

УДК 628.543:622.323(043)

В.Н. Ивановский, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина; **А.А. Сабиров**, к.т.н., доцент, зав. лабораторией, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина; **А.В. Булат**, к.т.н., научный сотрудник, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина; **А.В. Деговцов**, к.т.н., доцент, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина; **А.В. Усенков**, начальник управления добычи нефти, ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»; **А.Р. Брезгин**, начальник отдела ППД, ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»; **А.Ю. Дурбажев**, начальник отдела ППН, ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»; **Т.А. Сюр**, начальник отдела защиты от коррозии, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» ПермНИПИнефть в городе Перми; **С.Е. Сорокин**, руководитель проекта департамента по развитию, ООО «ЭЛКАМ»; **И.С. Пятов**, председатель совета директоров, ООО «РЕАМ-РТИ»; **А.М. Шевкун**, руководитель направления, ООО «РЕАМ-РТИ»

Системы очистки воды для нужд поддержания пластового давления и промышленной подготовки нефти

Представлены конструктивные схемы многоступенчатых систем очистки технической воды от механических примесей и результат их применения на объектах ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь».

Ключевые слова: техническая вода, механические примеси, система поддержания пластового давления, система подготовки нефти, сепараторы, фильтры.

Система поддержания пластового давления (ППД) является одной из наиболее важной с точки зрения эффективной разработки нефтяных месторождений. При неправильной работе системы ППД невозможно обеспечить требуемый коэффициент извлечения нефти, обеспечить оптимальные затраты энергии на закачку воды и извлечение пластового флюида, снизить затраты на проведение обслуживания и ремонта скважин и нефтегазового оборудования.

Количество, размеры и состав твердых взвешенных частиц (ТВЧ) в технологической и пластовой жидкости, так же как наличие механических примесей в перекачиваемом газе, имеют очень большое значение для технико-экономической эффективности практически всех процессов добычи нефти. В частности, наличие ТВЧ в технической или попутной воде снижает эффективность операций поддержания пластового давления (ППД) и промышленной подготовки нефти (ППН) за счет:

- 1) абразивного износа наземного и скважинного оборудования;
- 2) снижения приемистости призабойной зоны пласта (ПЗП) нагнетательных скважин;

3) увеличения расхода реагентов при разделении продукции скважин при ППН.

Именно поэтому количество механических примесей в воде, используемой, например, для системы ППД, не должно превышать 50 мг/л, размеры частиц должны быть не более 0,005 мм



Рис. 1. Одноступенчатая однолинейная система СО: 1 – подача воды от водовода высокого давления; 2 – модуль сепаратора механических примесей; 3 – выход очищенной воды; 4 – устье нагнетательной скважины; 5 – шламособорник; 6 – задвижка

(согласно СТП-07-03.4-15-001-09 ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» [1] и ОСТ 39-225-88 «Требования к качеству воды, используемой для заводнения нефтяных месторождений» нефтяной промышленности). И если пробы на выходе из аппаратов подготовки воды (растворный узел, установки подготовки воды и т.д.) практически соответствуют отраслевым стандартам и стандартам предприятий, то пробы на устье скважины показывают 4–5-кратное превышение ТВЧ и 20-кратное превышение размеров механических примесей. Причинами этого являются коррозия водоводов низкого и высокого давления, кристаллизация и выпадение солей за счет изменения термобарических условий в потоке перекачиваемой технической воды.

Для борьбы с механическими примесями (ТВЧ) широко применяются специальные технологии (коагуляция, флотация, инерционное сепарирование, фильтрация, мембранные технологии и т.д.) и различные виды оборудования. Практически всегда в состав такого оборудования входят сепараторы и фильтры механических примесей. Применение сепараторов, или фильтров, или их сочетания (в дальнейшем

– система очистки, СО) для отделения механических примесей от жидкости зависит от состава перекачиваемого флюида, количества и гранулометрического состава примесей, расхода технологической жидкости, вида технологии, где применяется техническая вода, и применяемого технологического оборудования (насосы, пакеры, регулирующие и запорная арматура и т.д.).

Выбор типоразмеров СО наиболее часто производится на основании промышленного опыта, по аналогии с используемыми на других объектах с похожими техническими показателями, на основании анализа технических показателей элементов СО. При этом необходимо отметить, что достаточно часто в технической документации на СО не четко прописаны именно те показатели, которые должны использоваться для выбора оборудования. Например, для сепараторов-отстойников указывается рабочий объем, габариты, масса, рабочее давление, рН, но не указывается максимально допустимое количество и гранулометрический состав мехпримесей, которые выносятся потоком жидкости. Для фильтров разных конструкций имеются значения тонкости фильтрации, но не указано, для жидкости с какими коэффициентами вязкости это справедливо. Обычно нет и данных о возможности, количестве циклов и условиях регенерации фильтрующей способности фильтр-элементов. Все это приводит к неоптимальному выбору СО, ухудшению его работы, увеличению содержания мехпримесей в потоке технологической жидкости и снижению эффективности технологических процессов добычи нефти.

В связи с этим решение задачи качественной очистки воды для системы ППД от механических примесей с помощью компактных, недорогих и способных к быстрому восстановлению систем является очень актуальным. Оптимизация конструкции защитных устройств производится с помощью специальных программ, которые обеспечивают создание компьютерных моделей работы СО и проведение компьютерных экспериментов. Только после этого оптимальные конструкции переносятся на физические модели, которые проходят стендовые испытания для доводки кон-

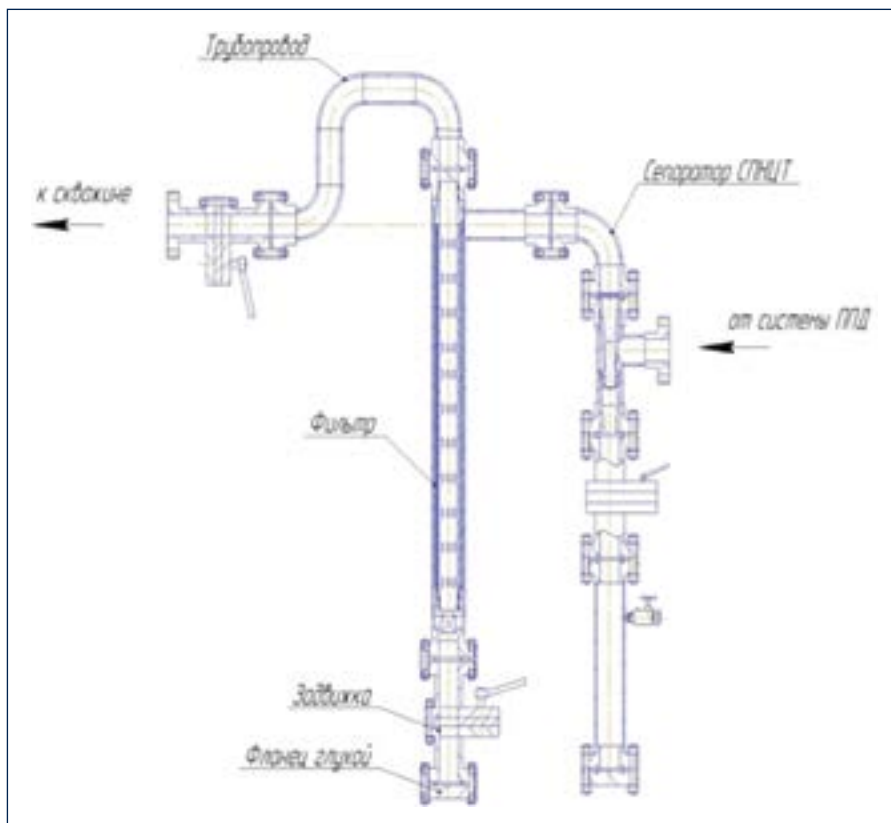


Рис. 2. Двухступенчатая система СО



Рис. 3. Двухступенчатая СО с двумя линиями фильтров тонкой очистки

Таблица 1. Показатели загрязненности воды до и после использования СО

Номер пробы	Пробы технологической жидкости		Давление на входе в СО, МПа	Производительность, м ³ /сут.	Размеры частиц, мкм (по результатам гранулометрического анализа)	Средний размер частиц, мкм	Примечание
	КВЧ на входе в СО, мг/л	КВЧ на выходе из СО, мг/л					
1	46,7 + 16,2 (песок из сепаратора) = 62,9		0,4	96	0,39–1039	115,4	вода из водовода
2		16,7			0,39–26,5	2,46	вода после фильтра
3		18,7			0,39–19,5	2,91	
4	320				0,39–78,3	4,93	проба воды непосредственно из фильтра

струкции. Такая технология создания сепараторов и фильтров обеспечивает высокие показатели применения СО. Естественно, что решение о проведении подобных работ должно быть подтверждено технико-экономическим обоснованием. Первопричинами начала работ по подбору или созданию СО могут быть резкое снижение эффективности технологических процессов, уменьшение наработки до отказа технологического

оборудования, повышение эксплуатационных расходов, снижение добычи нефти. Например, низкие наработки до отказа многих опытных конструкций скважинных гидроприводных насосных установок (гидропоршневых, гидроштанговых, струйных) во многом обусловлены не неудачной конструкцией или низким качеством изготовления, а тем, что для их привода была использована техниче-

ская вода системы ППД. Разработчики оборудования принимали как аксиому положения стандартов о качестве воды системы ППД, под технические показатели этих стандартов разрабатывали и изготавливали узлы и детали скважинного оборудования. Например, узлы фильтрующих элементов, установленных в струйных и гидропоршневых насосных установках, серийно выпускавшихся по соответствующим техническим условиям, имели размеры ячеек, задерживающих механические примеси с размерами гранул более чем 0,5–1,0 мм, и незначительные площади фильтрации. То есть эти устройства были рассчитаны на защиту насосов от попадания в них небольшого количества случайных редких частиц механических примесей. Поэтому при эксплуатации гидроприводных насосных установок эти фильтрующие элементы быстро выходили из строя, а следовательно, и сами насосные установки имели недостаточные наработки до отказа. Для устранения негативного влияния механических примесей на технологические процессы добычи нефти,

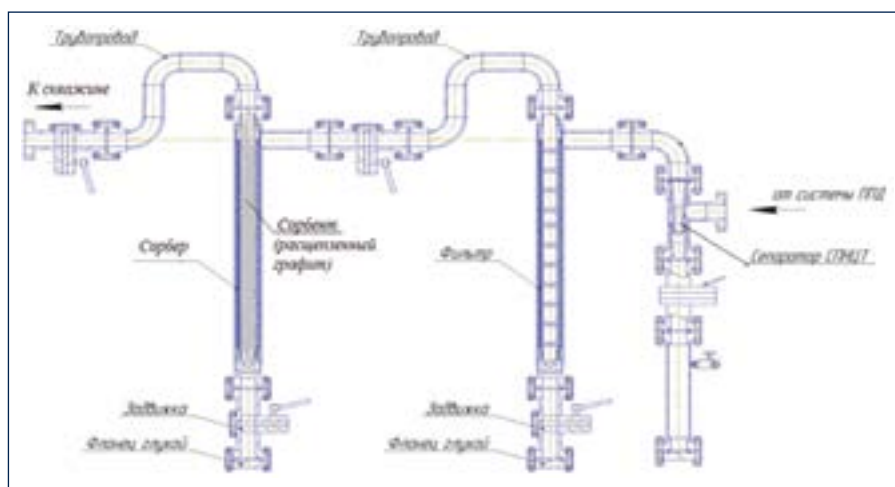


Рис. 4. Трехступенчатая система очистки воды

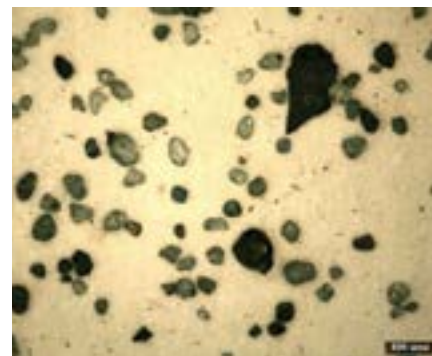
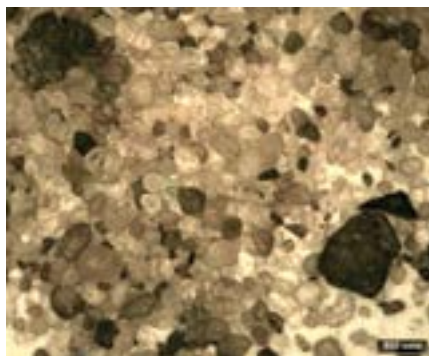


Рис. 5. Внешний вид осадка из первой ступени очистки

поддержания пластового давления, подготовки продукции скважин и на работу нефтепромыслового оборудования были созданы модульные системы очистки воды.

Эти системы состоят из модулей сепараторов механических примесей [2, 3], модулей фильтров [4, 5] и модулей адсорбентов [6]. В зависимости от условий эксплуатации (расход и давление жидкости), концентрации и гранулярного состава механических примесей, наличия остаточной нефти ООМП может содержать одну, две или три ступени очистки, одну или несколько последовательно или параллельно работающих линий.

Например, для закачки технической воды в пласт (система ППД) или для обеспечения работы струйного насоса на устье скважины может устанавливаться одноступенчатая однолинейная система СО (рис. 1).

Опыт показывает, что такая система эффективно очищает техническую воду от механических примесей с размерами гранул от 50 мкм и выше, при этом ко-

Таблица 2. Распределение частиц осадка из СО (песчаная фракция механических примесей из неочищенной воды) по размеру

№	От	До	Кол-во, %
1	4,87	108	46
2	108	212	2
3	212	315	13,5
4	315	418	20,5
5	418	521	10,5
6	521	625	4
7	625	728	2
8	728	831	0
9	831	935	0,5
10	935	1039	1

эффициент сепарации указанных механических примесей достигает 95–100%. Более мелкие механические примеси (0,05–0,50 мкм) также отделяются в указанных модулях, но коэффициент сепарации таких примесей значительно ниже ($K_{сеп} = 0,5–0,7$).

Для многих малопроницаемых пластов выявлена необходимость существенно уменьшения размера механических

примесей в воде, используемой в системе ППД, – до значения 0,02–0,05 мкм. Для таких условий должна применяться двухступенчатая система СО, состоящая из сепаратора механических примесей (первая ступень) и фильтрующих элементов тонкой очистки (вторая ступень) (рис. 2).

В случае значительных расходов воды (более 500 м³/сут.) с большим содер-

ВНИМАНИЕ!

Открыта подписка на журналы «ТЕРРИТОРИЯ «НЕФТЕГАЗ»

и «КОРРОЗИЯ «ТЕРРИТОРИИ «НЕФТЕГАЗ»!

Журналы можно получать в России и в любой стране мира.

Подписка оформляется с любого месяца!

Оформить подписку Вы всегда можете:

- в редакции – по адресу 119501 Москва, а/я 891, издательство «Камелот Паблшинг», редакция журнала «Территория «НЕФТЕГАЗ», тел. +7 (495) 276 0973, e-mail: info@neftegas.info
- по каталогу Роспечати – подписной индекс 36129

СТОИМОСТЬ ПОДПИСКИ	по России:	для стран СНГ:
1 номер любого журнала	1400 рублей	1800 рублей
6 номеров ТНГ	8400 рублей	10800 рублей
12 номеров ТНГ	16800 рублей.....	21600 рублей
15 номеров (ТНГ+3 Коррозия).....	21000 рублей	27000 рублей



Таблица 3. Распределение частиц механических примесей из воды, прошедшей СО по размеру

№	От	До	Кол-во, %
1	0,39	3	73,8
2	3	5,61	18
3	5,61	8,22	5,28
4	8,22	10,8	2,21
5	10,8	13,4	0,36
6	13,4	16	0,14
7	16	18,7	0
8	18,7	21,3	0,071
9	21,3	23,9	0,071
10	23,9	26,5	0,14

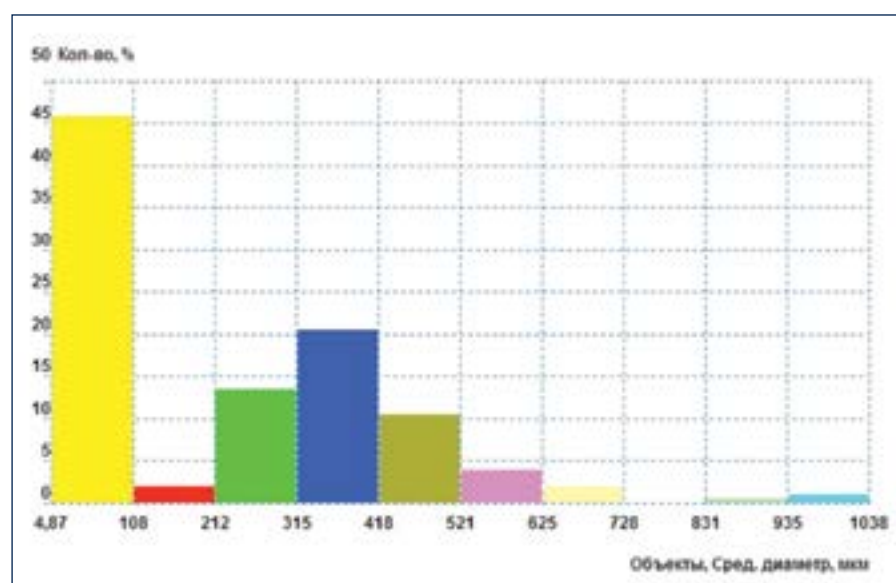


Рис. 6. Гистограмма распределения частиц осадка из СО (песчаная фракция механических примесей из неочищенной воды) по размеру

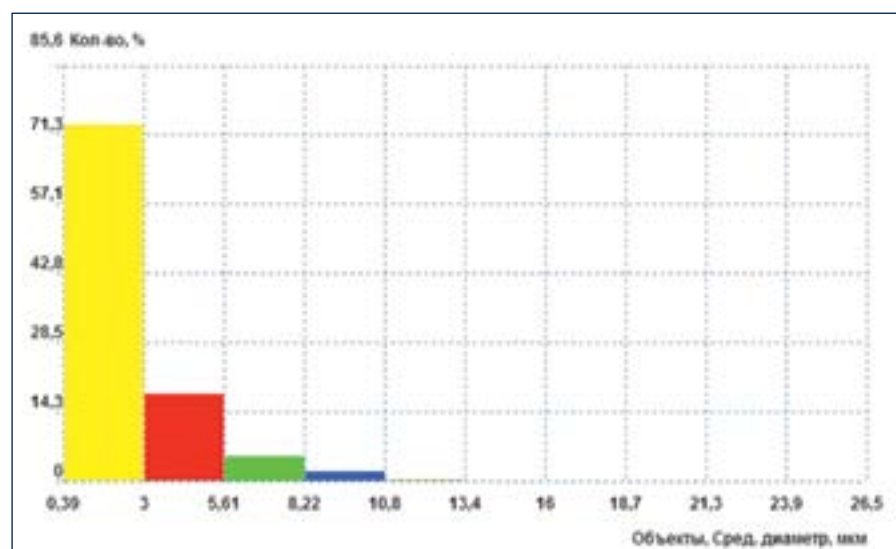


Рис. 7. Гистограмма распределения частиц механических примесей из воды, прошедшей СО, по размеру

жанием механических примесей (более 500 мг/л) двухступенчатая СО может иметь две или более параллельно работающие линии. Они необходимы как для увеличения суммарного расхода очищаемой воды, так и для возможности очистки (регенерации) фильтрующих элементов. На рисунке 3 представлена конструкция такой системы, изготовленная на мощностях ООО «Элкам». Во многих случаях после использования систем сепарации пластовой жидкости подтоварная вода имеет достаточно высокое содержание остаточной нефти. При закачке такой воды в нагнетательные скважины будет ухудшаться приемистость ПЗП нагнетательной скважины и самого пласта. Поэтому для уменьшения количества остаточной нефти может быть использована система трехступенчатой очистки жидкости, подаваемой от системы ППД в нагнетательную скважину (рис. 4).

Первая ступень – это сепаратор механических примесей разработки РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, вторая – фильтрующая часть с фильтроэлементами из проволоочного проницаемого материала (ППМ) разработки ООО «РЕАМ-РТИ» без гидрофильного и олеофобного покрытий, и третья – это сорбер, которым обеспечивается полная очистка воды от остаточной нефти. Для заполнения сорбера используется эффективный сорбент – терморасщепленный графит. Этот сорбент имеет существенные преимущества: коэффициент адсорбции составляет 50–90 кг нефти на 1 кг сорбента; высокая скорость сорбирования, стопроцентная плавучесть, термостойкость, инертность к окружающей среде, возможность изготовления сорбента на месте потребления.

Некоторые виды СО успешно прошли опытно-промышленные испытания (ОПИ) на объектах ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» и рекомендованы к широкому применению. Испытания признаны успешными в связи с тем, что СО обеспечили все показатели по качеству воды, указанные в СТП-07-03.4-15-001-09 ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь», а также дополнительные условия по тонкости фильтрации для воды, закачиваемой в слабопроницаемые пласты, и по количеству остаточной нефти в подтоварной воде.

Внешний вид проб механических примесей, отобранных на первой ступени очистки, представлен на рисунке 5. По результатам анализа, проведенного в лаборатории защиты от коррозии «ПермНИПНефть», содержание мехпримесей в неочищенной воде составляло 62,9 мг/л. Количественные показатели СО представлены в таблице 1. Механические примеси представлены глинистыми частицами и зернами α-кварца с примесью нефтепродуктов. Минимальный размер частиц механических примесей – 0,39 мкм, максимальный размер – 1039 мкм. Средний размер частиц – 115,4 мкм. Гистограмма распределения глинистых частиц из неочищенной воды по размерам представлена на рисунке 6 и в таблице 2.

Гистограмма распределения частиц мехпримесей из воды, прошедшей систему очистки, по размерам представлена на рисунке 7 и в таблице 3. Механические примеси представлены только глинистыми частицами. Минимальный размер частиц механических примесей – 0,39 мкм, максимальный размер – 26,5 мкм. Средний размер частиц по результатам двух определений – 2,68 мкм. По результатам химического анализа, содержание мехпримесей в очищенной воде составляло 17,7 мг/л, т.е. в 3,5 раза меньше, чем в исходной (неочищенной) воде.

ВЫВОДЫ

1. Созданы модульные малогабаритные системы очистки (СО) сточных и прес-

ных вод, обеспечивающих выполнение требований стандартов по концентрации и размерам мехпримесей в воде.

2. Системы очистки воды разработки РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина с фильтроэлементами из проволочного проницаемого материала (ППМ) разработки ООО «РЕАМ-РТИ» для нужд ППД и ППН успешно прошли ОПИ на объектах ОАО «ЛУКОЙЛ», при этом обеспечено снижение содержания механических примесей после СО в 3,5 раза; достигнут средний размер частиц механических примесей после СО 2,68 мкм; содержание механических примесей на выходе из СО не превышает 18,7 мг/л.

3. По итогам ОПИ планируется тиражирование внедрения СО в нефтяных компаниях России.

Литература:

1. СТП-07-03.4-15-001-09 ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь». Стандарт предприятия. – Пермь, 2009.
2. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Сви́дерский С.В., Якимов С.Б. Исследование эффективности скважинных сепараторов механических примесей // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2011. – № 3. – С. 40–47.
3. Сабиров А.А., Булат А.В. Уточнение методики стендовых испытаний скважинных сепараторов механических примесей // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2011. – № 2. – С. 22–25.
4. Пятов И.С., Шевкун А.М. Нетрадиционные конструкции фильтрующих модулей для скважинного оборудования // EURASIA OFFSHORE. – 2000. – № 1. – С. 46–47.
5. Пятов И.С., Шевкун А.М., Лысенко В.М., Торшин В.В., Баселидзе Ю.Т. Проволочные проницаемые материалы – барьер для механических примесей // Oil&Gas EURASIA. – 2008. – № 3. – С. 22–24.
6. Мерициди И.А., Савелов С.В., Малышкина Л.А., Мерициди Х.А. Опыт использования сорбента СТГ в ОАО «Сургутнефтегаз» // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2005. – № 3.

UDC 628.543:622.323(043)

V.N. Ivanovskiy, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of Department, Gubkin Russian State University of Oil and Gas; **A.A. Sabirov**, Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor, Head of Laboratory, Gubkin Russian State University of Oil and Gas; **A.V. Bulat**, Candidate of Sciences (Engineering), Research Associate, Gubkin Russian State University of Oil and Gas; **A.V. Degovtsov**, Candidate of Sciences (Engineering), Assistant Professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas; **A.V. Usenkov**, Head of Oil Production Office, LUKOIL-Perm LLC; **A.R. Brezgin**, Head of Reservoir Pressure Maintenance Department, LUKOIL-Perm LLC; **A.Yu. Durbazhev**, Head of Oil Processing and Pumping, LUKOIL-Perm LLC; **T.A. Syur**, Head of Corrosion Protection Department, Branch of Lukoil Engineering LLC PermNIPIneft in Perm; **S.E. Sorokin**, Project Manager, Development Development, ELKAM LLC; **I.S. Pyatov**, Chairman of the Board of Directors, REAM-RTI LLC; **A.M. Shevkun**, Head of Business Line, REAM-RTI LLC

Water treatment systems to maintain the reservoir pressure and oil processing and pumping

The structural designs of multistage systems for mechanical impurities removal from process water and the results of their application at the facilities of LUKOIL-Perm LLC are represented.

Keywords: process water, mechanical impurities, reservoir pressure maintenance system, oil processing system, separators, filters.

References:

1. СТП-07-03.4-15-001-09 LUKOIL-Perm LLC Enterprise Standard. – Perm, 2009.
2. Ivanovskiy V.N., Sabirov A.A., Sviderskiy S.V., Yakimov S.B. Issledovanie effektivnosti skvazhinnykh separatorov mekhanicheskikh primesei (Research into the efficiency of well separators for mechanical impurities) // NEFTEGAS Territory. – 2011. – No. 3. – P. 40–47.
3. Sabirov A.A., Bulat A.V. Utochnenie metodiki stendovyykh ispytaniy skvazhinnykh separatorov mekhanicheskikh primesei (Specification of bed test methods of well separators for mechanical impurities) // NEFTEGAS Territory. – 2011. – No. 2. – P. 22–25.
4. Pyatov I.S., Shevkun A.M. Netraditsionnye konstruksii fil'truyutshikh modulei dlya skvazhinного oborudovaniya (Non-conventional designs of filtering modules for well equipment) // EURASIA OFFSHORE. – 2000. – No. 1. – P. 46–47.
5. Pyatov I.S., Shevkun A.M., Lysenko V.M., Toroshin V.V., Baselidze Yu.T. Provolochnye pronitsaemye materialy – bar'er dlya mekhanicheskikh primesei (Wire permeable materials – barrier for mechanical impurities) // Oil&Gas EURASIA. – 2008. – No. 3. – P. 22–24.
6. Meritsidi I.A., Savelov S.V., Malysheva L.A., Meritsidi Kh.A. Opyt ispol'zovaniya sorbenta STRG v ОАО «Surgutneftegas» (Experience in STRG sorbent (thermally broken graphite sorbent) use at Surgutneftegas OJSC) // NEFTEGAS Territory. – 2005. – No. 3.