DEVELOPMENT OF SCIENCE

ISNN 3030-3907

2026 AUGUST

ISSUE - 8
VOLUME -1

DEVELOPMENT OF SCIENCE

D E V O S

РАЗВИТИЕ НАУКИ

ILM-FAN TARAQQIYOTI

Development of science

Scientific journal
Ilmiy jurnal
Научный журнал

AUGUST 2026
Issue - 8, VOLUME - 1

ISSN 3030 -3907

*The scientific journal **«Development of Science»** was registered by the State on April 15, 2024 with certificate number №256445.*

***«Ilm fan tarqqiyoti»** ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro'yxatidan o'tgan.*

*Научный журнал **«Развитие науки»** был зарегистрирован государством 15 апреля 2024 года под номером свидетельства № 256445.*

The proceedings will be provided to the authors in electronic form (PDF format). The authors bear full responsibility for the content of the articles included in the proceedings, the accuracy and reliability of the statistical data and regulatory documents cited therein, as well as for any opinions and judgments expressed in their articles. Articles that do not meet the established requirements will not be included in the proceedings. The Organizing Committee reserves the right to shorten the text of an article, make minor editorial corrections, and assign submissions to the appropriate sections.

To'plam elektron ko'rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To'plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma'lumotlar va me'yoriy hujjatlarning to'g'riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o'zlari mas'ul hisoblanadilar.Talablarga javob bermaydigan maqolalar to'plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo'mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

Сборник предоставляется авторам в электронном виде (в формате PDF). Авторы несут полную ответственность за содержание статей, включённых в сборник, достоверность приведённых в них статистических данных и нормативных документов, а также за изложенные мнения и суждения. Статьи, не соответствующие установленным требованиям, в сборник не включаются. Организационный комитет оставляет за собой право сокращать текст статьи, вносить отдельные редакционные исправления и распределять материалы по соответствующим секциям.

EDITOR-IN-CHIEF:
Temirov Alisher Hashim oglu - Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor.
CHAIRMAN OF THE EDITORIAL BOARD:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich - Doctor of Technical Sciences, Professor
MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Faheem Uddin
Professor,Iqra university, Pakistan
Siddikova Sadokat Gafforovna
DSc, Rector of Bukhara State Technical University, Uzbekistan
Dr. Amit Rawal
Professor, Department of Textile and Fibre Engineering Indian Institute of Technology Delhi, India
Alexander Vitalievich Dudan
Associate Professor, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus
Bozorov Gayrat Rashidovich
Professor Bukhara State Technical University, Uzbekistan
Vladimir Mikhailovich Kapustin
Professor,Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University),Russian Federation
Shaoliang Chen
Ph. D., Engineer,Cement Science and New Building Materials Research Institute, China
Tukhtayeva Zebo Sharifovna
Bukhara State Technical University, Professor.
Kodirov Abduakhad Abdurakhimovich
Karshi State University, Professor
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
General Scientific Secretary of the Karakalpakstan Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Professor
Tursunov Kakhor Shonazarovich
Karshi State University, Professor
Sharipov Muzaffar Samandarovich
Bukhara State University, Professor.
Alikulov Rustam Valiyevich
Termez State University, Professor
Makhmudov Mukhtar Jamolovich
Bukhara State Technical University, Professor.
Oral Kurganbekovich Beyseynbayev
Professor,M. Auezov South Kazakhstan University,Republic of Kazakhstan
Tropov Khamza Tursunovich
Samarkand State University, Professor
Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Bukhara State Technical University, Professor.
Saidakhmedova Nodira Ilkhomovna
Tashkent State University of Economics, Professor

ORGANIZATIONAL STRUCTURE:

Safarov J.A.-*editor*
Panoyev N.Sh. -*editor*
Buranov N.G. -*assistant editor*
Shodiyev D.X.- *layout editor*
Izzatov D.X. - *layout editor*
Urinov J.B. - *layout editor*
Temirov A.T. - *graphic designer*
Temirov I.G. – *layout designer*

Changes to the composition of the Editorial Board, including the appointment of new members or the removal of existing members, shall be made by the Editor-in-Chief.

www.devos.uz

ISSN 3030-3907

ПОЛУЧЕНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ПРОПАНА НА ВЫСОКОКРЕМНЕЗЕМНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

Сайфитдинова Моҳинур Баходировна
Студентка 122-й группы педиатрического факультета
Яхшиликова Хумора Лочинбековна
Студентка 122-й группы педиатрического факультета
Шукуров Бахриддин Шадикулович
Ассистент кафедры медицинской химии Самаркандского государственного медицинского университета, PhD.

Аннотация. В данной работе изучены закономерности превращения пропана в ароматические углеводороды на цеолитном катализаторе структурного типа ZSM-5, модифицированном галлием. Актуальность исследования обусловлена необходимостью эффективной утилизации природного, попутного и отходящего газа нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий с целью получения ценных нефтехимических продуктов. Рассмотрена роль высококремнеземных цеолитов в процессах ароматизации легких алканов, а также влияние модифицирования галлием на каталитическую активность и селективность катализатора. Особое внимание уделено получению ароматических углеводородов, в том числе фракции бензол–толуол–ксилол (БТК), имеющей важное значение в производстве моторных топлив, синтетических каучуков, пластмасс, лекарственных препаратов и лакокрасочных материалов. Полученные результаты представляют научный и практический интерес для разработки эффективных каталитических систем переработки легких углеводородов в высокоценные ароматические соединения.

Ключевые слова: пропан, ароматизация, цеолит ZSM-5, модификация галлием, катализатор, ароматические углеводороды, бензол-толуол-ксилол (БТК), легкие алканы, нефтехимические продукты, селективность.

Abstract. This study investigates the conversion of propane into aromatic hydrocarbons over a gallium-modified ZSM-5 zeolite catalyst. The relevance of the research is determined by the need for efficient utilization of natural, associated petroleum, and refinery off-gases to produce valuable petrochemical products. The role of high-silica zeolites in the aromatization of light alkanes and the effect of gallium modification on the catalytic activity and selectivity of ZSM-5 catalysts are discussed. Particular attention is paid to the formation of aromatic hydrocarbons, especially the benzene–toluene–xylene (BTX) fraction, which is widely used in the production of motor fuels, synthetic rubbers, plastics, pharmaceuticals, and coating materials. The obtained results provide scientific

and practical insights into the development of efficient catalytic systems for the conversion of light hydrocarbons into high-value aromatic compounds.

Keywords: propane, aromatization, ZSM-5 zeolite, gallium modification, catalyst, aromatic hydrocarbons, benzene–toluene–xylene (BTX), light alkanes, petrochemical products, selectivity.

Annotatsiya. Mazkur maqolada propanni aromatik uglevodorodlarga aylantirish jarayonining qonuniyatlari galliy bilan modifikatsiyalangan ZSM-5 turidagi seolit katalizatori ishtirokida o‘rganilgan. Tabiiy, yo‘ldosh va neftni qayta ishlash korxonalaridan chiqadigan gazlarni samarali utilizatsiya qilish hamda ulardan yuqori qo‘shilgan qiymatga ega neft-kimyo mahsulotlarini olish bugungi kunda dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Tadqiqotda yengil alkanlarni aromatlashtirish jarayonida yuqori kremniyli seolitlarning, xususan ZSM-5 katalizatorining ahamiyati ko‘rib chiqilgan. Galliy bilan modifikatsiyalash katalizatorning faolligi va selektivligiga ta’sir etuvchi muhim omil sifatida baholangan. Aromatizatsiya natijasida olinadigan benzol–toluol–ksilol (BTK) fraksiyasining sanoatdagi ahamiyati va undan motor yoqilg‘ilari hamda turli organik sintez mahsulotlarini ishlab chiqarishda foydalanish imkoniyatlari yoritilgan. Olingan natijalar yengil uglevodorodlarni qimmatbaho aromatik birikmalarga aylantirish uchun samarali katalitik tizimlarni yaratishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: propan, aromatizatsiya, ZSM-5 seoliti, galliy modifikatsiyasi, katalizator, aromatik uglevodorodlar, benzol–toluol–ksilol (BTK), yengil alkanlar, neft-kimyo mahsulotlari, selektivlik.

ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время весьма актуальна проблема получения нефтехимических продуктов из природных, попутных и отходящих газов нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий. Утилизация попутного нефтяного газа на нефтедобывающих странах проводится путем сжигания его в огромных количествах на факельных установках из-за невозможности или экономической нецелесообразности транспортирования на газоперерабатывающие комплексы. В результате этого не только теряется невосполнимый энергетический ресурс, являющийся к тому же и ценным химическим сырьем, но и наносится огромный ущерб окружающей среде. Основными компонентами этих природных углеводородных газов, наряду с метаном, считают пропан и бутан. Известны работы [1-4], где с использованием цеолитных катализаторов удавалось превращать низшие алканы в ароматические углеводороды. Эффективными катализаторами

ISSN 3030-3907

получения ароматических углеводородов в процессе превращения парафинов или олефинов C_2–C_{12} являются высококремнеземные цеолиты группы пентасилов ZSM-5, ZSM-11, ЦВМ, ЦВН и т.д., каталитическая активность которых большинством исследователей связывается с кислотно-основными свойствами их поверхности, и обусловлена наличием протонных (бренстедовских) и апротонных (льюисовских) кислотных центров. Особую ценность в составе ароматических углеводородов представляет фракция бензол-толуол-ксилол (БТК). БТК применяется как в качестве компонента моторных топлив, так и в качестве сырья для получения синтетических каучуков, пластмасс, лекарственных средств, лакокрасочных изделий и т.д. после разделения.

Вместе с тем, промышленная реализация каталитической конверсии алканов C_1-C_4 обусловлена рядом факторов, в том числе необходимостью разработки способов повышения селективности катализаторов образования ароматических углеводородов из легких алканов. Решение этой задачи связано, в первую очередь, с созданием активных и селективных катализаторов и изучением влияния способа их синтеза и дальнейшей модификации на свойства ароматизации легких алканов.

В последнее время в исследованиях цеолитных носителей для ароматизации метана большое внимание уделяется синтезу соединенных структур типа MFI/MEL (ZSM-5/11) [5-8]. Аналогичный цеолит ранее использовался в качестве носителя при синтезе олефинов из диметилового эфира. Такая структура позволяет улучшить показатели работы катализаторов ароматизации метана вследствие увеличенного диаметра выходов каналов микропор.

В данной работе изучены закономерности превращения пропана в ароматические углеводороды на цеолитном катализаторе структурного типа ZSM-5, модифицированным галлием.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Получение цеолитных катализаторов

Высококремнеземные цеолиты (алюмосиликаты, АС) с силикатным модулем 40 получали гидротермальным синтезом из щелочных алюмокремнегелей в автоклавах из нержавеющей стали с тефлоновыми ставками при температуре170-175 ºС в течение 5 суток. Исходную реакционную смесь готовили путем добавления к жидкому стеклу (29% SiO_2, 9% Na_2O, 62% H_2O) водного раствора нитрата алюминия $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, в качестве темплата использовали гексаметилендиамин (ГМДА), при интенсивном перемешивании, pH реакционной смеси регулировали добавлением 0,1 N раствора азотной кислоты.

ISSN 3030-3907

Галлоалюмосиликат (Ga-AC) был получен путем частичной замены алюминия на галлий в исходном алюмокремнегеле ($SiO_2/Al_2O_3+Ga_2O_3=40$). Концентрация оксида галлия в цеолите составляла [Ga_2O_3] = 1,85 масс. %.

После окончания кристаллизации твердую фазу отделяли от жидкой фильтрованием, промывали дистиллированной водой до pH промывных вод ≤ 9, сушили в атмосфере воздуха при 110 °C в течение 24 часов и прокаливали для удаления ГМДА при 550 °C в течение 8 часов.

Для перевода в активную H-форму полученные образцы обрабатывали 25%-ным водным раствором NH_4Cl при 90 °C в течение 2 часов при расходе 10 г цеолита. После удаления Na^+ цеолиты в NH_4-форме сушили при 110 °C и прокаливали в атмосфере воздуха при 540 °C в течение 6 часов для получения H-формы цеолита.

Данные о составе и степени кристалличности полученных катализаторов представлены в табл. 1. Введение в состав цеолитов галлия на стадии гидротермального синтеза приводит к небольшому снижению степени кристалличности цеолитного катализатора, которая для обоих образцов является высокой.

Таблица 1.

Состав и степень кристалличности цеолитного катализатора

Образец	Концентрация, масс. %		Мольное соотношение $SiO_2/Al_2O_3+Me_2O_3$	Степень кристалличности, %
	Me_2O_3	Al_2O_3		
AC	–	4,07	40	100
Ga-AC	1,85	3,01	40	97

Каталитические испытания цеолитных катализаторов

Для изучения процесса превращения пропана на исследуемых катализаторах использовалась стендовая установка проточного типа. Конверсию пропана (степень чистоты 99,95% об.) осуществляли при атмосферном давлении с варьированием температуры реакции от 400 до 600 °C, объемная скорость подачи сырья составляла 500 $час^{-1}$. Испытание катализатора при каждой температуре проводили в течение 60 мин. До и после каждого опыта реактор с образцом продували азотом. Продукты реакции анализировали методом ГЖХ на хроматографе Хроматэк-Кристалл 500.2. Для определения состава жидкой фазы использовали капиллярную колонку BP-1 PONA (100 м × 0,25 мм × 0,5 мкм), а для определения состава газовой фазы – капиллярную колонку GS-Gas-Pro (60 м × 0,32 мм) и набивную колонку Carbosieve S-II (4 м × 2 мм, 60/80 меш). При проведении экспериментов определяли степень превращения пропана, выход

ISSN 3030-3907

газообразных и жидких продуктов, а также рассчитывали селективность образования продуктов реакции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Немодифицированный цеолит в Н-форме проявляет относительно невысокую активность в процессе превращения пропана в ароматические углеводороды. Результаты приведены в табл. 2. В образующихся продуктах реакции содержится большое количество метана и низших олефинов. Конверсия пропана и выход ароматических углеводородов, образующихся при 600 °С на алюмосиликатном катализаторе, составляет соответственно 94 и 34,4%.

Использование галлоалюмосиликата в процессе превращения пропана позволяет значительно повысить выход ароматических углеводородов и снизить образование метана и этана. На этом катализаторе заметное превращение пропана наблюдается при температуре реакции 450 °С. С повышением температуры реакции конверсия пропана резко возрастает и при 600 °С достигает 100%. При 500 °С наблюдается заметное образование ароматических углеводородов, а при 600 °С – достигает 52,5%.

Таблица 2.

Показатели процесса превращения пропана на цеолитных катализаторах

Катализатор	T, °C	X, %	S_1, %	S_2, %	S_3, %	S_4, %	S_5, %	A, %
AC	400	8	0,6	24,9	65,6	6,2	2,7	0,2
	450	20	1,2	43,5	40,9	9,5	4,9	0,9
	500	40	2,3	65,1	12,3	12,9	7,4	3,0
	550	78	2,5	50,0	1,0	9,6	36,9	28,6
	600	94	3,2	51,5	0,1	8,7	36,5	34,4
GA-AC	400	11	4,8	27,9	47,0	5,8	14,5	1,6
	450	26	7,8	51,9	16,1	7,7	16,5	4,3
	500	68	4,6	34,6	1,9	4,6	54,3	36,6
	550	92	4,4	34,7	0,3	4,0	56,6	51,8
	600	100	4,4	37,6	0,1	5,4	52,5	52,5

Примечание. T – температура реакции; X – конверсия; S_1 – селективность образования водорода; S_2 – селективность образования алканов C_1-C_2; S_3 – селективность образования алканов C_3-C_5; S_4 – селективность образования алкенов C_2-C_4; S_5 – селективность образования ароматических углеводородов; A – выход ароматических углеводородов.

ISSN 3030-3907

Из приведенных данных в таблице 3 видно, что основными продуктами превращения пропана на исследуемых катализаторах являются жидкие и газообразные углеводороды состава C_1-C_5. Катализат содержит смесь ароматических углеводородов, состоящую в основном из бензола, толуола и ксилолов (БТК), в небольших количествах также присутствуют алкилбензолы C_{9+}, нафталин и алкилнафталины. Газообразные продукты состоят преимущественно из метана и этана, а также в небольшом количестве присутствуют водород, алканы C_3-C_5 и олефины C_2-C_4.

Таблица 3.

Состав жидких и газообразных продуктов превращения пропана на цеолитных катализаторах

Катализатор	Состав жидких продуктов, % масс.				
	БТК	Алкилбензолы C_{9+}	Нафталин	Алкилнафталины	
AC	85	5	7	3	
GA-AC	83	5	8	5	
Состав газообразных продуктов, % масс.					
Катализатор	H_2	CH_4	C_2H_6	Алкены C_2-C_4	Алканы C_3-C_5
AC	2,7	36,2	18,0	10,4	32,7
GA-AC	8,1	45,3	20,9	7,6	18,1

В составе газообразных продуктов превращения пропана на галлоалюмосиликате содержатся больше водорода, метана и меньше алкенов C_2-C_4 и алканов C_3-C_5 по сравнению с продуктами, полученными на алюмосиликате. Низкий выход алкенов в продуктах реакции указывает на то, что они являются промежуточными продуктами, которые активно вступают в дальнейшее взаимодействие, приводящие к образованию ароматических углеводородов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о высокой активности высококремнеземного цеолита в процессе превращения пропана и относительно невысокой селективности образования ароматических углеводородов.

Введение на стадии гидротермального синтеза в состав цеолита галлия существенно повышает его активность в отношении образовании целевого продукта.

ISSN 3030-3907

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baerlocher C., McCusker L.B., Olson D.H. Atlas of Zeolite Framework Types. 6th ed. New York: Elsevier Inc. 2007. 398 p.
2. Frey K., Lubango L.M., Scurrell M.S., Guczi L. Light alkane aromatization over modified Zn-ZSM-5 catalysts: characterization of the catalysts by hydrogen/deuterium isotope exchange // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. – 2011. – Vol. 104. – P. 303-309.
3. Gabrienko A.A., Arzumanov S.S., Freude D., Stepanov A.G. Propane aromatization on Zn-Modified Zeolite BEA Studied by Solid-State NMR in Situ // Journal Physical Chemistry C. – 2010. – Vol. 114. – P. 12681-12688.
4. Bhan A., Delgass W.N. Propane aromatization over HZSM-5 and Ga/HZSM-5 catalysts // Catalysis Reviews - Science and Engineering. – 2008. - Vol. 50, №1. – P. 19-151.
5. Зайковский В. И., Восмерикова Л. Н., Восмериков А. В. Природа активных центров In-, Zr- и Zn-алюмосиликатов структурного типа цеолита ZSM-5 // Журнал физической химии. – 2018. – Т. 92. - № 4. - С. 689–695.
6. Виниченко Н. В. Каталитические превращения метана и н-пентана в неокислительных условиях на оксидах (Al_2O_3 и SiO_2) с нанесенными металлами (Pt, Pd, Ir, Re) // Автореферат дисс. на соис. уч. степени канд. хим. наук. Омск. – 2019. – 24 с.
7. Wu G., Wang X., Guan N., Li L. Palladium on graphene as efficient catalyst for solvent-free aerobic oxidation of aromatic alcohols: Role of graphene support // Appl. Catal. B. 2013. V. 136–137. P. 177=185.
8. Джалилова С. Кислотные и каталитические свойства модифицированных цеолитных катализаторов в конверсии попутных нефтяных газов C_3-C_4 в арены // Автореф. дисс. на соис. уч. степени канд. хим. наук. Томск. – 2016. – 24 с.

ISSN 3030-3907