

## ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСТВОРОВ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ НА ИХ ОСНОВЕ

Турицына М. В.

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный университет», Санкт-Петербург, Россия (199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д.2), e-mail: [turitsyna\\_maria@mail.ru](mailto:turitsyna_maria@mail.ru)*

Проведено исследование химико-физических и технологических свойств растворов поверхностно-активных веществ, полимерных растворов и газожидкостных промывочных смесей на их основе. Изучение краевого угла смачивания и поверхностного натяжения на границе раздела «раствор – воздух» проводилось с помощью системы анализа формы капли EasyDrop при комнатной температуре и атмосферном давлении. Исследованы пенообразующая способность растворов и кинетика разрушения газожидкостных смесей, получаемых при их перемешивании. В качестве материалов для приготовления растворов использовались поверхностно-активные вещества (сульфонол, лаурилсульфат натрия, линейный алкил бензол сульфат (ЛАБС) натрия, ОП-7), полимеры (карбоксиметил крахмал КМК-БУР-2, полиакриламид ПАА FP-107, биополимер «Комета-Метеор»), глицерин (в качестве регулятора вязкости), вода. Предложены составы растворов для приготовления газожидкостных смесей в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Ключевые слова: бурение скважин, промывка, поверхностно-активные вещества (ПАВ), газожидкостные смеси (ГЖС), физико-химические и технологические свойства.

## THE REVIEW OF INVESTIGATION RESULTS OF DRILLING FLUIDS WITH SURFACTANTS AND LIQUID-GAS MIXTURES ON THEIR BASIS

Turitsyna M. V.

*Saint-Petersburg State Mining University, Saint-Petersburg, Russia (199106, Saint-Petersburg, 21<sup>st</sup> line V.O., 2), e-mail: [turitsyna\\_maria@mail.ru](mailto:turitsyna_maria@mail.ru)*

Investigation of physicochemical and technological properties of solutions with surfactants, polymeric solutions and liquid-gas mixtures on their basis is conducted. Studying of interfacial angle and surface tension on a boundary surface «solution – air» is carried out using «EasyDrop» system at room temperature and atmospheric pressure conditions. Lathering ability of the fluids and kinetics of liquid-gas mixtures' destructions received at their mixing are investigated. As materials for preparation of solutions surfactants (sulfonol, lauryl sodium sulfate, LABS, OP-7), polymers (carboxymethyl starch KMK-BUR-2, polyacrylamide PAA FP-107, biopolymer "Cometa-meteor"), glycerin (as a viscosity regulator) and water were used. Formulations of fluids for make-up liquid-gas mixtures according to shown requirements are offered.

Key words: well drilling, well cleanout, surfactants, liquid-gas mixtures, physicochemical and technological properties.

### Введение

Бурение скважин и их промывка в условиях аномально низких пластовых давлений (АНПД) сопряжены с рядом сложностей, в особенности, с точки зрения создания необходимого перепада давлений, для предотвращения проникновения фильтрата бурового раствора в пласт и его загрязнения. Снижение давления в скважине достигается за счет снижения плотности жидкости промывки. Наиболее эффективного снижения плотности очистного агента можно достичь применением газожидкостных смесей (ГЖС). Несущая способность ГЖС в 7–10 раз больше, чем воды, и возрастает с уменьшением объёмной доли жидкости. При этом улучшаются условия очистки скважины от шлама в результате сочетания гидродинамической силы потока с эффектом флотации шлама [2].

Получаемые ГЖС должны удовлетворять следующим требованиям: обладать технологическими параметрами, обеспечивающими вскрытие пластов с АНПД; быть стабильными в течение одного цикла промывки скважины, разрушаясь после этого, для обеспечения очистки раствора от шлама; обладать способностью повторного пенообразования для осуществления последующих циклов промывки с целью обеспечения экономической и экологической эффективности бурения.

Обобщая указанные требования, можно заключить, что рецептура пенореагента должна включать [1, 3, 5]:

- вспениватель и собиратель (неионогенное, амфолитное или анионактивное ПАВ);
- органический полимер для повышения стабильности пены;
- реагент для нейтрализации солей кальция и магния для смягчения жесткости воды;
- реагент для повышения структуры смеси и повышения её несущей способности;
- гидрофобизатор по отношению к пластовому флюиду и горным породам.

В данной работе представлены результаты лабораторных исследований физико-химических (поверхностное натяжение и краевой угол смачивания на границе раздела «раствор – воздух») и технологических свойств растворов (кратность, устойчивость, кинетика разрушения газожидкостной смеси, время истечения жидкости из ГЖС и др.).

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры бурения скважин СПГГУ. Исследовались растворы следующих ПАВ: ОП-7, сульфонол, лаурилсульфат натрия, линейный алкил бензол сульфат натрия (ЛАБС натрия), бинарные составы сульфонола, ЛАБС натрия и лаурилсульфата натрия в различных сочетаниях и концентрациях.

В работе также приведены результаты исследования полимерных промывочных жидкостей и ГЖС на их основе. Изучены ГЖС, с точки зрения способности повторного пенообразования, для осуществления последующих циклов промывки скважины.

### **Исследование растворов поверхностно-активных веществ**

Изучение краевого угла смачивания и поверхностного натяжения на границе раздела «раствор – воздух» проводилось с помощью системы анализа формы капли EasyDrop.

Измерение межфазного натяжения осуществлялось между жидкостью и воздухом при комнатной температуре при атмосферном давлении. Образец (раствор ПАВ) помещался в шприц в устройстве и за несколько секунд устанавливался в правильном положении относительно камеры. С помощью системы одиночного дозирования из шприца выдавливалась капля раствора до момента отрыва от иглы, регулируемая подсветка и система наведения резкости с 6-и кратным увеличением обеспечивала оптимальные условия

изображения капли, после этого камера записывала цифровое изображение. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Исходя из условия, что краевой угол смачивания должен быть более 90 °С для обеспечения наименьшего проникновения раствора в породу, по результатам исследования формы капель все рассматриваемые ПАВ удовлетворяют этому условию. С точки зрения снижения поверхностного натяжения минимальные значения этого параметра отмечены у бинарных смесей ПАВ (ЛАБС натрия 0,05–0,1 % + лаурилсульфат натрия 0,05–0,1 %) и растворов с высокой концентрацией монореагентных ПАВ (до 0,2 %).

Таблица 1. Физико-химические свойства ПАВ на границе раздела «раствор – воздух», полученные на системе анализа формы капли EasyDrop методом «висящей капли»

№ п/п	Поверхностно-активные вещества и их концентрация в растворе (%)	Краевой угол смачивания $\theta$ , град	Поверхностное натяжение $\sigma$ , мН/м	Объём капли, мкл	Площадь капли, мм <sup>2</sup>	Длина капли, мм
1.	Сульфонол (0.2 %)	119,2	27,25	3,57	11,02	0,755
2.	Сульфонол (0.2 %) + лаурилсульфат натрия (0.1 %)	121,2	29,92	3,90	11,70	0,753
3.	Лаурилсульфат натрия (0.1 %)	119,6	33,97	4,46	12,93	0,675
4.	Лаурилсульфат натрия (0.2 %)	119,7	28,00	3,67	11,30	0,702
5.	ЛАБС натрия (0.1 %)	116,3	27,21	3,58	11,16	0,671
6.	ЛАБС натрия (0.2 %)	115,7	30,15	4,00	12,05	0,662
7.	ЛАБС натрия (0,1 %) + лаурилсульфат натрия (0,1 %)	115,7	28,47	3,78	11,64	0,590
8.	ЛАБС натрия (0,05 %) + лаурилсульфат натрия (0,1 %)	120,1	27,33	3,59	11,13	0,747
9.	ЛАБС натрия (0,1 %) + лаурилсульфат натрия (0,05%)	119,6	27,60	3,64	11,27	0,743
10.	ЛАБС натрия (0,05 %) + лаурилсульфат натрия (0,05%)	117,6	26,66	3,50	11,00	0,702
11.	ОП-7 (0,1 %)	120,1	33,79	4,29	12,62	0,742
12.	ОП-10 (0,2 %)	118,9	30,69	4,07	12,13	0,628

Изучение кинетики разрушения ГЖС проводились в лаборатории кафедры бурения скважин. Пенообразующую жидкость (ПОЖ) в количестве, необходимом для проведения эксперимента, заливали в мерный цилиндр. Раствор перемешивали в течение 30 с и фиксировали объем полученной пены в цилиндре, замеры уровня раствора производились каждые 300 с. Кратность пены вычисляли как отношение полученного объема (в см<sup>3</sup>) пены к объёму пенообразующей жидкости. За результат испытания принималось среднее арифметическое трех определений кратности пены [5].

По результатам исследования кинетики разрушения газожидкостных смесей (табл. 2), полученных на основе пресных растворов ПАВ, наилучшие показатели зафиксированы у

трёх растворов: лаурилсульфата натрия 0,2 %, ЛАБС натрия 0,2 % и смеси ПАВ сульфонола 0,2 % + лаурилсульфата натрия 0,1 %. Эти растворы также обладают лучшей устойчивостью во времени (рис. 1). Худшие показатели отмечены у растворов сульфонола 0,2 % и лаурилсульфата натрия 0,1 %.

Таблица 2. Кинетика разрушения газожидкостных смесей, полученных из растворов ПАВ

Поверхностно-активные вещества и их содержание (%)	Подъем пены (см <sup>3</sup> ) за 30 с	Объём столба пены (см <sup>3</sup> ) за время наблюдения, с					
		300	600	900	1200	1500	1800
Сульфонол (0,2 %)	397	382	360	324	274	263	246
Лаурилсульфат натрия (0,2 %)	773	752	741	736	736	736	733
Лаурилсульфат натрия (0,1 %)	357	299	283	273	262	248	238
Лаурилсульфат натрия (0,1 %) + Сульфонол (0,2 %)	778	736	733	719	717	704	697
ЛАБС натрия (0,2 %)	763	732	728	718	717	712	704
ЛАБС натрия (0,1 %)	542	508	504	494	486	478	471
ЛАБС натрия (0,1 %) + Лаурилсульфат натрия (0,1 %)	756	713	700	698	691	687	680
ЛАБС натрия (0,05 %) + Лаурилсульфат натрия (0,1 %)	734	674	658	653	638	633	627
ЛАБС натрия (0,1 %) + Лаурилсульфат натрия (0,05 %)	730	678	659	657	644	636	636
ЛАБС натрия (0,05 %) + Лаурилсульфат натрия (0,05 %)	652	593	589	583	579	568	560
ОП-7 (0,1%)	177	157	147	133	117	110	97
ОП-10 (0,2%)	193	177	163	147	140	133	120

Бинарные составы ПАВ (ЛАБС натрия + лаурилсульфат натрия в различных сочетаниях) также обладают хорошей пенообразующей способностью за счёт их комплексного воздействия и усиливающего эффекта. Достаточной для приготовления ГЖС пенообразующей способностью обладает смесь анионоактивных ПАВ: лаурилсуфат натрия (0,05–0,1 %) и ЛАБС натрия (0,05–0,1 %).

Растворы смесей анионоактивных ПАВ эффективно понижают величину поверхностного натяжения и являются гидрофобизаторами твердой фазы, способствуют получению устойчивых ГЖС. Пенообразующую способность ПАВ значительно улучшают стабилизирующие добавки (крахмал, высокомолекулярные акриловые полимеры, биополимеры до 0,2–1,0 %) за счет повышения дисперсности и устойчивости пены, при этом повышается вязкость растворителя (воды) и замедляется процесс истечения из пленок.

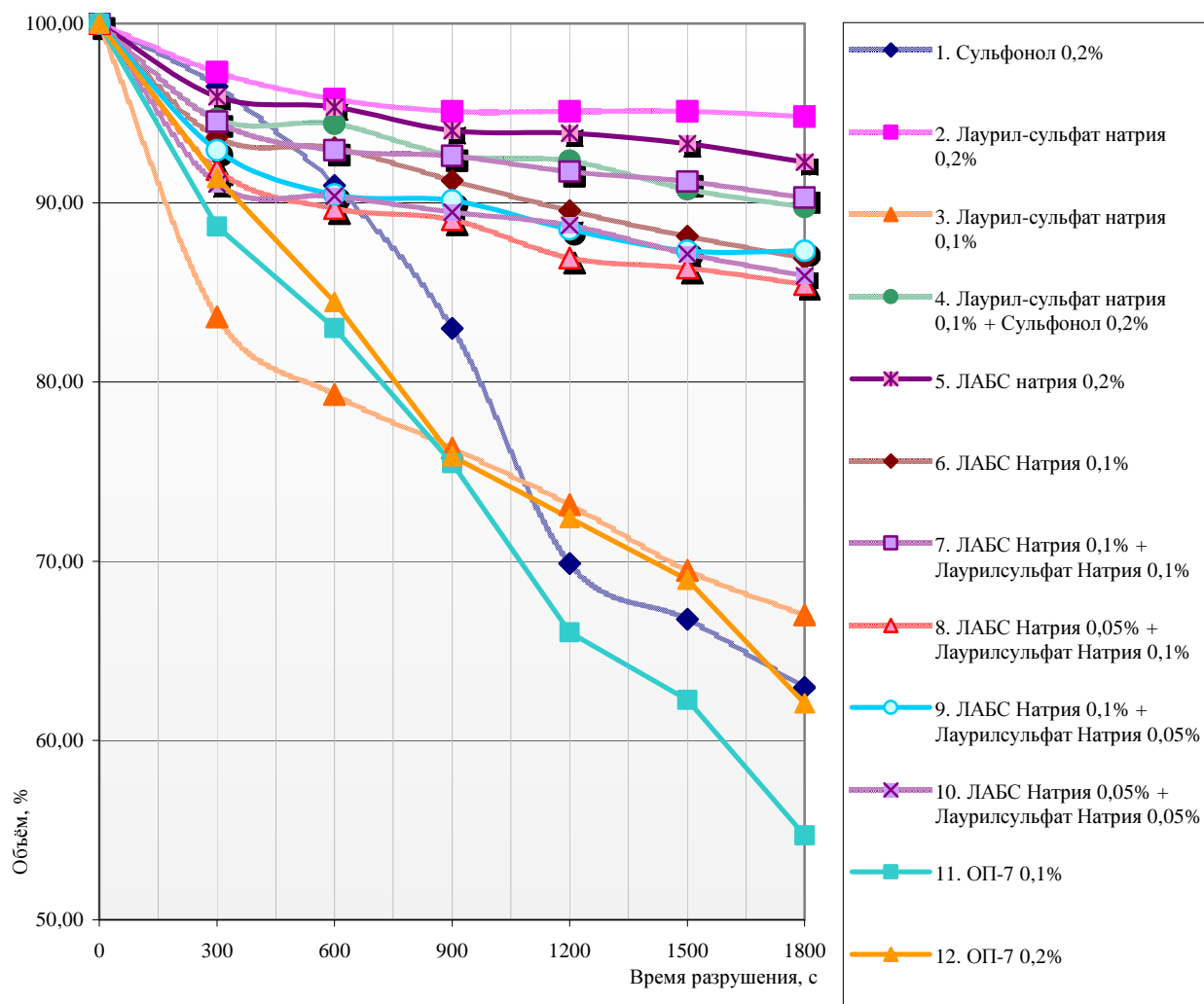


Рисунок 1. Разрушение газожидкостных смесей, полученных из растворов ПАВ

### Исследование растворов поверхностно-активных веществ

Проведены исследования по изучению технологических свойств полимерных буровых промывочных жидкостей и газожидкостных смесей на их основе (кинетика разрушения, кратность, устойчивость и др.). Исследовались смеси, которые включали в себя следующие компоненты: растворы анионных ПАВ (лаурилсульфат натрия, ЛАБС натрия), полимеры-структурообразователи (ПАА FP 107, КМК-БУР-2, «Комета-Метеор»), регулятор вязкости (глицерин). В таблице 3 представлены экспериментально полученные показатели смесей, с которыми был проведён весь комплекс планируемых измерений.

Таблица 3. Измеренные и рассчитанные параметры растворов и газожидкостных смесей на их основе

№ Раствора	Плотность пенообразующего раствора, кг/м <sup>3</sup>	Плотность ГЖС средняя на начало цикла промывки, кг/м <sup>3</sup>	Плотность ГЖС средняя на конец цикла промывки, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент разрушения пены	Газосодержание	Устойчивость ГЖС, с/см <sup>3</sup>	Поверхностное натяжение «раствор – воздух», мН/м
Группа составов 1: Вода + Лаурилсульфат Натрия + ЛАБС Натрия + Глицерин + ПАА FR-107							
1	1007	298	353	0,82	0,70	4,36	29,62
3	1005	218	253	0,85	0,78	5,00	27,07
4	1012	250	295	0,83	0,75	5,72	31,42
5	1013	283	329	0,84	0,72	9,28	30,39
9	1004	266	300	0,87	0,74	21,34	29,30
Группа составов 2: Вода + Лаурилсульфат Натрия + ЛАБС Натрия + Глицерин + «Комета-Метеор»							
2	1011	400	652	0,52	0,60	1,90	46,56
6	1008	221	269	0,80	0,78	4,86	30,28
7	1021	207	268	0,75	0,80	7,72	31,01
8	1013	240	312	0,74	0,76	4,22	32,41
Группа составов 3: Вода + Лаурилсульфат Натрия + ЛАБС Натрия + Глицерин + КМК-БУР-2							
10	1012	213	255	0,82	0,79	9,24	31,58
11	1013	201	247	0,79	0,80	6,00	29,97
Комплексный состав: Вода + Лаурилсульфат Натрия + ЛАБС Натрия + Глицерин + ПАА FR-107 + КМК-БУР-2							
12	1018	298	350	0,82	0,71	12,00	31,12

Все представленные в таблице 3 растворы обладают способностью повторного пенообразования. При этом следует отметить, что, с точки зрения структуры получаемых ГЖС, группа растворов 2 (за исключением 7-го состава) при приготовлении разделяется на 2 составляющие – жидкостную и газожидкостную (на рис. 2 представлена кинетика выделения жидкости из смеси, в т.ч. в момент приготовления), что отрицательно сказывается на качествеготавливаемых смесей. У остальных составов (кроме 1-го) при получении ГЖС прослеживается однородная структура во всем объеме смеси.

Как отмечено ранее, ГЖС должны быть стабильными в течение одного цикла промывки скважины, разрушаясь после этого, для обеспечения качественной очистки раствора от шлама. После остановки циркуляции выделение 50 % жидкости (см. рис. 2) происходит в течение 5–8 минут практически у всех составов (кроме 9-го и 12-го), увеличение этого времени до 10–20 минут (как у составов 9 и 12) ненамного задержит время очистки ГЖС от шлама. Но при этом позволит проводить непродолжительные остановки циркуляции в процессе бурения со снижением опасности проникновения раствора в продуктивный горизонт.

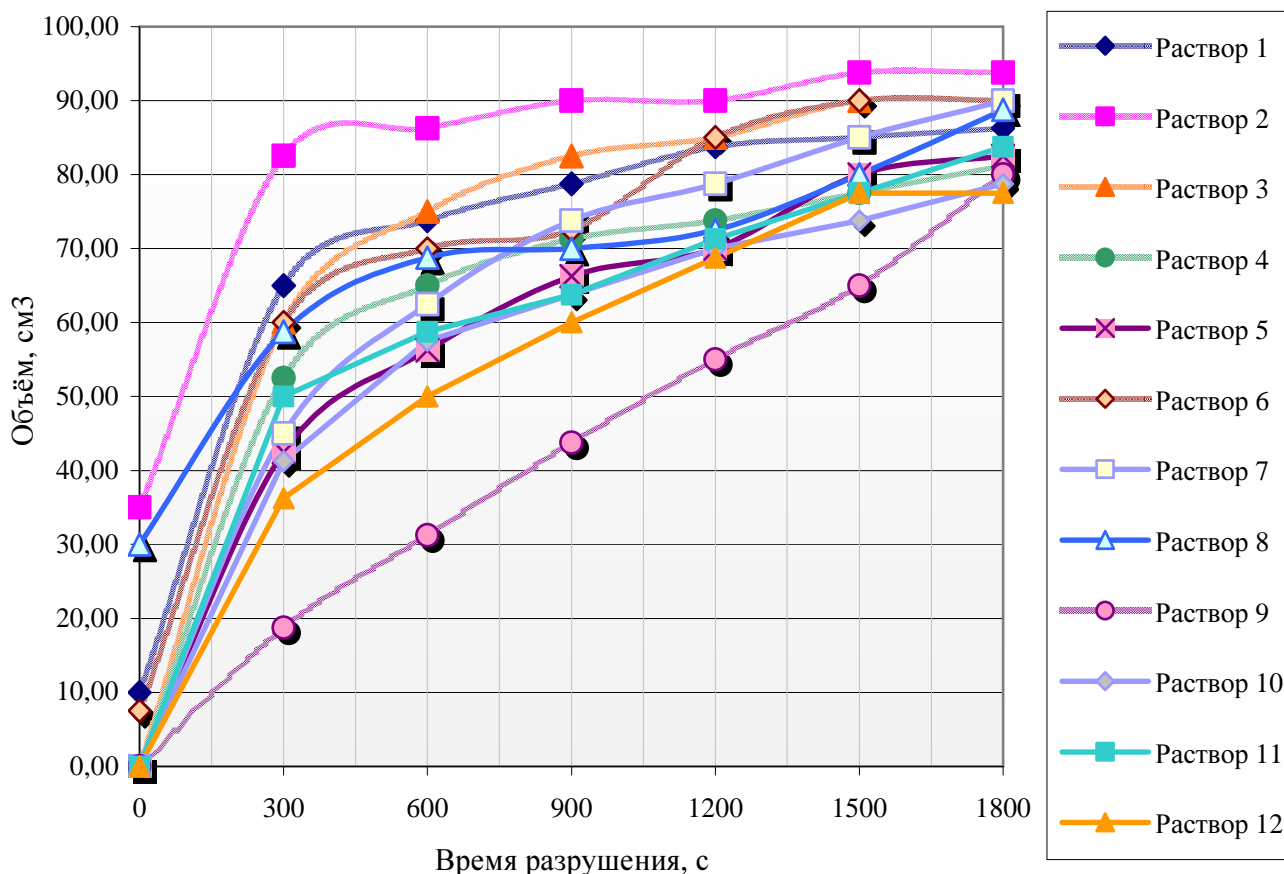


Рисунок 2. Кинетика выделения жидкости из газожидкостной смеси

В течение 30 минут после прекращения циркуляции ГЖС (после вывода из скважины с целью очистки) из всех смесей выделяется 75–95 % жидкости. Это позволяет после очистки от шлама при небольших потерях пенообразующего раствора (при соответствующей дообработке необходимым количеством реагентов) продолжить промывку скважин, оставив пену на поверхности (в приемных емкостях, либо специально для этого отведенных резервуарах) для её полного разрушения.

### Заключение

Результаты исследований показали, что смеси ПАВ обладают большей пенообразующей способностью по сравнению с монореагентными за счет того, что они усиливают действие друг друга в растворе. Кратность пен раствора этих ПАВ выше суммы кратностей пен растворов отдельных (монореагентных), что позволяет рационализировать процесс приготовления растворов за счет экономии исходного сырья. Хорошими показателями, с точки зрения пенообразования, обладает смесь анионактивных ПАВ лаурилсульфат натрия (0,05–0,1 %) и ЛАБС натрия (0,05–0,1 %).

В результате проведенных исследований доказано, что ввод в качестве реагента стабилизатора высокомолекулярного акрилового полимера ПАА FP 107 в количестве до 0,1

% позволяет получить стабильные газожидкостные смеси, обладающие пенообразующей способностью при повторном перемешивании после разрушения пен. При использовании в качестве стабилизатора карбоксиметил крахмала КМК-БУР-2 (до 0,1 %) также обеспечивается хорошая стабильность получаемых составов, в том числе при использовании этих реагентов в комплексе.

Для получения более полной картины о разрабатываемых составах необходимо провести комплекс исследований реологических свойств, проникающей способности растворов в горные породы (в т.ч. в продуктивные горизонты) и взаимодействия с ними.

### **Список литературы**

1. Мураев Ю. Д. Газожидкостные системы в буровых работах. СПГГИ (ТУ). СПб., 2004, 123 с.
2. Рязанов Я. А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: Издательство «Летопись», 2005. – 664 с.
3. Турицына М. В. Обоснование использования газожидкостных смесей для профилактики поглощений при бурении скважин // Научные исследования и инновации. Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета, 2011. Т. 5, № 2. С. 61-63.
4. Турицына М. В. Первичное вскрытие пластов с аномально низкими давлениями. Теория и практика современного состояния вопроса // Научное издание «Севергеоэкотех-2011». – Материалы XII международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2011» (16–18.03.2011 г., Ухта): В 5 ч. Ч. 2. – Ухта: УГТУ, 2011. С. 62-65.
5. Яковлев А. А. Научно-практические основы технологии бурения и крепления скважин с применением газожидкостных промывочных и тампонажных смесей. Дисс... докт. техн. наук. – СПб., 2001. 249 с.

### **Рецензенты:**

Яковлев А. А., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики Санкт-Петербургского государственного горного университета, г. Санкт-Петербург.

Осецкий А. И., доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕН, главный технолог Управления минерально-сырьевых ресурсов ОАО «Полиметалл УК», г. Санкт-Петербург.