УДК 622.24.063

ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ СМАЗЫВАЮЩИХ ДОБАВОК С ПОМОЩЬЮ ТЕСТЕРА ПРЕДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И СМАЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

–––––––

THE METHODS OF STUDY OF LUBRICITY ADDITIVES WITH A TESTER LIMIT PRESSURE AND LUBRICITY

Капитонов Владимир Алексеевич
кандидат технических наук, доцент,
Самарский государственный
технический университет
KapitonovVA@gmail.com

Аннотация. В статье приведены результаты исследований смазывающих добавок с помощью тестера предельного давления и смазывающей способности. С помощью этого прибора определяется крутящий момент, характеризующий коэффициент трения между трущейся парой «металл – металл». В статье приводятся результаты влияния смазывающих добавок на разные типы буровых растворов. В качестве базовых растворов для исследований смазывающих добавок были использованы полимер-бентонитовый, полимер-бентонитовый соленасыщенный и гипсо-известковый растворы. Рецептуры буровых растворов были взяты из рабочих программ сервисного подрядчика по буровым растворам, участвующего в проводке скважин на месторождениях АО «Самаранефтегаз». Приведены результаты определения параметров базовых растворов, влияние смазывающих добавок и высоких скоростей перемешивания. Проведены исследования влияния смазывающих добавок на полимер-глинистый раствор, содержащий мраморную крошку и без нее. Выявлено влияние скорости перемешивания растворов после ввода смазывающих добавок на получаемый крутящий момент. Также рассмотрена методика оценки вспенивающей способности. Приведены результаты исследований вспенивания полимер-бентонитового раствора при вводе различных смазывающих добавок.

Ключевые слова: смазывающая способность, вспенивающая способность, крутящий момент, трущаяся пара «металл – металл», тестер предельного давления и смазывающей способности, полимер-бентонитовый буровой раствор, полимер-бентонитовый соленасыщенный буровой раствор, гипсо-известковый буровой раствор, параметры буровых растворов, коэффициент трения.

Kapitonov Vladimir Alekseevich
Candidate of technical sciences,
Associate professor,
Samara state technical university
KapitonovVA@gmail.com

Annotation. The article presents the results of studies of lubricating additives with extreme pressure and lubricity tester. The test consists of measuring the torque of a steel block while being pressed against a rotating steel ring. The article presents the results of the impact of lubricity additives on different types of drilling fluids. As base fluids for studies of lubricity additives have been used with polymer-bentonite, polymer-bentonite salt-saturated and gypsum-lime mortars. Formulations of drilling fluids were taken from the work program service contractor for drilling fluids involved in the transaction wells at the fields of Samaraneftegaz. The results of determining the parameters of base solutions, the influence of lubricant additives and high speed mixing. Investigated the effect of lubricity additives on the polymer-clay solution containing the marble chips. Was investigated the effect of speed of mixing of solutions after the introduction of lubricating additives on the resulting torque. Also the method of assessment of blowing ability. The results of studies of foaming of the polymer-bentonite solution at the input of various lubricity additives.

Keywords: lubricity, foaming capacity, torque, friction pair «metal – metal», the tester limit pressure and lubricity, polymer-bentonite drilling fluid, polymer-bentonite salt-saturated drilling mud, gypsum-lime drilling mud, drilling mud parameters, coefficient of friction.

Автор выражает благодарность главному менеджеру по химическим технологиям при строительстве скважин ООО «СамараНИПИнефть» Коваль Максиму Евгеньевичу, оказавшему содействие в проведении данных исследований и высказавшему полезные замечания по полученным результатам.

Целью проведенных исследований являлась отработка методики изучения влияния различных факторов на крутящий момент трущейся пары «металл – металл» с помощью тестера предельного давления и смазывающей способности.

В качестве смазывающих добавок были использованы жидкие смазки, применяемые на месторождениях АО «Самаранефтегаз». Для сопоставления получаемых результатов смазывающие добавки вводились в буровые растворы трех типов в разных концентрациях. Также определялись пенообразующие свойства исследуемых смазок в указанных системах буровых растворов.

Приготовление растворов производилось путем введения химических реагентов в порядке, соответствующем порядку, приведенному в рецептуре. У готовых растворов замерялись реологические и фильтрационные параметры. Образцы смазывающих добавок после ввода в заранее приготовленные растворы перемешивали на лабораторной мешалке со скоростями 900–1200 об./мин не менее 5 минут. Измерение коэффициентов трения проводилось на установке «OFITE Lubricity / Ep Tester». Нагрузка пары трения – 150 фунтов · дюйм. Скорость вращения RPM 60 с использованием тест-

кольца (111-02) и тест-блока (111-08): трущаяся пара «металл – металл». До начала замера каждой новой смазывающей добавки определялись показания тестера предельного давления на дистиллированной воде. Для оценки способности смазок к пенообразованию образец раствора в объеме 400 мл перемешивался со скоростью 10000 об./мин. в течение 5 минут (с помощью мешалки Hamilton Beach). Вспененный раствор переливался в градуированный цилиндр, и фиксировалось изменение объема пены в течение 1–3–5–10–15 минут.

На первом этапе были проведены исследования смазывающих добавок в полимер-глинистом растворе, рецептура и параметры которого приведены в таблице 1 (серия исследований 1).

Таблица 1 – Рецептура и параметры полимер-глинистого раствора «серия 1»

Наименование реагента	Полимер-бентонитовый			
	Концентрация (мас./об.)		Наименование параметра	Значение
	%	кг/м^3		
Na_2CO_3	0,2	2	Плотность, г/см^3	1,08
$NaHCO_3$	0,1	1	Пластическая вязкость, сПз	20
NaOH	0,2	2	Динамическое напряжение свдига, фунт/100 фут^2	15
ПБМВ	5	50	Статическое напряжение сдвига за 10 с, фунт/100 фут^2	1,5
Desco	0,5	5	Статическое напряжение сдвига за 10 мин., фунт/100 фут^2	5,5
PAC-HV	0,2	2	Показатель фильтрации по фильтр-прессу, мл за 30 мин.	5,7
PAC-LV	0,5	5	Толщина фильтрационной корки, мм	1
Мраморная крошка	8,5	85	Коэффициент трения по КТК-2, град.	1,5
Бактерицид	0,1	1	Смазывающая способность по тестеру (крутящий момент), дюйм-фунтов	36,7

Результаты предварительных исследований смазывающих добавок приведены в таблице 2 и на рисунке 1. Как видим из результатов исследований, наибольшее снижение крутящего момента достигается при концентрации 2 % по всем смазывающим добавкам. Дальнейшее увеличение концентрации смазывающей добавки слабо сказывается на снижении крутящего момента. Наилучшей смазывающей способностью обладает смазывающая добавка Glidex. Следом за ней идет Ecolube. Наименьшее снижение крутящего момента наблюдается при введении Bau DF Lube.

Таблица 2 – Результаты исследований смазывающих добавок в полимер-бентонитовом растворе

Смазывающая добавка	Концентрация, %	Крутящий момент, дюйм-фунтов	Пластическая вязкость, сПз	ДНС, фунт/100 фут^2	СНС за 10 с, фунт/100 фут^2	СНС за 10 мин., фунт/100 фут^2	Ф за 30 мин., мл	КТК, град.
Полимер-бентонитовый с мраморной крошкой «серия 1»								
Без смазки	0	36,7	20	15	1,5	5,5	5,7	1,5
Bau DF Lube со скважины № 462 Винно-Банновского месторождения, отобранная в 2016 г.	0,5	32	19,5	15,5	2	3	5,4	1,5
	1	29,4						
	2	26,4						
	5	23,4	22	19	3	5	4,2	3
Ecolube со скважины № 6021 Покровского месторождения, отобранная 26.03.2015	0,5	30,6						
	1	25,5						
	2	16,6						
	5	13,2						
Glidex, предоставленная в лабораторию в 2015 г.	0,5	27,1						
	1	24,4						
	2	14,7						
	5	11,9						

Примечание. Перед определением крутящего момента с буровыми растворами, представленными как в этой таблице и в таблицах, приведенных далее, производились проверки показаний тестера предельного давления и смазывающей способности с дистиллированной водой. Во всех случаях показания прибора не выходили за допустимые пределы (значение крутящего момента находилось в интервале от 32 до 36 дюйм · фунтов).

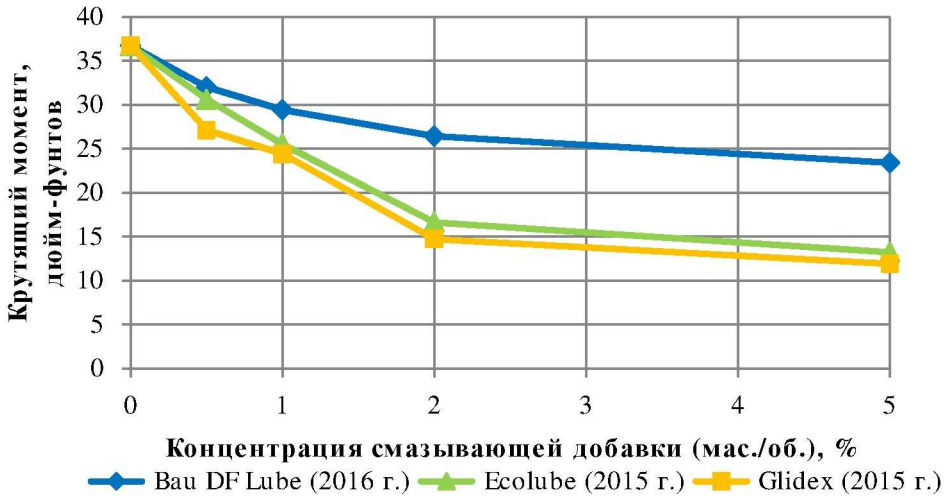

Рисунок 1 – Результаты предварительных исследований смазывающих добавок в полимер-бентонитовом растворе «серия 1»

Дальнейшая отработка методики исследований влияния смазывающих добавок на крутящий момент проводилась с использованием добавок:

- Bau DF Lube, отобранная со склада подрядчика;
- Glidex m. 3.1 – со скважин Бариновско-Лебяжинского месторождения.

Для проведения сравнительных исследований смазывающих добавок были приготовлены полимер-бентонитовый, полимер-бентонитовый соленасыщенный и гипсо-известковый растворы. Рецептуры и параметры исходных буровых растворов приведены в таблице 3. В процессе проведения исследований возникли вопросы о возможном влиянии на крутящий момент мраморной крошки и поверхностно-активных веществ, дополнительно включаемых в указанные рецептуры подрядными организациями. Поэтому дополнительно были проведены сравнительные исследования отобранных смазывающих добавок на полимер-глинистый раствор, рецептура которого приведена в таблице 4.

Таблица 3 – Рецептуры и параметры исходных буровых растворов с мраморной крошкой «серия 2»

Наименование реагента	Полимер-бентонитовый		Полимер-бентонитовый соленасыщенный		Гипсо-известковый	
	концентрация (мас./об.)					
	%	кг/м^3	%	кг/м^3	%	кг/м^3
1	2	3	4	5	6	7
Na_2CO_3	0,2	2				
NaOH	0,2	2				
ПБМВ	5	50				
PAC-HV	0,2	2				
PAC-LV	0,5	5				
Desco	0,2	2				
Мраморная крошка	10	100				
ТЕСИЛ 210 п	0,2	2				
Бактерицид	0,1	1				
NaOH			0,4	4		
ПБМВ			7	70		
PAC-HV			0,2	2		

Продолжение таблици 3

1	2	3	4	5	6	7
PAC-LV			0,5	5		
NaCl			25	250		
Starch			2,5	25		
Мраморная крошка			9	90		
ТЕСИЛ 210 п			0,4	4		
Бактерицид			0,1	1		
Na_2CO_3					0,1	1
NaOH					0,2	2
ПБМВ					3,5	35
PAC-HV					0,2	2
PAC-LV					0,5	5
Starch					2,5	25
Desco					0,5	5
Известь					0,3	3
Гипс					0,3	3
Мраморная крошка					10	100
ТЕСИЛ 210 п					0,2	2
Бактерицид					0,1	1

Наименование параметра	Полимер-бентонитовый	Полимер-бентонитовый соленасыщенный	Гипсо-известковый
Плотность, г/см^3	1,10	1,25	1,11
Пластическая вязкость, сПз	25	53	57
Динамическое напряжение сдвига, фунт/100 фут^2	23	128	83
Статическое напряжение сдвига за 10 с, фунт/100 фут^2	4	67	21
Статическое напряжение сдвига за 10 мин., фунт/100 фут^2	21	92	62
Показатель фильтрации по фильтр-прессу, мл за 30 мин.	6,0	2,8	3,6
Толщина фильтрационной корки, мм	1	1	1
Коэффициент трения по КТК-2, град.	2,25	2,75	2,00
Смазывающая способность (крутящий момент), дюйм-фунтов	36,0	26,3	23,9
pH	12,4	13,0	12,3
Ca^{++}, мг/л	800	680	1600
Cl^-, мг/л	1150	150000	1200
МВТ, кг/м^3	36	46	29
Pf [объем H_2SO_4 0,02 н, мл]	2,0	1,0	1,2
Mf [объем H_2SO_4 0,02 н, мл]	1,9	1,5	1,4

Таблица 4 – Рецептура полимер-глинистого бурового раствора без мраморной крошки «серия 3»

Наименование реагента	Концентрация (мас./об.), %	
	%	кг/м^3
Na_2CO_3	0,2	2
NaOH	0,2	2
ПБМВ	5	50
PAC-HV	0,2	2
PAC-LV	0,5	5
Desco	0,2	2
Ялан (поверхностно-активное вещество)	0,04	0,4
ТЕСИЛ 210 п	0,2	2
Бактерицид	0,1	1

Влияние смазывающих добавок на трение пары «металл – металл», характеризуемый крутящим моментом, для полимер-бентонитовых буровых растворов приведено на рисунке 2 и в таблице 5.

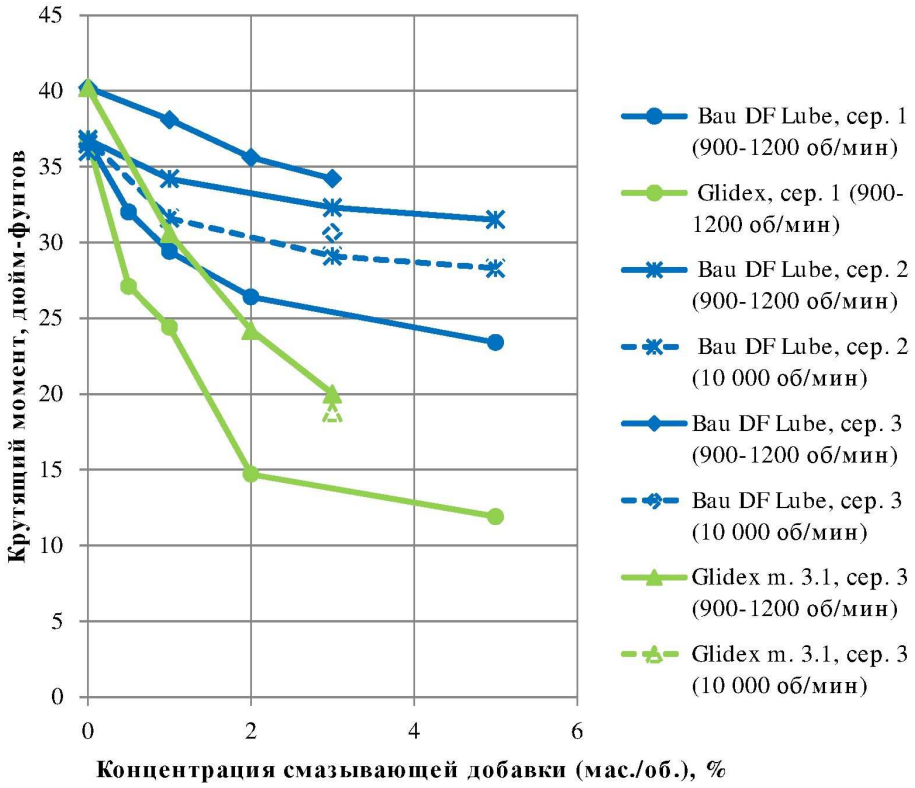

Рисунок 2 – Совмещенный график влияния смазывающих добавок на показания крутящего момента в полимер-бентонитовых растворах

На рисунке 2 зеленым цветом показаны результаты, достигнутые при вводе Glidex. Синий цвет – отвечает смазке Bau DF Lube. Результаты предварительных исследований отмечены маркерами в виде кружков – серия исследований 1. Наиболее близкими к предварительно полученным результатам являются результаты, полученные при исследовании смазки Bau DF Lube в полимер-бентонитовом растворе, рецептура которого приведена в таблице 3 (серия исследований 2), на рисунке она показана звездочками. Как видим, в предварительных исследованиях смазывающие добавки Glidex и Bau DF Lube больше снизили коэффициент трения, по всей видимости, из-за некоторого различия реологических свойств исходных буровых растворов. Пунктирной линией показаны значения крутящего момента, зафиксированные после перемешивания раствора со скоростью 10000 об./мин. Такое перемешивание дает снижение крутящего момента Bau DF Lube на 3,2 дюйм-фунтов при концентрации смазывающей добавки 3 и 5 %.

Таблица 5 – Влияние смазывающих добавок на параметры полимер-бентонитовых буровых растворов

Смазывающая добавка	Концентрация (мас./об.), %	Крутящий момент, дюйм-фунтов		Пластическая вязкость, сПз		ДНС, фунт/100 фут^2		СНС за 10 с, фунт/100 фут^2		СНС за 10 мин., фунт/100 фут^2		Ф за 30 мин., мл	КТК, град.
Скорость перемешивания, об./мин.		900–1200	10 тыс.	900–1200	10 000	900–1200	10 000	900–1200	10 тыс.	900–1200	10 тыс.		
Полимер-бентонитовый с мраморной крошкой «серия 2»													
Без смазки	0	36,0		25		23		4		21		6,0	2,25
	0	36,5											
	0	36,8											
Bau DF Lube	1	34,2	31,6	29	22	22	29	6	7	22	27		
	3	32,3	29,1	32	14	21	42	4	10	22	30		
	5	31,5	28,3	27	21	30	31	5	10	24	28	4,2	2,75
Полимер-бентонитовый без мраморной крошки «серия 3»													
Без смазки	0	40,2		19		17		3		16			
Bau DF Lube	1	38,1		19		17		4		21			
	2	35,6		19		18		4		21			
	3	34,2	30,6	20		19		5		23		5,6	1,50
Glidex m. 3.1	1	30,6		18		19		3		21			
	2	24,2		17		19		2		18			
	3	20,0	18,8	20	21	16	20	2	4	18	22	5,4	2,00

Полимер-глинистый раствор, приготовленный без мраморной крошки и с ПАВ (Ялан) (серия исследований 3), характеризуется группой кривых, начинающихся от значения крутящего момента 40,2, что выше значений, полученных на растворах с мраморной крошкой. Такое различие возможно связано с попаданием мраморной крошки между трущейся парой «кольцо – блок», приводящее к эффекту «шарика в подшипниках». Как видим, тенденции влияния смазывающих добавок в растворе, приготовленном без мраморной крошки, похожи на растворы с мраморной крошкой: наилучшую смазывающую способность демонстрирует Glidex, при концентрации в 3 % эта смазывающая добавка снижает крутящий момент в 2 раза. Bau DF Lube при концентрации в 3 % снизила крутящий момент на 15 %, что меньше полученного предварительного результата, когда смазка при той же концентрации снизила крутящий момент почти на 30 %. Как и в случае с растворами с мраморной крошкой, на величину крутящего момента положительно сказывается перемешивание раствора при высоких оборотах (10000 об./мин.), которое при концентрации Bau DF Lube в 3 % дает снижение крутящего момента до 24 %. И это происходит несмотря на присутствие в полимер-глинистом растворе ПАВ в концентрации 0,04 %.

Далее переходим к рассмотрению влияния смазывающих добавок на коэффициент трения ***полимер-бентонитового соленасыщенного раствора***. Параметры растворов после ввода смазывающих добавок в этот раствор приведены в таблице 6. Как видно из приведенной таблицы, с вводом смазки и перемешиванием при скоростях 900–1200 об./мин. происходит незначительное снижение коэффициента трения. В то же время, если раствор после ввода смазки перемешивался при скоростях 10000 об./мин., то значения крутящего момента были ниже.

Следует отметить, что в соленасыщенном растворе смазывающая добавка Glidex m. 3.1 отрицательно влияет на структуру раствора. Так, при концентрации 1 % происходит загущение раствора (динамическое напряжение сдвига увеличивается со 128 до 198 фунт/100 фут^2), а увеличение концентрации до 5 % вызывает разжижение бурового раствора и рост показания фильтрации (более 20 мл за 10 мин.).

В ***гипсо-известковом буровом растворе*** не прослеживается однозначной зависимости снижения смазывающей способности с повышением концентрации смазывающих добавок (табл. 7), что может быть связано с дополнительным влиянием на показания тестера предельного давления и смазывающей способности твердой фазы извести и гипса, присутствующих в растворе.

Таблица 6 – Влияние смазывающих добавок на параметры полимер-бентонитового соленасыщенного раствора

Смазывающая добавка	Концентрация (мас./об.), %	Крутящий момент, дюйм-фунтов		Пластическая вязкость, сПз		ДНС, фунт/100 фут^2		СНС за 10 с, фунт/100 фут^2		СНС за 10 мин., фунт/100 фут^2		Ф за 30 мин., мл	КТК, град.
Скорость перемешивания, об./мин.		900–1200	10 тыс.	900–1200	10 тыс.	900–1200	10 тыс.	900–1200	10 тыс.	900–1200	10 тыс.		
Полимер-бентонитовый соленасыщенный с мраморной крошкой «серия 2»													
Без смазки	0	26,3		53		128		67		93		2,8	2,75
Bau DF Lube	1	25,8	22,9										
	2		23,0										
	3		23,5										
	5		22,5		36		100		62		89	1,6	3,00
Glidex m. 3.1	1		25,7		51		198		97				
	5	25,4	22,6	33	20	18	42	9	20	9	20	> 20 мл за 10 мин.	

Таблица 7 – Влияние смазывающих добавок на параметры гипсо-известкового раствора

Смазывающая добавка	Концентрация (мас./об.), %	Крутящий момент, дюйм-фунтов		Пластическая вязкость, сПз		ДНС, фунт/100 фут^2		СНС за 10 с, фунт/100 фут^2		СНС за 10 мин., фунт/100 фут^2		Ф за 30 мин., мл	КТК, град.
Скорость перемешивания, об./мин.		900–1200	10 тыс.	900–1200	10 тыс.	900–1200	10 тыс.	900–1200	10 тыс.	900–1200	10 тыс.		
Гипсо-известковый с мраморной крошкой «серия 2»													
Без смазки	0	23,9		57		83		21		62		3,6	1,75
	0	23,9											
Bau DF Lube	1	23,5	24,8	56		62		12		44			
	3	25,0											
	5	23,4	21,3	61	43	66	50	12	9	52	44		
Glidex m. 3.1	1	24,5		55		71		24		67			
	5	25,2	23,0	53	39	69	60	21	22	60	57	3,2	2,00

При определении ***вспенивающей способности*** раствор в объеме 400 мл перемешивался при 10000 об./мин. в течение 5 минут с помощью Hamilton Beach. Изменение объема, определяемое в градуированном цилиндре, приведено в таблице 8 и на рисунке 3.

Таблица 8 – Влияние смазывающих добавок на пенообразование раствора, приготовленного по рецептуре «серии 3»

Тип раствора	Полимер-бентонитовый без мраморной крошки			
Наименование и концентрация смазывающей добавки	3 % Bau DF Lube		3 % Glidex m. 3.1	
Исходный объем раствора	400		400	
	мл	%	мл	%
0 мин.	500	125	560	140
1 мин.	500	125	560	140
2 мин.	500	125	560	140
3 мин.	490	122,5	560	140
4 мин.	490	122,5	560	140
5 мин.	480	120	550	137,5
10 мин.	470	117,5	550	137,5
15 мин.	470	117,5	550	137,5

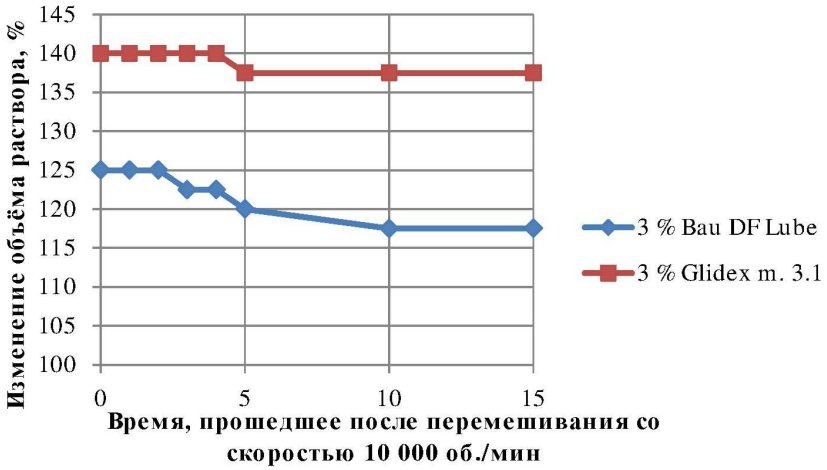

Рисунок 3 – Результаты замера вспенивающей способности при вводе 3 % различных смазывающих добавок в полимер-бентонитовом растворе «серии 3»

Исследование вспенивающей способности в полимер-бентонитовом растворе показало, что при концентрации 3 % наибольшее увеличение объема наблюдается при вводе смазки Glidex m. 3.1 – на 40 %. Начальное увеличение объема бурового раствора при вводе смазки Bau DF Lube составляет 25 % и через 15 минут после перемешивания снижается до 17,5 %.

Выводы

1. Как видно из проведенных исследований, оптимальная рабочая концентрация смазывающих добавок – до 2 %, т.к. при последующем увеличении содержания смазывающей добавки коэффициент трения снижается незначительно.
2. Перемешивание растворов при скорости 10000 об./мин. оказывает положительное влияние на снижение коэффициента трения при различных концентрациях смазывающих добавок.
3. Ввод мраморной крошки в полимер-глинистый раствор снижает коэффициент трения при 2 % смазывающей добавки на 30–40 %.
4. В полимер-бентонитовом буровом растворе оптимальным соотношением коэффициента трения и вспенивающей способности обладает смазывающая добавка Glidex m. 3.1.