

UDC 622.24.063

**Author: POPOV Anatoly Nikolaevich**, Doctor of Engineering, Professor, Professor of Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, 9406622@mail.ru;

**Author: FROLOV Andrei Mikhailovich**, PhD in Engineering, Lecturer of Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, 9406622@mail.ru;

**Author: YAKHIN Artur Ramilevich**, PhD in Engineering, Assistant Professor of Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, 9406622@mail.ru;

**Author: KONESEV Gennady Vasilevich**, Doctor of Engineering, Professor, Professor of Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, 9406622@mail.ru;

**Author: AGZAMOV Farit Akramovich**, Doctor of Engineering, Professor, Professor of Department «Oil and Gas Well Drilling», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, 9406622@mail.ru

---

## REDUCTION OF STICKING RISK IN WELL-BORING THROUGH REAGENT TREATMENT OF DRILLING FLUID

---

### EXTENDED ABSTRACT:

Drilling fluids for deep and extended reach wells are complex multicomponent systems that contain dissolved salts, polymers, surfactants and coarse solids. Complexity of drilling mud is caused by wide range of functions: creating pressure on the formation, retention of cuttings particles in suspension, bottom-hole cleaning and transportation of sludge on the surface, preservation of reservoir properties of the target formation and other. Tribological properties are one of the most important properties of the drilling fluids. It is possible to control properties through introduction of lubricant additives. Their components are characterized by high, sometimes unique, surface activity, they create superplastic nanofilms on the surface of the protective pipe, contribute to chemical modification of the surface layers of metal. The choice of such components is complicated, first of all, by price (to construct wells one needs large volumes of mud), and secondly by strict environmental requirements. Therefore, when lubricant additive is developed, it is necessary to ground the choice of rational content for each of its components. This necessitates the use of mathematical modeling methods, i.e. construction of regression equations according to several experiments of the



planned experiment. The paper presents a possible way to use the two-step method of choosing the rational ratio of the components in the lubricant additive.

As a rule tribological properties of drilling fluids are considered from three different points of view or different positions – friction pairs: «metal – rock», «metal – metal» and «metal – filter cake». This article is devoted to the study of drilling fluids in relation to a pair of «metal – filter cake».

**Key words:** sticking, filtration cake, interaction, drilling string, reagent, drilling fluid, nanofilm.

DOI: DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-54-68](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-54-68)

#### MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" property="dct:title">Stuck pipe risk reducing due drilling fluid treating</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 1, pp. 54–68. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-54-68" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Popov A.N., Frolov A.M., Yakhin A.R., Konesev G.V., Agzamov F.A. </a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-1-2017/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-1-2017/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="9406622@mail.ru" rel="cc:morePermissions">9406622@mail.ru</a>.
```

#### References:

1. *Bahtizin R.N., Vereschagin A.S., Furman A.B.* Bitva za neft' [The struggle for petroleum]. Ufa, Monograph, 2003, 278 p.
2. *Ismakov R.A., Fattahov M.M., Bakirov D.L. et al.* Mnogozaboinye skvajiny: oblasti effektivnogo primeneniya, tehnologiya rabot i zadachi planirovaniya [Multihole wells: the fields of efficient application, technology and planning tasks]. Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorojdenii [Geology, geophysics and development of petroleum and gas minings], 2013, № 9, pp. 25–26.
3. *Ismakov R.A.* Nekotorye voprosy stroitel'stva mnogostvol'nyh skvajin s gorizontal'nym okonchaniem! [Some aspects of construction of multihole wells with horizontal end]. Burenie i neft' [Drilling and petroleum]. 2013, № 10, pp. 20–22.
4. *Kudryashov B.B., Yakovlev A.M.* Burenie skvajin v oslojnykh usloviyah: uchebnoe posobiya dlya vuzov [Well-boring under difficult conditions: course for universities]. Moscow, Nedra, 1987, 269 p.



5. *Fan Djianchun, Jang Laibin, Chun Shengli, i dr.* Issledovanie mehanizma iznosa obsadnyh kolonn pri skol'zhaschem kontakte [Study of casing pipe wear in slippery contact]. Proceedings of technical conference CIST 2008 i ITS-IFTMM 2008. Beijing, China, pp. 980–985
6. *Bu Han Iong, Ji Bingvin, Oyang Chun et al.* NGJ V FOKUSE: Eksperimenty osveschayut prichiny iznosa obsadnyh kolonn [Oil-gas fluids in focus: the experiments reveal causes of casing pipe wear]. *Jurnal Neft' i Gaz* [Journal Petroleum and Gas], №10, 2010. pp. 9–15.
7. *Frolov A.M., Popov A.N., Konesev V.G. et al.* Razrabotka metodiki izucheniya tribotekhnicheskikh svoystv burovnyh promyvochnykh zhidkostey [Development of method to study tribotechnical properties of drilling fluids]. *Neftegazovoe delo*. 13, № 2, 2015, pp. 53–58.
8. *Gao Jihai.* Injeneriy uchityvayut iznos pri proektirovaniy obsadnyh kolonn na mestorojdenii Tarim [The engineers consider wear when designing production strings at Tarim field development]. *Journal Neft' i Gaz* [Journal Petroleum and Gas], № 05/22, 2006, pp. 84–88.
9. *Garkali Ali Yu, Yan'hua Ksiang, Djefri Lui.* Iznos obsadnyh kolonn v gorizont'al'nyh i mnogozaboinykh skvajinah [Wear of production string in horizontal and multi-branch wells]. *Mirovaya Neft'* [World Petroleum]. № 6, 2010, pp. 135–140.
10. *Yakhin A.R., Konesev V.G., Matyushin V.P., Salihov I.F., Frolov A.M.* Cnizhenie teplonapryajennosti treniya v parah «metall – gornaya poroda» i «metall – metall» primenitel'no k bureniyu glubokikh skvajin [Reduction of friction heat density in pairs «metal – rock» and «metal – metal» applied to deep well drilling]. *Tribologiya i nadejnost'* sbornik trudov XIII Mejdunarodnoi nauchnoi konferencii [Proc. of the XIII International scientific conference «Tribology and reliability»]. 2013, pp. 144–150.
11. *Yakhin A.R.* Analiz metodik ocenki effektivnosti voorujeniya dolot rejusche-skalyvayushego deistviya [Analysis of methods for efficiency estimation of cutting structure of drag bit and chipping-type drilling bit]. *Electronic journal «Neftegazovoe delo»*. 2011, № 6, pp. 68–75.
12. *Yakhin A.R., Konesev G.V., Yangirov F.N., Frolov A.M.* Issledovanie iznosostoikosti zamkov buril'nyh trub pri trenii o gornuyu porodu v razlichnykh sredah [Research of wear-resistance of locks of drilling pipes in rock friction for different environment]. *Territoriya Neftegaz*. 2014. № 6, pp. 30–35.
13. *Popov A.N., Spivak A.I., Akbulatov T.O. et al.* Tehnologiya bureniya neftyanyh i gazovyh skvajin [The drilling technology for gas and petroleum wells]. Moscow, Nedra, 2007, 330 p.



14. *Kister E.G.* Himicheskaya obrabotka burovyyh rastvorov [Chemical treatment of drilling agents]. Moscow, Nedra, 1972, 397 p.
15. *Ryabchenko V.I.* Upravlenie svoistvami burovyyh rastvorov [Control of drilling agent properties]. Moscow, Nedra, 1990, 230 p.
16. *Ismakov R.A., Mamaeva O.G., Konesev G.V. et al.* Issledovanie kineticheskikh i korkoobrazuyuschih svoistv rastvorov dlya bureniya skvajin pri stroitel'stve truboprovodov i razrabotke mestorojdenii uglevodorodov [Research of kinetic and crust forming properties of mortars for well-boring in pipe construction hydrocarbon mining]. Electronic Journal Neftegazovoe delo. Ufa № 6, 2011, pp. 82–89.
17. Patent №128717 RF, MPK G01N3N/56. Pribor dlya kontrolya staticheskogo i dinamicheskogo koeffitsienta treniya pary «metall-fil'tracionnaya korka» [The device to control statical and dynamic friction coefficient for pair «metal-filtration crust»]. G.V. Konesev et al., № 2012145593/28 / Bul. 15, published 27.05.2013
18. *Protodyakonov M.M., Teder R.I.* Metodika racional'nogo planirovaniya eksperimenta [The method of rational experiment planning]. Moscow, Nauka [Science], 1970, 78 p.
19. Statsoft [electronic source]. Available at: <http://statistica.ru>
20. *Daimond W.I.* Three dimensional models of extreme vertices designs for four component mixtures. Technometrics, 1967, 9, № 3, 342.
21. *McLean R.A., Anderson V.L.* Extreme vertices design for four component mixtures. Technometrics, 1966, 8, № 3, 447.
22. *Zedginidze I.G.* Matematicheskoe planirovanie eksperimenta dlya issledovaniya i optimizatsii svoistv smesei [Mathematical experiment planning for research and optimization of mixture characteristics]. Tbilisi, Mecniereba, 1971, 223 p.
23. *Zedginidze I.G.* Planirovanie eksperimenta dlya issledovaniya mnogokomponentnyh sistem [Experiment planning for multicomponent system research]. Moscow, Nauka [Science], 1976, 390 p.

**DEAR COLLEAGUES!****THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:**

*Popov A.N., Frolov A.M., Yakhin A.R., Konesev G.V., Agzamov F.A.* Stuck pipe risk reducing due drilling fluid treating. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 1, pp. 54–68. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-54-68](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-54-68). (In Russian).



УДК 622.24.063

**Автор: ПОПОВ Анатолий Николаевич**, д.т.н., проф., профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, 9406622@mail.ru;

**Автор: ФРОЛОВ Андрей Михайлович**, к.т.н., преподаватель кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, 9406622@mail.ru;

**Автор: ЯХИН Артур Рамилевич**, к.т.н., доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, 9406622@mail.ru;

**Автор: КОНЕСЕВ Геннадий Васильевич**, д.т.н., проф., профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, 9406622@mail.ru;

**Автор: АГЗАМОВ Фарит Акрамович**, д.т.н., проф., профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, 9406622@mail.ru

---

## СНИЖЕНИЕ ПРИХВАТООПАСНОСТИ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН ПУТЕМ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

---

### АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ (АВТОРСКОЕ РЕЗЮМЕ, РЕФЕРАТ):

Промывочные растворы для бурения глубоких и сверхглубоких скважин представляют собой сложные многокомпонентные системы, содержащие в себе растворенные соли, полимеры, поверхностно-активные вещества, а также крупнодисперсные твердые частицы. Комплексный состав промывочных систем обусловлен широким рядом выполняемых функций: созданием противоаварийного барьера на пласт, удержанием частиц выбуренной породы во взвешенном состоянии, очисткой забоя и транспортировкой шлама на поверхность, сохранением коллекторских свойств целевого пласта и др. Одними из важнейших свойств буровых растворов являются триботехнические свойства. Их регулирование производится за счет ввода смазочных добавок, компоненты которых обладают высокой, иногда уникальной, поверхностной активностью, обеспечивают образование на поверхности труб защитных высокопластичных нанопленок, способствуют химическому модифицированию поверхностных и преповерхностных слоев металла. Выбор таких компонентов осложнен, во-первых, ценовыми рамками (при строительстве скважин требуются большие объемы раствора), а во-вторых, строгими экологическими рамками. Поэтому при разработке смазочной добавки необходимо обоснование выбора рационального содержания каждого из ее компонентов. В свя-





а также существенно осложняют проведение технологических операций и ведут к сокращению сроков службы поверхностного и глубинного оборудования, периоду безремонтной эксплуатации скважины [3, 4].

Фрикционное взаимодействие бурильной колонны со стенками скважины по виду трения разделяется на три типа: «металл–металл», «металл–горная порода», «металл–фильтрационная корка».

Трение «металл–металл» имеет место при взаимодействии поверхности замков бурильных труб, элементов КНБК с внутренней поверхностью обсадной колонны. Оно характеризуется интенсивными патологическими процессами, которые могут привести как к высоким значениям износа и снижения ресурса глубинного оборудования, так и к потере герметичности крепи скважины и снижению периода ее безремонтной эксплуатации [5–8].

Трение пары «металл – горная порода» преимущественно имеет место на пробуренных участках, там, где еще не успела образоваться фильтрационная корка, в местах локального повреждения фильтрационной корки, в интервалах непроницаемых горных пород, таких как плотные песчаники, доломиты и т.д., но главным образом такой тип взаимодействия характерен при разрушении горных пород породоразрушающим инструментом, в особенности для долот режуще-скалывающего и истирающее-режущего типа. Справедливо сделать вывод, что основная доля износа для взаимодействия типа «металл – горная порода» приходится на долото. Предупреждение износа долота при бурении скважин является сложным многогранным направлением для исследования. Стоит, однако, заметить, что износ долота зависит как и от его конструкции, типа горных пород, режима бурения, так и от смазочно охлаждающих свойств промывочной жидкости [9–11].

Трение пары «металл – фильтрационная корка» имеет место по всему интервалу открытого ствола, отличительной его особенностью является наличие существенных адгезионных сил, перепадов давления в системе «скважина – пласт» [12, 13]. Высокое значение адгезионной составляющей является опасным фактором, который может привести к продолжительным авариям и даже потере части ствола скважины. Несмотря на многочисленные работы в данной области и значительные научные достижения на производстве действует строгое правило о запрете оставлять бурильную колонну без движения более пяти минут. Снижение риска возникновения прихватов бурильного инструмента может быть достиг-



нуто снижением коэффициента трения пары «металл – фильтрационная корка» за счет реагентной обработки промывочного раствора.

Одним из возможных путей снижения коэффициента трения пары «металл – фильтрационная корка» может быть образование соответствующих гидрофобных слоев ПАВ на поверхностях металла и фильтрационной корки и уменьшение силы притяжения (прилипания) между частицами породы и поверхностью бурильного инструмента благодаря их гидрофобизации молекулами ПАВ, входящими в состав смазочного реагента [14].

Для улучшения показателей фильтрационных и коркообразующих свойств путем реализации указанных механизмов авторами было исследовано влияние реагентной обработки промывочного раствора тестовой добавкой (ТД), состоящей из смеси ПАВ различного строения. В табл. 1 показаны некоторые свойства этих ПАВ.

Таблица 1

## Компоненты ТД

Номер ПАВ	ГЛБ ПАВ по Дэвису	Тип ПАВ	Молекулярная масса, г/моль
№ 1	1–3	Катионактивный	100–190
№ 2	2–4	Анионактивный	210–300
№ 3	29	Анионактивный	210–300
№ 4	29	Неионогенный	230–320
№ 5	15	Неионогенный	600–700

Выбор ПАВ обусловлен их поверхностными свойствами, химическим строением, ценой, доступностью, экологической безопасностью. Каждый из компонентов ТД показал хорошую способность самостоятельно облагораживать обрабатываемую систему.

Учитывая сложность процессов, происходящих при образовании фильтрационной корки и ее взаимодействии с металлической поверхностью, нами для проверки возможного синергизма, а также для определения оптимальной концентрации каждого из ПАВ в составе ТД был проведен двухэтапный комплекс экспериментов.



Первый этап заключался в исследовании широкого диапазона изменения отношений концентраций компонентов ТД с последующим поиском относительно узкого интервала оптимальных концентраций исследуемых ПАВ. Второй этап заключался в регрессионном анализе результатов планированного эксперимента, выполненного с целью построения математической модели зависимости коркообразующих свойств промывочного раствора, обработанного ТД от процентного содержания каждого компонента в составе ТД.

Измерение коэффициента трения покоя пары «металл–фильтрационная корка» проводилось на приборах КТК-2 и ФСК-2М [15–17]. В качестве модели выбран безглинистый хлоркальевый утяжеленный мраморной крошкой до плотности  $1,15 \text{ г/см}^3$  раствор как наиболее распространенный при бурении интервалов под эксплуатационную колонну при строительстве сложнопрофильных скважин.

На первом этапе проведен дробно-факторный эксперимент с применением комбинаторного греко-латинского квадрата. Значения каждого фактора  $X_i$  (отношение концентраций ПАВ) в эксперименте заданы на пяти уровнях (рис. 2).

$$X_1 = \frac{N_2}{N_1}, \quad X_2 = \frac{N_3}{N_1}, \quad X_3 = \frac{N_4}{N_1}, \quad X_4 = \frac{N_5}{N_2}, \quad (1)$$

где  $N_i$  – концентрации проб ПАВ.

Таким образом, для поиска интервалов оптимального содержания каждого компонента необходимо провести 25 опытов (рис. 1). Поскольку точность измерений в каждом из опытов первого этапа может быть относительно меньше, чем точность опытов второго этапа, на первом этапе использовался прибор КТК-2.

Обработка результатов экспериментов проводилась согласно методу, предложенному Протодьяконовым М.М. [18], известному как метод случайного баланса. Суть этого метода основывается на группировке значений выходного параметра (коэффициент трения покоя пары «металл–фильтрационная корка») по каждому значению одного фактора (отношение концентраций ПАВ в композиции). На рис. 2 показана зависимость коэффициента трения корки  $Y$  от значения факторов  $X_i$ . Проведя анализ каждого графика, выбраны интервалы значений  $X_i$ , при которых для значений выходного параметра  $Y$  будет наблюдаться





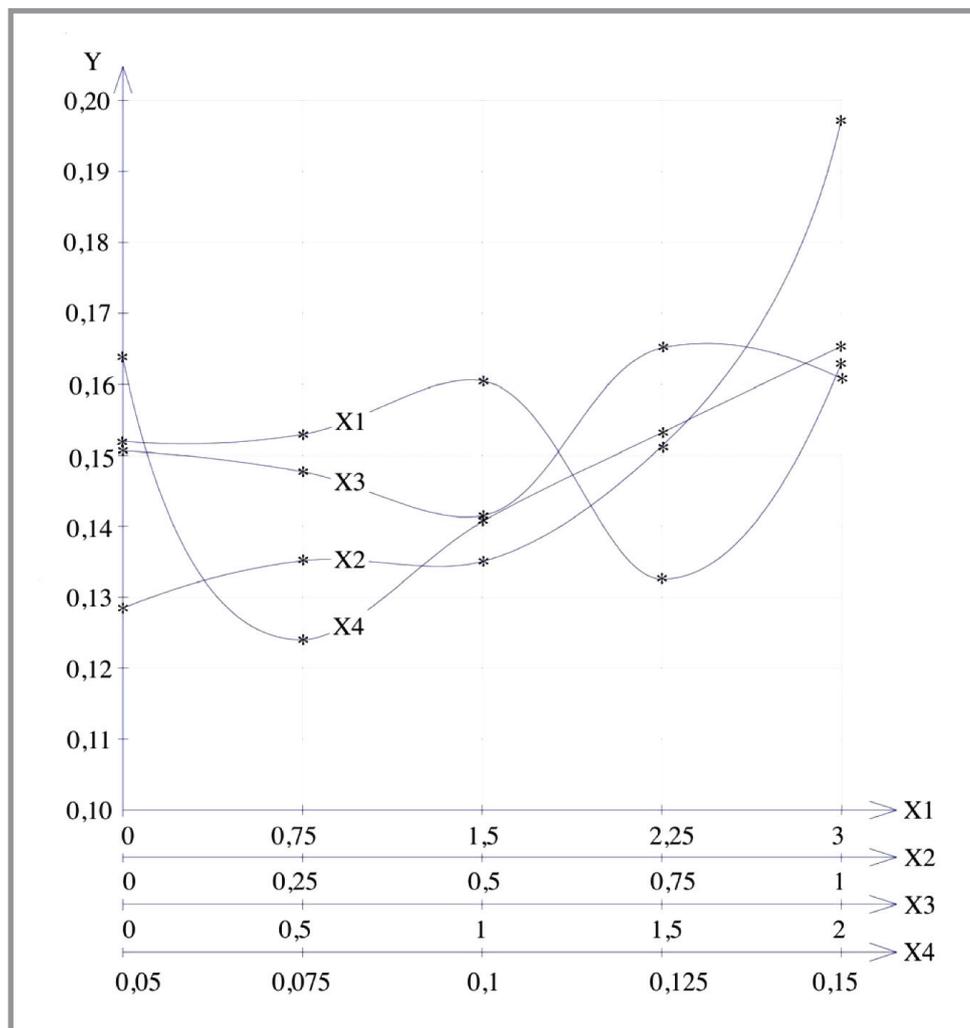


Рис. 2. Результаты первого этапа исследований

Таблица 2

## Интервалы оптимальных концентраций ПАВ в реагенте

Номер ПАВ	Концентрация, %	
	минимум	максимум
ПАВ № 1	15	35
ПАВ № 3	35	65
ПАВ № 4	10	35
ПАВ № 5	0	5



коэффициента трения покоя между стальным пуассоном и фильтрационной коркой модельного раствора, обработанного этим реагентом. По результатам серии экспериментов с помощью модуля «Анализ экспериментальных данных плана для смесей» ПО Statistica построена математическая модель зависимости коэффициента трения пары «металл-фильтрационная корка» от концентрации компонентов в тестовом реагенте:

$$Y = 10000^{-1} * (13,6A + 23,1B + 17,18C - 186,9D + 0,22AB + 0,30AC + 0,83BD + 0,07ABD + 0,10ACD), \quad (2)$$

где A, B, C, D – концентрации ПАВ № 1, 3, 4, 5 в %.

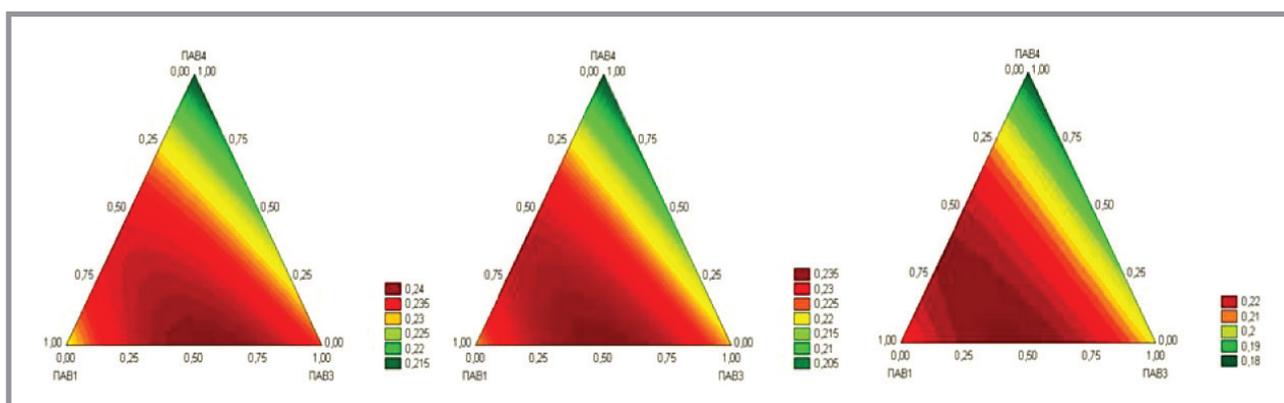


Рис. 3. Зависимости коэффициента трения от концентрации ПАВ № 1, 3, 4 при концентрациях № 5 = 0; 2,5; 5%

После анализа графиков поверхности зависимости коэффициента трения от концентрации ПАВ № 1, 3, 4 при концентрациях ПАВ № 5 = 0; 2,5; 5% (рис. 3) получен оптимальный состав реагента: ПАВ № 1 – 18%, ПАВ № 2 – 0%, ПАВ № 3 – 52%, ПАВ № 4 – 26%, ПАВ № 5 – 5%.

## Заключение

Таким образом, принятый метод позволяет разрабатывать реагенты различного предназначения для промывочных жидкостей разных типов даже с учетом малоизученности диапазона эффективного применения каждого компонента.



В целом разработанная добавка показала высокую эффективность при лабораторных испытаниях. Так, обработка промывочной жидкости в концентрации 1% позволила добиться снижения статического коэффициента трения пары «металл-фильтрационная корка» на 20–25% по сравнению с распространенными отечественными и импортными смазочными реагентами.

**УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

При использовании материала данной статьи  
ПРОСИМ ДЕЛАТЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКУЮ ССЫЛКУ НА НЕЁ:

*Попов А.Н., Фролов А.М., Яхин А.Р., Конесев Г.В., Агзамов Ф. А.* Снижение прихватаопасности при бурении скважин путем реагентной обработки промывочных жидкостей // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 1. – С. 54–68. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-54-68](https://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-54-68).

**DEAR COLLEAGUES!**

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

*Popov A.N., Frolov A.M., Yakhin A.R., Konesev G.V., Agzamov F.A.* Stuck pipe risk reducing due drilling fluid treating. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no.1, pp. 54–68. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-54-68](https://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-54-68). (In Russian).



**Библиографический список:**

1. *Бахтизин Р.Н., Верещагин А.С., Фурман А.Б.* Битва за нефть. – Уфа: Монография, 2003. – 278 с.
2. *Исмаков Р.А., Фаттахов М.М., Бакиров Д.Л. и др.* Многозабойные скважины: области эффективного применения, технология работ и задачи планирования // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 9. – С. 25–26.
3. *Исмаков Р.А.* Некоторые вопросы строительства многоствольных скважин с горизонтальным окончанием // Бурение и нефть. – 2013. – № 10. – С. 20 – 22.
4. *Кудряшов Б.Б., Яковлев А.М.* Бурение скважин в осложненных условиях: учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1987. – 269 с.
5. *Фан Джианчун, Жанг Лайбин, Чун Шенгли и др.* Исследование механизма износа обсадных колонн при скользящем контакте // Техническая конференция: Труды ЦИСТ 2008 и ИТС-ИФТММ 2008. – Китай: Пекин. – С. 980–985.
6. *Бу Хан Йонг, Жи Бингвин, Оянг Чун и др.* НГЖ в фокусе: эксперименты освещают причины износа обсадных колонн // Нефть и Газ. – 2010. – № 10. – С. 9–15.
7. *Фролов А.М., Попов А.Н., Конесев В.Г. и др.* Разработка методики изучения триботехнических свойств буровых промывочных жидкостей // Нефтегазовое дело. – 2015. – № 2. – С. 53–58.
8. *Гао Жихай.* Инженеры учитывают износ при проектировании обсадных колонн на месторождении Тарим // Нефть и Газ. – 2006. – 05/22. – С. 84–88.
9. *Гаркали Али Ю, Яньхуа Ксианг, Джэфри Луи.* Износ обсадных колонн в горизонтальных и многозабойных скважинах // Мировая Нефть. – 2010. – 06. – С. 135–140.
10. *Яхин А.Р., Конесев В.Г., Матюшин В.П., Салихов И.Ф., Фролов А.М.* Снижение теплонапряженности трения в парах «металл – горная порода» и «металл – металл» применительно к бурению глубоких скважин / Трибология и надежность: сборник трудов XIII Международной научной конференции. – 2013. – С. 144–150.
11. *Яхин А.Р.* Анализ методик оценки эффективности вооружения долот режуще-скалывающего действия / Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2011. – № 6. – С. 68–75.
12. *Яхин А.Р., Конесев Г.В., Янгиров Ф.Н., Фролов А.М.* Исследование износостойкости замков бурильных труб при трении о горную породу в различных средах / Территория Нефтегаз. – 2014. – № 6. – С. 30–35.



13. Попов А.Н., Спивак А.И., Акбулатов Т.О. и др. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 2007. – 330 с.
14. Кистер Э.Г. Химическая обработка буровых растворов. – М.: Недра, 1972. – 397 с.
15. Рябченко В.И. Управление свойствами буровых растворов. – М.: Недра, 1990. – 230 с.
16. Исмаков Р.А., Мамаева О.Г., Конесев Г.В. и др. Исследование кинетических и коркообразующих свойств растворов для бурения скважин при строительстве трубопроводов и разработке месторождений углеводородов: Нефтегазовое дело: электронный журнал. – Уфа. – 2011. – № 6. – С. 82–89.
17. Патент РФ № 128717, МПК G01N3N/56. Прибор для контроля статического и динамического коэффициента трения пары «металл-фильтрационная корка» / Г.В. Конесев и др. – № 2012145593/28 / Бюл. 15, опубл. 27.05.2013.
18. Протодьяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования эксперимента. – М.: Наука, 1970. – 78 с.
19. Портал знаний Statsoft: глобальный интеллектуальный ресурс. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://statistica.ru>.
20. Daimond W.I. Three dimensional models of extreme vertices designs for four component mixtures // Technometrics, 1967, 9, № 3, 342 p.
21. McLean R.A., Anderson V.L. Extreme vertices design for four component mixtures // Technometrics. 1966, 8, № 3, 447 p.
22. Зедгинидзе И.Г. Математическое планирование эксперимента для исследования и оптимизации свойств смесей. – Тбилиси: Мецниереба, 1971. – 223 с.
23. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука, 1976. – 390 с.

