

Литература

1. Булатов А. И., Аветисов А. Г. Справочник инженера по бурению: в 2 т. – М.: Недра, 1985.
2. Сулакшин С. С. Практическое руководство по геологоразведочному бурению. – М.:Недра, 1978. – 333 с.
3. Буровые станки на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет: учеб.пособие / В. С. Квагинидзе, Ю. А. Антонов, В. Б. Корецкий и др. – К.: Горная кн., 2011. – 292 с.
4. Davidenko A. N., Kamyshatsky A. F., Sudakov A. K. Innovative technology for preparing washing liquid in the course of drilling // Sci. and In. – 2015. – N 5 (11). P. 5–13.
5. Davidenko A. N., Kamyshatsky A. F. Technology for preparing washing liquid // AGHDRILLING, OIL, GAS. – 2016. – 33. – N 4. – P. 693–697.

Поступила 09.06.17

УДК 622.24

А. А. Кожевников, д-р техн. наук; **Н. А. Науменко**, аспирант

*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
г. Днепр, Украина*

АНАЛИЗ КРУПНОСТИ ЧАСТИЦ ГРАВИЙНОЙ ОБСЫПКИ ГРАВИЙНЫХ ФИЛЬТРОВ БУРОВЫХ СКВАЖИН

Рассмотрен вопрос подбора крупности частиц гравийной обсыпки для одно- и двухслойных гравийных фильтров буровых скважин.

***Ключевые слова:** скважина, крупность частиц, двухслойный гравийный фильтр, гравийная обсыпка.*

Введение

В настоящее время Украина располагает огромными ресурсами пресных подземных вод. Бурение и оборудованье скважин для воды занимают важное место в вопросе обеспечения питьевой водой населения страны. Эффективность и долговечность работы водозаборной скважины определяются конструкцией водоприемной части, способом ее сооружения и совершенством технологии освоения водоносного пласта после вскрытия его бурением.

На качество и межремонтный период водозаборной скважины существенно влияет наличие гравийной обсыпки вокруг рабочей части фильтра; при всей его прогрессивности вопросы освоения и эксплуатации водоносных пластов, а также создания гравийной обсыпки фильтров изучены недостаточно. Это приводит к снижению производительности и долговечности эксплуатационных скважин на воду.

Цель настоящей статьи – проанализировать подбор крупности частиц гравийной обсыпки для одно- и двухслойных гравийных фильтров буровых скважин.

К параметрам обсыпки относятся коэффициенты неоднородности, межслойности и толщины обсыпки, кроме того, качество используемого материала. Коэффициент неоднородности обсыпки не должен превышать 2,5 в соответствии со стандартами относительно скважин большинства стран. Однородность обсыпки обеспечивает ее большую проницаемость и исключает гравитационное расслоение при засыпке.

По качеству обсыпка должна быть чистой и сухой, состоять только из окатанных частиц с содержанием кварца не менее 95%. Использование дробленой горной породы не

допускается. Содержание глинистых и растворимых соляной кислотой частиц не должно превышать 5%; Массовая доля основного гранулометрического класса не должна быть ниже 90%. Такие требования к качеству материала обсыпки зафиксированы также в стандарте Украины «Материалы фильтрующие зернистые».

В отечественной практике [12] крупность материала для гравийных обсыпок подбирают по соотношению

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = 8 - 12 \quad (1)$$

где D_{50} – размер частиц, меньше размера которых в обсыпке содержится 50 %; d_{50} – размер частиц, меньше размера которых в породе водоносного пласта содержится 50 %.

В гравийных фильтрах толщину слоев обсыпки принимают с учетом конструкции фильтра. Для фильтров, собираемых на поверхности земли и опускаемых в скважину в готовом виде, толщина каждого слоя обсыпки не должна быть менее 30 мм. Для фильтров, создаваемых на забое скважин засыпкой гравия по межтрубному пространству, толщина каждого слоя обсыпки не должна быть менее 50 мм. Наиболее надежны в эксплуатации фильтры с гравийной обсыпкой толщиной 150–200 мм.

При устройстве двухслойных обсыпок механический состав материала слоев подбирают по соотношению

$$\frac{D_2}{D_1} = 4 - 6 \quad (2)$$

где D_2 , D_1 – средние диаметры частиц материала соседних слоев обсыпки.

В первом слое обсыпки, прилегающий к каркасу фильтра, подбирают гравий большого размера.

Расхождения в рекомендациях, на наш взгляд, связаны с многообразием используемых технологий и условий создания гравийной обсыпки при оборудовании водоприемной части скважины. Рекомендации по подбору размеров гравия (табл. 1) даны для условий эксплуатации гидрогеологических скважин. Проанализировав рекомендации, приходим к выводу, что рекомендуемые значения диаметра гравия обсыпки довольно размыты. В зарубежной практике [8] принято, чтобы крупность гравийной обсыпки D_{50} в 4–6 раз превышала диаметр частиц песка водоприемной части скважины d_{50} . Результаты расчета гранулометрического состава материала гравийной обсыпки приведены в табл. 2.

Таблица 1. Диаметры гравия обсыпки согласно различным источникам

№ п/п	Диаметр зерен гравия обсыпки	Источник
1	$D=(10... 13)d_{90}$	[1]
2	$D=(10... 12) d_3$	[10]
3	$D_{10w}=(6... 8) d_{10}$	[11]
4	$D_{50}=(8... 12)d_{50}$	[6]
5	$D_{50}=(7... 9) d_{50}$	[15]
6	$D_{50}=(8... 12) d_{50}$	[13,14]
7	$D_{50}=(4... 6) d_{50}$	[10]
8	$D=(4... 8) d$	[7]

Примечание: D – диаметр зерен гравия; d – диаметр зерен пород пласта; d_{90} – диаметр зерен пород пласта в 90%-нной точке кривой гранулометрического состава; D_{50} – диаметр частиц гравийной обсыпки, соответствующий 50% -му ситовому отсеву; d_3 – диаметр мелких частиц породы приведенных по объему к шару, выносимых фильтрационным потоком; d_{50} – диаметр зерен пород пласта в 50%-нной точке кривой гранулометрического состава; D_{10} –

размер зерен гравия в 10%-нной точке кривой фракционного состава; d_{10} – диаметр зерен песка в 10%-нной точке кривой гранулометрического состава.

Исходя из рекомендаций, приведенных в [13, 14] для оборудования водоприемной части гидрогеологических скважин, в виде мелкозернистого песка, следует применять трубчатые или стержневые фильтры с одно-, двух- или трехслойной гравийно-песчаной обсыпкой. Допускается также применение блочных фильтров. На практике водоприемную часть скважин в тонкозернистых и пылеватых песках стараются не изготавливать, даже если вода хорошего качества. Такие интервалы изолируют обсадными колоннами, или при наличии геологической информации не вскрывают. Приведенное обстоятельство обусловлено тем, что при применяемых технологиях, гарантированно получают некачественную воду, с большим содержанием механических примесей, вымываемых потоком добываемой воды из водовмещающих пород пласта (горизонта). В целях расширения области применения гравийных фильтров, а следовательно, привлечения для питьевого водоснабжения большего количества водоносных горизонтов, из тонкозернистых и пылеватых песков, целесообразно применять криогенно-гравийные фильтры (КГФ), которые в соответствии с данными табл. 2 имеют диаметр частиц обсыпки водоприемной части скважин $D_{50}= 0,5-0,75$ мм [13; 14].

Таблица 2. Расчетный диаметр частиц гравийной обсыпки

Порода- песок	Диаметр частиц породы, мм	Диаметр частиц обсыпки, согласно [12; 13]	Диаметр частиц обсыпки, согласно [6]
среднезернистый	0,5–0,26	5,0–2,6	2,5–1,3
мелкозернистый	0,25–0,11	2,5–1,1	1,25–0,55
тонкозернистый	0,1–0,06	1,0–0,6	0,5–0,3
пылеватый	0,05–0,01	0,5–0,1	0,25–0,05

Наиболее важный параметр обсыпки фильтра – коэффициент межслойности, равный D_{50}/d_{50} и являющийся критерием подбора диаметров частиц обсыпки. Оптимальный коэффициент межслойности определяют двумя методами. Первый основан на геометрической непросыпаемости грунта или задержании частиц пласта на контуре гравийной обсыпки. Известно, что размер пор однородных частиц $\approx 0,21$ их диаметра, поэтому если размер задерживаемых частиц в 5 раз меньше диаметра обсыпки, они не проникнут в обсыпку. Исходя из этого при коэффициенте межслойности 4-6 обеспечивается задержание частиц на контуре обсыпки. Этот критерий подбора обсыпки рекомендуют многие специалисты за рубежом и авторитетные организациями (AWWA, API, EPA, ASCE и др.). Множитель 4 применяют для однородных песков ($K_L < 6$), 5 или 6- для песков с $K_L > 6$, для неоднородных песков допускается увеличение коэффициента межслойности до 10 [2].

Другой метод предусматривает проникновение мелких частиц пласта в обсыпку и последующий их вынос при прокачке, что может способствовать разрушению, например, глинистой корки, образующейся при вскрытии пласта с применением глинистого раствора. В соответствии с приведенными рекомендациями коэффициент межслойности должен составлять 6–2 в зависимости от K_L пород пласта. Такой критерий зафиксирован в рекомендациях Бюро по мелиорации США (8–12), в стандартах Германии.

В Украине и некоторых других странах коэффициент межслойности определяется соотношением D_{50}/d_{50} , где D , d – диаметр частиц соответственно обсыпки и пород пласта. В США и Австралии он определяется как D_{30}/d_{30} . Это обусловлено тем, что для большинства водоносных песков d_{30} приближен к размеру ячейки сита, на котором остается наибольшая масса песка при ситовом рассеиве. Диаметр d_{30} называют модальным размером

водовмещающей породы. Для однородных пород диаметры d_{50} и d_{30} различаются незначительно, тогда как для весьма неоднородных пород различие может быть существенным.

В Германии для определения размеров гравийной обсыпки используют понятие действующего диаметра частиц пласта и обсыпки [9]. Действующий диаметр соответствует верхней точке перегиба кривой гранулометрического состава. Согласно DIN 4924 действующий диаметр d_{80} . Эмпирически определили действующие диаметры для различных водовмещающих пород и построили кривую действующих диаметров (рис. 1) согласно стандарту Германии (DIN 4924). Для определения размеров обсыпки использовали так называемый показатель фильтра, равный четверем и являющийся коэффициентом межслойности.

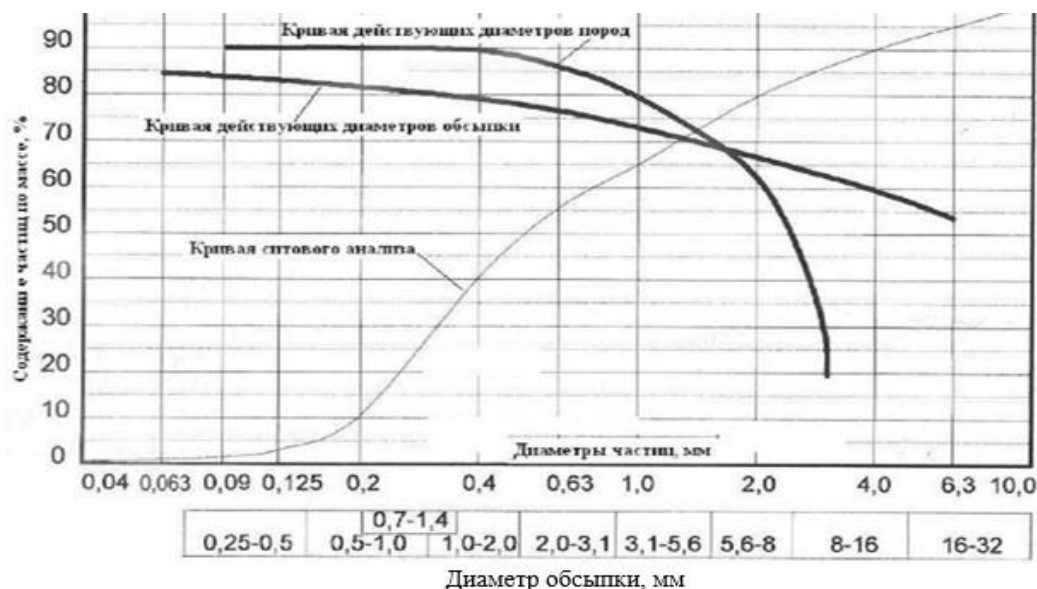


Рис. 1. Кривые действующих диаметров пород пласта и гравийной обсыпки (по DIN 4924)

Для определения состава обсыпки целесообразно использовать три способа: d_{80} водовмещающего песка умножить на 4; диаметр частиц, соответствующий точке пересечения кривых гранулометрического состава породы и действующих диаметров породы умножить на 4; из точки пересечения кривых состава пород пласта и действующих диаметров обсыпки опустить перпендикуляр и определить диаметр обсыпки, стандартные (рис. 1).

Описанные правила применимы для песков с $K_n < 5$. При пересчете d_{80} на d_{50} коэффициент межслойности составит 8–10. Для более неоднородных песков рекомендуется применять стандарт DVGW (раздел W-113), в соответствии с которым:

$$D_{50} = d_g F_g, \quad (3)$$

где d_g – характерный диаметр частиц, который определяют в точке максимума графика, получаемого при графическом дифференцировании S - образной кривой гранулометрического состава пород. При отсутствии максимума $d_g = d_{30}$; $F_g = 6 + K_n$ для $K_n < 5$ и $F_g = 11$ для $K_n > 5$. По сути, имеем $D_{50}/d_{30} = 8–11$.

Выбирая согласно рекомендуемым критериям подбора обсыпки фильтра, полагаем, что подход, основанный на принципе задержания частиц пласта на контуре обсыпки, наиболее рациональный. Основные доводы такого решения следующие: исключается механическая кольятация обсыпки частицами пласта, что сохраняет ее высокую проницаемость; суффозия невозможна при любой скорости входа воды в фильтр; допускается минимальная толщина обсыпки; значительно сокращается продолжительность освоения скважины.

Приведенные доводы основаны на результатах многочисленных полевых и экспериментальных исследований. В частности, С. В. Комиссаровым показан, что включение в состав однородной обсыпки более мелких фракций существенно снижает ее проницаемость [4]. При добавлении, например, к фракции гравия 5–7 мм 20–50% песка размером 0,5–1 мм, что соответствует коэффициенту межслойности порядка 8–10, коэффициент фильтрации гравийной смеси снижается минимум на порядок. Исследователь приводит также необходимую толщину обсыпки. При коэффициенте межслойности 4–5 достаточна 15–30 мм толщина обсыпки, тогда как для более высоких соотношений требуется более 50 мм слоя обсыпки.

Интересные полевые исследования провели в штате Иллинойс (США) с оборудованием гравийными фильтрами различного состава [4]. Эффективность скважин оценивали как соотношение расчетного и реального снижения ее уровня. Эффективность скважин с коэффициентом межслойности гравийных обсыпок 4–5 составила 0,9 – 1,2, с коэффициентом межслойности 7–10 снизилась до 0,32. Эффективность скважин снизилась также для коэффициентов межслойности менее 4. Скважины с коэффициентом межслойности более 10 песковали, а одну скважину с коэффициентом межслойности обсыпки 20 вывели из эксплуатации из-за непрерывного выноса песка.

Резюмируя, считаем целесообразным в качестве критерия подбора гравийной обсыпки использовать соотношение $D_{50}/d_{50} = 4–6$. Для неоднородных пород ($K_n > 10$) коэффициент межслойности может быть увеличен до 8. Это компромиссный выбор, поскольку относительно D_{30}/d_{30} значение немного большее, но меньшее, чем соотношение $D_{50}/d_{50}=8–12$, рекомендуемое в Украине и Германии. Использование такого подхода при сооружении более 25 скважин с фильтрами «Johnson» в различных регионах Украине доказало эффективность.

Относительно достаточной толщины обсыпки, то здесь разногласий не существует. Средняя рекомендуемая толщина обсыпки составляет 100 мм, при этом для межслойности 4–6 она может снизиться до 50 мм. Контур обсыпки более 200 мм не рекомендуется, поскольку при этом затрудняется качественное освоение скважины. Подбор гравийной обсыпки базируется на кривых гранулометрического состава пород пласта. При этом ориентироваться необходимо на наиболее тонкие частицы в разрезе. Это правило следует применять также и при выборе размеров щелей для естественных фильтров.

В качестве примера на рис. 2 показаны кривые гранулометрического состава пород в интервале установки фильтра одной из скважин. Как видим, разрез представляет собой гравийно-галечные отложения с заполнителем из мелкозернистого песка, породы весьма неоднородны в разрезе – их d_{50} различается в 2 раза. При выборе обсыпки необходимо ориентироваться на левую крайнюю кривую, представляющую наиболее мелкую фракцию.

Для этого необходимо d_{50} наиболее мелкие фракции умножить на коэффициент межслойности, получив значение D_{50} , и нанести эту точку на графике. В рассматриваемом случае K_n пород пласта составляет 75, т. е. породы неоднородны. Для таких пород применим коэффициент межслойности 8. Согласно рис. 2 $d_{50} = 0,25$ мм, тогда $D_{50} = 2,0$. Через эту точку методом проб и ошибок проводится прямая линия, имеющая $K_n < 2,5$. Получившаяся линия представляет необходимый состав обсыпки. В рассматриваемом случае обсыпка должна быть представлена фракцией 1–3 мм. Размер щели фильтра из условия задержания обсыпки составит 1,0 мм.

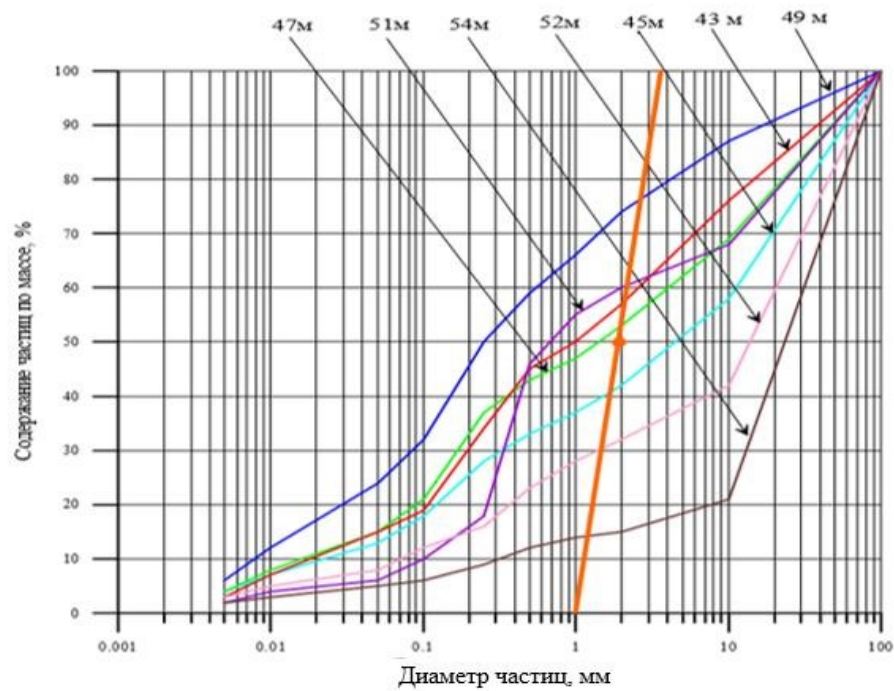


Рис. 2. Кривые гранулометрического состава пород пласта в разрезе и рекомендуемой гравийной обсыпки

В настоящее время в Украине насчитывается четыре крупных производителя однородных обсыпок требуемого качества и широкого спектра состава. Обсыпки поставляют в мешках по 25 и 50 кг, а также мягких контейнерах массой 1,0 т.

Поставляемые фракции: 0,3–0,63; 0,5–1,0; 0,63–1,2; 0,8–1,6; 0,8–2,0; 1–3; 1,6–4,0 и др.

Следует отметить, что при большой неоднородности пород в разрезе подбор обсыпки на основе анализа одного-двух образцов пород может оказаться ошибочным и привести к пескованию скважин. Только анализ всего разреза может служить залогом успеха. Если прослеживается плановая неоднородность свойств водовмещающих пород, следует предусматривать отбор образцов пород в каждой точке заложения эксплуатационных скважин.

В качестве примера на рис. 3 показаны кривые гранулометрического состава пород, отобранных из двух разведочных скважин на одном и том же месторождении подземных вод.

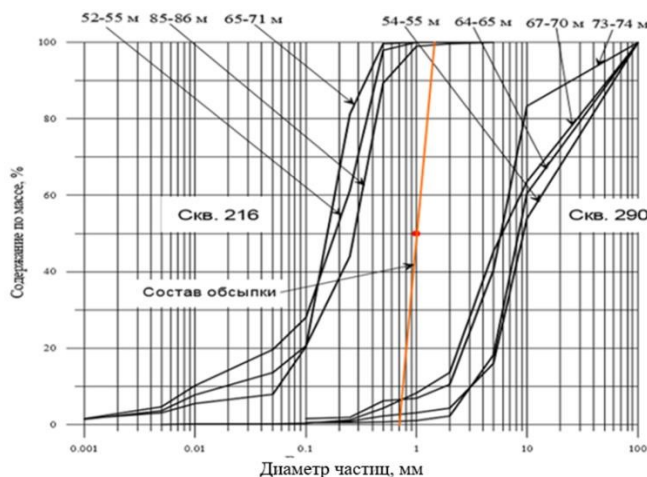


Рис. 3. Кривые гранулометрического состава водовмещающих пород в пределах одного месторождения

Как видим, характерные диаметры частиц пород в сходных интервалах различаются более чем вдвое. Если для скважины 216 однозначным выбором является обсыпка 0,8–1,6 мм и размер щели каркаса фильтра 0,8 мм, то для скважины 290 обсыпка не требуется и для создания естественного фильтра размер щели каркаса фильтра должен составлять 5–6 мм. В подобных условиях основой для проектирования скважин является информация о грансоставе пород пласта в каждой точке заложения эксплуатационной скважины.

При отсутствии таких данных приходится ориентироваться на наиболее мелкие частицы пласта, что приводит к повышенным сопротивлению прифильтровых зон части скважин и удорожанию строительства в целом.

По результатам анализа методик расчета позволили определить рациональный гранулометрический состав двухслойных гравийных фильтров:

1. первый слой (D_1): $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 8 - 12$.
2. второй слой $D_2 = D_1(4 - 6)$.

Расчет гранулометрических составов гравийных обсыпок двухслойного фильтра для различных водоносных горизонтов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Соотношение гранулометрических составов гравийных обсыпок двухслойного фильтра для различных водоносных горизонтов

Тип песка водоносного горизонта	Диаметр частиц d_{50} , мм	Диаметр частиц первого слоя обсыпки двухслойного фильтра D_1 , мм	Диаметр частиц второго слоя обсыпки двухслойного фильтра D_2 , мм
Пылеватый	0,05	0,5	2,5
	0,1	1	5
Мелкозернистый	0,15	1,5	7,5
	0,2	2	10
	0,25	2,5	12,5
Среднезернистый	0,3	3	15
	0,35	3,5	17,5
	0,4	4	20
	0,45	4,5	22,5
	0,5	5	25
Крупнозернистый	0,55	5,5	27,5
	0,6	6	30
	0,65	6,5	32,5
	0,7	7	35
	0,75	7,5	37,5
	0,8	8	40
	0,85	8,5	42,5
	0,9	9	45
	0,95	9,5	47,5
	1	10	50

На рис. 4 график, характеризующие графики размера частиц гравийной обсыпки первого и второго слоя гравийной обсыпки в зависимости от крупности частиц породы водоносного горизонта.

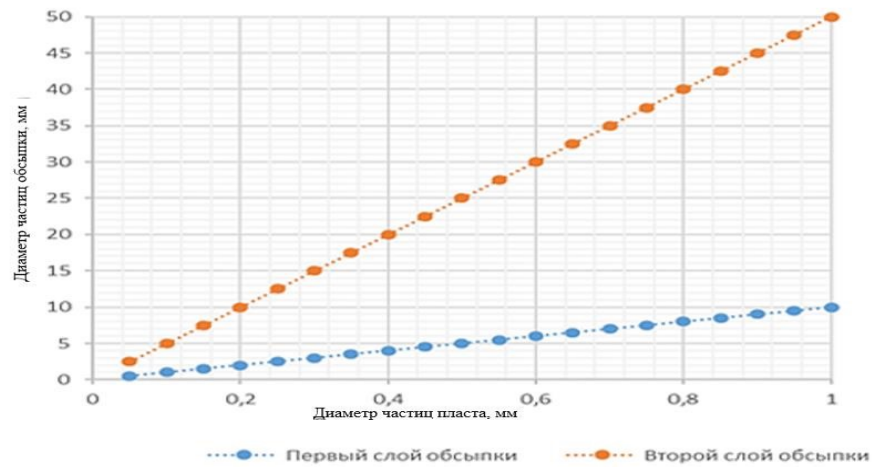


Рис. 4. Зависимость диаметра частиц гравийной обсыпки от крупности пород частиц пласта

Выводы

Таким образом в статье:

1. Проанализирована крупность частиц обсыпки двухслойного гравийного фильтра.
2. Приведены рекомендации для определения диаметра частиц обсыпки двухслойного гравийного фильтра.

У статті розглядається аналіз методики підбору крупності частинок гравійної обсыпки для одно – та двошарових гравійних фільтрів свердловин.

Ключові слова: свердловина, крупність частинок, двошаровий гравійний фільтр, гравійна обсыпки.

ANALYSIS OF THE PARTICLE SIZE GRAVEL GRAVEL FILTERS DRILLING WELLS

The article considers the analysis of a technique of selection of the particle size of the gravel for one –and two-layer sand filters drilling wells.

Key words: well, the particle size, two-layer gravel filter, gravel coating.

Литература.

1. Coberli C. J., Wagner E. M., Some consideration in the selection and installation of gravel pack for oil wells // J. Petr. Techn. – 1938. – August. – P. 1 – 20.
2. Bieske E., Rubbert W., Treskatis C. Bohrburgen-Oldenbourg, 1998 – 455 p.
3. Fletcher G. D. Groundwater and wells. 2 th ed. – Johnson Division, 1986. – 1089 p.
4. Harmon F. S. Gravel Packing Water Wells. – Water Well, 1954. – P. 813.
5. Szescila A. J. Gravel packing // Drilling. – 1976. – 73. – N 5. – P. 53–56.
6. Гаврилко В. М., Алексеев В. С. Фильтры буровых скважин. – М.: Недра, 1976. – 345 с.
7. Иоаким Г. Добыча нефти и газа. – М.: Недра, 1966. – 543 с.
8. Кожевников А. А., Дычковский Р. Е., Судаков А. К. / Геолого-технические условия оборудования гидрогеологических скважин криогенногравийными фильтрами // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – 2014. – № 1 – С. 80–89.
9. Комиссаров С. В. Методы увеличения дебита буровых скважин на воду. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – 95 с.

10. Кулиев С. М. Гравийные фильтры для нефтяных скважин. – Баку: АН АзССР, 1949. – 146 с.
11. Муравьев И. М., Крылов А. П. Эксплуатация нефтяных месторождений – М.: Гостоптехиздат, 1949. – 766 с.
12. Пенкевич С. В., Тунгусов А. А. Методические указания по проектированию и сооружению скважин на воду. – М., 1998. – 48 с.
13. СНиП II _ 31 _ 74 / Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Госстрой СССР, 1974. – 162 с.
14. СНиП II _ 31 _ 74 / Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Строиздат, 1975. – 150 с.
15. Фоменко В. И. Подбор оптимальных параметров гравийно – засыпных фильтров дренажных и водозаборных скважин // Труды ЦНИИгоросушение. – 1970. – Вып. 12. – С. 61 – 70.

Поступила 11.06.17

УДК 622.24

Р. А. Гасанов¹, Т. Р. Керимова¹; Ф. А. Рамазанов²; А .И. Зейналов³; Ш. С. Мусаев⁴

¹*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности*

²*Трест «Комплексные буровые работы ГНКАР»*

³*НИИ «Геотехнологические проблемы нефти и газа и химия»*

⁴*Бакинская Высшая школа нефти, Азербайджан*

РАЗРАБОТКА РЕГЛАМЕНТА НА РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРОИЗВОДСТВА БУРОВЫХ РАБОТ

Разработан регламент на режимно-технологические факторы производства буровых работ, обеспечивающий качественную очистку призабойной зоны скважины. С этой целью моделируется маршрут движения промывочной жидкости через разработанную компоновку на участках подачи и выноса жидкости, соответственно по затрубному и центральному каналам. Путем использования и решения дифференциального уравнения процесса выноса продуктов бурения из призабойной зоны промывочной жидкостью получены зависимости для определения необходимого количества подаваемой в зону бурения жидкости, скорости и частоты вращения породоразрушающего инструмента, обеспечивающие качественную очистку призабойной зоны в процессе производства буровых работ.

Ключевые слова: *призабойная зона, промывка, компоновка, вынос продуктов бурения, регламент, режимно-технологические факторы.*

На современном этапе для достижения высокого уровня добычи нефти и газа приходится осваивать месторождения, которые находятся на большой глубине. При бурении глубоких скважин приходится решать ряд сложных задач. Одна из них – эффективная очистка забоя от выбуренной породы. Длительность работы долота на забое, а также скорость проходки зависят от интенсивности удаления частиц выбуренных пород из зоны их разрушения. Низкое качество очистки призабойной зоны способствует повышению энергоемкости разрушения пород, а выбуренные их частицы путем абразивного повторного истирания и температурного воздействия на вооружение снижают ресурс работы породоразрушающих инструментов. Для улучшения очистки призабойной зоны от выбуренных пород разработана специальная компоновка [1], предназначенная для