



ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПРОТИВОПЕСОЧНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН НА ОСНОВАНИИ ЛАБОРАТОРНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

М. Я. Хабибуллин, В. Ш. Мухаметшин*, Р. И. Сулейманов

*Институт нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной
технический университет (филиал в г. Октябрьском), Россия*

Optimal selection of sand filters for production wells on the basis of laboratory and experimental studies

M. Ya. Khabibullin, V. Sh. Mukhametshin*, R. I. Suleimanov

Institute of Oil and Gas, Ufa State Petroleum Technological University, (branch in Oktyabrsky), Russia

ABSTRACT

The relevance of the study is due to 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 due to 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. 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; dependence of the distance between the filter elements and the production casing on the performance of the sand filter. The main component of the stand is a combined-shaped filtration tray imitating a circular reservoir model. Based on the results of experimental studies, optimal designs of anti-sand filters are proposed. 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, both in open hole and cased hole conditions, as the most promising in terms of application.

Keywords: filtration; liquid; bottomhole; zone; well; anti-sand filter.

© 2023 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

Для рационального выбора противопесочного фильтра в эксплуатационной скважине необходимо проводить экспериментальные стендовые исследования с учетом скважинных условий. При проведении стендовых исследований главным условием являлось определение оптимальных условий (параметров) системы, позволяющих обеспечить постоянную и неразрывную связь между эксплуатационной скважиной и пластом углеводородной залежью, надежную устойчивость окружающих пород призабойной зоны и выдача рекомендаций с целью создания оптимальной конструкции противопесочных фильтров для конкретного месторождения [1-3].

Исследовались фильтроэлементы двух типов: блочные и каркасно-стержневые с проволочной обмоткой, как в условиях открытого, так и обсаженного ствола эксплуатационной скважины. В результате предварительных исследованиях указывалось, что наиболее перспективными считаются каркасные фильтры, имеющие горизонтальные щели, блочные фильтры. Но при появ-

лении 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 [4-7].

Методы и материалы

Для выполнения поставленной задачи был создан стенд [8-13], 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

*E-mail: vsh@of.ugntu.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20230300892>

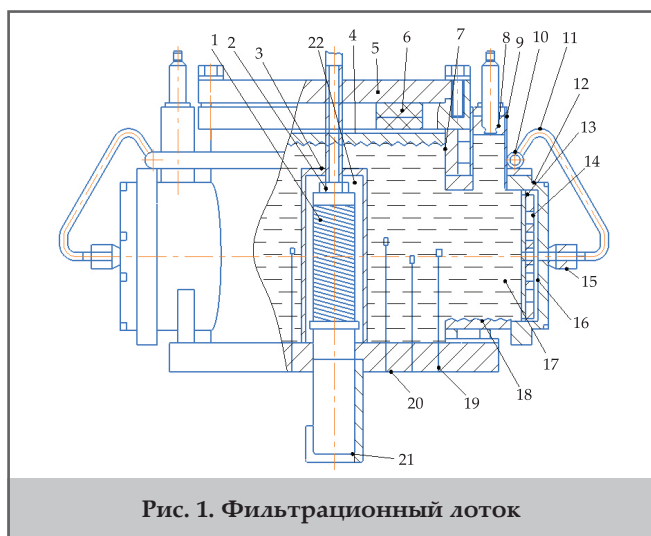


Рис. 1. Фильтрационный лоток

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 лубрикатеров 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 прифильтровую 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 И, связанный с распределителем потока 10 – трубой, полость которой сообщается с напорным манифольдом. 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 треу-

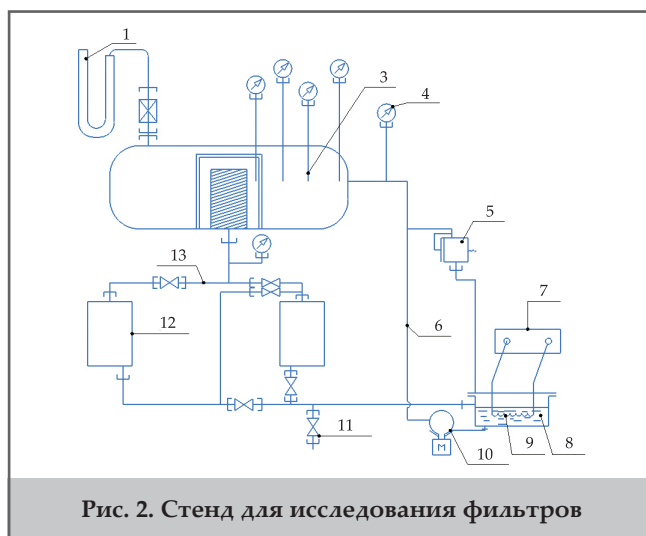


Рис. 2. Стенд для исследования фильтров

гольного профиля. Давление 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 [14]. 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 замеряют манометром 4. На напорном манифольде 6 установлен предохранительный клапан 5 пружинного типа. Изменение давления радиального потока рабочей жидкости в фильтрационном лотке 2 регистрируют датчиком давления 3.

Рабочую жидкость из фильтрационного 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. Обязка 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 фильтрационном 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 [15-18].

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 (CaCl₂) и уплотнялся периодическим вибрированием модели пласта с одновременным добавлением грунта

через дубликаторы. 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 составу продуктивного пласта исследуемого месторождения [19-22].

Модель пласта в каждом эксперименте загружалась кварцевым песком в объеме около 0.2 м³ следующего фракционного состава (табл. 1) [23].

Размер зерен песка, мм	Процентное содержание фракций в имитаторе пласта	
	(K ₁)	(K ₂)
От 0.5 до 0.25	-	3
От 0.25 до 0.1	48	70
От 0.1 до 0.01	30	19
Менее 0.01	22	8

Имитатор пласта K, 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) [24].

Место- рождение	Вязкость при t=20 °С, МПа·с	Вязкость при t=27 °С, МПа·с	Плот- ность, г/см ³	Содер- жание воды, %
Алексеевское	177	143	0.922	15

Расход жидкости, в пересчете на 1 м длины фильтрующей поверхности, изменялся в пределах от 0.6 до 1.5 м³/час., 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 [25-29].

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 кольматации последнего. В качестве контрольного фильтра во всех экспериментах использовалась одинаковая ткань (хлопчатобумажная) с постоянной первоначальной площадью фильтрации, равной 38.5 см².

При лабораторных испытаниях фильтров блочного типа исследовался фильтроэлемент метало-резиновый

(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 [30-34].

При лабораторных испытаниях метало-резинового фильтроэлемента (МР) исследовался фильтроэлемент с размерами:

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

Испытания проводились в системе пласт-фильтр с расходом прокачиваемой жидкости 0.6...0.8 м³/сут на 1 м его длины при температуре 22...25 °С.

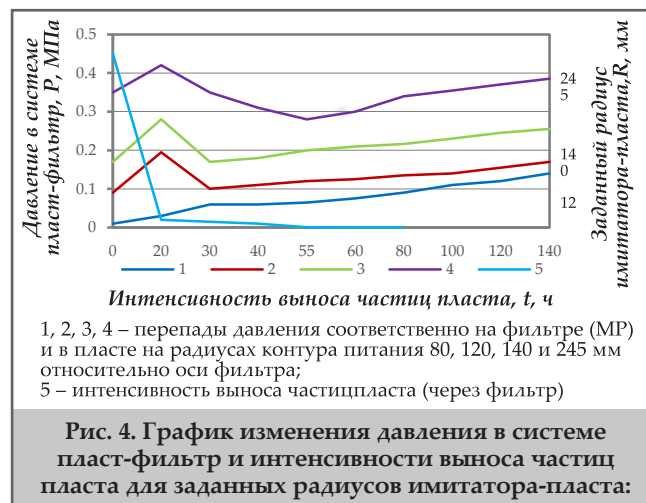
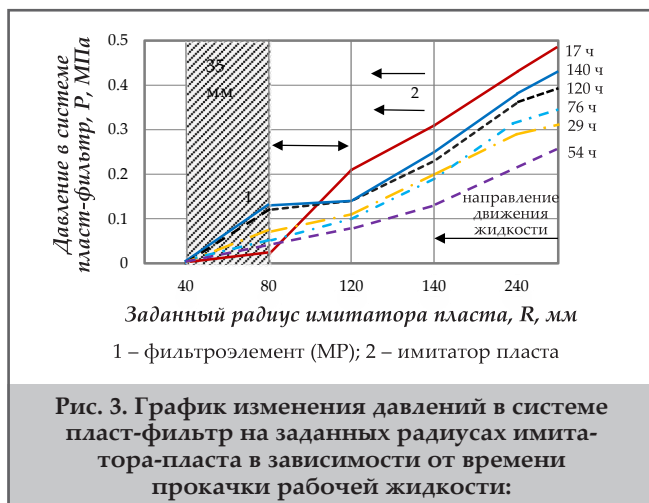
В процессе экспериментов фиксировались изменения гидравлических сопротивлений, как всей системы, так и отдельных ее участков, количество и гранулометрический состав частиц пласта, вынесенных через фильтр, а также изменения интенсивности выноса в зависимости от времени работы фильтра и после эксперимента – состояние прифильтровой зоны. Всего было проведено восемь экспериментов, в пяти из которых длительность эксперимента составляла от 75 до 96 часов и трех с длительностью 135...145 часов [35-39].

На рисунке 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 K¹). 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 ±5 % [40-43].

Более наглядное представление о работе фильтроэлемента (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 прифильтрующей оболочки. Кроме того, резкий рост давления (в интервале 80...40 мм) обуславливается, очевидно, подносом кольматирующих частиц с внешнего контура пласта (140...245 мм) [44-47].

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 часов) все еще происходит очистка прифильтровой зоны (80...140 мм) за счет выноса частиц пласта как через фильтр, так и осаживания их в объеме фильтрующей оболочки, на что указывает увеличение ее сопротивления. Изменения, происходящие в интервале времени (29...54 часа), показывают более интенсивный рост давления в зоне (80...140 мм), по сравнению с ростом



сопротивления фильтра. Это определяется переносом колющего материала из зоны пласта 140...245 мм и падением сопротивления, обусловленного частичным раздренированием этой зоны пласта [48-50]. 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 часов) содержание крупных частиц в пробах, с размерами 0.1...0.2 мм, составляло 68...72 % (по массе), а по истечении 25...30 часов количество частиц размерами 0.05 мм не превышало 6...10 % [51-54].

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.

В процессе экспериментов уточнялись изменения гидравлической связи системы и суффозионной устойчивости пласта в зависимости от следующих геометрических параметров фильтрующей оболочки:

- размера фильтрующей щели (по ширине), формы

сечения обмоточной проволоки и скважности, зависящей от их сечения, а также выявлялась возможность увеличения межремонтного периода работы фильтра за счет его конструктивных параметров;

- слоистости, жесткости и повышенной скважности фильтрующей оболочки [55-57].

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 [58-60].

Исследовались следующие модели проволочных фильтров:

- однослойные – с фильтрующей оболочкой, выполненной из проволоки круглого и трапецеидального сечений;
- двухслойные – оболочка которого 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.

Выводы

Выводы о применении исследованных фильтров в открытом стволе эксплуатационной скважины на разработанном стенде. 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 колюматации. Следует также учитывать, что даже 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 колюматуются. При обеспечении фильтром (КС) более длительной работы системы без колюматации 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.

Литература

1. Zhanghua, L., Zeli, L., Hao, Y. (2018). Assessing the strength of casing pipes that contain corrosion pit defects. *Journal of Southwest Petroleum University*, 40(2), 86-94.
2. Велиев, Э. Ф. (2021). Применение амфифильных блок-полимерных систем для эмульсионного заводнения пласта. *SOCAR Proceedings*, 3, 78-86.
3. Хабибуллин, М. Я. (2020). Совершенствование процесса солянокислотной обработки скважин применением новейших технологий и оборудования. *Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов*, 331(10), 128-134.
4. Султанмагомедов, Т. С., Бахтизин, Р. Н., Султанмагомедов, С. М. (2020). Исследование перемещений трубопровода в многолетнемерзлых грунтах. *SOCAR Proceedings*, 4, 75-83.
5. Ван, Х., Подгорнов, В. М., Мо, Ц. (2022). Экспериментальные исследования эффективности фильтрующих элементов забойных фильтров в потоке высоковязкой нефти. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*, 1, 43-47.
6. Двойников, М. В., Ошибков, А. В. (2013). Анализ проектных решений и технологических приемов проектирования и реализации профилей наклонно-направленных и горизонтальных скважин. *Известия ВУЗ. Нефть и газ*, 4, 40-43.
7. Кейн, С. А., Швец, С. В. (2015). Оценка сложности траектории горизонтальных скважин при спуске обсадных колонн. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*, 7, 38-41.
8. Агишев, Э. Р., Дубинский, Г. С., Мухаметшин, В. В. и др. (2022). Прогнозирование параметров трещины гидроразрыва пласта на основе исследования геомеханики породы-коллектора. *SOCAR Proceedings*, 4, 107-116.
9. Хабибуллин, М. Я. (2020). Увеличение эффективности разделения жидких систем при сборе пластовой жидкости. *Нефтегазовое дело*, 18(2)б 64-71.
10. Моисеев, К. В., Кулешов, В. С., Бахтизин, Р. Н. (2020). Свободная конвекция линейно неоднородной жидкости в квадратной полости при боковом нагреве. *SOCAR Proceedings*, 4, 108-116.
11. Кейн, С. А., Андронов, И. Н., Швец, С. В., Пятибрат, В. П. (2016). Разработка дизайна фильтра-хвостовика для крепления горизонтальных участков большой длины. *Инженер-нефтяник*, 1, 24-28.
12. Велиев, Э. Ф., Алиев, А. А., Маммедбейли, Т. Е. (2021). Применение машинного обучения для прогнозирования эффективности внедрения технологий борьбы с конусообразованием. *SOCAR Proceedings*, 1, 104-113.
13. Khabibullin, M. Ya., Suleimanov, R. I. (2019). Development of automatic systems for controlling and assessing the technological properties of grain processing products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 560, 012024.
14. Al-Rubaii, M., Gajbhiye, R., Al-Yami, A., et al. (2020, January). Automated evaluation of hole cleaning efficiency while drilling improves rate of penetration. IPTC-19809-MS. In: *The International Petroleum Technology Conference, Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia*.
15. Швец, С. В., Кейн, С. А. (2015). Перспективы применения метода спуска обсадных колонн с облегчённым нижним участком. *Ресурсы Европейского Севера. Технологии и экономика освоения*, 2, 81-90.
16. Гиляев, Г. Г. (2004). Управление технологическими процессами по интенсификации добычи нефти. *Нефтяное хозяйство*, 10, 74-77.
17. Suleimanov, R. I., Khabibullin, M. Ya., Suleimanov, R. I. (2019). Analysis of the reliability of the power cable of an electric-centrifugal pump unit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 378, 012054.
18. Karim, A., Du, C., Hansson, G. (2008). Influence of exposure to 980 nm laser radiation on the luminescence of Si:Er/O light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, 12, 123110.
19. Gupta, V. P., Sanford, S. R., Mathis, R. S., et al. (2013, March). Case history of a challenging thin oil column extended reach drilling (ERD) development at Sakhalin. SPE-163487-MS. In: *The SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, The Netherlands. Society of Petroleum Engineers*.
20. Helmy, M. W. (2016, October). Application of new technology in the completion of ERD wells Sakhalin-1 development. SPE-103587-MS. In: *The SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers*.
21. Штурн, Л. В., Кононенко, А. А., Денисов, С. О. (2010). Отечественные фильтры для заканчивания скважин. *Территория «НЕФТЕГАЗ»*, 6, 57-61.
22. Якупов, Р. Ф., Рабаев, Р. У., Мухаметшин, В. В. и др. (2022). Анализ эффективности реализуемой системы разработки, бурения горизонтальных скважин и проведения ГТМ в условиях карбонатных отложений турнейского яруса Знаменского нефтяного месторождения. *SOCAR Proceedings*, 4, 97-106.
23. Хабибуллин, М. Я., Сулейманов, Р. И. (2019). Повышение надежности сварных соединений трубопроводов в системе поддержания пластового давления. *Нефтегазовое дело*, 17(5), 93-98.
24. Шакен, М. Ш. (2019). Исследование применимости кислотной обработки в конгломератных коллекторах. *SOCAR Proceedings*, 4, 23-31.
25. Рогов, Е. А. (2020). Исследование проницаемости призабойной зоны скважин при воздействии технологическими жидкостями. *Записки Горного института*, 242, 169-173.
26. Мухаметшин, В. В., Кулешова, Л. С. (2022). Повышение эффективности выработки запасов залежей нижнего мела Западной Сибири с использованием методов увеличения нефтеотдачи. *SOCAR Proceedings*, S11, 9-18.
27. Khabibullin, M. Ya. (2019). 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»*, 042012.
28. Казымов, Ш. П., Ахмед, Ф. (2015). Опыт и перспективы применения скважинных фильтров с устройствами регулирования притока. *SOCAR Proceedings*, 2, 32-40.

29. Hossain, M. E., AlMejed, A. A. (2015). Fundamental of sustainable drilling engineering. Chichester: Scrivener Publishing LLC.
30. Швец, С. В., Кейн, С. А. (2014). Влияние параметров траектории горизонтальной скважины на спуск обсадной колонны. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*, 7, 19-23.
31. James, R. W., Pastusek, P. J., Kuhn, G. R., et al. (2012, March). Successful optimization strategies combine to deliver significant performance boost at the edge of the ERD envelope Sakhalin Island, Russia. SPE-150959-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, San Diego, California, USA. Society of Petroleum Engineers*.
32. Sanford, S. R., Walker, M. W., Brock, J. N., et al. (2014, March). New rotary shouldered connection expands the capability of world record ERD operation. SPE-168049-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, Fort Worth, Texas, USA. Society of Petroleum Engineers*.
33. Гилаев, Ген. Г., Хабибуллин, М. Я., Гилаев, Г. Г. (2020). Перспективы применения кислотного геля для закачки проппанта в процессе проведения гидроразрыва карбонатных пластов на территории Самарской области. *Нефтяное хозяйство*, 8, 54-57.
34. Schamp, J. H., Estes, B. L., Keller, S. R. (2006, February). Torque reduction techniques in ERD wells. SPE-98969-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers*.
35. Viktorin, R. I., McDermott, J. K., Rush, R. C., Schamp, J. L. (2006, February). The next generation of Sakhalin extended-reach drilling. SPE-99131-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference, Miami, Florida, USA. Society of Petroleum Engineers*.
36. Galimullin, M. L., Khabibullin, M. Ya. (2020). Experience with sucker-rod plunger pumps and the latest technology for repair of such pumps. *Chemical and Petroleum Engineering*, 55(11-12), 896-901.
37. Walker, M. W. (2012). Pushing the extended reach envelope at Sakhalin: An operator's experience drilling a record reach well. SPE-151046-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, San Diego, California, USA. Society of Petroleum Engineers*.
38. Walker, M. W., Veselka, A., Harris, S. A. (2009, March). Increasing Sakhalin Extended reach drilling and completion capability. SPE-119373-MS. In: *The SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, Amsterdam, The Netherlands. Society of Petroleum Engineers*.
39. Гилаев, Г. Г., Хабибуллин, М. Я., Гилаев, Г. Г. (2020). Основные аспекты использования кислотного геля для закачки проппанта во время работ по гидроразрыву пласта на карбонатных коллекторах в волго-уральском регионе. *SOCAR Proceedings*, 4, 33-41.
40. Ambekar, A. S., Sivakumar, R. H., Anantharaman, N. A., Vivekenandan, M. D. (2016). CFD simulation study of shelf and tube heat exchangers with different baffle segment configurations. *Applied Thermal Engineering*, 108, 999-1007.
41. Третьяк, А. А., Савенок, О. В., Швец, В. В. (2019). Скважинные фильтры. *Новочеркасск: Колорит*.
42. Khabibullin, M. Ya. (2019). 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»*, 1333(4), 042013.
43. Bahamon, J. I., Garcia, C. E., Ulloa, M. J., Leal, J. H. (2015, November). Successful implementation of hydraulic fracturing techniques in high permeability heavy oil wells in the Llanos Basin-Colombia. SPE-177119-MS. In: *The SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Quito, Ecuador. Society of Petroleum Engineers*.
44. Боровский, Б. В., Язвин, А. Л. (2012). Основные этапы развития учения об оценке эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод в СССР и современной России. *Прошлое, настоящее, будущее. Недропользование XXI век*, 2, 44-54.
45. Batalov, D. A., Soloviev, N. N., Mukhametshin, V. Sh., et al. (2020). Forecasting the use of non-stationary waterflooding in the conditions of oil deposits in Western Siberia. *IOP: Earth and Environmental Science (EES)*, 579, 012020.
46. Khabibullin, M. Ya. (2019). Development of the design of the sucker-rod pump for sandy wells. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 560, 012065.
47. Боровский, Б. В., Язвин, А. Л. (2014). 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*, 5, 32-39.
48. Алексеев, В. С., Тесля, В. Г. (2009). Критерии проектирования фильтров водозаборных скважин. *Водоснабжение и санитарная техника*, 11, 32-38.
49. Ван, Х., Подгорнов, В. М. (2020). Скин-фактор композитного забойного фильтра. *Строительство скважин нефтяных и газовых скважин на суше и на море*, 3, 26-31.
50. Soloviev, N. N., Mukhametshin, V. Sh., Safiullina, A. R. (2020). Developing the efficiency of low-productivity oil deposits via internal flooding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 952, 012064.
51. Khabibullin, M. Ya. (2019). 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*, 1333(5), 052012.
52. Xiong, Y. A., Xu, H. J., Wang, Y. D., et al. (2018). Fluid flow with compaction and sand production in unconsolidated sandstone reservoir. *Petroleum*, 4(3), 358-363.
53. Каушанский, Д. А., Демьяновский, В. Б., Бакиров, Н. Р., Еременк, В. Б. (2020). Тестирование полимерно-гелевых систем «Темпоскрин-плюс ВПП» и «Темпоскрин-люкс» в условиях применения высокоминерализованных агентов закачки при высоких температурах пласта. *Нефтепромысловое дело*, 2 (614), 32-37.

54. Zhang, J., Lu, Y. (2019). Study on temperature distribution of ultra-deep wellbore and its effect on mechanical properties of surrounding rock. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 38, 2831-2839.
55. Бахтизин, Р. Н., Каримов, Р. М., Мастобаев, Б. Н. (2016). Обобщенная кривая течения и универсальная реологическая модель нефти. *SOCAR Proceedings*, 2, 43-49.
56. Ван, Х., Подгорнов, В. М. (2019). Проектирование мест расположения термокомпенсаторов для предотвращения деформации многослойных фильтров в горизонтальном стволе паронагнетательной скважины. *Газовая промышленность*, 4, 38-44.
57. Кашников, Ю. А., Ашихмин, С. Г., Кухтинский, А. Э. (2020). О связи коэффициентов трещиностойкости и геофизических характеристик горных пород месторождений углеводородов. *Записки Горного института*, 241, 83-90.
58. Mukhametshin, V. Sh. (2020). Rationale for the production of hard-to-recover deposits in carbonate reservoirs. *IOP: Earth and Environmental Science (EES)*, 579, 012012.
59. Хабибуллин, М. Я. (2018). Исследование процессов, происходящих в колонне труб при устьевой импульсной закачке жидкости в скважину. *Нефтегазовое дело*, 16(6), 34-39.
60. Бондаренко, В. А., Климовец, В. Н., Щетников, В. И. и др. (2013). Опыт борьбы с пескопроявлениями при эксплуатации скважин Анастасиевско-Троицкого месторождения Краснодарского края. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*, 6, 17-21.

References

- Zhanghua, L., Zeli, L., Hao, Y. (2018). Assessing the strength of casing pipes that contain corrosion pit defects. *Journal of Southwest Petroleum University*, 40(2), 86-94.
- Veliyev, E. F. (2021). Application of amphiphilic block-polymer system for emulsion flooding. *SOCAR Proceedings*, 3, 78-86.
- Khabibullin, M. Ya. (2020). Improvement of the process of hydrochloric acid treatment of wells using the latest technologies and equipment. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesource Engineering*, 331(10), 128-134.
- Sultanmagomedov, T. S., Bakhtizin, R. N., Sultanmagomedov, S. M. (2020). Study of pipeline movements in permafrost soils. *SOCAR Proceedings*, 4, 75-83.
- Wang, H., Podgornov, V. M., Mo, J. (2022). 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*, 1, 43-47.
- Dvoynikov, M. V., Oshibkov, A. V. (2013). Analysis of design solutions and technological methods for designing and implementing profiles of directional and horizontal wells. News of higher educational institutions. *Oil and Gas*, 4, 40-43.
- Kane, S. A., Shvets, S. V. (2015). Evaluation of the complexity of the trajectory of horizontal wells when running casing strings. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and at Sea*, 7, 38-41.
- Agishev, E. R., Dubinsky, G. S., Mukhametshin, V. V., et al. (2022). Prediction of hydraulic fracturing fracture parameters based on the study of reservoir rock geomechanics. *SOCAR Proceedings*, 4, 107-116.
- Khabibullin, M. Ya. (2020). Increasing the efficiency of separation of fluid systems when collecting formation fluid. *Oil and Gas Business*, 18 (2), 64-71.
- Moiseev, K. V., Kuleshov, V. S., Bakhtizin, R. N. (2020). Free convection of a linearly inhomogeneous liquid in a square cavity under lateral heating. *SOCAR Proceedings*, 4, 108-116.
- Kane, S. A., Andronov, I. N., Shvets, S. V., Pyatibrat, V. P. (2016). Development of a filter-tail design for fastening long horizontal sections. *Petroleum Engineer*, 1, 24-28.
- Veliyev, E. F., Aliyev, A. A., Mammadbayli, T. E. (2021). Machine learning application to predict the efficiency of water coning prevention techniques implementation. *SOCAR Proceedings*, 1, 104-113.
- Khabibullin, M. Ya., Suleimanov, R. I. (2019). Development of automatic systems for controlling and assessing the technological properties of grain processing products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 560, 012024.
- Al-Rubaii, M., Gajbhiye, R., Al-Yami, A., et al. (2020, January). Automated evaluation of hole cleaning efficiency while drilling improves rate of penetration. IPTC-19809-MS. In: *The International Petroleum Technology Conference, Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia*.
- Shvets, S. V., Kane, S. A. (2015). Prospects for the application of the method of running casing strings with a lightweight lower section. *Resources of the European North. Technologies and economics of development*, 2, 81-90.
- Gilaev, G. G. (2004). Control of technological processes for the intensification of oil production. *Oil Industry*, 10, 74-77.
- Suleimanov, R. I., Khabibullin, M. Ya., Suleimanov, R. I. (2019). Analysis of the reliability of the power cable of an electric-centrifugal pump unit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 378, 012054.
- Karim, A., Du, C., Hansson, G. (2008). Influence of exposure to 980 nm laser radiation on the luminescence of Si: Er/O light-emitting diodes. *Journal of Applied Physics*, 12, 123110.
- Gupta, V. P., Sanford, S. R., Mathis, R. S., et al. (2013, March). Case history of a challenging thin oil column extended reach drilling (ERD) development at Sakhalin. SPE-163487-MS. In: *The SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, The Netherlands. Society of Petroleum Engineers*.
- Helmy, M. W. (2016, October). Application of new technology in the completion of ERD wells Sakhalin-1 development. SPE-103587-MS. In: *The SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers*.

21. Shturn, L. V., Kononenko, A. A., Denisov, S. O. (2010). Domestic filters for well completion. *Territory Neftegaz*, 6, 57-61.
22. Yakupov, R. F., Rabaev, R. U., Mukhametshin, V. V., et al. (2022). Analysis of the implemented development system effectiveness, horizontal wells drilling and well interventions in the conditions of carbonate deposits of the Tournaisian tier of the Znamenskoye oil field. *SOCAR Proceedings*, 4, 97-106.
23. Khabibullin, M. Ya., Suleimanov, R. I. (2019). Improving the reliability of welded joints of pipelines in the system for maintaining reservoir pressure. *Oil and Gas Business*, 17(5), 93-98.
24. Shaken, M. Sh. (2019). Studying the applicability of acid treatment in conglomerate reservoir. *SOCAR Proceedings*, 4, 23-31.
25. Rogov, E. A. (2020). Investigation of the permeability of the bottomhole zone of wells under the influence of process fluids. *Notes of the Mining Institute*, 242, 169-173.
26. Mukhametshin, V. V., Kuleshova, L. S. (2022). Improving the lower cretaceous deposits development efficiency in Western Siberia employing enhanced oil recovery. *SOCAR Proceedings*, SI1, 9-18.
27. Khabibullin, M. Ya. (2019). 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»*, 042012.
28. Kazymov, Sh. P., Ahmed, F. (2015). Experience and prospects for the use of well filters with inflow control devices. *SOCAR Proceedings*, 2, 32-40.
29. Hossain, M. E., AlMejed, A. A. (2015). Fundamental of sustainable drilling engineering. *Chichester: Scrivener Publishing LLC*.
30. Shvets, S. V., Kane, S. A. (2014). Influence of horizontal well trajectory parameters on casing running. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and at Sea*, 7, 19-23.
31. James, R. W., Pastusek, P. J., Kuhn, G. R., et al. (2012, March). Successful optimization strategies combine to deliver significant performance boost at the edge of the ERD envelope Sakhalin Island, Russia. SPE-150959-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, San Diego, California, USA. Society of Petroleum Engineers*.
32. Sanford, S. R., Walker, M. W., Brock, J. N., et al. (2014, March). New rotary shouldered connection expands the capability of world record ERD operation. SPE-168049-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, Fort Worth, Texas, USA. Society of Petroleum Engineers*.
33. Gilaev, Gen. G., Khabibullin, M. Ya., Gilaev, G. G. (2020). Prospects for the use of acid gel for proppant injection in the process of hydraulic fracturing of carbonate formations in the Samara region. *Oil Industry*, 8, 54-57.
34. Schamp, J. H., Estes, B. L., Keller, S. R. (2006, February). Torque reduction techniques in ERD wells. SPE-98969-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers*.
35. Viktorin, R. I., McDermott, J. K., Rush, R. C., Schamp, J. L. (2006, February). The next generation of Sakhalin extended-reach drilling. SPE-99131-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference, Miami, Florida, USA. Society of Petroleum Engineers*.
36. Galimullin, M. L., Khabibullin, M. Ya. (2020). Experience with sucker-rod plunger pumps and the latest technology for repair of such pumps. *Chemical and Petroleum Engineering*, 55(11-12), 896-901.
37. Walker, M. W. (2012). Pushing the extended reach envelope at Sakhalin: An operator's experience drilling a record reach well. SPE-151046-MS. In: *The IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, San Diego, California, USA. Society of Petroleum Engineers*.
38. Walker, M. W., Veselka, A., Harris, S. A. (2009, March). Increasing Sakhalin Extended reach drilling and completion capability. SPE-119373-MS. In: *The SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, Amsterdam, The Netherlands. Society of Petroleum Engineers*.
39. Gilaev, Gen. G., Khabibullin, M. Ya., Gilaev, G. G. (2020). The main aspects of using acid gel for proppant injection during hydraulic fracturing operations on carbonate reservoirs in the Volga-Ural region. *SOCAR Proceedings*, 4, 33-41.
40. Ambekar, A. S., Sivakumar, R. H., Anantharaman, N. A., Vivekenandan, M. D. (2016). CFD simulation study of shelf and tube heat exchangers with different baffle segment configurations. *Applied Thermal Engineering*, 108, 999-1007.
41. Tretyak, A. A., Savenok, O. V., Shvets, V. V. (2019). Downhole filters. *Novocherkassk: Color*.
42. Khabibullin, M. Ya. (2019). 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»*, 1333(4), 042013.
43. Bahamon, J. I., Garcia, C. E., Ulloa, M. J., Leal, J. H. (2015, November). Successful implementation of hydraulic fracturing techniques in high permeability heavy oil wells in the Llanos Basin-Colombia. SPE-177119-MS. In: *The SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Quito, Ecuador. Society of Petroleum Engineers*.
44. Borevsky, B. V., Yazvin, A. L. (2012). 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*, 2, 44-54.
45. Batalov, D. A., Soloviev, N. N., Mukhametshin, V. Sh., et al. (2020). Forecasting the use of non-stationary waterflooding in the conditions of oil deposits in Western Siberia. *IOP: Earth and Environmental Science (EES)*, 579, 012020.
46. Khabibullin, M. Ya. (2019). Development of the design of the sucker-rod pump for sandy wells. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 560, 012065.
47. Borevsky, B. V., Yazvin, A. L. (2014). Once again about 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*, 5, 32-39.

48. Alekseev, V. S., Teslya, V. G. (2009). Criteria for designing filters for water wells. *Water Supply and Sanitary Engineering*, 11, 32-38.
49. Wang, H., Podgornov, V. M. (2020). Skin factor of the composite downhole filter. *Construction of Wells for Oil and Gas Wells on Land and at sea*, 3, 26-31.
50. Soloviev, N. N., Mukhametshin, V. Sh., Safiullina, A. R. (2020). Developing the efficiency of low-productivity oil deposits via internal flooding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 952, 012064.
51. Khabibullin, M. Ya. (2019). 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*, 1333(5), 052012.
52. Xiong, Y. A., Xu, H. J., Wang, Y. D., et al. (2018). Fluid flow with compaction and sand production in unconsolidated sandstone reservoir. *Petroleum*, 4(3), 358-363.
53. Kaushansky, D. A., Demyanovsky, V. B., Bakirov, N. R., Eremenk, V. B. (2020). Testing of polymer-gel systems «Temposcreen-plus VPP» and «Temposcreen-Lux» in conditions of application of highly mineralized injection agents at high reservoir temperatures. *Oilfield Business*, 2 (614), 32-37.
54. Zhang, J., Lu, Y. (2019). Study on temperature distribution of ultra-deep wellbore and its effect on mechanical properties of surrounding rock. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 38, 2831-2839.
55. Bakhtizin, R. N., Karimov, R. M., Mastobaev, B. N. (2016). Generalized flow curve and universal rheological model of oil. *SOCAR Proceedings*, 2, 43-49.
56. Wang, H., Podgornov, V. M. (2019). Designing locations for thermal compensators to prevent deformation of multilayer filters in a horizontal wellbore of a steam injection well. *Gas Industry*, 4, 38-44.
57. Kashnikov, Yu. A., Ashikhmin, S. G., Kukhtinsky, A. E. (2020). On the relationship between crack resistance coefficients and geophysical characteristics of rocks of hydrocarbon deposits. *Notes of the Mining Institute*, 241, 83-90.
58. Mukhametshin, V. Sh. (2020). Rationale for the production of hard-to-recover deposits in carbonate reservoirs. *IOP: Earth and Environmental Science (EES)*, 579, 012012.
59. Khabibullin, M. Ya. (2018). Investigation of the processes occurring in the pipe string during wellhead impulse injection of liquid into the well. *Oil and Gas Business*, 16 (6), 34-39.
60. Bondarenko, V. A., Klimovets, V. N, Shchetnikov, V. I., et al. (2013). Experience in combating sand manifestations during the operation of wells of the Anastasievsko-Troitskoye field in the Krasnodar Territory. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and at Sea*, 6, 17-21.

Оптимальный выбор противопесочных фильтров для эксплуатационных скважин на основании лабораторно-экспериментальных исследований

М. Я. Хабибуллин, В. Ш. Мухаметшин, Р. И. Сулейманов

Институт нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной
технический университет (филиал в г. Октябрьском), Россия

Реферат

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. Для рационального выбора противопесочного фильтра в скважине необходимо проводить экспериментальные стендовые исследования с учетом скважинных условий. 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; зависимость расстояния между элементами фильтра и эксплуатационной колонной на работоспособность противопесочного фильтра. Главной составной частью стенда является имитирующая круговую модель пласта фильтрационный лоток комбинированной формы. На основании результатов экспериментальных исследований предложены оптимальные конструкции противопесочных фильтров. Для выбора необходимо учитывать гидравлические параметры его работы, которые можно определить с учетом проведенных стендовых исследований фильтроэлементов двух типов: блочные и каркасно-стержневые с проволоочной обмоткой, как в условиях открытого, так и обсаженного ствола, как наиболее перспективных по применению.

Ключевые слова: фильтрация; жидкость; призабойная; зона; скважина; противопесочный фильтр.

Laboratoriya və eksperimental tədqiqatlar əsasında istismar quyuları üçün qum əleyhinə süzğəclərin optimal seçimi

M. Y. Xabibullin, V. Ş. Muxametşin, R. İ. Suleymanov

Ufa Dövlət Neft Texniki Universitetinin Neft və Qaz İnstitutu (Oktyabrski filiali), Rusiya

Xülasə

Tədqiqatın aktualığı quyudibi zonaya yaxşı təmizlənmiş lay mayesinin daxil olmasının təmin edilməsi zəruriyyətindən irəli gəlir. Konstruksiyasında qum əleyhinə süzğəclər olan istismar quyuları ilə layın açılması zamanı onun açılma dərəcəsi və xarakteri ilə xarakterizə olunan, qoruyucu süzğəclərin konstruksiyaları ilə əsaslandırılan bəzi çatışmazlıqlar mövcuddur. Quyuda qum əleyhinə süzğəclərin rəşional seçimi üçün quyuyu şəraitinin nəzərə alınması ilə eksperimental stend tədqiqatlarının aparılması lazımdır. Bu məsələnin yerinə yetirilməsi üçün mayenin qumla buraxıla bilən miqdarının; qarışıq mayenin süzülməsi zamanı süzğəcdən keçən qumların həcmnin və qranulometrik vəziyyətinin; quyudibi zonadakı süxurların vəziyyətinin və quruluşunun dəyişilməsinin; süzğəcin elementləri ilə istismar kəməri arasındakı məsafənin qum əleyhinə süzğəcin işləmə qabiliyyətindən asılılığının təyin edilməsini təmin edən stend yaradılmışdır. Stendi təşkil edən əsas hissə dairəvi lay modelini təqlid edən kombinə edilmiş süzğəc novudur. Eksperimental tədqiqatların nəticələrinə əsasən, qum əleyhinə süzğəclərin optimal konstruksiyaları təklif edilmişdir. Seçim etmək üçün süzğəcin hidravlik parametrlərini nəzərə almaq lazımdır ki, bunu da həm açıq, həm də qoruyucu kəməş şəraitində istifadəsinə görə ən perspektivli hesab olunan məftil sarğılı bloklu və karkas-çubuqlu iki növ süzğəc elementlərinin stend tədqiqatlarını nəzərə almaqla müəyyən etmək olar.

Açar sözlər: süzülmə; maye; quyudibi zona; quyuyu; qum əleyhinə süzğəc.