

# Химия и технология топлив и масел

## 6(604)'2017

Научно-технический журнал  
Издается с 1956 года  
Выходит один раз в два месяца

Свидетельство о регистрации  
№ 01441.  
Выдано 4 августа 1992 г.  
Министерством печати  
и информации  
Российской Федерации

Издатель —  
Международный центр науки и технологий  
«ТУМА ГРУПП»

Издается в США фирмой  
«Springer Science + Business Media, Inc.»

Английская версия включена в ведущие  
мировые реферативные базы данных

Главный редактор  
**А. И. Владимиров** – к.т.н., проф.

Зам. главного редактора  
**Б. П. Туманян** – д.т.н., проф.

Редакционная коллегия  
**С. Н. Волгин** – д.т.н., проф.  
**И. Б. Грудников** – д.т.н., проф.  
**И. П. Карлин** – д.х.н., проф.  
**В. Л. Лашхи** – д.т.н., проф.  
**А. Лукса** – д.т.н., проф. (Польша)  
**А. М. Мазгаров** – д.т.н., проф.  
**В. А. Рябов** – Генеральный  
директор Ассоциации  
нефтепереработчиков России  
**Е. П. Серегин** – д.т.н., проф.

Издается в Российском  
государственном университете  
нефти и газа им. И. М. Губкина

Включен в перечень изданий  
Высшей аттестационной комиссии  
Министерства образования  
и науки РФ

## Содержание

### АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ.

#### Альтернативное сырье

З. Б. Намсараев, Х. М. Кадиев, А. У. Дандаев, 3  
Д. Д. Бархутова, А. А. Мельникова, Е. В. Иванов.

Совместная гидроконверсия биомассы водорослей и водной растительности при-  
брежной зоны озера Байкал и тяжелых нефтяных остатков с получением биотоплива

В. А. Митягин, И. В. Поплавский, Е. И. Алаторцев, П. А. Никульшин. 6

Пиролиз растительного сырья —  
возможность получения компонентов моторных топлив

#### Альтернативное топливо

Е. Б. Шевченко, А. М. Данилов. 10

Об использовании биодизеля как добавки к нефтяному топливу

### ХИММОТОЛОГИЯ

М. А. Ершов, Е. В. Григорьева, А. И. Гусева, 14

Н. Я. Виноградова, П. А. Никульшин, В. С. Дорохов.

Перспективы применения производных фурфурола в составе бензинов

А. А. Анисимова, Б. П. Тонконогов, Л. Н. Багдасаров, А. А. Селезнев. 18

Влияние добавок на термомеханическую стабильность  
сульфонатных пластичных смазок

Т. Н. Митусова, Н. К. Кондрашева, М. М. Лобашова, 22

М. А. Ершов, В. А. Рудко, М. А. Титаренко.

Определение и улучшение стабильности судовых высоковязких топлив

### ИССЛЕДОВАНИЯ

М. М. Гаврилов, В. А. Заломленков, А. А. Гидаспов, И. К. Моисеев. 25

Технология получения серобитумных вяжущих для дорожного строительства

А. И. Алаторцев, С. А. Леонтьева, В. А. Митягин, Е. В. Подлеснова, Б. П. Туманян. 28

Прикладные аспекты исследований термодинамических параметров  
нефтяных дисперсных систем

С. Г. Якубова, Г. Р. Абилова, Э. Г. Тазеева, Ю. Ю. Борисова, М. Р. Якубов. 34

Распределение ванадия и никеля по фракциям смол тяжелых высокосернистых нефтей

Н. М. Максимов, А. В. Моисеев, Н. Н. Томина, А. А. Пимерзин. 38

Химические превращения компонентов легкого газойля каталитического крекинга  
в процессе гидроочистки на алюмокобальтмолибденовом, алюмоникельвольфрамо-  
вом катализаторах

Ю. А. Хамзин, Р. Р. Шириязданов, А. Р. Давлетшин, А. Э. Шадрин, Е. И. Бахонина. 42

Влияние фазового состава катализаторов на основе модифицированного цеолита типа  
Y на выход углеводородов C<sub>3</sub> в процессе аликилирования изобутана олефинами

Л. А. Куликов, М. П. Бороноев, Д. А. Макеева, 45

М. В. Ненашева, С. В. Егазарьянц, Э. А. Караханов.

Гидропревращение нафталина в присутствии каталитических систем  
NiMoS/NiWS-AlCl<sub>3</sub> на основе мезопористых ароматических каркасов

Р. Р. Кайбышев, А. М. Кунакова, К. С. Рзаметов, Ф. Г. Усманова, 49

Б. М. Аникушин, Ю. Ф. Гуцина, А. П. Семенов.

Оценка эффективности ингибиторов гидратообразования политермическим методом

А. В. Ставицкая, А. П. Глотов, Е. В. Иванов, 53

А. Л. Максимов, Э. А. Караханов, В. А. Винокуров.

Исследование продуктов окисления ароматических соединений легкой нефти мето-  
дом масс-спектрометрии ультравысокого разрешения

### ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ

А. Г. Сафиулина, Д. А. Ибрагимов, Л. Р. Байбекова, 57

Р. Р. Солдатова, С. М. Петров, Н. Ю. Башкирцева.

Моделирование процесса образования отложений парафинов  
в трудноизвлекаемом углеводородном сырье

Д. А. Феоктистов, Г. П. Каюкова, А. В. Вахин, С. А. Ситнов. 62

Каталитический акватермолиз высоковязкой нефти  
с использованием таллатов железа, кобальта и меди

Н. Ху, С. Пу. 67

Механизм каталитического акватермолиза тяжелой нефти в пласте

Huan Shen, Wenyu Zhang. 72

Синтез привитого поликонденсата лигнита в качестве добавки бурового раствора:  
влияние на свойства суспензии бентонит — вода

Zhihua Wang, Lei Zhang, Tianyu Yu and Mengmeng Xu. 79

Исследование механизма коррозии оборудования для сбора и хранения нефти при  
использовании метода закачки углекислого газа на низкопродуктивных месторождениях

Baitao Fan, Jingen Deng, Hai Lin, Wei Liu, Qiang Tan. 85

Численное моделирование гидроразрыва пласта в слабосцементированных песчаниках

Zhong Huiying, Sun Guojun, Jia Junfei and Zhou Xinna. 93

Оценка и применение блокирующего агента на основе цемента

на нефтяных месторождениях

Cheng Cao, Xiaolin Pu, Gui Wang, Tao Huang. 99

Сравнение свойств ингибиторов в подавлении гидратации,  
разбухания и диспергирования глинистых сланцев

J. P. Zhou, J. C. Guo, Z. W. Tao. 105

Новый прибор и методы изучения стрессочувствительности капиллярного давления

# Chemistry and Technology of Fuels and Oils

## 6(604)'2017

Head Editor

**A. I. Vladimirov** – Cand. Eng. Sci., prof.

Associate Editor

**B. P. Tumanyan** – Dr. Eng. Sci., prof.

Editorial Board

**S. N. Volgin** – Dr. Eng. Sci., prof.

**I. B. Grudnikov** – Dr. Eng. Sci., prof.

**I. P. Karlin** – Dr. Chem. Sci., prof.

**V. L. Lashkhi** – Dr. Eng. Sci., prof.

**A. Luksa** – Dr. Eng. Sci., prof. (Poland)

**A. M. Mazgarov** – Dr. Eng. Sci., prof.

**V. A. Ryabov** – Director General of the Oil Refiners and Petrochemists Association

**E. P. Seregin** – Dr. Eng. Sci., prof.

Publisher— ICST «TUMA Group» LLC

Редактор

**В. С. Дмитриева**

Ответственный секретарь

**О. В. Любименко**

Графика и верстка

**В. В. Земсков**

Подготовка материалов

**С. О. Бороздин,**

**А. Д. Остудин**

Адрес редакции:

119991, ГСП-1, Москва, В-296,  
Ленинский просп., 65. РГУ нефти и газа  
им. И. М. Губкина, редакция «ХТТМ»

Телефон/факс: (499) 507-80-45  
e-mail: [htm@list.ru](mailto:htm@list.ru)

Материалы авторов не возвращаются.

Редакция не несет ответственности  
за достоверность информации  
в материалах, в том числе  
рекламных, предоставленных  
авторами для публикации.

Формат 60 × 84 1/8.

Печать офсетная.

Усл. печ. л. 7.

Тираж 1000 экз.

Отпечатано ООО «Стринг»

E-mail: [String\\_25@mail.ru](mailto:String_25@mail.ru)

## Contents

### CURRENT PROBLEMS

#### Alternative Feedstock

Z. B. Namsaraev, Kh. M. Kadiev, A. U. Dandaev, D. D. Barkhutova, A. A. Mel'nikova, and E. V. Ivanov. 3

Combined Hydroconversion of Biomass of Algae and Aquatic Vegetation of Lake Baikal Littoral Zone and Heavy Oil Resids with Production of Biofuel

V. A. Mityagin, I. V. Poplavskii, E. I. Alatortsev, and P. A. Nikul'shin. 6

Pyrolysis of Vegetal Materials – Feasibility of Producing Motor Fuel Components

#### Alternative Fuels

E. B. Shevchenko and A. M. Danilov. 10

About Use of Biodiesel as Additives to Petroleum Fuel

### CHEMMOTOLOGY

M. A. Ershov, E. V. Grigor'eva, A. I. Guseva, N. Ya. Vinogradova, P. A. Nikul'shin, and V. S. Dorokhov. 14

Prospects of Use of Furfural Derivatives in Gasoline

A. A. Anisimova, B. P. Tonkonogov, L. N. Bagdasarov, and A. A. Seleznev. 18

Effect of Additives on Thermomechanical Stability of Sulfonate Plastic Lubricants

T. N. Mitusova, N. K. Kondrasheva, M. M. Lobashova, 22

M. A. Ershov, V. A. Rudko, and M. A. Titarenko.

Determination and Improvement of Stability of High-Viscosity Marine Fuels

### RESEARCH

M. M. Gavrilov, V. A. Zalomlenkov, A. A. Gidasov, and I. K. Moiseev. 25

Technology of Producing Sulfur-Asphalt Binders for Road Construction

A. I. Alatortsev, S. A. Leont'eva, V. A. Mityagin, 28

E. V. Podlesnova, and B. P. Tumanyan.

Applied Aspects of the Study of Thermodynamic Parameters of Oil Disperse Systems

S. G. Yakubova, G. R. Abilova, E. G. Tazeeva, Yu. Yu. Borisova, and M. R. Yakubov. 34

Vanadium and Nickel Distribution in Resin Fractions of High-Sulfur Heavy Oils

N. M. Maksimov, A. V. Moiseev, N. N. Tomina, and A. A. Pimerzin. 38

Chemical Transformation of Catcracking Light Gas Oil Components

by Hydrofining on Aluminum-Cobalt-Molybdenum Catalysts

Yu. A. Khamzin, R. R. Shiriyazdanov, A. R. Davletshin, 42

A. E. Shadrina, and E. I. Bakhonina.

Effect of Phase Composition of Catalysts Based on Y-Type Modified Zeolite

on C<sub>8</sub> Hydrocarbons Yield upon Isobutane Alkylation by Olefins

L. A. Kulikov, M. P. Boronoev, D. A. Makeeva, M. V. Nenashева, 45

S. V. Egazar'yants, and E. A. Karakhanov.

Hydroconversion of Naphthalene in Presence of NiMoS/NiWS- $AlCl_3$

Catalyst Systems Based on Mesoporous Aromatic Frameworks

R. R. Kaibyshev, A. M. Kunakova, K. S. Rzaemetov, F. G. Usmanova, 49

B. M. Anikushin, Yu. F. Gushchina, and A. P. Semenov.

Evaluation of Effectiveness of Hydrate Formation Inhibitors by Polythermal Method

A. V. Stavitskaya, A. P. Glotov, E. V. Ivanov, A. L. Maksimov, 53

E. A. Karakhanov, and V. A. Vinokurov.

Study of Oxidation Products of Light Oil Aromatic Compounds

Using Ultra-High Resolution Mass Spectrometry

### INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF OIL AND GAS

A. G. Safiulina, D. A. Ibragimova, L. R. Baibekova, and R. R. Soldatova. 57

Modeling of Paraffin Wax Deposition Process in Poorly Extractable Hydrocarbon Stock

D. A. Feoktistov, G. P. Kayukova, A. V. Vakhin, and S. A. Sitnov. 62

Catalytic Aquathermolysis of High-Viscosity Oil Using Iron, Cobalt and Copper Tallates

H. Xu and C. Pu. 67

Mechanism of Underground Heavy Oil Catalytic Aquathermolysis

Huan Shen and Wenyu Zhang. 72

Synthesis of Lignite Graft Polycondensate as Drilling Fluid Additive and Its Influence on Properties of Water-Bentonite Suspensions

Zhihua Wang, Lei Zhang, Tianyu Yu, and Mengmeng Xu. 79

Study of Corrosion Behavior of Oil Gathering Facilities in Case

of CO<sub>2</sub>-Flooding in Low-Permeability Oilfields

Baitao Fan, Jingen Deng, Hai Lin, Wei Liu, and Qiang Tan. 85

Numerical Simulation of Hydraulic Fracturing in Weakly Consolidated Sandstone

Zhong Huiying, Guojun Sun, Junfei Jia, and Xinna Zhou. 93

Evaluation and Application of Cement-Based Blocking Agent in Oil Reservoir

Cao Cheng, Pu Xiaolin, Wang Gui, and Huang Tao. 99

Comparison of Inhibitive Properties of Clay Shale Hydration,

Dispersion and Swelling Inhibitors

J. P. Zhou, J. C. Guo, and Z. W. Tao. 105

New Device and Methods for Studying Stress Sensitivity of Capillary Pressure

**З. Б. Намсараев<sup>1</sup>, Х. М. Кадиев<sup>2</sup>, А. У. Дандаев<sup>2</sup>, Д. Д. Бархутова<sup>3</sup>, А. А. Мельникова<sup>1</sup>, Е. В. Иванов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>НИИЦ «Курчатовский институт»,

<sup>2</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН,

<sup>3</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ,

<sup>4</sup>РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина,

E-mail: zorigto@gmail.com

### **Совместная гидроконверсия биомассы водорослей и водной растительности прибрежной зоны озера Байкал и тяжелых нефтяных остатков с получением биотоплива**

*Начиная с 2011 года, в прибрежной части озера Байкал происходит массовое развитие нитчатых водорослей, которое представляет серьезную экологическую проблему. Были собраны образцы биомассы водорослей и водной растительности в прибрежной зоне озера Байкал и проведена их гидротермальная переработка в биотопливо в присутствии парамолибдата аммония. Показано, что биомасса водорослей из прибрежной зоны озера Байкал может являться перспективным источником сырья для получения биотоплива при помощи термокаталитической переработки. Добавление тяжелых нефтяных остатков к биомассе водорослей и водной растительности повышало выход моторного топлива и оказывало влияние на его состав.*

**Ключевые слова:** водоросли, водная растительность, биомасса, гидроконверсия, тяжелые нефтяные остатки, биотопливо, эвтрофикация.

*Z. B. Namsaraev, Kh. M. Kadiev, A. U. Dandaev,*

*D. D. Barkhutova, A. A. Mel'nikova, and E. V. Ivanov.*

### **Combined Hydroconversion of Biomass of Algae and Aquatic Vegetation of Lake Baikal Littoral Zone and Heavy Oil Resids with Production of Biofuel**

*Since 2011, prodigious growth of filamentous algae, which poses acute ecological problem, has been occurring in the littoral part of Lake Baikal. Samples of biomass of algae and aqueous vegetation were collected from the littoral zone of Lake Baikal and they were converted by hydrothermal treatment to biofuel in the presence of ammonium paramolybdate (heptamolybdate). It was demonstrated that algal biomass from the Baikal littoral region could be a potential source of feedstock for producing biofuel by thermocatalytic treatment. Addition of heavy oil resids to algal and aquatic vegetation biomass increased motor fuel yield and modified its composition.*

**Key words:** *algae, aquatic vegetation, biomass, hydrothermal conversion, heavy oil resids, biofuel, eutrophication.*

**В. А. Митягин<sup>1</sup>, И. В. Поплавский<sup>2</sup>, Е. И. Алаторцев<sup>1</sup>, П. А. Никульшин<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>АО «ВНИИ НП»

<sup>2</sup>ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Министерства обороны России»,

<sup>3</sup>Самарский государственный технический университет,

E-mail: mityaginva@vniinp.ru

### **Пиролиз растительного сырья — возможность получения компонентов моторных топлив**

*Рассмотрена возможность использования продуктов пиролиза растительного сырья для получения компонентов моторных топлив. Приведены результаты пиролиза солей жирных кислот, полученных путем*

омыления подсолнечного, рапсового и льняного масел различными щелочами. Показано, что максимальный выход пиролизата достигается при 500°C и составляет до 52–55% мас. Наличие в составе пиролизата большого количества кислородсодержащих соединений не позволяет использовать его без гидрооблагораживания непосредственно в качестве добавки к моторным топливам.

**Ключевые слова:** растительное сырье, пиролиз, моторные топлива.

*V. A. Mityagin, I. V. Poplavskii, E. I. Alatortsev, and P. A. Nikul'shin.*

Pyrolysis of Vegetal Materials – Feasibility of Producing Motor Fuel Components

*The feasibility of using vegetal material pyrolysis products for getting motor fuel components is examined. The results of pyrolysis of fatty acid salts obtained by saponification of sunflower, rape, and linseed oils by various alkalis are presented. It is shown that the maximum pyrolysate yield is achieved at 500°C and is as much as 52–55 wt. %. The pyrolysate cannot be used without its hydrofining directly as an additive to fuels because of a large amount of oxygen-bearing compounds in it.*

**Key words:** *vegetal materials, pyrolysis, motor oils.*

**Е. Б. Шевченко<sup>1</sup>, А. М. Данилов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Украинский государственный химико-технологический университет,

<sup>2</sup>АО «ВНИИ НП»

e\_shevchenko@ua.fm

**Об использовании биодизеля как добавки к нефтяному топливу**

*Исследованы физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельных топлив, полученных из отходов пищевой промышленности, а также технических растительных масел и животных жиров. Подобраны присадки, улучшающие низкотемпературные и антиокислительные свойства смесей биодизеля с нефтяным топливом. Выказано предположение о возможном увеличении концентрации биодизеля в смесевых топливах до 30%.*

**Ключевые слова:** биодизельное топливо, смесевое топливо, непищевые масла и жиры.

*E. B. Shevchenko and A. M. Danilov.*

About Use of Biodiesel as Additives to Petroleum Fuel

*The physicochemical and performance properties of biodiesel fuels derived from food industry wastes as well as from technical vegetable oils and animal fats are investigated. Additives that improve low-temperature and antioxidative properties of blends of biodiesel with petroleum fuel are chosen. Suggestion is offered regarding the possibility of raising biodiesel concentration in fuel blends to as much as 30%.*

**Key words:** *biodiesel fuel, blended fuel, inedible oils and fats.*

**М. А. Ершов<sup>1</sup>, Е. В. Григорьева<sup>1</sup>, А. И. Гусева<sup>1</sup>, Н. Я. Виноградова<sup>1</sup>, П. А. Никульшин<sup>1</sup>, В. С. Дорохов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>АО «ВНИИ НП»,

<sup>2</sup>Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН,

E-mail: ErshovMA@vniinp.ru

### **Перспективы применения производных фурфурола в составе бензинов**

*В статье рассмотрены перспективы применения производных фурфурола в качестве высокооктановых добавок к бензину на основе анализа их физико-химических и эксплуатационных свойств. Рассматриваются данные по детонационной стойкости, показателям токсичности, результаты моторно-стендовых испытаний фурановых соединений, эфиров фурфурола, фурфуриламина и других производных фурфурола.*

**Ключевые слова:** автомобильный бензин, высокооктановые добавки, биотопливо, фурфурол, 2-метилфуран, фурфуриламин, фурфуриловые эфиры, октановое число, выбросы углекислого газа.

*M. A. Ershov, E. V. Grigor'eva, A. I. Guseva, N. Ya. Vinogradova,  
P. A. Nikul'shin, and V. S. Dorokhov.*

### **Prospects of Use of Furfural Derivatives in Gasoline**

*Prospects of use of furfural derivatives as high-octane additives to gasoline are studied based on analysis of their physicochemical and performance properties. The data on knock resistance and toxicity indexes and results of engine-bed tests of furan compounds, furfuryl ethers, furfurylamine, and other furfural derivatives are analyzed.*

**Key words:** automotive gasoline, high-octane additives, biofuel, furfural, 2-methylfuran, furfurylamine, furfuryl ethers, octane number, carbon dioxide emissions.

**А. А. Анисимова, Б. П. Тонконогов, Л. Н. Багдасаров, А. А. Селезнев**

РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

E-mail: annavikulova91@mail.ru

### **Влияние добавок на термомеханическую стабильность сульфонатных пластичных смазок**

*Представлены результаты исследования влияния добавок на термомеханическую стабильность сульфонатной пластичной смазки. Показано, что введение, как присадок, так и наполнителей, используемых для улучшения трибологических характеристик, оказывает положительный эффект на термомеханическую стабильность смазки. Определены оптимальные концентрации добавок в сульфонатные смазки на основе смеси нефтяных масел. Выявлено проявление антиокислительного действия высокощелочной алкилсалицилатной и сукциномидной присадок в концентрациях от 0,5 до 1,0% масс в сульфонатных смазках.*

**Ключевые слова:** пластичные смазки, сульфонатные смазки, присадки, наполнители, термомеханическая стабильность, коллоидная стабильность.

*A. A. Anisimova, B. P. Tonkonogov, L. N. Bagdasarov, and A. A. Seleznev.*

### **Effect of Additives on Thermomechanical Stability of Sulfonate Plastic Lubricants**

*The results of a study of the effect of additives on the thermomechanical stability of sulfonate plastic lubricants are reported. It is demonstrated that introduction of both additives and fillers used to improve tribological properties produces a salutary effect on thermomechanical stability of lubricants. The optimal additive concentrations in sulfonate lubricants based on petroleum oil blends are determined. Highly alkaline alkyl salicylate and succinamide additives in 0.5-1.0 wt. % concentrations in sulfonate lubricants are shown to exhibit antioxidative effect.*

**Key words:** *plastic lubricants, sulfonate lubricants, additives, fillers, thermomechanical stability, colloidal stability.*

*T. N. Mitusova<sup>1</sup>, N. K. Kondrasheva<sup>2</sup>, M. M. Lobashova<sup>1</sup>, M. A. Ershov<sup>1</sup>, V. A. Rudko<sup>2</sup>, M. A. Titarenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>АО «ВНИИ НП,

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет,

E-mail: mitusovtn@vniinp.ru

#### **Определение и улучшение стабильности судовых высоковязких топлив**

*В работе изложено определение стабильности судового высоковязкого топлива с точки зрения коллоидно-химического представления о нефтяных дисперсных системах, а также о необходимости включения в действующие требования данного параметра. В качестве объектов исследования были взяты судовые высоковязкие топлива, приготовленные из мазута, висбрекинг-остатка и легкого газойля каталитического крекинга. Стабильность полученных образцов была определена через ксилольный эквивалент. Также было оценено влияние диспергирующих присадок на основе оксиэтилированных аминов и алкилнафталинов на стабильность полученных образцов судовых высоковязких топлив.*

**Ключевые слова:** высоковязкое судовое топливо, стабильность высоковязкого судового топлива, ксилольный эквивалент, диспергирующие присадки

*T. N. Mitusova, N. K. Kondrasheva, M. M. Lobashova,*

*M. A. Ershov, V. A. Rudko, and M. A. Titarenko.*

#### **Determination and Improvement of Stability of High-Viscosity Marine Fuels**

*Determination of stability of high-viscosity marine fuel from the point of colloid chemistry concept of oil disperse systems and the need for inclusion of this parameter in the current requirements are expounded. High-viscosity marine fuels produced from residual fuel oil, visbreaking residue, and catcracking light gas oil were taken as the objects of the study. The stability of the obtained samples was determined via xylene equivalent. Also determined was the effect of dispersing additives based on hydroxyethylated amines and alkyl naphthalenes on the stability of the obtained samples of high-viscosity marine fuels.*

**Key words:** *high-viscosity marine fuel, stability of high-viscosity marine fuel, xylene equivalent, dispersing additives.*

*M. M. Гаврилов, В. А. Заломленков, А. А. Гидаспов, И. К. Мусеев*

Самарский государственный технический университет,

E-mail: krasnikovpe@gmail.com

#### **Технология получения серобитумных вяжущих для дорожного строительства**

*Разработана технология получения битумного вяжущего для дорожного строительства на основе модифицированных элементарной серой кубовых остатков переработки нефти. Обработку смеси битумной основы и элементарной серы проводили в условиях воздействия ультразвука с мощностью колебаний 2,5 Вт/см<sup>2</sup> и частотой 20 кГц при 160°С. Нагрев смеси осуществляли исключительно за счет энергии акустических колебаний. Получены образцы серобитумов соответствующие марке БНД 130/200. Применение*

ультразвукового перемешивания позволяет снизить энергозатраты и ускорить процесс получения битумного вяжущего.

**Ключевые слова:** дорожное строительство, сера, битумные вяжущие, ультразвук.

*M. M. Gavrilov, V. A. Zalomlenkov, A. A. Gidasov, and I. K. Moiseev.*

Technology of Producing Sulfur-Asphalt Binders for Road Construction

*A technology has been developed for producing an asphalt binder for road construction based on oil distillation residues modified with elemental sulfur. A blend of asphalt base and elemental sulfur was exposed to the action of ultrasound with a vibratory power of 2.5 W/cm<sup>2</sup> and a frequency of 20 kHz at 160°C. The blend was heated exclusively by acoustic vibration energy. Sulfur-asphalt samples conforming to the BND 130/200 brand were obtained. Energy consumption can be reduced and asphalt binder production process can be accelerated by ultrasonic blending.*

**Key words:** road construction, sulfur, asphalt binders, ultrasound.

*А. И. Алаторцев<sup>1</sup>, С. А. Леонтьева<sup>1</sup>, В. А. Митягин<sup>1</sup>, Е. В. Подлеснова<sup>1</sup>, Б. П. Туманян<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>АО «ВНИИ НП»,

<sup>2</sup>РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина,

E-mail: alatortsevei@vniinp.ru

**Прикладные аспекты исследований термодинамических параметров нефтяных дисперсных систем**

*Приведены результаты экспериментальных исследований с использованием метода расчета термодинамических параметров смесей газового конденсата и мазута, основанного на обращенной газовой хроматографии, для углубления переработки нефти без применения вторичных процессов. Установлена возможность определения оптимального соотношения компонентов смеси газового конденсата и мазута по ее термодинамическим параметрам для повышения выхода светлых фракций. Высказано предположение, что образование новой коллоидной структуры смеси дисперсной системы (мазута) с гомогенной системой (газовым конденсатом) происходит через образование полукolloидной системы с последующей реструктуризацией за счет процессов межмолекулярного взаимодействия и растворения.*

**Ключевые слова:** нефть, нефтепродукты, термодинамические параметры, методы испытаний, нефтяные дисперсные системы, полукolloидная система.

*A. I. Alatortsev, S. A. Leont'eva, V. A. Mityagin, E. V. Podlesnova, and B. P. Tumanyan.*

Applied Aspects of the Study of Thermodynamic Parameters of Oil Disperse Systems

*The results of experimental investigations using the method of calculation of thermodynamic parameters of gas condensate and residual fuel oil blends based on inverse gas chromatography for deepening oil refining without using secondary processes are furnished. The possibility of determination of the optimal ratio of the components of gas condensate and residual fuel oil blend from its thermodynamic parameters for increasing yield of light fractions is established. It is suggested that a new colloidal structure of the blend of the disperse system (residual fuel oil) with a homogeneous system (gas condensates) is formed via formation of a semicolloidal system, followed by restructuring due to intermolecular interaction and dissolution processes.*

**Key words:** *crude oil, oil products, thermodynamic parameters, experimental methods, oil disperse systems, semicolloidal system.*

**С. Г. Якубова, Г. Р. Абилова, Э. Г. Тазеева, Ю. Ю. Борисова, М. Р. Якубов**

Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова Казанского научного центра РАН,  
E-mail: yakubovasg@mail.ru

**Распределение ванадия и никеля по фракциям смол тяжелых высокосернистых нефтей**

*Изучены особенности содержания и распределения ванадия и никеля в смолах и их фракциях на примере тяжелых высокосернистых нефтей месторождений Татарстана, Самарской области и Казахстана. Для всех исследованных тяжелых нефтей с ростом содержания ванадия и никеля наблюдается прямо пропорциональное увеличение содержания данных металлов в смолах. Смолы фракционировались на бензольные и спирто-бензольные фракции путем адсорбционно-хроматографического разделения на силикагеле. Спирто-бензольные фракции смол характеризуются как более полярные, за счет повышенного содержания кислородсодержащих структурных групп. Выявлены особенности содержания и распределения ванадия и никеля по фракциям смол для тяжелых нефтей различных продуктивных комплексов.*

**Ключевые слова:** *тяжелая нефть, смолы, ванадий, никель.*

*S. G. Yakubova, G. R. Abilova, E. G. Tazeeva, Yu. Yu. Borisova, and M. R. Yakubov.*

**Vanadium and Nickel Distribution in Resin Fractions of High-Sulfur Heavy Oils**

*The mechanisms of occurrence and distribution of vanadium and nickel in resins and their fractions are studied with reference to high-sulfur heavy oils of Tatarstan, Samara Oblast (region), and Kazakhstan deposits. For all the investigated heavy oils, the content of vanadium and nickel in resins increase in direct proportion to the increase in contents of these metals in the oils. The resins were fractionated into benzene and alcohol-benzene fractions by adsorption chromatographic separation on silica gel. The alcohol-benzene fractions are characterized as being more polar on account of higher content of oxygen-bearing structural groups. The special features of vanadium and nickel content and distribution in resin fractions are disclosed for heavy oils of various production complexes.*

**Key words:** *heavy oil, resins, vanadium, nickel.*

**Н. М. Максимов, А. В. Мусеев, Н. Н. Томина, А. А. Пимерзин**

Самарский государственный технический университет,

E-mail: maximovnm@mail.ru

**Химические превращения компонентов легкого газойля каталитического крекинга в процессе гидроочистки на алюмокобальтмолибденовом, алюмоникельвольфрамовом катализаторах**

*Исследована глубина реакций гидрирования ароматических углеводородов различных классов и олефиновых углеводородов в процессе гидроочистки легкого газойля каталитического крекинга в присутствии алюмокобальтмолибденового, алюмоникельвольфрамового катализаторов. Алюмоникельвольфрамовый катализатор обладает значительно более высокой гидрирующей активностью по отношению к*



ароматическим углеводородам всех классов, чем алюмокобальтмолибденовый. Однако алюмокобальтмолибденовый катализатор обладает более высокой гидрирующей активностью по отношению к олефиновым углеводородам, чем алюмоникельвольфрамовый.

**Ключевые слова:** гидроочистка, легкий газойль каталитического крекинга, алюмокобальтмолибденовый, алюмоникельвольфрамовый катализаторы, гидрирование ароматических углеводородов, гидрирование олефинов.

*N. M. Maksimov, A. V. Moiseev, N. N. Tomina, and A. A. Pimerzin.*

Chemical Transformation of Catcracking Light Gas Oil Components

by Hydrofining on Aluminum-Cobalt-Molybdenum Catalysts

*The degree of hydrogenation of various classes of aromatic and olefin hydrocarbons in catcracking light gas oil hydrofining process in the presence of Al-Co-Mo and Al-Ni-W catalysts is studied. Al-Ni-W catalyst exhibits much greater hydrogenation activity with respect to aromatic hydrocarbons than Al-Co-Mo catalyst. However, Al-Co-Mo catalyst exhibits much greater hydrogenation activity with respect to olefin hydrocarbons than Al-Ni-W catalyst.*

**Key words:** hydrofining, catcracking light gas oil, aluminum-cobalt-molybdenum and aluminum-nickel-tungsten catalysts, hydrogenation of aromatic hydrocarbons, hydrogenation of olefins.

**Ю. А. Хамзин, Р. Р. Ширязданов, А. Р. Давлетшин, А. Э. Шадрина, Е. И. Бахонина**

Уфимский государственный нефтяной технический университет

E-mail: petroleum9@bk.ru

**Влияние фазового состава катализаторов на основе модифицированного цеолита типа Y на выход углеводородов C<sub>8</sub> в процессе аликилирования изобутана олефинами**

*В данной работе описаны изменения показателей активности синтезированных ранее катализаторов на основе модифицированного цеолита типа Y от основных параметров фазового состава: количества атомов алюминия в элементарной ячейке, соотношения SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, размера элементарной ячейки.*

*Представлены результаты исследований структурных изменений, происходящих в кристаллической фазе цеолита при его пост-синтетическом модифицировании.*

Ключевые слова: твердокислотное аликилирование, цеолиты, алкилат, решетка цеолита, декатионирование, делюаминирование.

*Yu. A. Khamzin, R. R. Shiryazdanov, A. R. Davletshin,*

*A. E. Shadrina, and E. I. Bakhonina.*

Effect of Phase Composition of Catalysts Based on Y-Type Modified Zeolite

on C<sub>8</sub> Hydrocarbons Yield upon Isobutane Alkylation by Olefins

*The deviations of activity parameters of previously synthesized catalysts based on Y-type modified zeolite from the basic phase composition parameters (number of aluminum atoms in an elementary cell, SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio, elementary cell size, etc.) are described. The results of investigations of structural changes occurring in the crystalline phase of the zeolite upon its post-synthesis modification are presented.*

**Key words:** solid acid alkylation, zeolites, aliquot, zeolite lattice, decationation, dealumination.

*Л. А. Куликов, М. П. Бороноев, Д. А. Макеева, М. В. Ненашева,  
С. В. Егазарьянц, Э. А. Караханов*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

E-mail: kar@petrol.chem.msu.ru

### ***Гидропревращение нафталина в присутствии каталитических систем***

#### ***NiMoS/NiWS-AlCl<sub>3</sub> на основе мезопористых ароматических каркасов***

*Синтезирован катализатор на основе нанесенного на мезопористый ароматический каркас (PAF) хлорида алюминия. В настоящей работе исследовано влияние катализатора PAF-AlCl<sub>3</sub> на распределение продуктов реакции гидрирования-гидрокрекинга нафталина в присутствии биметаллических сульфидных катализаторов PAF-NiMoS и PAF-NiWS. Установлено, что добавление PAF-AlCl<sub>3</sub> значительно увеличивает выход продуктов крекинга, при этом наилучшие результаты по конверсии нафталина могут быть получены при добавлении в реакционную смесь серы. Так, использование каталитической системы PAF-NiMoS/PAF-AlCl<sub>3</sub>/S (1:3:3 масс.) позволяет проводить количественную гидроконверсию нафталина в продукты реакции, среди которых около 70% — продукты гидрирования, а 30% — продукты крекинга.*

**Ключевые слова:** гидрирование, гидрокрекинг, мезопористые материалы, нафталин, гетерогенный катализ.

*L. A. Kulikov, M. P. Boronoev, D. A. Makeeva, M. V. Nenasheva,*

*S. V. Egazar'yants, and E. A. Karakhanov.*

Hydroconversion of Naphthalene in Presence of NiMoS/NiWS-AlCl<sub>3</sub>

Catalyst Systems Based on Mesoporous Aromatic Frameworks

*A catalyst based on aluminum chloride applied on a mesoporous aromatic framework (PAF) is synthesized. The effect of PAF-AlCl<sub>3</sub> catalyst on distribution of products of naphthalene hydrogenation-hydrocracking in the presence of PAF-NiMoS and PAF-NiWS bimetallic catalysts is studied. It is shown that addition of PAF-AlCl<sub>3</sub> catalyst greatly increases reaction products yield and that the best naphthalene conversion results can be obtained by adding sulfur to the reaction mix. Thus, naphthalene can be hydroconverted quantitatively to the reactions products, of which about 70% are hydrogenation products and 30% are cracking products, by using the PAF-NiMoS/PAF-AlCl<sub>3</sub>/S (1:3.3 wt. ratio) catalyst system.*

**Key words:** *hydrogenation, hydrocracking, mesoporous materials, naphthalene, heterogeneous catalysis.*

*Р. Р. Кайбышев<sup>1</sup>, А. М. Кунакова<sup>1</sup>, К. С. Рзаметов<sup>1</sup>, Ф. Г. Усманова<sup>1,3</sup>,*

*Б. М. Аникушин<sup>2</sup>, Ю. Ф. Гущина<sup>2</sup>, А. П. Семенов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО «Газпромнефть-НТЦ», г. Санкт-Петербург,

<sup>2</sup>РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина,

<sup>3</sup>Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург,

E-mail: semyonovanton@mail.ru

**Оценка эффективности ингибиторов гидратообразования политермическим методом**

*Данная статья посвящена оценке эффективности ингибиторов гидратообразования с целью выбора наилучших реагентов для предотвращения образования гидратов в газовых скважинах — донорах активного газа для условий Восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения.*

*Исследование проводили с использованием политермического метода, включающего охлаждение с постоянной скоростью 1 град./ч системы состоящей из раствора ингибитора в модели пластовой воды и газовой смеси. Ингибирующие свойства образцов характеризовали по температуре начала гидратообразования и количеству газа, перешедшего в гидрат, в конце опыта.*

**Ключевые слова:** газовые гидраты, ингибиторы гидратообразования, Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение, степень переохлаждения.

*R. R. Kaibyshev, A. M. Kunakova, K. S. Rzametov, F. G. Usmanova,  
B. M. Anikushin, Yu. F. Gushchina, and A. P. Semenov.*

Evaluation of Effectiveness of Hydrate Formation Inhibitors by Polythermal Method

*The effectiveness of hydrate formation inhibitors is evaluated to select the best reagents for inhibiting hydrate formation in gas wells, which are donors of active gas for the conditions in the eastern part of the Orenburg oil and gas condensate fields. The study was conducted using polythermal method that involves cooling of a system consisting of inhibitor solution in a model of stratal water and a gas mixture. The inhibiting properties of the samples were characterized from the initial hydrate formation temperature and the amount of gas turned into hydrate at the end of the test.*

**Key words:** gas hydrates, inhibitors, hydrate formation inhibitors, Orenburg oil and gas condensate field, degree of overcooling.

*A. V. Ставицкая<sup>1</sup>, А. П. Глотов<sup>1</sup>, Е. В. Иванов<sup>1</sup>, А. Л. Максимов<sup>2</sup>, Э. А. Караханов<sup>2</sup>, В. А. Винокуров<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина,

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,

E-mail: stavitsko@mail.ru

**Исследование продуктов окисления ароматических соединений легкой нефти методом масс-спектрометрии ультравысокого разрешения**

*Проведен анализ химического состава продуктов окисления ароматических соединений, содержащихся в нефтях, методом масс-спектрометрии ионно-циклотронного резонанса с преобразованием Фурье.*

*Установлено, что наиболее устойчивыми к окислению ароматическими компонентами нефти являются пирен, производные фенантрена, нафтенонафталины. Определены продукты окисления озоном гомологов бензола, нафталина, а также соединений с четырьмя и более ароматическими циклами.*

**Ключевые слова:** окисление, ароматические соединения, нефть, озон, масс-спектрометрия, химический состав.

*A. V. Stavitskaya, A. P. Glotov, E. V. Ivanov, A. L. Maksimov, E. A. Karakhanov, and V. A. Vinokurov.*

Study of Oxidation Products of Light Oil Aromatic Compounds

Using Ultra-High Resolution Mass Spectrometry

*The chemical composition of oxidation products of aromatic compounds present in oils is analyzed by Fourier transform ion-cyclotron resonance mass spectrometry. It is shown that pyrene, phenanthrene derivatives, and naphtheno-naphthalenes are the most oxidation-resistive aromatic components of oil. Ozone-oxidation products of homologs of benzene, naphthalene, and compounds having four or more aromatic rings are determined.*

**Key words:** *oxidation, aromatic compounds, oil, ozone, mass spectrometry, chemical composition.*

*A. G. Safiulina<sup>1</sup>, D. A. Ibragimova<sup>2</sup>, L. P. Baibekova<sup>2</sup>, P. P. Soldatova<sup>1</sup>,  
C. M. Petrov<sup>2</sup>, N. Yu. Baishirceva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет,

<sup>2</sup>Казанский (приволжский) федеральный университет,

E-mail: aliyahanova@mail.ru

### **Моделирование процесса образования отложений парафинов в трудноизвлекаемом углеводородном сырье**

*В работе исследованы асфальтосмолопарафиновые отложения, выпавшие при моделировании процесса образования отложений из нефти, считаемой трудноизвлекаемой. Выявлены особенности выпадения асфальтосмолопарафиновых отложений, обусловленные различным содержанием в них высокомолекулярных компонентов и их свойствами. Показано перераспределение нефтяных парафиновых углеводородов и асфальтенов между нефтью и выпавшими из нее асфальтосмолопарафиновыми отложениями.*

**Ключевые слова:** *отложение, кристаллизация, парафины, асфальтосмолистые вещества, асфальтены, высокомолекулярные компоненты, нефть.*

*A. G. Safiulina, D. A. Ibragimova, L. R. Baibekova, and R. R. Soldatova.*

*Modeling of Paraffin Wax Deposition Process in Poorly Extractable Hydrocarbon Stock*

*Asphalt-resin-wax deposits formed during modeling of the process of formation of deposits from oil considered hard to extract are studied. The mechanisms of asphalt-resin-wax deposition that occurs due to different contents in them of high-molecular-weight components and their properties are disclosed. It is shown that oil paraffin hydrocarbons and asphaltenes are redistributed between the oil and the asphalt-resin-wax deposited from it.*

**Key words:** *deposit, crystallization, paraffins, wax, asphaltoresinous matters, asphaltenes, high-molecular-weight components, oil.*

*Д. А. Феокистов, Г. П. Каюкова, А. В. Вахин, С. А. Ситнов*

Казанский (приволжский) федеральный университет,

E-mail: vahin-a\_v@mail.ru

### **Каталитический аквагермолиз высоковязкой нефти с использованием таллатов железа, кобальта и меди**

*В работе представлены результаты исследования состава образующихся в результате распада прекурсора активных форм катализатора по результатам физического моделирования на образце высоковязкой нефти с высоким содержанием асфальтенов и смол. В качестве объектов исследования использованы*

нефтерастворимые таллаты на основе железа, кобальта и меди. Для идентификации состава выделенного порошка активной формы катализатора был применен рентгеноструктурный анализ и. С использованием сканирующей электронной микроскопии оценен размер частиц катализатора. По данным SARA-анализа было выявлено значительное снижение высокомолекулярных компонентов нефти за счет каталитического термического крекинга. Основным механизмом преобразования является деструкция высокомолекулярных соединений по серосодержащим связям, о чем свидетельствуют данные элементного CHNS-анализа. Было показано, что нефтерастворимый комплексы на основе кобальта и меди превращаются в сульфидные формы, комплекс на основе железа — в оксидную. Согласно результатам измерений сканирующей электронной микроскопии катализатора, размер частиц составляет около 60 нм.

**Ключевые слова:** высоковязкая нефть, катализатор, прекурсор катализатора, акватермолиз, рентгеноструктурный анализ.

*D. A. Feoktistov, G. P. Kayukova, A. V. Vakhin, and S. A. Sitnov.*

### **Catalytic Aquathermolysis of High-Viscosity Oil Using Iron, Cobalt and Copper Tallates**

*The results of a study of the composition of active forms of the catalyst formed upon degradation of the precursor, based on the results of physical modeling of a sample of high-viscosity oil having high asphaltene and resin contents, are presented. Oil-soluble iron, cobalt and copper tallates were used as the objects of the study. The composition of the separated powder of the active form of the catalyst was determined by X-ray diffraction analysis and the catalyst particle size was determined by scanning electron microscopy. The SARA (saturate, aromatic, resin and asphaltene) analysis data revealed a marked decrease in high-molecular-weight oil components due to thermocatalytic cracking. The basic transformation mechanism is breakdown of the high-molecular-weight compounds along the sulfur-bearing bonds, as indicated by elemental CHNS (carbon, hydrogen, nitrogen and sulfur) analysis data. It is shown that cobalt- and copper-based oil-soluble complexes turn are converted to sulfide forms and iron-based complex is converted to oxide form. According to the results of scanning electron microscopic analysis of the catalyst, the particle size is about 60 nm.*

**Key words:** *high-viscosity oil, catalyst, catalyst precursor, aquathermolysis, X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy.*

**H. Xu<sup>1,2</sup>, C. Pu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>CCDC Changqing Downhole Technology Company, Shaanxi, China,

<sup>2</sup>China University of Petroleum, Shandong, China,

E-mail: xuhongxing390124@163.com

### **Механизм каталитического акватермолиза тяжелой нефти в пласте**

*Проведенные на месторождении Шэнли полевые испытания показали, что применение каталитического гидротермолиза в пласте способно понизить значение вязкости тяжелой нефти на 70-80%. Эффект сохраняется долгое время и значительно увеличивает добычу нефти. Эксперименты доказали, что в результате акватермолиза уменьшаются средний молекулярный вес, содержание тяжелых компонентов и гетероатомов в тяжелой нефти, в то же время увеличивается соотношение Н/С и доля легких фракций. Эффект объясняется химическими реакциями гидрогенизации, раскрытия цикла и десульфурации,*

иницированными присутствием катализатора, высокой температурой воды и минеральным составом пласта. Результаты исследования позволяют утверждать, что применение процесса каталитического аквагермолиза тяжелой нефти *in-situ* (в условиях месторождения) имеет хорошие технические перспективы.

**Ключевые слова:** тяжелая нефть, каталитический аквагермолиз, катализатор, понижение вязкости, полевые испытания.

### **Mechanism of Underground Heavy Oil Catalytic Aquathermolysis**

*Field tests carried out in Shengli oilfield showed that underground catalytic aquathermolysis could reduce heavy oil viscosity by about 70-80% with a long term effect, contributing greatly to oil production increase. Experimental results proved that average molecular weight and contents of heavy components and heteroatoms of heavy oil decrease after the treatment and that H/C ratio and light component content increase due to reactions, such as hydrogenation, ring opening, desulfuration, etc. initiated by catalyst, high-temperature water, and reservoir minerals. The study results suggest that in-situ catalytic aquathermolysis of heavy oil is technically feasible.*

**Key words:** heavy oil, catalytic aquathermolysis, catalyst, viscosity reduction, field tests.

**Huan Shen, Wenyu Zhang**

School of Chemistry and Pharmaceutical Engineering, Qilu University of Technology, China,

E-mail: zhangwy@qlu.edu.cn

### **Синтез привитого поликонденсата лигнита в качестве добавки бурового раствора: влияние на свойства суспензии бентонит — вода**

*Поликонденсат лигнита, обладающий дисперсионными и водоудерживающими свойствами для использования в смеси бентонит-вода, синтезирован методом полимеризации из водной фазы сульфометил фенолальдегидной смолы на скелет из гуминовой кислоты (основного компонента лигнита). Исследования методом ИК-спектроскопии и измерение молекулярной массы поликонденсата показали успешное осаждение смолы. Полученный поликонденсат лигнита использовали в качестве добавки буровой жидкости. Доказана его эффективность для контроля объема фильтрата и реологическую стабильность при температурах старения до 200 °С. Свойства поликонденсата лигнита отличают его от большинства синтетических высокотемпературных регуляторов водоотдачи, которые как правило значительно повышают вязкость смеси. Коллоидные свойства смеси бентонит — вода исследовались методом адсорбции и измерения зета-потенциалов; был предложен возможный механизм.*

**Основные термины:** буровой раствор, регулятор водоотдачи бурового раствора, привитая сополимеризация, лигнит, поликонденсат.

### **Synthesis of Lignite Graft Polycondensate as Drilling Fluid Additive and Its Influence on Properties of Water-Bentonite Suspensions**

*A lignite graft polycondensate having water retention and dispersion properties in a water-bentonite slurry was synthesized by grafting sulfomethyl phenolaldehy (SMP) resin onto a humic acid (main component of lignite) scaffold through aqueous condensation polymerization. FTIR (Fourier-transform infrared) spectroscopic analysis and*

*measurement of the molecular weight of the polycondensate confirmed successful grafting of the SMP. The resulting lignite graft polycondensate used as a drilling fluid controlled the fluid volume and exhibited rheological stability at aging temperatures as high as 200°C. The properties of the polycondensate distinguish it from most of the high-temperature fluid-loss additives, which make the slurries excessively viscous. The colloidal properties of the water-bentonite slurry were investigated by absorption and zeta potential experiments, and a possible mechanism was proposed.*

**Key words:** *drilling fluid, fluid-loss additive, grafting, lignite, polycondensate.*

**Zhihua Wang<sup>1</sup>, Lei Zhang<sup>1</sup>, Tianyu Yu<sup>1,2</sup> and Mengmeng Xu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Key Laboratory of Enhanced Oil & Gas Recovery, Northeast Petroleum University, Daqing, China,

<sup>2</sup>Oil and Gas Engineering, School of Civil, Environmental and Mining Engineering,

University of Western Australia, Perth, Australia,

E-mail: zhihua\_wang@126.com

**Исследование механизма коррозии оборудования для сбора и хранения нефти при использовании метода закачки углекислого газа на низкопродуктивных месторождениях**

*Известно, что технология повышения нефтеотдачи методом закачки углекислого газа имеет ряд недостатков, например, коррозия оборудования, образование окалина, загрязнение окружающей среды. Для выбора оптимальных методов защиты поверхности оборудования для сбора и хранения нефти от воздействия углекислого газа необходимо исследовать механизмы такой коррозии. В данной работе рассматривается одна из ключевых проблем при использовании углекислого газа — процесс коррозии поверхности сепаратора. Исследовались характеристики процесса коррозии, скорость коррозии и химический состав продуктов коррозии на поверхности оборудования в различных функциональных зонах. Для измерения использовались: метод весовых потерь, исследования на сканирующем электронном микроскопе и метод рентгенографии (дифракции рентгеновских лучей). Результаты показывают, что наибольший вклад в процесс коррозии на поверхности стали марки Fe-360 А вносит точечная коррозия, при этом скорость коррозии в наиболее уязвимых зонах может достигать 0,1358 мм/год, с образованием оксида Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и сульфида железа FeS. На кинетику и механизм коррозии стали марки Fe-360 А оказывает влияние комбинированный эффект времени контакта и объема углекислого газа в сочетании с деятельностью сульфатовосстанавливающих бактерий. Этот результат позволяет разработать методы минимизировать проблемы коррозии с помощью химической защиты и правильного подбора материалов, контактирующих с углекислым газом.*

**Ключевые термины:** коррозия под действием углекислого газа, емкость для сбора и хранения, коррозионный образец, закачка углекислого газа, месторождение трудноизвлекаемой нефти.

**Study of Corrosion Behavior of Oil Gathering Facilities in Case of CO<sub>2</sub>-Flooding in Low-Permeability Oilfields**

*It is known that enhancement of oil recovery (EOR) by carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) flooding faces an array of challenges, such as corrosion and scaling of oil gathering facilities, environmental threat, and economic justification. It is necessary to study*

*the corrosion behavior of gathering facilities to adopt optimum measures for protecting them from the corrosion effect of CO<sub>2</sub>. In this work, we evaluated the CO<sub>2</sub> corrosion behavior of the separator – a key component of the surface facility. Corrosion characteristics, corrosion rate, and composition of corrosion products in different functional areas of the facility were determined by weight loss method and scanning electron microscopic (SEM) and X-ray diffraction (XRD) analysis. The results indicate that pitting is the main corrosion characteristic of Fe-360 A steel facilities and that the average corrosion rate in vulnerable areas may reach 0.1358 mm/yr with formation of FeO<sub>2</sub> and FeS. The combined effect of contact time and volume of CO<sub>2</sub>, in conjunction with the activity of sulfate-reducing bacteria, influences the kinetics and mechanism of Fe-360 A steel corrosion. This result is of great significance for minimizing corrosion problems through chemical inhibition and proper selection of materials that come into contact with CO<sub>2</sub>.*

**Key words:** *CO<sub>2</sub> corrosion, gathering facility, corrosion coupon, CO<sub>2</sub> flooding, low-permeability oilfield.*

**Baitao Fan<sup>1,2</sup>, Jingen Deng<sup>1</sup>, Hai Lin<sup>2</sup>, Wei Liu<sup>1</sup>, Qiang Tan<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum, Beijing, China,

<sup>2</sup>State Key Laboratory Offshore Oil Exploitation, CNOOC China Limited, Tianjin Branch, China,

E-mail: dengjingen@126.com

### **Численное моделирование гидроразрыва пласта в слабосцементированных песчаниках**

*В статье представлена детальная конечно-элементная модель для исследования развития гидроразрыва пласта (ГРП) в слабосцементированных песчаниках. Упругопластичная деформация матрицы породы, миграция жидкости по порам, образование и развитие трещин гидроразрыва, а также поток жидкости ГРП в пределах трещины и проникновение в продуктивный пласт рассмотрены взаимосвязано.*

*Дополнительная модель Sat-clay используется для более точной оценки механических характеристик слабосцементированных песчаников. Параметрические исследования были проведены для исследования влияния параметров гидроразрыва на структуру трещин. Численные результаты показали, что крайне короткие и узкие трещины образуются в случае, если будет использоваться низкоэффективная жидкость ГРП для образования трещин в слабосцементированных песчаниках и зоны относительного расширения будут образовываться по обе стороны от трещины. Напротив, более длинные и широкие трещины, образование которых желательно при проведении ГРП с применением пропанта, могут быть получены при использовании высокоэффективной жидкости ГРП и рядом с трещиной будут появляться более уплотненные зоны. Однако, состав зоны уплотнения обеспечивает незначительное снижение проницаемости. Также показано, что пластическая деформация матрицы породы значительно влияет на геометрию трещины, что должно учитываться в проектировании проведения ГРП с применением пропанта в месторождениях, представленных слабосцементированными песчаниками.*

**Ключевые слова:** *слабосцементированный песчаник, гидравлический разрыва пласта с применением пропанта, развитие трещины, расширение при сдвиге уплотнение, численное моделирование.*

### **Numerical Simulation of Hydraulic Fracturing in Weakly Consolidated Sandstone**

*In this paper, we present an elaborate finite element model to investigate the hydraulic fracture propagation in weakly consolidated sandstone. Elastoplastic deformation of the rock matrix, pore fluid flow, fracture initiation and*



propagation as well as fracturing fluid flow within the fracture and leakoff into the formation are all considered in an interrelated way. The extended Cam-Clay model is employed to more appropriately characterize the mechanical behavior of the weakly consolidated sandstone. Parametric studies have been performed to unveil the effect of fracturing parameters on the fracture patterns. The numerical results indicated that extremely short and narrow fractures would be generated if low efficiency fracturing fluid is used to fracture the weakly consolidated sandstone and shear dilation zone would appear on both sides of the fracture. In contrast, longer and wider fractures as desired by the frac-pack operation can be obtained if high efficiency fracturing fluid is used and compaction zone would appear near the fracture. However, the compaction is mild and the permeability decrease within the compaction zone is negligible. It is also shown that plastic deformation of the rock matrix would significantly influence the geometry of the fractures, which should be considered while conducting frac-packing in weakly-consolidated sandstone reservoirs.

**Key words:** weakly consolidated sandstone, frac-pack, fracture propagation, shear dilation, compaction, numerical simulation.

**Zhong Huiying<sup>1</sup>, Sun Guojun<sup>2</sup>, Jia Junfei<sup>3</sup> and Zhou Xinna<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Key Laboratory of Enhanced Oil & Gas Recovery, Ministry of Education, Northeast Petroleum University, Daqing, China,

<sup>2</sup>Oil Recovery Plant No. 3, Daqing Oilfield Company Limited, Daqing, China,

<sup>3</sup>Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, Karamay, China,

<sup>4</sup>Oil Recovery Plant No. 9, Daqing Oilfield Company Limited, Daqing, China,

zhhy987@126.com

### **Оценка и применение блокирующего агента на основе цемента на нефтяных месторождениях**

*Блокирующие агенты на основе цемента постепенно признаются и начинают массово использоваться при разработке месторождений в силу их дешевизны и приемлемых показателей. Для удовлетворения требований к радиальному впрыску необходимо вывести формулу оценки и выбрать подходящий размер частиц для параметров того или иного месторождения. Были проведены лабораторные исследования взаимосвязи между распределением цементных частиц по размеру и проницаемостью залежи, был определен блокирующий эффект цемента в пласте, а также оценена практичность его популяризации и внедрения. Результаты показывают, что цемент с медианным значением размера частиц менее 5 мкм совместим в использовании с пластами имеющими эффективную проницаемость от  $50$  до  $200 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>, с размером частиц от 5 до 10 мкм совместим в использовании с пластами имеющими эффективную проницаемость от  $200$  до  $400 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>, частицы выше 20 мкм совместимы в использовании с пластами имеющими эффективную проницаемость от  $400$  до  $700 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Во всех случаях степень блокировки достигала 90% в случае использования сопоставимых значений. Это вносит свой вклад в предотвращение бесполезного цикла в процессе обводнения нефтяного месторождения на полноводной стадии и ускоряет внедрение практического применения технологий блокировки.*

**Ключевые слова:** цементирующие материалы, приготовление блокирующего агента, оценка производительности, технологии блокировки скважины, нефтяная промышленность.

### **Evaluation and Application of Cement-Based Blocking Agent in Oil Reservoir**

Blocking agents made of cement are gaining recognition and are being used widely in development of oilfields because of their satisfactory performance and low price. For meeting the requirements of radial blocking agent injection, it is necessary to carry out cement performance evaluation and select the particle size compatible with the oil reservoir parameters. A laboratory investigation of the relationship between cement particle size distribution and formation permeability was carried out recently, the blocking effect of cement in the reservoir was evaluated, and the practicability of its popularization and application was estimated. The results indicate that cement having median particle size lower than 5 mm is well compatible with reservoir having effective permeability from 50 to  $200 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$ , cement having median particle size in the 5–10 mm range is compatible with reservoir having effective permeability from 200 to  $400 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$ , and cement having median particle size larger than 20 mm is compatible with reservoir having effective permeability from 400 to  $700 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$ . In all cases, 90% blocking was achieved when these compatible values were used. This will contribute to avoidance of futile cycle in high water cut stage in oilfield flooding process and accelerate application of blocking technology.

**Key words:** cementing material, preparation of blocking agent, performance evaluation, blocking technology, petroleum industry.

**Cheng Cao<sup>1</sup>, Xiaolin Pu<sup>1</sup>, Gui Wang<sup>1</sup>, Tao Huang<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Oil & Gas Reservoir Geology and Exploitation,  
Southwest Petroleum University, Chengdu, China,

<sup>2</sup>Southwest Drilling Company of Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd, Sinopec, Chengdu, China,  
E-mail: caochengcn@163.com

### **Сравнение свойств ингибиторов в подавлении гидратации, разбухания и диспергирования глинистых сланцев**

*В статье исследованы ингибирующие свойства ингибиторов для глинистых сланцев на основе образцов добытых в сланцевом слое Longmaxi. Оценивалась ингибирующая способность исходя из теста восстановления, скорости линейного набухания и объема межслойного пространства. Установлено, что  $K_2SiO_3$  показывает несопоставимо лучшие значения в ингибировании гидратации относительно прочих неорганических агентов, в то время как полиамин является таковым среди органических веществ. Щелочная среда более эффективна для подавления дисперсии глинистого сланца, в то время как нейтральная не оказывает на этот параметр никакого влияния, а кислотная напротив его даже увеличивает. Большинство ингибиторов не способно одновременно подавить и дисперсию, и расширение глины, вследствие чего необходимо объединять их, достигая синергического эффекта в их действии.*

**Ключевые слова:** глинистые сланцы, дисперсия, набухание, сланцы.

### **Comparison of Inhibitive Properties of Clay Shale Hydration, Dispersion and Swelling Inhibitors**

*In this paper, the shale hydration inhibitive properties of conventional shale inhibitors were studied with reference to Longmaxi shale. The inhibition was evaluated by rolling recovery test, linear swelling rate test, and clay interlayer space test. The results indicate that  $K_2SiO_3$  exhibits far better clay hydration inhibition than other inorganic shale inhibitors, while polyamine is superior to other organic shale inhibitors in clay hydration inhibition. Besides, alkaline*

*environment is more effective in suppressing shale dispersion, neutral environment has little impact on shale dispersion suppression, and acidic environment is incapable of suppressing shale dispersion and, on the contrary, may even promote shale dispersion. Moreover, most of the inhibitors are incapable of suppressing clay dispersion and expansion simultaneously, because of which shale inhibitors should be used in conjunction to suppress clay hydration, dispersion and expansion by their synergistic effect.*

**Key words:** *shale inhibitor, hydration, dispersion, swelling, shale.*

**J. P. Zhou<sup>1,2</sup>, J. C. Guo<sup>1</sup>, Z. W. Tao<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>State Key of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu, China,

<sup>2</sup>PetroChina Tarim Oilfield Company, Xinjiang Korla, China,

E-mail: andydufresne2015@163.com

### **Новый прибор и методы изучения стрессочувствительности капиллярного давления**

*В статье представлен новый экспериментальный прибор для изучения стрессочувствительности капиллярного давления. Детально представлены компоненты прибора, исследовано защитное устройство для полупроницаемых мембран. Прибор дает следующие преимущества: с его помощью в измерительной системе под давлением могут быть получены точные результаты и достигнуто высокое дренажное давление, термостат поддерживает единую температуру в ходе всего процесса, устраняя ее влияние на стрессочувствительность капиллярного давления. Температурный эффект может быть изучен путем изменения параметров термостата. Были проведены эксперименты на одном виде пород при изменении горных давлений, но сохранении неизменным дренажного давления. Основываясь на анализе экспериментальных данных, установлено, что капиллярное давление подвержено влиянию давления вышележащих слоев.*

**Ключевые слова:** *стрессочувствительность, капиллярное давление, экспериментальный прибор, метод полупроницаемой мембраны.*

### **New Device and Methods for Studying Stress Sensitivity of Capillary Pressure**

*In this paper, a new experimental device for studying the stress sensitivity of capillary pressure is introduced. The components of the device are described in detail and a device for protecting a high-pressure semipermeable plate is investigated. The device offers several advantages: 1) a pressurized measurement system allows accurate measurement and attainment of high drainage pressure and 2) a thermostat maintains constant temperature throughout the experiment, eliminating the effects of temperature on capillary pressure stress sensitivity. Further, very interesting experimental schemes that have rarely been discussed earlier are proposed, and an exploratory investigation of a single rock type under different confining pressures but same drainage pressure is elaborated. Finally, based on analysis of the experimental results, it is concluded that capillary pressure is affected by overburden pressure.*

**Key words:** *stress sensitivity, capillary pressure, experimental device, porous plate method.*