

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКИХ ЖИТЕЛЕЙ

А.П. Майорчик, кандидат технических наук

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь

А.И. Митрахович, кандидат технических наук, доцент

РУП "Институт мелиорации"
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Изложены результаты анализа используемых в сельской местности источников водоснабжения. Отмечено неудовлетворительное качество питьевой воды в большинстве шахтных колодцев, особенно по содержанию нитратов. Даны рекомендации по обустройству шахтных колодцев для получения чистой воды в требуемом объеме и удовлетворения нужд усадьбы. Излагается альтернативный шахтным колодцам способ водоснабжения мелкотрубными скважинами глубиной 10-13 м.

На основании расчетов рекомендуются параметры скважин в гидрогеологических условиях региона Полесья и ему подобных. Акцентируется перспективная технология строительства скважин способом гидроподмыва. Даны рекомендации по улучшению водоснабжения сельского населения.

Ключевые слова: децентрализованное водоснабжение, колодцы, мелкотрубные водозаборные скважины, дебит колодца, фильтры, гидроподмыв, нитраты, водопотребление

Abstract

A.P. Maiorchik, A.I. Mitrakhovich
DECENTRALIZED WATER SUPPLY OF VILLAGERS

Water supply sources in village are analyzed and presented in article. Bad quality of water in shaft well is noted according nitrate content especially. Recommendations to develop shaft wells to obtain clean water which could meet villager demand are presented. Water supply carried out by fine-tube wells of 10-13 m deep is described as an alternative to shaft wells.

According accounting parameters of wells in hydrological condition of Polesye region and the similar one are recommended. Hydro flushing is given in article as an effective technology to build wells. Recommendations to improve water supply in villages are presented.

Keywords: decentralized water supply, wells, fine-pipe water intake wells, well discharge, filters, hydro flushing, nitrates, water consumption

Введение

Проблема обеспечения населения качественной питьевой водой наряду с энергетической проблемой обостряется во всем мире с каждым годом в связи с растущим дефицитом пресных вод. Республика Беларусь располагает значительными запасами пресных подземных вод хорошего качества, однако это не означает, что все население потребляет безопасную для здоровья воду. По данным Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2016-2020 годы [1] в программе «Чистая вода» обеспеченность централизованными системами водоснабжения городского населения составляет 97,7 %, сельского – 68,9 % (в том числе населения агрогородков – 80,7 %).

Следует отметить, что и централизованное водоснабжение со станциями обезжелезивания не всегда обеспечивают нужное количество воды в связи с износом и загрязнением водопроводной сети.

В настоящее время централизованным водоснабжением, вода в котором соответствует питьевому качеству согласно [1] пользуется 83,7 % потреби-

телей. Однако и они во многих случаях, особенно в регионе Полесья, подают потребителю воду с большим содержанием железа. В то же время около трети жителей сельской местности пользуются такими источниками водоснабжения, как шахтные колодцы и мелкие скважины. Ориентировочное количество используемых колодцев превышает 400 тыс, при этом согласно проведенным ранее исследованиям до 70 % из них содержат воду не соответствующую стандартам, особенно по нитратам [2].

Качество воды в шахтных колодцах зависит от способа их эксплуатации, технического состояния и месторасположения. Как показали обследования колодцев в некоторых поселках Лунинецкого района Брестской области [3] в их конструкции имеется ряд грубых отклонений от технических требований (отсутствие глиняного замка и отмостки, отсутствие гравийной засыпки дна и др.). Кроме того, многие колодцы имеют малый дебит, особенно в засушливые периоды. Поэтому важнейшим вопросам водоснабжения сельского населения является реконструкция шахтных колодцев с повышением дебита и

качества воды в них. Отсутствует надлежащая эксплуатация колодцев и контроль за качеством воды в них. Снабжение сельских жителей качественной питьевой водой и в нужном объеме, особенно в индивидуальном секторе застроек, является в настоящее время одной из важнейших проблем.

Подземные воды, доступные для эксплуатации с помощью шахтных колодцев, залегают на глубине 10–20 м. В Беларуси к ним относятся свободные гравитационные воды первого от поверхности земли постоянно существующего водоносного горизонта – грунтовые воды, которые залегают на глубине 3–10 м, питание их осуществляется преимущественно за счет атмосферных осадков.

Условия залегания грунтовых вод на территории Беларуси весьма разнообразны, так как они относятся к различным генетическим типам четвертичных отложений: болотным и озерно-болотным образованиям; современным и древним иллювиальным отложениям покрывающим верхнюю морену; конечно-моренным и донно-моренным отложениям. Разнообразны также и водовмещающие породы: торф, илистые пески, пески различного мехсостава с прослойками гравия, супеси, суглинка и глины.

Эти условия обязательно должны быть учтены при решении вопроса о целесообразности реконструкции шахтного колодца, т.е. необходимо предварительно определить возможность получения достаточного количества воды требуемого качества при местном залегании водовмещающих пород. Иногда можно достичь более высокого качества воды в колодце и без реконструкции последнего, проведя лишь его очистку. Решаться это должно на месте отдельно в каждом конкретном случае.

Дебит шахтного колодца зависит как от мощности и мехсостава водоносного горизонта, так и от параметров водопримной поверхности самого колодца. Для совершенных шахтных колодцев дебит можно определить по формуле Дюпюи [4]:

$$Q = \frac{1,36K(H^2 - h^2)}{\lg R - \lg r}, \quad (1)$$

где K – коэффициент фильтрации грунта, м/с; H – высота столба воды в колодце, м; h – тоже при динамическом уровне, м; R – радиус воронки депрессии или радиус влияния колодца (для мелких песков 50–150 м); r – радиус колодца, м.

Из приведенной зависимости видно, что значительное увеличение дебита может быть достигнуто путем углубления колодца, увеличение же его диаметра влияет на повышение дебита в меньшей степени.

Средний дебит колодца при периодической откачке равен:

$$Q = \frac{q_H \cdot t_0}{t_0 + t_B}, \quad (2)$$

где q_H – объемная подача насоса; t_0 – время откачки; t_B – время восстановления уровня воды в колодце.

Простейшим способом определения производительности колодца является проведение пробных откачек. Для этого перед откачкой замеряют расстояние от поверхности земли до статического уровня воды в колодце и включают насосы. Во время откачки с помощью измерительных приборов ведут наблюдение за понижением уровня воды в колодце по достижению динамического уровня (понижение уровня воды в колодце прекращается) определяют подачу насоса – это и будет дебит колодца при данном понижении. Рекомендуется определять дебит колодца при трех понижениях уровня. По полученным величинам дебита определяют удельный дебит колодца (дебит колодца на 1 метр понижения уровня воды в нем).

В большинстве шахтных колодцев их водопримной частью является дно. В этом случае диаметр его можно определить по зависимости [4]:

$$d = 1,13 \sqrt{q_{\max} / V_0}, \quad (3)$$

где d – утренный диаметр колодца, м; q_{\max} – максимальный приток воды в колодец (при H_{\max}), определенный по формуле; V_0 – допустимая входная скорость фильтрации, которую можно определить для песков с учетом ее увеличения при устройстве гравийного фильтра.

Входная скорость фильтрации при горизонтальной поверхности песка может быть определена по формуле Н.А. Карамбирова [7]:

$$V_0 = K \cdot I_{\text{пред}} = K \eta_1 (1 - P) \cdot (\gamma_{\text{гр}} - 1), \quad (4)$$

где $I_{\text{пред}}$ – предельный уклон кривой депрессии у колодца; η_1 – коэффициент запаса, принимаемый 0,5–0,7; $\gamma_{\text{гр}}$ – плотность грунта, кг/дм³.

Приток воды в круглый колодец через плоское дно равен:

$$Q = 4KrS, \quad (5)$$

где S – понижение уровня воды в колодце при откачке, м.

По данным некоторых исследователей [5], указанный способ фильтрации нежелателен или даже недопустим в колодцах, имеющих большую глубину погружения в водоносный слой, т.к. площади дна недостаточно для фильтрации большого количества воды (по сравнению с боковой поверхностью фильтра колодца). При значительном падении уровня и большом дебите происходит вынос грунта движущейся вверх водой, оттого колодцы даже с малым дебитом мелеют и снижают свою производительность. При небольших понижениях уровня это нежелательное явление пытаются предотвратить, пригружая дно колодца гравием и камнями.

Однако зачастую эти меры оказываются недостаточными, т.к. камни могут еще ухудшить положение: уменьшается просвет дна, что увеличивает скорость движения воды и ее скоростной напор, способствующий еще большему выносу грунта. Объяснить этот парадокс можно следующим образом. Подымающиеся с водой мелкие частицы грунта и оседающие взвешенные частицы скапливаются, отстаиваются и закупоривают (кольматируют) дно колодца. Вместо скоростного напора начинает действовать напорное давление, превосходящее вес засыпки и подымающее дно. С увеличением производительности колодца будет поступать больше илистых частиц грунта и он быстрее выйдет из стоя.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование донных фильтров в шахтных колодцах нецелесообразно, а при высоких дебитах вообще недопустимо без устройства качественного гравийного фильтра. Этот фильтр должен выполняться трехслойным, общей толщиной 0,5-0,6 м. Соотношение средних размеров зерен грунта водоносного пласта и первого (нижнего) слоя фильтра, а также соотношение размеров зерен в смежных его слоях принимают 4-6 [6].

При реконструкции и строительстве новых шахтных колодцев необходимо предусматривать фильтрацию воды через боковые стенки колодца, а дно следует перекрывать. При приеме воды из водо-

носного горизонта боковой поверхностью колодца его внешний диаметр можно определить по зависимости:

$$d_1 = \frac{q_{max}}{\pi h_{эф} p_1 V'_0}, \quad (6)$$

где $h_{эф}$ – высота полезной боковой поверхности колодца, принимающей воду из водоносного пласта, м; V'_0 – допустимая входная скорость фильтрации, которую в случае бокового притока рекомендуется определять по формуле С.К. Абрамова:

$$V_0 = 65 \sqrt[3]{K}. \quad (7)$$

Одной из основных причин низкой производительности шахтных колодцев и их недолговечности считается наличие донных фильтров. Для безнапорных шахтных колодцев действует правило: чем меньше напор, тем больше должна быть поверхность фильтра для пропуска одного и того же количества воды, т.к. восполнение забираемой воды в шахтных колодцах происходит медленно. Для сохранения нормальных условий притока воды в шахтные колодцы требуются фильтры с фильтрующей поверхностью не менее 3 м. Поэтому для колодцев из железобетонных колец необходимая высота фильтра составит около 2 м (2 – 3 кольца), но не менее половины высоты столба воды в колодце.

Для увеличения производительности уже существующих шахтных колодцев существует несколько способов их реконструкции и очистки:

Увеличение водоприемной части – углубление дна колодца в водоносный слой;

Углубление шахтных колодцев трубами, которые устанавливаются в следующих случаях:

- шахтный колодец своей водоприемной частью погружен в водоносный слой не на всю его мощность;
- колодец получает воду из водоносного слоя небольшой толщины, ниже которого залегают подземные воды достаточной мощности;
- имеется возможность одновременно использовать два водоносных слоя, расположенных один над другим так, что вода из верхнего слоя может приниматься шахтой, а из нижележащего – трубчатой частью колодца. Применение шахтно-трубчатых колодцев повысит производительность в 10-50 раз.

Для углубления и очистки колодцев могут при-

меняться различные механизмы и инструменты: копатели шахтных колодцев (КШК), желонки, буровые ложки, грейферные ковши [8]. Однако эффективных способов очистки сельских колодцев в настоящее время нет, а проводимые вручную эти работы очень трудоемки и довольно опасны. Поэтому очистку колодцев проводят только в случае крайней необходимости.

Нами проведен анализ двух способов возможной механизации процесса очистки колодцев:

- использование грунтового насоса с разработкой грунта всасывающим трубопроводом или дополнительным ручным рыхлением;
- применение гидроэлеватора, который представляет собой обычный водоструйный насос, конструктивно измененный для работы с гидросмесями [8]. Для работы гидроэлеватора необходим насос с напором 0,5-0,8 МПа и емкость с водой. При объеме этой емкости 3,5-4,0 м³ гидроэлеватор может работать 60-120 минут, за это время по предварительным расчетам колодец может быть углублен (очищен) на 40-80 см. За одну смену (8 часов) с учетом переездов может быть очищено 4-6 колодцев. Очистка же одного колодца вручную может выполняться 1-2 дня (в зависимости от параметров колодца).

В настоящее время в Беларуси нет специализированных машин и механизмов для очистки и промывки колодцев, а их эксплуатацией практически никто не занимается. Создание такой установки позволит организовать систематическую профилактическую промывку колодцев, что значительно улучшит качество сельскохозяйственного водоснабжения.

Альтернативой колодцам при условии невозможности достижения в них воды требуемого качества, когда промывка и очистка не дают положительных результатов, являются мелкотрубные скважины глубиной до 10-13 м, дебит которых позволяет удовлетворить бытовые потребности нескольких усадеб. Содержание нитратов в воде из мелкотрубных скважин по данным наших исследований [3] колеблется от 10 до 70 мг/л при норме 40, что намного меньше, чем в колодцах. Так в одной из усадеб п. Полесский Лунинецкого района содержание нитратов в воде из скважины глубиной 10 м составляло 8-10 мг/л, а в колодце глубиной 3,5 м, расположенным на расстоянии 8 м от скважины содержание нитратов было более 600 мг/л. Исследования показали, что в условиях

Полесья содержание нитратов в подземных водах уменьшается с увеличением глубины от поверхности [3]. Эти данные получены при определении количества нитратов в кусте пьезометров глубиной 5, 10 и 15 м в п. Полесский Лунинецкого района.

Учитывая эти данные, а также опыт строительства мелкотрубных скважин в Лунинецком районе, можно рекомендовать устройство мелкотрубных скважин глубиной 10 м и более.

Количество воды, а соответственно и расчет источника водоснабжения для усадьбы определяется исходя из расчетной нормы потребления воды каждым потребителем и режимом потребления воды в течение суток. В усадьбе вода расходуется на поение скота и птицы, удовлетворение хозяйственно-питьевых нужд человека и полив садового участка.

Следует отметить, что уровень водопотребления сельского населения при децентрализованных системах низок и составляет всего 30-40 л/сут на одного человека, в то время как при централизованных – 100-200 л/сут. Водопотребление жильцов усадьбы в количестве 5 человек составит 250 л. Расход воды на полив приусадебного участка составит – 1,5 м³/сут. В итоге объем водопотребления в усадьбе в наиболее напряженные летние месяцы не превышает 1,55-2 м³/сут.

Для обеспечения расхода 2 м³ и более в сутки при неглубоком залегании уровня подземных вод и коэффициента фильтрации грунтов более 5 м/сут строят мелкотрубную скважину диаметром 75-60 мм глубиной до 10 м. Скважины предназначены для обеспечения водой одного-двух и более сельских усадеб или для водообеспечения скота. Мелкотрубная скважина устраивается глубиной 10-12 м из труб металлических или пластмассовых (гладкостенных или гофрированных) диаметром 63-160 см.

Параметры скважины (диаметра, длина фильтра) определяются исходя из обеспечения требуемого объема воды. Расчет фильтра скважины сводится к определению водозахватной способности, которая определяется по зависимости С.К. Абрамова [10]:

$$W = V_{\phi} \cdot F, \quad (8)$$

где V_{ϕ} - допустимая входная скорость воды, м/сут;

$$V = 65 \sqrt[3]{K}, \quad (9)$$

где K – коэффициент фильтрации водоносной толщи, м/сут; F – рабочая площадь фильтра, м²;

$$F = q / n \cdot V_{\phi}, \quad (10)$$

где q – необходимый дебит, м³/сут; n – скважность фильтра.

При опасности химического кольматажа фильтра с целью увеличения долговечности скважин вводится коэффициент запаса 0,5-0,6.

Для условий Полесья (коэффициент фильтрации верхних водоносных песков 5-15 м/сут) возможный дебит мелкотрубной скважины диаметром 110 мм при длине фильтра 2 м составляет:

- при скважности фильтра 10% – 0,50-0,86 м³/ч;
- при скважности фильтра 20% – 1,00-1,72 м³/ч.

При диаметре скважины 160 мм возможный ее дебит составляет :

- при скважности фильтра 10% – 0,68-1,19 м³/ч;
- при скважности фильтра 20% – 1,36-2,38 м³/ч.

Способ гидроподмыва применим в гидрогеологических условиях, представленных водоносными горизонтами, сложенными песчаными отложениями, начиная от поверхности земли. Особенностью строительства скважин способом гидроподмыва является сезонный характер работ. Строительство ведется только при положительных температурах воздуха. Строительство осуществляется буровой установкой, конструкция которой учитывает особенности данного способа строительства [9]. Установка включает базовый автомобиль, насос, компрессор, емкость для воды, телескопическую матчу с лебедками, водоподающие трубы с напорным рукавом. Водоприемная поверхность фильтров скважин состоит из капроновых сеток или волокнисто-пористых полиэтиленовых оболочек. При расположении статического уровня грунтовых вод до 4-5 м от поверхности земли, целесообразно применять, поршневые или центробежные насосы. Насос устанавливается на поверхности земли или неглубоких (до 1,5 м) колодцах, выполненных над скважиной. Установка насосов в колодцах пред-

почтительнее, так как отпадает необходимость утепления их на зиму. При залегании уровня подземных вод ниже 6 м применяют поршневые ручные насосы и погружные вибрационные электронасосы.

При пользовании водой из систем централизованного водоснабжения с отклонением качества воды от нормативных целесообразно применять бытовые малогабаритные фильтры очистки воды непосредственно у потребителя. Предлагать сельскому жителю массово использовать бутылированную воду некорректно.

Для скорейшего улучшения водоснабжения сельского населения особенно в индивидуальном секторе без вложения капитальных затрат можно путем проведения ряда мероприятий, а именно:

- учета и обследования источников водоснабжения с определением качества воды;
- создания подразделения по эксплуатации колодцев и скважин и оснащения их средствами механизации;
- усиления просветительной работы среди населения о влиянии качества воды на здоровье людей и о принятии профилактических мер.

Реализация предлагаемых мероприятий и конструктивных решений позволяет существенно улучшить условия водоснабжения сельских жителей, уменьшить остроту проблемы в местах с неудовлетворительным качеством воды.

Заключение

Проанализированы основные источники водоснабжения сельских жителей и их возможности.

Рассмотрены условия применения шахтных колодцев. Предложена методика расчета дебита колодца при его реконструкции и строительстве в различных гидрогеологических условиях и даны рекомендации по возможным способам их очистки.

Рассмотрены вопросы технологии водоснабжения сельских жителей из мелкотрубных водозаборных скважин и приведена методика расчета их параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственная программа «комфортное жилье и благоприятная среда» на 2016-2020 гг. Утверждено: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21.04.2016 г., №326.
2. Панасенко В.А. Да будет чистою вода. – газета «Белорусская нива» от 19.03.1999 г.

3. Проблема чистой воды в сельской местности Республики Беларусь / А.И. Митрахович [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – №2. – С.20-22.
4. Оводов, В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение / В.С. Оводов. – М.: Колос, 1984.
5. Закржевский, Э. Реставрация и эксплуатация шахтных колодцев / Э. Закржевский. – Минск, 1962.
6. Сельскохозяйственное водоснабжение. Справочник. – М.: ОО Агропромиздат, 1992.
7. Карамбиров, Н.А. Сельскохозяйственное водоснабжение / Н.А. Карамбиров. – М.: Колос, 1977.
9. Юдин, А.П. Гидромеханизация / А.П. Юдин. – М., 1965.
9. Строительство мелкотрубных водозаборных скважин методом гидроподмыва / А.И. Митрахович [и др.] // Вода.– 2012. – №5.
10. Методическое руководство по выбору типа водозаборных сооружений для вертикального дренажа на орошаемых землях. – М. : Союзводпроект, 1976. – 127 с.

Поступила 14.09.2017