

УДК 622.322

## СООТВЕТСТВИЕ СКВАЖИННЫХ УСЛОВИЙ ОПТИМАЛЬНОМУ ВЫБОРУ ПРОТИВОПЕСОЧНЫХ ФИЛЬТРОВ

Хабибуллин Марат Яхиевич<sup>1</sup>,  
m-hab@mail.ru

Хабибуллин Арсен Маратович<sup>1</sup>,  
zx9ooqpv@gmail.com

<sup>1</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет (филиал в г. Октябрьский),  
Россия, 452607, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54а.

**Актуальность** исследования обусловлена необходимостью обеспечить поступление более очищенной пластовой жидкости в призабойную зону скважины. При вскрытии пласта эксплуатационными скважинами, в конструкцию которых входят противопесочные фильтры, существуют некоторые несовершенства, которые характеризуются степенью и характером его вскрытия и обусловлены конструкциями обсадных фильтров. Если в отдаленной зоне конструкция призабойной зоны мало влияет на параметры течения пластовой жидкости (и ей можно пренебречь), то в призабойной зоне и у самого фильтра появляются гидравлические потери, которые необходимо учитывать.

**Цель:** на основании результатов экспериментальных исследований предложить оптимальную конструкцию противопесочного фильтра. Для выбора необходимо учитывать гидравлические параметры его работы, которые можно определить с учетом степени сопротивления фильтра, а при постановке фильтров в слабосцементированных и рыхлых породах учитывать пескоудерживающую способность фильтрующей оболочки.

**Объекты.** В настоящее время применяются различные конструкции противопесочных фильтров. Например, у которых круглые отверстия, щелевые, которые располагаются в горизонтальной или вертикальной плоскостях, чья длина различается и может достигать размеров мощности пласта, а также фильтры блочной конструкции и фильтры конструкции с фильтрующей поверхностью из сеток, а также форма и взаимное расположение элементов фильтрующей оболочки, влияющих на создание устойчивых мостов из крупных фракций песка или гравийной набивки.

**Методы.** Определение обобщенного сопротивления у фильтров с фильтрующей поверхностью из сеток и блочного типа связано с большими математическими трудностями. Это объясняется тем, что появляется большое количество параметров, влияющих на фильтрационную способность оболочки. При сетчатых фильтрах, в зависимости от вида плетения, это разность толщин проволоки утка и основы, различие размеров в вертикальной и горизонтальной плоскостях, влияние конструкции каркаса, считающегося единым целым с сеткой. При блочных конструкциях – размеры и однородность состава частиц, толщина фильтрующей оболочки, геометрия фильтрационных каналов и т. д. Поэтому для таких фильтров более удобно производить оценку по их проницаемости согласно формуле Дарси.

**Результаты.** Наиболее перспективными являются конструкции фильтров-каркасов с щелями горизонтального типа, которые имеют значительно меньшее сопротивление и подвержены меньшему влиянию интерференций отверстий. Следует также отметить, что благодаря особенностям устройства каркасно-стержневых фильтров легко реализуется скважность большая, чем в других конструкциях, при том же минимальном значении размеров отверстий.

### Ключевые слова:

Фильтры, противопесочные, оболочка, каркас, гидравлические параметры, сетка, поток

### Введение

При вскрытии пласта эксплуатационными скважинами, в конструкцию которых входят противопесочные фильтры, существуют некоторые несовершенства, которые характеризуют степень и характер вскрытия пласта, обусловленные конструкциями обсадных фильтров [1–4]. Согласно [5] при расчете фильтрационных потоков через обсадную колонну их сопротивления необходимо раскладывать на разнородности с учетом различных зон. Если в достаточно отдаленной призабойной зоне скважины конструкция фильтров мало влияет на параметры течения пластовой жидкости (и ей можно пренебречь), то в призабойной зоне и у самого фильтра появляются гидравлические потери, которые необходимо учитывать как безразмерные показатели, влияющие на общие потери потока добываемой жидкости [6–8].

Данные потери с учетом принятой схемы движения пластовой жидкости представляется согласно [9] по формуле (1):

$$\zeta = \zeta_1 + \zeta_2, \quad (1)$$

где  $\zeta_1$  и  $\zeta_2$  – сопротивления, которые соответствуют степени и характеру методов вскрытия пластов.

Оценка влияния скважинного несовершенства на степень вскрытия пласта с учетом зависимости притоков к ее забою от отношения  $l/m$  (где  $l$  – длина фильтра,  $m$  – полная мощность продуктивного пласта) и графические зависимости для определения сопротивления  $\zeta_1$  даны в работе [10].

Сопротивление  $\zeta_2$  представляет собой комплексную характеристику, зависящую от качества заканчивания скважины, гидравлических особенностей фильтра, обусловленных конструкцией, а также от кольматации фильтрующей оболочки и нарушения линейного режима фильтрации [11]. Поэтому величину  $\zeta_2$  можно определить [12] согласно выражению (2):

$$\zeta_2 = \zeta_{2ф} + \zeta_{2п} + \zeta_{2пл}, \quad (2)$$

где  $\zeta_{2ф}$ ,  $\zeta_{2п}$ ,  $\zeta_{2пл}$  – сопротивления, которые соответствуют фильтру, породе и отклонению от линейности режима фильтрации.

Механизм фильтрации вязкой жидкости через модель пористой среды со сравнительно небольшими размерами пор подчиняется линейному закону Дарси [13], и тогда значение обобщенного сопротивления можно определить в виде (3):

$$\zeta_2 = \zeta_{2\phi} + \zeta_{2п}. \quad (3)$$

Для выбора оптимальной конструкции противопесочных фильтров и ее элементов необходимо учитывать гидравлические параметры их работы. Данные параметры можно определить с учетом степени сопротивления фильтра, а при постановке фильтров в слабосцементированных и рыхлых породах необходимо учитывать пескоудерживающую способность фильтрующей оболочки [14].

Гидравлические параметры системы пласт–фильтр (при прочих условиях) являются следствием геометрических параметров фильтрующей оболочки, формирующих взаимное расположение отверстий и оказывающих влияние на сопротивление движению добываемой жидкости за счет нарушения линейности потока, его дифракции и т. д. [15–17].

На уменьшение контактных потерь в зоне сопряжения фильтра с породой большое влияние оказывает повышение скважности фильтрующей оболочки при тех же размерах пропускных отверстий за счет увеличения пористости в прифильтровой зоне [18–20]. Также форма и взаимное расположение элементов фильтрующей оболочки, влияющих на создание устойчивых мостов из крупных фракций песка или гравийной набивки, обеспечивают удержание частиц, составляющих скелет пласта с одновременным пропуском колюманта [21].

#### Методы и материалы

В настоящее время применяются различные конструкции противопесочных фильтров. Например, у которых щелевые круглые отверстия располагаются в вертикальной и горизонтальной плоскостях, длина которых может различаться и достигать размеров, соответствующих мощности пласта, и также фильтры конструкции с фильтрующей поверхностью из сеток и фильтры блочной конструкции. Для конструкций противопесочных фильтров с отверстиями круглой формы В.И. Щуровым [22] в результате исследования аналогичных решений М. Масона построены уточненные графики зависимости (рис. 1)  $\zeta_{2\phi}$  от параметров [23], выраженные по формуле (4):

$$\alpha = d_0/D \text{ и } \beta = nD, \quad (4)$$

где  $d_0$  – диаметр отверстий фильтра, м;  $n$  – их количество на единицу длины;  $D$  – диаметр фильтра, м.

Так как параметры  $\alpha$  и  $\beta$  являются показателями относительной скважности, из графика видно, что с увеличением скважности снижается сопротивление фильтра  $\zeta_{2\phi}$ .

#### Результаты и обсуждения

Теоретические исследования М.Р. Харриса [24] показывают, что суммарная эффективность образования группы отверстий круглой формы по коэффици-

енту потока зависит от их взаимного расположения. Результаты некоторых выводов даны на графике (рис. 2). Графические зависимости построены с учетом следующих условий:

- радиус контура питания 200 м;
- наружный радиус цементировочного кольца 76 мм;
- длина перфорированного канала 30,5 см;
- диаметр перфорированного канала 12,7 мм;
- глубина прострела за цементное кольцо 300 мм.

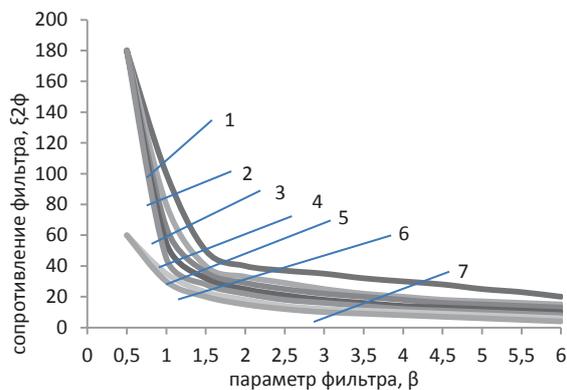


Рис. 1. Графические зависимости  $\zeta_{2\phi}$  от параметров  $\beta=0,01$  нД и  $\alpha$  для противопесочных фильтров с отверстиями круглой формы: 1)  $\alpha=0,025$ ; 2)  $\alpha=0,035$ ; 3)  $\alpha=0,045$ ; 4)  $\alpha=0,055$ ; 5)  $\alpha=0,065$ ; 6)  $\alpha=0,075$ ; 7)  $\alpha=0,085$

Fig. 1. Graphical dependences of  $\zeta_{2\phi}$  on the parameters  $\beta=0,01$  nD and  $\alpha$  for anti-sand filters with round holes: 1)  $\alpha=0,025$ ; 2)  $\alpha=0,035$ ; 3)  $\alpha=0,045$ ; 4)  $\alpha=0,055$ ; 5)  $\alpha=0,065$ ; 6)  $\alpha=0,075$ ; 7)  $\alpha=0,085$

Из полученных результатов видно, что наименьший перепад давления при заданном расходе получается при равномерном расположении отверстий в горизонтальной плоскости по окружности, а наибольшее значение – по вертикали вдоль одной образующей [25].

Величины сопротивления  $\zeta_{2\phi}$  для противопесочных фильтров, расположенных по образующим трубы вертикально, длина которых равна значению мощности пласта, имеют весьма близкие результаты при определении их различными методами. В.Т. Кордуэллом и С.К. Додсоном [26] предложено выражение (5):

$$\zeta_{2\phi} = \frac{2}{n} \cdot \ln \frac{2}{\pi\eta}, \text{ при } \eta = 0,3 \quad (5)$$

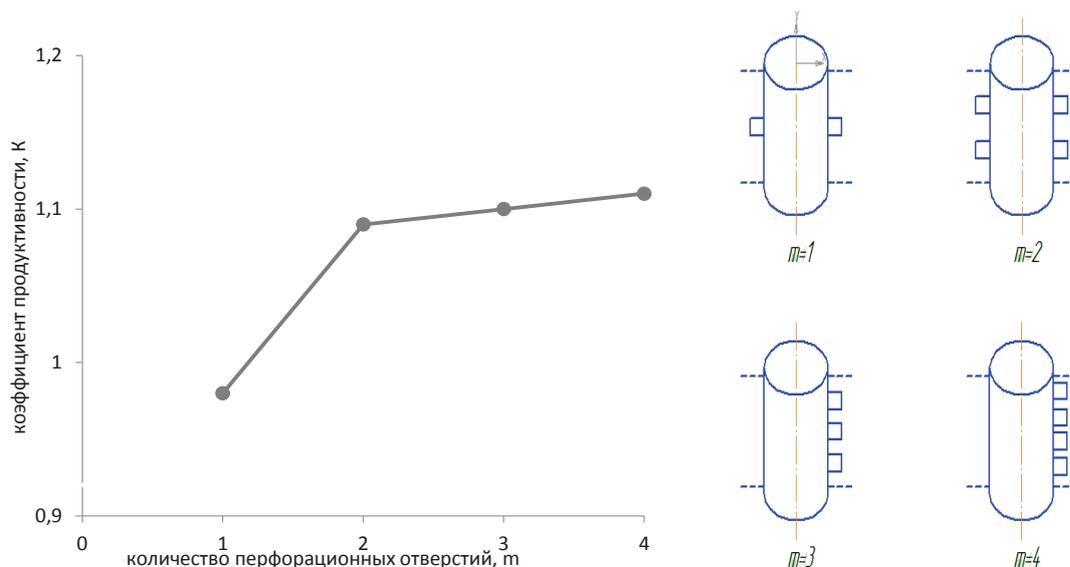
при  $n$  – число щелей;  $\eta$  – скважность.

В.П. Пилатовским [27] получено выражение безразмерного гидравлического сопротивления в виде (6):

$$\zeta_{2\phi} = \frac{4}{n} \cdot \ln \sin \frac{n^1\alpha}{2}, \quad (6)$$

где  $n^1$  – число непроницаемых перегородок;  $\alpha$  – центральный угол, определяющий размер щели.

Графические зависимости (рис. 1), которые выполнены в результате расчета согласно формуле (6), позволяют определить величины сопротивления  $\zeta_{2\phi}$  стержневых каркасов и для других аналогичных конструкций противопесочных фильтров.



**Рис. 2.** Графическая зависимость значения коэффициента продуктивности ( $K$ ) от количества перфорационных отверстий ( $m$ ) и схемы перфорации отверстий в плане по месторасположению по пласту

**Fig. 2.** Graphical dependence of the productivity factor ( $K$ ) value on the number of perforations ( $m$ ) and the pattern of perforations in the plan by location in the reservoir

В работе [28] подтверждается, что величину сопротивления для фильтров, у которых длина вертикальных щелей ограничена, можно определить по графическим зависимостям (рис. 1). Данные зависимости справедливы для фильтров с отверстиями, выполненными в виде круга. Для прямоугольных отверстий можно произвести интерполяцию к круглым отверстиям с учетом равнозначной общей площади поперечного сечения [29].

Рекомендованные радиусы приведения зависят от соотношения длины щели  $l$  к ее ширине  $b$ . При отношении  $l/b \leq 3$  для определения радиуса приведенного отверстия необходимо использовать следующую зависимость [30], представленную в выражении (7):

$$r_{\text{опр}} = \sqrt{\frac{b \cdot l}{\pi}}, \quad (7)$$

а при  $l/b > 3$  (длинные и узкие щели) можно определить по формуле (8):

$$r'_{\text{опр}} = \frac{b \cdot l}{2\pi}, \quad (8)$$

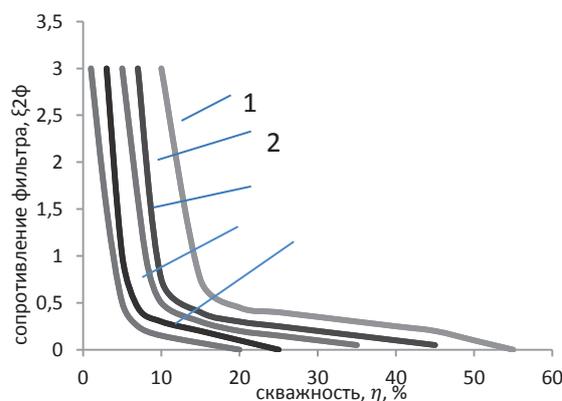
т. е. радиус определяется по периметру.

Как видно из графических зависимостей (рис. 3), сопротивление фильтров с вертикальными щелями существенно уменьшается как с увеличением общей скважности, так и с уменьшением ширины щели при той же скважности фильтрующей поверхности.

Для противопесочных фильтров со щелевыми отверстиями, которые располагаются в горизонтальной плоскости, аналогичное решение при относительных значениях больших величин  $r/d$  приведено в работе [31] А.Л. Хейном и представлено выражением (9):

$$\zeta_{2\phi} = \frac{d^3}{\pi^2 r_c b^2} \times \left[ 6,835 \frac{b}{d} \left( 1 - \frac{b}{d} \right) + \chi \left( \frac{b}{d}; \frac{2r_c}{d} \right) - 2L_i \left( \pi \frac{b}{d} \right) \right], \quad (9)$$

где  $d$  – расстояние между центрами щелей, м;  $r_c$  – радиус текущий, м;  $b$  – высота щели, м;  $\chi \left( \frac{b}{d}; \frac{2r_c}{d} \right)$  – функция табулированная, величина которой приводится в работе [31];  $L_i$  – интегральная функция Лобачевского.



**Рис. 3.** Графические зависимости значения сопротивления фильтра  $\zeta_{2\phi}$  от значения скважности  $\eta$  по всей мощности пласта у фильтров со щелями диаметром 168 мм: ширина щели (мм): 1) 8; 2) 6; 3) 4; 4) 2; 5) 0,8

**Fig. 3.** Graphical dependences of the filter resistance value  $\zeta_{2\phi}$  on the duty cycle  $\eta$  over the entire reservoir thickness for filters with slots with a diameter of 168 mm: slot width (mm): 1) 8; 2) 6; 3) 4; 4) 2; 5) 0,8

В работе [32] М.Н. Тихоновым даны решения, согласно которым величина сопротивления фильтров с горизонтальными щелями приблизительно на 20 % меньше, чем у фильтров с цилиндрическими отверстиями, приведенными на графических зависимостях (рис. 1).

Определение  $\zeta_{2ф}$  у фильтров с фильтрующей поверхностью из сеток и блочного типа связано с большими математическими трудностями. Это объясняется тем, что появляется большое количество параметров, влияющих на фильтрационную способность оболочки. При сетчатых фильтрах, в зависимости от вида плетения, это разность толщин проволоки утка и основы, отличие размеров в вертикальной и горизонтальной плоскостях, влияние конструкции каркаса, считающегося единым целым с сеткой. При блочных конструкциях – размеры и однородность состава частиц, толщина фильтрующей оболочки, геометрия фильтрационных каналов и т. д. [33–35]. Поэтому для таких фильтров удобнее производить оценку по их проницаемости согласно формуле Дарси [36].

Для радиальной фильтрации через кольцевой образец коэффициент проницаемости определяется по выражению (10):

$$K = \frac{\mu_{ж} \cdot Q_{ж} \cdot \ln \frac{r_{н}}{r_{в}}}{20 \cdot \pi \cdot h \cdot (P_{н} - P_{в})}, \quad (10)$$

где  $Q_{ж}$  – расход жидкости,  $\text{см}^3/\text{с}$ ;  $\mu_{ж}$  – динамическая вязкость,  $\text{МПа} \cdot \text{с}$ ;  $P_{н}$ ,  $P_{в}$  – перепад давления между наружной и внутренней поверхностью,  $\text{МПа}$ ;  $r_{н}$ ,  $r_{в}$  – наружный и внутренний радиусы;  $h$  – высота исследуемого образца,  $\text{см}$ .

Из формулы видно, что проницаемость находится в функциональной зависимости от перепада давлений, который в свою очередь зависит от сопротивления фильтров  $\zeta_{2ф}$ .

При наложении на фильтрующую поверхность фильтров частиц породы пласта его параметры существенно меняются, что происходит в результате изменения форм отверстий и суммарного значения параметра скважности фильтра [37].

Результаты полученных лабораторных исследований работы различных конструкций фильтров в контакте с гравийными обсыпками и породами приводятся в работе [38]. Лабораторные исследования выполнялись с конструкциями фильтров с вертикальными щелями и круглой перфорацией, а длина их была равна длине мощности пласта, и у фильтров со щелями с ограниченной длиной и у щелей, ориентированных только в горизонтальной плоскости. Лабораторные исследования проводились с сохранением линейности течения жидкости и совершенными по степени вскрытия пластом [39].

Сравнение значений сопротивления конструкций каркасно-проволочных фильтров с другими конструкциями фильтров показывает, что они имеют максимальное значение скважности. Большая величина интенсивности снижения сопротивления отмечается при сравнении с конструкциями щелевых и перфорированных трубами и с увеличением числа отверстий [40, 41].

Результаты расчетов значений коэффициентов фильтрации с учетом контактных потерь у некоторых

конструкций фильтров и с использованием полученных значений  $\zeta_{2фк}$  приведены в работе [42].

Приведенные данные в работе [42] свидетельствуют о закономерном возрастании коэффициента фильтрации с увеличением скважности. В итоге, зная линейную зависимость между коэффициентами фильтрации ( $K_1$ ) и проницаемости, коэффициент проницаемости можно определить по формуле (11):

$$K_1 = K_n \cdot \left( \frac{\rho \cdot q}{\mu_{ж}} \right), \quad (11)$$

где  $K_n$  – коэффициент проницаемости,  $\frac{\text{м}^3}{\text{сут} \cdot \text{МПа}}$ ;  $\rho$  – плотность фильтрующей жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $q$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\mu_{ж}$  – динамический коэффициент вязкости жидкости,  $\text{МПа} \cdot \text{с}$ .

В результате обзора видно, что наиболее эффективными гидравлическими преимуществами обладают фильтры, у которых выполнены горизонтальные щелевые отверстия (фирм «Джонсон» и «Кук», которые выпускают фильтры конструкций инженера В.М. Гаврилко) [43–45].

#### Заключение

Все вышесказанное позволяет сделать следующие выводы:

1. При увеличении значения показателя скважности фильтра растет дебит пластовой жидкости в эксплуатационной скважине.
2. Значение сопротивления фильтра при постоянной скважности увеличивается при уменьшении размеров его отверстий.
3. Значение сопротивления фильтров с различной перфорацией примерно равно при их схожей скважности.
4. Интерференция вертикальных малых отверстий больше, чем горизонтальных, примерно на 20...30 %.

Как видно, наиболее перспективными являются конструкции фильтров-каркасов с щелями горизонтального типа, которые имеют значительно меньшее сопротивление и подвержены меньшему влиянию интерференции отверстий. Следует также отметить, что благодаря особенностям устройства каркасно-стержневых фильтров легко реализуется скважность большая, чем в других конструкциях, при том же минимальном значении размеров отверстия.

Рекомендации по выбору размеров отверстий фильтров, а также скважности должны учитывать факторы, которые связаны с вязкостью пластовой жидкости, дебитом скважины, степенью цементированности призабойной зоны, кольматацией, а также гранулометрическим составом пластов и сводообразованием горной породы. Данные параметры и значения потерь в фильтрах определяются только по результатам экспериментальных исследований на натуральных и лабораторных моделях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хэнян Ван, Подгорнов В.М. Проектирование мест расположения термокомпенсаторов для предотвращения деформации

многослойных фильтров в горизонтальном стволе паронагнетательной скважины // Газовая Промышленность. – 2019. – № 4. – С. 38–44.

2. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г., Кухтинский А.Э. О связи коэффициентов трещиностойкости и геофизических характеристик горных пород месторождений углеводородов // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 83–90. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.83
3. Опыт борьбы с пескопроявлениями при эксплуатации скважин Анастасиевско-Троицкого месторождения Краснодарского края / В.А. Бондаренко, В.Н. Климовец, В.И. Щетников, А.О. Сухляев, С.В. Долгов, А.В. Шостак // Научно-технический журнал «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – 2013. – № 6. – С. 17–21.
4. Штурн Л.В., Кононенко А.А., Денисов С.О. Отечественные фильтры для заканчивания скважин // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2010. – № 6. – С. 57–61.
5. Хабибуллин М.Я. Увеличение эффективности разделения жидких систем при сборе пластовой жидкости // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 2. – С. 64–71. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-2-64-71
6. Рогов Е.А. Исследование проницаемости призабойной зоны скважин при воздействии технологическими жидкостями // Записки Горного института. – 2020. – Т. 242. – С. 169–173. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.169
7. Афанасьев А.В. Использование технологии крепления призабойной зоны скважины «Линк» для ограничения выноса песка // Производственно-технический нефтегазовый журнал «Инженерная практика». – 2010. – № 2. – С. 38–48.
8. Камалетдинов Р.С., Лазарев А.Б. Обзор существующих методов борьбы с мехпримесями // Производственно-технический нефтегазовый журнал «Инженерная практика». – 2010. – № 2. – С. 6–13.
9. Шакуров А.Р. Современные методы борьбы с пескопроявлением при заканчивании скважин. Скважинные фильтры PPS, PMS, PPK // Производственно-технический нефтегазовый журнал «Инженерная практика». – 2010. – № 2. – С. 115–119.
10. Lian Zhanghua, Luo Zeli, Yu Hao. Assessing the strength of casing pipes that contain corrosion pit defects // Journal of Southwest Petroleum University. – 2018. – V. 40. – № 2. – P. 86–94.
11. Хабибуллин М.Я. Совершенствование процесса солянокислотной обработки скважин применением новейших технологий и оборудования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 10. – С. 128–134. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2861
12. Ван Хэнян, Подгорнов В.М., Мо Цзяли. Экспериментальные исследования эффективности фильтрующих элементов забойных фильтров в потоке высоковязкой нефти // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. – № 01. – С. 43–47.
13. Двойников М.В., Ошибков А.В. Анализ проектных решений и технологических приемов проектирования и реализации профилей наклонно-направленных и горизонтальных скважин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2013. – № 4. – С. 40–43.
14. Кейн С. А., Швец С.В. Оценка сложности траектории горизонтальных скважин при спуске обсадных колонн // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 7. – С. 38–41.
15. Хабибуллин М.Я. Повышение долговечности и надежности работы центробежных сепараторов путем применения новых материалов // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 3. – С. 107–112. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-3-107-112
16. Разработка дизайна фильтра-хвостовика для крепления горизонтальных участков большой длины / С.А. Кейн, И.Н. Андронов, С.В. Швец, В.П. Пятибрат // Инженер-нефтяник. – 2016. – № 1. – С. 24–28.
17. Automated evaluation of hole cleaning efficiency while drilling improves rate of penetration / M. Al-Rubaii, R. Gajbhiye, A. Al-Yami, M. Alshalan, M. Al-Awami // International Petroleum Technology Conference: Materials of IPTC. – Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, 2020. DOI: 10.2523/IPTC-19809-MS
18. Швец С.В., Кейн С.А. Перспективы применения метода спуска обсадных колонн с облегченным нижним участком // Электронный научный журнал «Ресурсы Европейского Севера. Технологии и экономика освоения». – 2015. – № 2. – С. 81–90.
19. Хабибуллин М.Я. Метод термостойкого импульсирования для увеличения нефтеотдачи // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 4. – С. 58–64. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-4-58-64
20. Karim A., Du C., Hansson G. Influence of exposure to 980 nm laser radiation on the luminescence of Si: Er/O light-emitting diodes // Journal of applied physics. – 2008. – V. 12. – P. 123110. URL: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3050316> (дата обращения: 15.07.2022).
21. Case history of a challenging thin oil column Extended Reach Drilling (ERD) development at Sakhalin / V.P. Gupta, S.R. Sanford, R.S. Mathis, E.K. Dipippo, M.J. Egan // Paper SPE/IADC. – 2013. – V. 12. – P. 163487.
22. Helmy M.W. Application of new technology in the completion of ERD wells // Sakhalin-1 Development. Paper SPE. – 2006. – V. 8. – P. 103587.
23. Suleimanov R.I., Khabibullin M.Ya., Suleimanov Re.I. Analysis of the reliability of the power cable of an electric-centrifugal pump unit // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering 2019. – 2019. – P. 012054. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012054
24. Hossain M.E., Almejed A.A. Fundamental of sustainable drilling engineering. – Chichester: Scrivener Publishing LLC, 2015. – 786 p.
25. Швец С.В., Кейн С.А. Влияние параметров траектории горизонтальной скважины на спуск обсадной колонны // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2014. – № 7. – С. 19–23.
26. Successful optimization strategies combine to deliver significant performance boost at the edge of the ERD envelope / R.W. James, P.J. Pastusek, G.R. Kuhn, A.F. Andreev, J.R. Bailey, L.W. Wang // Sakhalin Island. Russia. Paper SPE. San Diego. – 2012. – V. 9. – P. 150959.
27. Khabibullin M.Ya. Managing the processes accompanying fluid motion inside oil field converging-diverging pipes // Journal of Physics: Conference Series. International Conference «Information Technologies in Business and Industry». – 2019. – P. 042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/4/042012
28. New rotary shouldered connection expands the capability of world record ERD operation / S.R. Sanford, M.W. Walker, J.N. Brock, M.J. Jellison, A.F. Muradov // Paper SPE/IADC. Fort Worth. – 2014. – V. 5. – P. 168049.
29. Schamp J.H., Estes B.L., Keller S.R. Torque reduction techniques in ERD wells // Paper SPE/IADC. Miami. – 2006. – V. 14. – P. 98969.
30. The next generation of Sakhalin Extended-Reach Drilling / R.I. Viktorin, J.K. McDermott, R.C. Rush, J.L. Schamp // Paper SPE/IADC. Miami. – 2006. – V. 3. – P. 99131.
31. Khabibullin M.Ya. Managing the reliability of the tubing string in impulse non-stationary flooding // Journal of Physics: Conference Series. International Conference «Information Technologies in Business and Industry». 4 – Mechatronics, Robotics and Electrical Drives. – 2019. – P. 052012. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/5/052012
32. Walker M.W. Pushing the Extended Reach Envelope at Sakhalin: an operator's experience drilling a record reach well // Paper SPE/IADC. San Diego. – 2012. – V. 9. – P. 151046.
33. Walker M.W., Veselka A., Harris S.A. Increasing Sakhalin Extended Reach Drilling and completion capability // Paper SPE/IADC. Amsterdam. – 2009. – V. 4. – P. 119373.
34. CFD simulation study of shelf and tube heat exchangers with different baffle segment configurations / A.S. Ambekar, R.H. Sivakumar, N.A. Anantharaman, M.D. Vivekenandan // Applied Thermal Engineering. – 2016. – V. 108. – P. 999–1007.
35. Третьяк А.А., Савенок О.В., Швец В.В. Скважинные фильтры. – Новочеркасск: Колорит, 2019. – 227 с.
36. Successful implementation of hydraulic fracturing techniques in high permeability heavy oil wells in the Llanos Basin-Colombia / J.I. Bahamon, C.E. Garcia, M.J. Ulloa, J.H. Leal // Ecopetrol SPE. Weatherford. – 2015. – V. 54. – P. 136425.
37. Galimullin M.L., Khabibullin M.Ya. Experience with sucker-rod plunger pumps and the latest technology for repair of such pumps // Chemical and Petroleum Engineering. – 2020. – V. 55. – № 11–12. – P. 896–901. DOI: 10.1007/s10556-020-00710-1
38. Обоснование источников водоснабжения олимпийских объектов «Сочи-2014» за счет подземных вод / Б.В. Боровский, Г.Е. Ершов, А.В. Кузнецов, Ю.Ю. Кувыкина // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 10. – С. 68–70.

39. Боровский Б.В., Язвин А.Л. Основные этапы развития учения об оценке эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод в СССР и современной России. Прошлое, настоящее, будущее // Недропользование XXI век. – 2012. – № 2. – С. 44–54.
40. Khabibullin M.Ya. Theoretical grounding and controlling optimal parameters for water flooding tests in field pipelines // Journal of Physics: Conference Series. International Conference «Information Technologies in Business and Industry». – 2019. – P. 042013. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/4/042013
41. Боровский Б.В., Язвин А.Л. Еще раз об упрощенных требованиях к оценке запасов подземных вод на участках недр, эксплуатируемых одиночными водозаборами: состояние проблемы и пути решения // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 5. – С. 32–39.
42. Алексеев В.С., Тесля В.Г. Критерии проектирования фильтров водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 11. – С. 32–38.
43. Ван Хэнян, Подгорнов В.М. Скин-фактор композитного забойного фильтра // Строительство скважин нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 3. – С. 26–31. DOI: 10.33285/0130-3872-2020-4(328)-26-31
44. Fluid flow with compaction and sand production in unconsolidated sandstone reservoir / Y.A. Xiong, H.J. Xu, Y.D. Wang, W.R. Zhou, C.E. Liu, L.J. Wang // Petroleum. – 2018. – V. 4. – Iss. 3. – P. 358–363.
45. Тестирование полимерно-гелевых систем «Темпоскрин-плюс ВПП» и «Темпоскрин-люкс» в условиях применения высокоминерализованных агентов закачки при высоких температурах пласта / Д.А. Каушанский, В.Б. Демьяновский, Н.Р. Бакиров, В.Б. Еременк // Нефтепромысловое дело. – 2020. – Т. 2 (614). – С. 32–37. DOI: 10.30713/0207-2351-2020-2(614)-32-37

Поступила 01.08.2022 г.  
Прошла рецензирование 14.09.2022 г.

#### Информация об авторах

**Хабибуллин М.Я.**, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтепромысловых машин и оборудования, Институт нефти и газа Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиал в г. Октябрьский).

**Хабибуллин А.М.**, студент, Институт нефти и газа Уфимского государственного нефтяного технического университета (филиал в г. Октябрьский).

UDC 622.322

## CORRESPONDENCE OF WELL CONDITIONS TO OPTIMAL CHOICE OF SAND FILTERS

Marat Ya. Khabibullin<sup>1</sup>,  
m-hab@mail.ru

Arsen M. Khabibullin<sup>1</sup>,  
zx90oqp@gmail.com

<sup>1</sup> Ufa State Petroleum Technological University (branch in Oktyabrsky),  
54a, Devonskaya street, Oktyabrsky, 452607, Russia.

**The relevance** of the study is caused by the need to ensure the flow of more purified reservoir fluid into the bottomhole zone of the well. When opening a formation with production wells, the design of which includes anti-sand filters, there are some imperfections characterized by the degree and nature of its opening, due to the designs of casing filters. If in the remote zone the design of the bottomhole zone has little effect on the reservoir fluid flow parameters (and it can be neglected), then hydraulic losses appear in the bottomhole zone and near the filter itself, which must be taken into account.

**Purpose:** based on the results of experimental studies, propose the optimal design of the anti-sand filter. To select, it is necessary to take into account the hydraulic parameters of its operation, which can be determined taking into account the degree of filter resistance, and when setting filters in weakly cemented and loose rocks, take into account the sand-holding capacity of the filter membrane.

**Objects.** Currently, various designs of sand filters are used. For example, those with round holes, slotted ones, located in horizontal or vertical planes, which length varies and can reach the dimensions of the reservoir thickness, as well as filters of a block design and filters of a design with a filtering surface made of meshes, as well as the shape and relative position of the elements of the filter shell, affecting the creation of stable bridges from large fractions of sand or gravel packing.

**Methods.** Determining the generalized resistance for filters with a filtering surface of grids and block type is associated with great mathematical difficulties. This is due to the fact that a large number of parameters appear that affect the filtration capacity of the shell. When the mesh filters, depending on the type of weaving, this is the difference in the thickness of the weft and warp wires, the difference in sizes in the vertical and horizontal planes, the influence of the design of the frame, which is considered one with the mesh. With block structures – the size and uniformity of the composition of the particles, the thickness of the filter membrane, the geometry of the filtration channels, etc. Therefore, for such filters, it is more convenient to evaluate their permeability according to the Darcy formula.

**Results.** The most promising designs of filters are frames with horizontal slots, which have a much lower resistance and are less affected by hole interference. It should also be noted that due to the peculiarities of the design of frame-rod filters, the duty cycle greater than in other designs, with the same minimum value of the hole size, is easily realized.

**Key words:**

Filters, anti-sand, shell, frame, hydraulic parameters, mesh, flow.

**REFERENCES**

- Henyang Wang, Podgornov V.M. Designing locations for thermal compensators to prevent deformation of multilayer filters in a horizontal wellbore of a steam injection well. *Gas industry*, 2019, no. 4, pp. 38–44.
- Kashnikov Yu.A., Ashikhmin S.G., Kukhtinsky A.E. On the relationship between crack resistance coefficients and geophysical characteristics of rocks of hydrocarbon deposits. *Zapiski Gornogo instituta*, 2020, vol. 241, pp. 83–90. In Rus. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.83.
- Bondarenko V.A., Klimovets V.N., Shchetnikov V.I., Sukhlyayev A.O., Dolgov S.V., Shostak A.V. Experience in combating sand manifestations during the operation of wells of the Anastasievsko-Troitskoe field of the Krasnodar Territory. *Scientific and technical journal «Construction of oil and gas wells on land and at sea»*, 2013, no. 6, pp. 17–21. In Rus.
- Shturn L.V., Kononenko A.A., Denisov S.O. Domestic filters for well completion. *Journal «Territory NEFTEGAS»*, 2010, no. 6, pp. 57–61. In Rus.
- Khabibullin M.Ya. Increasing the efficiency of separation of liquid systems during the collection of reservoir fluid. *Oil and gas business*, 2020, vol. 18, no. 2, pp. 64–71. In Rus. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-2-64-71.
- Rogov E.A. Investigation of the permeability of the bottomhole zone of wells under the influence of process fluids. *Zapiski Gornogo instituta*, 2020, vol. 242, pp. 169–173. In Rus. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.169.
- Afanasyev A.V. Using the technology of casing the bottomhole zone of the well «Link» to limit sand production. *Production and technical oil and gas journal «Engineering Practice»*, 2010, no. 2, pp. 38–48. In Rus.
- Kamaletdinov R.S., Lazarev A.B. Review of existing methods of dealing with mechanical impurities. *Production and technical oil and gas journal «Engineering Practice»*, 2010, no. 2, pp. 6–13. In Rus.
- Shakurov A.R. Modern methods of sand control during well completion. Downhole filters PPS, PMC, PPK. *Production and technical oil and gas journal «Engineering Practice»*, 2010, no. 2, pp. 115–119. In Rus.
- Lian Zhanghua, Luo Zeli, Yu Hao. Assessing the strength of casing pipes that contain corrosion pit defects. *Journal of Southwest Petroleum University*, 2018, vol. 40, no. 2, pp. 86–94.
- Khabibullin M.Ya. Improving the process of hydrochloric acid treatment of wells using the latest technologies and equipment. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 10, pp. 128–134. In Rus. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2861.
- Wang Henyang, Podgornov V.M., Mo Jiyali. Experimental studies of the efficiency of downhole filter elements in a high-viscosity oil flow. *Construction of oil and gas wells on land and at sea*, 2022, no. 01, pp. 43–47. In Rus.
- Dvoynikov M.V., Oshibkov A.V. Analysis of design solutions and technological methods for designing and implementing profiles of directional and horizontal wells. *Izvestia of higher educational institutions. Oil and gas*, 2013, no. 4, pp. 40–43. In Rus.
- Kane S.A., Shvets S.V. Evaluation of the complexity of the trajectory of horizontal wells when lowering casing strings. *Construction of oil and gas wells on land and at sea*, 2015, no. 7, pp. 38–41. In Rus.
- Khabibullin M.Ya. Improving the durability and reliability of centrifugal separators by using new materials. *Oil and Gas Business*, 2020, vol. 18, no. 3, pp. 107–112. In Rus. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-3-107-112.

16. Kane S.A., Andronov I.N., Shvets S.V., Pyatibrat V.P. Design development of a liner filter for fastening long horizontal sections. *Petroleum Engineer*, 2016, no. 1, pp. 24–28. In Rus.
17. Al-Rubaii M., Gajbhiye R., Al-Yami A., Alshalan M., Al-Awami M. Automated evaluation of hole cleaning efficiency while drilling improves rate of penetration. *International Petroleum Technology Conference. Materials of IPTC*. Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, 2020. DOI: 10.2523/IPTC-19809-MS
18. Shvets S.V., Kane S.A. Prospects for using the method of running casing strings with a lightweight lower section. *Electronic scientific journal «Resources of the European North. Technologies and economics of development»*, 2015, no. 2, pp. 81–90. In Rus.
19. Khabibullin M.Ya. The method of thermal acid pulse for increasing oil recovery. *Oil and gas business*, 2020, vol. 18, no. 4, pp. 58–64. In Rus. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-4-58-64.
20. Karim A., Du C., Hansson G. Influence of exposure to 980 nm laser radiation on the luminescence of Si: Er/O light-emitting diodes. *Journal of applied physics*, 2008, vol. 12, pp. 123110. Available at: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3050316> (accessed 15 July 2022).
21. Gupta V.P., Sanford S.R., Mathis R.S., Dipippo E.K., Egan M.J. Case history of a challenging thin oil column Extended Reach Drilling (ERD) development at Sakhalin. *Paper SPE/IADC*, 2013, vol. 12, pp. 163487.
22. Helmy M.W. Application of new technology in the completion of ERD wells. *Sakhalin-1 Development. Paper S.P.E.*, 2006, vol. 8, pp. 103587.
23. Suleimanov R.I., Khabibullin M.Ya., Suleimanov Re.I. Analysis of the reliability of the power cable of an electric-centrifugal pump unit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering* 2019, 2019, pp. 012054. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012054
24. Hossain M.E., AlMejed A.A. *Fundamental of sustainable drilling engineering*. Chichester, Scrivener Publishing LLC, 2015. 786 p.
25. Shvets S.V., Kane S.A. Influence of horizontal well trajectory parameters on casing string running. *Construction of oil and gas wells on land and at sea*, 2014, no. 7, P. 19-23. In Rus.
26. James R.W., Pastusek P.J., Kuhn G.R., Andreev A.F., Bailey J.R., Wang L.W. Successful Optimization strategies combine to deliver significant performance boost at the edge of the ERD envelope. *Sakhalin Island. Russia. Paper S.P.E. San Diego*, 2012, vol. 9, pp. 150959.
27. Khabibullin M.Ya. Managing the processes accompanying fluid motion inside oil field converging-diverging pipes. *Journal of Physics: Conference Series. International Conference «Information Technologies in Business and Industry»*, 2019, pp. 042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/4/042012
28. Sanford S.R., Walker M.W., Brock J.N., Jellison M.J., Muradov A.F. New rotary shouldered connection expands the capability of world record ERD operation. *Paper SPE/IADC. Fort Worth*, 2014, vol. 5, pp. 168049.
29. Schamp J.H., Estes B.L., Keller S.R. Torque reduction techniques in ERD wells. *Paper SPE/IADC. Miami*, 2006, vol. 14, pp. 98969.
30. Viktorin R.I., McDermott J.K., Rush R.C., Schamp J.L. The next generation of Sakhalin Extended-Reach Drilling. *Paper SPE/IADC. Miami*, 2006, vol. 3, pp. 99131.
31. Khabibullin M.Ya. Managing the reliability of the tubing string in impulse non-stationary flooding. *Journal of Physics: Conference Series. International Conference «Information Technologies in Business and Industry». 4 – Mechatronics, Robotics and Electrical Drives*, 2019, pp. 052012. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/5/052012.
32. Walker M.W. Pushing the Extended Reach Envelope at Sakhalin: an operator's experience drilling a record reach well. *Paper SPE/IADC. San Diego*, 2012, vol. 9, pp. 151046.
33. Walker M.W., Veselka A., Harris S.A. Increasing Sakhalin Extended Reach Drilling and completion capability. *Paper SPE/IADC. Amsterdam*, 2009, vol. 4, pp. 119373.
34. Ambekar A.S., Sivakumar R.H., Anantharaman N.A., Vivekenandan M.D. CFD simulation study of shell and tube heat exchangers with different baffle segment configurations. *Applied Thermal Engineering*, 2016, vol. 108, pp. 999–1007.
35. Tretyak A.A., Savenok O.V., Shvets V.V. *Skvazhinnye filtry [Downhole filters]*. Novocheboksak, Kolorit Publ., 2019. 227 p.
36. Bahamon J.I., Garcia C.E., Ulloa M.J., Leal J.H. Successful implementation of hydraulic fracturing techniques in high permeability heavy oil wells in the Llanos Basin-Colombia. *Ecopetrol SPE. Weatherford*, 2015, vol. 54, pp. 136425.
37. Galimullin M.L., Khabibullin M.Ya. Experience with sucker-rod plunger pumps and the latest technology for repair of such pumps. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2020, vol. 55, no. 11–12, pp. 896–901. DOI: 10.1007/s10556-020-00710-1
38. Borevsky B.V., Ershov G.E., Kuznetsov A.V., Kuvykina Yu.Yu. Substantiation of sources of water supply for the Sochi-2014 Olympic venues at the expense of groundwater. *Exploration and protection of mineral resources*, 2010, no. 10, pp. 68–70. In Rus.
39. Borevsky B.V., Yazvin A.L. The main stages in the development of the doctrine on the assessment of operational reserves of drinking and technical groundwater in the USSR and modern Russia. Past, present, future. *Subsoil use XXI century*, 2012, no. 2, pp. 44–54. In Rus.
40. Khabibullin M. Ya. Theoretical grounding and controlling optimal parameters for water flooding tests in field pipelines. *Journal of Physics: Conference Series. International Conference «Information Technologies in Business and Industry»*, 2019, pp. 042013. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/4/042013
41. Borevsky B.V., Yazvin A.L. Once again on the simplified requirements for the assessment of groundwater reserves in subsoil plots operated by single water intakes: the state of the problem and solutions. *Exploration and protection of mineral resources*, 2014, no. 5, pp. 32–39. In Rus.
42. Alekseev V.S., Teslya V.G. Criteria for designing filters for water wells. *Water supply and sanitary engineering*, 2009, no. 11, pp. 32–38. In Rus.
43. Wang Hanyang, Podgornov V.M. Skin factor of a composite downhole filter. *Construction of wells for oil and gas wells on land and at sea*, 2020, no. 3, pp. 26–31. In Rus. DOI: 10.33285/0130-3872-2020-4(328)-26-31.
44. Xiong Y.A., Xu H.J., Wang Y.D., Zhou W.R., Liu C.E., Wang L.J. Fluid flow with compaction and sand production in unconsolidated sandstone reservoir. *Petroleum*, 2018, vol. 4, Iss. 3, pp. 358–363.
45. Kaushansky D.A., Demyanovsky V.B., Bakirov N.R., Eremenk V.B. Testing of polymer-gel systems «Temposcreen-plus VPP» and «Temposcreen-lux» in the conditions of using highly mineralized injection agents at high reservoir temperatures. *Oilfield business*, 2020, vol. 2 (614), pp. 32–37. In Rus. DOI: 10.30713/0207-2351-2020-2(614)-32-37.

Received: 1 August 2022.

Reviewed: 14 September 2022.

#### Information about the authors

**Marat Ya. Khabibullin**, Cand. Sc., associate professor, Institute of Oil and Gas of the Ufa State Petroleum Technological University (branch in Oktyabrsky).

**Arsen M. Khabibullin**, student, Ufa State Petroleum Technological University (branch in Oktyabrsky).