

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.130-141>

EDN MCPJLL

УДК 622.276.72

**Цифровая методика оценки
диспергирующих свойств реагентов**

Нигметзянов А.Р., Хуснутдинова Д.С., Нигъматуллина А.В.,

Гареев А.Р., Фаттахов И.Г., Пименов А.А.

Институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина,

Альметьевск, Россия

**Digital method for evaluation of
dispersive properties of chemicals**

A.R. Nigmatzianov, D.S. Khusnutdinova, A.V. Nigmatullina, A.R. Gareev,

I.G. Fattakhov, A.A. Pimenov

TatNIPIneft Institute of PJSC Tatneft, Almetyevsk, Russia

E-mail: arthurnigm@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается одна из наиболее актуальных проблем нефтяной промышленности – образование асфальтеносмолопарафиновых отложений (АСПО), которые негативно влияют на эффективность добычи нефти. АСПО приводят к снижению дебитов скважин, затрудняют транспортировку углеводородов и увеличивают износ оборудования, что в конечном счете ведет к повышению эксплуатационных расходов и снижению рентабельности нефтедобычи. В работе подробно анализируются современные методы предотвращения образования АСПО, в частности, использование диспергирующих реагентов, которые помогают диспергировать и выводить отложения из потока нефти. Также рассматриваются существующие стандарты оценки эффективности этих реагентов, позволяющие выявить их сильные и слабые стороны, уделено внимание недостаткам традиционных методов оценки, которые часто не обеспечивают точной и надежной информации о диспергирующих свойствах реагентов, что затрудняет выбор оптимального решения для конкретных условий. В результате проведенных лабораторных исследований предложен новый метод оцифровки результатов испытаний, который позволяет более точно определять диспергирующие свойства реагентов

качественно и количественно, используя уменьшенный объем реагентов и пластовой воды. Это нововведение не только упрощает процесс оценки, но и снижает затраты на проведение экспериментов. Работа направлена на оптимизацию процессов добычи нефти, улучшение качества оценки эффективности реагентов и, в конечном счете, повышение общей эффективности работы нефтяных скважин. Результаты исследования могут быть полезны как для практиков в области нефтедобычи, так и для ученых, занимающихся разработкой новых технологий в этой сфере.

Ключевые слова: *асфальтеносмолопарафиновые отложения, диспергирование, методика, степень загрязнения*

Для цитирования: Нигметзянов А.Р., Хуснутдинова Д.С., Нигьматуллина А.В., Гареев А.Р., Фаттахов И.Г., Пименов А.А. Цифровая методика оценки диспергирующих свойств реагентов // Нефтяная провинция.-2025.-№2(42).-С. 130-141. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.130-141>. - EDN MCPJLL

Abstract. The paper considers one of the most urgent problems for petroleum industry - buildup of asphaltene-resin-paraffin deposits, which have adverse impact on oil production performance. Particularly, they cause decrease in oil production rates, disrupt transportation of hydrocarbons and accelerate equipment wear, ultimately resulting in higher operating costs and reduced profitability of oil production. The paper presents a detailed analysis of currently available methods for prevention of such deposits, including application of dispersants that help disperse and remove the deposits from the oil flow. Applicable standards for evaluation of dispersants efficiency are considered to allow for identification of their advantages and shortcomings. The paper also reveals the disadvantages of traditional evaluation practices, which often do not provide accurate and reliable data about the dispersive properties of chemicals, thus making the selection of the optimal solution for specific conditions a challenging task. Based on laboratory results, a new method for digitization of test data is proposed to enable more accurate qualitative and quantitative determination of the dispersive properties of chemicals while using lower volume of chemicals and formation water. This innovation not only simplifies the evaluation process, but also reduces the cost of experiments. The present research is aimed at optimization of oil production processes, improvement of the quality of chemicals performance evaluation and ultimately enhancement of the overall efficiency of oil production wells. The research findings can be useful both for oil production engineers and for scientists engaged in the development of new technologies in this field.

Key words: *asphaltene-resin-paraffin deposits, dispersion, method, degree of contamination*

For citation: A.R. Nigmatzianov, D.S. Khusnutdinova, A.V. Nigmatullina, A.R. Gareev, I.G. Fattakhov, A.A. Pimenov Tsifrovaya metodika otsenki dispergiruyushchikh svoystv reagentov [Digital method for evaluation of dispersive properties of chemicals]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(42), 2025. pp. 130-141. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.130-141>. EDN MCPJLL (in Russian)

Наличие асфальтеносмолопарафиновых веществ (АСПВ) приводит к образованию отложений на внутренних поверхностях насосно-компрессорных труб, глубиннонасосного оборудования, что приводит к уменьшению диаметра проходного сечения труб и снижению дебитов скважин. Практика эксплуатации нефтяных скважин убедительно демонстрирует, что образование асфальтеносмолопарафиновых отложений (АСПО) является серьезным препятствием для эффективной добычи и транспортировки нефти [1]. Накопление АСПО на внутренних поверхностях трубопроводов, насосно-компрессорных труб, глубиннонасосного оборудования и в промысловых емкостях ведет к целому ряду негативных последствий. Снижение проходного сечения трубопроводов и оборудования, вызванное АСПО, напрямую влияет на дебиты скважин, затрудняя подъем нефти и снижая общую производительность системы [2]. Более того, АСПО приводят к повышению износа оборудования, что влечет дополнительные расходы на ремонт и замену элементов, а также увеличивает энергопотребление из-за повышенного сопротивления в трубопроводных системах и роста давления в выкидных линиях.

Снижение эффективности работы скважин из-за АСПО существенно затрудняет достижение целей оптимизации процессов добычи и сбора нефти, что является критически важным фактором для поддержания рентабельности нефтедобывающих предприятий. В условиях интенсификации добычи, когда стремление к увеличению объемов добываемой нефти становится приоритетным, проблема АСПО приобретает особую остроту и требует внедрения эффективных и экономически обоснованных методов борьбы. Поэтому разработка и применение инновационных технологий для предотвращения и удаления АСПО является важной и актуальной задачей в современной нефтедобывающей промышленности, влияющей как на экономические показатели, так и на долгосрочную устойчивость отрасли [3].

Для предотвращения выпадения отложений на технологическом оборудовании при добыче нефти применяются реагенты, которые обладают свойствами диспергирования имеющихся АСПВ в потоке добываемого флюида [4]. Они способствуют удалению и выносу АСПО потоком и снижают их накопление [5].

Целью данного исследования является получение точного метода по определению диспергирующих свойств реагентов против АСПО.

В нефтяной промышленности РФ известен стандарт по определению диспергирующих свойств [6]. Традиционно в стандарте приводятся рекомендации по определению диспергирующих свойств реагентов против АСПО.

В процессе проведения лабораторных испытаний выявлены случаи, когда результаты исследований по двум критериям (степень диспергирования и загрязненность стенок) не всегда могут быть оценены одной оценкой [7]. К примеру, по характеру диспергирования результаты могли быть оценены на «хорошо», а по чистоте стенок колбы на «отлично». В случаях, когда проводятся сравнительные испытания, точная оценка и интерпретация результатов играют важную роль. Наличие возможности получения цифровых результатов оценки могло бы решить данную проблему [8].

Согласно нашим наблюдениям, в лабораториях не всегда есть в наличии большой объем реагентов и образцов, а количество испытаний необходимо увеличить. В связи с чем актуальной задачей является использование уменьшенного количества реагентов и пластовой воды.

По результатам применения различных подходов в нашей лаборатории предложена собственная методика, которая обладает как стандартными приемами, так и рядом особенностей. Согласно нашему методу в начале испытаний необходимо взвесить массу каждой колбы и записать данные в бланк испытаний. В колбу объемом 100 см^3 налить 50 см^3 искусственной пластовой воды и добавить $0,5 \text{ см}^3$ реагента. Затем стенки колбы обработать

полученным 1%-ным раствором реагента в пластовой воде. Приготовить образцы АСПО шарообразной формы массой 1,5 г, поместить их в колбу с пластовой водой и реагентом. Нагреть содержимое колбы до температуры 70–80 °С на водяной бане до полного расплавления образца АСПО. Затем содержимое колбы необходимо охладить под струей холодной водопроводной воды, встряхивая ее круговыми движениями. После охлаждения оценить размеры и характер диспергирования АСПО согласно цифровой шкале из табл. 1.

Таблица 1

Система оценки характера диспергирования (показатель D)

Балл	Характер диспергирования АСПО
5	в виде однородного песка размером до 1 мм
4	дефлокулированные частицы размером до 2 мм
3	дефлокулированные частицы размером до 5 мм
2	АСПО образует агломераты размером более 5 мм
1	не диспергируется

После оценки характера диспергирования необходимо медленно слить содержимое колбы и высушить колбу до постоянной массы. После чего требуется взвесить массу колбы с налипшими на стенки остатками АСПО. Расчет прироста массы колбы за счет массы налипшего АСПО вычисляется по формуле:

$$W = \frac{m_{\text{колб}_2} - m_{\text{колб}_1}}{m_{\text{АСПО}}} \times 100 \%, \quad (1)$$

где $m_{\text{колб}_2}$ – масса колбы с остатками АСПО после слива, г; $m_{\text{колб}_1}$ – масса колбы до начала испытаний, г; $m_{\text{АСПО}}$ – масса образца АСПО, г.

Визуальную оцифрованную оценку степени загрязнения стенок колбы проводят по табл. 2.

Таблица 2

Система оценки степени загрязнения стенок (показатель W)

Балл	Степень загрязнения стенок, %
5	до 10
4	10 – 30
3	30 – 50
2	50 – 70
1	более 70

Предлагается введение оцифрованной системы оценки по показателям характера диспергирования и степени загрязнения в виде D/W , где D характеризует характер диспергирования в баллах, W – степень загрязнения колбы в баллах.

Наши наблюдения показали, что при значениях показателей $4/4$ и $3/4$ эта область характеризуется процессом дефлокулирования частиц размером до 5 мм и степенью чистоты не менее 70 % стенок колбы. Это является одним из условий для подбора рентабельных, технологически оптимальных составов.

На рис. 1 приведена колба после проведенного испытания без реагента. В контрольном опыте АСПО собираются в комок, не диспергируются, стенки колбы загрязнены максимально.



Рис. 1. Результаты после испытаний контрольного образца ($D/W = 1/1$)

По мере подбора реагентов степень загрязнения колбы снижается. Наиболее часто получаемые результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты проведенных испытаний по методике

			
D = 5		W = 5	
			
D = 5		W = 4	
			
D = 3		W = 5	

Продолжение таблицы 3

	
<p>D = 5 W = 3</p>	
	
<p>D = 2 W = 3</p>	
	
<p>D = 1 W = 2</p>	

Данный метод использовался при разработке новых реагентов. Статистика по результатам испытаний 203 образцов приведена на рис. 2, согласно которому высокая степень чистоты стенок ($W=5$) не гарантирует повышенный характер диспергирования ($D=5$). Это может означать, что:

- чистота стенок не всегда коррелирует с характером диспергирования;
- диспергирование зависит от других факторов (например, состава отложений).

При ухудшении степени чистоты стенок ($W=1-3$) характер диспергирования тоже снижается ($D=1-3$). Чистые стенки являются необходимым, но недостаточным условием для высокого характера диспергирования.

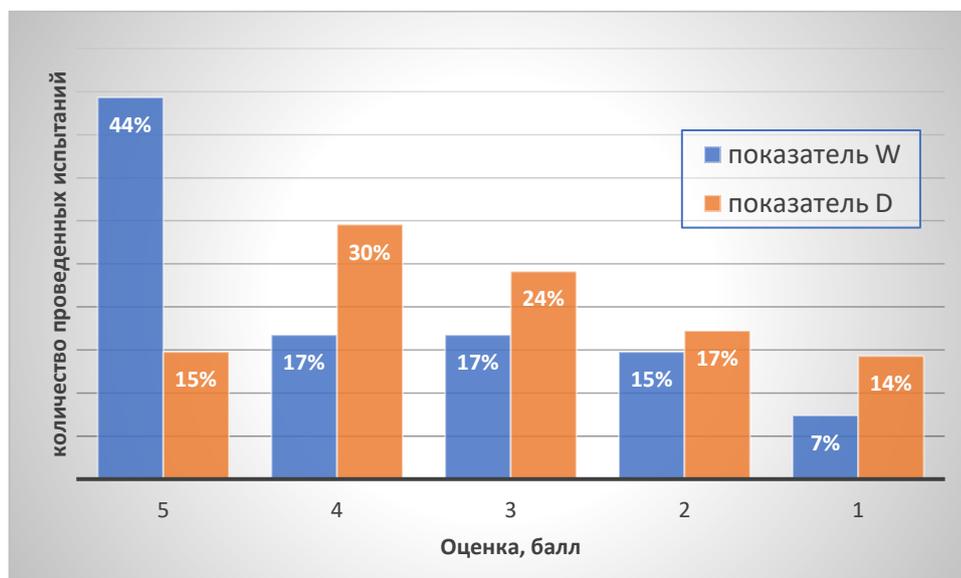


Рис. 2. Распределение баллов при проведении испытаний

Таким образом, в ходе данной работы создана методика цифровой оценки диспергирующих свойств реагентов. Она позволила создать более точные методы оценки по двум критериям. Благодаря данной методике в лабораторных условиях будет возможность определять реагенты с повышенными диспергирующими свойствами, которые, в свою очередь, позволят ингибировать процесс флокулирования и отложения АСПВ в насосно-компрессорных трубах и трубопроводах. Это позволит снизить количество

операций по ремонту и ревизии глубиннонасосного оборудования, а также увеличить межремонтную наработку добывающего фонда скважин до двух раз.

Список литературы

1. Пути повышения эффективности предотвращения образования отложений неорганических солей в скважинах / А.Ш. Сыртланов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 4. – С. 59–61.
2. Шихиев Я.Д. Методы предотвращения и борьбы с отложениями АСПО // Международный студенческий научный вестник : сетевое издание. – 2015. – № 6 – 3 с. – URL: <https://s.eduherald.ru/pdf/2015/6/91.pdf> (дата обращения: 31.01.2025).
3. Устькачкинцев Е.Н., Мелехин С.В. Определение эффективности методов предупреждения асфальтеносмолопарафиновых отложений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т. 15, № 18. – С. 61-70.
4. Акрамов Т.Ф., Яркеева Н.Р. Борьба с отложениями парафиновых, асфальтосмолистых компонентов нефти // Нефтегазовое дело. – 2017. – Т. 15, № 4. – С. 67-72.
5. Гумеров Р.Р. Разработка эффективных ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений асфальтенового типа: автореф. дис., канд. техн. наук: 05.17.07 / УГНТУ; науч. рук. М.Н. Рахимов. – Уфа, 2018. – 24 с.
6. СТ-07.1-00-00-02 Порядок проведения лабораторных и опытно-промысловых испытаний химических реагентов для применения в процессах добычи и подготовки нефти и газа: дата утверждения 13.02.2013 / ОАО АНК «Башнефть». – Уфа, 2013. – 83 с.
7. Галикеев Р.М., Леонтьев С.А., Мисник В.В. Методика исследования химических реагентов для предупреждения и растворения парафиновых отложений нефтей ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 9. – С. 36-39.
8. Эволюция методов борьбы с отложениями парафина на Туймазинском месторождении / И.Г. Фаттахов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2, ч. 25. – С. 5573-5576.

References

1. Syrtlanov A.Sh., Faskhutdinov R.A., Shaydullin F.D., Antipin Yu.V., Yarkееva N.R. *Puti povysheniya effektivnosti predotvrashcheniya obrazovaniya otlozheniy neorganicheskikh soley v skvazhinakh* [Ways to improve the efficiency of prevention of inorganic salt deposition in wells]. *Neftyanoe Khozaistvo* [Oil Industry]. 2002, No. 4, pp. 59–61. (in Russian)
2. Shikhiyev, Ya.D. *Metody predotvrashcheniya i bor'by s otlozheniyami ASPO* [Methods for prevention and control of asphalten-resin-paraffin deposits]. *Mezhdunarodny studentcheskiy nauchnyy vestnik* [International Student Scientific Bulletin]. 2015, No. 6. (in Russian)
3. Ustkachintsev E.N., Melekhin S.V. *Opredelenie effektivnosti metodov preduprezhdeniya asfal'tenosmoloparafimovykh otlozheniy* [Determination of efficiency of methods for prevention of asphaltene-resin-paraffin deposits]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo Issledovatel'skogo Politekhnicheskogo Universiteta* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University], 2016. 10 P. (in Russian)

4. Akramov T.F., Yarkееva N.R. Control deposits of paraffin, asphalt-resin components of oil. Ufa State Petroleum Technological University. 2017, pp 67-72. (in Russian)
5. Gumerov R.R. *Razrabotka effektivnykh inhibitorov asfal'tosmoloparafinykh otlozheniy asfal'tenovogo tipa* [Development of effective inhibitors of asphaltene-type asphaltene-resin-paraffin deposits]. PhD dissertation (Engineering), 2018. 124 P. (in Russian)
6. *Poryadok provedeniya laboratornykh i opytno-promyslovykh ispytaniy khimicheskikh reagentov dlya primeneniya v protsessakh dobychi i podgotovki nefti i gaza* [Procedure for laboratory and pilot field tests of chemicals for oil and gas production and treatment]. Standard CT-07.1-00-00-02, 2013, 63 P. (in Russian)
7. Galikeev R.M., Leontiev S.A., Misnik V.V Method of chemical reagents studies to prevent and dissolve oil paraffine sediments developed in JSC "Gazpromneft-Noyabrskneftegaz". *Neftepromyslovoe Delo* [Petroleum Engineering]. 2010, No. 9, pp. 36-39. (in Russian)
8. Fattakhov I.G., Gabzalilova A.K., Zaylalova V.R., Minnivaliev A.N., Goryntseva K.Y., Markova R.G. Evolution of methods of scaling prevention at the Tuimazinskoe oilfield. *Fundamentalnyye Issledovaniya* [Fundamental Research]. 2015, No. 2-25, pp. 5573-5576. (in Russian)

Сведения об авторах

Нигметзянов Артур Расифович, научный сотрудник института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186А
E-mail: arthurnigm@mail.ru

Хуснутдинова Дина Саматовна, студент 2 курса магистратуры ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет - Высшая школа нефти», техник института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: dina.khusnutdinova.01@mail.ru

Нигъматуллина Айгуль Венировна, студент 2 курса магистратуры ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет - Высшая школа нефти», техник института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: Aigul.nn@yandex.ru

Гареев Азамат Рамилевич, заведующий лабораторией по разработке химреагентов для нефтедобычи, отдел интенсификации притока института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: sintez@tatnipi.ru

Фаттахов Ирик Галиханович, доктор технических наук, профессор кафедры разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений, директор по повышению нефтеотдачи, полным и биотехнологиям института «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: i-fattakhov@rambler.ru

Пименов Андрей Александрович, доктор технических наук, директор института «ТатНИ-ПИНЕФТЬ» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина
Россия, 423458, Альметьевск, ул. Советская, 186а
E-mail: PimenovAndreyA@tatnipi.ru

Authors

A.R. Nigmatzianov, research scientist of TatNIPIneft Institute of PJSC Tatneft
186a, Sovetskaya Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation
E-mail: arthurnigm@mail.ru

D.S. Khusnutdinova, 2nd year Master's degree student at Almetyevsk State University of Technology – Higher Petroleum School, technician of TatNIPIneft Institute of PJSC Tatneft
186a, Sovetskaya Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation
E-mail: dina.khusnutdinova.01@mail.ru

A.V. Nigmatullina, 2nd year Master's degree student at Almetyevsk State University of Technology – Higher Petroleum School, technician of TatNIPIneft Institute of PJSC Tatneft
186a, Sovetskaya Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation
E-mail: Aigul.nn@yandex.ru

A.R. Gareev, Head of Laboratory, Oil Production Chemicals Development Laboratory, Well Stimulation Department, TatNIPIneft Institute of PJSC Tatneft
186a, Sovetskaya Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation
E-mail: sintez@tatnipi.ru

I.G. Fattakhov, Dr.Sc (Engineering), Professor, Oil and Gas Field Exploration and Development, director, Research in well stimulation and synthesis of oilfield chemicals of TatNIPIneft Institute of PJSC Tatneft
186a, Sovetskaya Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation
E-mail: i-fattakhov@rambler.ru

A.A. Pimenov, Dr.Sc, Director of TatNIPIneft Institute of PJSC Tatneft
186a, Sovetskaya Str., Almetyevsk, 423458, Russian Federation
E-mail: PimenovAndreyA@tatnipi.ru

Статья поступила в редакцию 21.04.2025

Принята к публикации 17.06.2025

Опубликована 30.06.2025