

*А.Б. Сейден<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казахский Национальный исследовательский технический университет  
им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

## **РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

---

---

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме ухудшения проницаемости пласта в призабойной зоне и снижение приемистости нагнетательных скважин в результате кольматации пор и каналов продуктивного пласта твердыми взвешенными частицами, содержащими в закачиваемой воде для поддержания пластового давления. Предложен новый метод глубокой очистки пластовой воды, обеспечивающий улавливание твердых взвешенных частиц.

**Ключевые слова:** Скважина, вода, очистка, пласт, нефть.

• • •

**Түйіндеме.** Мақала бүгінгі күнде қабат қысымын ұстау үшін айдалатын судың құрамындағы қатты белшектердің әсерінен пайда болатын енімді қабаттың кеуектері мен каналдарының кольматациясы нәтижесінде түп аймақтағы қабаттың еткізгіштігі және айдау ұңғыларының қабылдағыштығының нашарлау мәселесіне арналған. Қабат суларының құрамындағы қатты заттарды сүзіп алуды қамтамасыз ететін, қабат суларын терең тазалайтын жаңа әдіс ұсынылған.

**Түйінді сөздер:** Ұңғы, су, тазалау, қабат, мұнай.

• • •

**Abstract.** The article is devoted to the current day problem of degradation of the bottomhole zone formation permeability and the decrease in injection wells' injectivity as a result of colmatization of pores and channels of the productive formation by suspended solid particles containing in the injection water to maintain reservoir pressure, is considered. A new method for epy fine cleaning of reservoir water, ensuring the trapping of suspended solid particles, is proposed.

**Keywords:** Well, water, treatment, formation, oil.

**Введение.** Добыча нефти на месторождениях, находящихся на средней и поздней стадиях разработки, характеризуется необходимостью закачки в пласт воды для поддержания пластового давления (ППД). Общепринято, что заводнение позволяет не только увеличить темп отбора, но и достичь максимального коэффициента извлечения углеводородов.

Требования к нефтепромысловым сточным водам как рабочему агенту для заводнения предъявляются по трем основным показателям: содержанию эмульгированной нефти (нефтепродуктов) и частиц твердых механических примесей, микробиологической и химической совместимости ее с пластовой водой и породой коллекторов. Для того чтобы избежать осложнений при закачке воды в пласт, закачиваемая вод должна соответствовать определенным нормам качества согласно СТ РК 1662-2007, которые для мехпримесей и нефтепродуктов составляют не более 50 мг/л.

**Таблица 1 - Требования, предъявляемые к качеству нагнетаемой воды**

№	Параметры	Требования
1	Стабильность	-стабильность
2	Набухаемость	-отсутствие
3	Содержание мехпримесей	-с учетом неоднородности коллекторских свойств продук
4	Размер взвешенных частиц	-90 % менее 5 мкм
5	Содержание нефтепродуктов	-по коллекторским свойствам не более 10-30 мг/л
6	Содержания кислорода	-менее 0,5 мг/л
7	Содержания железа	-менее 1 мг/л
8	Содержание сероводорода	-отсутствие
9	Содержание СвБ	-отсутствие
10	Скорость коррозии	-менее 0,1 мм/год
11	Совместимость с пластовыми водами	-совместима, снижение приемистости не более 20%

Приведем пример, систему ППД на месторождении «Кумколь», где в качестве рабочего агента применяется сточная нефтепромысловая вода, альб-сеноманская, турон-сенонская и сенон-палеоценовая вода с технического водозабора. Месторождение Кумколь, введено в промышленную разработку в 1995 году, в настоящее время находится на поздней стадии эксплуатации. Отличительной особенностью эксплуатации месторождения является ежегодный рост обводненности добываемой продукции, которая в настоящее время превышает в среднем 90%, что в свою очередь значительно осложняет условия эксплуатации объектов сбора и подготовки нефти, газа и воды.

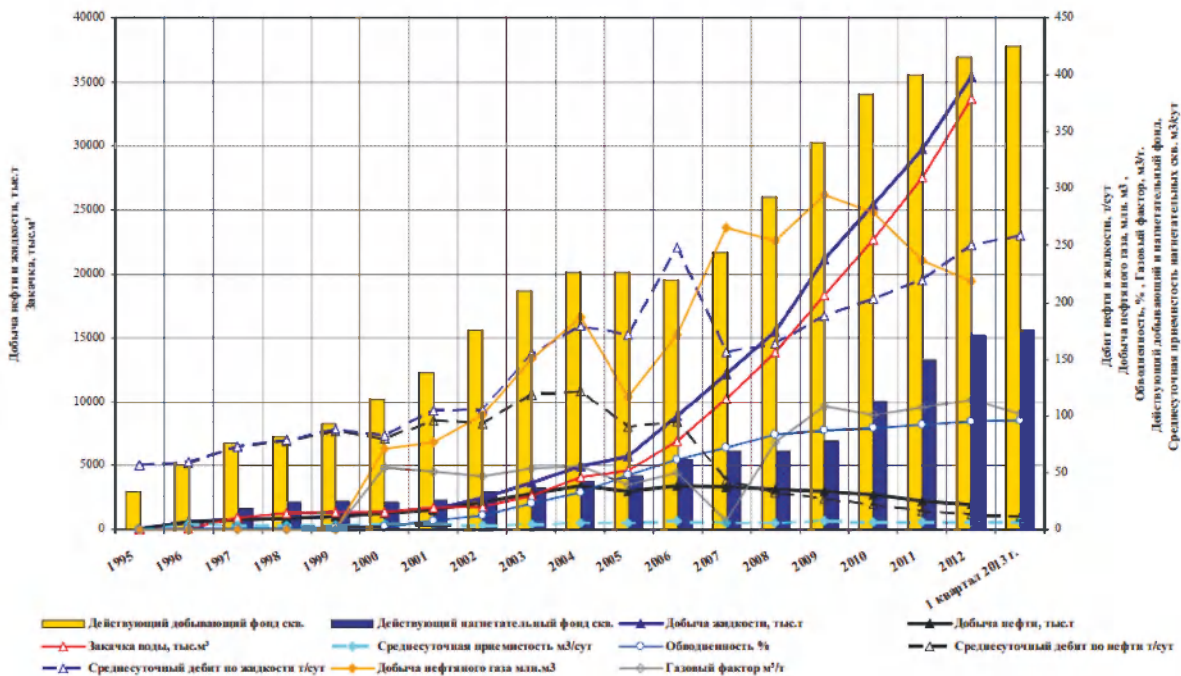


Рисунок 1 - Месторождение Кумколь. График разработки.

Применяемая в настоящее время технология предварительного сброса попутнодобываемой воды (УПСВ-1, УПСВ-2) осложнена поступлением с нефтяных промыслов больших объемов жидкости, которая превышает проектную производительность этих объектов.

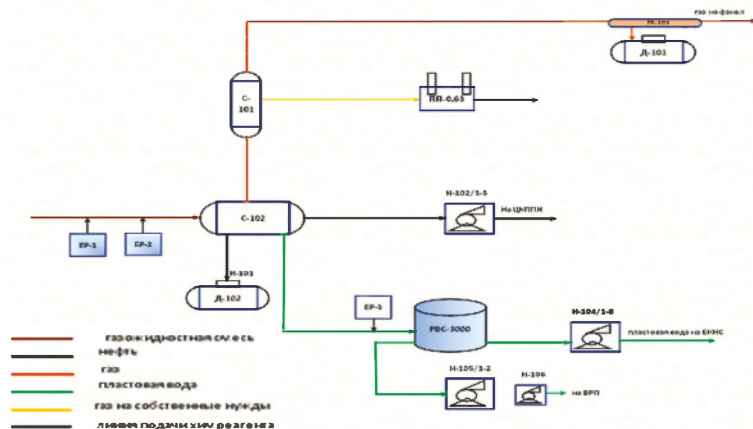


Рисунок 2 - Принципиальная технологическая схема УПСВ-1 месторождения Кумколь

Из-за повышенной нагрузки по жидкости, поступающей на УПСВ-1 и УПСВ-2, происходит нарушение времени отстоя продукции в технологических аппаратах, что приводит к ухудшению параметров воды, подготавливаемой для ППД, и несоответствию качества воды, подаваемой для закачки в пласты, требованиям нормативной документации РК.

Контроль за составом закачиваемой воды и анализ нефтепродуктов и механических примесей в закачиваемой воде проводится ежедневно. Результаты контроля качества закачиваемой воды на этом месторождении приведены в таблице 2.

По полученным данным видно, что содержание нефтепродуктов в закачиваемой воде в основном не превышает установленные показатели. Однако, по содержанию мехпримесей в закачиваемой воде в I квартале 2013 г. на БКНС-4 и БКНС-7 установлены концентрации, превышающие нормативные показатели. Следовательно, процесс водоподготовки требует усовершенствования в части удаления механических примесей (таблица 3).

**Таблица 2 - Результаты контроля мехпримесей и нефтепродуктов (среднемесячные показатели) в закачиваемой воде месторождения Кумколь.**

Дата	БКНС-2а		БКНС-3		БКНС-4		БКНС-6		БКНС-7	
	н/п, %	м/п., мг/л	н/п, %	м/п., мг/л	н/п, %	м/п., мг/л	н/п, %	м/п., мг/л	н/п, %	м/п., мг/л
июл. 11	0,002	21,406	0,015	29,369	0,016	22,755	0,013	34,814	0,019	41,490
авг. 11	0,002	16,540	0,008	18,424	0,007	25,382	0,008	32,288	0,01	36,155
сен. 11	0,002	14,682	0,009	18,790	0,011	25,037	0,008	26,093	0,009	40,247
окт. 11	0,002	20,510	0,009	23,953	0,014	22,440	0,009	22,693	0,014	19,800
ноя. 11	0,001	15,203	0,015	25,710	0,017	17,953	0,013	23,079	0,02	40,410
дек. 11	0,001	9,952	0,009	23,717	0,011	22,653	0,009	21,952	0,01	30,874
янв. 12	0,002	15,877	0,007	21,010	0,008	16,731	0,007	18,033	0,008	37,174
фев. 12	0,001	11,321	0,009	25,118	0,012	19,466	0,008	23,121	0,01	32,410
мар. 12	0,002	16,581	0,008	34,858	0,011	22,852	0,008	35,900	0,013	44,819
апр. 12	0,001	8,993	0,004	15,457	0,006	24,544	0,007	23,923	0,006	36,414
май. 12	0,001	6,508	0,006	9,425	0,005	20,192	0,007	14,458	0,007	14,883
июн. 12	0,001	13,810	0,007	19,573	0,01	20,118	0,008	17,593	0,008	34,210
июл. 12	0,002	16,248	0,004	14,890	0,008	18,697	0,005	22,871	0,01	48,890
авг. 12	0,002	18,348	0,006	28,623	0,012	23,080	0,007	29,642	0,007	86,555
сен. 12	0,002	21,25	0,01	17,66	0,01	24,40	0,01	33,04	0,01	52,14
окт. 12	0,002	18,979	0,005	27,084	0,005	22,073	0,005	29,960	0,007	35,767
ноя. 12	0,001	15,234	0,006	32,883	0,006	27,052	0,005	42,207	0,006	41,887
дек. 12	0,002	26,317	0,005	49,897	0,006	55,931	0,006	37,677	0,006	67,843
янв. 13	0,002	22,137	0,005	28,480	0,006	38,727	0,005	49,923	0,006	51,263
фев. 13	0,003	33,985	0,005	35,318	0,006	50,630	0,006	39,182	0,005	63,922
мар. 13	0,002	24,874	0,005	32,568	0,005	50,916	0,006	32,271	0,006	53,755
средн.	0,0017	17,55	0,0076	25,37	0,0091	27,23	0,0076	29,08	0,0093	43,37

Основные методы очистки нефтепромысловых сточных вод в отрасли - механические и физико-химические [1,2]. Самый распространенный - это метод отстаивания как наиболее простой и дешевый, во многих случаях обеспечивающий необходимые требования к качеству воды.

На большинстве объектов применяют только этот метод, а на некоторых - в сочетании фильтрацией и физико-химическими методами. Метод отстаивания хотя и прост, но имеет недостатки: большая зависимость качества очистки от характеристик загрязняющих включений (дисперсности, стабильности и др.), длительность процесса и т. д. Поэтому в последние годы для повышения производительности оборудования и глубины очистки стоков были разработаны такие средства, как отстойники тонкослойного отстаивания, с коалесцирующим фильтром, фильтры, трехпродуктовые гидроциклоны и др.

**Таблица 3 - Физические свойства и содержание компонентов закачиваемых вод, а также вод с УПСВ-2, УПСВ-3 и УППН.**

Место отбора	pH	Eh	P, г/см <sup>3</sup>	Содержание компонентов, мг/л					
				Ca	Mg	Na+K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
<b>Контрактная территория Тургай Петролеум</b>									
БКНС-2	8.55	290	0.999	75.2	35.3	797.4	1181.8	271.9	142.7
БКНС-2а	6.79	290	1.0312	2605.2	486.4	14999.4	29023.5	н/о	209.8
БКНС-3	7.02	48	1.0350	2925.8	522.9	15817.0	30935.3	16.8	226.6
БКНС-4	7.04	125	1.0312	2332.7	431.7	13934.8	26764.2	н/о	176.3
УПСВ-2, РВС-1000	6.81	29	1.0292	2224.4	377.0	13167.3	25200.1	2.9	218.2
УПСВ-3, РВС-3000	7.18	51	1.0292	2394.8	442.8	13665.0	26416.6	н/о	302.2
УППН, РВС-2000	5.81	15	1.0332	2705.4	474.2	14582.7	28502.2	15.2	223.6
УППН, РВС-5000	6.5	111	1.0372	3086.2	547.2	16698.4	32673.2	6.2	196.4
<b>Контрактная территория ПетроКазахстан Кумколь Ресорсиз</b>									
*БКНС-1	7	-	1.034	2966	892	14889	30696	5.5	180.9
*БКНС-2	6.8	-	1.034	2758.5	765	17921	32930.7	4.5	237.2

Большинство исследований показывают, что качество воды является очень важным параметром для пластовых процессов. Садриев И.И., Муслимов А.Ш. рекомендуют внедрение каскадной технологии очистки

пластовых вод для поддержания пластового давления на Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения [3]. При всем том, рекомендуемая технология обусловлена дорогой ценой, необходимостью дополнительных установок по подготовке воды, а в случае их наличия в отдаленности - еще и необходимостью строительства дополнительных низконапорных водоводов.

Исангулов А.К. и др. [4, 5] обобщили опыт внедрения фильтров для тонкой очистки воды в системе поддержания пластового давления Южно-Хыльчуйского месторождения. Недостаток данного технического решения в том, что дополнительно принятые искусственные сетчатые, тканые и мембранные фильтры недолговечны. Также есть необходимость определенного давления для продавливания воды через мембрану и задержка полезных микроэлементов.

Следует отметить, проведенные изучения в Пермском национальном исследовательском политехническом университете Гребнев В.Д. и др. [6], для совершенствования и повышения надежности эксплуатации систем ППД, снижения затрат с учетом требований к качеству воды разработали систему промысловой подготовки воды. Основными отличиями предлагаемой системы от ранее разработанных являются создание разряжения во всасывающем коллекторе и обеспечение движения воды на приеме центробежного насоса путем установки струйного насоса. Однако данная система сдерживается отсутствием четко аргументированных теоретических представлений решения проблем глубокой очистки пластовой воды от взвешенных твердых частиц.

Существующую проблему подготовки сточных вод, закачивающихся в систему поддержания пластового давления в своей статье изложил Голубев И.А. [7]. Следствием некачественного надзора за закачкой является загрязнение пластов и низкий коэффициент нефтеотдачи. Засорение пласта обуславливается наличием в воде мелкодисперсных частиц, остатков нефтепродуктов и механических примесей, которые в свою очередь вызывают кольматацию пор, каналов и трещин. Кроме этого, постоянное увеличение обводненности добываемой продукции привело к тому, что существующие установки подготовки воды не могут справиться с такими большими объемами продукции и не доводят воду до необходимого качества. Для решения этих проблем предлагается использовать установки кустового сброса, позволяющие утилизировать

основную массу пластовой воды непосредственно на месторождении, предварительно доведя ее до соответствующих норм. Рассмотрены несколько вариантов аппаратного оформления объектов кустового сброса. Показаны технологические схемы обвязки предлагаемого оборудования при внедрении его в производство. Учтены предполагаемые результаты, которые планируется получить после внедрения объектов кустового сброса в разработку нефтяных месторождений на ранних этапах нефтесбора. Тем не менее, применение аппаратов кустового сброса имеет ряд недостатков, чем предлагаемое устройство глубокой очистки пластовой воды. Недостаточная эффективность, обусловленная тем, что слабо контролируется качество подаваемой в нагнетательную скважину воды, а ее количество постоянно.

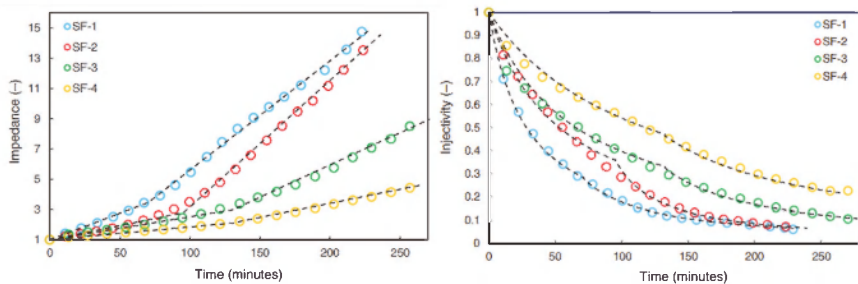


Рисунок 3 - Чувствительность к приемистости для четырех различных концентраций вводимых частиц. Круги «О» представляют экспериментальные данные, а строки «-» представляют собой смоделированный прогноз [8].

Ramesh Chandra Yerramilli, P.L.J. Zitha и др. показали экспериментальные и смоделированные результаты профилей полного сопротивления и интенсивности нагнетания для различных концентраций механических частиц. Можно заметить, что увеличение сопротивления и снижение закачки наблюдалось с увеличением концентрации нагнетаемых частиц. Это связано с тем, что с увеличением концентрации частиц количество частиц на единицу объема раствора увеличивается и, следовательно, ухудшается проницаемость. По мере увеличения концентрации закачиваемых частиц интенсивность повреждения также увеличивается. Следовательно, ожидается, что сопротивление будет увеличиваться, тогда как ожидается, что приемистость уменьшится.



Кроме того, можно видеть, что с увеличением концентрации частиц время перехода сдвигается к более низким значениям. Это связано с тем, что при более высоких концентрациях скорость нарастания внутреннего осадка фильтра (IFC) и внешнего осадка фильтра (EFC) возрастает, и, таким образом, переход от IFC к EFC ускоряется. Это видно из времени перехода, полученного из профилей полного сопротивления при различных концентрациях частиц [8].

При любой системе водоподготовки в воде всегда остается некоторое количество взвеси твердых частиц, которое постепенно загрязняет фильтрующую поверхность призабойной зоны пласта [9]. Интенсивность затухания фильтрации зависит от характера взвеси и размера поровых каналов заводняемого пласта. Проницаемость пласта в призабойной зоне за счет сильного загрязнения фильтрационной поверхности уменьшается в десятки раз, и промышленная закачка воды становится невозможной [10]. Поэтому нельзя допускать систематического прогрессирующего загрязнения фильтрующих поверхностей нагнетательных скважин [11].

Несмотря на важность вопроса и достаточно большое число публикаций, посвященных исследованиям глубокой очистки пластовой воды от взвешенных твердых частиц и равномерной закачки ее в нефтяной пласт вышеуказанная проблема остается актуальной на сегодняшний момент.

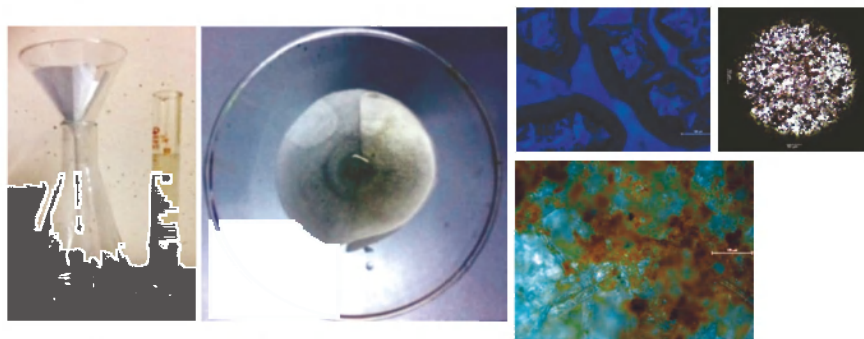


Рисунок - 4. Общий вид фильтра и увеличенный вид твердых взвешенных частиц

В условиях лаборатории при КазНИТУ им. К.И. Сатпаева были проведены анализы пластовой сточной воды, закачиваемой в пласт

месторождения «Кумколь». Количество взвешенных частиц в пластовой воде были определены согласно СТ РК 1662-2007. В результате анализа было получено, что масса мехпримесей составила 0,18 г/л, т.е. она на много превышает нормативные данные. Общая минерализация пластовой воды была определена путем упаривания точного известного объема жидкости до постоянной массы, в последующем взвешиванием на аналитических весах. В результате анализа минерализация пластовой воды составила 80 г на литр.

Также на приборе Zetasizer был сделан нано замер радиуса механических примесей в пластовой воде БКНС-1 на месторождении Кумколь Компании «ПетроКазахстан». Результаты измерений показали (рисунок 2), что частицы с размерами до 0,210 мкм составляет около 43%, от 0,210 до 0,260 мкм – 49% и свыше 0,260 мкм - 8%. Эти размеры твердых взвешенных частиц соизмеримы с размерами пор и капилляров.

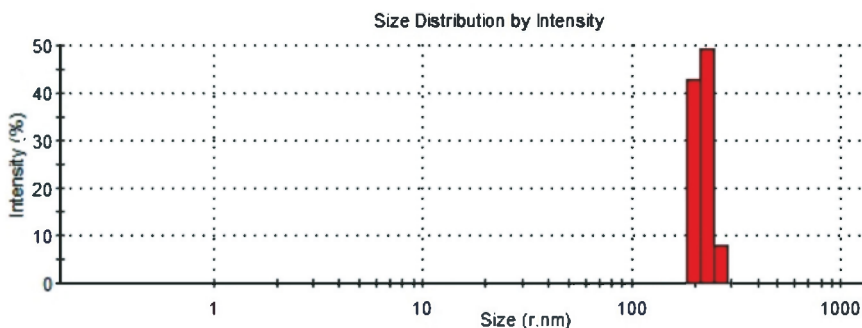


Рисунок 5. Интенсивность распределения размеров твердых взвешенных частиц в закачиваемой в пласт воде.

По мере эксплуатации скважин твердые взвешенные частицы, основная масса которых являются глины, накапливаясь в порах и капиллярах породы уплотняются и способствуют образованию непроницаемых зон для закачиваемой воды. При этом вода будет вытеснять нефть только из высокопроницаемых пропластков, занимающих незначительный объем залежи. Затем происходит преждевременная обводненность скважин свыше 80%.

Получен патент на способ глубокой очистки пластовой сточной воды со взвешенными твердыми частицами (рисунок 6).

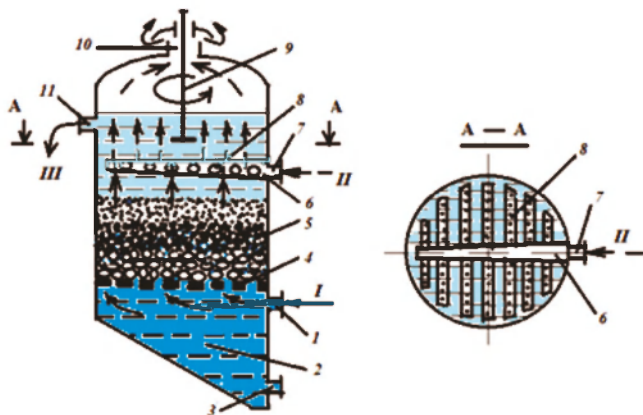


Рисунок 6. Технологическая схема глубокой очистки пластовой сточной воды со взвешенными твердыми частицами.

Задачей и техническим результатом изобретения является повышение эффективности очистки промышленных сточных и промысловых пластовых вод со взвешенными твердыми частицами, сульфидовосстанавливающими бактериями путем подачи очищаемой воды 1 из нижнего отсека 2 установки с выпускным патрубком 3 вертикально с низу в верх последовательно через перфорированную перегородку 4 и слой зернистого материала 5 с переменными размерами частиц в вертикальном направлении, нижний слой которого имеет максимальные габаритные размеры частиц, а верхний слой – минимальные габаритные размеры частиц. При этом в верхнем отсеке установки очищенная от взвешенных твердых частиц вода с сульфидовосстанавливающими бактериями подвергается равномерному воздействию окисляющего газа, подача которого осуществляется через отверстия равномерно распределенных по площади перфорированных трубок 6, 7 и 8.

Накопившиеся в нижнем отсеке установки взвешанные твердые частицы периодически выводятся через нижний выпускной патрубок нагнетанием водой. Очищенная от взвешенных твердых частиц вода направляется для поддержания пластового давления и равномерного вытеснения нефти из пласта.

**Выводы.** Таким образом, подача очищаемой воды вертикально с низу в верх последовательно через перфорированную перегородку и

слои зернистого материала, окисляющего газа, позволяют существенно повысить эффективность очистки воды от взвешенных твердых частиц, сульфидовосстанавливающих бактерий, предотвратить закупоривание пор взвешенными твердыми частицами и значительно увеличить производительность установки. В настоящее время проводятся лабораторные исследования на новой экспериментальной установке для глубокой очистки пластовой сточной воды от взвешенных твердых частиц.

### Список литературы

1 Байков. Н.М., Позднышев, Мансуров Р.И. Сбор и промысловая подготовка нефти, газа и воды. Москва, Недра, 1981. - 235 с.

2 *Mohammad A.J. Ali* (Kuwait Inst. Scientific Rsch.), *Peter K. Currie* (Delft University of Technology) & others, Permeability Damage due to Water Injection Containing Oil Droplet and Solid Particles at Residual Oil Saturation. 2007. SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, 11-14 March, Manama, Bahrain. ISBN 978-1-55563-187-1.

3 *Садриев И.И., Муслимов А.Ш.* Внедрение каскадной технологии очистки пластовых вод для ППД на Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения. // Реферативный журнал. Горное дело, 2012. - №9. - 37 с.

4 *Исангулов А.К.* Обобщение опыта внедрения фильтров для тонкой очистки воды в системе поддержания пластового давления Южно-Хыльчюуского месторождения. // ВИНТИ Реферативный журнал. Горное дело, 2012.- №6. - 39 с.

5 *Исангулов А.К.* Обобщение опыта проектирования и эксплуатации системы тонкой очистки воды для ППД Южно-Хальчюуского месторождения. //Реферативный журнал. Горное дело, 2011. - № 6.- 35 с.

6 *Гребнев В.Д.* Совершенствование системы промысловой подготовки воды для поддержания пластового давления. //Реферативный журнал. Горное дело, 2014. - № 7.- 38с.

7 *Голубев И.А.* Пути и решения очистки промышленных вод для системы поддержания пластового давления. Нефтегазовое дело: [электронный научный журнал], 2013.- № 3.- С. 87–96.

8 *Ramesh Chandra Yerramilli, P.L.J. Zitha and other.* A Novel Water-Injectivity Model and Experimental Validation With CT-Scanned Corefloods. SPE European Formation Damage Conference & Exhibition, 5-7 June, Noordwijk, The Netherlands, 2013, SPE-165194-MS.

9 *Eylander, J.G.R.* 1988. Suspended Solids Specifications for Water Injection From Coreflood Tests. SPE Res Eng 3 (4): 1287-1294. SPE-16256-PA

10 *Paige, R.W. and Murray, L.R.* 1994. Re-injection of produced water - Field experience and current understanding. Presented at the Rock Mechanics in Petroleum Engineering, Delft, Netherlands, 29-31 August 1994. SPE-28121-MS.

11 *Jamshid Moghadasi* (Petroleum U. of Tech Iran) Modeling of Permeability Impairment by Invasion of Solid Suspension During Waterflooding in Heterogeneous Porous Media. SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, 13-15 February, Lafayette, Louisiana, USA, 2008

**Сейден А.Б.**, докторант PhD кафедры «Нефтяная Инженерия»,  
e-mail: [assel\\_seiden@mail.ru](mailto:assel_seiden@mail.ru)