



УДК 622.245.59

## ВЫБОР ЗАБОЙНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ СРЕДСТВ, ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ВЫНОС ПЕСКА ИЗ КОЛЛЕКТОРА ПРИ ОСВОЕНИИ СКВАЖИНЫ



## THE SELECTION OF DOWNHOLE FILTER TO LIMIT SAND PRODUCTION FROM THE RESERVOIR DURING WELL DEVELOPMENT

**Ван Хэнян**

аспирант,  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
wanghengyang716@mail.com

**Подгорнов В.М.**

доктор технических наук, профессор,  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
vpodgornov@bk.ru

**Аннотация.** Для ограничения поступления песка, используются забойные фильтрующие средства: скважинные фильтры различных конструкций; намывные гравийные фильтры и намывные гравийные системы в заколонном пространстве. Изложены условия выбора средств борьбы с песком при фильтрации пластовых флюидов в скважине с учётом их функциональности, технологичности и экономической эффективности. Сопоставлены характеристики различных фильтрующих сред.

**Ключевые слова:** пескопроявление, забойные фильтры, пропускная способность фильтра, гидродинамические потери, конструктивные особенности фильтров.

**Wang Hengyang**

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)  
wanghengyang716@mail.com

**Podgornov V.M.**

Doctor of Technical Sciences,  
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)  
vpodgornov@bk.ru

**Annotation.** To limit the flow of sand, downhole filter media are used: well filters of various designs; alluvial gravel filters and alluvial gravel systems in annular space. The conditions for choosing sand control agents when filtering formation fluids in a well are described, taking into account their functionality, manufacturability and economic efficiency. The characteristics of various filter media are compared.

**Keywords:** sand development, downhole filters, filter throughput, hydrodynamic losses, filter design features.

Ограничение поступления «песка» из пласта в скважину применяются в случае, когда ожидается содержание механических примесей в потоке более 1 г/л. Причины, заставляющие бороться с выносом песка из пласта при освоении и последующей эксплуатации скважины связаны с засорением ствола и добываемой продукции твёрдой фазой и потерей устойчивости призабойной зоны пласта.

Одно из мероприятий для снижения песка в продукции скважины, не требующее использования забойных средств, является снижение подвижности песка в околоскважинном пространстве. Такое ограничение темпов отбора рационально в случаях слабого выноса песка при невысоких дебитах, т.к. для высокодебитных скважин его использование существенно снижает рентабельность добычи. Более востребованы многообразные забойные средства, ограничивающие поступление песка в скважину, которые, чаще всего, устанавливаются на этапе заканчивания скважины (табл. 1).

**Таблица 1** – Мероприятия, используемые для ограничения поступления песка в скважину

Тип и методы воздействия		Способы реализации	Зона действия	Предназначение
Технологические	Формирование проницаемой среды в заколонном пространстве	Намыв гравийного фильтра с определённым распределением частиц гравия по размерам	Заколонное пространство ствола и перфорационные каналы (фрак-пак)	Вынос неоднородного по фракционному составу песка продуктивного пласта
Механические	Использование скважинных фильтров различных конструкций	Подбор забойных фильтров с параметрами соответствующим выносимому из пласта песку	Кольцевые зазоры между стенками скважины и каркасом фильтра	Вынос песка однородного по фракционному составу
Химико-термические	Консолидация рыхлых коллекторов	Крепление смолами или твердеющими композициями в ПЗП	Приствольная зона коллектора	Интенсивный вынос песка с образованием каверн

Наличие песка в продукции скважины зависит прежде всего от состава и структуры породы, поэтому одним из вариантов ограничения поступления песка в скважину является консолидация рыхлых



пород продуктивного пласта (*химические, термические, термохимические и другие способы укрепления призабойной зоны пласта*), но эта технология, в большинстве своём, существенно увеличивает гидродинамические потери при движении потока в призабойной зоне пласта.

Для ограничения поступления песка, чаще всего, используются забойные фильтрующие средства (скважинные фильтры различных конструкций, намывные гравийные фильтры, проницаемые наполнители в заколонном пространстве). Ключевым критерием выбора фильтрующего средства является его пропускная способность при оптимальной производительности скважины [1].

При выборе средств борьбы с песком при фильтрации пластовых флюидов в скважине должны учитываться: функциональность (*степень задержания песка*); технологичность (*оптимизация затрат труда, средств, материалов и времени при размещении и эксплуатации забойного оборудования*) и экономическая эффективность (*рентабельность*) [2].

*Функциональность фильтра* характеризуется оптимальной пропускной способностью, обеспечивающую высокий уровень производительности скважины за счёт минимизации гидравлических сопротивлений потоку флюидов, при этом, предохраняющую скважину от проникновения определённой по размеру твердой фазы и исключаящую суффозию (самозакупорку) призабойной зоны выносимыми из коллектора твёрдыми частицами [3].

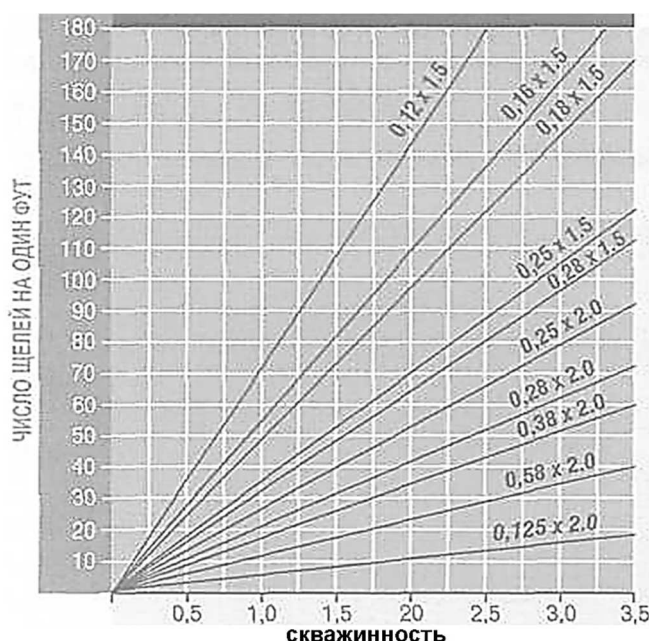
При выборе фильтрующей системы определяют её пропускную способность, зависящей от конструктивных признаков и от параметров, выносимой из пласта твёрдой фазы (фракционный состав, средний размер частиц и доля частиц меньше 44 мкм).

Пропускная способность фильтра-хвостовика зависит от параметра скважинность  $W$  (*отношение суммарной поверхности отверстий к общей поверхности фильтра*):

$$W = \frac{nF_0}{DL}$$

где  $n$  – число отверстий по всей длине фильтра;  $F_0$  – площадь одного отверстия, м<sup>2</sup>;  $D$  – наружный диаметр фильтра, м;  $l$  – длина рабочей части фильтра, м.

Высокие значения  $W$  существенно снижают прочность, а низкие увеличивают гидродинамические сопротивления потоку флюидов (рис. 1).



**Рисунок 1** – Пример зависимости показателя скважинность от размера и количества щелей для фильтра диаметром 139 мм (5,5 дюймов) в пересчёте на 0,305 м (фут) длины

В промышленной практике широкое применение получили моно и многослойные фильтры (щелевые, сетчатые, проволочные, композиционные) а также объёмные (гравийные, фильтрующие модули проволочного или метало-спечённого типа).

В зависимости от конкретных геолого-технических условий выбираются тип конструктивных элементов фильтрующих систем (*размеры отверстий, щелей или пор по отношению к размеру выносимого пластового песка*).

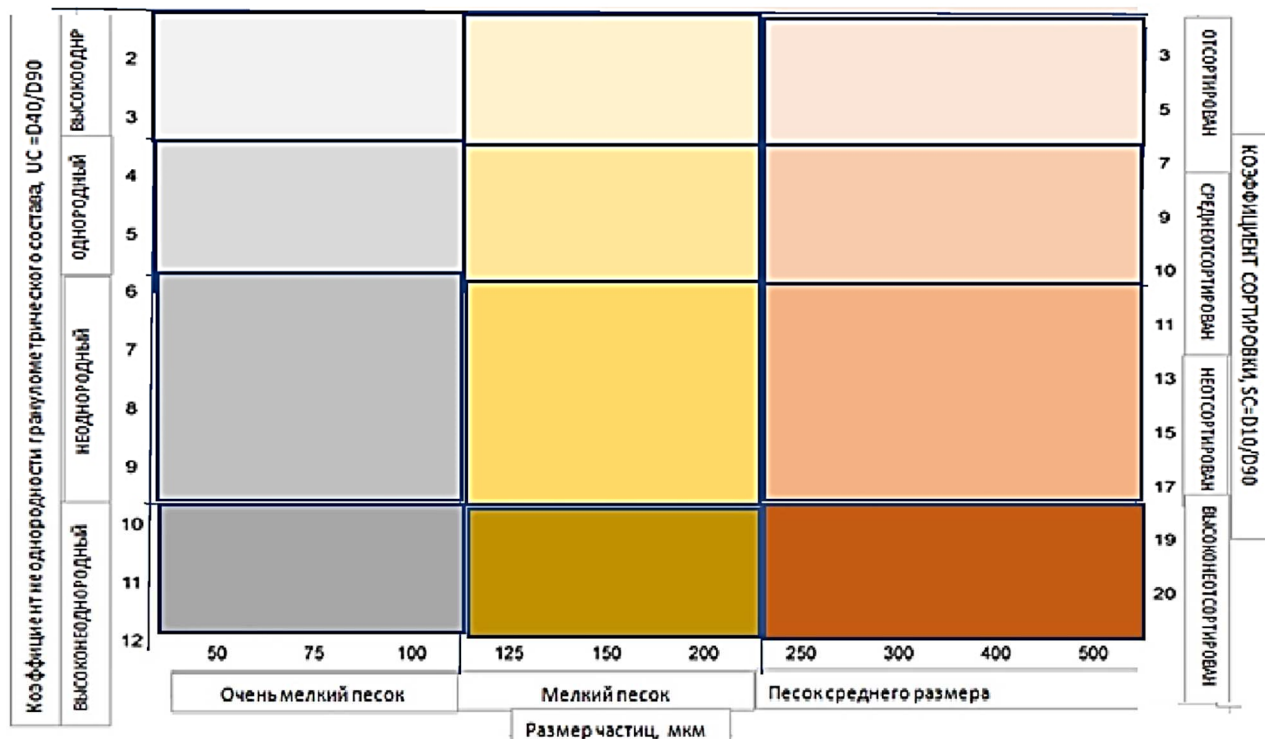


Пропускная способность фильтра зависит от коэффициента и степени неоднородности, а также среднего размера частиц и доли мелкодисперсных частиц (менее 44 мкм), определяемых по фракционному составу выносимой из пласта твёрдой фазы (рис. 2).

По теории Абрамса фильтрация суспензии происходит с задержанием твёрдой фазы в случае формирования на внешнем контуре фильтра слоя из частиц выносимой фазы с диаметром равным 1/3 диаметра отверстий и больше, при этом частицы меньшего размера могут преодолевать фильтр.

Реальное распределение размеров твёрдой фазы в фильтруемом потоке учитывают теория идеальной упаковки Кауффера или методика Викакса [4].

На основе обобщения промыслового опыта функционирования фильтрующих систем в различных условиях разработаны методики, которые позволяют сделать выбор фильтрующей среды в зависимости от фракционного состава коллектора.



**Рисунок 2** – Классификационная шкала песка по гранулометрическому составу (Weatherford); однородность служит показателем вариации размера зерен песка; отсортированность характеризует изменения размера зерен породы от крупно- до мелкозернистого

Одной из распространенных методик выбора противопесочных систем заканчивания является матрица Д. Тиффина [5]. Табл. 2.

**Таблица 2** – Матрица Д. Тиффина для выбора противопесочной системы заканчивания

Коэффициент отсортированности $D_{10}/D_{95}$	Коэффициент однородности $D_{40}/D_{90}$	Содержание мелких фракций (<44 мкм), %	Рекомендуемый тип противопесочной системы	Условия эффективного использования
<10	>3	<2	Любой тип фильтра	Хорошо отсортированный песчаник
<10	<5	<5	Проволочный, сетчатый и объёмные вставные фильтры	Умеренно отсортированный песчаник, высокое содержание мелкодисперсных частиц
<20	<5	<5	Гравийный или расширяемый фильтры	Отсутствие слоистости и прослоев
<20	<5	<10	Намывной гравийный, или расширяемый фильтр	Плохо отсортированный песчаник
>20	>5	>10	Намывной гравийный, расширяемый или объёмные вставные фильтры	Очень плохо отсортированный песчаник. Рекомендуется увеличение площади контакта скважины с пластом



Согласно предложенной методики выбор скважинных и гравийного фильтров зависит от содержания в пласте мелкодисперсных частиц размером  $<44$  мкм, коэффициента неоднородности – отношение размера отверстий сита, через которое прошло 40 % массы образца, к размеру отверстий сита, через которое прошло 90 % всей массы образца ( $D_{40}/D_{90}$  –) и коэффициента отсортированности ( $D_{10}/D_{95}$ ) зерен коллектора. Размер ячейки фильтра выбирается в зависимости от степени однородности и отсортированности от размера частиц  $D_{50}$  и до размера частиц  $D_{10}$ . В случаях использования гравийных фильтров размер зерен гравия выбирается равным шести  $D_{50}$  [6].

Например, для коллектора, имеющего по результатам серии гранулометрических анализов: коэффициент отсортированности в диапазоне от 25 до 274 единиц (в среднем 86), коэффициент однородности в диапазоне от 2 до 51 единиц (в среднем 20) и долей мелкодисперсных ( $<44$  мкм) частиц в диапазоне от 7 до 89 % (в среднем 46 %) по матрице Д.Тиффина предлагается 2 варианта противопесочной системы заканчивания – 1. Вариант – гравийный намывной фильтр с средним размером зерен гравия согласно рекомендациям в 6 раз превышающий размер частиц  $d = D_{50}$ ; 2. Вариант – расширяемый или объёмные фильтры (вставной гравийный фильтр, фильтрующие модули проволочного или металлоспечённого типа).

Объёмные фильтрующие элементы способны удержать внутри себя часть выносимых частиц, сохраняя призабойную зону пласта от самозакорки и, в тоже время, снижают объём твёрдой фазы в потоке пластового флюида, поступающего на поверхность [3].

На основании лабораторных испытаний установлено, что щелевые фильтры с шириной щели более 0,5 мм независимо от их конструкции не обеспечивают активного пескозадержания, а фильтры с размером ячейки менее 175 мкм быстро теряют проницаемость.

Установлено, что пропускная способность фильтров с каркасно-проволочным исполнением выше, чем у щелевого монослойного. Для более тонкой очистки применяют объёмные фильтры (набивные гравийные или намывные гравийные фильтры).

Следует учитывать вероятность того, что фактические условия реальной скважины могут не совпадать с принятыми для расчёта, тогда необходимо скорректировать рекомендуемые параметры для достижения эффективного задержания песка.

*Технологичность фильтрующей системы* учитывает особенности конструкции призабойной зоны скважины, тип добываемого флюида, интенсивность притока, величину и характер падения давления в призабойной зоне пласта, т.к. каждый тип фильтрующих средств имеет свои гидродинамические характеристики.

На размещение фильтра оказывают влияние: угол набора кривизны, степень искривления ствола скважины, протяженность и размеры ствола скважины, глубина и мощность коллектора, технология вскрытия продуктивного пласта бурением.

Для обеспечения безопасного и надежного функционирования фильтра оцениваются скручивающие и осевые нагрузки, а также нагрузки на фильтр, которые возникнут при деформации продуктивного пласта в процессе его работы. Геомеханическое моделирование даёт возможность спрогнозировать условия, которые могут вызвать разрушение и смятие фильтра, и возможность применить мероприятия для противостояния разрушающим нагрузкам.

В ряде случаев приходится учитывать возможность деформации и заиливания фильтрующего экрана при спуске, подготовке к работе и вызове притока. В этой связи, планируются мероприятия, исключающие засорение фильтров во время спуска в скважину или возможность их очистки от мехпримесей перед началом эксплуатации.

Производители фильтров обычно прогнозируют время работы фильтра на отказ с учётом типа и интенсивности потока продукции, содержания твердой фазы и её распределения по размерам. Продолжительность работы фильтра связана не только с заиливанием фильтрующего экрана, но и с эрозийным износом, скорость которого зависит от типа скважинного флюида, скорости потока через фильтр, размера, концентрации и абразивности частиц песка. Скорость эрозии выше в системах с открытым забоем в связи с наличием кольцевого потока вдоль поверхности фильтра и образованием коррозионно-агрессивных участков, в которых повышается интенсивность потока и возникают очаги эрозии и коррозии.

Эрозия считается основной причиной выхода из строя фильтров в высокодебитных и нагнетательных скважинах. Для расширяющихся фильтров эрозия является менее заметной проблемой за счёт отсутствия кольцевого потока.

Выбор материала фильтра основан на коррозионном потенциале эксплуатационного оборудования скважины за расчетный срок службы.

Подбор забойных фильтрующих средств необходимо осуществлять на основании экспериментальных исследований времени засорения фильтров песком того месторождения для условий которого они подбираются. Однако многие компании, специализирующиеся на выпуске фильтров, не имеют оборудования, позволяющее проводить подобные эксперименты.



Конструктивные признаки играют определяющее влияние на гидродинамический режим фильтрации, в этой связи предпочтительно обоснование выбора типа и размера фильтра проводить по пропускной способности с учётом конструкции фильтра и гидродинамического режима фильтрации.

Расчёт пропускной способности фильтра в зависимости от перепада давления в общем случае является сложной задачей, требующей информации о геометрических характеристиках фильтра, физико-химических свойств пластовой жидкости и гранулометрического состава твердой породы [5].

Проницаемость щелевого фильтра  $k_1$  рассчитывается по формуле:

$$k_1 = W \frac{\rho g r}{\mu' s},$$

где  $\mu'$  – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с;  $r = b_1 h_1 / (b_1 + h_1)$  – гидравлический радиус, м;  $b_1$  и  $h_1$  – ширина и высота горизонтальной щели, м;  $\rho$  – плотность жидкости кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м<sup>2</sup>/с;  $s = 7,2(b_1/h_1 + 0,1)^{-0,22}$  – показатель сопротивления трубы для щелевого фильтра.

Простейшая зависимость скорости истечения из отверстий фильтра от перепада давления может быть основана на использовании формулы истечения из затопленного отверстия:

$$u = \mu W \sqrt{\Delta P / \rho g}, \tag{1}$$

где  $u$  – скорость истечения из отверстия, м/с;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с,  $W$  – скважность фильтра,  $\Delta P$  – перепад давления в фильтре, Па;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Как следует из формулы (1), скорость и соответственно дебит пропорционален квадратному корню из  $\Delta P$  с коэффициентом  $\chi = \mu W$ , который называется гидравлическим параметром фильтра.

Как показывают многочисленные эксперименты, гидравлический параметр  $\chi$  изменяется в широких пределах от 0.2 до 0.9, что объясняется разнообразием конструктивных признаков фильтров.

Высокий перепад давления на фильтре является признаком высокого сопротивления потоку жидкости или газа, что приводит к турбулентному режиму течения. Линейный участок кривых характеризуют ламинарный поток, точки перехода указывают на переходной режим, за которым параболические участки кривых характеризуют турбулентный поток (рис. 3).

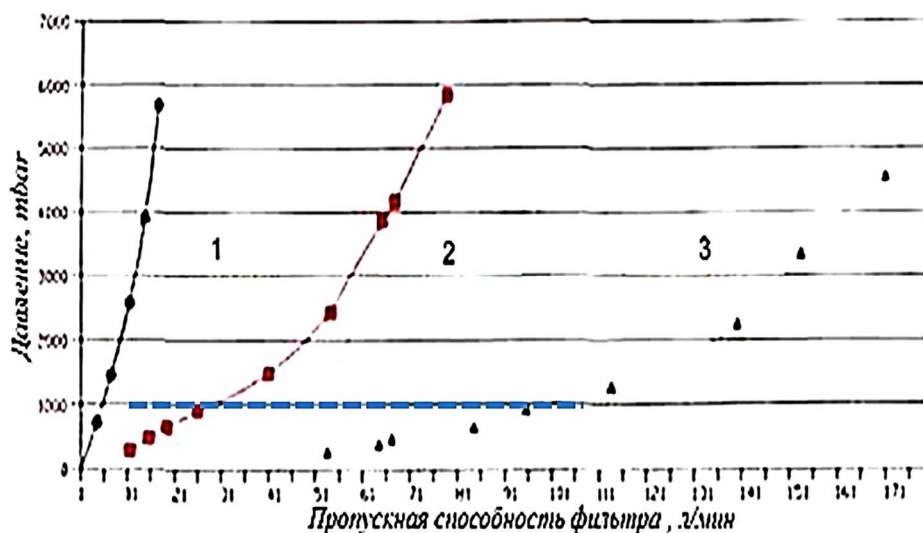


Рисунок 3 – Пример сравнения гидродинамической характеристики фильтров [6]

Из трёх вариантов исследованных фильтрующих систем, приведённых в качестве примера на рисунке 2, гидродинамический режим третьего варианта наиболее благоприятен, т.к. обеспечивает самую высокую производительность при меньших перепадах давления. Если сравнивать потоки на уровне перепада давления величиной 1 бар (пропускную способность) трёх фильтров, то наблюдается отношение 1:31:101, т.е. фильтр № 3 работает более чем в 3 раза эффективнее фильтра № 2 и на два порядка выше, чем фильтр № 1.

Переход в турбулентность при относительно небольшой величине депрессии характерен для традиционных фильтров, имеющих несколько контуров фильтрации (внешний кожух, внутренний проволочный или сетчатый и корпус в виде трубы со щелевыми отверстиями) в качестве основы. Т.е., уже при относительно небольшой величине депрессии поток пластового флюида переходит в турбулентность, что угрожает нормальной эксплуатации фильтра (*растёт интенсивность выноса песка, эрозии*



фильтрующей основы, разрушается ПЗП, фильтр и эксплуатационная колонна, а также забиваются песком межконтурные зазоры фильтра и другие явления). Таким образом, при выборе фильтра важно не только определить размеры задерживаемой фракции песка, но и гидродинамическое сопротивление фильтруемому потоку, которое создает фильтр [8].

Оптимальный профиль притока достигается подбором размеров щелей (открытой поверхности) и плотности отверстий по длине. Размер щели подбирается на основе анализа гранулометрического состава выносимых твердых частиц таким образом, чтобы самые мелкие частицы проходили, не задерживаясь, но не ухудшали работу скважинного оборудования, а оставшаяся часть обеспечивала создание на наружной поверхности проницаемого слоя, который фильтрует с минимальными гидравлическими сопротивлениями пластовой флюид или агент, задерживая твердую фазу более крупного размера. Такая конструкция скважинного щелевого фильтра дает возможность: легко вывести скважину на режим; вымыть мелкие фракции цемента и мельчайшие частицы разрушенной породы после бурения ствола скважины (что для сетчатых фильтров затруднительно, т.к. в сетке задерживается в проводочных лабиринтах вся мельчайшая фракция, а промывка не эффективна). Максимальный допустимый перепад давления на загрязненном фильтре без выхода фильтроэлемента из строя до 10,0 МПа [9].

Имея открытую и полированную наружную фильтрующую поверхность, скважинные щелевые фильтры легко восстанавливают свою работоспособность после проведения регенерационных мероприятий (промывка, кислотная обработка и т.п.), а также не создают потоку существенных гидродинамических сопротивлений.

Гравийные намываемые фильтры рассчитаны на длительную работу, что повышает требования к выбору гранулометрического состава гравия и технологии намыва гравия за щелевым фильтром. При этом приходится учитывать прочностные характеристики породы на забое, гидромеханические нагрузки, интенсивность вымывания твердой фазы породы и закупорку её фильтра.

Если фракционный состав гравия и размер щелей в корпусе фильтра выбраны правильно, гравий тщательно отмыт от примесей и отсортирован, то разрушение коллектора при эксплуатации скважины будут практически исключены. Необходимый размер зерен гравия для создания фильтра определяют в зависимости от степени неоднородности и базового диаметра зерен песка, а также от скорости течения жидкости через щели корпуса фильтра при наибольшем ожидаемом дебите скважины. В случае однородных песков и скорости течения жидкости менее 0,015 м/с за базовый размер принимают диаметр отверстий сита через которое проходит 90 % их массы. В случае неоднородных песков или при скорости течения от 0,015 до 0,03 м/с принимают базовый диаметр отверстий сита через которое проходит 60 % их массы. В случае же крайне неоднородных песков или скорости течения жидкости 0,03 м/с и более принимают базовый диаметр отверстий сита, через которое проходит 30 % их массы [3].

Одним из факторов, определяющих эффективность гравийной намывки, является её толщина (обычно зазор между стенкой ствола и наружной поверхности фильтра оставляет не более 20–30 мм) [9].

Поэтому, для повышения эффективности работы намывного фильтра перед намывом фильтра ствол скважины расширяют до 100 мм и более механическими раздвижными или гидромониторными расширителями.

Чем больше толщина гравийной обсыпки, тем надежнее и долговечнее будет работать этот фильтр. Для расширения ствола используются различные методы, так кольцевой гидромонитор, который для качественной очистки каверны больших размеров (диаметром более 300 мм) создает подвижный сплошной гидравлический экран, транспортирующий над собой взвешенные обломки породы [10]. После очистки каверны гравийный массив намывается методом обратной циркуляции.

Если используется технология «фрак-пак», то после изоляции зоны обработки перфорационных отверстий, создаётся давление выше давления ГРП, в результате образуется сеть трещин гидроразрыва, которые через проточные перфорационные каналы заполняются гравием (проппаном) [1].

В результате повышается коэффициент гидродинамического совершенства скважины, снижается вероятность выноса мелкой фракции (из-за снижения радиальной скорости в каналах и трещинах), и повышается увеличивается предел рентабельность добычи. Надо учитывать, что эта технология сложная, дорогостоящая и времязатратная (особенно при необходимости проведения серии обработок. В высокопроницаемых коллекторах «фрак-пак» мало эффективен.

Расширяющиеся фильтры обеспечивают высокую производительность и эффективны при эксплуатации горизонтальных стволов, т.к. совместимы со многими техническими средствами в открытом забое и характеризуются следующим:

- менее сложный и менее дорогой метод по сравнению с гравийной набивкой, как при установке, так и при эксплуатации (нет усаживания, пустот и неравномерной упаковки гравия);
- благодаря стыковочному узлу может иметь любую длину. (Производитель приводит данные о расширяющемся фильтре ESS TM с прилеганием к стенкам скважины в стволах, имеющих длину несколько сотен метров и имеющих прочность на смятие до 69 МПа).

Сравнение моно и многослойных, объёмных забойных фильтров, намывных гравийных фильтров и расширяющихся фильтров приведены в таблице 3, в которой учтены эффективность, производительность, затраты, связанные с его установкой, ремонтпригодность, возможность разобщения продуктивных и непродуктивных участков ствола.



Таблица 3 – Сравнительная характеристика различных фильтров

Тип фильтра	Гидродинамическая характеристика	Функциональность		Затраты	Разобщение продуктивных и непродуктивных участков ствола
		Достоинства	Недостатки		
Монослойные Щелевые хвостовики		Особенно для протяжённых наклонных и горизонтальных стволов	Пескозадержание ниже чем у многослойных и объёмных фильтров	Низкие	
Многослойные фильтры Сетчатые, проволочные комполитные	Как правило, с положительным скин-фактором	Для однородных по фракционному составу коллекторов при низком содержании фракции <44 мкм	При неоднородных по фракционному составу коллекторов быстро заиливаются	Повышенные по сравнению с монослойными фильтрами	Возможно при использовании заколонных пакеров или селективного цементировании
Объёмные (гравийные, модульные)		Высокая степень пескозадержания, повышенный межремонтный период	Ограничения, связанные с увеличенным наружным диаметром	Повышенные по сравнению с моно и многослойными фильтрами	
Расширяющиеся фильтры в открытом стволе		Высокая степень пескозадержания с преимуществами обсаженного ствола	Ограничения по номинальному диаметру и каверности ствола	Высокие, но ниже чем для намывного фильтра	Возможно, в том числе, при использовании расширяемых трубных перекрывателей
Намывной гравийный фильтр в открытом стволе	Скин-фактор близок к нулю, особенно в коллекторах с низким содержанием тонкой фракции	При хорошем уплотнении гравия оптимального состава достигается высокая степень пескозадержания.	Намывка затруднена в горизонтальных стволах. Забиваются песком тонких фракций	Высокие	Возможности ограничены
Фрак-пак	Скин-фактор связан с гидродинамическим совершенством перфорации	Эффективно в неоднородных по фракционному составу и низкопроницаемых коллекторах	Низкая эффективность в высокопроницаемых коллекторах	Высокие	Ограничений нет в связи с привязанности к интервалам перфорации



## Литература

1. Jonathan Bellarby. Well Completion Design. Elsevier B.V. First edition 2013; Wan Renpu, Advanced Well Completion Engineering Petroleum Industry Press. English translation # 2011, Elsevier Inc.
2. Подгорнов В.М., Заканчивание скважин: в 3 томах. Т. 1. Проектирование конструкции забоя скважин. – М. : РГУ нефти и газа (НИУ) им. Губкина, 2017. – 283 с.
3. Башкатов А.Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 554 с.
4. SPE 39437 1998. Триффин Д., Ишбаев Г.Г., Дильмиев М.Р., Христенко А.В., Милейко А.А. Теории подбора фракционного состава кольматанта // Бурение и нефть. – 2011. – № 06.
5. Испытание скважинных фильтров. Информационный отчет по договору № 1750111/0169Д Научно-технологическое сопровождение проектов Системы Новых Технологий\*). [Электронный ресурс]. – URL : Analiz-effektivnosti-filtrov/
6. R.J. Saucier SPE 4030 «Considerations in Grave I Pack Design».
7. Хауке Юргенс, Зигфрид Невигер. Предупреждение пескопроявления в добывающих скважинах // Инженер-нефтяник. – 2009. – № 2. – SPE № 38178.
8. Ван Хэнян, Подгорнов В.М. Скин-фактор композитного забойного фильтра // Строительство скважин нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 3.
9. Штурн Л.В., Кононенко А.А., Денисов С.О. Отечественные фильтры для заканчивания скважин // Территория нефтегаз. – 2010. – № 6. – С. 17–21.
10. Компонировки для создания высокоэффективных гравийных фильтров в горизонтальных скважинах [Электрон.ресурс] (Дата обзора: 30.05.2016).

## References

1. Jonathan Bellarby. Well Completion Design. Elsevier B.V. First edition 2013; Wan Renpu, Advanced Well Completion Engineering Petroleum Industry Press. English translation # 2011, Elsevier Inc.
2. Podgornov V.M., Well Completion: In 3 volumes. V. 1. Well Bottomhole Design Design. – M. : Russian State University of Oil and Gas (NIU), Gubkin Research Institute of Oil and Gas, 2017. – 283 с.
3. Bashkatov A.D. Progressive Technologies of Well Construction. – M. : Nedra-Business Center LLC, 2003. – 554 p.
4. SPE 39437 1998. Triffin D., Ishbaev G.G., Dilmiev M.R., Khristenko A.V., Mileiko A.A. Selection theories of the colmatant fractional composition // Drilling and oil. – 2011. – № 06.
5. Testing of downhole filters. Information report under contract № 1750111/0169D. Scientific and technological support of New Technologies System projects\*). [Electronic resource]. – URL : Analiz-effektivnosti-filtrov/
6. R.J. Saucier SPE 4030 «Considerations in Grave I Pack Design».
7. Hauke Jurgens, Siegfried Neviger. Sand Dispersion Prevention in Production Wells // Petroleum Engineer. – 2009. – № 2. – SPE № 38178.
8. Van Henyan, Podgornov V.M. Skin factor of the composite downhole filter // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2020. – № 3.
9. Shtrun L.V., Kononenko A.A., Denisov S.O. Domestic filters for the wells completion // Territory of oil and gas wells. – 2010. – № 6. – P. 17–21.
10. Structures for creation of the highly effective gravel filters in the horizontal wells [Electron.resource] (Review date: 30.05.2016).