

УДК 622.322

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОТИВОПЕСОЧНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН

Хабибуллин Марат Яхиевич¹,
m-hab@mail.ru

Хабибуллин Арсен Маратович¹,
zx9ooqpv@gmail.com

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

Актуальность исследования обусловлены 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. Для рационального выбора противопесочного фильтра в скважине необходимо проводить экспериментальные стендовые исследования с учетом скважинных условий.

Цель: на основании результатов экспериментальных исследований предложить оптимальную конструкцию противопесочного фильтра. Для выбора необходимо учитывать гидравлические параметры его работы, которые можно определить с учетом проведенных стендовых исследований фильтроэлементов двух типов: блочные и каркасно-стержневые с проволочной обмоткой, в условиях открытого и обсаженного ствола, как наиболее перспективных по применению.

Объекты. Для выполнения этой задачи был создан стенд, который позволяет: определять количество пропускаемой жидкости с песком; объем и гранулометрическое состояние песков, которые проходят через фильтры при фильтрации смешанной жидкости; состояние и изменение структуры пород в призабойной зоне скважины; расстояния между элементами фильтра и эксплуатационной колонной, работоспособность противопесочного фильтра. Главной составной частью стенда является имитирующий круговую модель пласта фильтрационный лоток комбинированной формы.

Методы. В фильтрационный лоток насосом из приемной емкости по напорному манифольду подают рабочую жидкость (нефть), предварительно нагретую до заданной температуры с помощью нагревательного элемента. Температура рабочей жидкости в заданном режиме поддерживается с помощью бесконтактного регулятора. Давление нагнетания измеряют манометром. На напорном манифольде установлен предохранительный клапан пружинного типа. Изменение давления радиального потока рабочей жидкости в фильтрационном лотке регистрируют датчиком давления. Рабочую жидкость из фильтрационного лотка пропускают через систему очистки, выполненную в виде двух цилиндров, в которых имеются сита для улавливания и отсеивания частиц песка размером 0,005 мм и более. Очищенная рабочая жидкость вновь поступает в приемную емкость.

Результаты. Блочные и однослойные проволочные фильтры при обеспечении малого выноса песка быстро кольматируются. Двухслойный проволочный фильтр имеет максимальные пиковые сопротивления и периодически значительный вынос песка. Очевидно, его можно рекомендовать при фонтанной добыче нефти при значительном превышении пластового давления по отношению к гидростатическому.

Ключевые слова:

стендовые исследования, скважина, призабойная зона, каркасно-стержневые, блочные, фильтроэлементы.

Введение

Для рационального выбора противопесочного фильтра в эксплуатационной скважине необходимо проводить экспериментальные стендовые исследования с учетом скважинных условий. При проведении стендовых исследований главным являлось создание оптимальных параметров работы системы, позволяющих обеспечить постоянное и неразрывное взаимодействие эксплуатационной скважины и пласта углеводородной залежи, надежную устойчивость окружающих пород призабойной зоны и выдачу рекомендаций с целью создания оптимальной конструкции противопесочных фильтров для конкретного месторождения [1–3].

Исследовались фильтроэлементы двух типов: блочные и каркасно-стержневые с проволочной обмоткой, в условиях открытого и обсаженного ствола эксплуатационной скважины. В результате предварительных исследований указывалось, что наиболее перспективными считаются каркасные фильтры,

имеющие горизонтальные щели, блочные фильтры. Но при появлении тонкозернистых песков и фракций с глинистыми частицами их применение становится неэффективным. Однако с появлением новых конструкций фильтрующих оболочек блочного типа – титанового и метало-резинового (МР) – представляло интерес определение их работоспособности в условиях, имитирующих условия конкретного месторождения [4, 5].

Методы и материалы

Для выполнения поставленной задачи был создан стенд [6–8], который позволяет определять:

- количество пропускаемой жидкости с песком в эксплуатационной скважине;
- объем и гранулометрическое состояние песков, которые проходят через фильтры при фильтрации смешанной жидкости;
- состояние и изменение структуры пород в призабойной зоне скважины;

- зависимость расстояния между элементами фильтра и эксплуатационной колонной на работоспособность противопесочного фильтра.

Главной составной частью стенда является имитирующий круговую модель пласта фильтрационный лоток комбинированной формы, состоящий из трех камер: рабочей – 17, питающей – 16 и приемной – 2 (рис. 1). Корпус – 7 рабочей камеры – 17 выполнен в виде цилиндра диаметром 600 мм и высотой 500 мм с шестью окнами в нижней части, в которые вварены патрубки – 18 диаметром 250 мм и длиной 200 мм. Камеру – 17 заполняют фильтрующей средой (песком), имитирующей зону продуктивного пласта, и сверху герметично закрывают съемной крышкой – 5. В верхней части патрубков – 18 вварены лубрикатеры – 9, предназначенные для постоянного пополнения песком рабочей камеры. Поршни – 8 лубрикаторов имеют возможность осевого перемещения посредством винта и гайки.

На внутренней поверхности дна корпуса – 7 и патрубков – 8 сделаны концентрические канавки с выступами треугольного профиля для предотвращения проскальзывания потока жидкости вдоль стенок рабочей камеры – 7, а также для установки перфорированных перегородок при подготовке фильтрационного лотка к испытанию гравийных фильтров. Размеры рабочей камеры позволяют моделировать прифилтровую зону и создавать скорость фильтрации, близкую к естественной.

Питающая камера – 16 (всего их шесть), предназначенная для равномерного подвода жидкости к исследуемой фильтрующей среде, выполнена в виде гайки – 12 с перфорированной перегородкой – 14 и сеткой – 13. Гайка – 12 снабжена штуцером – 15, с которым соединен трубопровод – 11, связанный с распределителем потока – 10, трубой, полость которой сообщается с напорным манифольдом.

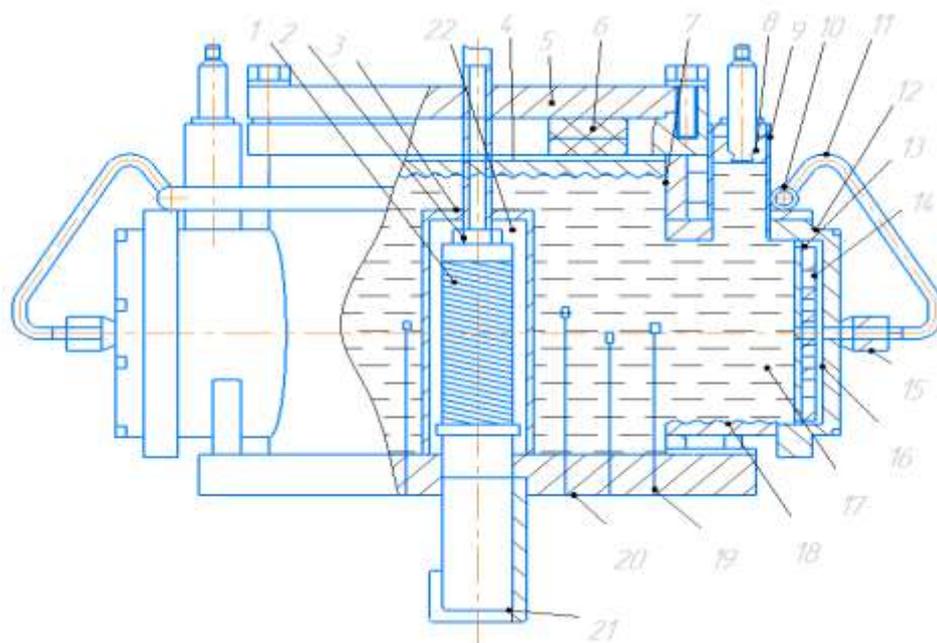


Рис. 1. Фильтрационный лоток

Fig. 1. Filtration tray

Приемная камера – 2 представляет модель обсадной трубы – 3, ввернутой в дно фильтрационного лотка, внутри которой размещен испытуемый противопесочный фильтр – 1. С помощью штуцера – 21 приемная камера соединяется с линией системы очистки жидкости. В обсадной трубе – 3 имеются отверстия, имитирующие перфорационные каналы, которые при заполнении фильтрационного лотка песком закрываются пробкой – 20.

При испытаниях без модели обсадной трубы (в открытом стволе) приемной камерой служит внутренняя полость фильтра. Горное давление воспроизводят установкой на кровлю грунта грузового диска – 4 и упругих элементов – 6. Для предотвращения проскальзывания потока жидкости на нижней поверхности грузового диска – 4 выполнены концентрические канавки с выступами треугольного профиля. Давле-

ние в различных точках модели пласта, на перфорационном канале и на поверхности фильтрующего элемента регистрируют при помощи датчиков давления – 19.

Исследования на стенде проводят следующим образом [9–12]. В фильтрационный лоток – 2 насосом – 10 (рис. 2) из приемной емкости – 8 по напорному манифольду – 6 подают рабочую жидкость (нефть), предварительно нагретую до заданной температуры с помощью нагревательного элемента – 9.

Температура рабочей жидкости в заданном режиме поддерживается с помощью бесконтактного регулятора – 7. Давление нагнетания измеряют манометром – 4. На напорном манифольде – 6 установлен предохранительный клапан – 5 пружинного типа. Изменение давления радиального потока рабочей жид-

кости в фильтрационной лотке – 2 регистрируют датчиком давления – 3.

Рабочую жидкость из фильтрационной лотка – 2 пропускают через систему очистки – 13, выполненную в виде двух цилиндров – 12, в которых имеются сита для улавливания и отсеивания частиц песка размером 0,005 мм и более. Очищенная рабочая жидкость вновь поступает в приемную емкость – 8. Обвязка системы очистки позволяет включать в работу сразу оба цилиндра или поочередно любой из них.

В комплект оборудования стенда входят также виброплощадка для уплотнения грунта в фильтрационной лотке, вибрационное сито СВ-1, пульт оператора и вакуумный насос с вакуумметром. Движение жидкости в модельном пласте обеспечивается заданным постоянным расходом в пределах от 0,25 до 25 л/мин. на 1 м полной поверхности противопесочного фильтра; температура закачиваемой жидкости поддерживается в диапазоне 20–50 °С; давление рабочей жидкости до 4 МПа [13–15].

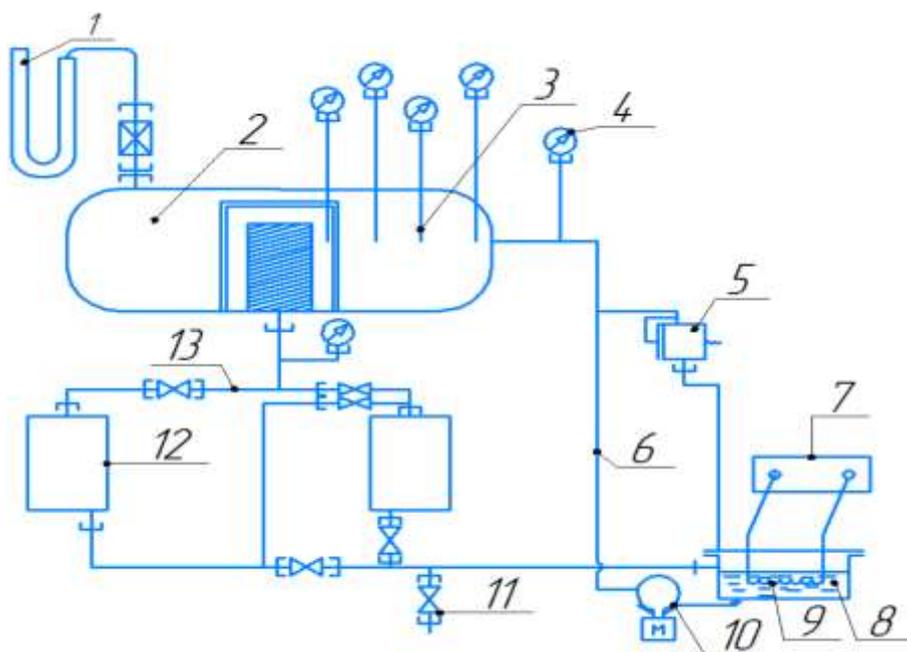


Рис. 2. Стенд для исследования фильтров
 Fig. 2. Stand for studying filters

Результаты и обсуждения

Подготовка модели пласта проводилась в следующей последовательности: устанавливалась модель противопесочного фильтра, а при имитации условий обсаженного ствола – и обсадная колонна; модель пласта загружалась грунтом определенного гранулометрического состава; грунт насыщался 5 % водным раствором хлористого кальция (CaCl_2) и уплотнялся периодическим вибрированием модели пласта с одновременным добавлением грунта через лубрикаторы. Суммарное время вибрирования колебалось от 1,5 до 2 часов с количеством циклов от 5 до 8; модель пласта дегазировалась вакуумированием (700–800 м водяного столба) в течение 2 часов (в 3 приема через час отстоя) с последующим замещением водного раствора CaCl_2 рабочей жидкостью. Пористость имитаторов пласта колебалась в пределах 20–30 %. Экспериментальному исследованию подвергались имитаторы пластов с гранулометрическим составом и физико-химическими свойствами, близкими по составам продуктивных пластов исследуемого месторождения [16–19].

Модель пласта в каждом эксперименте загружалась кварцевым песком в объеме около 0,2 м³ следующего фракционного состава (табл. 1) [20].

Таблица 1. Фракционный состав кварцевого песка
 Table 1. Fractional composition of quartz sand

Размер зерен песка, мм Sand grain size, mm	Процентное содержание фракций в имитаторе пласта Percentage of fractions in the reservoir simulator	
	(K ₁)	(K ₂)
От (from) 0,5 до (to) 0,25	–	3
От (from) 0,25 до (to) 0,1	48	70
От (from) 0,1 до (to) 0,01	30	19
Менее 0,01/Less than 0,01	22	8

Имитатор пласта K₁ составлялся исходя из среднего значения гранулометрического состава пласта с исключением частиц размером больше 0,25 мм, а K₂ – исходя из возможного образования при выносе из пласта большого количества частиц размером 0,25–0,1 мм из более мелких за счет их сцементированности. В качестве рабочей жидкости использовалась товарная нефть исследуемого месторождения со следующими параметрами (табл. 2) [21].

Расход жидкости, в пересчете на 1 м длины фильтрующей поверхности, изменялся в пределах от 0,6 до 1,5 м³/ч., а температурный режим – в пределах от 5 до 30 °С. Имитация горного давления осуществлялась путем передачи усилия от крышки модели пласта через

резиновые амортизаторы, размещенные между крышкой и металлическим грузовым диском, опирающимся на кровлю имитатора пласта. Удельное давление находилось в пределах от 0,004 до 4 МПа [22–24].

Таблица 2. Параметры товарной нефти

Table 2. Commercial oil parameters

Месторождение Field	Вязкость при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, МПа·с Viscosity at $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, MPa·s	Вязкость при $t=27\text{ }^{\circ}\text{C}$, МПа·с Viscosity at $t=27\text{ }^{\circ}\text{C}$, MPa·s	Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$ Density, g/cm^3	Содержание воды, % Water content, %
Алексеевское Aleksееvskoe	177	143	0,922	15

Интенсивность выноса песка из модели пласта оценивалась как прямым взвешиванием песка, осевшего на рабочем и контрольном фильтрах, так и по времени роста давления на контрольном фильтре до 0,1 МПа за счет кольтации последнего. В качестве контрольного фильтра во всех экспериментах использовалась одинаковая ткань (хлопчатобумажная) с постоянной первоначальной площадью фильтрации, равной $38,5\text{ см}^2$.

При лабораторных испытаниях фильтров блочно-го типа исследовался фильтроэлемент МР, фильтрующая оболочка которого изготовлена из проволочной спирали с наружным диаметром 2 мм, выполненной из проволоки диаметром 0,2 мм, уложенной определенным образом и деформированной осевым усилием в пресс-форме до образования пористых втулок высотой до 70 мм, диаметром 130 и 160 мм, с толщиной

стенки, соответственно, 20 и 35 мм. Удельная проницаемость таких фильтроэлементов до 16 дарси, пористость до 60 %. Фильтры испытывались в моделях пласта, имитирующих условия Алексеевского месторождения [25–27].

При лабораторных испытаниях МР фильтроэлемента исследовался фильтроэлемент с размерами:

- наружный диаметр 160 мм;
- толщина стенки 35мм;
- высота, 280 мм.

Испытания проводились в системе пласт–фильтр с расходом прокачиваемой жидкости $0,6\text{...}0,8\text{ м}^3/\text{сут.}$ на 1 м его длины при температуре $22\text{...}25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В процессе экспериментов фиксировались изменения гидравлических сопротивлений как всей системы, так и отдельных ее участков, количество и гранулометрический состав частиц пласта, вынесенных через фильтр, а также изменения интенсивности выноса в зависимости от времени работы фильтра и после эксперимента – состояние прифильтровой зоны. Всего было проведено восемь экспериментов, в пяти из которых длительность эксперимента составляла от 75 до 96 часов, а трех – с длительностью 135...145 часов [28].

На рис. 3 показаны изменения давлений в системе пласт–фильтр на заданных радиусах имитатора-пласта в зависимости от времени прокачки рабочей жидкости (здесь рассматривается пример имитатора – пласта K_1). На графике показаны среднеарифметические значения давлений и времени. Причем разброс табличных данных по давлению во всех опытах не превышал 15 % (для заданного радиуса), а разность по интервалам замеров не превышала $\pm 5\%$ [29–31].

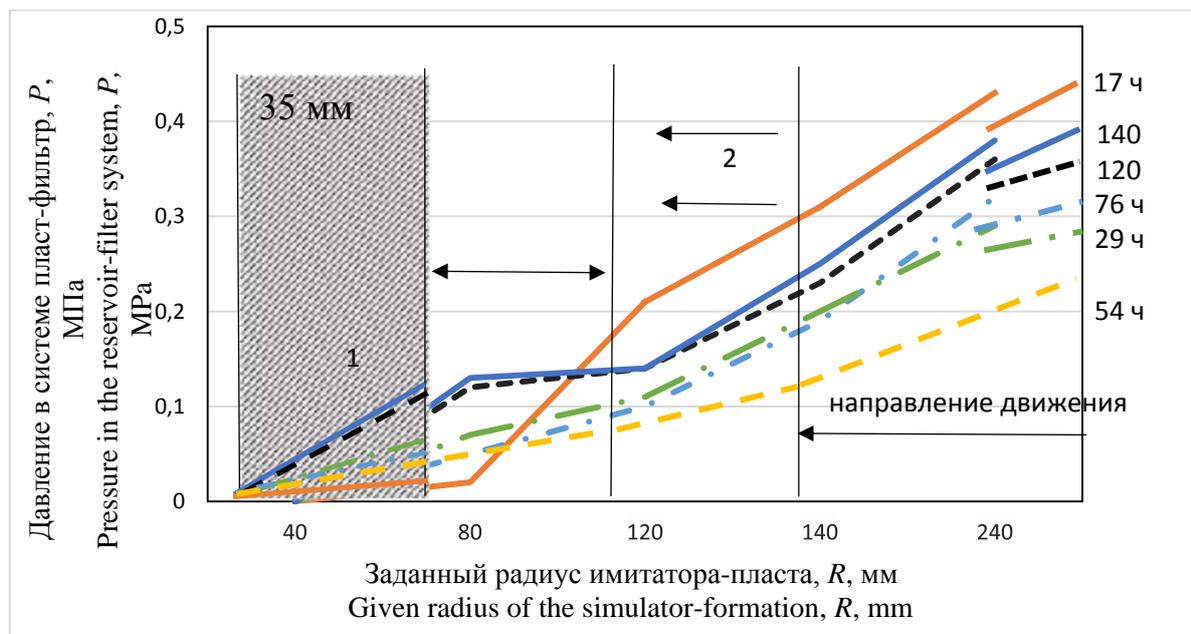


Рис. 3. График изменения давлений в системе пласт–фильтр на заданных радиусах имитатора-пласта в зависимости от времени прокачки рабочей жидкости: 1 – фильтроэлемент (МР); 2 – имитатор пласта

Fig. 3. Graph of pressure changes in the formation–filter system at given radii of the simulator-formation, depending on the time of pumping the working fluid: 1 – filter element; 2 – simulator-formation

Более наглядное представление о работе фильтро-элемента (МР) дает развернутый график изменения давления на каждом из радиусов и кривая интенсивности выноса частиц песка (через фильтр) по времени (рис. 4).

Анализируя графики, можно предположить, что в первоначальный интервал времени (0–17 ч.) рост давления в системе пласт–фильтр (на всех его участках) вызван наложением частиц породы на поверхность фильтра с частичным заклиниванием проходных отверстий и вследствие объемной кольматации при фильтрующей оболочке. Кроме того, резкий рост давления (в интервале 80...40 мм) обуславливается, очевидно, подсосом кольматирующих частиц с внешнего контура пласта (140...245 мм) [32–35].

Интенсивность выноса мелких частиц песка и кольматанта через фильтр в эксплуатационной скважине, обеспечивающая очистку прифильтровой зоны, резко падает. Однако, как видно из графика, в интервале времени (17...29 ч.) все еще происходит очистка прифильтровой зоны (80...140 мм) за счет выноса частиц пласта как через фильтр, так и через осаживание их в объеме фильтрующей оболочки, на что указывает увеличение ее сопротивления. Изменения, происходя-

щие в интервале времени (29...54 ч.), показывают более интенсивный рост давления в зоне (80...140 мм), по сравнению с ростом сопротивления фильтра. Это определяется переносом кольматирующего материала из зоны пласта 140...245 мм и падением сопротивления, обусловленного частичным раздренированием этой зоны пласта [36]. При дальнейшей работе наблюдается подъем давления во всех зонах системы пласт–фильтр с некоторым опережением сопротивления фильтрующей оболочки. Следует отметить, что с изменением интенсивности выноса частиц из пласта менялся и гранулометрический состав проб, отбираемых с контрольного фильтра. В начальный период работы фильтра (5...8 ч.) содержание крупных частиц в пробах с размерами 0,1...0,2 мм составляло 68...72 % (по массе), а по истечении 25...30 ч. количество частиц размерами 0,05 мм не превышало 6...10 % [37–39].

Каркасно-проволочные фильтры, фильтрующие оболочки которых выполнены из проволоки различных сечений с горизонтальным расположением щели, исследовались в системе пласт–фильтр с целью определения влияния их геометрических и конструктивных параметров на ее работоспособность.

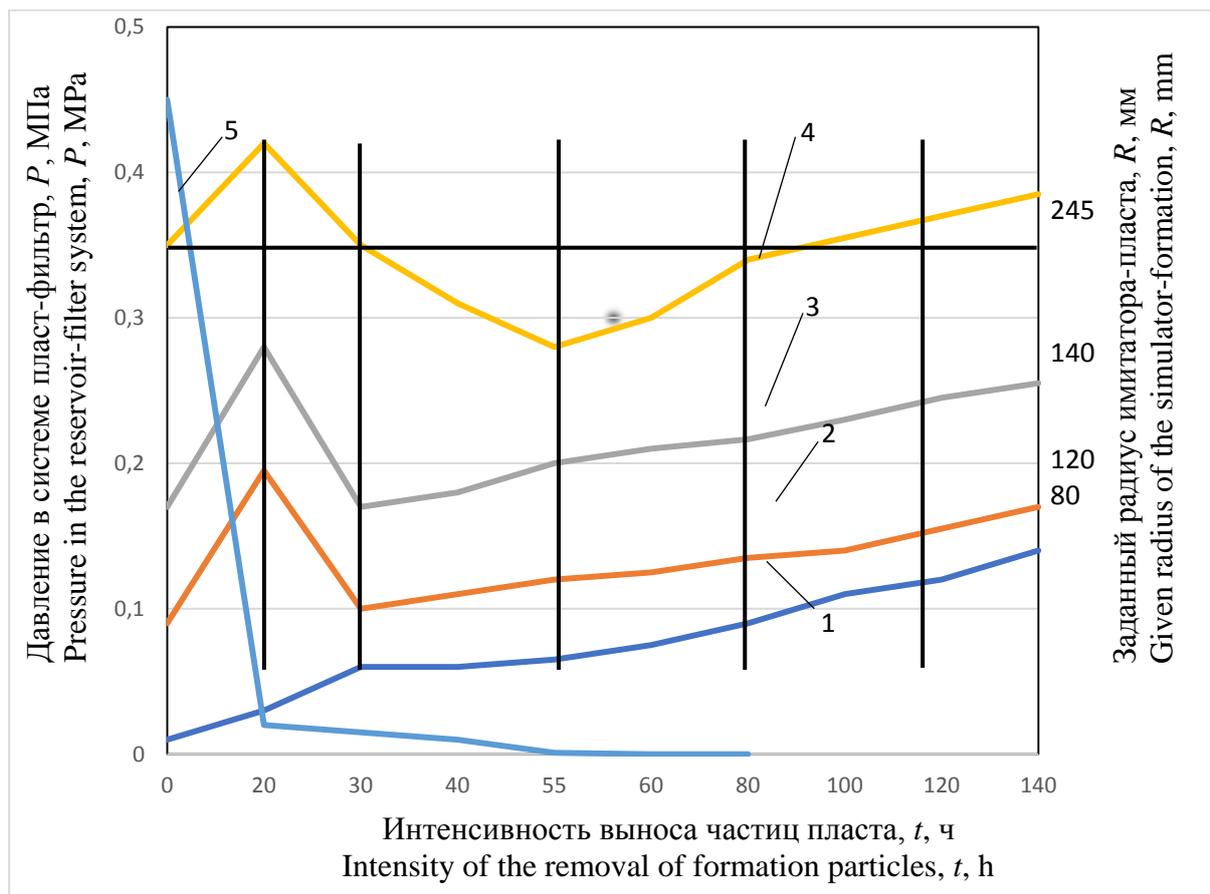


Рис. 4. График изменения давления в системе пласт–фильтр и интенсивности выноса частиц пласта для заданных радиусов имитатора-пласта: 1, 2, 3, 4 – перепады давления соответственно на фильтре (МР) и в пласте на радиусах контура питания 80, 120, 140 и 245 мм относительно оси фильтра; 5 – интенсивность выноса частиц пласта (через фильтр)

Fig. 4. Graph of pressure changes in the reservoir–filter system and intensity of the removal of reservoir particles for given radii of the simulator-formation: 1, 2, 3, 4 – pressure drops at filter and in the formation on the external boundary radius 80, 120, 140 and 245 mm relative to the filter axis; 5 – intensity of the formation particles removal (through the filter)

В процессе экспериментов уточнялись изменения гидравлической связи системы и суффозионной устойчивости пласта при следующих геометрических значениях фильтрующей оболочки:

- размера фильтрующей щели (по ширине), формы сечения обмоточной проволоки и скважности, зависящей от их сечения, и увеличение межремонтного периода работы фильтра за счет его конструктивных параметров;
- слоистости, жесткости и повышенной скважности фильтрующей оболочки [40–42].

Здесь следует отметить, что повышенная скважность на единицу длины фильтрующей оболочки (вдоль оси фильтра) достигнута за счет увеличения количества щелей при одинаковом размере поперечного сечения обмоточной проволоки, т. е. без снижения ее прочностных характеристик [43].

Исследовались следующие модели проволочных фильтров [44, 45]:

- однослойные – с фильтрующей оболочкой, выполненной из проволоки круглого и трапецидального сечений;
- двухслойные – оболочка выполнена из двух слоев обмотки (с зазором между ними и каждый из слоев выполнен из проволоки круглого сечения одинакового диаметра);
- однослойные с переменной жесткостью фильтрующей оболочки, выполненной в виде двухзаходной спирали из круглой проволоки разных диаметров;
- повышенной скважности из проволоки круглого сечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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
2. 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.
3. Камалетдинов Р.С., Лазарев А.Б. Обзор существующих методов борьбы с мехпримесями // Производственно-технический нефтегазовый журнал «Инженерная практика». – 2010. – № 2. – С. 6–13.
4. 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.
5. 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.
6. 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
7. 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.
8. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г., Кухтинский А.Э. О связи коэффициентов трещиностойкости и геофизических характери-

Заключение

При оценке работы фильтров в системе пласт–фильтр необходимо учитывать одновременно их пескоудерживающую способность, обеспечение надежной гидравлической связи и способность оказывать влияние на формирование прифильтровой зоны, что в конечном итоге способствует увеличению срока службы фильтра до его колымазации. Следует также учитывать, что на каждом участке месторождения геолого-промысловые условия различны. В связи с этим значимость вышеперечисленных параметров, влияющих на работу системы пласт–фильтр, может меняться.

Так, например, при длительной добыче нефти для обеспечения лучшей гидравлической связи в системе пласт–фильтр и увеличения раздренированной прифильтровой зоны можно несколько снизить требования к пескоудерживающей способности фильтра, а при насосной добыче нефти важным условием является ограничение выноса песка, обеспечивающее нормальную работу насосного оборудования.

Блочные (МР) и однослойные проволочные фильтры (КС) при обеспечении малого выноса песка быстро колымаются. При обеспечении фильтром (КС) более длительной работы системы без колымазации фильтра, особенно для пласта K_1 , наблюдается значительный вынос песка.

Двухслойный проволочный фильтр имеет максимальные пиковые сопротивления и периодически значительный вынос песка. Очевидно, его можно рекомендовать при фонтанной добыче нефти, при значительном превышении пластового давления по отношению к гидростатическому.

- стик горных пород месторождений углеводородов // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 83–90. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.83
9. 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.
10. Штуров Л.В., Кононенко А.А., Денисов С.О. Отечественные фильтры для заканчивания скважин // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2010. – № 6. – С. 57–61.
11. 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
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. 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.
17. Helmy M.W. Application of new technology in the completion of ERD wells // Sakhalin-1 Development. Paper SPE. – 2006. – V. 8. – P. 103587.
18. 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
19. Hossain M.E., AlMejed A.A. Fundamental of sustainable drilling engineering. – Chichester: Scrivener Publishing LLC, 2015. – 786 p.
20. Шве́ц 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.
21. 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.
22. 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
23. 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.
24. Schamp J.H., Estes B.L., Keller S.R. Torque reduction techniques in ERD wells // Paper SPE/IADC. Miami. – 2006. – V. 14. – P. 98969.
25. Третьяк А.А., Савенок О.В., Шве́ц В.В. Скважинные фильтры. – Новочеркасск: Колорит, 2019. – 227 с.
26. 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.
27. 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
28. 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. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, 2010. – № 10. – С. 68–70.
29. 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.
30. 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
31. Шве́ц С.В., Кейн С.А. Перспективы применения метода спуска обсадных колонн с облегчённым нижним участком // «Ресурсы Европейского Севера. Технологии и экономика освоения». – 2015. – № 2. – С. 81–90. URL: <http://resteo.ru/shvets-2/> (дата обращения: 15.01.2023).
32. Хабибуллин М.Я. Метод термоокислотного импульсирования для увеличения нефтеотдачи // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18. – № 4. – С. 58–64. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-4-58-64
33. 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).
34. 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.
35. 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
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. Алексеев В.С., Тесля В.Г. Критерии проектирования фильтров водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 11. – С. 32–38.
41. 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
42. 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.
43. 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
44. Разработка дизайна фильтра-хвостовика для крепления горизонтальных участков большой длины / С.А. Кейн, И.Н. Андронов, С.В. Шве́ц, В.П. Пятибрат // Инженер-нефтяник. – 2016. – № 1. – С. 24–28.
45. Automated evaluation of hole cleaning efficiency while drilling improves rate of penetration / M. Al-Rubaii, R. Gajbiye, A. Al-Yami, M. Alshalan, M. Al-Awami // International Petroleum Technology Conference: Materials of IPTC. – Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, 2020. – P. 1–17. DOI: 10.2523/IPTC-19809-MS

Поступила: 19.01.2023 г.

Прошла рецензирование: 29.01.2023 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

RATIONALE FOR SELECTING SAND FILTERS FOR PRODUCTION WELLS

Marat Ya. Khabibullin¹,
m-hab@mail.ru

Arsen M. Khabibullin¹,
zx90oqpv@gmail.com

¹ 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 that are characterized by the degree and nature of its opening and are caused by the designs of casing filters. For a rational choice of an anti-sand filter in a well, it is necessary to conduct experimental bench studies, taking into account well conditions.

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 based on the bench tests of two types of filter elements: block and frame-rod with wire winding, in open and cased hole conditions, as the most promising in terms of application.

Objects. To accomplish this task, a stand was created that allows you to: determine the amount of fluid passing through with sand; the volume and granulometric state of the sands that pass through the filters when filtering the mixed liquid; state and change in the structure of rocks in the bottomhole zone of the well; distances between the filter elements and the production casing, the performance of the sand filter. The main component of the stand is a combined-shaped filtration tray imitating a circular reservoir model.

Methods. The working fluid (oil), preheated to a predetermined temperature with the help of a heating element, is supplied to the filtration tray by a pump from the receiving tank through the pressure manifold. The temperature of the working fluid in a given mode is maintained using a non-contact controller. The discharge pressure is measured with a manometer. The pressure manifold is fitted with a spring-loaded relief valve. The change in pressure of the radial flow of the working fluid in the filtration tray is recorded by a pressure sensor. The working fluid from the filtration tray is passed through a cleaning system made in the form of two cylinders, in which there are sieves for trapping and screening sand particles with a size of 0,005 mm or more. The purified working fluid again enters the receiving tank.

Results. Block and single-layer wire filters while ensuring a small amount of sand are quickly clogged. The double layer wire filter has the highest peak resistances and occasional significant sand production. Obviously, it can be recommended for flowing oil production, with a significant excess of reservoir pressure in relation to hydrostatic pressure.

Key words:

bench research, well, bottomhole zone, frame-rod, block, filter elements.

REFERENCES

- 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.
- Afanasiev 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.
- 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. In Rus.
- 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-Troitskoye 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. *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.
- 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.
- 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.
17. 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.
 18. 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
 19. Hossain M.E., AlMejed A.A. *Fundamental of sustainable drilling engineering*. Chichester, Scrivener Publishing LLC, 2015. 786 p.
 20. 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, pp. 19–23. In Rus.
 21. 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.
 22. 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
 23. 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.
 24. Schamp J.H., Estes B.L., Keller S.R. Torque reduction techniques in ERD wells. *Paper SPE/IADC. Miami*, 2006, vol. 14, pp. 98969.
 25. Tretyak A.A., Savenok O.V., Shvets V.V. *Skvazhinnye filtry [Downhole filters]*. Novocheboksak, Coloring, 2019. 227 p.
 26. 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.
 27. 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
 28. Borevsky B.V., Ershov G.E., Kuznetsov A.V., Kuvykina Yu.Yu. *Obosnovanie istochnikov vodosnabzheniya olimpiyskikh ob'ektov «Sochi-2014» za schet podzemnykh vod [Substantiation of sources of water supply for the Sochi-2014 Olympic venues at the expense of groundwater. Exploration and protection of mineral resources]*. Moscow, All-Russian Research Institute of Mineral Raw Materials. N.M. Fedorovsky Publ., 2010. No. 10, pp. 68–70. In Rus.
 29. 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.
 30. 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
 31. 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. Available at: <http://reesteo.ru/shvets-2/?lang=en> (accessed 15 January 2023).
 32. 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/ngdolo-2020-4-58-64.
 33. 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).
 34. 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.
 35. 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.
 36. 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.
 37. 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.
 38. Ambekar A.S., Sivakumar R.H., Anantharaman N.A., Vivekenandan M.D. CFD simulation study of shelf and tube heat exchangers with different baffle segment configurations. *Applied Thermal Engineering*, 2016, vol. 108, pp. 999–1007.
 39. 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.
 40. 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.
 41. Wang Henyang, 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.
 42. 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.
 43. Kaushansky D.A., Demyanovsky V.B., Bakirov N.R., Eremank 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.
 44. 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.
 45. 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. pp. 1–17. DOI: 10.2523/IPTC-19809-MS

Received: 19 January 2023.
Reviewed: 29 January 2023.

Information about the authors

Marat Ya. Khabibullin, Cand. Sc., associate professor, Ufa State Petroleum Technological University (branch in Oktyabrsky).

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