



Оригинальная статья / Original article

УДК 622.24.063

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-230-241>

Влияние реагентов-флокулянтов на параметры глинистых суспензий

© Е.В. Аверкина^a, Э.В. Шакирова^b, Л.А. Бутакова^c

^{a–c}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Целью данного исследования является оценка влияния реагентов-флокулянтов на реологические и структурно-механические свойства глинистых суспензий, подбор их оптимальной концентрации в составе бурового раствора. В настоящее время промышленностью выпускается огромное количество флокулянтов для буровых растворов, различающихся по свойствам и составу. В большинстве своем флокулянты – водорастворимые полимеры с большой молекулярной массой как природного, так и искусственного происхождения. Основное назначение таких реагентов – разделение твердой и жидкой фаз бурового раствора в процессе его обезвоживания и утилизации. Вместе с тем в глинистых суспензиях эти же реагенты применяются в качестве загустителей. Так как буровые растворы являются сложными системами, отличающимися по компонентному составу, не представляется возможным рекомендовать универсальный флокулянт. В ходе исследования оценка флокулирующей и загущающей способности реагентов проводилась в два этапа. Выявлялась оптимальная концентрация полимера, при которой достигались максимальные значения динамического напряжения сдвига. Проводились сравнительные эксперименты глинистых суспензий с полимерными реагентами. В качестве критерия оценки принимались значения реологических, структурно-механических и фильтрационных свойств раствора. В результате установлено: реагенты BEN-EX, BENTOPUS и DRB-9 могут применяться для повышения вязкости глинистого раствора при условии, что концентрация добавок BENTOPUS и DRB-9 не будет превышать 0,2 кг/м³; реагент SPECFLOC A 7950-20 может применяться для повышения вязкости глинистого раствора в концентрации до 0,1 кг/м³, в концентрации 0,2 и 0,3 кг/м³ добавка влияет на буровой раствор преимущественно как флокулянт, снижая статическое напряжение сдвига раствора и увеличивая фильтратоотдачу. Если в процессе бурения буровым раствором с добавкой SPECFLOC № 6919 определяющим параметром является только динамическое напряжение сдвига, то его можно рекомендовать для использования. Во всех остальных случаях необходимо провести дополнительные исследования. Проведенные лабораторные исследования позволяют получить буровые растворы с заданным набором технологических параметров, обеспечивающих высокое качество приготовленных буровых растворов.

Ключевые слова: буровой раствор, флокулянт, глинистая суспензия, реологические свойства

Информация о статье: Дата поступления 27 марта 2020 г.; дата принятия к печати 06 мая 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 июня 2020 г.

Для цитирования: Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Бутакова Л.А. Влияние реагентов-флокулянтов на параметры глинистых суспензий. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 2. С. 230–241. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-230-241>

Influence of flocculant reagents on the parameters of clay suspensions

© Elena V. Averkina^a, Elvira V. Shakirova^b, Lyubov A. Butakova^c

^{a–c}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: The purpose of the work is to evaluate the effect of flocculant reagents on the rheological and structural-mechanical properties of clay suspensions, and to select their optimal concentration in the drilling mud. Currently, the industry produces a huge number of drilling mud flocculants that differ in their properties and composition. Most flocculants are water-soluble polymers with a large molecular weight, both of natural and artificial origin. The main purpose of such reagents is to separate the solid and liquid phases of the drilling mud during its dewatering and disposal. However, in clay suspensions, the same reagents are used as thickeners. As drilling fluids are complex systems that differ in their component composition, it is not possible to recommend a universal flocculant. During the study, the analysis of the flocculating and thickening capacity of the reagents was performed in two stages. The study defined an optimal concentration of the polymer at which maximum values of the dynamic shear stress were



reached. The clay suspensions containing polymer reagents were been experimentally compared. The values of the rheological, structural-mechanical and filtration parameters of the solution were used as the evaluation criteria. The study has established the following. The reagents BEN-EX, BENTOPPLUS and DRB-9 can be used to increase the viscosity of the clay solution, provided that the concentration of the additives BENTOPPLUS and DRB-9 does not exceed 0.2 kg/m^3 . The SPECFLOC A 7950-20 reagent can be used to increase the viscosity of the clay solution in concentrations up to 0.1 kg/m^3 , while in concentrations of 0.2 and 0.3 kg/m^3 , the additive mainly effects the drilling mud as a flocculant, reducing the static shear stress of the solution and increasing the filtrate output. If the dynamic sheer stress is the only diagnostic variable when drilling with the SPECFLOC № 6919 additive, the latter can be recommended for use. In all other cases, additional research is required. The conducted laboratory studies allow us to obtain drilling fluids with a set of technological parameters that ensure high quality of the prepared drilling fluids.

Keywords: drilling mud, flocculant, clay suspension, rheological properties

Information about the article: Received March 27, 2020; accepted for publication May 06, 2020; available online June 30, 2020.

For citation: Averkina EV, Shakirova EV, Butakova LA. Influence of flocculant reagents on the parameters of clay suspensions. *Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(2):230–241. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-230-241>

Введение

Для ускорения и улучшения разделения твердой и жидкой фаз бурового раствора применяются природные и синтетические высокомолекулярные вещества, называемые флокулянтами, которые при введении в дисперсные системы адсорбируются или химически связываются с поверхностью частиц дисперсной фазы и объединяют частицы в агломераты (флокулы), способствуя их быстрому осаждению [1, 2]. Вместе с тем эти же реагенты применяют и в качестве загустителей промывочных жидкостей. Из-за разнообразия буровых растворов представлен широкий спектр флокулянтов, обладающих различными составами и техническими характеристиками. Оптимальная марка подбирается в зависимости от свойств очищаемой суспензии, метода очистки и требуемого результата. Количество поступающих в продажу реагентов-флокулянтов с каждым годом увеличивается. Для выбора химреагента, подходящего для данных условий, необходимо провести соответствующие испытания. При этом сначала целесообразно провести лабораторные исследования, чтобы ограничить число марок, подлежащих дальнейшим испытаниям. Выбор методики испытания зависит от производственной постановки задачи.

В учебно-исследовательской лаборатории буровых растворов и крепления

скважин Иркутского национального исследовательского технического университета были проведены лабораторные испытания ряда флокулянтов с целью изучения физико-химических процессов взаимодействия высокомолекулярных веществ с глинистыми суспензиями, а также выявления их оптимальной концентрации. В качестве критериев оценивания были приняты значения показателей реологических и фильтрационных свойств. Перечень использованных химических реагентов представлен в табл. 1. Лабораторные исследования реализовывались в помещении с температурой $20 \pm 2^\circ \text{C}$ и относительной влажностью не менее 50 %.

Материалы и методы исследования

С целью подбора наиболее эффективного в экономическом и технологическом смысле флокулянта для бурового раствора эксперименты осуществлялись по двум методикам.

Ввиду того, что в сопроводительных документах на химреагенты SPECFLOC № 6919 и SPECFLOC A 7950-20 отсутствуют рекомендации по их вводу в буровой раствор, было принято решение добавлять эти реагенты в таком же количестве, как и остальные (см. табл. 1).

На первом этапе приготавливалась бентонитовая суспензия с заданной концентрацией глинопорошка.



Таблица 1

Химические реагенты для сравнительного анализа

Table 1

Chemical reagents for comparative analysis

Наименование реагента	Производитель	Назначение реагента	Рекомендуемая концентрация, кг/м ³
Глинопорошок бентонитовый	ООО «Бентонит Кургана»	Структурообразователь	50
DRB-9	–	Селективный флокулянт и добавка к бентониту	0,5–1,5
BENTOPUS	Lamberti	Синтетический полимер, добавка к бентониту	0,1–1
BEN-EX	M-I Drilling Fluids	Модификатор бентонитовой глины	от 0,14
SPECFLOC № 6919	Группа компаний «ХимАльянс»	Полиакриламид с содержанием основного вещества не менее 90 %, неионогенная серия	–
SPECFLOC A 7950-20		Полиакриламид с содержанием основного вещества не менее 90 %, анионоактивная серия	–

Методика приготовления бентонитовой суспензии:

1. Взвесить 100 г бентонитового глинопорошка.

2. В стакан налить 2 л дистиллированной воды и поставить под мешалку.

3. Ввести глинопорошок при включенной мешалке. Продолжать перемешивание до полного растворения глинопорошка.

4. Полученную суспензию разделить на четыре равные части.

5. Образцы раствора 2, 3, 4 обработать исследуемым химреагентом при постоянном перемешивании на лабораторной мешалке в концентрации, указанной в табл. 2.

6. Выдержать образцы раствора при перемешивании на лабораторной мешалке на низких оборотах в течение 2 ч.

7. Замерить реологические параметры полученных образцов раствора (1–4), занести результаты в табл. 2. Для достоверности полученных результатов замер показателей бурового раствора проводился три раза на каждом приготовленном образце раствора. В табл. 2

представлены среднеарифметические значения показателей.

8. Повторить п. 1–7 для каждого химического реагента.

В процессе испытания проводилась оценка структуры, стабильности, чистоты фильтрата бурового раствора, а также отделение воды. Эти сведения необходимы, чтобы при изменении работы флокулянта можно было сделать выводы о причинах такого поведения [3, 4].

Для выявления оптимальной концентрации добавки к бентониту, при которой достигается максимальное значение динамического напряжения сдвига (ДНС) образца раствора, были построены диаграммы зависимости ДНС образца раствора от концентрации химреагента (рис. 1).

По полученным данным установлено, что с увеличением концентрации флокулянтов до 0,3 % наблюдается разделение фаз бурового раствора, исключение составляет буровой раствор с добавкой SPECFLOC № 6919. Об этом говорят повышенные значения показателя фильтрации (см. табл. 2).



Таблица 2

**Реологические параметры образцов растворов
с разной концентрацией реагентов**

Table 2

**Rheological parameters of the solution samples
with different reagent concentrations**

Номер раствора	Состав раствора, кг/м ³	Концентрация реагента, кг/м ³	Реологический параметр			
			Угол закручивания при 600 RPM, DR	Угол закручивания при 300 RPM, DR	ПВ, сП	ДНС, дПа
1	Бентонитовая суспензия	50	31,1	23,5	7,6	76,3
	DRB-9	0,1	30,7	24,1	6,6	84
		0,2	37	30,4	6,6	114,2
		0,3*	47,4	37,2	10,2	129,6
2	Бентонитовая суспензия	50	30,1	22,8	7,3	74,4
	BENTOPUS	0,1	34,1	26,5	7,6	90,7
		0,2	38,6	30,3	8,3	105,6
		0,3*	42,2	29,1	13,1	76,8
3	Бентонитовая суспензия	50	31,8	24	7,8	77,8
	BEN-EX	0,1	35,2	27,2	8	92,2
		0,2	39,1	30,9	8,2	109
		0,3	43,9	34,1	9,8	116,6
4	Бентонитовая суспензия	50	31,6	23,6	8	74,9
	SPECFLOC A 7950-20	0,1	42,3	35,7	6,6	139,7
		0,2*	67,7	58,9	8,8	240,5
		0,3*	26,8	19	7,8	53,8
5	Бентонитовая суспензия	50	29,8	22,6	7,2	73,9
	SPECFLOC № 6919	0,1	27,8	25,5	2,3	111,4
		0,2	32,7	28,9	3,8	120,5
		0,3	49,3	41,6	7,7	162,7

Примечание. *У растворов в выбранных концентрациях наблюдалось разделение суспензии на две фазы – флокуляция. 600, 300 RPM – скорость вращения; ПВ – пластическая вязкость; ДНС – динамическое напряжение сдвига.

Note. *Solutions in the selected concentrations are characterized by the suspension separation into two phases, flocculation. 600, 300 RPM – rotation speed; ПВ – plastic viscosity; ДНС – dynamic shear stress.

Установлено, что при концентрациях 0,1 и 0,2 % наблюдается рост значений структурной вязкости раствора. Можно предположить, что именно в этом диапазоне концентраций образуются наиболее прочные системы [5–7].

Из полученных результатов (см. рис. 1) видно, что значение параметра ДНС максимально у реагента SPECFLOC A 7950-20 в концентрации 0,2 кг/м³, но при такой насыщенности раствор разделялся на фазы, что может сказаться и на других параметрах промывочной жидкости.

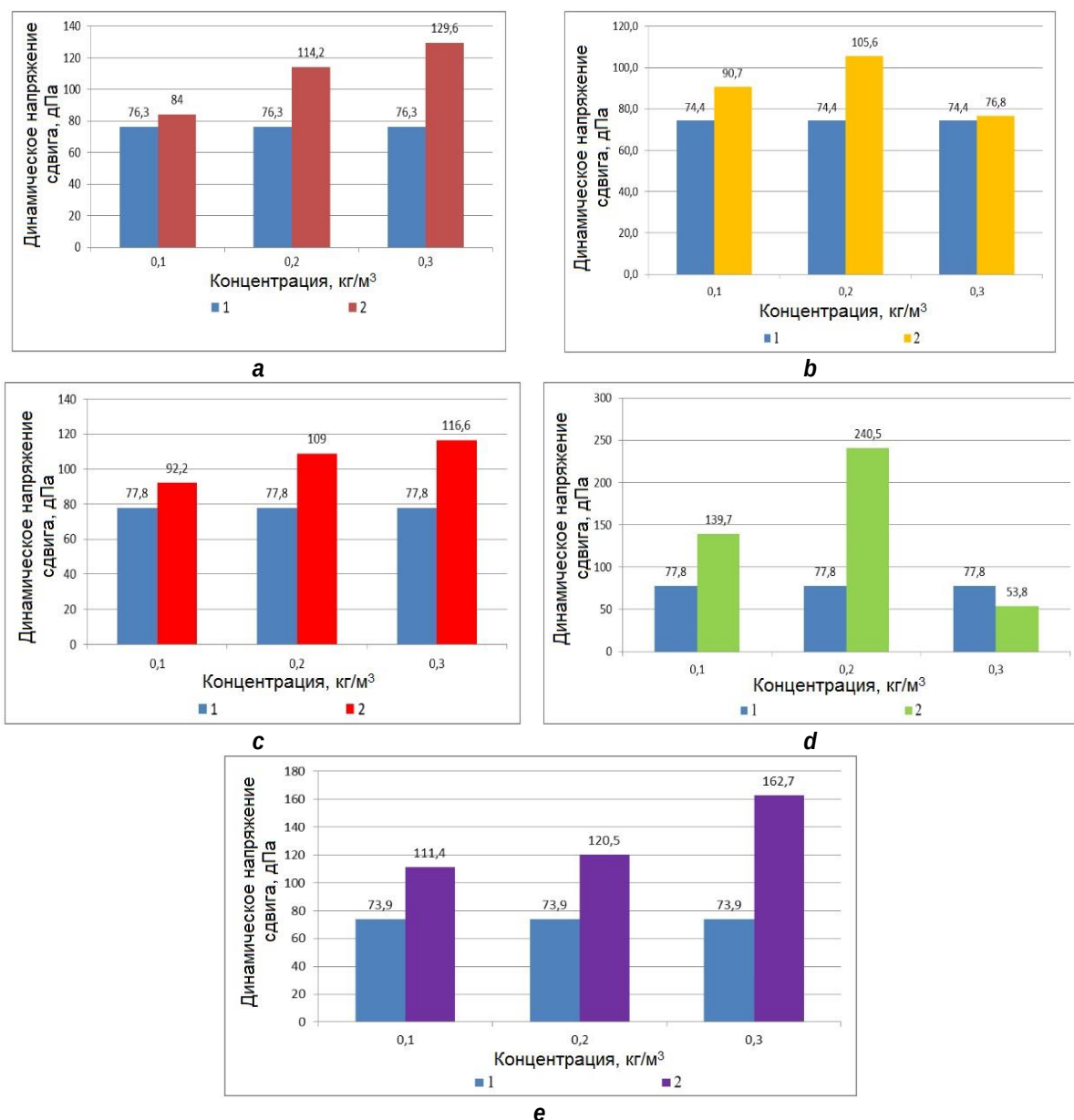


Рис. 1. Диаграммы зависимости динамического напряжения сдвига от концентрации химреагента в бентонитовой суспензии:

а – бентонитовая суспензия (1) с DRB-9 (2); б – бентонитовая суспензия (1) с BENTOPLUS (2);
с – бентонитовая суспензия (1) с BEN-EX (2); д – бентонитовая суспензия (1) с SPECFLOC A 7950-20 (2);
е – бентонитовая суспензия (1) с SPECFLOC № 6919 (2)

Fig. 1. Diagrams of the relationship between the dynamic shear stress and the concentration of the chemical reagent in a bentonite suspension:

а – bentonite suspension (1) with DRB-9 (2); б – bentonite suspension (1) with BENTOPLUS (2);
с – bentonite suspension (1) with BEN-EX (2); д – bentonite suspension (1) with SPECFLOC A 7950-20 (2);
е – bentonite suspension (1) with SPECFLOC № 6919 (2)

Следовательно, можно сказать, что максимальное значение ДНС имеет раствор с добавкой SPECFLOC № 6919 в концентрации 0,3 кг/м³.

Важными показателями бурового раствора являются показатели прочности геля (статическое напряжение сдвига

(СНС)) и несущей способности (ДНС), отвечающие за удержание выбуренных частиц во взвешенном состоянии и очистку скважины от выбуренной породы соответственно [6, 7]. Для изучения эффективности действия флокулянтов в составе бурового раствора на втором этапе



проводился сравнительный анализ буровых растворов с добавлением их различных концентраций. Для этого в соответствии с Временным регламентом на приготовление и обработку бурового раствора при строительстве эксплуатационных скважин в Восточной Сибири был замешен исходный буровой раствор по рецептуре: кальцинированная сода Na_2CO_3 – $1,5 \text{ кг/м}^3$, бентонитовый глинопорошок – 50 кг/м^3 . Данный состав промывочной жидкости используется при бурении скважин под направление и кондуктор [8–10].

Последовательность ввода реагентов в бентонитовую суспензию:

1. Подготовить все химреагенты, входящие в состав бурового раствора.
2. Сделать навеску каждого химреагента в соответствии с табл. 1.
3. В мерный стакан набрать 800 см^3 дистиллированной воды и поставить под мешалку.
4. Включить мешалку на скорость перемешивания 600 об./мин.
5. Все компоненты раствора вводить в стакан при включенной мешалке. Далее перемешивать при постоянной скорости.
6. Ввести кальцинированную соду Na_2CO_3 для удаления ионов Ca^{2+} .
7. При интенсивном перемешивании ввести глинопорошок.
8. Продолжить перемешивать до получения однородной суспензии.
9. Полученный раствор разделить на четыре равные части.
10. Образцы раствора 2, 3, 4 обработать исследуемым химреагентом при постоянном перемешивании на лабораторной мешалке в концентрации, указанной в табл. 3.
11. Выдержать образцы раствора при перемешивании на лабораторной мешалке на низких оборотах в течение 2 ч.
12. Замерить параметры полученных образцов раствора (1–4), занести результаты в табл. 3. Для достоверности полученных результатов замер показателей бурового раствора проводился два раза (ввиду ограниченного срока

проведения испытаний) на каждом приготовленном образце раствора. В табл. 3 представлены среднеарифметические значения показателей.

По полученным результатам построены диаграммы зависимости параметров промывочной жидкости от концентрации добавок в бентонитовую суспензию (рис. 2–5).

По результатам проведенных лабораторных исследований можно сделать определенные заключения:

1. Все предоставленные химреагенты не влияют на плотность и водородный показатель бурового раствора.

2. У реагентов BEN-EX и BENTOPLUS главная функция – улучшение технологических свойств бентонитовой суспензии.

BEN-EX соответствует заявленным в сопроводительных документах свойствам. При его добавлении в различных концентрациях в бентонитовую суспензию повышаются реологические свойства и условная вязкость последней, а также незначительно снижается фильтрация бурового раствора (см. рис. 2–5). В концентрации 0,3 % реагент проявляет незначительные флокулирующие свойства.

BENTOPLUS в концентрации 0,1 и $0,2 \text{ кг/м}^3$ улучшает свойства бентонита. При добавлении $0,3 \text{ кг/м}^3$ реагента раствор начал расслаиваться, его реологические характеристики снизились, а фильтрация резко повысилась (см. рис. 5). Таким образом, можно предположить, что если реагент будет применяться для улучшения технологических свойств промывочной жидкости, то не рекомендуется превышать концентрацию $0,2 \text{ кг/м}^3$.

3. Реагенты SPECFLOC A 7950-20, SPECFLOC № 6919 являются флокулянтами с разными функциональными группами, в то время как DRB-9 – селективный флокулянт. По данным литературных источников селективный флокулянт должен флокулировать выбуренную породу, но не повышать вязкость бентонитового раствора [9, 10]. Результаты



Таблица 3

Влияние реагентов-флокулянтов на свойства бурового раствора
Table 3
Influence of flocculant reagents on the drilling mud properties

Номер раствора	Состав раствора	Концентрация реагента, кг/м ³	Показатель							
			ρ , г/см ³	УВ _{700/500} , с	ПВ, сПз	ДНС, дПа	СНС _{10/10} , дПа	Ф ₃₀ по API, см ³	К, мм	рН
1	Исходный раствор	–	1,026	26,4	6,8	87	75/127,5	20	2	10,7
	DRB-9	0,1	1,026	29,9	5,6	116	103/149	19	2	10,5
		0,2	1,026	36,4	7,9	136	91/85	21,5	2	10,6
		0,3	1,026	39,3	10,6	140	54,5/52	25,5	2	10,6
2	Исходный раствор	–	1,026	27,2	6,9	92,5	94/156	18,6	2	10,6
	BENTOPUS	0,1	1,026	31,6	7,4	110	97/197	18	2	10,6
		0,2	1,026	36,8	8,4	121	75/78	19,8	2	10,6
		0,3	1,026	24,6	12,6	80	63/89,5	73	2	10,6
3	Исходный раствор	–	1,026	27,9	7	91,5	78/127,5	19,2	2	10,6
	BEN-EX	0,1	1,026	29,2	5,3	108,5	105/134	18	2	10,6
		0,2	1,026	37,8	7,1	129	101/104	17	2	10,7
		0,3	1,026	52,3	7,3	161	104/112	16,5	2	10,6
4	Исходный раствор	–	1,026	25,3	6,5	83,5	91/140	19	2	10,6
	SPECFLOC A 7950-20	0,1	1,026	30,1	7,5	116,5	93/101	17,5	2	10,7
		0,2	1,026	36,8	10,8	103	40/41	62	2	10,5
		0,3	1,026	26,8	6,7	24,5	18/36	46	2	10,6
5	Исходный раствор	–	1,026	27,5	6,9	88	83/132	19	2	10,7
	SPECFLOC № 6919	0,1	1,026	29,2	4,9	119	101/155	18	2	10,6
		0,2	1,026	37,3	6,7	145	100/89	16,5	2	10,7
		0,3	1,026	57,1	7,9	184	79/87	18,5	2	10,7

Примечание. P – плотность бурового раствора; УВ_{700/500} – условная вязкость; ПВ – пластическая вязкость; ДНС – динамическое напряжение сдвига; СНС_{10/10} – статическое напряжение сдвига; Ф₃₀ – фильтрация бурового раствора; К – липкость фильтрационной корки; рН – водородный показатель.

Note. P – density of the drilling mud; УВ_{700/500} – relative viscosity; ПВ – plastic viscosity; ДНС – dynamic shear stress; СНС_{10/10} – static shear stress; Ф₃₀ – filtration of the drilling mud; К – stickiness of the filtration crust; рН – hydrogen index.

тестирования показали, что при добавлении DRB-9 в промывочную жидкость наблюдается повышение условной вязкости во всех концентрациях за счет увеличения размеров флокул. При добавлении большего количества – до 0,3 кг/м³ – отдельные молекулы образуют флокулы с еще большим размером, что приводит к

повышению фильтратоотдачи раствора из-за роста количества свободной воды.

Флокулянты SPECFLOC A 7950-20 и SPECFLOC № 6919 в концентрации 0,1 кг/м³ влияют на суспензию одинаково, то есть повышают реологические и понижают фильтрационные свойства промывочной жидкости. При повышении

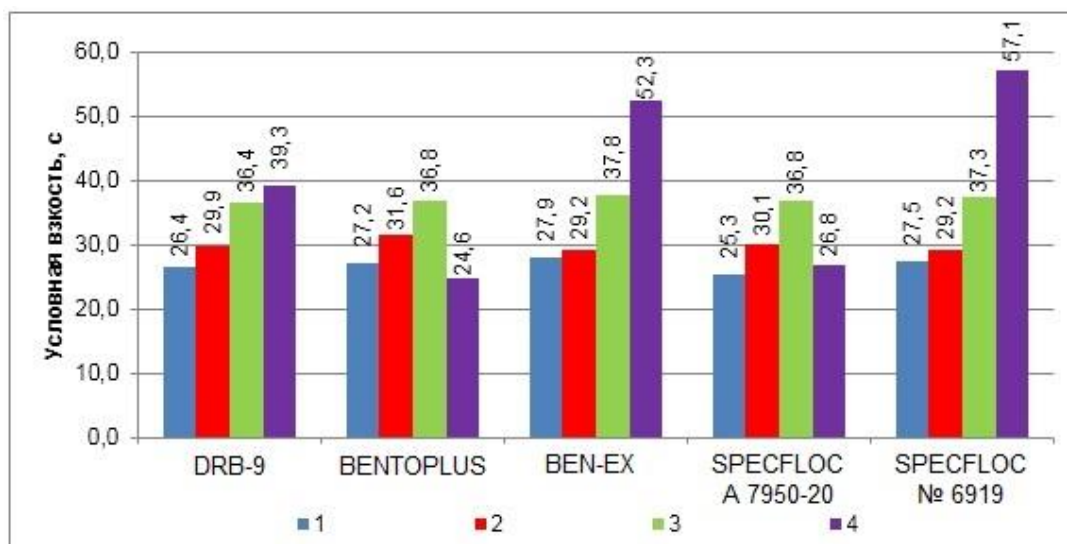


Рис. 2. Диаграмма изменения условной вязкости в зависимости от концентрации химреагента:

1 – бентонитовая суспензия; 2 – концентрация 0,1 кг/м³;
3 – концентрация 0,2 кг/м³; 4 – концентрация 0,3 кг/м³

Fig. 2. Diagram of the relative viscosity change as a function of the concentration of the chemical:

1 – bentonite suspension; 2 – concentration 0.1 kg/m³;
3 – concentration 0.2 kg/m³; 4 – concentration 0.3 kg/m³

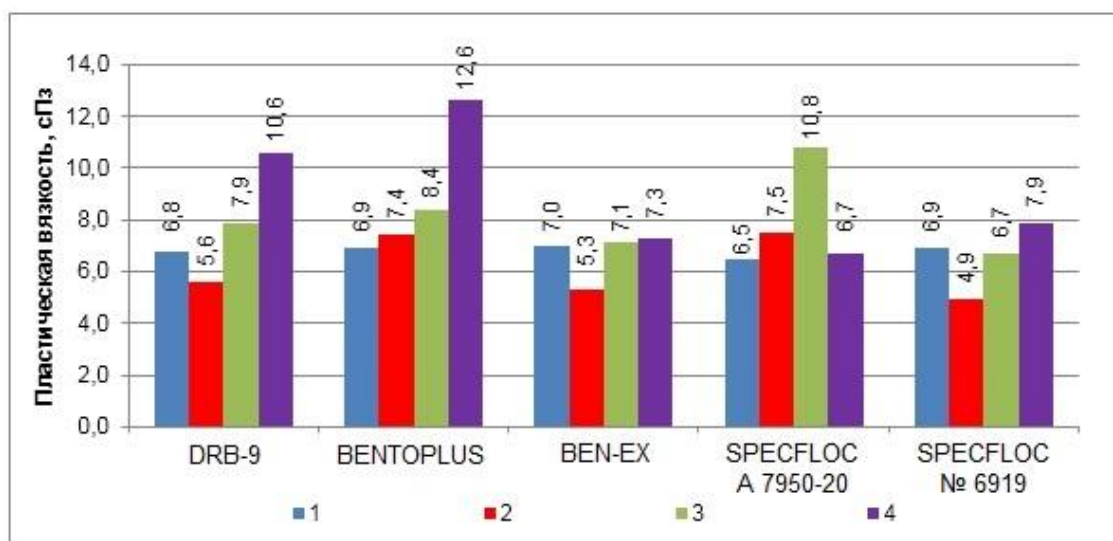


Рис. 3. Диаграмма изменения пластической вязкости в зависимости от концентрации химреагента:

1 – бентонитовая суспензия; 2 – концентрация 0,1 кг/м³;
3 – концентрация 0,2 кг/м³; 4 – концентрация 0,3 кг/м³

Fig. 3. Diagram of plastic viscosity change

as a function of the concentration of the chemical:

1 – bentonite suspension; 2 – concentration 0.1 kg/m³;
3 – concentration 0.2 kg/m³; 4 – concentration 0.3 kg/m³

концентрации добавки SPECFLOC A 7950-20 до 0,2 и 0,3 кг/м³ наблюдалось расслоение раствора, а на поверхности появлялась осветленная жидкость. Отмечено, что у раствора флокуляция

выражена очень сильно в концентрации реагента 0,3 кг/м³, что привело к резкому росту фильтрации и понижению реологических свойств.

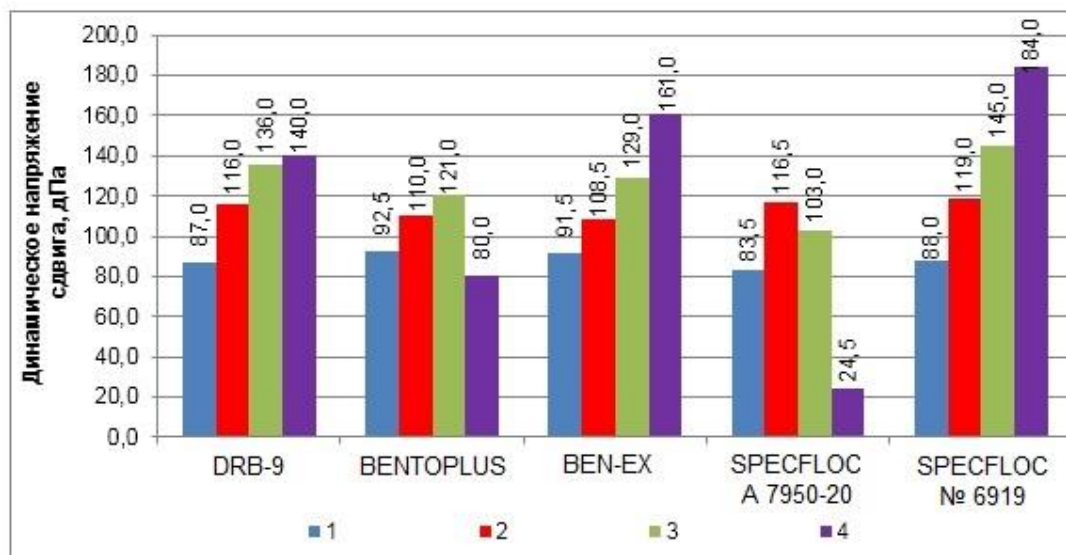


Рис. 4. Диаграмма изменения динамического напряжения сдвига в зависимости от концентрации химреагента:

1 – бентонитовая суспензия; 2 – концентрация 0,1 кг/м³;
3 – концентрация 0,2 кг/м³; 4 – концентрация 0,3 кг/м³

Fig. 4. Diagram of the dynamic shear stress change as a function of the concentration of the chemical:

1 – bentonite suspension; 2 – concentration 0.1 kg/m³;
3 – concentration 0.2 kg/m³; 4 – concentration 0.3 kg/m³

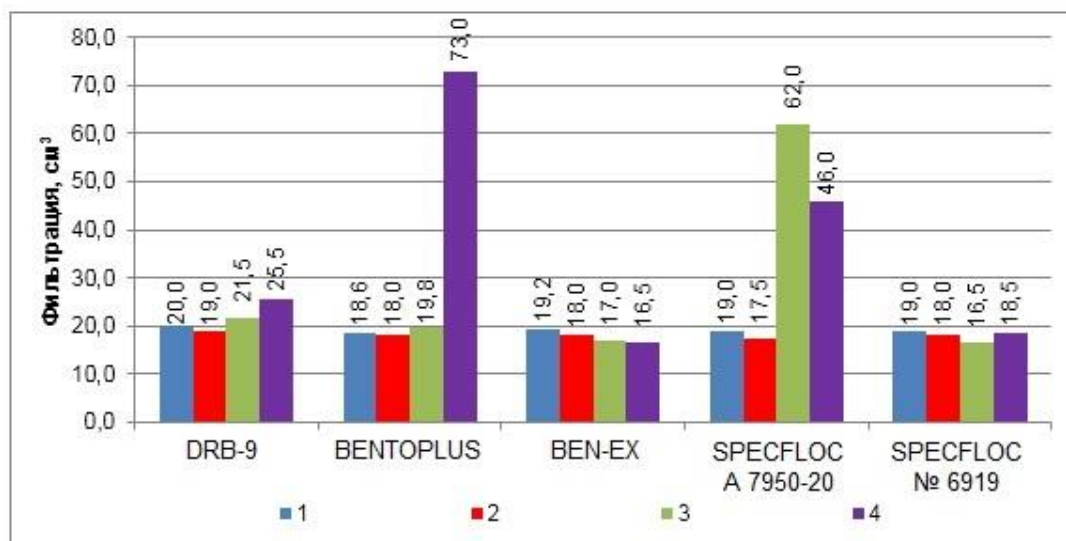


Рис. 5. Диаграмма изменения фильтрации в зависимости от концентрации химреагента:

1 – бентонитовая суспензия; 2 – концентрация 0,1 кг/м³;
3 – концентрация 0,2 кг/м³; 4 – концентрация 0,3 кг/м³

Fig. 5. Diagram of the filtration change as a function of the concentration of the chemical:

1 – bentonite suspension; 2 – concentration 0.1 kg/m³;
3 – concentration 0.2 kg/m³; 4 – concentration 0.3 kg/m³

При добавлении реагента SPECFLOC № 6919 в концентрации 0,2 и 0,3 кг/м³ повышалась условная вязкость и росло ДНС, но наблюдалось снижение

СНС промывочной жидкости. Это может говорить о том, реагент начал проявлять себя как флокулянт. Кроме того, низкие значения СНС могут привести к тому, что



раствор не будет справляться со своими важнейшими функциями удержания выбуренной породы во взвешенном состоянии [11–15].

Результаты исследования

Таким образом, на основе вышеизложенного можно утверждать следующее:

1. Реагенты BEN-EX, BENTOPUS и DRB-9 могут применяться для повышения вязкости глинистого раствора при условии, что концентрация добавок BENTOPUS и DRB-9 не будет превышать 0,2 кг/м³.

2. Флокулянт SPECFLOC A 7950-20 может применяться для повышения вязкости глинистого раствора в концентрации до 0,1 кг/м³, но только после проведения дополнительных исследований, направленных на получение бурового раствора с заданным набором технологических параметров за счет варьирования

исходными концентрациями базовых реагентов. В концентрации 0,2 и 0,3 кг/м³ добавка влияет на буровой раствор преимущественно как флокулянт, снижая СНС раствора и увеличивая фильтратоотдачу.

3. Если в процессе бурения буровым раствором с добавкой SPECFLOC № 6919 определяющим параметром является только ДНС, то его можно рекомендовать для использования. Во всех остальных случаях необходимо провести дополнительные исследования.

Заключение

В целом полученные результаты демонстрируют сильное влияние реагентов-флокулянтов на параметры глинистой суспензии. Варьируя исходными концентрациями флокулянтов, можно получить буровые растворы с заданными технологическими параметрами.

Библиографический список

1. Лобанов Ф.И., Коробов А.С., Минибаев В.В. Опыт применения флокулянтов «Праестол» для очистки сточных вод и обезвоживания шлама при строительстве скважин и переработке нефти // Безопасность труда в промышленности. 2009. № 3. С. 43–45.

2. Ковалев С.Ю., Резниченко И.Н., Яковлев Д.Н. Выбор и расчет дозировок флокулянтов при работе блоков коагуляции и флокуляции (БКФ) в системе очистки буровых растворов // Импортзамещающие технические средства и материалы: сб. науч. тр. межотрасл. науч.-практ. конф. НПО «Бурение». Анапа, 2003. № 9. С. 96–103.

3. Шакирова Э.В., Аверкина Е.В., Сабиров Т.Р. Влияние смазочных добавок на характеристики бурового раствора, применяемого при бурении скважин в Восточной Сибири // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 3 (56). С. 86–94.

4. Шарова О.Ю., Клеттер В.Ю., Самсыкин А.В., Валиева О.И., Агзамов Ф.А. Исследование эффектов синергетического взаимодействия композиций реагентов в глинистых буровых растворах // Территория «Нефтегаз». 2012. № 10. С. 16–19.

5. Averkina E.V., Shakirova E.V. Specifics of drilling wells in the abnormally-high-pressure rock beds in the oil-and-gas fields of Eastern Siberia // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 229. P. 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/229/1/012032>

6. Gaisina L.M., Dorozhkin Yu.N., Yakupova G.A., Gainanova A.G., Gainanova E.I., Averkina E.V. The impact of the social demographic characteristics of the rural young family on the territories' development. A study case – the republic of Bashkortostan // Scientific Papers. Series: Management, Economic Engineering and Rural Development. 2018. Vol. 18. No. 3. P. 139–149.

7. Mpofu P., Addai-Mensah J., Ralston J. Investigation of the effect of polymer structure type on flocculation, rheology and dewatering behaviour of kaolinite dispersions // International Journal of Mineral Processing. 2003. Vol. 71. Iss. 1-4. P. 247–268. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(03\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(03)00062-0)

8. Wang D., Tang H. Modified inorganic polymer flocculant-PFSi: its preparation, characterization and coagulation behavior // Water Research. 2001. Vol. 35. Iss. 14. P. 3418–3428. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00034-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00034-3)

9. Брантцко П., Минибаев В.В. Реагенты компании «Ашленд» для переработки отходов бурения // Бурение и нефть. 2012. № 3. С. 45–46.

10. Лушпеева О.А., Кошелев В.Н., Вахрушев Л.П., Беленко Е.В. О природе синергетического эффекта в полимер-глинистых буровых растворах // Нефтяное хозяйство. 2001. № 3. С. 28–30.

11. Таубаева Р., Месарош Р., Мусабекоев К., Барань Ш. Электрокинетический потенциал и флокуляция суспензий бентонита в растворах ПАВ, полиэлектролитов и их смесей // Коллоидный журнал. 2015. Т. 77. № 1. С. 100–107. <https://doi.org/10.7868/S0023291214060172>



12. Лыков О.П., Низова С.А., Толстых Л.И., Янченко Е.Е. Изучение эффективности отечественных флокулянтов для обезвоживания глинистых дисперсий // Технологии нефти и газа. 2005. № 5-6 (40-41). С. 128–133.

13. Кудайкулова Г.А. Взаимодействие в системе полимер – полимер – глина и их влияние на технологические свойства буровых растворов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2006. № 3. С. 37–39.

14. Петров Н.А. Отечественные и зарубежные полимерные реагенты для буровых

растворов // Нефтегазовое дело. 2016. № 1. С. 1–19. [Электронный ресурс]. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/1_2016/ogbus_1_2016_p1-19_PetrovNA_ru.pdf (24.04.2020).

15. Петров Н.А. Сравнительные исследования некоторых отечественных и зарубежных полимерных реагентов в составе буровых растворов Западной Сибири // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 1. С. 30–41. [Электронный ресурс]. URL: <http://ngdolo.ru/files/ngdolo/2016/1/ngdolo-1-2016-p30-41.pdf> (24.04.2020).

References

1. Lobanov FI, Korobov AS, Minibaev VV. Practice of Praestol flocculants use for wastewater treatment and sludge dewatering in well construction and oil refining processes. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* = Occupational Safety in Industry. 2009;3:43–45. (In Russ.)

2. Kovalev SYu, Reznichenko IN, Yakovlev DN. Selection and calculation of flocculants dosages during the operation of coagulation and flocculation units (BCF) in the drilling mud cleaning system. In: *Importozameshchayushchie tekhnicheskie sredstva i materialy: sbornik nauchnykh trudov mezhotraslevoi nauchno-prakticheskoi konferentsii NPO "Burenie"* = Import-substituting equipment and materials: Proceedings of the Intersectoral Research and Practice Conference of the Scientific-Production Association "Drilling". Anapa; 2003. No. 9. p.96–103. (In Russ.)

3. Shakirova EV, Averkina EV, Sabirov TR. The effect of lubricating additives on characteristics of the mud used in well-drilling in Eastern Siberia. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016;3:86–94. (In Russ.)

4. Sharova OYu, Kletter VYu, Samsykin AV, Valieva OI, Agzamov FA. Investigation of the effects of the synergetic interaction of reagent compositions in clay drilling muds. *Territorija Neftegas* = Oil and Gas Territory. 2012;10:16–19. (In Russ.)

5. Averkina EV, Shakirova EV. Specifics of drilling wells in the abnormally-high-pressure rock beds in the oil-and-gas fields of Eastern Siberia. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2019;229:012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/229/1/012032>

6. Gaisina LM, Dorozhkin YuN, Yakupova GA, Gainanova AG, Gainanova EI, Averkina EV. The impact of the social demographic characteristics of the rural young family on the territories' development. A study case – the republic of Bashkortostan. *Scientific Papers. Series: Management, Economic Engineering and Rural Development*. 2018;18(3):139–149.

7. Mpofu P, Addai-Mensah J, Ralston J. Investigation of the effect of polymer structure type on flocculation, rheology and dewatering behaviour of kaolinite dispersions. *International Journal of Mineral Processing*. 2003;71(1-4):247–268. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(03\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(03)00062-0)

8. Wang D, Tang H. Modified inorganic polymer flocculant-PFSi: its preparation, characterization and coagulation behavior. *Water Research*. 2001;35(14):3418–3428. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00034-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00034-3)

9. Branttsko P, Minibaev V. Ashland Co reagents for drilling wastes processing. *Burenie i neft'*. 2012;3:45–46. (In Russ.)

10. Lushpeeva OA, Koshelev VN, Vakhrushev LP, Belenko EV. On the nature of the synergetic effect in polymer-clay drilling muds. *Neftyanoe khozyaistvo*. 2001;3:28–30. (In Russ.)

11. Taubaeva R, Mesarosh R, Musabekov K, Baran' Sh. Electrokinetic potential and flocculation of bentonite suspensions in solutions of surfactants, polyelectrolytes and mixtures. *Kolloidnyi zhurnal*. 2015;77(1):100–107. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0023291214060172>

12. Lykov OP, Nizova SA, Tolstykh LI, Yanchenko EE. Studying the effectiveness of domestically produced flocculants for clay dispersion dewatering. *Tekhnologii nefi i gaza*. 2005;5-6:128–133. (In Russ.)

13. Kudaikulova GA. Interaction in the polymer-polymer-clay system and its influence on the technological properties of drilling fluids. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. 2006;3:37–39. (In Russ.)

14. Petrov NA. Domestic and foreign polymeric reagents for drilling fluids. *Neftegazovoe delo*. 2016;1:1–19. Available from: http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/1_2016/ogbus_1_2016_p1-19_PetrovNA_ru.pdf [Accessed 24th April 2020]. (In Russ.)

15. Petrov NA. Comparative study of some domestic and foreign polymer reagent composition the drilling mud Western Siberia. *Neftegazovoe delo*. 2016;14(1):30–41. Available from: <http://ngdolo.ru/files/ngdolo/2016/1/ngdolo-1-2016-p30-41.pdf> [Accessed 24th April 2020]. (In Russ.)

**Критерии авторства / Authorship criteria**

Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Бутакова Л.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Elena V. Averkina, Elvira V. Shakirova, Lyubov A. Butakova are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final version of this manuscript.

Сведения об авторах / Information about the authors

Аверкина Елена Владимировна,
старший преподаватель кафедры нефтегазового дела,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: averkina@istu.edu
Elena V. Averkina,
Senior Lecturer, Department of Oil and Gas Engineering,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: averkina@istu.edu



Шакирова Эльвира Венеровна,
кандидат политических наук,
доцент кафедры нефтегазового дела,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: viva160@mail.ru
Elvira V. Shakirova,
Cand. Sci. (Polit.),
Docent, Department of Oil and Gas Engineering,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: viva160@mail.ru



Бутакова Любовь Александровна,
специалист по учебно-методической работе кафедры нефтегазового дела,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: lyubov.elizarova.89@bk.ru
Lyubov A. Butakova,
Teaching and Methodological Work Specialist,
Department of Oil and Gas Engineering,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: lyubov.elizarova.89@bk.ru