

# Химия и технология топлив и масел

## 2<sup>(642)</sup>'2024

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2

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

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-82547  
Выдано 18 января 2022 г.  
Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций

Издатель —  
Международный центр науки и технологий  
«ТУМА ГРУПП»

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

Английская версия включена в ведущие  
мировые реферативные базы данных

Главный редактор

**Б. П. Туманян** – д.т.н., проф.

Редакционная коллегия

**И. А. Арутюнов** – д.т.н., проф.

**С. Н. Волгин** – д.т.н., проф.

**И. Б. Грудников** – д.т.н., проф.

**В. Л. Лашхи** – д.т.н., проф.

**А. Лукса** – д.т.н., проф. (Польша)

**А. М. Мазгаров** – д.т.н., проф.

**К. Б. Рудяк** – д.т.н., проф.

**Е. П. Серегин** – д.т.н., проф.

**Сунь Тэнфэй** – проф. (Китай)

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

## Содержание

### ТЕХНОЛОГИЯ

Э. А. Гусейнова, С. Р. Расулов. 3  
Каталитический оксикрекинг вакуумного газойля

### ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Т. В. Прокофьева, С. С. Круглов (мл.), С. С. Круглов (ст.), Б. П. Туманян. 8  
Новый подход к расчету режима минимального орошения  
при ректификации многокомпонентных смесей

### КИНЕТИКА И КАТАЛИЗ

И. А. Архипова, Е. Г. Петрова, А. В. Леонтьев, 13  
В. В. Фадеев, С. В. Заглядова, А. Х. Купцов.  
Изучение влияния условий приготовления пропиточного раствора  
и термообработки на активность катализаторов гидроочистки

### ИССЛЕДОВАНИЯ

Е. М. Смирнов, М. И. Рубцова, В. А. Винокуров, К. А. Чередниченко. 20  
Новые композиционные материалы на основе закрытоячеистого  
пенополиуретана и природных наноматериалов

Ш. Э. Гайнуллин, П. Ю. Казакова, Р. С. Павельев, 24  
Ю. Ф. Чиркова, М. Е. Семенов, М. А. Варфоломеев.  
Сравнение промотирующей активности амидов  
этилендиаминтетрауксусной кислоты и некоторых аминокислот  
в процессах нуклеации и роста гидратов метана и диоксида углерода

П. Ю. Казакова, Д. О. Гнездилов, Р. С. Павельев, 29  
Е. Р. Сон, М. А. Варфоломеев.  
Ингибиторы гидратообразования низкой дозировки на основе  
сополимеров малеинового ангидрида с изопропилакриламидом

М. Е. Семенов, У. Ж. Мирзакимов, А. С. Стопорев. 34  
Изучение влияния промоторов на процесс образования гидрата метана  
в статических условиях

В. В. Корякина, Е. Ю. Шиц, А. С. Портнягин. 39  
Исследование кинетики диссоциации гидрата тетрафторэтана  
методом ЯМР-спектроскопии

### ОБЗОРЫ

В. В. Игнатьев, Р. Мюллер, С. Г. Пасынков, 43  
А. М. Петунин, К. А. Бардина.  
Классификация методов синтеза полигидроксилированных фуллеренов.  
Часть 2. Одностадийные и многостадийные процессы

Г. А. Корнеева, Ю. Г. Носков, Т. Е. Крон, С. Н. Руш, 47  
О. Г. Карчевская, Д. В. Марочкин.  
Гидроформилирование низших олефинов и применение  
продуктов оксосинтеза на основе альдегидов C<sub>4</sub>–C<sub>5</sub>  
в производстве сложнотермических смазочных масел.  
Часть II. Родиевые процессы гидроформилирования  
низших олефинов, разработанные ООО «РН-ЦИР»

# Chemistry and Technology of Fuels and Oils

## 2(642)'2024

Head Editor

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

Editorial Board

**I. A. Arutyunov** – Dr. Eng. Sci., prof.

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

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

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

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

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

**K. B. Rudyak** – Dr. Eng. Sci., prof.

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

**Sun Tengfei** – prof. (China)

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,**

**В. Ю. Попова**

Адрес редакции:

105318, г. Москва,

Измайловское шоссе, д. 20-1Н

e-mail: [httm@list.ru](mailto:httm@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 в ООО ИПФ «СТРИНГ»

424006, Республика Марий Эл,

г. Йошкар-Ола, ул. Строителей, 95

## Contents

### TECHNOLOGIES

*E. A. Guseinova, S. R. Rasulov.* 3  
Catalytic Oxycracking of Vacuum Gas Oil

### CHEMICAL ENGINEERING AND EQUIPMENT

*T. V. Prokofieva, S. S. Kruglov Jr.,* 8  
*S. S. Kruglov Sr., B. P. Tumanyan.*  
A New Approach to Calculating Minimum Reflux Operation Mode  
for Fractionation of Multicomponent Mixtures

### KINETICS AND CATALYSIS

*I. A. Arkhipova, E. G. Petrova, A. V. Leontev, V. V. Fadeev,* 13  
*S. V. Zaglyadova, A. H. Kuptsov.*  
The Influence of Impregnation Solution Preparation  
and Heat Treatment Conditions on the Activity of Hydrotreating Catalysts

### RESEARCH

*E. M. Smirnov, M. I. Rubtsova, V. A. Vinokurov, K. A. Cherednichenko.* 20  
New Composite Materials Based on Closed Cell Polyurethane Foam  
and Pro-Nanomaterials: Improved Fire Resistance and Mechanical Stability

*Sh. E. Gainullin, P. Yu. Kazakova, R. S. Pavelyev,* 24  
*Yu. F. Chirkova, M. E. Semenov, M. A. Varfolomeev.*  
Comparison of the Promoting Activity of Amides  
of Ethylenediaminetetraacetic Acid and Some Amino Acids  
In the Nucleation and Growth of Hydrates of Methane and Carbon Dioxide

*P. Yu. Kazakova, D. O. Gnezdilov, R. S. Pavelyev,* 29  
*E. R. Son, M. A. Varfolomeev.*  
Low-Dosage Hydrate Inhibitors Based on Maleic Anhydride Copolymers  
with Isopropylacrylamide

*M. E. Semenov, U. Zh. Mirzakimov, A. S. Stoporev.* 34  
Effect of Promoters on Methane Hydrate Formation  
under Static Conditions

*V. V. Koryakina, E. Yu. Shitz, A. S. Portnyagin.* 39  
Study of Kinetics of Tetrafluoroethane Hydrate Dissociation  
Using NMR Spectroscopy

### REVIEWS

*V. V. Ignatev, R. Muller, S. G. Pasyнков,* 43  
*A. M. Petunin, K. A. Bardina.*  
Classification of Methods for the Synthesis  
of Polyhydroxylated Fullerenes. Part II

*G. A. Korneeva, Yu. G. Noskov, T. E. Kron, S. N. Rush,* 47  
*O. G. Karchevskaya, D. V. Marochkin.*  
Hydroformylation of Low Molecular Olefins and Preparation  
of Oxosynthesis Products Based on C4–C5 Aldehydes in the Production  
of Ester Lubricating Oils.  
Part II. Rhodium Catalyzed Hydroformylation  
of Low Molecular Olefins Developed by United Research and Development Center

**Э. А. Гусейнова, С. Р. Расулов**

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку

elvira\_huseynova@mail.ru

### **Каталитический оксикрекинг вакуумного газойля**

*Исследован процесс каталитического оксикрекинга вакуумного газойля в присутствии цеолитсодержащего катализатора OMNIKAT-210P. Установлено, что температура и степень окисления оказывают одинаковое влияние на степень превращения сырья и выход продуктов реакции, тогда как температура и время контакта — антибатны. Показано, что ввод кислорода способствует образованию дизельной фракции и углеводородного газа. Определение физико-химических характеристик узких фракций позволило оценить качество потенциальных товарных прямогонных продуктов оксикрекинга вакуумного газойля в зависимости от технологических условий процесса.*

**Ключевые слова:** каталитический оксикрекинг, окислительный крекинг, вакуумный газойль, цеолитсодержащий катализатор, фракционный состав.

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -3-7

**E. A. Guseinova, S. R. Rasulov.**

Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

### **Catalytic Oxycracking of Vacuum Gas Oil**

*The process of catalytic oxycracking of vacuum gas oil in the presence of a zeolite-containing catalyst OMNIKAT-210P was studied. As a result of studying the influence of technological parameters on process parameters, it was found that temperature and degree of oxidation have the same effect on the degree of conversion of raw materials and the yield of reaction products, while temperature and contact time are antithetical. It has been shown that the introduction of oxygen promotes the formation of diesel fraction and hydrocarbon gas. Determination of the physicochemical characteristics of narrow fractions made it possible to assess the quality of potential commercial straight-run products of oxycracking of vacuum gas oil, depending on the technological conditions of the process.*

**Key words:** catalytic oxycracking, oxidative cracking, vacuum gas oil, zeolite-containing catalyst, fractional composition.

**Т. В. Прокофьева, С. С. Круглов (мл.), С. С. Круглов (ст.), Б. П. Туманян**

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина

proktv@mail.ru

### **Новый подход к расчету режима минимального орошения при ректификации многокомпонентных смесей**

*В статье рассмотрены наиболее распространенные аналитические методы расчета параметров режима минимального орошения при ректификации многокомпонентных смесей с учетом заданных требований к качеству получаемых продуктов разделения. Предложена и описана расчетная методика, позволяющая значительно упростить процедуру определения минимальных флегмового или парового чисел, а также*

составов дистиллята или остатка в режиме минимального орошения по сравнению с известными способами.

**Ключевые слова:** ректификация, ректификационная колонна, режим минимального орошения, многокомпонентная смесь, разделение смеси, расчет процесса ректификации, качество продуктов ректификации, область предельной концентрации.

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -8-12

*T. V. Prokofieva, S. S. Kruglov Jr., S. S. Kruglov Sr., B. P. Tumanyan.*

Gubkin University

### **A New Approach to Calculating Minimum Reflux Operation Mode for Fractionation of Multicomponent Mixtures**

*The article discusses the most common analytical methods for calculating the parameters of the minimum reflux operation mode during the fractionation of multicomponent mixtures, taking into account the specified requirements for the distillation products quality. A calculation method is proposed and described that makes it possible to significantly simplify the procedure for determining the minimum reflux or vapor ratios, as well as the compositions of the distillate or residue in the minimum reflux operation mode in comparison with known methods.*

**Key words:** *fractionation, fractionating column, minimum reflux operation mode, multicomponent mixture, mixture separation, fractionation process calculation, fractionation products quality, limiting concentration area.*

*И. А. Архипова, Е. Г. Петрова, А. В. Леонтьев, В. В. Фадеев, С. В. Заглядова, А. Х. Купцов*

ООО «РН-ЦИР»

ArkhipovaIA@rdc.rosneft.ru

### **Изучение влияния условий приготовления пропиточного раствора и термообработки на активность катализаторов гидроочистки**

*Изучено влияние качества сырья (карбоната кобальта) и условий термообработки на активность катализаторов Co-Mo и Ni-Mo в гидроочистке смесевой дизельной фракции. Степень чистоты карбоната кобальта и температура синтеза определяют состав пропиточного раствора, что в свою очередь влияет на активность катализатора. В качестве контроля качества карбоната кобальта предложен метод спектроскопии комбинационного рассеяния. Выявлено влияние термообработки катализатора на его активность. Обнаружено, что предельные температуры прокаливанию для катализаторов Co-Mo и Ni-Mo сильно отличаются.*

**Ключевые слова:** катализатор гидроочистки, пропиточный раствор, карбонат кобальта, термообработка, полианионы, спектроскопия комбинационного рассеяния, обессеривание.

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -13-19

*I. A. Arkhipova, E. G. Petrova, A. V. Leontev, V. V. Fadeev, S. V. Zaglyadova, A. H. Kuptsov.*

United Research and Development Center LLC

## **The Influence of Impregnation Solution Preparation and Heat Treatment Conditions on the Activity of Hydrotreating Catalysts**

*The influence of raw materials quality (cobalt carbonate) and heat treatment conditions on the activity of Co-Mo and Ni-Mo hydrotreating catalysts for a mixed diesel fraction has been studied. The influence of cobalt carbonate quality and the synthesis temperature on the properties of the impregnation solution is shown. The method of Raman spectrometry is proposed as a quality control of cobalt carbonate. The influence of catalyst heat treatment on its activity is revealed. It was found that the ultimate calcination temperatures for Co-Mo and Ni-Mo catalysts are very different.*

**Key words:** *hydrotreating catalyst, impregnating solution, cobalt carbonate, calcination, polyanions, Raman spectrum, desulfurization.*

***E. M. Смирнов, М. И. Рубцова, В. А. Винокуров, К. А. Чередниченко***

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина  
cherednichenko.k@gubkin.ru

## **Новые композиционные материалы на основе закрытоячейного пенополиуретана и природных наноматериалов**

*В работе изучена возможность применения природных наноматериалов (природных алюмосиликатных нанотрубок (галлуазита) и наноцеллюлозы) как модифицирующих добавок к коммерческому пенополиуретану с целью варьирования огнеустойчивости и механических характеристик. Серии композиционных пенополиуретанов, содержащих различные массовые доли модифицирующих добавок, были получены методом полимеризации in situ. Исследовано влияние добавок на структуру пенополиуретанов, сжимаемость и огнеустойчивость. Обнаружено, что введение в состав пенополиуретанов добавок приводит к изменению среднего размера пор и к уменьшению сжимаемости пен. Однако после достижения максимальной жёсткости композиционных пен дальнейшее увеличение содержания добавки приводит к регрессу данной характеристики. Установлено, что увеличение содержания добавок положительно сказывается на огнеустойчивости полученных композиционных материалов.*

**Ключевые слова:** *пенополиуретан, природные наноматериалы, галлуазит, наноцеллюлоза, композиционные материалы, огнеустойчивость.*

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -20-23

***E. M. Smirnov, M. I. Rubtsova, V. A. Vinokurov, K. A. Cherednichenko.***

Gubkin University

## **New Composite Materials Based on Closed Cell Polyurethane Foam and Pro-Nanomaterials: Improved Fire Resistance and Mechanical Stability**

*This study presents the feasibility of application of natural nanomaterials (natural aluminosilicate nanotubes (halloysite) and nanocellulose) as modifying additives to commercial polyurethane foam in order to vary its fire resistance and mechanical properties. Series of composite polyurethane foams containing different mass fractions of modifying additives were obtained by in situ polymerization. The influence of additives on the structure of polyurethane foams, compressibility and fire resistance was investigated. The introduction of additives into the*

*composition of polyurethane foams was found to change the average pore size and to decrease the compressibility of foams. However, after reaching the maximum stiffness of composite foams, further increase in the content of additives leads to regression of this characteristic. It is shown that the increase in the content of additives has a positive effect on the fire resistance of the obtained composite materials.*

**Key words:** *polyurethane foam, natural nanomaterials, halloysite, nanocellulose, composite materials, fire resistance.*

**Ш. Э. Гайнуллин<sup>1</sup>, П. Ю. Казакова<sup>1</sup>, Р. С. Павельев<sup>1</sup>, Ю. Ф. Чиркова<sup>1</sup>,  
М. Е. Семенов<sup>1,2</sup>, М. А. Варфоломеев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет,

<sup>2</sup>Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН, г. Якутск,

graveljev@gmail.com

### **Сравнение промотирующей активности амидов этилендиаминтетрауксусной кислоты и некоторых аминокислот в процессах нуклеации и роста гидратов метана и диоксида углерода**

*В работе была оценена промотирующая активность амидов этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) и аминокислот в отношении образования гидратов метана и углекислого газа. Большинство исследуемых соединений в концентрации 0,05% мас. показали себя промоторами образования гидратов на разных стадиях процесса (нуклеация, рост); при этом формирования пены не наблюдалось. Выявлено, что реагент на основе ЭДТА и лейцина является промотором образования как гидрата метана, так и диоксида углерода.*

*В случае гидрата углекислого газа наименьшее время индукции оказалось для соединений ЭДТА с аспарагином ( $19 \pm 1$  мин) и с цистеиновой кислотой ( $29 \pm 1$  мин), что в 1,7 и 2,5 раза меньше, чем для системы без добавок.*

**Ключевые слова:** газодые гидраты, метан, диоксид углерода, хранение газа, кинетические промоторы гидратообразования, аминокислоты, этилендиаминтетрауксусная кислота

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -24-28

**Sh. E. Gainullin<sup>1</sup>, P. Yu. Kazakova<sup>1</sup>, R. S. Pavelyev<sup>1</sup>, Yu. F. Chirkova<sup>1</sup>, M. E. Semenov<sup>1,2</sup>, M. A. Varfolomeev<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Kazan Federal University,

<sup>2</sup>Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk

### **Comparison of the Promoting Activity of Amides of Ethylenediaminetetraacetic Acid and Some Amino Acids in the Nucleation and Growth of Hydrates of Methane and Carbon Dioxide**

*This work evaluated the promoting activity amides of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) with amino acids in relation to the formation of methane and carbon dioxide hydrates. Most of the studied compounds promotes hydrate formation at different stages of the process (nucleation, growth) at 0.05 mass%; no foaming was observed. It was revealed that the reagent based on EDTA and leucine promotes the formation of methane and carbon dioxide hydrates. In the case of carbon dioxide hydrate, the compounds EDTA with asparagine ( $19 \pm 1$  min) and cysteic acid ( $29 \pm 1$  min) showed the shortest induction time, 1.7 and 2.5 times less than for the blank system.*

**Key words:** *gas hydrates, methane, carbon dioxide, gas storage, kinetic hydrate promoters, amino acids, ethylenediaminetetraacetic acid.*

*П. Ю. Казакова, Д. О. Гнездилов, Р. С. Павельев, Е. Р. Сон, М. А. Варфоломеев.*

Казанский федеральный университет,

graveliev@gmail.com

**Ингибиторы гидратообразования низкой дозировки на основе сополимеров малеинового ангидрида с изопропилакриламидом**

*Изучено влияние сополимеров на основе малеинового ангидрида на процесс образования гидрата метан-пропановой смеси. В качестве со-мономера был выбран изопропилакриламид. Реакцию полимеризации проводили в петролейном эфире, затем цикл малеинового ангидрида раскрывали с использованием таких нуклеофилов как дибутиламин и диэтанолламин. Часть полученных полимеров при концентрации 0,5% мас. продемонстрировала понижение температуры начала гидратообразования на уровне кинетического ингибитора гидратообразования Luvicap EG, однако конверсия газа в гидрат в случае предложенного реагента была выше. Наилучший результат по переохлаждению показал образец с повышенным содержанием фрагмента изопропилакриламида, где в качестве нуклеофила использовали дибутиламин. Наименьшая конверсия газа в гидрат наблюдалась для полимера с повышенным содержанием малеинового фрагмента, раскрытого также дибутиламином.*

**Ключевые слова:** газовые гидраты, модель природного газа, кинетические ингибиторы гидратообразования, полималеаты.

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -29-33

*P. Yu. Kazakova, D. O. Gnezdilov, R. S. Pavelyev, E. R. Son, M. A. Varfolomeev.*

Kazan Federal University

**Low-Dosage Hydrate Inhibitors Based on Maleic Anhydride Copolymers with Isopropylacrylamide**

*In this work, the effect of copolymers based on maleic anhydride on the formation of a methane-propane mixture hydrate was studied. Isopropyl acrylamide was chosen as the co-monomer. The polymerization reaction was carried out in N,N-dimethylformamide, then the maleic anhydride cycle was opened using nucleophiles such as dibutylamine and diethanolamine. Some of the obtained polymers demonstrated hydrate onset supercooling similar to the commercial kinetic hydrate inhibitor Luvicap EG at 0.5 mass% concentration. However, the water-to-hydrate conversion was higher in the case of the proposed reagent. A sample with a high content of isopropyl acrylamide fragments with dibutylamine as a nucleophile showed the best results in hydrate onset subcooling. The lowest water-to-hydrate conversion was observed for a polymer with a high content of maleic fragment, also opened by dibutylamine.*

**Key words:** gas hydrates, natural gas model, kinetic hydrate inhibitors, polymaleates.

*М. Е. Семенов<sup>1,2</sup>, У. Ж. Мирзакимов<sup>1</sup>, А. С. Стопорев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казанский федеральный университет,

<sup>2</sup>Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН, г. Якутск,

xotoy\_82@mail.ru

## **Изучение влияния промоторов на процесс образования гидрата метана**

### **в статических условиях**

*В данной работе представлены экспериментальные исследования образования гидрата метана из замороженных растворов, содержащих малое количество промоторов (додецилсульфат натрия и три-сульфированное касторовое масло), в статических условиях методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Выявленные закономерности протекания фазовых превращений в изучаемых условиях (кристаллизация льда и/или гидрата – совместное плавление льда и образование гидрата), совмещенные с визуализацией формирующихся гидратов, позволили установить факторы, влияющие на интенсивность роста гидрата метана при плавлении льда: протокол получения гидратов (контроль температуры и давления на разных стадиях процесса) и сила взаимодействия кристаллитов гидратов друг с другом и со стенками ячейки.*

**Ключевые слова:** газовые гидраты, плавление льда, метан, промоторы, дифференциальная сканирующая калориметрия.

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -34-38

*M. E. Semenov<sup>1,2</sup>, U. Zh. Mirzakimov<sup>1</sup>, A. S. Stoporev<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> Kazan Federal University;

<sup>2</sup> Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk

### **Effect of Promoters on Methane Hydrate Formation under Static Conditions**

*This paper studied the process of methane hydrate formation from frozen solutions containing small amounts of promoters under static conditions using differential scanning calorimetry (DSC). The research revealed regularities of phase transformations under the studied conditions (from ice and/or hydrate crystallization to joint ice melting and hydrate formation). Coupling the DSC tests with visualization of the forming hydrates allowed the factors affecting the growth rate of methane hydrate during ice melting to be established. These factors included the protocol for obtaining hydrates, which involved temperature and pressure control at different stages of the process, and the force of interaction of hydrate crystallites with each other and with cell walls.*

**Key words:** gas hydrates, ice melting, methane, promoters, differential scanning calorimetry.

*V. V. Корякина<sup>1</sup>, Е. Ю. Шиц<sup>1</sup>, А. С. Портнягин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск,

<sup>2</sup>Институт проблем нефти и газа ЯНЦ Сибирского отделения РАН, Якутск

kvladilina@mail.ru

### **Исследование кинетики диссоциации гидрата тетрафторэтана методом ЯМР-спектроскопии**

*В работе исследован процесс диссоциации гидрата 1,1,1,2-тетрафторэтана (фреон-134a) методом импульсного ЯМР высокого разрешения. Экспериментально установлен диффузионно-кинетический характер процесса, его кинетические параметры (константа скорости и время полупревращения), а также особенности – стабилизация остаточного гидрата продуктами его разложения. Показано, что данный эффект значительно ослабляется с ростом температуры, а энергия активации диссоциации гидрата*

фреона сравнима с таковой для разложения относительно устойчивых при атмосферном давлении гидратов.

**Ключевые слова:** газовый гидрат, диссоциация гидрата, кинетика диссоциации, модель Авраами – Ерофеева – Колмогорова, ЯМР-спектроскопия.

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -39-42

*V. V. Koryakina<sup>1</sup>, E. Yu. Shitz<sup>1</sup>, A. S. Portnyagin<sup>2</sup>.*

<sup>1</sup> М. К. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk;

<sup>2</sup> Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk

### **Study of Kinetics of Tetrafluoroethane Hydrate Dissociation Using NMR Spectroscopy**

*The article studies the process of 1,1,1,2-tetrafluoroethane (Freon-134a) hydrate dissociation by pulsed high-resolution NMR. The diffusion-kinetic nature of the process, its kinetic parameters - the rate constant and the half-life time, as well as the features – the stabilization of the residual hydrate by the products of its decomposition were experimentally established. This effect is significantly weakened with increasing temperature, and the activation energy of freon hydrate dissociation is comparable to that ones for the hydrates that are relatively stable at atmospheric pressure.*

**Key words:** gas hydrate, hydrate dissociation, dissociation kinetics, Avrami–Erofeev–Kolmogorov model, NMR spectroscopy.

*V. V. Игнатьев<sup>1</sup>, Р. Мюллер<sup>1</sup>, С. Г. Пасынков<sup>1</sup>, А. М. Петунин<sup>1</sup>, К. А. Бардина<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО «ЭПИКТЕХ», г. Москва,

<sup>2</sup>РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»

info@epictechnology.ru

### **Классификация методов синтеза полигидроксилированных фуллеренов.**

#### **Часть 2. Одностадийные и многостадийные процессы**

*Выполнен анализ существующих методов синтеза полигидроксилированных фуллеренов с применением прямого химического взаимодействия, а также альтернативных способов создания, с целью выявления оптимальных методик получения, для их реализации в различных технологических и биомедицинских областях. Обобщена и классифицирована научная литература данной сферы исследований. Дана оценка эффективности и возможности практического реализации разработанных методов синтеза на основании всестороннего рассмотрения литературной и патентной информации.*

**Ключевые слова:** фуллерен, полигидроксилированный фуллерен, фуллеренол, методы синтеза.

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -43-46

*V. V. Ignatev<sup>1</sup>, R. Muller<sup>1</sup>, S. G. Pasyнков<sup>1</sup>, A. M. Petunin<sup>1</sup>, K. A. Bardina<sup>2</sup>.*

<sup>1</sup> "EPICTECH" LLC,

<sup>2</sup> Gubkin University

### **Classification of Methods for the Synthesis of Polyhydroxylated Fullerenes. Part II**

*A complete analysis of the existing methods of synthesis of polyhydroxylated fullerenes using direct chemical interaction, as well as alternative methods of creation has been carried out in order to identify the optimal methods of obtaining, for their implementation in various technological and biomedical fields. The scientific literature on this field of research is summarized and classified, and a comparative assessment of the efficiency and feasibility of practical implementation of the developed synthesis methods is given on the basis of a comprehensive review of literature and patent documents.*

**Key words:** fullerene, polyhydroxylated fullerene, fullerenol, synthesis methods.

*G. A. Korneeva, Yu. G. Noskov, T. E. Kron, S. N. Rush, O. G. Karchevskaya, D. V. Marochkin*

ООО «РН-ЦИР»

KorneevaGA@rdc.rosneft.ru

**Гидроформилирование низших олефинов и применение продуктов оксосинтеза на основе альдегидов C<sub>4</sub>–C<sub>5</sub> в производстве сложноэфирных смазочных масел.**

**Часть II. Родиевые процессы гидроформилирования низших олефинов, разработанные ООО «РН-ЦИР»**

*Описаны процессы R-OXO гидроформилирования на комплексах родия с фосфитными лигандами, разработанные в ООО «РН-ЦИР» – процесс селективного получения n-бутираля из пропилена (R-OXO I), процесс получения смеси n- и изобутираля в равных долях (R-OXO II), процесс селективного получения n-пентанала из смеси линейных бутенов (R-OXO III). Дано описание схемы гидроформилирования пропилена с мембранным отделением катализатора от тяжелых продуктов реакции. Проведен анализ направления использования продуктов оксосинтеза C<sub>3</sub>–C<sub>5</sub> в качестве сырья для получения сложноэфирных смазочных материалов*

**Ключевые слова:** гидроформилирование, оксосинтез, олефины C<sub>2</sub>–C<sub>4</sub>, родиевые катализаторы, неополиолы, сложноэфирные смазочные масла.

DOI: 10.32935/0023-1169-2024-642-2 -47-56

*G. A. Korneeva, Yu. G. Noskov, T. E. Kron, S. N. Rush, O. G. Karchevskaya, D. V. Marochkin.*

United Research and Development Center LLC

**Hydroformylation of Low Molecular Olefins and Preparation of Oxosynthesis Products Based on C<sub>4</sub>–C<sub>5</sub> Aldehydes in the Production of Ester Lubricating Oils.**

**Part II. Rhodium Catalyzed Hydroformylation of Low Molecular Olefins Developed by United Research and Development Center**

*The processes of R-OXO hydroformylation on rhodium complexes with phosphite ligands developed by United Research and Development Center are described – the process of selective production of n-butyral from propylene (R-OXO I), the process of obtaining a mixture of n- and isobutyral in equal parts (R-OXO II), the process of selective production of n-pentanal from a mixture of linear butenes (R-OXO III). The description of the scheme of hydroformylation of propylene with membrane separation of the catalyst from heavy reaction products is discussed. The analysis of the direction of using C<sub>3</sub>–C<sub>5</sub> oxosynthesis products as raw materials for the production of ester lubricants is carried out.*

**Key words:** hydroformylation, oxosynthesis, olefins C<sub>2</sub>–C<sub>4</sub>, Rhodium catalysts, neopolyols, ester lubricants.