DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-1-105-115
УДК 622.276.8:665.625

А.Б. Лаптев (Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, г. Москва, Российская Федерация), **С.Р. Рахимов, Д.Е. Бугай** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ОБОЛОЧКИ ГЛОБУЛЫ НЕФТИ В ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

A.B. Laptev (All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials, Moscow, Russian Federation), **S.R. Rakhimov, D.E. Bugai** (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

FEATURES OF SHELL STRUCTURE OF OIL GLOBULE IN WATER-OIL EMULSION

Введение

Разработка эксплуатировавшихся долгое время месторождений нефти характеризуется ее высокой обводненностью, что является причиной возникновения ряда серьезных осложнений, таких как образование на внутренней поверхности нефтепроводов неорганических солей, высокая коррозионная активность добываемой продукции, интенсивное эмульсиеобразование. Эти осложнения повышают аварийность, которой сопутствует экологический и материальный ущерб. Попытки снизить скорость коррозии трубопроводов путем применения ингибиторной защиты приводят к росту концентрации поверхностно-активных веществ (ПАВ) в водной фазе. Удаление из насосно-компрессорных труб и шлейфовых нефтепроводов отложений солей влечет за собой рост массы механических примесей, присутствующих во взвешенном состоянии в водонефтяном потоке. В результате происходят электростатическая стабилизация глобул нефти в воде ПАВ и механическая стабилизация отдельных глобул нефти в воде взвешенными частицами.

Background

The development of oil fields exploited for a long time is characterized by high water cut of oil, which causes a number of serious complications, such as the formation of inorganic salts on the inner surface of oil pipelines, high corrosion activity of the extracted products, and intensive emulsion formation. These complications increase the accident rate, accompanied by environmental and material damage. Attempts to reduce the corrosion rate of pipelines by applying inhibitor protection lead to surfactants concentration increase in the aqueous phase. Removal of salt deposits from tubing and oil pipelines leads to an increase in the mass of mechanical impurities present in the suspended state in the water-oil stream. As a result, electrostatic stabilization of the oil globules in water of the surfactant and the mechanical stabilization of individual oil globules in water by suspended particles occur.

Цели и задачи

Рассмотреть особенности строения оболочки глобулы нефти в водонефтяной эмульсии.

Результаты

Результаты анализа литературных источников показывают, что стабильность водонефтяных эмульсий обеспечивается образованием энергетически стабильных глобул, оболочка которых состоит из ПАВ, смол и механических примесей, сшитых водородными связями и вандерваальсовыми силами. В оболочке глобул формируется слой, в котором остаются только ориентированные взаимной поляризацией, сшитые водородными связями смолы и ПАВ. В случае образования эмульсии типа «нефть в воде» на поверхность оболочки выходят гидрофильные лиганды молекул. Поскольку поверхности глобул имеют одноименные заряды, они отталкиваются друг от друга, и происходит электростатическая стабилизация эмульсий. Стабильность эмульсий со временем увеличивается за счет дробления и старения глобул.

Вследствие подобного механизма стабилизации эмульсий возникает необходимость разработки новых методов их расщепления, основанных на индуцировании в потоке эмульсии направленных электрических полей, которые способны изменять ориентацию молекул ПАВ и смол в оболочке глобул, снижать силы поверхностного натяжения, величину заряда на поверхности и, таким образом, обеспечивать слияние сталкивающихся в турбулентном потоке глобул.

Aims and Objectives

To examine features of shell structure of oil globule in water-oil emulsion.

Results

The results of the analysis of literature sources showed that the stability of the emulsions is ensured by the formation of energetically stable globules, the shell of which consists of surfactants, resins and solids, made by hydrogen bonds and van der Waals forces. In the shell of globules, layer of resins and surfactants made by hydrogen bonds and oriented by mutual polarization is formed. In case of emulsion type «oil in water» formation hydrophilic ligand mole-molecules emerge on the shell surface. As the surfaces of globules have like charges, globules are repelling from each other, and electrostatic stabilization of emulsions occurs. Emulsions stability increases in course of time due to globules crushing and aging.

For this emulsions stabilization mechanism there is a need of development of new methods of breaking based on the induced in the flow of emulsion directed electric field that can change the orientation of the surfactant molecules and resins in the outer shell of the globules, reduce the surface tension, the magnitude of the charge on the surface and, thus, ensure the fusion of globules colliding in a turbulent flow.

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия, электрохимические параметры, поверхностно-активное вещество, поверхностное натяжение, коалесценция

Key words: water-oil emulsion, electrochemical parameters, surfactant, surface tension, coalescence

Разработка эксплуатировавшихся долгое время месторождений нефти характеризуется ее высокой обводненностью, что является причиной возникновения ряда серьезных осложнений, таких как образование на внутренней поверхности нефтепроводов неорга-

нических солей [1, 2], высокая коррозионная активность добываемой продукции [3-6], интенсивное эмульсиеобразование [7, 8]. Эти осложнения повышают аварийность, которой сопутствует экологический и материальный ущерб. Попытки снизить скорость коррозии

трубопроводов путем применения ингибиторной защиты приводят к росту концентрации поверхностно-активных веществ (ПАВ) в водной фазе. Удаление из насосно-компрессорных труб и шлейфовых нефтепроводов отложений солей влечет за собой рост массы механических примесей, присутствующих во взвешенном состоянии в водонефтяном потоке [9-12]. В результате происходят электростатическая стабилизация глобул нефти в воде ПАВ и механическая стабилизация отдельных глобул нефти в воде взвешенными частицами [13].

В настоящей статье приведены некоторые результаты, полученные за последние годы в рамках реализации стратегического направления [14-16]. *Работа выполнена в рамках реализации стратегического направления 18. Климатические испытания для обеспечения безопасности и защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов, конструкций и сложных технических систем в природных средах («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»).*

В составе добываемой продукции содержится весь спектр углеводородов - газы (водород, метан, этан, пропан), бензиновая (C_5-C_{10}), дизельная (C_9-C_{20}) и масляная ($C_{10}-C_{30}$) фракции, мазут ($C_{10}-C_{50}$) и битум (C_{50} и выше). Кроме углеводородов в нефти содержатся гетероорганические соединения, количество которых зависит от специфики месторождения. Длительная эксплуатация месторождений, использование кислотных обработок и заводнения пластов для вытеснения нефти приводят к значительному насыщению продукции скважин окисленными соединениями и всевозможными реагентами - ПАВ.

Производство скважин находится в пласте под давлением от 2 до 10 МПа и температуре от 30 °С до 120 °С. При наличии в нефти воды в насосе или турбулентном потоке в колонне насосно-компрессорных труб начинается эмульсиеобразование. Формирование эмульсий типа «нефть в воде» - сложный физико-химический процесс, проходящий в несколько стадий.

Подъем продукции по насосно-компрессорным трубам и происходящее при этом снижение давления приводят к постепенному удалению из глобул нефти газов и легких углеводородов посредством диффузии, уменьшению размеров глобул и расстояния между высокомолекулярными соединениями нефти.

В таблице 1 приведены средние значения энергии водородных связей, образуемых гетероорганическими соединениями (фтором, кислородом и азотом) [12].

Таблица 1. Средние значения энергии водородных связей

Тип связи	Энергия, кДж/моль
H ... F	40
H ... O	20
H ... N	8

В формировании оболочек глобул участвуют, в основном, нефтяные смолы [15], молекулы которых наряду с атомами водорода и углерода содержат гетероатомы кислорода, азота и серы. Смолы имеют низкую растворимость в углеводородах и образуют в нефти коллоидно-взвешенные частицы. При переработке нефти они не склонны к переходу в ее фракции и поглощаются мазутом и остаточными маслами. В зависимости от природы нефти содержание смол в них составляет от 1 % до 45 %. В общем случае это нейтральные смолы, являющиеся смесями органических соединений молекулярной массой 600-1000 и плотностью около 1,1 кг/дм³. Под влиянием повышенной температуры, концентрированных кислот и света смолы частично превращаются в асфальтены. На одну молекулу смолы приходится в среднем три-четыре ароматических кольца, одна-две пяти- или шестичленные циклоалкановые группировки, один-два атома серы, азота и кислорода [16].

В частности, на основании приведенных выше данных может быть предложена следующая *модель молекулы смолистого вещества* (рисунок 1).

Рисунок 1. Модель типичной молекулы смолистого вещества

При снижении давления, переходе легких углеводородов в газовую фазу и, соответственно, утонении сольватной оболочки молекулы смолы происходят сближение молекул и образование водородных связей на гетероатомах серы, азота, кислорода. Кроме того, в минерализованной воде на поверхности раздела фаз «нефть - вода» происходит относительно слабое, но способное фиксировать молекулы на оболочке глобулы вандерваальсово взаимодействие между гетероатомами молекул смол и ионами водной среды.

Энергия вандерваальсового взаимодействия уменьшается с ростом расстояния r между молекулами пропорционально $1/r^6$, однако при их близком контакте это взаимодействие нельзя не учитывать.

Отметим, что в ряду нековалентных взаимодействий вандерваальсовы - самые слабые. Но при контакте больших поверхностей макромолекул вандерваальсово взаимодействие превращается в важный фактор стабилизации их строения.

Вандерваальсово взаимодействие при дальнейшем движении глобулы нефти в вод-

ной среде по насосно-компрессорным трубам приводит к формированию эквипотенциальной оболочки глобулы.

Одноименные заряды внутри глобул взаимно отталкиваются, на их поверхности формируется двойной электрический слой, а вся оболочка глобул приобретает одноименный заряд.

На рисунке 2 представлен результат проведенного нами расчета распределения зарядов на атомах в молекуле смолистого вещества. Значение дипольного момента молекулы составило 5,8 Д. Атомы в ароматических циклах имеют слишком высокие энергетические барьеры, затрудняющие их вступление в какое-либо физическое или химическое взаимодействие. В то же время гетероатомы кислорода, серы и азота имеют значительные заряды (на азоте - минус 0,273 эВ, на сере - минус 0,305 эВ), что способствует осуществлению ориентации молекул в пространстве и в оболочке глобул, образованию водородных связей между отдельными молекулами в оболочке глобул и пространственных связей внутри глобул.

Рисунок 2. Распределение зарядов на атомах в молекуле смолы

Взаимное отталкивание поверхностных зарядов приводит к формированию *симметричного относительно центра сферического строения глобулы*. Внутренняя часть глобулы состоит из легких углеводородов и растворенных в них смол и асфальтенов.

В результате формируется оболочка глобулы, в которой концентрируются ориентированные взаимной поляризацией сшитые водородными связями смолы и ПАВ. При этом в случае образования эмульсии типа «нефть в воде» на поверхность выходят гидрофильные лиганды молекул.

За определенный период времени, величина которого зависит от температуры эмульсии, происходит образование энергетически сбалансированной глобулы. При этом, чем выше температура эмульсии, тем меньше данный период. На ее поверхности формируется сплошная моно- или полимолекулярная пленка из сшитых водородными связями молекул ПАВ и смол. К поверхности оболочки за счет сил вандерваальсового

взаимодействия притягиваются положительные ионы, механические примеси (особенно сульфиды и оксиды железа) и диполи воды. Теми же силами к внутренней поверхности оболочки глобулы притягиваются гетероорганические молекулы углеводородов, также имеющие положительные заряды на гетероатомах.

На рисунке 3 приведено строение оболочки глобулы, которая состоит из легких углеводородов, заполняющих основную часть глобулы. На границе раздела воды и нефти располагаются молекулы ПАВ и смол, ориентированные относительно друг друга силовыми линиями электростатического поля зарядов на гетероатомах. ПАВ и смолы сшиты между собой водородными связями.

Оболочки глобул заряжены, как правило, отрицательно (заряд может составлять до 0,7 эВ) и создают двойной электрический слой. При образовании глобулы ее оболочка вызывает увеличение внутреннего давления за счет сил поверхностного натяжения.

Рисунок 3. Строение оболочки глобулы эмульсии типа «нефть в воде»

Крупные глобулы энергетически неустойчивы и фрагментируются на более мелкие, поверхность которых покрыта ПАВ, смолами и механическими примесями в виде мельчайших (1-10 мкм) частиц. Адсорбция диспергированных механических примесей и ПАВ на поверхности глобулы, утолщение межфазного слоя, выстраивание водородных, ионных и ковалентных связей постепенно приводят к старению оболочки, в результате чего водонефтяная эмульсия со временем становится более устойчивой [17]. Рост устойчивости водонефтяных эмульсий вызывает образование пробок в трубах, а также повышение риска выхода оборудования из строя [18-22]. В связи с этим большое практическое значение имеет разработка эффективных методов предотвращения образования и разрушения эмульсий.

Устойчивость водонефтяной эмульсии зависит от ряда факторов:

- соотношение водной и нефтяной фаз в потоке;
- поверхностно-активные характеристики этих фаз;

- скорость потока;
- способность транспортируемых флюидов к накоплению электростатических зарядов;
- наличие и интенсивность выделения газов;
- особенности применяемого насосного оборудования - центробежные насосы (устойчивые эмульсии), штанговые и винтовые насосы (неустойчивые эмульсии);
- степень шероховатости металла внутренней поверхности труб.

Перераспределение электростатических зарядов между водной и нефтяной фазами происходит при движении эмульсии как по футерованным изнутри, так и нефутерованным нефтепроводам. Как правило, положительные заряды накапливаются в нефти вследствие образования карбокатионов [23], а отрицательные - в водной фазе.

Известно [24], что при применении деэмульгаторов с разветвленными молекулами, имеющими большой дипольный момент, сначала происходит уменьшение межфазного натяжения «вода - нефть», однако в дальнейшем наблюдается активизация перераспределения электростатических зарядов, в

результате чего существенно растет поверхностное натяжение.

Следовательно, на некотором расстоянии от узла ввода деэмульгатора в нефтепровод будет иметь место постепенное накопление электростатических зарядов, величина которых на определенном этапе процесса окажется достаточной для существенного повышения устойчивости водонефтяной эмульсии.

Энергия обменного взаимодействия молекул U_{exc} (кДж/моль) [25, 26] может быть рассчитана с использованием методов квантовой механики [27], в то время как другие виды межмолекулярного взаимодействия количественно описываются на основе законов классической электростатики.

В общем случае суммарную энергию взаимодействия молекул можно записать в виде

$$U = U_{exc} + U_{ele} + U_{ind} + U_{dis},$$

где U_{ele} - энергия электростатического взаимодействия, кДж/моль;

U_{ind} - энергия индукционного взаимодействия, кДж/моль;

U_{dis} - энергия дисперсионного взаимодействия, кДж/моль [22].

Отметим, что возникающие при электризации эмульсии *заряды увеличивают суммарную энергию взаимодействия молекул за счет роста энергии электростатического взаимодействия.*

Список литературы

1. Курс М.Г., Кутырев А.Е., Фомина М.А. Исследование коррозионного разрушения деформируемых алюминиевых сплавов при лабораторных и натурных испытаниях // Электронный научно-технический журнал «Труды ВИАМ». 2016. № 8. Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-10-10.
2. Ибрагимов Н.Г., Хафизов А.Р., Шайдаков В.В. Осложнения в нефтедобыче. Уфа: ООО «Издательство научно-технической литературы «Монография», 2003. 302 с.
3. Пат. 2263548 РФ, МПК В 03 С 1/00. Способ извлечения магнитных частиц и магнитный сепаратор для его осуществления / А.Б. Лаптев (РФ). 2004131312/03; заявл. 14.10.2004; опубл. 10.11.2005. Бюл. № 31. 5 с.

Выводы

1. Длительная эксплуатация нефтяных месторождений, дозирование химических реагентов и вымывание из пласта высокомолекулярных соединений нефти (асфальтенов и смол) приводят к образованию устойчивых эмульсий.

2. Устойчивость эмульсий обеспечивается образованием энергетически стабильных глобул нефти, оболочка которых состоит из ПАВ, смол и механических примесей, сшитых водородными связями и силами вандерваальсового взаимодействия.

3. Устойчивость эмульсий со временем увеличивается за счет накопления дополнительного электростатического заряда (электризация), выстраивания дополнительных пространственных межмолекулярных связей на поверхности и внутри глобул (старение), фрагментации глобул на более мелкие, неподверженные гравитационной седиментации.

4. Возможность стабилизации нефтяных эмульсий электростатическими силами взаимодействия молекул и заряженных частиц свидетельствует о необходимости разработки новых методов их расслаивания на основе индуцирования в потоке эмульсии направленных электрических полей с целью переориентации молекул ПАВ и смол во внешней оболочке, снижения сил поверхностного натяжения и обеспечения слияния сталкивающихся в турбулентном потоке глобул.

References

1. Kurs M.G., Kutyrev A.E., Fomina M.A. Issledovanie korrozionnogo raz-rusheniya deformiruemykh alyuminievykh splavov pri laboratornykh i naturnykh ispytaniyakh [Research of Corrosion Damage of Wrought Aluminium Alloys at Laboratory and Full-Scale Tests]. *Elektronnyy nauchno-tekhnicheskyy zhurnal «Trudy VIAM» - Electronic Scientific and Technical Journal «Proceedings of VIAM»*, 2016, No. 8, Art. 10. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-10-10. (in Russ.).
2. Ibragimov N.G., Khafizov A.R., Shaidakov V.V. *Oslozhneniya v neftedobyche* [Complications in Oil Production]. Ufa, Monografiya Publ., 2003. 302 p. (in Russ.).

4. Ахияров Р.Ж., Гоголев Д.А., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Влияние режимов магнетогидродинамической обработки на ингибирующую способность алкилимидазолинов // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 4. С. 48-49.
5. Аленькин Г.А., Зарипов М.С., Гаязова Г.А., Лаптев А.Б. Определение магнитной восприимчивости нефтяных асфальтенов // Нефтепромысловое дело. 2005. № 5. С. 54-57.
6. Лаптев А.Б., Навалихин Г.П. Повышение безопасности эксплуатации промысловых нефтепроводов // Нефтепромысловое дело. 2006. № 1. С. 48-52.
7. Пат. 2121524 РФ, МПК С 23 F 11/00. Консервант для защиты забойных двигателей в период хранения / А.Б. Лаптев, В.В. Шайдаков, А.А. Щукин, Д.И. Чистов (РФ). 97121030/02; заявл. 16.12.97; опубл. 20.11.98; Бюл. № 33. 2 с.
8. Ахияров Р.Ж., Навалихин Г.П., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Снижение коррозионной агрессивности водной фазы промысловых сред путем их магнетогидродинамической обработки // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 2. С. 23-25.
9. Ахияров Р.Ж., Гоголев Д.А., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Повышение эффективности деэмульсации водонефтяных сред путем их магнетогидродинамической обработки // Нефтегазовое дело. 2006. № 1. С. 1-6.
10. Лаптев А.Б. Методы и агрегаты для магнетогидродинамической обработки водонефтяных сред: дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2008. 242 с.
11. Бугай Д.Е., Голубев М.В., Лаптев А.Б., Ляпина Н.К., Голубева И.В., Рахманкулов Д.Л. Адсорбционные и ингибирующие свойства композиций на основе кетосульфидов в сероводородных средах // Башкирский химический журнал. 1996. Т. 3. № 4. С. 51-53.
12. Бугай Д.Е., Голубев М.В., Лаптев А.Б. О защитных свойствах некоторых аминов, кетосульфидов, ацеталей и их аналогов при ингибировании коррозии строительной стали // Башкирский химический журнал. 1998. Т. 5. № 3. С. 51-53.
13. Ахияров Р.Ж., Гоголев Д.А., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. Применение магнетогидродинамической обработки для повышения эффективности ингибиторов коррозии в водных растворах солей // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 4. С. 16-17.
14. Книга Налко о воде / Под ред. Ф.Н. Кеммера. 2 изд. McGraw-Hill Book Company, 1987. 1103 с.
15. Пат. 2176686 РФ, МПК С 23 F 11/14. Ингибитор для защиты строительных сталей от коррозионно-механического разрушения в сероводородсодержащих минерализованных средах / Е.Г. Михеева, Д.Е. Бугай, И.Г. Абдуллин, Ю.Н. Эйдемиллер, А.Б. Лаптев, Р.Э. Хаердинов, Ф.А. Селимов (РФ). 2003110965/02, заявл. 16.04.2003, опубл. 10.06.2004, Бюл. № 16. 7 с.
16. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 го
3. Laptev A.B. *Sposob izvlecheniya magnitnykh chastits i magnitnyi separator dlya ego osushchestvleniya* [Magnetic Particles Extraction Method and Magnetic Separator for its Implementation]. Patent RF, No. 2263548, 2005. (in Russ.).
4. Akhiyarov R.Zh., Gogolev D.A., Laptev A.B., Bugai D.E. Vliyanie rezhimov magnetogidrodinamicheskoi obrabotki na ingibiruyushchuyu sposobnost' alkilimidazolinov [The Effect of Magnetohydrodynamic Treatment Regimes on the Inhibitory Ability of Alkylimidazolines]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal - Bashkir Chemical Journal*, 2006, Vol. 13, No. 4, pp. 48-49. (in Russ.).
5. Alen'kin G.A., Zaripov M.S., Gayazova G.A., Laptev A.B. Opredelenie magnitnoi vospriimchivosti neftyanykh asfal'tenov [Petroleum Asphaltenes Magnetic Susceptibility Determination]. *Neftepromyslovoe delo - Oilfield Engineering*, 2005, No. 5, pp. 54-57. (in Russ.).
6. Laptev A.B., Navalikhin G.P. Povyshenie bezopasnosti ekspluatatsii promyslovykh nefteprovodov [Oil Pipeline Safety Operation Improving]. *Neftepromyslovoe delo - Oilfield Engineering*, 2006, No. 1, pp. 48-52. (in Russ.).
7. Laptev A.B., Shaidakov V.V., Shchukin A.A., Chistov D.I. *Konservant dlya zashchity zaboinykh dvigatelei v period khraneniya* [Preservative for Downhole Motors Protection during Storage Period]. Patent RF, No. 2121524, 1998. (in Russ.).
8. Akhiyarov R.Zh., Navalikhin G.P., Laptev A.B., Bugai D.E. Snizhenie korrozionnoi agressivnosti vodnoi fazy promyslovykh sred putem ikh magnitogidrodinamicheskoi obrabotki [Reduction of Corrosiveness of Commercial Fluids Aqueous Phase by their Magnetohydrodynamic Processing]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal - Bashkir Chemical Journal*, 2006, Vol. 13, No. 2, pp. 23-25. (in Russ.).
9. Akhiyarov R.Zh., Gogolev D.A., Laptev A.B., Bugai D.E. Povyshenie effektivnosti deemul'satsii vodoneftyanykh sred putem ikh magnitogidrodinamicheskoi obrabotki [Efficiency Increasing of Water-Oil Fluids Demulsification by their Magnetohydrodynamic Processing]. *Neftegazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2006, No. 1, pp. 1-6. (in Russ.).
10. Laptev A.B. *Metody i agregaty dlya magnitogidrodinamicheskoi obrabotki vodoneftyanykh sred: dis. d-ra tekhn. nauk* [Methods and Units for Magnetohydrodynamic Processing of Water-Oil Fluids: Doct. Tekhn. Sci. Diss.]. Ufa, 2008. 242 p. (in Russ.).
11. Bugai D.E., Golubev M.V., Laptev A.B., Lyapina N.K., Golubeva I.V., Rakh-mankulov D.L. Adsorbtsionnye i ingibiruyushchie svoistva kompozitsii na osnove ketosul'fidov v serovodorodnykh sredakh [Adsorption and Inhibitory Properties of Ketosulfide-Based Compositions in Hydrogen Sulfide Media]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal - Bashkir Chemical Journal*, 1996, Vol. 3, No. 4, pp. 51-53. (in Russ.).
12. Bugai D.E., Golubev M.V., Laptev A.B. O zashchitnykh svoistvakh nekotorykh aminov, ketosul'fidov, atsetalei i ikh analogov pri ingibirovanii korrozii stroitel'noi stali [On the Protective Properties

да» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1. С. 3-33. dx.doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

17. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 2. С. 76-87. dx.doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.

18. Каблов Е.Н. Контроль качества материалов - гарантия безопасности эксплуатации авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. Вып. «Методы испытаний и контроля качества металлических и неметаллических материалов». 2001. С. 3-8.

19. Патент 2230135 РФ, МПК С 23 F 11/14. Ингибитор для защиты строительных сталей от коррозионно-механического разрушения в сероводородсодержащих минерализованных средах / И.В. Колобова, Д.Е. Бугай, И.Г. Абдуллин, А.Б. Лаптев, Ю.Н. Эйдемиллер, Ф.А. Селимов (РФ). 99116663/02, заявл. 30.07.1999, опубл. 10.12.2001, Бюл. № 34 7 с.

20. Каблов Е.Н., Петрова А.П., Нарский А.Р. Г.В. Акимов - создатель отечественной науки о коррозии // *История науки и техники*. 2009. № 11. С. 12-15.

21. Холмберг К., Йенсен Б., Кронбург Б., Линдмен Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах: Пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 530 с.

22. Тюсенков А.С. Повышение безопасности эксплуатации оборудования для подготовки и хранения нефти в условиях накопления электростатических зарядов в водонефтяной смеси: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2012. 166 с.

23. Тюсенков А.С., Кононов Д.В., Бугай Д.Е., Лаптев А.Б. Оценка возможности применения ПАВ для снижения подкисления нефти при перекачке водонефтяной эмульсии по трубопроводам // *Нефтегазовое дело*. 2011. Т. 9. № 2. С. 38-40.

24. Каблов Е.Н., Старцев О.В. Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 4 (37). С. 38-52. DOI 10.18577/2071-9140-2015-0-4-38-52.

25. Коптюг В.А. Карбокатионы. Строение и реакционная способность. 1964-1975. М.: Наука, 2001. 419 с.; ил. (Избранные труды; Т. 1, кн. 1).

26. Рахманкулов Д.Л., Бугай Д.Е., Габитов А.И. и др. Ингибиторы коррозии. Т. 1. Основы теории и практики применения. Уфа: Реактив, 1997. 296 с.

27. Латыпов О.Р., Бугай Д.Е. Воздействие электрического тока на электрохимические параметры водных сред // *Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук: матер. Междунар. науч.-техн. конф. Уфа: Печатный домъ*, 2012. Вып. 6. С. 97-99.

of Some Amines, Ketosulfides, Acetals and their Analogues in the Inhibition of Corrosion of Building Steel]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal - Bashkir Chemical Journal*, 1998, Vol. 5, No. 3, pp. 51-53. (in Russ.).

13. Akhiyarov R.Zh., Gogolev D.A., Laptev A.B., Bugai D.E. Primenenie magnitogidrodinamicheskoi obrabotki dlya povysheniya effektivnosti ingibitorov korrozii v vodnykh rastvorakh solei [Magnetohydrodynamic Treatment Application for Increasing Corrosion Inhibitors Effectiveness in Aqueous Solutions of Salts]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal - Bashkir Chemical Journal*, 2006, Vol. 13, No. 4, pp. 16-17. (in Russ.).

14. *Kniga Nalko o vode* [Nalko Book about Water]. 2 ed. McGraw-Hill Book Company, 1987. 1103 p. (in Russ.).

15. Mikheeva E.G., Bugai D.E., Abdullin I.G., Eidemiller Yu.N., Laptev A.B., Khaerdinov R.E., Selimov F.A. *Ingibitor dlya zashchity stroitel'nykh staley ot korrozionno-mekhanicheskogo razrusheniya v serovodorodsoderzhashchikh mineralizovannykh sredakh* [Inhibitor for Building Steels Protection from Corrosion-Mechanical Destruction in Hydrogen Sulfide-Containing Mineralized Media]. Patent RF, No. 2176686, 2004. (in Russ.).

16. Kablov E.N. Innovatsionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNTs RF po realizatsii «Strategicheskikh napravlenii razvitiya materialov i tekhnologii ikh pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative Developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on Realization of «Strategic Directions of the Development of Materials and Technologies of their Processing for the Period until 2030»]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii - Aviation Materials and Technologies*, 2015, No. 1, pp. 3-33. dx.doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33. (in Russ.).

17. Kablov E.N., Startsev O.V., Medvedev I.M. Obzor zarubezhnogo opyta issledovaniy korrozii i sredstv zashchity ot korrozii [Review of International Experience on Corrosion and Corrosion Protection]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii - Aviation Materials and Technologies*, 2015, No. 2, pp. 76-87. dx.doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87. (in Russ.).

18. Kablov E.N. Kontrol' kachestva materialov - garantiya bezopasnosti ekspluatatsii aviatsionnoi tekhniki [Materials Quality Control - a Guarantee of Safe Operation of Aviation Equipment]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii - Aviation Materials and Technologies*, Vyp. «Metody ispytaniy i kontrolya kachestva metallicheskh i nemetallicheskh materialov» [Issue «Testing and Quality Control Methods of Metallic and Non-Metallic Materials»]. 2001, pp. 3-8. (in Russ.).

19. Kolobova I.V., Bugai D.E., Abdullin I.G., Laptev A.B., Eidemiller Yu.N., Selimov F.A. *Ingibitor dlya zashchity stroitel'nykh staley ot korrozionno-mekhanicheskogo razrusheniya v serovodorodsoderzhashchikh mineralizovannykh sredakh* [Inhibitor for Building Steels Protection of Corrosion-

Mechanical Destruction in Hydrogen Sulfide-Containing Mineralized Media]. Patent RF, No. 2230135, 2001. (in Russ.).

20. Kablov E.N., Petrova A.P., Narskii A.R. G.V. Akimov - sozdatel' otechestvennoi nauki o korrozii [G.V. Akimov - the Creator of the Native Corrosion Science]. *Istoriya nauki i tekhniki - History of Science and Technology*, 2009, No. 11, pp. 12-15. (in Russ.).

21. Kholmberg K., Iensen B., Kronburg B., Lindmen B. *Poverkhnostno-aktivnye veshchestva i polimery v vodnykh rastvorakh: Per. s angl.* [Surface-Active Substances and Polymers in Aqueous Solutions: Transl. from Engl.]. Moscow, BINOM, Laboratoriya znanii, 2007. 530 p. (in Russ.).

22. Tyusenkov A.S. *Povyshenie bezopasnosti ekspluatatsii oborudovaniya dlya podgotovki i khraneniya nefi v usloviyakh nakopleniya elektrosticheskikh zaryadov v vodoneftyanoi smesi: dis. kand. tekhn. nauk.* [Improving Safe Operation of Equipment for the Treatment and Storage of Oil under Electrostatic Charges Accumulation in Water-Oil Mixture: Dis. Cand. Sci. Tech.]. Ufa, 2012. 166 p. (in Russ.).

23. Tyusenkov A.S., Kononov D.V., Bugai D.E., Laptev A.B. Otsenka vozmozhnosti primeneniya PAV dlya snizheniya podkisljeniya nefi pri perekachke vodoneftyanoi emul'sii po truboprovodam [Evaluation of the Possibility of Saw to Reduce Oil Acidification Pumping Water Emulsion on Pipeline]. *Neftegazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2011, Vol. 9, No. 2, pp. 38-40. (in Russ.).

24. Kablov E.N., Startsev O.V. Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya korrozii i stareniya materialov v klimaticheskikh usloviyakh (obzor) [The Basic and Applied Research in the Field of Corrosion and Ageing of Materials in Natural Environments (Review)]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii - Aviation Materials and Technologies*, 2015, No. 4 (37), pp. 38-52. DOI 10.18577/2071-9140-2015-0-4-38-52. (in Russ.).

25. Koptiug V.A. *Karbokationy. Stroenie i reaktsionnaya sposobnost'. 1964-1975.* [Carbocations. Structure and Reactivity. 1964-1975]. Moscow, Nauka, 2001. 419 p. (Izbrannye trudy; T. 1, kn. 1). (in Russ.).

26. Rakhmankulov D.L., Bugai D.E., Gabitov A.I. e.a. *Inhibitory korrozii. T. 1. Osnovy teorii i praktiki primeneniya* [Inhibitors of Corrosion. Vol. 1. Fundamentals of Theory and Practice of Application.]. Ufa, Reaktiv Publ., 1997. 296 p. (in Russ.).

27. Latypov O.R., Bugai D.E. Vozdeistvie elektricheskogo toka na elektrokhimicheskie parametry vodnykh sred [The Effect of Electric Current on Aqueous Media Electrochemical Parameters]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhicheskoi konferentsii «Aktualnye problemy tekhnicheskikh, estestvennykh i gumanitarnykh nauk»* [Materials of International Scientific-Technical Conference «Actual Problems of Engineering, Sciences and Humanities»]. Ufa, Pechatnyi dom Publ., 2012, Issue 6, pp. 97-99. (in Russ.).

Авторы

• Лаптев Анатолий Борисович, д-р техн. наук
Федеральное государственное унитарное
предприятие «Всероссийский
научно-исследовательский институт
авиационных материалов»
Главный научный сотрудник
Российская Федерация, 105005,
Российская Федерация, г. Москва, ул. Радио, 17
тел. (499) 261-86-77
e-mail: laptev@bk.ru

• Рахимов Сергей Раянович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Аспирант кафедры «Технология нефтяного
аппаратостроения»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: tna-ugntu@mail.ru

• Бугай Дмитрий Ефимович, д-р техн. наук,
профессор
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры «Технология нефтяного
аппаратостроения»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 243 -19-35
e-mail: debugai@mail.ru

The Authors

• Laptev Anatoliy B., Doctor of Technical Sciences
Federal State Unitary Enterprise «All-Russian
Research Institute of Aviation Materials»
Chief Researcher
17, Radio str., Moscow, 105005,
Russian Federation
tel: (499) 261-86-77
e-mail: laptev@bk.ru

• Rakhimov Sergey R.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Petroleum
Technology Equipment Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: tna-ugntu@mail.ru

• Bugai Dmitry E., Doctor of Technical Sciences,
Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Petroleum
Technology Equipment Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 243-19-35
e-mail: debugai@mail.ru