

Применение скважины с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура

Кришна Каястха

Киевский национальный университет строительства и архитектуры
03680, Воздухофлотский просп., 31, Киев, Украина, e-mail: kriskaes@gmail.com

Аннотация. Представлен новый тип водозаборной скважины с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура (ФУГЗ). Проведены исследования с использованием физических и электрических моделирований, а так же в полевых условиях. Найден оптимальные физические параметры конструкций. Введены аналитические – эмпирические формулы для расчёта гидравлических параметров и представлены рекомендации по применению скважин с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура.

Ключевые слова: электрическое и физическое моделирование скважин, водозаборные скважины, подземные воды, гравийно-зонтичный фильтр, водоснабжение, орошение.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В условиях повсеместного роста населения, промышленного и сельскохозяйственного производства постоянно возрастают потребности в воде для хозяйственно-питьевых целей, орошения и др. Большая роль в удовлетворении этих потребностей принадлежит подземным водам, для добычи которых основными сооружениями служат водозаборные скважины. На практике получило научное основание и практическое применение сооружение бесфильтровых водозаборных скважин в рыхлых породах. Эти скважины отличаются максимальными удельными дебатами, малой ме-

таллоёмкостью и более низкими эксплуатационными затратами. В качестве водоприёмника в них служит полость в самой верхней части пласта, разработанная под твёрдыми перекрывающими породами, которые образуют горизонтальную поверхность над водоприёмной воронкой. Однако такая конструкция может использоваться только при наличии не обрушаемой кровли, что ограничивает ее применение в мелкозернистых породах и других геологических разрезах [1].

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Целью статьи является иллюстрация конструкции скважин ФУГЗ, ее применение и эффективности.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Создание водозаборной скважины нового типа. В Поиски новых конструкций скважин с уменьшенными гидравлическими сопротивлениями и металлоёмкостью, сочетающих ряд достоинств бесфильтровых и фильтровых скважин с гравийной обсыпкой, привели к созданию водозаборной скважины нового типа для безнапорно-

го и слабо напорного пласта – скважины с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура (Рис. 1). Водоприёмником в этой скважине служит широкий раструб-зонтик, опускаемый в скважину и заменяющий устойчивую кровлю, а для увеличения водопротока устраивается ствол большого диаметра, который засыпается гравием [2].

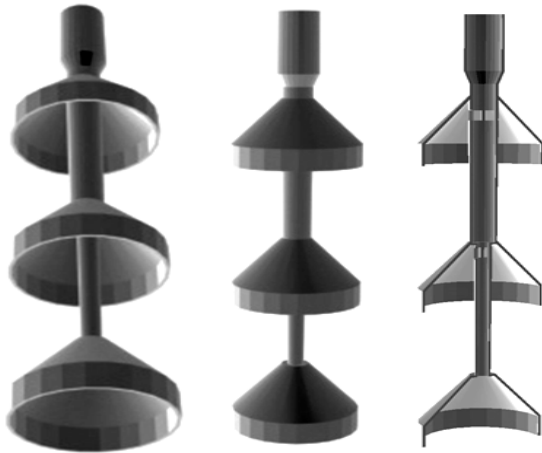


Рис. 1. Трёхмерные модели конструкции скважин с ФУГЗ

Fig. 1. Three-dimensional Model of Bell type Water Well Construction (BWW)

подавляющее большинство населения Украины потребляет воду негарантированного качества. Это более чем 30 млн. людей. В большинстве этих населений проживают в сельских местах, и потребляет колодезную воду. Эти конструкции могут заменить колодцы, и какой-то мере защищать воду от поверхностного загрязнения. Современная технология бурения позволяет бурить скважины на разных грунтах [3, 4].

Были проведены комплексные исследования по электромоделированию, физическому моделированию, бурению и опробованию скважин в полевых условиях. Эти исследования включали также оценку параметров скважин с одним, двумя и тремя ярусами раструбов-зонтиков, исследование гидравлики притока и суффозионных процессов, разработку методики расчёта скважин предлагаемой конструкции. Преимущество новых конструкций скважин с гра-

вийно-зонтичным фильтром уширенного контура (ФУГЗ) в безнапорных и слабо напорных водоносных горизонтах по сравнению с традиционными фильтровыми конструкциями состоит в том, что при сооружении этих водозаборных скважин можно получить средний дебит (200...300 м³/сут) и можно использовать местные недефицитные материалы, гравий, а также детали не только из стальных, но и из бетонных и полиэтиленовых труб (в то время как на изготовление традиционных фильтров расходуется много нержавеющей стали и цветных металлов). Это открывает принципиально новые перспективы при проектировании систем сельскохозяйственного водоснабжения на базе подземных вод.

Одноярусная конструкция скважины с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура с ФУГЗ. Конструкция скважины с таким водоприёмником предназначена для добытия подземных вод из безнапорного или слабо напорного водоносного горизонта, сложенного рыхлыми песчаными отложениями. Конструкция отличается отсутствием традиционного фильтра, устойчивым во времени дебитом, меньшей металлоёмкостью, меньшей энергоёмкостью при эксплуатации за счёт понижения гидравлических сопротивлений и высоты подъёма воды при откачке. Металлический или пластмассовый раструб присоединён к нижнему концу обсадной колонны, причём нижний расширяющийся край раструба имеет цилиндрическую форму и заполнен гравием.

Скважина с ФУГЗ (Рис. 2, а) состоит из ствола 1 большого диаметра (600...1200 мм), гравийной засыпкой, обсадной колонны 4, раструба 5 с цилиндрическим краем 6, опущенных ниже уровня грунтовых вод 2, гидроизолирующей набивки 3 в затрубном пространстве поверх гравийной засыпки. Благодаря сводообразной форме раструба находится под минимальным горным давлением и поэтому предохранён от деформаций, а его расширенная нижняя часть образует увеличенную площадь фильтрации.

Гравійная засыпка в цилиндрической части раструба предохраняет ствол от бокового шпора пластовой породы. Одновременно гравийная засыпка в нижней части ствола, в затрубном пространстве, обладая достаточной массой частиц высокой фильтрующей способностью, обеспечивает увеличенный дебит и препятствует поступлению песчаных частиц водоносного пласта в ствол к насосу. Скважина работает следующим образом. Откачку ведут скважинным насосом, который опускают под уровень грунтовых вод 6. Вода поступает через гравийную засыпку 2 в нижней части раструба 5 и плоское дно.

Многоярусная конструкция скважины с ФУГЗ. Эта конструкция имеет увеличенный диаметр, несколько поэтажно расположенных водоприёмных раструбов-зонтиков, соединяющих их труб, гравийную засыпку. Многоярусную конструкцию скважины с ФУГЗ можно применять в напорном 11 и безнапорном 9, однослойном и многослойном водоносных песчаных пластах (Рис. 2, *b*). Скважина состоит из ствола 2 большого диаметра (600...1200 мм), гра-

вийной засыпки 6, обсадной колонны 2 и раструбов 3 с цилиндрическими краями, опущенных ниже уровня воды 1, соединительных труб 5 с отверстиями 7. В разрезе показаны слабо фильтрующая гидроизолирующая набивка 8 в затрубном пространстве поверх гравийной засыпки и водоупорный слой 10. Гравийная засыпка 6 в цилиндрической части нижнего раструба 4, за наружными стенками каждого раструба в нижней части ствола скважины и в затрубном пространстве, благодаря остаточной массе и высокой фильтрующей способности частиц, препятствует поступлению песка водоносного пласта в ствол к насосу и способствует равномерному забору воды из всех интервалов глубины, а при многослойном водоносном пласте из каждого слоя.

Пути повышения эффективности ФУГЗ. Совершенствование конструкции ФУГЗ может идти по пути улучшения ее гидравлических параметров. На Рис. 3, *a* приведена конструкция, которая отличается от предыдущих тем, что вместо соединяющих раструбы глухих труб в ней применены перфорированные (дырчатые, щелевые) трубы 1 или фильтры 2 из разных материалов. Могут быть применены также разные блочные фильтры. В этом случае вод захватная способность гораздо больше, чем в предыдущих конструкциях, и соответственно меньше гидравлическое сопротивление.

В конструкции, показанной на Рис. 3, *b*, используются перфорированные раструбы с дырчатой 3 или щелевой 4 перфорацией. На рис. 3, *c* приведён ещё один тип многоярусного гравийно-зонтичного фильтра уширенного контура, в котором объединены две рассмотренные перфорированные конструкции. Раструбы здесь имеют дырчатую 3 или щелевую 4 перфорацию, а соединительные трубы – ту же перфорацию 1 или представляют собой цилиндрические фильтры 2. Скважины данной конструкции обладают максимальной вод захватной поверхностью и дебитом. При этом увеличивается роль гравийной обсыпки как фильтрующей среды и препятствия для удержа-

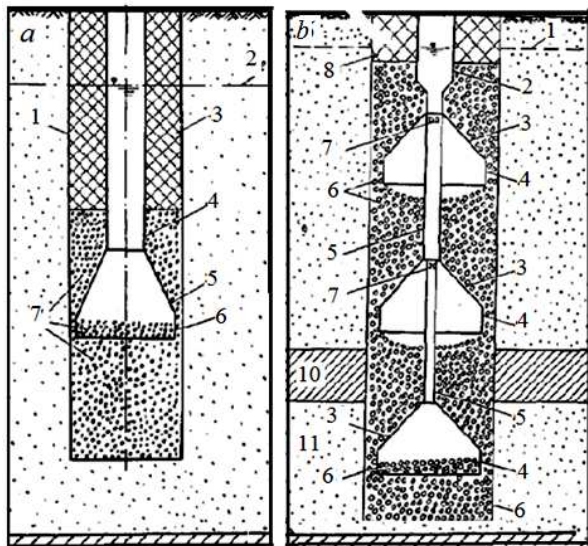


Рис. 2. Скважина с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура (ФУГЗ): *a* – одноярусная конструкция; *b* – многоярусная конструкция
Fig. 2. Bell type Water Well Construction (BWW): *a* – single Tiered Construction; *b* – multi Tiered Construction

ния песчаных частиц от проникновения из пласта через отверстия в трубах, фильтрах и раструбах внутрь скважины.

Эффективность ФУГЗ также может быть повышена за счёт применения в конструкции правильно подобранного слоёного водопроницаемого пористого бетона.

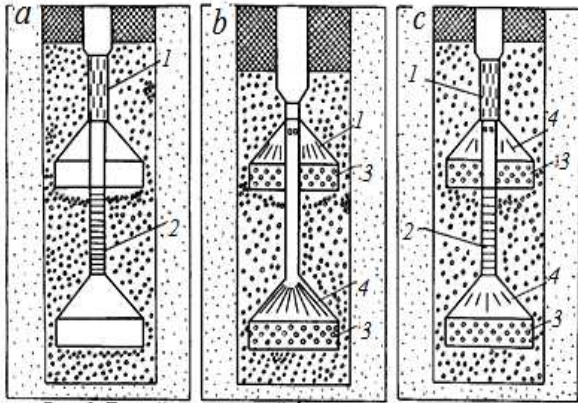


Рис. 3. Гравийно-зонтичный фильтр уширенного контура: *a* – с перфорированными трубами; *b* – с перфорированными раструбами; *c* – с перфорированными раструбами и трубам

Fig. 3. Bell type Water Well Construction: *a* – with perforated screen; *b* – with perforated conic part; *c* – with perforated screen and conic part

Применение конструкции ФУГЗ для обезжелезивания подземных вод и для восстановления скважин от кольматажа. В настоящее время в связи с повышенным содержанием железа в подземных водах многих регионов существует проблема обезжелезивания воды. Применяются метод обратной промывки для обезжелезивания воды [5]. Многоярусная конструкция скважин с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура может быть использована для обезжелезивания подземных вод непосредственно в водоносном пласте как элемент установки циркуляционного типа (Рис. 4).

Сущность данного метода обезжелезивания воды сводится к безреагентному способу перевода растворенного железа в нерастворимые формы путём закачки в скважину аэрированной воды, насыщения кислородом круговой зоны в водоносном пласте, осаждения железа и удержания

осадка в пористых породах при откачке воды.

Основная идея обезжелезивания подземных вод с применением многоярусных гравийно-зонтичных фильтров заключается в том, что благодаря наличию двух и более водопрёмных частей, одну можно использовать для нагнетания окислителя, а другие – для откачки очищенной воды (см. Рис. 4).

Этот же принцип может быть применён для восстановления скважин от кольматажа фильтров и гравийной засыпки.

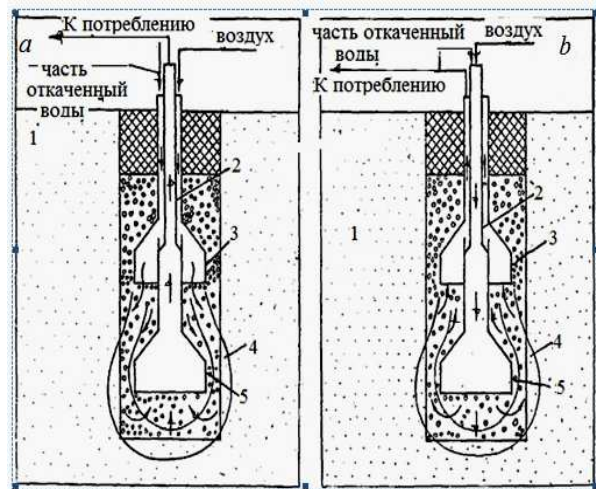


Рис. 4. Обезжелезивание подземных вод в пласте с использованием гравийно-зонтичного фильтра уширенного контура: *a* – с нагнетанием через нижний зонтик; *b* – с нагнетанием через верхний зонтик

Fig. 4. De-Ironing of Ground Water in Aquifer with BWW: *a* – injecting through upper intake; *b* – injecting through lower intake

Раскладывающиеся водозаборные скважины ФУГЗ. На больших глубинах тяжело бурить водозаборных скважин большого диаметра. На практике при бурении скважины большого диаметра практикуют бурения уширенного контура только водопрёмной части, оставляя общей диаметр скважин минимальным. В этих случаях может быть применено раскладывающиеся водозаборных скважин ФУГЗ где раструба водопрёмной части раскрываются после опускания конструкции водопрёмника в водоносный пласт (Рис. 5, 6).

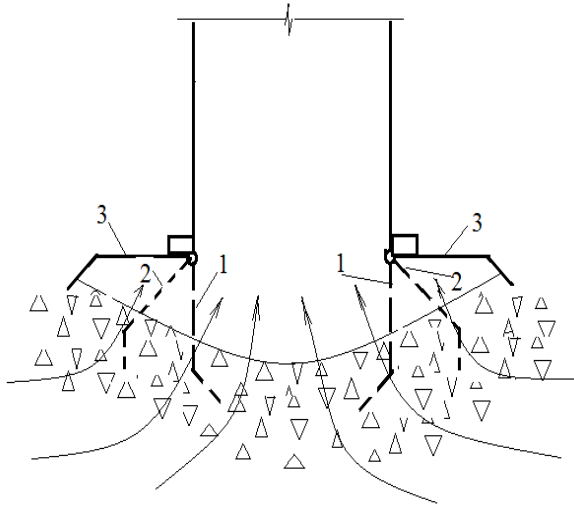


Рис. 5. Раскладывающая водозаборная скважина ФУГЗ: 1 – первоначальное положение; 2 – среднее положение; 3 – конечное положение
Fig. 5. Foldable Water Intake of BWW: 1 – Initial position of the conic part; 2 – Middle position of the conic part; 3 – Final position of the conic part

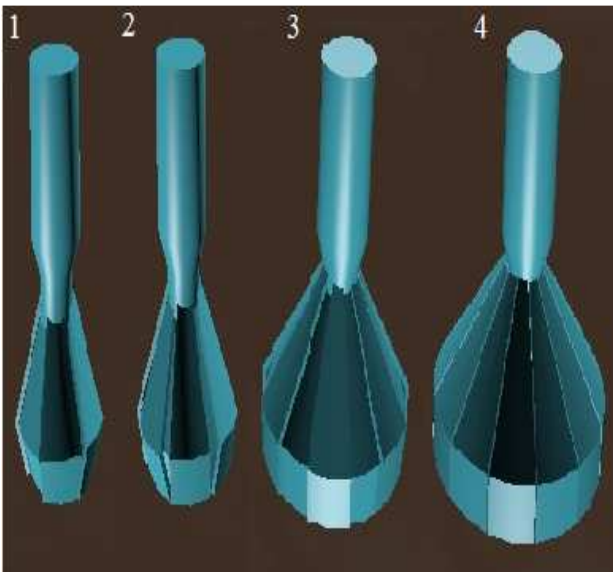


Рис. 6. Трёхмерные модели раскладывающей конструкции: 1 – первоначальное положение; 2, 3 – среднее положение; 4 – конечное положение
Fig. 6. Three-dimensional Model of Foldable BWW Construction: 1 – Initial position; 2, 3 – Middle positions; 4 – Final position

Исследование скважин с ФУГЗ методом электрогидро-динамических аналогий (ЭГДА). Метод ЭГДА основан на аналогии дифференциальных уравнений рас-

пределения потенциала на электропроводной бумаге и движения жидкости в пористой среде. Исследование работы скважин с ФУГЗ в напорных и слабо напорных условиях методом ЭГДА проводили по известной методике моделирования осесимметричной фильтрации на электропроводной бумаге, предложенной П.Ф. Фильчаковым [6]. Моделирование осесимметричной фильтрации на электропроводной бумаге заключается в том, что уравнение Лапласа, описывающее стационарное распределение напора в области фильтрации и потенциала на электропроводной бумаге, представляется в виде:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(K r \frac{\partial H}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K r \frac{\partial H}{\partial z} \right) = 0, \quad (1)$$

где $H = H(r, z)$ – фильтрационный напор; r, z – цилиндрические координаты; K – коэффициент фильтрации пласта. Тогда уравнение (1) описывает плоскую фильтрацию, и его можно моделировать на электропроводной бумаге, если принять, что произведение $K \times r$ является переменным коэффициентом фильтрации. При этом необходимо, чтобы электропроводность модели подчинялась законам:

$$\sigma_z = const, \quad \sigma_r = Kr, \quad (2)$$

где σ_z , и σ_r – удельная электропроводность в вертикальном и горизонтальном направлениях соответственно.

Чтобы задать электропроводность по закону (2), необходимо модель склеить из нескольких листов бумаги "ступенькой". Длина нижнего листа бумаги равна длине всей модели. Следующий лист наклеивается на него и должен быть короче на величину:

$$\Delta r_2 = M \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{2} \frac{1}{R_2} \right), \quad (3)$$

Каждый следующий лист, наклеиваемый сверху на предыдущий, должен быть короче него на величину:

$$\Delta r_i = \left(\frac{1}{R_{i-1}} + \frac{1}{R_i} \right) \frac{M}{2}, \quad (4)$$

где M – коэффициент пропорциональности, выбранный для удобства моделирования и принято $M = 4000$; R_i – сопротивление i -го листа бумаги на квадрат, $i = 3, 4, \dots, n$; n – число листов. Основные модели для исследований одноярусной и многоярусной конструкций ФУГЗ приведены на Рис.7, *a, b* Снижение погрешности вследствие несоизмеримости величины водоприёмной части и мощности пласта осуществлялось путём выделения прискважной зоны в увеличенном масштабе, не искажавшем осесимметричную картину фильтрации.

Конструктивные параметры и варианты моделирования скважины. Для оценки условий работы скважины в водоносном пласте при различных вариантах конструкции ее водоприёмной части путём моделирования на электропроводной бумаге методом ЭГДА, были исследованы разные конструкции (Рис. 8) при различных радиусах водоприёмной части и гравийной засыпки r , глубинах погружения верхней водоприёмной части c , глубинах гравийной засыпки h , расстояния между ярусами b , и сопротивления гравийной засыпки R_{gp} . Мощность пласта m сохранялась постоянной и была равна 200 мм (см. Рис. 7).

Все вертикальные и горизонтальные размеры переводили в относительные (в мощности пласта) величины:

$$\bar{r} = r/m, \quad \bar{h} = h/m, \quad \bar{c} = c/m, \quad \bar{b} = b/m.$$

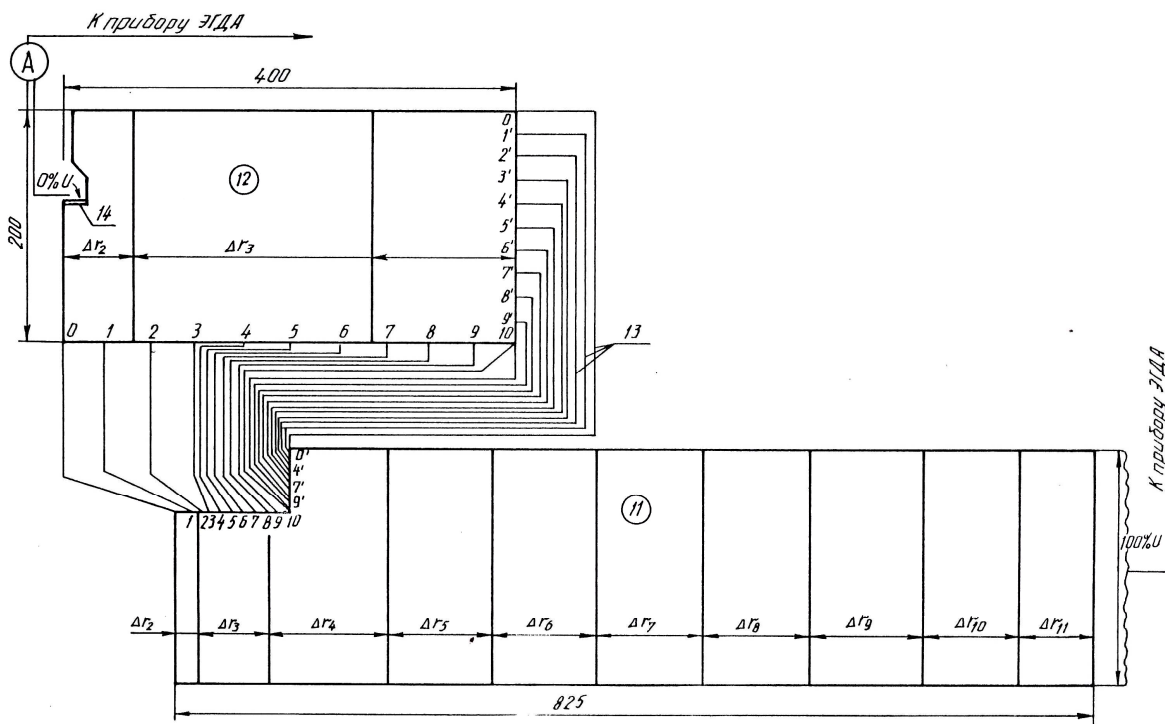


Рис. 7, а. Модели ЭГДА для исследования скважины с ФУГЗ одноярусной конструкции: 0...10 – контактные соединения; 11 – пласт; 12 – прискважная зона; 13 – провода; 14 – шина Панчишина; А – миллиамперметры

Fig. 7, a. Electrical Modelling of Single-tiered BWB: 0...10 – Pin Connections; 11 – Aquifer; 12 – Intake area; 13 – Connecting cable; 14 – Panchishin Current receiver; A – Ampermeter

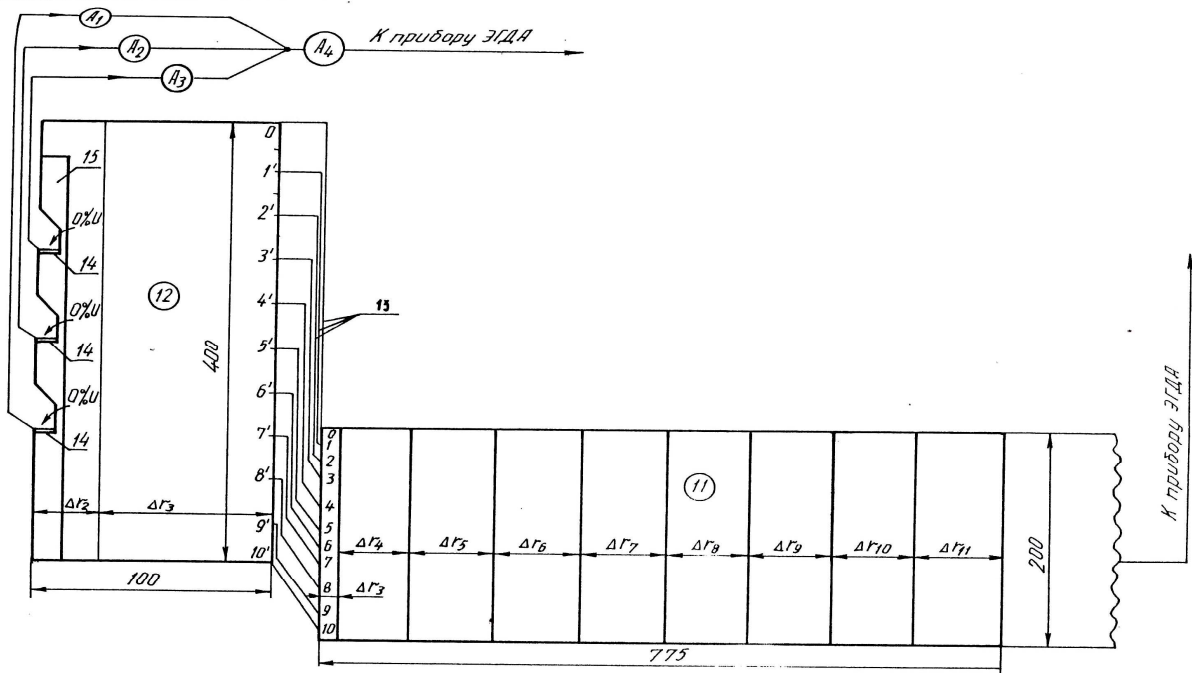


Рис. 7, б. Модели ЭГДА для исследования скважины с ФУГЗ многоярусной конструкции: 0...10 – контактные соединения; 11 – пласт; 12 – прискважинная зона; 13 – провода; 14 – шина Панчишина; А – миллиамперметры

Fig. 7, b. Electrical Modelling of Multi-tiered BWW: 0...10 – Pin Connections; 11 – Aquifer; 12 – Intake area, 13 – Connecting cable; 14 – Panchishin Current receiver; А – Amperemeter

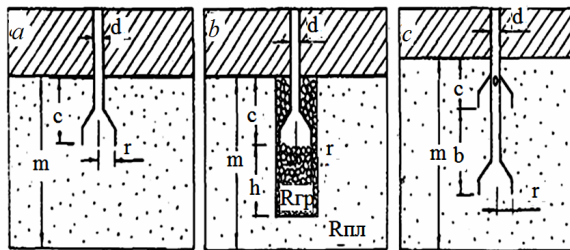


Рис. 8. Гравийно-зонтичный фильтр уширенного контура:
 а – одноярусный без гравийной засыпки; б – то же, с засыпкой; с – двухъярусный без гравийной засыпки

Fig. 8. Bell type Water Well Construction:
 а – one tiered without gravel filter; б – two tiered with gravel filter; с – two tiered without gravel filter

Относительное сопротивление гравийной засыпки \bar{R} определяли по соотношению с сопротивлением водоносного пласта $R_{пл}$:

$$\bar{R} = R_{пл} / R_{гр}.$$

В опытах безразмерные параметры изменялись в таких пределах: $\bar{r} = 0,015...0,05$; $\bar{h} = 0...1$; $\bar{c} = 0...0,3$; $\bar{R} = 10...50$.

Влияние положения водоприёмной части и гравийной засыпки на ее дебит. Экспериментальным путём определены оптимальные глубины погружения $\bar{c}_{оп}$ для различных \bar{r} , и в результате их математической обработки получена зависимость оптимальной глубины погружения водоприёмной части от ее радиусов:

$$\bar{c}_{оп} = 0,418 + 0,146 \lg \bar{r}, \quad (5)$$

Для моделирования гравийной засыпки на модели использовали электропроводную бумагу, сопротивление которой в 10, 20, 30, 40 и 50 раз меньше по сравнению с бумагой, моделирующей водоносный пласт. Построенные на модели опытные кривые зависимости притока от радиусов водоприёмной части \bar{r} при различных ее сопротивлениях и глубине \bar{h} – показывают значи-

тельный эффект гравийной засыпки (см. Рис. 8). В зависимости от водоприёмной части \bar{r} определены оптимальные глубины гравийной засыпки \bar{h}_{on} (6):

$$\bar{h}_{on} = A\bar{r}^2 + B\bar{r} + C, \quad (6)$$

Коэффициенты A, B, C для разных величин относительных сопротивлений \bar{R} , даны в Табл.1.

Таблица 1. Коэффициенты A, B, C , для разных величин относительных \bar{R} при определении оптимальной глубины гравийной засыпки \bar{h}_{on}

Table 1. Coefficients A, B, C , on different relative resistants for the calculation of the optimal height of gravel pack, \bar{h}_{on}

\bar{R}	A	B	C
10	97,14	-2,88	0,101
20	91,43	-2,66	0,124
30	62,86	-0,514	0,109
40	109,14	-2,87	0,148
50	120,57	-3,12	0,165

Рис. 9. показывает характер изменения дебита при разных радиусах зонтика и сопротивлениях гравийной засыпки.

Гидродинамические сетки движения и их анализ. Анализ влияния характера движения фильтрационного потока к исследуемой скважине нетрадиционной конструкции на ее дебит показал, что оно весьма существенно. Наглядное представление о происходящих в пласте процессах дают гидродинамические сетки, полученные при электро моделировании (Рис. 10). Общая картина движения потока к водоприёмнику представляет полусферический-радиальный поток с резким понижением напоров (эквипотенциалов) непосредственно у скважины и плавным их выглаживанием к периферии.

При этом следует отметить поступление основного потока в скважину через кольцевой участок, примыкающий к стенкам

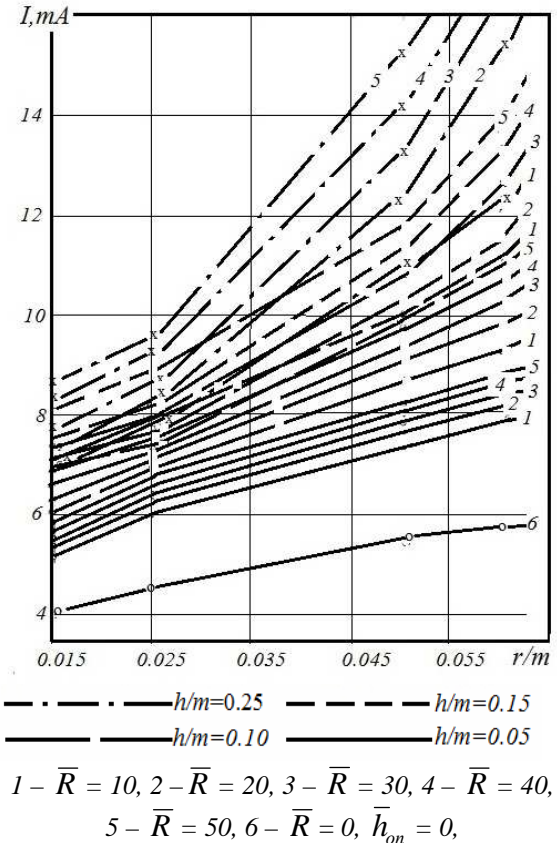


Рис. 9. Зависимость тока от разных радиусов зонтика при разных сопротивлениях гравийной засыпки

Fig. 9. Current Flow depending upon different resistance of gravel pack of the aquifer and the radius of the water intake

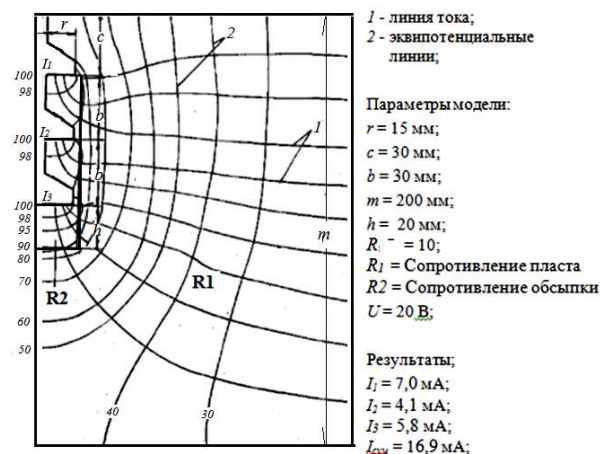


Рис. 10. Гидродинамическая сетка при фильтрации

Fig. 10. Hydrodynamic infiltration flow net

зонтика. Центральная часть водоприёмной поверхности по оси скважины имеет небольшой расход и оказывается в "мёртвой" зоне. Отсюда следует, что и скорости потока будут максимальными у стенки зонтика и минимальными в его центре.

Исследование конструкции в фильтрационном цилиндрическом лотке. Для оценки зависимости понижения уровня воды и дебита в безнапорных условиях, определения фильтрационной устойчивости грунтов и гидравлического сопротивления конструкций ФУГЗ были проведены опыты на специальной установке (Рис. 11), представляющей собой цилиндрический фильтрационный лоток 1 диаметром 900 мм, высотой 1200 мм. Установка моделировала водоносный пласт, в котором размещалась конструкция ФУГЗ. В центральную часть вокруг скважины засыпали гравийную обсыпку 3. Воду в лоток подавали из резервуара 12 насосом 11. В лотке был установлен гаситель 8. Постоянный уровень в лотке поддерживался при помощи переливной трубы 15. Воду, протекающую через гравийно-зонтичный фильтр, забирали с помощью сифона 13 и подавали в мерный бак 14 с установленным водосливом. Для зарядки сифона использовали вакуумный на-

сос 7. Расход воды в трубопроводе 10 и сифоне 13 регулировали вентилем 9, а измеряли объёмным методом, проверяя уровень по отметкам треугольного водослива мерного бака 14. Уровни воды в лотке, прифильтровой зоне и самом фильтре регистрировались при помощи пьезометров, выведенных на общий щит 6. Как показали результаты исследований, максимальное гидравлическое сопротивление конструкции скважин находится в пределах 5...8% от общего понижения уровня воды.

Исследования отношений притоков воды в многоярусных конструкции проводились в гидравлическом стенде (Рис. 12).

Исследование работы скважин в полевых условиях. С целью исследования были пробурены две скважины у северной окраины г. Черкасы, в прибрежной зоне Кременчугского водохранилища. Глубина скважины двухъярусной конструкции 15,85 м, диаметр бурения 720 мм. В качестве водоприёмника было установлено два раструба с диаметром цилиндрической части 620 мм, соединённых между собой трубой диаметром 219 мм и длиной 1,15 м. Длина каждого раструба 650 мм. К верхнему из них приварена обсадная труба диаметром 273 мм. В ствол скважины под нижний рас-

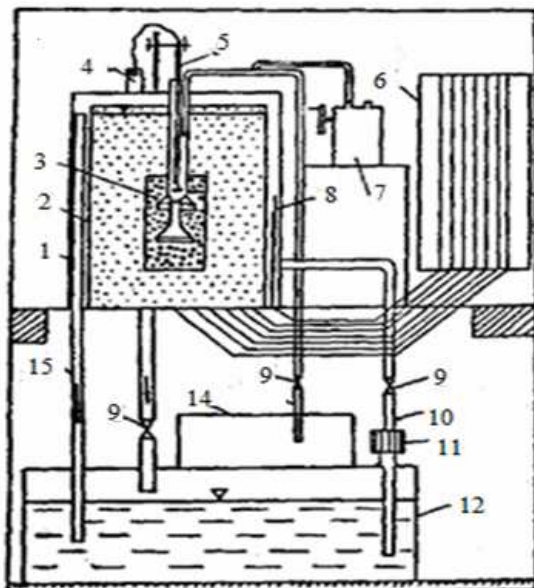


Рис. 11. Физическая модель
Fig. 11. Physical Model with sand and gravel

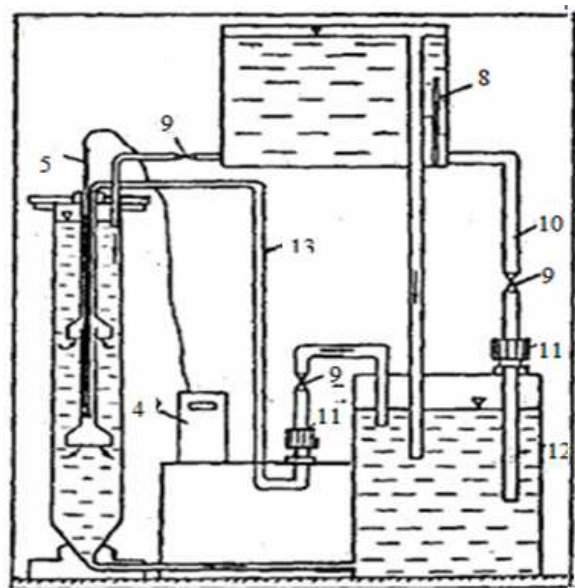


Рис. 12. Гидравлический стенд
Fig. 12. Hydraulic Stand

труб был засыпан слой гравия толщиной 1,4 м, Тем же гравием засыпаны снаружи оба раструба и соединительная труба. Общая длина интервала гравийной засыпки 5,5 м. В скважину был установлен пьезометр. Дебит скважины составил 6 м³/ч при понижении уровня воды на 1,5 м, удельный дебит – 4 м³/ч. Глубина скважины одноярусной конструкции 6 м, диаметр бурения 760 мм. Длина раструба-зонтика 1160 мм, диаметр цилиндрической части 620 мм. Поскольку нижний, край раструба вогнут внутрь, диаметр по краю составляет 520 мм.

Для предотвращения просадки общей конструкции в гравий к нижнему обрезу раструба приварены арматурные прутья диаметром 10 мм, образующие решётку. К верхнему концу раструба приварена обсадная труба диаметром; 219 мм. Раструб установлен на глубине 12,67 м на засыпанный в ствол слой гравия толщиной 3,33 м. Гравием также засыпаны раструб и часть ствола над ним. Общая длина интервала гравийной засыпки 9,5 м.

В гравийной засыпке установлен пьезометр диаметром 50 мм. При понижении на 2,22 м получен дебит 10,1 м³/ч, удельный дебит составил 4,6 м³/ч, при понижении 1,68 м – соответственно 6,7 м³/ч, и 4 м³/ч. В обоих случаях откачка проводилась в течение 5 ч в устойчивом режиме при стабилизации уровней через 20 мин. При этом в скважине на расстоянии 10,7 м наблюдалась срезка уровня при первом понижении на 0,08 м, при втором – на 0,07 м, в пьезометре, соответственно на 0,22 и 0,16 м.

Методы расчёта дебита скважин. Определение дебита с учётом сложных природных условий для различных конструкций ФУГЗ проводилось на основе анализа результатов электро моделированию на соответствующих моделях в напорных условиях. Чтобы свести эти погрешности к минимуму, расчёты проводили в относительных величинах. Для отношения брали измерения на той же модели в первоначальных условиях. Относительный дебит скважин в соответствии с теорией электро-

гидродинамических аналогий рассчитывали по следующей зависимости:

$$Q = \frac{Q_H}{Q_C} = \frac{I_H}{I_C} \xi, \quad (7)$$

где Q_H и Q_C – расход соответственно несовершенной и совершенной скважин; I_H и I_C – сила тока соответственно на модели к несовершенной и совершенной скважин; ξ – поправка, учитывающая колебания напряжения на шинах модели:

$$\xi = \frac{U_C}{U_H}. \quad (8)$$

Здесь U_C и U_H – напряжения на шинах модели совершенной и несовершенной скважин. На модели напряжения задавалось постоянное напряжение, равное 20 В, поэтому, $U_C = U_H$ и, следовательно, $\xi = 1$. Тогда зависимость (7) приобрела следующий вид:

$$Q_H = \frac{I_H}{I_C} Q_C, \quad (9)$$

поскольку дебит совершенной скважины можно определить по формуле Дюпийи:

$$Q = \frac{2\pi k m S}{\ln(R/r)}, \quad (10)$$

Для получения относительных величин в знаменателе принимались значения для совершенной скважины, работающей в тех же природных условиях, а в числителе – для скважин с ФУГЗ (в качестве несовершенной скважины). Такое отношение меньше единицы, и его можно интерпретировать, как обобщённый коэффициент уменьшения дебита совершён. Для расчёта дебита скважин с ФУГЗ необходимо знать коэффициент уменьшения дебита Q_H/Q_C , определяемый с помощью моделирования как коэффициент уменьшения тока I_H/I_C .

Величина тока конструкции ФУГЗ:

$$I_H = f(r/m, c/m, b/m, h/m), \quad (11)$$

Для определения I_H и I_C , проведены опыты методом ЭГДА. Остальные величины можно рассчитать по Рис. 8.

$$I = I_H.$$

Зависимость тока на модели от относительных радиусов совершенной скважины по экспериментальным данным можно описать следующим уравнением:

$$I_c = 61,5\bar{r} + 17,2. \quad (12)$$

При совместном решении зависимостей (9) и (10) и подстановке в них зависимости (12) получим уравнение для определения дебита скважин с ФУГЗ в напорных условиях:

$$Q = \frac{2,73KmSI}{\lg(R/r) (61,5\bar{r} + 17,2)}, \quad (13)$$

где I – ток на модели, мА; 61,5 и 17,2 – переходные коэффициенты от модели к натуре, мА; R – радиус влияния скважин; m – мощность пласта; K – коэффициент фильтрации пласта; S – понижение уровня грунтовых вод; r – радиуса водоприёмника; $\bar{r} = r/m$.

Учитывая суффозионный процесс допустимый дебит скважин с ФУГЗ можно определить по уравнению:

$$Q_{perm} = 0,67 v_{perm} \pi r^2, \quad (14)$$

где 0,67 – коэффициент учитывающий неравномерность притока; v_{perm} – допустимая скорость притока, которая зависит от размера гравийной обсыпки и r – радиуса водоприёмника.

ВЫВОДЫ

1. Скважины с одним зонтиком могут применяться как с гравийной засыпкой, так

и без неё. Скважины с двумя-тремя зонтиками обязательно требуют гравийной засыпки для обеспечения работы верхних зонтиков.

2. Приток в скважину зависит не столько от количества зонтиков, сколько от объёма гравийной засыпки в отводе скважины и ее параметров. Поэтому при освоении этой конструкции целесообразно начинать работу с одним зонтиком при заложении под ним 3...5 метрового ствола с гравийной засыпкой.

3. Приток в скважину с одним зонтиком увеличивается с ростом радиуса зонтика, проницаемости и радиуса гравийной засыпки, ее глубины (до расчётного предела) и погружения зонтика в пласт до одной трети мощности сверху. Скорости движения воды от оси к краям зонтика увеличиваются почти от нуля до максимума.

4. Приток в скважину с двумя-тремя зонтиками увеличивается с ростом расстояния между зонтиками только до определённой величины, которая рассчитывается в зависимости от радиуса зонтика. Водосбор в этих конструкциях следует производить из точки между верхним и нижним расположенным зонтиками, что обеспечит равномерность притока к каждому зонтику.

5. Гидравлическое сопротивление Скважины с уширенной водоприёмной частью невелико и могут применяться для отбора подземных вод из безнапорных или слабо напорных водоносных горизонтов, при водопотребности (до 200...300 м³/сут). Применение данной скважин наряду со скважинами традиционной конструкции позволит ускорить решение одной из важных задач – обеспечить сельское население водоснабжением из подземных источников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малухин Н.Г., Дробаденко В.П., Тимошенко С.В., Богданов П.В., 2010. Особенности сооружения бесфильтровых скважин в мелкозернистых породах. Разведка и Охрана Недр. Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Минерального Сырья Им. Н.М. Федоровского, Москва, № 3, 38-39.

2. **Каястха К.П., 2015.** Сквaziны с гравийно-зонтичным фильтром уширенного контура. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування, випуск 1(69), Рівне, 33-49.
3. **Смірнов В.М., Головань В.П., Лукьяненко В.С., 2012.** Спеціальне ківшове бурильне обладнання з роздільним обертанням різальних частин та відцентровим розвантаженням накопичувача. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, № 79, 85-90.
4. **Смірнов В.М., Головань В.П., Конопат О.П., 2011.** Розробка та визначення конструктивних параметрів спеціального бурильного обладнання для роботи в складних грунтах. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, № 77, 55-61.
5. **Siwiec T., Troińska J., 2007.** The influence of backwashing methods on the initial effluent quality during deironing of water, EJPAU 10(2), №16.
6. **Фильчаков Л.Ф., Панчишин В.И., 1961.** Интеграторы ЭГДА, Моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге. Киев, Изд-во АН УССР, 172.

REFERENCES

1. **Malukhin N.G., Drobadenko V.P., Timoshenko S.V., Bogdanov P.V., 2010.** Features of the filter less wells construction in fine-grained rocks. Razvedka I Okhrana Nedr (Exploration and protection of mineral resources), Nr. 3, All-Russian Research Institute of Mineral Raw Materials. N.M. Fedorovsk, Moscow, 38-39.
2. **Kayastha K.P., 2015.** Skvajhiny s graviino-zontichnym filtrom ushirennoho kontura [Bell type Water Well with wide gravel filter pack]. National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, Ukraine, Vol. 1 (69), 33 – 49 (in Russian).
3. **Smirnov V.M., Golovan V.P., Lukyanenko V.C., 2012.** Spechialne kivshove burilne obladdannya z rozdilnym obertanniam rizalnykh chasten ta vidchetrovym razvontajhennyam nakopichuvacha. [Special bucket drilling equipment with separate rotational cutting parts and the centrifugal collectors]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], No. 79, 85-90 (in Ukrainian).
4. **Smirnov V.M., Golovan V.P., Konopat O.P., 2011.** Rozrobotka ta viznachena

- konstruktivnykh parametriv spechialnogo burilnogo ladannya dlya roboty v skladnykh gruntakh. [The development and definition of the design parameters of a special drilling equipment for the complex rocks]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], No. 77, 55-61 (in Ukrainian).
5. **Siwiec T., Troińska J., 2007.** The influence of backwashing methods on the initial effluent quality during deironing of water, EJPAU, Vol. 10(2), No.16.
 6. **Filchakov L.F., Panchishin V.I., 1961.** Integratory EGDA, Modelirovanie potentsialnykh polei na elektroprovodnoi bumage [Integrating Electrical modeling of potential fields on an electric conductive paper]. Kiev, Publishing House of Ukraine Academy of Sciences, 172 (in Russian).

APPLICATION OF BELL TYPE WATER WELL WITH WIDE GRAVEL FILTER

Krishna Kayastha

Kyiv National University of Construction and Architecture

Povitroflotsky prosp., 31, Kyiv, Ukraine, 03680, e-mail: kriskaes@gmail.com

Summary. The purpose of this article is to present a new bell type water well (BWW) construction with wide gravel filter and its application. The construction of the water well has been developed and research has been conducted using physical and electrical modeling as well as in the practical field. Researches in this work are of analytical and experimental character. As the results of the research, optimal physical parameters of the constructions have been found and analytical - empirical formulae have been derived to calculate the hydraulic parameters. Recommendation for the application has been presented. The results received in this work can be used for the application of the well construction. Further research is required to improve the physical and the hydraulic parameters of the proposed construction. The work has scientific and practical interest.

Key words: electrical and physical modeling, water well construction, ground water, bell type water well, water supply, irrigation.