

УДК 622.23.05

**ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ФИЛЬТРОВ В СОСТАВЕ ПОГРУЖНЫХ
ЭЛЕКТРО-ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ****REVIEW OF FILTER DESIGNS USED IN OIL PRODUCTION BY MEANS OF
ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMPS****Колмаков Егор Андреевич¹,**аспирант, e-mail: kolmakov.ea124@gmail.com**Kolmakov Egor A. ¹,** Post graduate student**Кондрашов Пётр Михайлович¹,**канд.техн.наук, e-mail: pkondrashov@sfu-kras.ru**Kondrashov Petr M. ¹,** C.Sc. (Engineering**Зеньков Игорь Владимирович^{1,2},**доктор техн. наук, e-mail: zenkoviv@mail.ru**Zenkov Igor V. ²,**Dr.Sc. (Engineering)¹Сибирский федеральный университет, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79.¹Siberian Federal University, 79 Svobodny Prospect Krasnoyarsk 660041 Russia²Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» КНЦ СО РАН, 660049, Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 53.²Special Design and Technological Bureau "Nauka" KSC SB RAS, 53 Mira Prospect Krasnoyarsk 660049 Russia

Аннотация: В статье рассмотрены применяемые конструкции фильтров, входящих в состав установок электроцентробежного насоса (УЭЦН), на нефтегазовых месторождениях РФ. Проведен анализ этих конструкций фильтров, а также их параметров. Определены оптимальные условия эксплуатации, в которых та или иная конструкция фильтра имеет наибольшее рациональное применение. Обосновывается необходимость совершенствования применяемых конструкций, в условиях большого содержания механических примесей в добываемом пластовом флюиде. Сформулированы предпосылки к совершенствованию некоторых конструкций фильтров.

Abstract. The article describes the construction of the filters that are part of electric centrifugal pump (ECP), oil and gas fields of the Russian Federation. The analysis of these filter designs and their parameters. The optimal conditions of operation, in the region where the filter design has the most rational use. The necessity of improving the current structures, a high content of mechanical impurities in the produced formation fluid. The preconditions for improvement in some filter designs.

Ключевые слова: установка электроцентробежного насоса; механизированный фонд скважин; механические примеси; фильтроэлемент; фильтр.

Keywords: electric submersible pump; mechanized well stock; solid particles; filter element; filter;

Добыча углеводородных ресурсов в Российской Федерации является ключевой отраслью экономики, наиважнейший из которых является добыча нефти и газа. В основных нефтегазодобывающих регионах страны, таких как Тюменская область, ХМАО, Иркутская область и Красноярский край, добыча углеводородов ведется в осложненных условиях и в условиях высоких дебитов скважин. В данных регионах наиболее актуальным методом добычи является механизированный метод, то есть использование УЭЦН и установок скважинных штанговых насосов (УСШН). Наиболее эффективным способом механизированной добычи для обеспечения высоких дебитов является использование установок электроцентробежно-

го насоса, так как УЭЦН конструктивно приспособлены к высоким дебитам. На сегодняшний день имеется широкий ассортимент данных установок, от дорогих зарубежных, до установок отечественного производства среднего и низкого ценовых диапазонов.

Как показывает статистика [1,10], в условиях эксплуатации скважин с помощью УЭЦН в регионах Сибири, имеет место ряд осложнений, процентное соотношение которых может варьироваться от месторождения к месторождению, от скважины к скважине. Наиболее часто встречающиеся осложнения:

- засорение рабочих органов насоса механическими примесями;

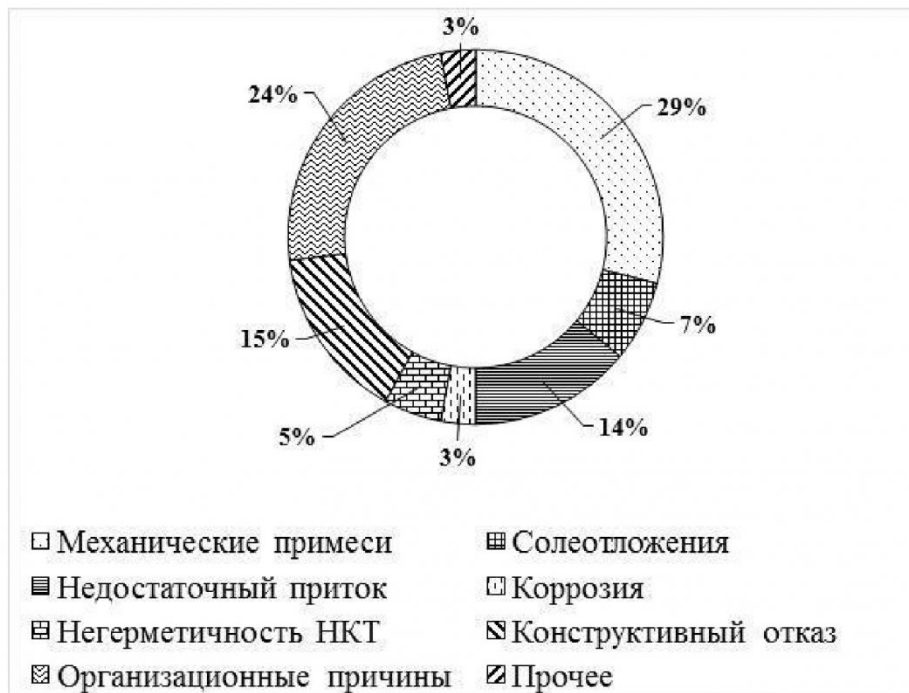


Рисунок 1 – Причины отказов УЭЦН в ОАО «НГК «Славнефть»

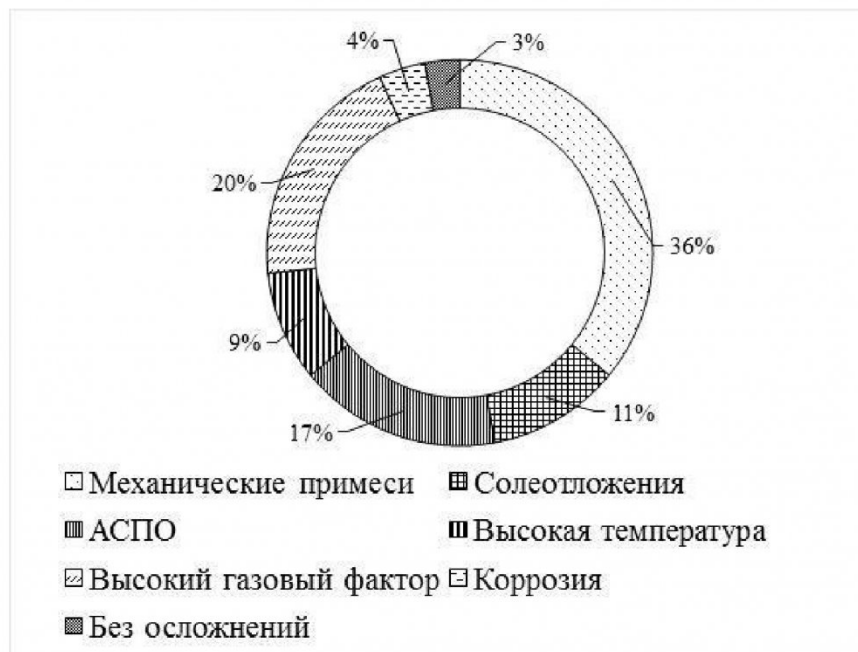


Рисунок 2 – Причины отказов УЭЦН в ООО «РН-Пурнефтегаз»

- солеотложения на рабочих органах насоса;
- геолого-технические мероприятия (ГТМ);
- выработка ресурса;
- прочее.

Все же, на многих нефтепромыслах преобладающей причиной преждевременных отказов, в большинстве случаев, служит наличие механических примесей в пластовом флюиде, что наглядно представлено на диаграммах (рис.1- .2).

В настоящее время, российские нефтегазодобывающие компании, в большинстве своем, обно-

вили парк погружных насосных установок, однако все же на российских нефтепромыслах встречаются не самые современные погружные центробежные насосные установки, которые имеют устаревшие конструктивные решения для защиты от твердых включений в добываемом флюиде. Срок службы такого оборудования значительно ниже современных аналогов, что ведет к существенным затратам на подъем и последующий ремонт оборудования. Как правило, современные технологичные износостойкие погружные центробежные

насосы могут прослужить больше обычных насосов не износостойкого исполнения, но не все добывающие компании готовы на их покупку, так как цены на них могут достигать цены нескольких обычных УЭЦН. Но даже в таком случае необходимо предпринимать дополнительные меры для ограничения попадания механических примесей в насос установки, так как в УЭЦН не износостой-

стве компоновки УЭЦН применяются фильтры, установленные на приеме насоса, либо десендеры. Применение десендеров зачастую является экономически нецелесообразным, так как их стоимость превышает стоимость фильтров; также, при использовании сепаратора механических примесей, существует большая вероятность попадания мелкодисперсных частиц в насос, что, соответственно

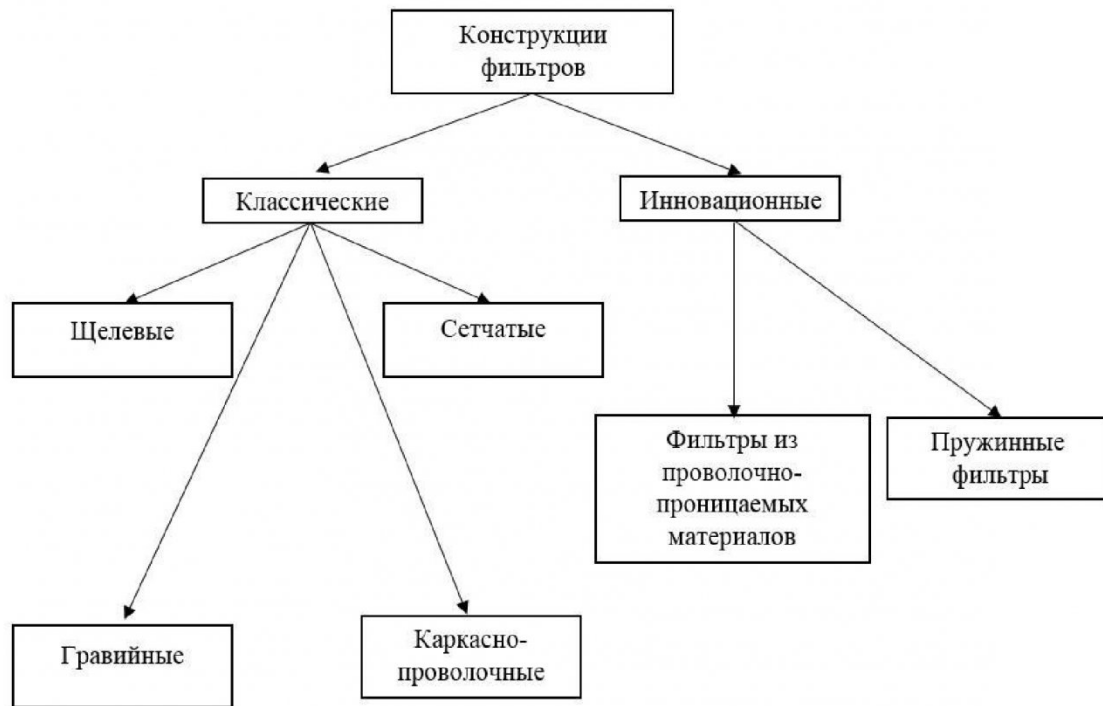


Рисунок 3 – Конструкции фильтров

кого исполнения допускается концентрация взвешенных частиц (КВЧ) до 0,2-0,5 г/л, а в УЭЦН износостойкого исполнения этот лимит, как правило, составляет до 1,5 г/л.

Механические примеси, содержащиеся в скважине, представляют собой фракции частиц пласта, продукты коррозии оборудования, материалы попавшие в скважину в результате ГТМ, а также другие объекты попавшие в скважину с поверхности.

Условно способы борьбы с выносом механических примесей можно разделить на технологические и технические. К технологическим относятся такие методы как закрепление проппанта, кратковременная эксплуатация скважин. К техническим методам относятся установка скважинных фильтров, либо сепараторов механических примесей. [2]

Для достижения наиболее высоких технико-экономических показателей при эксплуатации механизированного фонда скважин, в условиях выноса твердых включений, находящихся в пластовой жидкости во взвешенном состоянии, в со-

может привести к вибрации, эрозийному износу насоса, а также увеличению вероятности его заклинивания.

В настоящее время, в условиях падения цен на нефть и роста курса доллара, нефтегазодобывающие компании ищут способы сократить издержки. В данной ситуации все больше нефтегазодобывающих компаний приобретают оборудование отечественного производства, стоимость которого ниже стоимости зарубежного оборудования и сопоставимого с ним по качеству исполнения. В линейке фильтров отечественных производителей имеются как «классические» конструкции фильтров, так и современные инновационные. Однако многие из этих конструкций мало чем отличаются друг от друга, тогда наиболее весомым аргументом выбора фильтра определенной конструкции становится его стоимость.

На сегодняшний день нет единой схемы подбора фильтра к скважине с учетом эксплуатируемой УЭЦН. Процедура подбора фильтра носит эмпирический характер и учитывает условия эксплуатации скважины, а также пробы горно-

минералогического состава скважины. К тому же, производители фильтров зачастую не указывают некоторые параметры фильтров, что затрудняет нефтяникам их подбор.

Для любой конструкции фильтров, существует набор свойств, многие из которых относятся непосредственно к ФЭ. Исходя из уже существующей классификации свойств фильтрационных материалов [3], дополнив ее и привести ее в соответствие с рассматриваемым оборудованием, можно составить классификацию свойств фильтров используемых в составе УЭЦН (см. табл. 1).

«Классические» конструкции фильтров используют в механизированном фонде скважин достаточно долго, однако за это время такие конструкции фильтров не претерпели серьезных изменений. Одними из первых начали использовать щелевые фильтры, они же трубчатые, которые имеют наиболее простую конструкцию, зачастую представляющую собой перфорированную трубу определенного диаметра. Перфорация в таких фильтрах обычно является круглой или щелевой. В обоих случаях применение щелевых фильтров ограничено в связи с трудностями изготовления отверстий в соответствии с размерами твердых примесей. Однако трубчатые фильтры с круглой перфорацией возможно применять в скважинах с содержанием крупных частиц, например, щебня и гальки размерами от 20 до 100 мм или же при обработке пластовых месторождений с использованием гравийной обсыпки в призабойной зоне пласта (ПЗП). Трубчатые фильтры с щелевой перфорацией имеют гораздо большее применение. Расположение таких щелей может быть симметричным, в шахматном порядке, или же щели могут располагаться горизонтально. Модуль-фильтры с щелевой фильтрационной поверхностью размером щели 1 мм обеспечивают хорошую фильтрацию в породах с содержанием гравия и гравелистого песка с размерами частиц от 1 до 10 мм. Щелевые фильтры применяются в выше перечисленных случаях исходя из экономической целесообразности, так как нет необходимости применения дорогостоящих фильтров с высокой степенью фильтрации мелкодисперсных частиц. Из недостатков можно выделить самый низкий параметр скважности относительно других рассматриваемых конструкций фильтров.

Благодаря своим фильтрационным свойствам, сетчатые фильтры нашли наибольшее применение на месторождениях РФ, так как подавляющие

большинство выносимых твердых примесей зачастую имеет размер от 0,1 до 0,3 мм. Новые модели данного типа фильтров могут обеспечивать фильтрацию частиц до 0,05 мм. Наиболее рациональным использованием сетчатых фильтров является их применение в скважинах с большим содержанием среднезернистого песка, с размерами частиц 0,25-0,5 мм, а также мелкозернистого, с размерами частиц от 0,1 до 0,25 мм. В таких случаях в качестве фильтрующего элемента(ФЭ) оптимальным решением является применение сетки галунной конфигурации. К недостаткам следует отнести невозможность фильтрации мелкодисперсных фракций песка размером от 10 до 30 мкм.

Проволочные модуль-фильтры в составе УЭЦН используются как для защиты от механических примесей крупного размера, так и для уменьшения вероятности попадания на прием в насос более мелких частиц. Применение проволочных фильтров при соблюдении методики подбора способствует эффективной фильтрации флюида, а также помогает избежать забивания фильтрующего элемента. Данный тип фильтров применим в пластах полускальных неустойчивых, щебенистых и галечниковых породах с преобладающим размером механических включений щебня и гальки от 20 до 100 мм, а также в породах с большим содержанием гравия и гравелистого песка с размером частиц от 1 до 10 мм. Но наиболее рациональным является их применение в пластах, содержащих крупнозернистые пески с преобладающей крупностью частиц 1–2 мм (более 50 % по массе). В данном случае используются треугольные профили проволоки, причем одна из вершин направлена внутрь фильтра, а две другие находятся на его внешней стороне. Это позволяет избежать цементации таких щелей и уплотнения породы, а наоборот, стимулирует вынос частиц, меньших по размеру щели, и очищение профильтрованной зоны от шлама, мелких фракций и кольянтамов.

Гравийные фильтры делятся на два типа: подвесные и намывные. Подвесные гравийные фильтры представляют собой цельную конструкцию с запрессованной внутри корпуса гравийной набивкой, зачастую обработанной эпоксидной смолой. Подвесные фильтры полностью изготавливают на поверхности. Намывные фильтры наоборот, сооружаются непосредственно в скважине. Эти фильтры представляют собой запрессованный обработанный гравий между входным модулем

Таблица 1 - Свойства фильтров

Фильтрационные свойства	Прочностные свойства	Ресурсные свойства	Структурные свойства
Тонкость фильтрации	Прочность на разрыв	Фильтруемость	Скважинность
Коэффициент сепарации	Прочность на изгиб	Грязеёмкость	Гидравлическое сопротивление
Регенерируемость	Прочность на продавливание	Ресурс работы	Размер фильтрационных ячеек

или фильтром УЭЦН и продуктивным интервалом, под давлением выше пластового [4].

Гравийные фильтры рационально применять как в среднезернистых, так и в мелкозернистых песках, так как в этих случаях этот тип фильтров наиболее эффективен. В породах с преобладанием среднезернистого песка и других крупнодисперсных частиц использование такой конфигурации фильтров является целесообразным, но, как правило, экономически невыгодным. Наиболее рациональным является применение гравийных фильтров в мелкозернистых песках, так как они обеспечивают как хорошую пропускную способность пластового флюида, так и фильтрацию мелкодисперсных частиц. Основным преимуществом таких фильтров перед остальными является возможность использовать их при большой неоднородности механических примесей. Наряду с достоинствами, гравийные фильтры имеют следующие недостатки:

- сложность сооружения намывных фильтров;
- наиболее высокая цена по сравнению с другими конструкциями;
- ограничение притока из пласта вызванное закупориванием мелкими частицами, способно вызвать кольматацию фильтрующей зоны (отложение глины, окислов железа, выпадение солей при несовместимости водных растворов) [5].

Новые инновационные конструкции стали появляться в конце 2000-х годов и уже нашли свою область применения.

Фильтры с ФЭ из проволочно-проницаемых материалов (ППМ) были представлены в 2009 году компанией «Реам-РТИ» [6]. ППМ представляет собой деформированную по спирали сплетенную проволоку, образующую открытопористую упругую систему [7]. Тонкость фильтрации может достигать 30 мкм, такой показатель является актуальным для многих регионов РФ [8]. ФЭ из ППМ выполнены в виде колец, которые закреплены в каркасе. Данная конструкция обладает высокой регенеративной способностью при применении обратной промывки фильтра, не является чувствительной к ударным нагрузкам, в виду высокой упругости материала, а также обладает повышенной скваженностью, что позволяет сократить общую длину изделия. Минусы у таких фильтров тоже имеются: возможно смятие защитных колец удерживающих ППМ, а также, ухудшение притока в насос в условиях большого содержания мелкодисперсных частиц песка и глины при наработке фильтра более 180 суток [9].

Пружинные фильтры еще не нашли такого широкого применения как классические конструкции фильтров, однако имеют неплохой потенциал в развитии. Принцип работы таких фильтров во многом схож с обычными щелевыми фильтрами, но вместо намотанной на каркас проволоки, в качестве ФЭ используется сжатая пружина из нержавеющей стали с круглым сечением. Тонкость фильтрации может достигать 0,75 мм, что позволяет такой конструкции фильтра конкурировать с щелевыми. Имеется возможность регулировки межвиткового зазора, однако такая операция производится только на поверхности, что ставит под сомнение эту инновацию. В основном такой тип фильтров применяется в составе УСШН, то есть при малых дебитах, применение в составе высокодебитных УЭЦН ставится под сомнение.

Если рассматривать конструкции фильтров в целом, все они имеют общие недостатки:

- невозможность регенерации фильтра в процессе эксплуатации;
- фильтры являются неремонтопригодными;
- механические примеси не удаляются из скважины, а лишь задерживаются фильтром, что способствует ограничению притока из скважины.

Наиболее перспективными в плане исследования и внесения конструктивных улучшений, с учетом всех рассмотренных достоинств и недостатков являются сетчатые и гравийные конструкции, а также фильтры сделанные на основе ППМ. Ключевыми направлениями в совершенствовании конструкций фильтров являются:

- применение современных полимерных материалов в качестве ФЭ;
- реализация регенерации фильтра без остановки добычи;
- удешевление конструкций, для достижения более высокого экономического эффекта.

Таким образом, каждая конструкция фильтров имеет определенные оптимальные условия эксплуатации, ряд достоинств и недостатков, но не одна из них не является универсальной. В сложных эксплуатационных условиях, таких как непредвиденный вынос механических частиц неучтенного гранулометрического состава в результате ГТМ или при выполнении других операций, большинство конструкций фильтров будут неспособны задержать эти примеси. Именно по этому конструкции фильтров нуждаются в более глубоком изучении для их дальнейшего совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мельниченко В.Е. Славнефть: анализ работы мехфонда скважин // Нефтегазовая вертикаль. 2011. № 11. С.48
2. Камалетдинов Р.С., Лазарев. А.Б. Обзор существующих методов борьбы с мехпримесями. // Инженерная практика. 2010. №2. С. 6-13.

3. Коваленко В.П. Очистка нефтепродуктов от загрязнения. М.: Недра, 1990. 160 с.
4. Сьюмен Д., Эллис Р., Снайдер Р. Справочник по контролю и борьбе с пескопроявлениями в скважинах: Пер. с англ. М.: Недра, 1986. С. 86-88
5. Сабиров А.А., Соколов Н.Н. и другие. О возможности использования десендеров в борьбе с песком. Режим доступа: http://www.autotechnologist.com/images/Files/Artilce_Bulat/2010No.3.pdf.
6. Николаев В.В. Погружные фильтры из ППМ: анализ эксплуатации. // Нефтегазовая вертикаль. 2011. №13-14. С. 124-125
7. Пятков И.С., Кирпичев Ю.В. Фильтры ООО «РЕАМ-РТИ» для защиты оборудования от песка и проппанта. // Инженерная практика. 2014. №02. С. 36-38
8. Кирпичев Ю.В. О способности структур из проволоочных проницаемых материалов(ППМ) к регенерации. Фильтры с фильтроэлементами из ППМ // Механизированная добыча 2015: докл. XII международная практическая конференция и выставка Москва: С. 1-21.
9. Кирпичев Ю.В. Сабиров А.А. Фильтрующие перегородки из ППМ- новые возможности защиты оборудования от песка и проппанта. Режим доступа: <http://www.stpi.ru/images>.
10. Незасорная эксплуатация: борьба с влиянием мехпримесей при механизированной добыче. // Инженерная практика. 2010. №4. С.44-51

REFERENCES

1. Mel'nichenko V.E. Slavneft': analiz raboty mehfonda skvazhin // Neftegazovaja vertikal'. 2011. № 11. S.48
2. Kamaletdinov R.S., Lazarev. A.B. Obzor sushhestvujushhих metodov bor'by s mehprimesjami. // Inzhenernaja praktika. 2010. №2. S. 6-13.
3. Kovalenko V.P. Ochistka nefteproduktov ot zagrjaznenija. M.: Nedra, 1990. 160 s.
4. Sjumen D., Jellis R., Snajder R. Spravochnik po kontrolju i bor'be s peskoproyavlenijami v skvazhinah: Per. s angl. M.: Nedra, 1986. S. 86-88
5. Sabirov A.A., Sokolov N.N. i drugie. O vozmozhnosti ispol'zovanija desenderov v bor'be s peskom. // Territorija neftegaz. №3. S.74-76
6. Nikolaev V.V. Pogruznyje fil'try iz PPM: analiz jekspluatacii. // Neftegazovaja vertikal'. 2011. №13-14. S. 124-125
7. Pjatov I.S., Kirpichev Ju.V. Fil'try ООО «РЕАМ-РТИ» dlja zashhity oborudovanija ot peska i proppanta. // Inzhenernaja praktika. 2014. №02. S. 36-38
8. Kirpichev Ju.V. O sposobnosti struktur iz provolochnyh pronicaemyh materialov(PPM) k regeneracii. Fil'try s fil'trojelementami iz PPM // Mehanizirovannaja dobycha 2015: dokl. XII mezhdunarodnaja prakticheskaja konferencija i vystavka Moskva: S. 1-21.
9. Kirpichev Ju.V. Sabirov A.A. Fil'trujushhie peregorodki iz PPM- novye vozmozhnosti zashhity oborudovanija ot peska i proppanta. Rezhim dostupa: <http://www.stpi.ru/images/pdf/>
10. Nezasornaja jekspluatacija: bor'ba s vlijaniem mehprimesej pri mehanizirovannoj dobyche. // Inzhenernaja praktika. 2010. №4. S.44-51

Поступило в редакции ю24.02.2016
Received 24 February 2016