

Химия и технология топлив и масел

6(628) '2021

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6

Научно-технический журнал
Издаётся 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»

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.
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.
К. Б. Рудяк — д.т.н., проф.
Е. П. Серегин — д.т.н., проф.

Издаётся 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 сырьё

- З. В. Бобылёва, М. О. Апостолова, Г. П. Лакиенко,
А. М. Алексеева, О. А. Дрожжин, Е. В. Антипов. 3
Особенности синтеза функциональных углеродных материалов
из растительных углеводов

КИНЕТИКА И КАТАЛИЗ

- Л. М. Величина, А. В. Восмерилов. 7
Переработка прямогонного бензина на медьсодержащих
цеолитных катализаторах

- О. С. Ведерников, А. В. Клейменов, И. Д. Резниченко, А. В. Андреева,
О. Г. Белявский, А. Н. Чембулаев, А. А. Ламберов, А. А. Пиммерзин. 11
Опыт разработки и производства промышленного катализатора
гидроочистки смесевых дизельных фракций

- А. И. Лахова, С. М. Петров. 15
Синтез и исследование каталитической активности смешанных оксидов цинка
и железа для гидротермального облагораживания тяжелой нефти

ХИММОТОЛОГИЯ

- В. В. Остриков, В. И. Оробинский, Д. Н. Афоничев, А. В. Забродская. 21
Исследования по очистке работающего моторного масла
и системы смазки от загрязнений

ИССЛЕДОВАНИЯ

- С. М. Петров. 25
Гидротермальное преобразование органического вещества
карбонатной породы вблизи критической точки воды

- М. С. Гридина, О. В. Бурмистров, М. И. Иванцов,
М. А. Губанов, А. А. Пименов. 30
Формирование кобальтсодержащих дисперсий
в жидкометаллических средах

- А. М. Гюльмалиев, Х. М. Кадиев, Р. М. Талышинский,
Ф. Г. Жагфаров, А. Г. Кондратьев. 35
Термодинамический анализ реакций синтеза продуктов
нефтегазохимии из оксигенатов

- Б. М. Аникушин, П. Г. Лагутин, А. М. Канбетова,
А. А. Новиков, В. А. Винокуров. 41
Дзета-потенциал наноразмерных частиц целлюлозы как функция pH

- А. Г. Лаптев, Е. А. Лаптева, А. А. Ахмитшин. 44
Моделирование интенсифицированных теплообменников
с различной вязкостью сред

- В. А. Налетов, М. Б. Глебов, А. Ю. Налетов,
С. Ф. Муньос, В. Кафаров. 51
Термодинамический анализ чередующейся циклической закачки пара
и дымовых газов на примере тяжелых нефтей Колумбии

**З. В. Бобылёва¹, М. О. Апостолова¹, Г. П. Лакиенко¹,
А. М. Алексеева^{1,2}, О. А. Дрожжин^{1,2}, Е. В. Антипов^{1,2}**

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,

²Сколковский институт науки и технологий

zo Yamostovik@gmail.com

Особенности синтеза функциональных углеродных материалов из растительных углеводов

Работа посвящена технологии получения углеродных материалов из наиболее распространенных в природе сахаров, глюкозы и целлюлозы. Химические превращения сахаров в ходе карбонизации были исследованы с помощью термогравиметрического анализа. Показано, как выбор прекурсора и способ его предобработки влияют на структуру и морфологию углеродных материалов. Морфология материалов, полученных из предобработанной на воздухе глюкозы и целлюлозы, отличается крупными частицами нерегулярной формы. В свою очередь предобработка сахаров в гидротермальных условиях позволяет получить материалы, состоящие из микросфер.

Ключевые слова: углеродные материалы, биомасса, гидротермальная карбонизация

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-3-6

Z. V. Bobyleva¹, M. O. Apostolova¹, G. P. Lakienko¹, A. M. Alekseeva^{1,2}, O. A. Drozhzhin^{1,2}, E. V. Antipov^{1,2}

¹Lomonosov Moscow State University,

²Skolkovo Institute of Science and Technology

Features of the Synthesis of Functional Carbon Materials Produced from Carbohydrates

This work is devoted to the synthesis of carbon materials from the most common carbohydrates in nature, glucose and cellulose. The chemical transformations of carbohydrates during carbonization were investigated using thermogravimetric analysis and FTIR-spectroscopy. The influence of the precursor and the pretreatment process on the structure and morphology of carbon materials was shown. The morphology of materials obtained from glucose and cellulose pretreated in the air was characterized by large irregular particles. In turn, the pretreatment of carbohydrates under hydrothermal conditions makes it possible to obtain materials consisting of microspheres.

Key words: carbon materials, char, hydrothermal carbonization.

Л. М. Величина, А. В. Восмерилов

Институт химии нефти Сибирского отделения РАН

mps@ipc.tsc.ru

Переработка прямогонного бензина на медьсодержащих цеолитных катализаторах

В статье представлены результаты исследований по переработке прямогонной бензиновой фракции нефти на цеолите структурного типа ZSM-5 и медьсодержащих цеолитных катализаторах, полученных его смешением с наноразмерным порошком меди. Показана зависимость кислотных свойств и активности цеолитных катализаторов от содержания в них нанопорошка меди.

Ключевые слова: цеолит ZSM-5, нанопорошок меди, кислотность, прямогонный бензин.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-7-10

L. M. Velichkina, A. V. Vosmerikov

Institute of Petroleum Chemistry SB RAS

Processing of Straight-Run Gasoline over Copper-Containing Zeolite Catalysts

The results of investigations of the processing of straight-run gasoline fraction of oil over a zeolite of ZSM-5 structural type and copper-containing zeolite catalysts are presented. The copper-containing zeolite catalysts are resulted from the mixing of a ZSM-5 zeolite with a nanosized copper powder. It is shown that the acidic properties and activity of zeolite catalysts depend on the content of copper nanopowder in these catalysts.

Key words: *ZSM-5 zeolite, copper nanopowder, acidity, straight-run gasoline.*

O. S. Vedernikov¹, A. V. Kleimenov¹, I. D. Reznichenko¹, A. V. Andreeva¹,

O. G. Belyavskiy², A. N. Chembulaev³, A. A. Lamberov⁴, A. A. Pimerzin^{5,6}

¹ПАО «Газпром нефть», г. Санкт-Петербург,

²АО «Газпромнефть–ОНПЗ», г. Омск,

³ООО «Газпромнефть-Каталитические системы», г. Омск,

⁴Казанский (Приволжский) федеральный университет,

⁵ООО «Газпромнефть — Промышленные Инновации», г. Санкт-Петербург,

⁶Самарский государственный технический университет

Pimerzin.AA@gazprom-neft.ru

Опыт разработки и производства промышленного катализатора гидроочистки смесевых дизельных фракций

В статье представлены результаты проведения ресурсных испытаний нового катализатора гидроочистки смесевых дизельных фракций компании ПАО «Газпром нефть». Проведена сравнительная оценка эксплуатационных свойств разработанного катализатора и импортного аналога.

Подтверждено в промышленных условиях соответствие качества и характеристик российского катализатора мировым стандартам.

Ключевые слова: гидроочистка, катализатор, дизельная фракция, смесевое сырье, ресурсные испытания.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-11-14

O. S. Vedernikov¹, A. V. Kleimenov¹, I. D. Reznichenko¹, A. V. Andreeva¹, O. G. Belyavsky², A. N. Chembulaev³,

A. A. Lamberov⁴, A. A. Pimerzin^{5,6}

¹ Gazprom Neft PJSC, Saint Petersburg,

² Gazprom Neft-ONPZ JSC, Omsk,

³ Gazprom Neft-Catalytic Systems LLC, Omsk,

⁴ Kazan Federal University,

⁵ Gazprom Neft-Industrial Innovations LLC, St. Petersburg,

⁶ Samara State Technical University

The Experience of the Development and Manufacturing of Diesel Hydrotreating Catalyst

The article presents the results of life tests of a new catalyst for hydrotreating mixed diesel fractions by Gazprom Neft PJSC. Technologies for optimizing the processing of carbon-containing raw materials, a comparative assessment of the operational properties of the developed catalyst and the imported analog was carried out. The conformity of the quality and characteristics of the Russian catalyst to the level of world standards has been confirmed in industrial conditions.

Key words: *hydrotreating, catalyst, diesel fraction, blended feedstock, life tests.*

A. И. Лахова^{1,2}, С. М. Петров^{1,2}

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,

²Казанский федеральный университет

lfm59@mail.ru

Синтез и исследование каталитической активности смешанных оксидов цинка и железа для гидротермального облагораживания тяжелой нефти

Установлено влияние мольного соотношения катионов Zn^{2+}/Fe^{3+} в предшественниках двойных гидроксидов на строение оксидов Zn–Fe смешанного фазового состава. С увеличением соотношения катионов металлов с 1:1 до 1:4, в составе смешанных оксидов Zn–Fe, состоящих из ZnO и Fe_3O_4 , снижается количество сложных оксидов $ZnFe_2O_4$, обладающих изоморфной шпинельной структурой. С увеличением удельной поверхности с 27,075 до 34,556 м²/г значения диаметра пор 23,8 нм остаются постоянными. Представлены результаты исследований влияния состава и структуры смешанных оксидов Zn–Fe на компонентный состав тяжелой нефти нафтеноароматического основания в ходе ее облагораживания в гидротермальном флюиде при температуре 380 °С и давлении 22 МПа. Максимальное увеличение содержания насыщенных углеводородов на фоне заметного уменьшения количества асфальтенов характерно для гидротермально преобразованной нефти в присутствии смешанных оксидов Zn–Fe (1:4), при этом увеличивается содержание n-алканов $C_{10}–C_{14}$.

Ключевые слова: синтез, гидротермальное воздействие, смешанные оксиды, сверхвязкая нефть.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-15-20

A. I. Lakhova, S. M. Petrov

Kazan National Research Technological University

Synthesis and Study of Catalytic Activity of Mixed Oxides of Zinc and Iron for Hydrothermal Refining of Heavy Oil

The effect of the molar ratio of metal cations Zn^{2+}/Fe^{3+} in precursors of double hydroxides on the structure of Zn–Fe oxides of mixed phase composition has been established. With an increase in the ratio of metal cations from 1: 1 to 1: 4, in the composition of Zn–Fe mixed oxides consisting of oxides ZnO and Fe_3O_4 , the amount of complex oxides $ZnFe_2O_4$ with an isomorphic spinel structure decreases, with an increase in the specific surface area from 27.075 to 34.556 м²/g the pore diameter values of 23.8 nm remain constant. The results of experimental studies of the effect of the composition and structure of Zn–Fe mixed oxides on the component composition of heavy oil of naphthenic aromatic base during its upgrading in a hydrothermal fluid at a temperature of 380°C and a pressure of 22 MPa are presented. The maximum increase in the content of saturated hydrocarbons against the background of a noticeable

decrease in the amount of asphaltenes is characteristic of hydrothermally converted oil in the presence of mixed oxides Zn-Fe (1: 4), the content of n-alkanes of the composition C₁₀–C₁₄ increases.

Key words: *synthesis, hydrothermal treatment, mixed oxides, heavy crude oil.*

V. V. Ostrikov^{1,3}, V. I. Orobinskiy², D. N. Afonichev², A. V. Zabdorskaya¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов

²Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,

³Мичуринский государственный аграрный университет
viitinlab8@bk.ru

Исследования по очистке работающего моторного масла и системы смазки от загрязнений

Использование топлив и масел с отклонениями от требований стандартов приводит к накоплению в масле и на деталях двигателя отложений, которые снижают срок службы свежезаправленного масла и ухудшают эксплуатационные характеристики машин. К 150–200 часам наработки масло становится малопримодным к использованию, что увеличивает износ деталей и затраты на ремонт и эксплуатацию. В результате проведенных исследований установлено, что глубокая очистка с использованием реагентов позволяет удалить растворенные в масле загрязнения. Скоагулировавшиеся загрязнения в процессе краткосрочной работы двигателя осаждаются в встроенных в систему смазки центрифугах. Использование реагентов позволяет очищать не только масло, но и обеспечивать промывку системы смазки.

Ключевые слова: моторное масло, очистка, двигатель, промывка системы смазки, компрессия, расход топлива.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-21-24

V. V. Ostrikov^{1,3}, V. I. Orobinskiy², D. N. Afonichev², A. V. Zabdorskaya¹

¹ All-Russian Scientific Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov

² Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I,

³ Michurinsk State Agrarian University

Research on Cleaning Operating Engine Oil and Lubrication System from Contaminations

The use of fuels and oils with deviations from the standards leads to the accumulation of deposits in the oil and on engine parts, which will reduce the life of the freshly filled oil and reduce the performance of the machines. By 150-200 hours of operation, the oil becomes unsuitable for use, which increases the wear of parts and the cost of repair and operation. As a result of the studies carried out, it was found that deep cleaning with the use of reagents allows you to remove contaminants dissolved in the oil. The coagulated contaminants during the short-term operation of the engine are deposited in the centrifuges built into the lubrication system. The use of reagents allows you to clean not only the oil, but also to provide flushing of the lubrication system.

Key words: *engine oil, pollution, cleaning, engine, flushing of the lubrication system, compression, fuel consumption.*

С. М. Петров

Казанский национальный исследовательский технологический университет

psergeim@rambler.ru

Гидротермальное преобразование органического вещества карбонатной породы вблизи критической точки воды

В работе исследованы закономерности преобразования органического вещества кремнисто-глинистой карбонатной породы в гидротермальном флюиде при температуре 340–380°C и давлении 17–20 МПа. Установлено, что в гидротермальном флюиде с избытком воды с увеличением температуры и давления в карбонатной породе, содержащей органическое вещество, доминируют реакции окисления с накоплением ароматических углеводородов, смол и асфальтенов. Показаны зависимости геохимических параметров углеводородов (экстрактов) карбонатной породы от температуры и давления гидротермального флюида. Оптимальными термобарическими параметрами гидротермального флюида для карбонатной породы являются 340°C и 17 МПа, в данных условиях происходит увеличение количества нефтяных углеводородов на фоне снижения содержания органического вещества, увеличивается диаметр пор, образуются микропоры. Полученные экспериментальные данные вносят вклад в развитие технологий разработки карбонатных пород.

Ключевые слова: карбонатные породы, органическое вещество, гидротермальные флюиды, экстракция, нефтяные углеводороды.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-25-29

S. M. Petrov

Kazan National Research Technological University

Hydrothermal Conversion of Organic Matter of Carbonate Rock near the Critical Water Point

The paper presents the results of comparative studies to identify the regularities of the transformation of organic matter in a siliceous-clayey carbonate rock in a hydrothermal fluid at temperatures of 340-380°C and pressures of 17-20 MPa. It was found that in a hydrothermal fluid with an excess of water with increasing temperature and pressure in a carbonate rock containing organic matter, oxidation reactions dominate with the accumulation of aromatic hydrocarbons, resins, and asphaltenes. The dependences of the values of the geochemical parameters of hydrocarbons (extracts) of carbonate rock on the temperature and pressure of the hydrothermal fluid are shown. The optimal thermobaric parameters of a hydrothermal fluid for a carbonate rock are 340°C and 17 MPa; under these conditions, the amount of petroleum hydrocarbons increases against the background of a decrease in the content of organic matter, the pore diameter increases, and micropores are formed. The obtained experimental data contribute to the development of technologies for the development of carbonate rocks.

Key words: carbonate rocks, organic matter, hydrothermal fluids, extraction, petroleum hydrocarbons.

М. С. Гридина¹, О. В. Бурмистров¹, М. И. Иванцов², М. А. Губанов², А. А. Пименов¹

¹Самарский государственный технический университет,

²Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН

Формирование кобальтсодержащих дисперсий в жидкометаллических средах

Были сформированы кобальтсодержащие дисперсии на основе олова, висмута, галлия и сплава висмут/олово. Установлено влияние природы дисперсионной среды на формирование кобальтсодержащей дисперсной фазы. Показано влияние способа введения кобальтсодержащего компонента на стабильность дисперсии. Изучено влияние концентрации раствора прекурсора на размер частиц оксида кобальта, образующихся при формировании дисперсной системы. Показана принципиальная возможность образования каталитических систем на основе галлия с размером частиц от 450–540 нм.

Ключевые слова: жидкие металлы, катализ в дисперсных фазах, кобальтсодержащие дисперсии.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-30-34

M. S. Gridina¹, O. V. Burmistrov¹, M. I. Ivantsov², M. A. Gubanov², A. A. Pimenov¹

¹Samara State Technical University,

²A. V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, RAS

Formation of Cobalt-Containing Dispersions in Liquid-Metal Systems

Cobalt-containing dispersions were formed based on tin, bismuth, gallium, and a bismuth / tin alloy. The effect of the nature of the dispersion medium on the formation of the cobalt-containing dispersed phase has been established. The effect of the method of introducing the cobalt-containing component on the stability of the dispersion is shown. The effect of the concentration of the precursor solution on the size of cobalt oxide particles formed during the formation of a dispersed system has been studied. The fundamental possibility of the formation of catalytic systems based on gallium with a particle size of 450–540 nm is shown.

Key words: liquid metals, catalysis in dispersed phases, cobalt-containing dispersions.

A. M. Gyulmaliev¹, X. M. Kadiyev¹, R. M. Talishinskiy¹, F. G. Zhagfarov², A. G. Kondratyev²

¹Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН,

²РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,

gyulmaliev@ips.ac.ru

Термодинамический анализ реакций синтеза продуктов нефтегазохимии из оксигенатов

Проведен термодинамический анализ реакций превращения диметилового эфира в ценные продукты нефтегазохимии, в частности пропилена, формальдегида, 1,3-бутадиена. Определена температурная зависимость равновесного состава реакции получения 1,3-бутадиена из диметилового эфира. Расчет температурной зависимости концентраций равновесного состава реакции взаимодействия пропилена с формальдегидом с образованием: 1,3-диоксана, 1,3-бутандиола и 2-бутен-1-ола показал, что основным продуктом при равновесии является 2-бутен-1-ол.

Ключевые слова: оксигенаты, термодинамика, 1,3-бутадиен, пропилен, формальдегид, реакция Принса.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-35-40

A. M. Gyulmaliev¹, H. M. Kadiyev¹, R. M. Talishinskiy¹, F. G. Zhagfarov², A. G. Kondratyev²

¹A. V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, RAS,

²Gubkin University

Thermodynamic Analysis Reactions Synthesis Valuable Products Petrochemiscals from Oxygenates

A thermodynamic analysis of the products of the transformation of dimethyl ether into valuable products, in particular, propylene, formaldehyde, 1,3-butadiene, has been carried out. The temperature dependence of the equilibrium formation of the reaction of 1,3-butadiene from dimethyl ether has been determined. Calculation of the temperature dependence of the equilibrium coefficient of the conversion coefficient of propylene with formdehyde with the formation of 1,3-dioxane, 1,3-butanediol and 2-buten-1-ol showed that the basic product in equilibrium is 2-buten-1-ol.

Key words: oxygenates, 1,3-butadiene, propylene, formaldehyde, Prince reaction.

Б. М. Аникушин, П. Г. Лагутин, А. М. Канбетова, А. А. Новиков, В. А. Винокуров

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

novikov.a@gubkin.ru

Дзета-потенциал наноразмерных частиц целлюлозы как функция рН

В настоящей работе получены дисперсии наноразмерных частиц целлюлозы и определен их дзета-потенциал при рН от 1 до 14. Установлено, что нанофибрилярная целлюлоза (НФЦ) сохраняет седиментационную устойчивость при рН от 3 до 11. При этом НФЦ, полученная кислотной обработкой с гомогенизацией, имеет максимальный дзета-потенциал около -62 мВ при рН = 6. НФЦ, полученная окислительной обработкой с гомогенизацией, имеет максимальный дзета-потенциал около -46 мВ при рН = 7. Нанокристаллическая целлюлоза, полученная окислительной обработкой с гомогенизацией, сохраняет седиментационную устойчивость при рН от 4 до 11 и имеет максимальный дзета-потенциал около -73 мВ при рН = 4.

Ключевые слова: наноцеллюлоза, гидрогель, стабильность дисперсии, коагуляция, кислотность.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-41-43

B. M. Anikushin, P. G. Lagutin, A. M. Kanbetova, A. A. Novikov, V. A. Vinokurov

Gubkin University

Zeta Potential of Cellulose Nanoparticles as a Function of pH

In this work, we obtained dispersions of nanosized cellulose particles and measured the zeta potential of particles at pH from 1 to 14. It was found that CNF retains sedimentation stability at pH from 3 to 11. At the same time, CNF obtained by acid treatment with homogenization has the maximum zeta potential about -62 mV at pH = 6. CNF obtained by oxidative treatment with homogenization has a maximum zeta potential of about -46 mV at pH = 7. CNC obtained by oxidative treatment with homogenization retains sedimentation stability at pH from 4 to 11 and has a maximum zeta potential of about -73 mV at pH = 4.

Key words: nanocellulose, hydrogel, dispersion stability, coagulation, acidity.

А. Г. Лантев¹, Е. А. Лантева¹, А. А. Ахмитшин²

¹Казанский государственный энергетический университет,

Моделирование интенсифицированных теплообменников с различной вязкостью сред

Для решения задач модернизации промышленных установок получения нефтяных фракций на основе применения приближенного метода моделирования переноса импульса и теплоты в теплообменных аппаратах с поверхностными интенсификаторами получены выражения для средних коэффициентов трения и теплоотдачи. Использована модель турбулентного пограничного слоя Дайсслера и Ван-Дриеста для функции турбулентной вязкости для плоской гладкой стенки. С применением гидродинамической аналогии Чилтона — Кольборна получено выражение для числа Стэнтона и показано согласование с известной аналогией. При переходе к моделированию переноса импульса и теплоты в каналах с поверхностными интенсификаторами использованы идентичные локальные свойства турбулентного движения в пограничном слое на пластине и в пристенном слое трубы, а также свойства консервативности законов трения и теплообмена к возмущениям, которые учитываются параметрически. На основе диссипативной модели получены выражения для среднего касательного напряжения в каналах с интенсификаторами и числа Нуссельта. Представлены результаты расчетов и сравнения с известными экспериментальными исследованиями для труб с поверхностными проволочными вставками, со спиральным оребрением и прямоугольными выступами для трансформаторного масла при значениях числа Рейнольдса $200 < Re < 2000$. Установлена адекватность разработанной математической модели в широком интервале режимных и конструктивных параметров и теплофизических свойств жидких и газовых сред. Даны примеры применения математической модели при проектировании теплообменников на ректификационных установках в России и за рубежом.

Ключевые слов: теплообмен, математическая модель, поверхностные интенсификаторы, модернизация аппаратов.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-44-50

A. G. Laptev¹, E. A. Lapteva¹, A. A. Akhmitshin²

¹Kazan State Power Engineering University,

²LLC IVC "Inzhekhim", Kazan

Modeling of Intensified Heat Exchangers with Different Fluid Viscosities

Equations are derived for mean friction and heat transfer coefficients to solve problems of updating industrial plants for getting oil fractions based on application of approximate method of modeling momentum and heat transfer in heat exchangers with surface intensifiers. The Dyssler and Van-Driest turbulent boundary-layer model is used for the turbulent viscosity function for a flat smooth wall. An equation for the Stanton number is written using Chilton-Colborne hydrodynamic analogy and agreement with the known analogy is shown. Identical local properties of turbulent motion in a boundary layer on a plate and in a near-wall layer of a tube and the conservative properties of the laws of friction and heat transfer to turbulences, which are taken account of parametrically, are used for modeling momentum and heat transfer in channels with surface intensifiers. An equation for mean tangential stress in channels with intensifiers and, further, an equation for the Nusselt number is derived using a dissipative model. The results of calculations and comparison with the known experimental investigations are given for tubes with surface wire inserts, with spiral finning and rectangular projections for transformer oil at Reynolds numbers 200

$Re < 2000$. Thus, the adequacy of the developed mathematical model is proved in a wide range of operating and design parameters and thermophysical properties of fluids and gases. Further, the hydraulic resistance of the channel is the key experimental information about the object of modeling. Examples of use of mathematical model for designing and commissioning heat exchangers in petroleum fuels fractionating plants at industrial enterprises in the Russian Federation and abroad are given.

Key words: heat exchange, mathematical model, surface intensifiers, equipment updating, fuel production.

V. A. Naletov¹, M. B. Glebov¹, A. Yu. Naletov¹, S. F. Muñoz², V. Kafarov²

¹Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,

²Chemical Engineering Department Universidad Industrial de Santander, Колумбия

energo@muctr.ru

Термодинамический анализ чередующейся циклической закачки пара и дымовых газов на примере тяжелых нефтей Колумбии

В статье на примере добычи тяжелых нефтей Колумбии приводится оценка термодинамических показателей эффективности оборудования для циклической чередующейся закачки водяного пара и дымовых газов с целью повышения нефтеотдачи месторождений и решения природоохранных задач.

Рассматриваемое оборудование представлено двумя подсистемами: генерации водяного пара и сжатия дымовых газов. Параметры энергоносителей выбирались исходя из глубины залегания добывающих коллекторов и экспериментальных данных, предоставленных зарубежным партнером. Термодинамический анализ предусматривал оценку потерь эксергии как отдельно по подсистемам, так и в режиме их совместной работы для обеспечения циклической чередующейся закачки агентов. При этом рассматривались различные соотношения времени закачки водяного пара к дымовым газам, приведенные к пятидневному циклу. Установлено, что энергоэффективность совместной работы подсистем, определяемая минимальными суммарными потерями эксергии, приводит к диаметрально противоположным результатам, которые зависят от того, какой источник электроэнергии используется: централизованный или на основе местной генерации. Сделан вывод о необходимости дополнить термодинамический анализ экономической оценкой переменной части приведенных затрат на реализацию процесса циклической чередующейся закачки водяного пара и дымовых газов, которая показала, что оптимальным техническим решением является режим закачки с соотношением времени закачки пара и дымовых газов, равным 4,5:0,5, в пятидневном цикле при использовании электроэнергии из централизованных источников.

Ключевые слова: тяжелая нефть, водяной пар, дымовые газы, эксергетический КПД, пятидневный цикл, чередующая закачка, приведенные затраты.

DOI: 10.32935/0023-1169-2021-628-6-51-56

V. A. Naletov¹, M. B. Glebov¹, A. Yu. Naletov¹, S. F. Muñoz², V. Kafarov²

¹ Mendeleev University of Chemical Technology,

² Chemical Engineering Department Universidad Industrial de Santander, Colombia

Thermodynamic Analysis of Alternating Steam and Flue Gas Injection Process in Application to Heavy Oil Fields in Colombia

This paper presents the thermodynamic analysis of the cyclic steam and flue gas injection process in application to heavy oil production for Colombian oilfields in order to improve oil recovery as well as reduce the environmental impact. The process comprises two subsystems: the steam generation subsystem and flue gas compression process. Working fluid parameters were selected based on the depth of the producing wells and the experimental data provided for Colombian oilfields. As part of the thermodynamic analysis, exergy losses were calculated for the subsystems operating separately as well as together in the cyclic flue gas-steam alternating injection process. The analysis was conducted for varying ratio between the duration and steam and flue gas injection over a five-day cycle. It was determined that the efficiency of the subsystems operating together in the process (which is achieved by minimizing the total exergy losses) is drastically different depending on whether centralized power or local power generation is used for energy supply. It was concluded that an economic analysis is required in addition to the thermodynamic analysis. The varying part of the relative costs for the cyclic steam-flue gas injection process was assessed and it was shown that the optimal solution would be steam-flue gas injection with an injection ratio of 4.5:0.5 (for a five-day cycle) that uses a centralized power source.

Key words: *heavy oil, water vapor, flue gases, exergy, exergy efficiency, five-day cycle, alternating injection, unit costs.*