общей стоимостью около  $10000 \cdot 2 = 20000$  у.е. Зона санитарной охраны для рабочей и резервной скважин своя, с радиусом 30 м для каждой. Стоимость 1 м<sup>2</sup> земли в Минском районе составляет в среднем 18 у.е., а площадь территории под зону санитарной охраны составит 4203 м<sup>2</sup> (рисунок 5, а), соответственно ее стоимость составляет  $18 \cdot 4203 = 75654$  у.е. Следовательно, стоимость бурения рабочей и резервной скважин в разных кондукторах на расстоянии 10 метров друг от друга с павильонами составит около 155654 у.е.

Во втором случае стоимость бурения водозабора, состоящего из рабочей и резервной скважин на глубину 60 метров составит порядка 70000 у.е. Павильон потребуется один – 10000 у.е. Площадь территории под зону санитарной охраны для водозабора составляет 3591 м<sup>2</sup> (рисунок 5, б), соответственно ее стоимость составляет  $18 \cdot 3591 = 64638$  у.е. Следовательно, стоимость бурения водозабора, состоящего из рабочей и резервной скважин, в одном кондукторе с павильоном составит около 144638 у.е.

Экономический эффект очевиден, так как при бурении водозабора, состоящего из рабочей и резервной скважин, зона санитарной охраны уменьшается на 15 %, а соответственно уменьшается и стои-



а) для рабочей и резервной скважин; б) для двухстолонной скважины

**Рисунок 5. – Зоны санитарной охраны (ЗСО)**

мость земли, в сравнении с бурением рабочей и резервной скважин в разных кондукторах на расстоянии 10 метров друг от друга. А также уменьшается стоимость во втором случае за счет того, что необходимо соорудить только один павильон.

#### **Выводы**

Рассмотрено установившееся движение жидкости в прифильтровой зоне двухствольной скважины при ее регенерации циркуляционно-реагентным методом; построены гидродинамические сетки фильтрации при закачке реагента в один из стволов и откачки его из другого ствола, а также при закачке реагента в циркуляционные трубки и откачки его из одного из стволов. Анализ гидродинамических сеток показал, что регенерация во втором случае более эффективна.

Также выявлены преимущества применения конструкции двухствольной скважины, которая позволяет:

- увеличить срок службы рабочей и резервной скважин за счет эффективной регенерации их фильтров, размещенных в одном буровом стволе вместе с циркуляционными трубками, которые служат для обеспечения циркуляционно-реагентной обработки;

- осуществлять бесперебойную подачу воды потребителю, имея в каждом стволе отдельный электронасосный агрегат;

- уменьшить площади отчуждаемых под строительство земель, так как рабочая и резервная скважины сооружаются в одной санитарной зоне;

- обеспечить снижение капложений по сравнению с сооружением двух отдельно расположенных скважин (один павильон вместо двух, одна буровая площадка вместо двух, меньшая длина коммуникаций и т. д.).

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Богомолов, Г.В. Бесфильтровые водозаборные скважины в рыхлых породах / Г.В. Богомолов, Р.А. Станкевич. – Минск : Наука и техника, 1978. – 149 с.
2. Башкатов, Д.Н. Бурение скважин на воду / Д.Н. Башкатов, В.Л. Роговой. – М. : Колос, 1976. – С. 31-37.
3. Аренс, В.Ж. Геолого-гидрогеологические основы геотехнологических методов добычи полезных ископаемых / В. Ж. Аренс, А. М. Гайдин. – М.: Недра, 1978. – 215 с.
4. Проектирование водозаборов подземных вод / А.И. Арцев [и др.]; под общ.ред. Ф.М. Бочевера. – М, 1976. – 292 с.

Поступила 14.09.2017