

# Химия и технология топлив и масел

## 2<sup>(600)</sup>'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.  
**Ю. Л. Ищук** – д.т.н., проф. (Украина)  
**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

- И. А. Тиунов, М. С. Котелев, В. А. Винокуров,  
П. А. Гушин, М. Е. Бардин, А. А. Новиков.* 3  
Антидетонационные свойства смесей 2-метилфурана  
и 2,5-диметилфурана с эталонным топливом

### ХИММОТОЛОГИЯ

- В. В. Остриков, С. Н. Сазонов, В. В. Сафонов,  
В. И. Балабанов, В. И. Вигдорович.* 7  
Оценка составов и свойств пластичных смазок  
на основе отработанных масел

- Н. К. Кондрашева, Д. О. Кондрашев,  
В. А. Рудко, А. А. Шайдулина.* 13  
Влияние углеводородного состава на качество  
и эксплуатационные свойства средних дистиллятных фракций  
и судовых маловязких топлив

### ИССЛЕДОВАНИЯ

- Л. Е. Фосс, Г. П. Каюкова, Б. П. Туманян, Н. Н. Петрухина,  
В. Ф. Николаев, Г. В. Романов.* 19

Изменение углеводородного и компонентного составов  
тяжелой нефти Ашальчинского месторождения  
в процессе каталитического акватермолиза

- Э. Д. Иванчина, Е. Н. Ивашкина, Д. В. Храпов, Н. В. Короткова,  
А. В. Клейменов, В. А. Головачёв.* 24  
Интенсификация процессов производства бензинов  
различных марок на основе учета межмолекулярных  
взаимодействий компонентов смеси  
и состава перерабатываемого сырья

- В. П. Запорин, С. В. Сухов, М. Ю. Долomatov, Н. А. Журавлева,  
А. Р. Галиакбаров, В. В. Мартынов, А. В. Кутуева.* 33  
Математическая модель для прогнозирования выходов  
продуктов коксования тяжелых нефтяных остатков

- А. Т. Мухамедзянов, А. А. Мухамедзянова,  
А. А. Хайбуллин, Б. С. Жирнов, А. С. Алябьев.* 37  
Исследование физико-химических свойств  
тяжелой смолы пиролиза с целью ее использования  
в качестве сырья для получения нефтяных пеков

- Хоу Бин, Чень Мянью, Вань Чен, Сун Тэнфэй.* 45  
Лабораторные исследования геометрии трещин  
при выполнении многоступенчатого гидроразрыва пласта  
при трехосном напряженном состоянии

- Чжан Ченьшо, Фань Цзифэй, Сю Анчжу, Ху Гуаньгань.* 50  
Микромасштабные исследования смешения  
в матрично-трещинной среде  
в процессе смешивающегося вытеснения

### МЕТОДЫ АНАЛИЗА

- Б. И. Ковальский, А. Н. Сокольников, О. Н. Петров,  
В. Г. Шрам, Е. Г. Кравцова,* 53  
Метод контроля температурной стойкости  
моторных масел и влияния продуктов температурной деструкции  
на противоиозносные свойства

# Chemistry and Technology of Fuels and Oils

## 2<sup>(600)</sup>'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.

**Yu. L. Ishchuk** – Dr. Eng. Sci., prof.  
(Ukraine)

**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**

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

- I. A. Tiunov, M. S. Kotelev, V. A. Vinokurov, P. A. Gushchin, M. E. Bardin, and A. A. Novikov.* Antiknock Properties of Blends Of 2-Methylfuran and 2,5-Dimethylfuran with Ethanol Fuel 3

### CHEMMOTOLOGY

- V. V. Ostrikov, S. N. Sazonov, V. V. Safonov, V. I. Balabanov, and V. I. Vigdorovich.* Determination of Compositions And Properties of Plastic Lubricants Based on Used Oils 7

- N. K. Kondrasheva, D. O. Kondrashev, V. A. Rudko, and A. A. Shaidulina.* Influence of Hydrocarbon Composition on Quality and Performance Properties Of Middle Distillates and Low-Viscosity Marine Fuels 13

### RESEARCH

- L. E. Foss, G. P. Kayukova, B. P. Tumanyan, N. N. Petrukhina, V. F. Nikolaev, and G. V. Romanov.* Change in Hydrocarbon and Component Compositions of Heavy Crude Oil from Ashalchinskoe Field in Catalytic Aquathermolysis Process 19

- E. D. Ivanchina, E. N. Ivashkina, D. V. Khrapov, N. V. Korotkova, A. V. Kleimenov, and V. A. Golovachyov.* Intensification of Production Various Grades of Gasolines Based on Study of Intermolecular Interactions of Blend Components and Composition of Process Stock 24

- V. P. Zaporin, S. V. Sukhov, M. Yu. Dolomatov, N. A. Zhuravleva, A. R. Galiakbirov, V. V. Martynov, and A. V. Kutueva.* Mathematical Model for Predicting Yield of Heavy Oil Residue Carbonization Products 33

- A. T. Mukhamedzyanov, A. A. Mukhamedzyanova, A. A. Khaibullin, B. S. Zhirnov, and A. S. Alyab'ev.* Study of Physicochemical Properties of Heavy Pyrolysis Tar for Its Utilization as Feedstock for Producing Petroleum Pitch 37

- Hou Bing, Chen Mian, Wan Cheng, and Sun Tengfei.* Experimental Investigation on Fracture Geometry in Multi-Stage Fracturing under Triaxial Stresses 45

- Zhang Chenshuo, Fan Zifei, Xu Anzhu, and Hu Guangyan.* Microscale Investigation of Mixing in Matrix-Fracture Medium for Intermixing Displacement 50

### METHODS OF ANALYSIS

- B. I. Koval'skii, A. N. Sokol'nikov, O. N. Petrov, V. G. Shram, and E. G. Kravtsova.* Method of Monitoring Thermal Stability of Motor Oils and Influence of Thermal Degradation Products on Wear-Resistance Properties 53

***Антидетонационные свойства смесей 2-метилфурана и 2,5-диметилфурана с эталонным топливом***

И. А. Тиунов, М. С. Котелев, В. А. Винокуров, П. А. Гушин, М. Е. Бардин, А. А. Новиков  
*E-mail: tiunov.i@gubkin.ru*

Проведены исследования антидетонационных свойств смесей 2-метилфурана и 2,5-диметилфурана с эталонным топливом, содержащим толуол. Вычислены октановые числа смешения исследуемых веществ при различных концентрациях, а также исследовано изменение чувствительности топлива. Показано, что максимальное октановое число смешения по исследовательскому методу достигается при концентрации добавок 10% об., при этом чувствительность топлива возрастает в меньшей степени при использовании 2-метилфурана.

**Ключевые слова:** метилфуран, диметилфуран, оксигенаты, октановое число, альтернативные топлива.

***Antiknock properties of blends of 2-methylfuran and 2,5-dimethylfuran with ethanol fuel***

I. A. Tiunov, M. S. Kotelev, V. A. Vinokurov, P. A. Gushchin, M. E. Bardin, and A. A. Novikov  
The antiknock properties of blends of 2-methylfuran and 2,5-dimethylfuran with ethanol fuel containing toluene are studied. The octane numbers of blends of these substances in various concentrations and the change in sensitivity of the fuel are calculated. It is shown that in research method the octane number of the blend attains the maximum at additive concentration of 10 vol. %, at which the sensitivity of the fuel increases at a smaller degree when 2-methylfuran is used.

**Keywords:** methylfuran, dimethylfuran, oxygenates, octane number, alternative fuels.

***Оценка составов и свойств пластичных смазок на основе отработанных масел***

В. В. Остриков, С. Н. Сазонов, В. В. Сафонов, В. И. Балабанов, В. И. Вигдорович  
*E-mail: viitinlab8@bk.ru*

Рассмотрен способ очистки масел с использованием моноэтаноламина и изопропанола, позволяющий очищать отработанные синтетические масла для их последующего применения в качестве дисперсионной среды при изготовлении пластичных смазок. Определены составы пластичных смазок аналогов Солидола Ж и Литола-24, созданных на основе отработанных масел. Оценены основные физико-химические и эксплуатационные свойства экспериментальных составов смазок. Установлено, что пластичные смазки на основе отработанных моторных масел равны или превосходят по свойствам товарные аналоги, изготовленные на основе базовых дорогостоящих масел.

**Ключевые слова:** отработанное масло, пластичные смазки, очистка масла, дисперсионная среда, дисперсная фаза, температура каплепадения.

*Determination of compositions and properties of plastic lubricants based on used oils*

V. V. Ostrikov, S. N. Sazonov, V. V. Safonov, V. I. Balabanov, and V. I. Vigdorovich

The method of oil cleaning using monoethanolamine and isopropanol, which allows cleaning of used synthetic oils for their subsequent utilization as a dispersing medium for producing plastic lubricants, is examined. The compositions of plastic lubricants of Solidol J and Lithol-24 cousins produced from used oils are determined. The basic physicochemical and performance properties of experimental compositions of the lubricants are evaluated. It is shown that plastic lubricants based on used oils are comparable or even superior in properties to the commercial cousins produced from costly base oils.

**Keywords:** used oil, plastic lubricants, oil cleaning, dispersing medium, disperse phase, dropping point.

*Влияние углеводородного состава на качество и эксплуатационные свойства средних дистиллятных фракций и судовых маловязких топлив*

Н. К. Кондрашева, Д. О. Кондрашев, В. А. Рудко, А. А. Шайдулина

*E-mail: natalia\_kondrasheva@mail.ru*

Исследованы физико-химические свойства средних дистиллятных фракций процессов глубокой переработки нефтяного сырья одного из российских НПЗ с точки зрения их использования в качестве компонентов судовых маловязких топлив. Проведено определение и сравнение эксплуатационных свойств дизельной фракции после гидроочистки и лёгких газойлей каталитического крекинга и замедленного коксования. Выявлены зависимости физико-химических и эксплуатационных свойств исследуемых фракций от их углеводородного состава. На основании установленных зависимостей разработан и рекомендован к внедрению оптимальный компонентный состав судового маловязкого топлива.

**Ключевые слова:** судовое маловязкое топливо, дизельное топливо, средние дистилляты, углеводородный состав.

### *Influence of hydrocarbon composition on quality and performance properties of middle distillates and low-viscosity marine fuels*

N. K. Kondrasheva, D. O. Kondrashev, V. A. Rudko, and A. A. Shaidulina\

The physicochemical properties of middle distillates of exhaustive refining of crude oil of one of the Russian refineries are studied from the point of their utilization as components of low-viscosity marine fuels. The performance properties of diesel fractions after hydrofining and of light gas oils of catalytic cracking and delayed carbonization are determined and compared. The physicochemical and performance properties of the studied fractions are found to depend on the hydrocarbon composition of the fractions. Based on the noted dependencies, the optimum component composition of low-viscosity marine fuel is developed and recommended for introduction.

**Keywords:** low-viscosity marine fuel, diesel fuel, middle distillates, hydrocarbon composition.

### *Изменение углеводородного и компонентного составов тяжелой нефти Ашальчинского месторождения в процессе каталитического акватермолиза*

Л. Е. Фосс, Г. П. Каюкова, Б. П. Туманян, Н. Н. Петрухина, В. Ф. Николаев, Г. В. Романов

*E-mail:* iacw212@gmail.com

Проведено физическое моделирование процесса акватермолиза тяжелой нефти Ашальчинского месторождения при температурах 250, 300 и 350°C. В качестве нефтерастворимых прекурсоров катализатора использовали карбоксилаты никеля и кобальта. Установлено, что при температуре процесса 300°C в присутствии донора протонов водорода происходит значительное увеличение содержания масел, уменьшение содержания смол в 1,8 раза, что приводит к снижению вязкости нефти на 91% и плотности с 960 до 953 кг/м<sup>3</sup>. Методом хромато-масс-спектрометрии изучен углеводородный состав жидких продуктов акватермолиза, методом МАЛДИ-спектрометрии определена средняя молекулярная масса асфальтенов. Наибольшее перераспределение углеводородов в составе n-алканов, алкилциклогексанов и алкилбензолов происходит при температурах 300 и 350°C. Определен состав продуктов превращения донора протонов водорода (тетралина) при указанных температурах акватермолиза.

**Ключевые слова:** акватермолиз, тяжелая нефть, асфальтены, прекурсор катализатора, донор протонов водорода.

***Change in hydrocarbon and component compositions of heavy crude oil from ashalchinskoe field in catalytic aquathermolysis process***

L. E. Foss, G. P. Kayukova, B. P. Tumanyan, N. N. Petrukhina, V. F. Nikolaev, and G. V. Romanov

A physical model of the process of aquathermolysis of heavy crude oil from Ashalchinskoe oilfield at 250, 300, and 350°C has been developed. Nickel and cobalt carboxylates were used as oil-soluble catalyst precursors. It was found that at 300°C process temperature in the presence of hydrogen proton donor the oil content increases substantially and the resin content decreases by 1.8 times, which leads to a decrease in crude oil viscosity by 91% and in density from 960 to 933 kg/m<sup>3</sup>. The hydrocarbon composition of liquid aquathermolysis products was studied by chromato-mass spectrometry and the average molecular weight of asphaltenes was determined by matrix-assisted laser desorption/ionization (MALDI) spectrometry. The maximum disproportionation of hydrocarbons in n-alkanes, alkylcyclohexanes, and alkylbenzenes occurs at 300 and 350°C. The composition of hydrogen proton donor (tetralin) conversion products at these aquathermolysis temperatures was determined.

**Keywords:** aquathermolysis, heavy crude oil, asphaltenes, catalyst precursor, hydrogen proton donor.

***Интенсификация процессов производства бензинов различных марок на основе учета межмолекулярных взаимодействий компонентов смеси и состава перерабатываемого сырья***

Э. Д. Иванчина, Е. Н. Ивашкина, Д. В. Храпов, Н. В. Короткова, А. В. Клейменов, В. А. Головачёв

*E-mail:* ied@tpu.ru

Изложены результаты повышения эффективности процессов производства бензинов с применением компьютерной системы на основе учета межмолекулярных взаимодействий компонентов смеси при расчете октановых чисел смесевых продуктов различных марок, изменения состава перерабатываемого сырья в процессах риформинга, изомеризации, алкилирования и каталитического крекинга.

Применение компьютерной системы позволяет оперативно и точно определять оптимальное соотношение компонентов, обеспечивающее получение товарных бензинов, соответствующих всем современным требованиям нормативных документов.

**Ключевые слова:** компаундирование, октановое число, дипольный момент, математическое моделирование, производство бензина.

***Intensification of production various grades of gasolines based on study of intermolecular interactions of blend components and composition of process stock***

É. D. Ivanchina, E. N. Ivashkina, D. V. Khrapov, N. V. Korotkova, A. V. Kleimenov, and V. A. Golovachëv

The results of improving of gasoline production efficiency using a computer system, taking account of intermolecular interactions of blend components in calculation of octane numbers of various grades of blended products and change in composition of the process stock in reforming, isomerization, alkylation, and catalytic cracking processes, are analyzed. The computer system can be used to determine quickly and precisely the optimal components ratio that ensures production of commercial gasolines conforming to all current requirements of normative documents.

**Keywords:** compounding, octane number, dipole moment, mathematical modeling, gasoline production.

***Математическая модель для прогнозирования выходов продуктов коксования тяжелых нефтяных остатков***

В. П. Запорин, С. В. Сухов, М. Ю. Доломатов, Н.А. Журавлева, А. Р. Галиакбиров, В. В. Мартынов, А. В. Кутуева

*E-mail: zhuravliova80@mail.ru*

Процесс замедленного коксования является одной из наиболее динамично развивающихся в мировой нефтепереработке технологией. Основными факторами, определяющими материальный баланс и качество получаемых при коксовании продуктов, являются технологические параметры процесса и качество используемого сырья. Однако данные о зависимости выхода газообразных и жидких продуктов коксования от качества исходного сырья в отечественной литературе отсутствуют. В работе представлены разработанные математические модели выхода продуктов коксования тяжелых нефтяных остатков, которые позволяют регулировать выход продуктов, изменяя доленое соотношение компонентов в сырье, учитывая при этом изменение коксуемости каждого из компонентов сырья.

**Ключевые слова:** математическая модель, коксование тяжелых нефтяных остатков, сырье коксования, коксуемость.

### ***Mathematical model for predicting yield of heavy oil residue carbonization products***

V. P. Zaporin, S. V. Sukhov, M. Yu. Dolomatov, N. A. Zhuravleva, A. R. Galiakbirov, V. V. Martynov, and A. V. Kutueva

Delayed carbonization is one of the most dynamically developing technologies in global petroleum processing. The basic factors determining the material balance and the quality of carbonization products are process parameters and quality of the feedstock used. However, data on the dependence of yield of gaseous and liquid carbonization products on the quality of the feedstock are absent in the domestic literature. This paper presents the developed mathematical models of the yield of heavy oil residue carbonization products, which help control products yield by varying the proportions of the components in the feedstock, taking account of the change in carbonizability of each component of the feedstock.

**Keywords:** mathematical model, carbonization of heavy oil residues, carbonization feedstock, carbonizability.

### ***Исследование физико-химических свойств тяжелой смолы пиролиза с целью ее использования в качестве сырья для получения нефтяных пеков***

А. Т. Мухамедзянов, А. А. Мухамедзянова, А. А. Хайбуллин, Б. С. Жирнов, А. С. Алябьев  
E-mail: [alf6058@yandex.ru](mailto:alf6058@yandex.ru)

Представлены результаты исследования состава и физико-химических свойств побочного продукта производства этилена — тяжелой смолы пиролиза (ТСП). Установлено, что ТСП представляет собой сложные многокомпонентные смеси органических соединений преимущественно ароматических и в меньшей степени непредельных углеводородов. Состав и физико-химические свойства ТСП на промышленной установке пиролиза изменяются во времени в достаточно широких пределах даже при пиролизе одного и того же вида сырья. В этой связи при использовании ТСП в качестве сырья для производства углеродного материала заданного качества возникает необходимость стабилизации его состава, структуры и свойств во времени. Обсуждены потенциальные пути решения этой проблемы, среди которых производство ТСП как одного из целевых продуктов пиролиза и подготовка ТСП, как побочного продукта производства олефинов к переработке в углеродные материалы заданного качества

**Ключевые слова:** пиролиз бензина, тяжелая смола пиролиза, нефтяной пек, пироуглерод, коксуемость.



***Study of physicochemical properties of heavy pyrolysis tar for its utilization as feedstock for producing petroleum pitch***

A. T. Mukhamedzyanov, A. A. Mukhamedzyanova, A. A. Khaibullin, B. S. Zhirnov, and A. S. Alyab'ev

The results of study of composition and physicochemical properties of ethylene production by-product, namely, heavy pyrolysis tar (HPT) are reported. It is shown that HPT is a complex multicomponent mixture essentially of aromatic compounds and partially of unsaturated hydrocarbons. The composition and physicochemical properties of HPT in an industrial pyrolysis plant vary with time in a wide range even when same type of feedstock is pyrolyzed. In view of this, for using HPT as a feedstock for producing carbon material of a fixed quality, it is necessary to stabilize its composition, structure, and properties with time. The potential paths of solving this problem, among which are production of HPT as one of the target pyrolysis products and preparation of HPT as an olefin production by-product for processing into carbon materials of a fixed quality, are discussed.

**Keywords:** gasoline pyrolysis, heavy pyrolysis tar, petroleum pitch, pyrocarbon, carbonizability.

***Лабораторные исследования геометрии трещин при выполнении многоступенчатого гидроразрыва пласта при трехосном напряженном состоянии***

Хоу Бин, Чень Мянью, Вань Чен, Сун Тэнфэй

*E-mail:* [suntengfei7@sina.com](mailto:suntengfei7@sina.com)

Представлены результаты лабораторного эксперимента по многоступенчатому гидроразрыву пласта (ГРП) с использованием гель-раствора в качестве жидкости ГРП на лабораторной установке по моделированию ГРП при трехосном напряженном состоянии. В кубическом образце породы в результате эксперимент образовалась сеть трещин. Выявлено, что при реализации первой ступени ГРП образовалась почти плоская трещина, в то время как при реализации второй — вогнутая трещина. Взаимодействие полей напряжений, создаваемых двумя главными трещинами ГРП, вызвало рост вторичных трещин, направления которых оказались параллельны смоделированному стволу, но при этом привело к уменьшению ширины последующей главной трещины. Было установлено, что модель дисковидной трещины подходит для прогнозирования геометрии трещин ГРП в горизонтальных скважинах в большей степени, чем двумерные модели распространения трещин (модель РКН, модель KGD). Проектированию значения плотности расположения ступеней ГРП должно уделяться особое внимание при реализации многоступенчатого ГРП в скважинах с горизонтальным окончанием.

**Ключевые слова:** гидроразрыв пласта, трещина ГРП, горизонтальная скважина, геометрия трещины, плотность расположения ступеней ГРП.

*Experimental investigation on fracture geometry in multi-stage fracturing under triaxial stresses*

Hou Bing, Chen Mian, Wan Cheng, and Sun Tengfei

Multi-stage fracturing of horizontal wells is an effective simulation technique used commonly for unconventional reservoirs. Complex interactions between multiple hydraulic fractures are believed to have a significant impact on fracture geometry in rock mass. Many theoretical models proposed for predicting hydraulic fracture geometry and stress-interference resulting from multi-stage fracturing have not been validated experimentally. In this study, a multi-stage fracturing test using gel solution as fracturing fluid was conducted under triaxial stressed state. The results showed that the first fracturing stage produced a planar fracture, while the second, a concave (bowl-shaped) fracture. Stress interference between these two main fractures caused growth of secondary fractures parallel to the simulated wellbore and decrease in width of subsequent main fractures. Penny (disk)-shaped fracture model is believed to be more suitable than rectangular fracture model for predicting the real fracture geometry in horizontal wells. For multi-stage fracturing in horizontal wells, special attention should be focused on spacing of fracture stages.

**Keywords:** hydraulic fracture, multi-stage fracturing, horizontal well, fracture geometry, fracture stage spacing.

Чжан Ченьшо, Фань Цзифэй, Сю Анчжу, Ху Гуаньгянь

*Микромасштабные исследования смешения в матрично-трещинной среде в процессе смешивающегося вытеснения*

*E-mail: zhangchenshuo@petrochina.com.cn*

Разработан метод конечных элементов для решения уравнения Навье — Стокса и вывода уравнения, описывающего процессы конвекции и диффузии в матрично-трещинной среде. При помощи данного метода было исследовано влияние коэффициента молекулярной диффузии, скорости перемещения флюида и пористости матрицы на смешивающуюся систему. Установлено, что процесс конвекции, в основном, протекает в трещинах, процесс диффузии — как в трещинах, так и в матрице породы. Также выявлено, что степень смешения находится в прямой зависимости от коэффициента молекулярной диффузии, пористости матрицы и размера трещин и в обратной зависимости — от скорости перемещения жидкости.

**Ключевые слова:** смешивающееся вытеснение, матрично-трещинная среда, смешивающийся образец, метод конечных элементов, микромасштабные исследования

***Microscale investigation of mixing in matrix-fracture medium for intermixing displacement***

Chenshuo Zhang, Zifei Fan, Anzhu Xu, and Guangyan Hu

A finite element method was developed to solve the Navier-Stokes equation and the convection-diffusion equation in matrix-fracture medium. Using this method, we investigated the effect of molecular diffusion coefficient, fluid velocity, matrix porosity, and fracture space on the mixing pattern. Our research indicates that the dispersion pattern is dominated by convection in the fracture and by diffusion in both the matrix and the fracture. We further discovered that the level of mixing has a direct relationship with molecular diffusion coefficient, matrix porosity, and fracture space, whereas fluid velocity has an inverse relationship with the level of mixing.

**Keywords:** intermixing displacement, matrix-fracture medium, mixing pattern, finite elements method, micro scale.

***Метод контроля температурной стойкости моторных масел и влияния продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства***

Б. И. Ковальский, А. Н. Сокольников, О. Н. Петров, В. Г. Шрам, Е. Г. Кравцова

*E-mail: shram18rus@mail.ru*

Представлены результаты определения температурной стойкости минеральных и полусинтетических моторных масел. Обоснован критерий температурной стойкости и определена связь между ним и противоизносными свойствами масел.

**Ключевые слова:** моторные масла, температурная стойкость, противоизносные свойства, коэффициент поглощения света, коэффициент испаряемости.

***Method of monitoring thermal stability of motor oils and influence of thermal degradation products on wear-resistance properties***

B. I. Koval'skii, A. N. Sokol'nikov, O. N. Petrov, V. G. Shram, and E. G. Kravtsova

The results of determination of thermal stability of mineral and semisynthetic motor oils are presented. The thermal stability criterion is validated and the link between it and the wear-resistance properties of motor oils is determined.

**Keywords:** motor oils, thermal stability, wear-resistance properties, light absorption factor, vaporizability factor.