

УДК 541.128.542.547

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2025.3.2

О ПРОЦЕССЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕГИДРОДИМЕРИЗАЦИИ МЕТАНА В С₂-УГЛЕВОДОРОДЫ НА БИНАРНЫХ ВИСМУТСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ

**© А. М. Сардарлы, Т. А. Аббасова, Ф. К. Пашаева,
С. Ч. Агаева**

*Институт катализа и неорганической химии им. акад. М. Нагиева
Республика Азербайджан, Аз1143 г. Баку, пр. Г. Джавида, 113.*

Email: iradam@rambler.ru

Прямое преобразование метана, основного компонента природного газа, в более ценные углеводороды С₂ (этан и этилен) открывает значительные возможности для утилизации природного газа. В данной статье исследован потенциал бинарных висмутсодержащих катализаторов в окислительной дегидродимеризации метана. Способность висмута активировать метан и способствовать образованию связей С-С делает его перспективным катализитическим материалом. Объединение висмута с другим металлом или оксидом (например, молибденом, ванадием, ниобием) в бинарном катализаторе дает возможность повысить активность и селективность по отношению к продуктам С₂. В этом обзоре обсуждаются ключевые аспекты этого подхода, включая механизм реакции, роль висмутового компонента и со-катализатора, а также проблемы, связанные с контролем селективности продукта и стабильности катализатора. Несколько висмутсодержащих бинарных оксидов Bi-M (M = Mn, Al, Pb, Sr, Ti, Zr, Sn, W) изучены при 730 °C в качестве катализаторов промышленно перспективной реакции окислительной дегидродимеризации метана в этан и этилен. Фазовый состав наиболее эффективных из них (Bi-Mn, Bi-Pb, Bi-Al) исследован методом рентгенографического анализа; выявлены их катализитически активные компоненты. Изученные в работе бинарные оксидные системы приготовлены методом термического разложения совместно осажденных гидроксидов металлов. Исходными соединениями служили в основном азотнокислые соли металлов, в случае титана и олова – хлориды, а при синтезевольфрамсодержащего контакта – паравольфрамат аммония. Введением малых количеств оксидов щелочных металлов, особенно Li, в состав Bi-Mn оксида удалось улучшить показатели его действия и достичь довольно значимых значений выхода целевых веществ ~20% при 47%-ной конверсии метана и суммарной селективности по этану и этилену 47–48%.

Ключевые слова: окислительная дегидродимеризация метана, этан, этилен, оксиды щелочных металлов, промоторы, катализитически активные компоненты, фазовый состав.

Введение

Окислительное дегидрирование углеводородов – сравнительно новый тип гетерогенно-катализитических реакций с участием кислорода, позволяющих получать ценные для практики дегидродимеры из доступного сырья [1–5]. Так, показана перспектива создания эффективного катализитического метода получения этана и этилена из метана, являющегося основным компонентом природного газа и в значительных количествах содержащегося в газах нефтедобычи, нефтепереработки и нефтехимии. По причине высокой стабильности и инертности в химических реакциях метан способен селективно превращаться в углеводороды С₂ при умеренно высоких температурах (700–800 °C) лишь при наличии окислителя и в присутствии активного и селективного катализатора. Анализ литературы в области окислительной дегидродимеризации метана [6–9] показывает, что в этой реакции почти не изучены висмутсодержащие оксидные системы, многие из которых способны катализировать дегидросочетание низших олефинов и толуола [10–12]. Представляло интерес выяснить, насколько они эффективны в аналогичной реакции метана.

Методика эксперимента

Изученные в работе бинарные оксидные системы приготовлены методом термического разложения совместно осажденных гидроксидов металлов. Исходными соединениями служили в основном азотнокислые соли металлов, в случае титана и олова – хлориды, а при синтезе вольфрамсодержащего контакта – паравольфрамат аммония. Осаджение гидроксидов производили 25%-ным водным раствором аммиака с последующим упариванием образующихся суспензий при перемешивании. Полученную массу формовали, сушили при 130 °C и подвергали ступенчатой прокалке на воздухе в течение 12 часов. Верхнюю температуру прокалки (800 °C) выбирали исходя из условий катализитической реакции. Фазовый состав прокаленных катализаторов изучали методом рентгенографии на дифрактометре ДРОН-0.5. Удельную поверхность образцов измеряли хроматографически по тепловой десорбции аргона. Катализитическую активность висмутсодержащих оксидных систем в реакции окислительного превращения метана определяли в стеклянной проточной установке. Установка состоит из узла подготовки, регулирования и измерения расходов подаваемых из товарных баллонов газов (квалификации «ч»)

с содержанием основного вещества 99.8%, дополнительно очищаемых и осушаемых в колонках с никельхромовым катализатором, активированным углем, молекулярными ситами и кобальтированным силикагелем); обогреваемого электропечью реактора, изготовленного из кварцевой трубы диаметром 15 мм и имеющего U-образную форму, и аналитического блока (хроматограф типа ЛХМ, через металлический шестиходовой кран соединенный с установкой). Опыты выполнены в условиях, принятых в данной части за стандартные: температура 730 °C, состав смеси, об.-%: CH₄ – 30, O₂ – 20, N₂ – 50, время контакта 12 с [13–14].

Результаты и их обсуждение

Результаты определения активности и селективности бикомпонентных висмутсо-держащих оксидов в реакции окислительной дегидродимеризации метана приведены в табл. 1.

Таблица 1

Кatalитические свойства бинарных висмутсодержащих оксидов
в окислительном превращении метана

Катализатор, Bi/M = 0.5	Конверсия CH ₄ , %	Селективность, %		
		этан	этан	CO ₂
Bi–Mn–O	41.6	24.3	10.4	65.2
Bi–Al–O	25.0	13.9	24.9	61.2
Bi–Pb–O	23.0	22.0	14.8	63.2
Bi–Sr–O	18.0	17.4	10.2	72.4
Bi–Ti–O	13.0	следы	следы	99
Bi–Zr–O	11.0	12.2	6.3	81.5
Bi–Sn–O	1.0	следы	следы	99
Bi–W–O	1.0	следы	следы	99

* Bi/Al = 1

Продуктами реакции были диоксид углерода, этан и этилен. Образование моноксида углерода и каких-либо других кислородсодержащих соединений практически не наблюдали.

Активность исследованных систем существенно зависит от природы второго компонента [15–17]. На олово- и вольфрамсодержащих образцах степень превращения метана (почти полностью в CO₂) не превышала 1%. Наиболее эффективными в целевой реакции оказались висмут-марганцевая, висмут-алюминиевая и висмут-свинцовая оксидные композиции, катализирующие образование C₂-углеводородов с 35–38%-ной избирательностью при заметной (до 42%) глубине превращения метана. Варьированием состава висмут-свинцовой оксидной системы во всей области концентраций компонентов, включая индивидуальные оксиды, установлено (рис. 1а), что наилучшие показатели в целевой реакции демонстрирует представленный в табл. 1 образец с атомным отношением Bi/Pb = 0.5. Активные селективные Bi–Pb оксидные образцы, судя по нашим рентгенографическим данным и данным [18–20], представляют собой полифазные системы, содержащие наряду с исходными оксидами также ряд соединений (Bi₂O₃·PbO, 3Bi₂O₃·2PbO, Bi₂O₃·2PbO и т.п.). Среди висмут-алюминиевых катализаторов разного состава (рис. 1б) наибольшие значения выхода (12%) и селективности (41%) в отношении этана и этилена наблюдаются у контакта с 50–60 ат.% висмута; оксид алюминия катализирует только глубокое окисление метана. По данным рентгенофазового анализа, наиболее активные в образовании C₂-углеводородов висмут-алюминиевые образцы содержат в своем составе фазу α-Bi₂O₃ в сочетании с одним или двумя соединениями Bi₂Al₄O₉, BiAlO₃ и Bi₂₄Al₂O₃₉. Соединение Bi₂Al₄O₉, в заметных количествах наблюдаемое в катализаторах, обогащенных алюминием, по-видимому, малоселективно в реакции оксидегидродимеризации метана.

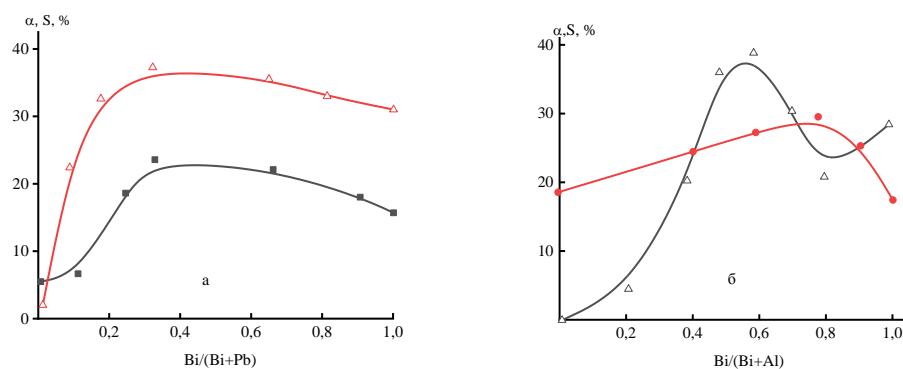


Рис. 1. Зависимости степени превращения метана (темные точки) и селективности в отношении C₂-углеводородов (светлые точки) от состава висмут-свинцовой (а) и висмут-алюминиевой (б) оксидных систем.

Данные по катализитической активности висмут-марганцевой оксидной системы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Катализитические свойства висмут-марганцевой оксидной системы
в окислительном превращении метана

Атомное отношение Bi:Mn	Удельная поверхность, м ² /г	Конверсия CH ₄ , %	Селективность, %			Выход C ₂ , %
			Этилен	Этан	CO ₂	
0:100	5.3	25.8	Следы	Следы	99	—
11:89	4.7	45.0	6.2	4.7	89.1	4.5
25:75	4.9	34.4	22.2	9.4	68.4	9.9
33:67	3.8	41.7	24.3	10.4	65.3	14.4
43:57	4.4	37.7	10.1	6.4	83.5	6.1
67:33	7.1	37.0	13.3	6.9	79.9	7.5
100:0	6.3	15.7	17.2	14.0	68.8	4.9

Индивидуальный оксид марганца катализирует только глубокое окисление метана, но бинарные сочетания его с оксидом висмута характеризуются более высокой в сравнении с Bi₂O₃ активностью в реакции оксидегидродимеризации метана. При 730 °C наибольший суммарный выход этана и этилена (14.4%) наблюдается на катализаторе с содержанием висмута 33 ат.%. Этот показатель при повышении температуры до 780 °C возрастает до 16.4%. Дальнейшее повышение температуры приводит к резкому снижению активности катализатора, вызванному его плавлением и спеканием с кварцевым стеклом, из которого был изготовлен реактор. Согласно данным рентгенографического анализа (рис. 2), свежеприготовленный индивидуальный оксид висмута представляет собой чистую α-Bi₂O₃. Оксид марганца является смесью Mn₃O₄ca-Mn₂O₃, количество которой не превышает 10–15%. Кроме этих оксидов, свежеприготовленные бикомпонентные катализаторы содержат фазу с наиболее интенсивными рефлексами при d/n = 2.96, 3.12 и 5.76. Анализ значений межплоскостных расстояний и интенсивностей всех линий этой фазы позволил идентифицировать ее как соединение Bi₂Mn₄O₁₀. Из него практически нацело состоит образец с оптимальным для его образования соотношением висмута к марганцу (33 ат.% Bi, 67 ат.% Mn). Она преобладает в образцах, содержащих 23 и 43 ат.% Bi, и в небольших количествах присутствует также и катализаторах с 11 и 67 ат.% Bi (основными фазами в них являются соответственно α-Mn₂O₃ и α-Bi₂O₃). В условиях реакции соединение Bi₂Mn₄O₁₀ в составе проработавшего в течение 2 ч Bi–Mn катализатора с 33 ат.% висмута частично (~25–30%) распадается на α-Bi₂O₃ и α-Mn₂O₃ (рис. 3).

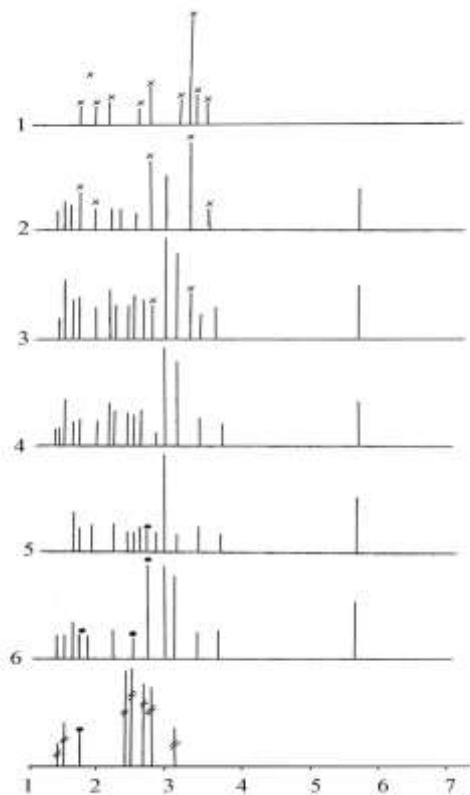


Рис. 2. Штрихрентгенограммы Bi–Mn оксидной системы. 1 – Bi₂O₃, 2 – Bi:Mn = 67:33, 3 – Bi:Mn = 43:57, 4 – Bi:Mn = 33:67, 5 – Bi:Mn = 25:75, 6 – Bi:Mn = 11:89, 7 – Mn_xO_y.

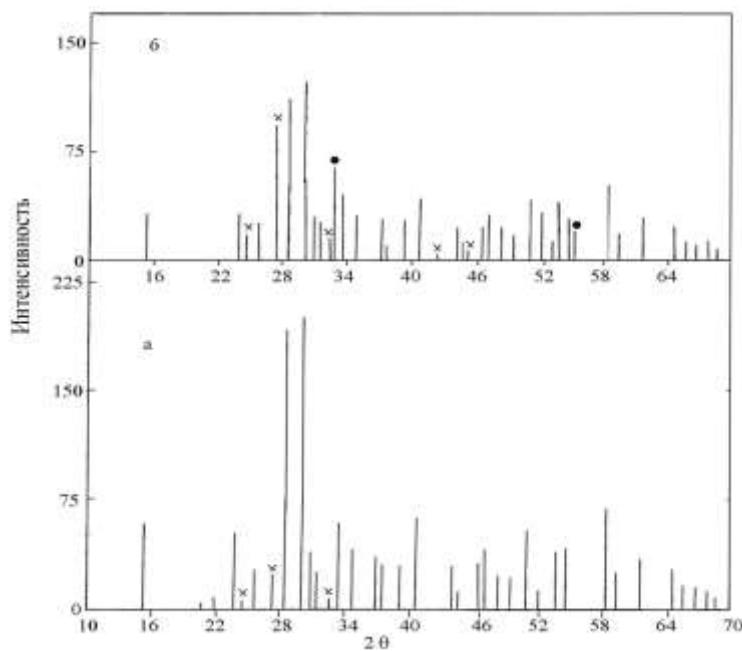


Рис. 3. Штрихрентгенограммы Bi–Mn оксидного катализатора с содержанием висмута 33 ат.% до (а) и после (б) реакции окислительного превращения метана.
× – Bi_2O_3 , • – Mn_2O_3 , | – $\text{Bi}_2\text{Mn}_4\text{O}_{10}$.

Наиболее эффективный из изученных Bi–Mn катализаторов с атомным отношением $\text{Bi}/\text{Mn} = 0.5$ промотирован добавлением к исходным растворам нитратов висмута и марганца на стадии их совместного осаждения аммиаком и небольших количеств гидроксидов щелочных элементов – калия, натрия и лития. Предварительными экспериментами показано, что такой метод синтеза модифицированных висмут-марганцевых катализаторов более эффективен, чем пропитка гидроксидами щелочных металлов готового Bi–Mn контакта.

На рис. 4 представлены данные о влиянии количества лития на каталитические свойства висмут-марганцевой оксидной композиции. Видно, что введение в ее состав 2.8 ат.% лития увеличивает как степень превращения метана, так и суммарную избирательность по углеводородам C_2 [21]. При дальнейшем увеличении концентрации добавки эти показатели снижаются. По-видимому, содержание щелочной добавки 2.8 ат.% близко к оптимальному. Исходя из этого, в Bi–Mn катализатор были введены такие же количества натрия и калия. Результаты определения каталитической активности модифицированных контактов в одинаковых условиях даны в табл. 3.

Таблица 3

Показатели реакции оксидегидродимеризации метана на Bi–Mn ($\text{Bi}/\text{Mn} = 0.5$) оксидных катализаторов, модифицированных 2.8 ат.% щелочных металлов

Катализатор	Конверсия CH_4 , %	Селективность			Выход C_2 , %
		Этилен	Этан	CO_2	
Bi–Mn	41.7	24.3	10.4	65.3	14.4
Bi–Mn–K	43.0	21.9	14.7	63.4	15.7
Bi–Mn–Na	43.9	24.8	14.3	60.9	17.2
Bi–Mn–Li	46.8	28.3	14.8	56.9	20.2
*48.0		31.2	15.3	53.5	22.3

*- данные при 780 °C.

Видно, что эти щелочные добавки благоприятно сказываются на показателях висмут-марганцевого катализатора, повышая как степень превращения метана, так и избирательность образования этилена и этана. На калий- и натрийсодержащих образцах выход C_2 -углеводородов составляет 16–17% против 14.4% на немодифицированном катализаторе. Еще более эффективной является добавка лития: содержащий его контакт дает при 730 °C более чем 20%-ный выход целевых веществ, возрастающий при повышении температуры реакции до 760 °C до 22.3%. Суммарная избирательность по этану и этилену при этом достигает 47%.

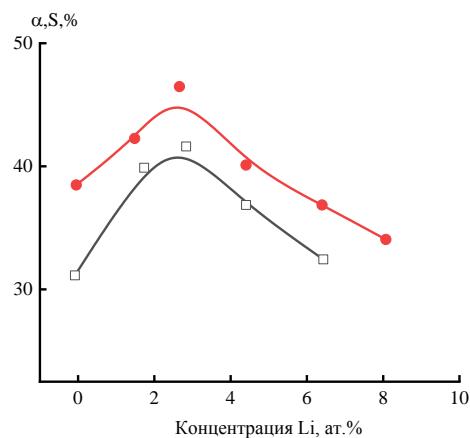


Рис. 4. Влияние количества введенного в Bi–Mn катализатор лития на конверсию метана (1) и селективность образования C₂ – углеводородов (2) при 730 °C.

Заключение

При окислительной дегидротермализации метана в углеводороды C₂ с использованием бинарных висмут-содержащих катализаторов, с помощью введения малых количеств оксидов щелочных металлов, особенно Li, в состав Bi–Mn оксида удалось улучшить показатели его действия, и это открывает значительные перспективы для эффективной конверсии природного газа в ценное химическое сырье. Уникальная способность висмута активировать метан в сочетании с возможностью избирательного образования связей C–C в бинарных катализаторах делает этот подход привлекательным способом использования природного газа [22]. Несмотря на то, что остаются проблемы с контролем селективности продукта и обеспечением стабильности катализатора, текущие исследования активно направлены на устранение этих ограничений. Продолжающееся исследование конструкции катализатора, условий реакции и понимания механизма будет иметь решающее значение для реализации всего потенциала этой технологии. Разработка эффективных и надежных катализаторов на основе висмута может проложить путь к более устойчивому и универсальному подходу к конверсии природного газа, открывая новые возможности для химической промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

- Murthy R., Liu Y., Wu G., Diao Y., Shi C. Oxidative coupling of methane: perspective for high-value C₂ chemicals // Journal Crystals. 2021. No. 11(9). P. 1011. DOI: 10.3390/cryst11091011.
- Deng J., Chen P., Xia S., Zheng M., Song D., Lin Y., Liu A., Wang X., Zhao K., Zheng A. Advances in oxidative coupling of methane // Atmosphere. 2023. No. 14(10). P. 1538–1549.
- Chen R., Weng G. M. Sustainable Energy Resources for Driving Methane Conversion // Adv. Energy Mater. 2023. No. 13(36). P. 1734. DOI: 10.1002/aenm.202301734.
- Huang J., Zhao K., Jiang S., Kang S., Lin Y., Huang Z., Zheng A., Zhao Z. // Heteroatom-doping regulated Mg_xMnO₈ for improving C₂-hydrocarbons during chemical looping oxidative coupling of methane // Fuel Process. Technol. 2022. Vol. 235. Art. 107352. DOI: 10.1016/j.fuproc.2022.107352.
- Мамедов Э. А., Соколовский В. Д. Окислительная дегидротермализация углеводородов. Новосибирск: Наука. 1992. 187 с.
- Аншиц А. Г., Воскресенская Е. Н. Окислительная конденсация метановой процесс переработки природного газа // Соросовский образовательный журнал. 1999. No. 9. С. 38–43.
- Egorysheva A. V., Ellert O. G., Zubavichus Y. V., Gajtko O. M., Efimov N. N., Svetogorov R. D., Murzin V. Yu. New complex bismuth oxides in the Bi₂O₃–NiO–Sb₂O₅ system and their properties // Journal of Solid State Chemistry. 2015. Vol. 225. P. 97–104. DOI: 10.1016/j.jssc.2014.12.001.
- Dapcevic A., Poleti D., Karanovic L., Miladinovic J. M. Investigation of Bi₂O₃-rich part of Bi₂O₃–PbO phase diagram // Journal of the Serbian Chemical Society. 2017. Vol. 82. No. 12. P. 1433–1444. DOI: 10.2298/JSC17071111D.
- Мамедов Э. А. Окислительные реакции дегидротермализации и циклизации ненасыщенных углеводородов на оксидных катализаторах // Успехи химии. 1981. Т. 50. №3. С. 544–567.
- Shyamkumar S., Reshma P. R., Muthuambika T., Parida S. K., Ganeshan R. The standard molar enthalpies of formation of PbBi₁₂O₁₉(s) and ϕ -Pb₅Bi₈O₁₇(s) by solution calorimetry // Journal of Chemical Thermodynamics. 2021. Vol. 155. DOI: 10.1016/j.jct.2020.106351.
- Байдикова И. В., Висловский В. П., Мустафаев Н. М., Мамедов Э. А., Ризаев Р. Г. Окислительная дегидротермализация метана на висмут-содержащих оксидных катализаторах // Кинетика и катализ. 1991. Т. 32. №2. С. 483–486.
- Yan L., Zhang J., Gao X., Song F., Wang X., Zhang T., Liu X., Meng X., Zhang Q., Han Y., Tan Y. Oxidative coupling of methane over Mo–Sn catalysts // Journal Chemical Communication. 2021. No. 98. P. 13297–13300. DOI: 10.1039/D1CC04821J.
- Минаев Х. М., Усачев Н. Я., Удут В. Н., Ходаков Ю. С. Окислительная конденсация метана – новый путь синтеза этилена и других углеводородов // Успехи химии. 1988. Т. 57. №3. С. 385–404.
- Murthy R. Investigation on Sr doped La₂Ce₂O₇ pyrochlore as effective catalyst for oxidative coupling of methane // Mod. Chem. Ind. 2021. DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.
- Sourav S., Wang Y., Kiani D., Baltrusaitis J., Fushimi R. R., Wachs I. E. Resolving the types and origin of active oxygen species present in supported Mn-Na₂WO₄/SiO₂ catalysts for oxidative coupling of methane // ACS Catalysis. 2021. Vol. 11(16). P. 10288–10293. DOI: 10.1021/acscatal.1c02315.

16. Kiani D., Sourav S., Wachs I. E., Baltrusaitis J. Oxidative coupling of methane (OCM) by SiO₂-supported tungsten oxide catalysts promoted with Mn and Na // ACS Catal. 2019. No. 9. P. 5912–5928. DOI: 10.1021/acscatal.9b01585.
17. Wang P., Zhao G., Liu Y., Lu Y. TiO₂-doped Mn₂O₃-Na₂WO₄/SiO₂ catalyst for oxidative coupling of methane: solution combustion synthesis and MnTiO₃-dependent low-temperature activity improvement // Appl. Catal. A: Gen. 2017. Vol. 544. P. 77–83. DOI: 10.1016/j.apcata.2017.07.012.
18. Бармин И. В., Кунис И. Д. Сжиженный природный газ: вчера, сегодня, завтра. Москва. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2009. 256 с.
19. Kolesnichenko N. V., Ezhova N. N. Snatenkova, Y. M. Single-atom catalysts in methane chemistry // Russian Chemical Reviews. 2023. Vol. 92(5). RCR5079. DOI: 10.57634/RCR5079.
20. Yoon S., Lim S., Choi J. W., Suh D. J., Song K. H., Ha J. M. // Study on the unsteady state oxidative coupling of methane: Effects of oxygen species from O(2), surface lattice oxygen, and CO₂ on the C₂₊ selectivity // RSC Adv. 2020. No. 10. P. 35889–35897. DOI: 10.1039/DORA06065H.
21. Kondratenko E. V., Peppel T., Seeburg D., Kondratenko V. A., Kalevaru N., Martin A., Wohlrab S. // Methane conversion into different hydrocarbons or oxygenates: Current status and future perspectives in catalyst development and reactor operation //Catal. Sci. Technol. 2017. No. 7. P. 366–381. DOI: 10.1039/C6CY01879C.
22. Sun W., Zhao G., Gao Y., Si J., Liu Y., Lu Y. An oxygen carrier catalyst toward efficient chemical looping-oxidative coupling of methane // Appl. Catal. B: Environ. 2022. Vol. 304. Art. 120948. DOI: 10.1016/j.apcatb.2021.120948.

Поступила в редакцию 20.02.2025 г.

ON THE PROCESS OF OXIDATIVE DEHYDRODIMERIZATION OF METHANE INTO C₂-HYDROCARBONS ON BINARY BISMUTH-CONTAINING CATALYSTS

**© A. M. Sardarly*, T. A. Abbasova, F. K. Pashayeva,
S. Th. Agayeva**

*Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M. Nagiyev
113 H.Javid pr. Az-1143 Baku, Republic of Azerbaijan.*

**Email: afet.sardarly@gmail.com*

Direct conversion of methane, the main component of natural gas, into more valuable C₂ hydrocarbons (ethane and ethylene) opens up significant opportunities for natural gas utilization. This article explores the potential of binary bismuth-containing catalysts in the oxidative dehydromerization of methane. Bismuth's ability to activate methane and promote the formation of C–C bonds makes it a promising catalytic material. Combining bismuth with another metal or oxide (e.g. molybdenum, vanadium, niobium) in a binary catalyst provides the opportunity to increase activity and selectivity towards C₂ products. This review discusses key aspects of this approach, including the reaction mechanism, the role of the bismuth moiety and cocatalyst, and the challenges associated with controlling product selectivity and catalyst stability. Several bismuth-containing binary oxides Bi–M (M = Mn, Al, Pb, Sr, Ti, Zr, Sn, W) have been studied at 730°C as the catalysts for the industrially promising reaction of oxidative dehydromerization of methane into ethane and ethene. Phase composition of most efficient of them (Bi–Mn, Bi–Pb, Bi–Al) was investigated by XRD; the nature of their catalytically active components was revealed. The binary oxide systems studied in this work were prepared by the thermal decomposition of co-precipitated metal hydroxides. The starting compounds were mainly metal nitrate salts, in the case of titanium and tin – chlorides, and in the synthesis of tungsten-containing contact – ammonium paratungstate. The practically valuable yields of the aimed C₂-hydrocarbons (~20–22%) at the methane conversion of 47% and total selectivity to ethane and ethene of 47–48% were reached by means of the insertion of small amounts of alkali metal oxides, especially Li, into Bi–Mn oxide.

Keywords: methane oxidative dehydromerization, etane, alkali metal oxide promoters, catalysts active components, phase composition.

Received 20.02.2025.

О б авторах / About the authors

САРДАРЛЫ Афет Мадат кызы

Институт катализа и неорганической химии
им. акад. М. Нагиева Министерства Науки и Образования
Азербайджанской Республики, Республика Азербайджан
Научный сотрудник
Researcher ID: AZE 14486108

SARDARLY Afet Madat

Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry
named after Acad. M. Nagiyev of the Ministry of Science and Education
of the Republic of Azerbaijan, Republic of Azerbaijan
Researcher
ORCID ID: 0009-0005-6429-6853
Researcher ID: AZE 14486108

АББАСОВА Тамилла Агагасан

Институт катализа и неорганической химии
им. акад. М.Нагиева Министерства Науки и Образования
Азербайджанской Республики, Республика Азербайджан
Ведущий научный сотрудник
Researcher ID: AA4620384

ABBASOVA Tamilla Agagasan

Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry
named after Acad. M. Nagiyev of the Ministry of Science and Education
of the Republic of Azerbaijan, Republic of Azerbaijan
Leading researcher
ORCID ID: 0009-0007-7104-1423.
Researcher ID: AA4620384

ПАШАЕВА Фирзуза Керим

Институт катализа и неорганической химии
им. акад. М.Нагиева Министерства Науки и Образования
Азербайджанской Республики, Республика Азербайджан
Ведущий научный сотрудник
Researcher ID: AZEN^o 02439633

PASHAEVA Firuza Kerim

Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry
named after Acad. M. Nagiyev of the Ministry of Science and Education
of the Republic of Azerbaijan, Republic of Azerbaijan
Leading researcher
ORCID ID: 0009-0007-7189-854X
Researcher ID: AZEN^o 02439633

АГАЕВА Сабина Чингиз

Институт катализа и неорганической химии
им. акад. М.Нагиева Министерства Науки и Образования
Азербайджанской Республики, Республика Азербайджан
Старший лаборант
Researcher ID: AA2177774

AGHAYEVA Sabina Chingiz

Senior Assistant, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry
named after Acad. M.Nagiye of the Ministry of Science and Education
of the Republic of Azerbaijan, Republic of Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0003-4119-6337
Researcher ID: AA2177774