

11
K29

ISSN 1816-0387

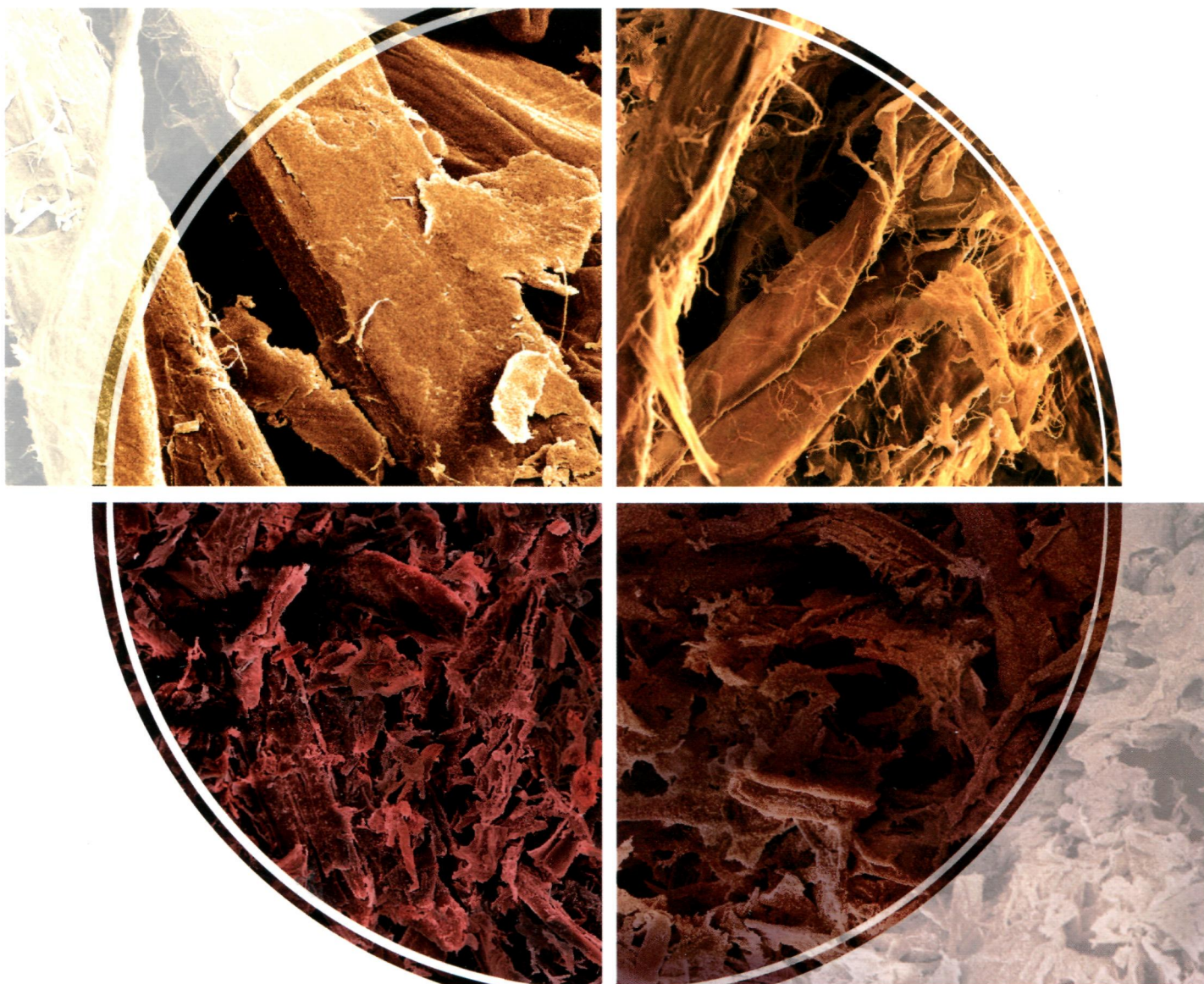
КАТАЛИЗ



В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

CATALYSIS IN INDUSTRY

4/2014



ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КАТАЛИЗА

Ахмедов В.М.

Каталитическая активация C–C и C–H связей в алканах в мягких условиях 7

При взаимодействии «растворов металлов», полученных методом конденсации паров ряда металлов (КПМ), и оксидов металлов различной морфологии разработаны гетерогенные композиции, позволяющие активировать C–H и C–C связи в парафиновых углеводородах в мягких условиях. Результаты проведенного физико-химического анализа позволяют предположить, что размеры частиц металлов в этих катализаторах находятся в основном в пределах нанометрового диапазона. Каталитические свойства приготовленных композиций были исследованы в гидроконверсии C_5 – C_{16} *n*-алканов. Показано, что на их основе могут быть целенаправленно созданы перспективные катализаторы для структурного преобразования *n*-парафинов в экологически чистые высокооктановые бензины и смазочные масла.

Ключевые слова: активация алканов, наноразмерные частицы металла, конденсация паров металла, катализаторы.

КАТАЛИЗ В ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Егоров А.Г., Гильманов Х.Х., Ламберов А.А., Уртыков П.В.

Диффузионная модель процесса дегидрирования изоамиленов в изопрен в неподвижном слое железокалиевого катализатора 14

Предложена математическая модель процесса дегидрирования изоамиленов в изопрен в неподвижном слое промышленных саморегенерирующихся железо-калиевых катализаторов КДОМ и ЖКД, которая учитывает размер и форму зерен катализатора, константы скоростей и энергии активации прямой (дегидрирование) и обратной (гидрирование) реакций, а также реакций крекинга и саморегенерации, накопление вымываемого и невымываемого кокса. Математическая модель адекватно описывает физические и химические процессы, имеющие место при дегидрировании изоамиленов в промышленных реакторах с различной загрузкой железо-калиевых катализаторов при вариации режимных параметров эксплуатации реактора (нагрузка по сырью, степень разбавления сырья паром, температура и давление на входе в реактор) и позволяет оптимизировать технологические параметры промышленного процесса.

Ключевые слова: дегидрирование изоамиленов, диффузионная модель, изопрен, железо-калиевый катализатор, математическое моделирование.

Мустафина С.А., Берзина Д.В., Смирнов Д.Ю.

Моделирование процесса дегидрирования метилбутенов в присутствии оксидных железокалиевых катализаторов 22

Проведен анализ каталитического процесса дегидрирования метилбутенов в изопрен. Построена математическая модель про-

GENERAL OF CATALYSIS

Akhmedov V.M.

Catalytic activation of C–C and C–H bonds in alkanes under mild conditions 7

Interaction of «metal solutions» obtained by metal vapor condensation (MVC) and metal oxides with different morphology was used to obtain heterogeneous compositions that allow one to activate C–H and C–C bonds in alkanes under mild conditions. Results of the physicochemical analysis suggest that the particle size of the metal catalysts is generally within the nanometer range. Catalytic properties of the prepared compositions were tested in the hydroconversion of C_5 – C_{16} *n*-alkanes. It was shown that these compositions can be the basis for purposeful synthesis of promising catalysts for structural transformation of *n*-alkanes into ecologically clean high-octane gasoline and lubricating oils.

Keywords: activation of alkanes, nanoscale metal particles, metal vapor condensation, catalysts.

CATALYSIS IN CHEMICAL AND PETROCHEMICAL INDUSTRIES

Egorov A.G., Gil'manov H.H., Lamberov A.A., Urtyakov P.V.

Diffusion model for dehydrogenation of isoamylenes to isoprene in a fixed bed of iron-potassium catalyst 14

A mathematical model was suggested for the dehydrogenation of isoamylenes to isoprene in a fixed bed reactor with industrial self-regenerating iron-potassium catalysts KDOM and ZhKD. The model takes into account the size and shape of catalyst grains, rate constants and activation energies of direct (dehydrogenation) and reverse (hydrogenation) reactions, rate constants and activation energies of cracking and self-regeneration, and accumulation of leachable and non-leachable coke. The model adequately describes physical and chemical processes occurring during dehydrogenation of isoamylenes in industrial reactors at different loadings of iron-potassium catalysts and at various regimes of reactor operation (loading of raw material, dilution of raw material with steam, temperature and pressure at the reactor inlet) and allows the optimization of technological parameters of the industrial process.

Keywords: dehydration of isoamylenes, diffusion model, isoprene, iron-potassium catalyst, mathematical modeling.

Mustafina S.A., Berzina D.V., Smirnov D.Yu.

Mathematical modeling of the process of dehydrogenation of methylbutenes in the presence of oxide ferric potassium catalysts 22

In the work the analysis of the catalytic process of methylbutenes dehydrogenation in isoprene is made. The mathematical model of the

цесса для адиабатического реактора с неподвижным слоем катализатора, которая учитывает изменение числа молей в реакционной газовой смеси (или реакционном объеме), и нестационарная неизотермическая модель для реактора вытеснения. Разработаны вычислительный алгоритм и программа для расчета основных показателей процесса: конверсии метилбутоленов, выхода изопрена и селективности его образования. На основе построенной модели проведена технологическая оптимизация и найдены оптимальные значения управляющих параметров (скорость подачи сырья на входе в реактор, температура на входе в реактор, мольное разбавление сырья водяным паром), позволяющих получать целевые продукты с максимальным выходом при ограничениях на минимально допустимые значения селективности образования изопрена и конверсии метилбутоленов.

Ключевые слова: синтетический каучук, кинетическая модель, оптимальное управление, дегидрирование метилбутоленов.

Савостьянов А.П., Нарочный Г.Б., Яковенко Р.Е.,
Бакун В.Г., Земляков Н.Д.

Синтез высокомолекулярных углеводородов из CO и H₂ на кобальтовом катализаторе 27

В синтезе углеводородов из CO и H₂ на кобальтовом катализаторе изучена зависимость селективности и производительности процесса от технологических параметров – температуры, давления, объемной скорости и состава синтез-газа. Установлено, что повышение температуры на 17 °C при ОСГ 60 ч⁻¹ снижает селективность процесса по высокомолекулярным углеводородам C₃₅₊ на 24 %, а при ОСГ 100 ч⁻¹ – на 69 %. Изменение давления от 0,1 до 2,0 МПа способствует росту этих показателей, а увеличение объемной скорости газа от 60 до 300 ч⁻¹ приводит к их уменьшению. Показано, что для получения высокомолекулярных углеводородов C₃₅₊ (церезин) следует использовать концентрированные смеси синтез-газа. Фактический состав образующихся углеводородов отличается от теоретического, рассчитанного согласно молекулярно-массовому распределению Андерсона – Шульца – Флори (ASF), что указывает на то, что в реальных условиях синтеза распределение описывается более сложными зависимостями. Результаты исследований носят прикладной характер и предназначены для создания опытно-промышленной установки получения церезина марки 100.

Ключевые слова: синтез Фишера – Тропша, катализатор кобальтовый, параметры процесса, высокомолекулярные углеводороды C₃₅₊ (церезин), селективность, производительность.

Гогин Л.Л., Жижина Е.Г.

One-pot процесс получения замещенных антрахинонов диеновым синтезом в присутствии растворов Mo-V-P гетерополиоксидов 33

Кислотно-каталитическую конденсацию замещенных 1,3-бутадиенов с пара-хинонами и окисление получаемых аддуктов можно проводить как одну технологическую операцию в присутствии водных растворов Mo-V-P гетерополиоксидов (ГПК) об-

process for the adiabatic reactor with the non-moving layer of catalyst, which takes into account the change in the number of moles in the reaction gas mixture (or in the reaction volume), and the nonstationary non-isothermal reactor model for repression is developed. The computational algorithm and program for calculating the basic parameters of the process: the conversion of methylbutenes, the isoprene yield and selectivity of its formation, are worked out. On the basis of the constructed model the technological optimization is made and the optimal values of the control parameters (the feed rate at the reactor inlet, the temperature at the reactor inlet, the molar dilution by water vapor) are found that are allowed to obtain the desired products with a maximum yield with constraints on the minimum allowable value of the selectivity of the formation of isoprene and conversion of methylbutenes.

Keywords: synthetic rubber, kinetic model, optimal control, dehydrogenation of methylbutenes.

Savostianov A.P., Narochny G.B., Yakovenko R.E.,
Bakun V.G., Zemlyakov N.D.

Synthesis of high molecular weight hydrocarbons from CO and H₂ on a cobalt catalyst 27

A synthesis of hydrocarbons from CO and H₂ was carried out over a cobalt catalyst. The selectivity and productivity of the reaction were studied in dependence on temperature, pressure, space velocity, and composition of the synthesis gas. It was found that a temperature increase of 17 °C at volumetric feed rates of 60 h⁻¹ and 100 h⁻¹ reduces the process selectivity toward macromolecular hydrocarbons C₃₅₊ by 24 % and 69 %, respectively. The change of pressure from 0,1 to 2,0 MPa increases the selectivity, whereas a change in the gas space velocity from 60 to 300 h⁻¹ leads to its decrease. It was shown that the production of high molecular weight hydrocarbons C₃₅₊ (ceresin) requires the use of concentrated mixtures of synthesis gas. The actual composition of resulting hydrocarbons differs from the Anderson – Schulz – Flory (ASF) distribution, which indicates that the theoretical simulation of actual distribution should use more complex dependencies. The results of this applied research are intended to design a pilot plant for production of ceresin 100.

Keywords: Fischer–Tropsch synthesis, cobalt catalyst, processing parameters, high-molecular weight hydrocarbons C₃₅₊ (ceresin), selectivity, productivity.

Gogin L.L., Zhizhina E.G.

One-pot production of substituted anthraquinones via the diene synthesis in the presence of Mo-VP heteropoly acid solutions 33

Acid-catalyzed condensation of substituted 1,3-butadiene with *p*-quinones and oxidation of resulting adducts was carried out as a single process in the presence of aqueous solutions of Mo-VP heteropoly acids (HPAs) of the total composition H₆P₂Mo₇V_xO₆. These solutions have

щего состава $H_xP_yMo_zV_uO_v$. Эти растворы обладают бифункциональными каталитическими свойствами, являясь одновременно сильными брэнстедовскими кислотами и довольно сильными обратимо действующими окислителями. Конденсация 1,4-нафтохинона (НХ) с 1,3-бутадиеном в растворах высокованадиевых ГПК брутто-состава $H_{15}P_4Mo_{18}V_7O_{89}$ и $H_{17}P_3Mo_{16}V_{10}O_{89}$ в присутствии смешивающихся с водой органических растворителей (ацетона, 1,4-диоксана) приводит к 9,10-антрахинону (АХ) с выходом около 70 % и чистотой до 97 % при полной конверсии НХ. Реакция между НХ и замещенными 1,3-бутадиенами в аналогичных условиях позволяет получать замещенные антрахиноны с выходами до 90 % и чистотой до 99 %. Катализаторы регенерируются кислородом в отдельной стадии и используются многократно.

Ключевые слова: антрахиноны, гетерополиокислоты, диеновый синтез.

Данов С.М., Орехов С.В., Федосов А.Е., Федосова М.Е., Шишкин А.И.

Катализатор «силикалит титана в полимерной матрице» для процесса совместного получения пирокатехина и гидрохинона 39

Предложен метод синтеза новых каталитических систем на основе силикалита титана (TS-1) для жидкофазного окисления фенола пероксидом водорода, позволяющих с выходом 90–92 % по пирокатехину и гидрохинону (1:1) организовать непрерывный процесс взамен действующей периодической технологии с промежуточным выделением порошкообразного катализатора – силикалита титана. Метод основан на капсулировании TS-1 в полимерной матрице (полипропилен, полиэтилен, полистирол и их сополимеры). На примере систем TS-1/полипропилен и TS-1/полистирол показано, что природа полимерной матрицы влияет на каталитические свойства системы. Проведено сравнение каталитических свойств систем TS-1/полипропилен и TS-1/полистирол со свойствами промышленного катализатора фирмы EniChem. Использование каталитической системы TS-1/полипропилен позволит увеличить производительность при действующих технологиях и значительно снизить энергетические затраты.

Ключевые слова: силикалит титана TS-1, капсулирование, фенол, жидкофазное окисление, пероксид водорода.

bifunctional catalytic properties, being both strong Brønsted acids and quite strong reversible oxidants. Condensation of 1,4-naphthoquinone (NQ) with 1,3-butadiene in a solution of high-vanadium HPAs with total compositions $H_{15}P_4Mo_{18}V_7O_{89}$ and $H_{17}P_3Mo_{16}V_{10}O_{89}$ in the presence of water-miscible organic solvents (acetone, 1,4-dioxane) results in a formation of 9,10-anthraquinone (AQ) with a yield of about 70 % and a selectivity up to 97 % at complete conversion of NQ. The reaction between NQ and substituted 1,3-butadiene under analogous conditions produces substituted anthraquinones with the yields up to 90 % and selectivities up to 99 %. Catalysts are regenerated with oxygen in a separate step and can be used repeatedly.

Keywords: anthraquinones, heteropoly acids, diene synthesis.

Danov S.M., Orekhov S.V., Fedosov A.E., Fedosova M.E., Shishkin A.I.

Catalyst «titanium silicalite in a polymer matrix» for joint production of catechol and hydroquinone 39

The paper proposes a method for a synthesis of new catalytic systems based on titanium silicalite (TS-1) for liquid phase oxidation of phenol by hydrogen peroxide. The systems provide a production of catechol and hydroquinone (1:1) with a yield of 90–92 % and allow establishing a continuous process instead of the conventional technology with periodic discharges of powdered catalyst (titanium silicalite). The method is based on the encapsulation of TS-1 in a polymer matrix (polypropylene, polyethylene, polystyrene, or their copolymers). With TS-1/polypropylene and TS-1/polystyrene used as examples, it was shown that the nature of the polymer matrix affects the catalytic properties of the system. The catalytic properties of TS-1/polypropylene and TS-1/polystyrene were compared with the properties of a commercial catalyst available from EniChem. The use of TS-1/polypropylene was shown to increase the productivity of current technologies and to significantly reduce the energy costs.

Keywords: titanium silicalite TS-1, encapsulation, phenol, liquid-phase oxidation, hydrogen peroxide.

КАТАЛИЗ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Нестеренко С.С., Овчинникова Е.В., Чумаченко В.А.

Каталитическое обезвреживание газовых выбросов при изменении в широких пределах концентрации примесей летучих органических соединений 45

В статье рассмотрены проблемы термокаталитической очистки газовых выбросов в условиях значительного колебания концентрации примесей на примере содержащих 1–15 г/м³ толуола отходящих газов производства электроизоляционных материалов линии пропитки ленты толуольным раствором каучука. Экспери-

CATALYSIS AND ENVIRONMENT PROTECTION

Nesterenko S.S., Ovchinnikova E.V., Chumatchenko V.A.

Catalytic neutralization of gas emissions containing volatile organic compounds in a wide range of concentrations 45

Problems of catalytic thermal cleaning of exhaust gases with significantly changing compositions were studied by the example of gaseous wastes from electric insulator production, which contain from 1 to 15 g/m³ of toluene. Kinetic characteristics of the deep oxidation of toluene were experimentally found for both a palla-

ментально найдены кинетические характеристики содержащего палладий и оксидных промышленных катализаторов в реакции глубокого окисления толуола, методы математического моделирования применены для анализа процессов в адиабатическом реакторе. Исследовано поведение процесса в условиях как управления расходом воздуха на разбавление при фиксированной входной температуре, так и управления температурой на входе при фиксированной степени разбавления смеси воздухом. Рассмотрены особенности процесса при однослойной и двухслойной загрузке реактора, обсуждены проблемы и ограничения применения содержащего палладий катализатора на первом слое при двухслойной загрузке реактора. Предложены технические и технологические способы организации каталитического процесса для обезвреживания выбросов указанного состава.

Ключевые слова: каталитический реактор, обезвреживание газовых выбросов, кинетика глубокого окисления толуола, Pd-содержащий катализатор, оксидные катализаторы, математическое моделирование.

БИОКАТАЛИЗ

Родина В.О., Решетников С.И., Яковлев В.А.

Изучение процесса получения жирных спиртов путем парциальной гидродеоксигенации биодизеля и олеиновой кислоты 55

Изучены закономерности парциального восстановления производных жирных кислот до соответствующих жирных спиртов в условиях статического и проточного реакторов. Согласно результатам, полученным в статическом реакторе, для получения максимального выхода основных продуктов в качестве исходного субстрата следует использовать жирную кислоту. Из экспериментов в проточном реакторе определены оптимальные условия процесса для получения спиртов и восков: температуры в диапазоне 280–330 °С и давление от 3,5 до 5,3 МПа. Предложены схема процесса парциального восстановления жирных кислот, учитывающая целевые (жирные спирты) и все побочные кислородсодержащие продукты, и математическая модель, описывающая данную схему. Определены константы основных стадий превращения олеиновой кислоты, которые могут быть использованы для оценки распределения продуктов при вариации времени контакта.

Ключевые слова: биодизель, гидродеоксигенация, гидрокрекинг, жирные спирты, жирные свободные кислоты, метиловые эфиры жирных кислот.

Никольшин П.А., Сальников В.А., Жилкина Е.О., Пимерзин А.А.

Влияние состава и кислотности нанесенных сульфидных катализаторов на их активность и дезактивацию в гидродеоксигенации гваякола 63

Приготовлены XMo_6HPC/Al_2O_3 катализаторы на основе гетерополи-соединений (ГПС) структуры Андерсона типа XMo_6HPC с центральными гетероатомами – *d*-элементами 4-го и *p*-элементом 3-го периода ($X = Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Al$), а также катализа-

dium-containing catalyst and oxide industrial catalysts. The processes in an adiabatic reactor were analyzed using mathematical modeling. The behavior of the process was studied in two regimes: under varying the flow rate of dilution air at a fixed inlet temperature and under varying the inlet temperature at a fixed dilution with air. The features of the process with one-layer and two-layer loadings of the catalyst were considered. The problems and limitations of using the Pd-containing catalyst in the first layer were discussed. Technical and technological methods of organizing catalytic processes for the abatement of wastes of varying composition are proposed.

Keywords: catalytic reactor, reducing the emission of pollutants, kinetics of toluene total oxidation, Pd-containing catalyst, oxide catalysts, mathematical modeling.

BIOCATALYSIS

Rodina V.O., Reshetnikov S.I., Yakovlev V.A.

Production of fatty alcohols by partial hydrodeoxygenation of biodiesel and oleic acid 55

The partial reduction of fatty acid derivatives into corresponding fatty alcohols was studied in static and continuous flow reactors. The experiments with a static reactor showed that obtaining the maximum yield of major products requires a fatty acid as an initial substrate. The experiments in a flow reactor allowed us to determine optimal conditions for the production of alcohols and waxes: temperatures in the range 280–330 °C and pressures from 3,5 to 5,3 MPa. A theoretical scheme of the partial reduction of fatty acids was proposed. The scheme takes into account the target products (fatty alcohols) and all oxygenated side products. A mathematical model describing the scheme was suggested. Rate constants for the main steps of the conversion of oleic acid were determined. The constants may be used to evaluate the distribution of products at various contact times.

Keywords: biodiesel, hydrodeoxygenation, hydrocracking, fatty alcohols, free fatty acids, methyl esters of fatty acids.

Nikul'shin P.A., Sal'nikov V.A., Zhilkina E.O., Pimerzin A.A.

Influence of composition and acidity of supported sulfide catalysts on their activity and stability in hydrodeoxygenation of guaiacol 63

Two series of catalysts were studied: XMo_6HPC/Al_2O_3 and $Co_6(CA)-PMo_{12}/support$. Catalysts XMo_6HPC/Al_2O_3 were prepared from heteropoly compounds (HPC) of the Anderson structure with the heteroatom $X = Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Al$. Catalysts

торы $\text{Co}_6(\text{ЛК})\text{-PMo}_{12}/\text{носитель}$, на основе 12-молибдофосфорной гетерополиокислоты и цитрата кобальта, где в качестве носителя использовали сибунит, Al_2O_3 , зауглероженный оксид алюминия и оксиды алюминия, модифицированные цеолитами ZSM-5 и BETA. Полученные носители и катализаторы исследовали методами низкотемпературной адсорбции азота, рентгенофазового анализа, термопрограммированной десорбции аммиака. Свойства катализаторов в гидродеоксигенации (ГДО) гваякола изучали в проточной установке при 260 °С, 3,0 МПа, объемной скорости подачи сырья 80 ч⁻¹, соотношении H_2 : сырье 500 л/л. Установлено, что активность $\text{XMo}_6\text{HPC}/\text{Al}_2\text{O}_3$ катализаторов зависит от типа гетероатома X: наиболее активны катализаторы с Co и Ni, наименее – с Cu. Установлена линейная антибатная корреляция между активностью катализаторов в ГДО и кислотностью используемых носителей. Показано, что пониженная активность цеолитсодержащих катализаторов обусловлена высокой степенью их дезактивации. Для ГДО растительного сырья рекомендованы катализаторы, приготовленные на зауглероженном оксиде алюминия, показавшие наиболее высокую активность и устойчивость к дезактивации.

Ключевые слова: гваякол, бионефть, гетерополиосоединения, сульфидные катализаторы, гидродеоксигенация, кислотность, активность, дезактивация.

Новожилов Е.В., Аксенов А.С., Демидов М.Л., Чухчин Д.Г., Доценко Г.С., Осипов Д.О., Синицын А.П.

Применение комплексных биокатализаторов на основе рекомбинантных ферментных препаратов *Penicillium verruculosum* для гидролиза полуцеллюлозы из лиственной древесины 74

Проведено сравнительное исследование эффективности применения биокатализаторов на основе рекомбинантных ферментных препаратов, полученных с использованием гриба *Penicillium verruculosum*, для гидролиза полуцеллюлозы из лиственной древесины. Определена активность биокатализаторов по отношению к различным видам полуцеллюлозы и зависимость глубины исчерпывающего гидролиза от ее размола и высушивания. Показано, что полуцеллюлоза после варки с зеленым щелоком обладает высокой реакционной способностью по отношению к ферментативному гидролизу целлюлазным комплексом и представляет несомненный интерес в качестве субстрата при масштабировании биотехнологических процессов биоконверсии возобновляемого растительного сырья.

Ключевые слова: биокатализаторы, целлюлозосодержащее сырье, полуцеллюлоза, ферментативное осахаривание, целлюлазы.

$\text{Co}_6(\text{CA})\text{-PMo}_{12}/\text{support}$ (CA denotes citric acid) were prepared from 12-molybdophosphoric heteropoly acid and cobalt citrate. As a support, the following compounds were tested: Sibunit, Al_2O_3 , carbonized alumina, and aluminas modified with zeolites ZSM-5 or BETA. The supports and catalysts were studied by low-temperature nitrogen adsorption, X-ray diffraction, temperature-programmed desorption of ammonia. Properties of catalysts in hydrodeoxygenation (HDO) of guaiacol were studied in a flow apparatus at 260 °C, 3,0 MPa, a volumetric feed rate of 80 h⁻¹, and a ratio $\text{H}_2/\text{feed} = 500$ l/l. The activity of catalysts $\text{XMo}_6\text{HPC}/\text{Al}_2\text{O}_3$ was found to depend on the type of heteroatom X: the catalysts with X = Co, Ni were the most active, while the least active catalysts were those with X = Cu. It was found that the activity of the catalysts in HDO decreases linearly with an increase in the acidity of the support. It was shown that the lower activity of zeolite-containing catalysts is due to their fast deactivation. The HDO of plant raw material was recommended to be performed with the catalysts supported on carbonized alumina, which showed the highest activity and resistance to deactivation.

Keywords: guaiacol, bio-oil, heteropoly compounds, sulfide catalysts, hydrodeoxygenation, acidity, activity, deactivation.

Novozhylov E.V., Aksenov A.S., Demidov M.L., Chuhchin D.G., Dotsenko G.S., Osipov D.O., Sinityn A.P.

Application of complex biocatalysts based on recombinant enzyme preparations *Penicillium verruculosum* for the hydrolysis of hardwood hemicellulose 74

Biocatalysts based on recombinant enzyme preparations derived from the fungus *Penicillium verruculosum* were comparatively tested in the hydrolysis of hardwood hemicellulose. The activity of the biocatalysts toward different types of hemicellulose and dependence of the depth of complete hydrolysis on hemicellulose grinding and drying were determined. It was shown that hemicellulose after boiling with green liquor is highly reactive in enzymatic hydrolysis with the cellulase complex and is of great interest as a substrate for scaled biotechnological processes of bioconversion of renewable raw materials.

Keywords: biocatalysts, cellulosic feedstock, semichemical pulp, enzymatic saccharification, cellulases.