

Сопряженные процессы окисления легких углеводородов

В.С. Арутюнов², М.Дж. Погосян¹, Н.М. Погосян¹, С.Д. Арсентьев^{1*}, Л.Н. Стрекова²¹Институт химической физики им. А.Б. Налбандяна НАН Республики Армения,
ул. Паруйра Севака, 5/2, Ереван, Республика Армения²Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН,
ул. Косыгина, 4, Москва, Россия

ARTICLE INFO

Получено
16.03.2026Получено в исправленном виде
19.05.2026Принято
10.06.2026**Ключевые слова:**этилен; пропилен; окисление
углеводородов; сопряженные
процессы; оксигенаты

АННОТАЦИЯ

В серии экспериментальных исследований процессов сопряженного окисления предельных и непредельных легких углеводородов показано их существенное взаимное влияние на кинетику процесса и выход продуктов. Установлено, что сопряженные процессы окисления смесей этилена с метаном повышают выход пропилена. Экспериментально и методом численного моделирования показано, что окисление смесей этилена с пропаном может служить источником прямого, некаталитического получения пропилена и оксидов олефинов непосредственно из пропана. При этом в процессе не расходуется относительно дорогой этилен. Сопряженное окисление этилена с *n*-бутаном позволяет повысить эффективность получения ряда оксигенатов.

1. Введение

Одной из важнейших задач современной химической науки является поиск возможностей повышения эффективности использования природных ресурсов и создания более эффективных технологий переработки углеводородного сырья. Простейшие углеводороды, такие как метан, этан, пропан, бутан, являются основной составляющей природного газа. Окислительная конверсия этих углеводородов служит источником олефинов, кислородсодержащих органических соединений, синтез-газа, водорода [1, 2].

Природный газ, а также попутные нефтяные газы (ПНГ) содержат, как правило, смесь легких углеводородов, а газы нефтепереработки (нефтезаводские газы – НЗГ) включают к тому же и высокую концентрацию непредельных углеводородов. Поэтому процессы сопряженного окисления присутствующих в них предельных и непредельных углеводородов привлекают внимание потенциальной возможностью создания новых процессов получения ряда востребованных продуктов. Соответственно, растет интерес исследователей к получению новой информации о механизме их

протекания. В частности, в работах [3–9] было показано, что введение этилена в исходную смесь позволяет повысить выход пропилена в процессах окисления метана, а также пропана. При окислении этана введение этилена в исходную смесь делает процесс более плавным и облегчает управление им [10]. Исследование сопряженного окисления этилена и пропилена [11] позволило экспериментально определить эффективную энергию активации эпоксидирования этих олефинов пероксидными радикалами.

Низшие олефины – этилен и пропилен – представляют собой многотоннажное сырье для получения широкого ассортимента различных соединений (тяжелые олефины, полимеры, спирты, эпоксиды, ПАВ и т.п.). При этом актуальной остается проблема разработки процессов их производства с более высокими показателями селективности, конверсии, рентабельности.

Одним из наиболее перспективных методов получения ненасыщенных углеводородов является окислительный крекинг алканов. Подобные процессы выгодны термодинамически [12], а также исключают образование тяжелых продуктов, в частности смол [13].

*Corresponding author: S.D. Arsentev; E-mail address: arsentiev1953@gmail.com

В данной работе приводятся результаты исследования процессов сопряженного окисления простейшего олефина – этилена с метаном, пропаном и *n*-бутаном, который может рассматриваться как метод получения пропилена и кислородсодержащих органических соединений.

2. Экспериментальная часть

Эксперименты проводили в проточных условиях в двухсекционном кварцевом реакторе [14]. Реактор состоял из двух кварцевых цилиндров ($l_1 = 160$, $l_2 = 170$ мм) диаметром 45 мм, соединенных перегородкой в виде пакетов кварцевых трубок внутренним диаметром 3 мм и длиной 40 мм, которая разделяла процессы, протекающие в секциях реактора. Температуру в реакторе измеряли хромель-алюмелевой термопарой, помещенной в пассивированный борной кислотой кварцевый чехол.

Анализ продуктов осуществляли хроматографически. На колонке, заполненной полимерным сорбентом полисорб-1 ($l = 3$ м, $d = 3$ мм, $T_{\text{кол}} = 105$ °С, $Q = 30$ см³/мин, газ-носитель – гелий), разделяли метанол, этанол, ацетальдегид, оксид этилена. Углеводороды C_1 – C_4 разделяли на колонке, заполненной силипором-600 ($l = 3$ м, $d = 3$ мм, $T_{\text{кол}} = 90$ °С, $Q = 24$ см³/мин, газ-носитель – гелий). Водород, кислород, метан и CO разделяли на колонке, заполненной молекулярным ситом СаА ($l = 2$ м, $d = 3$ мм, $T_{\text{кол}} = 90$ °С, $Q = 24$ см³/мин, газ-носитель – аргон). Во всех случаях детектором служил катарометр.

Методика хроматографического анализа исходных реагентов и продуктов реакции подробно описана в работе [15].

3. Результаты и обсуждение

Окислительная конверсия смесей этилена с метаном. Простейшим процессом сопряженного окисления предельных и непредельных углеводородов является окисление смесей метана и этилена. Исследование процесса окисления этилена проводили в смеси $N_2:C_2H_4:O_2 = 4:2:1$. С целью изучения влияния метана на процесс часть азота в исходной смеси заменяли на метан. При этом начальные концентрации этилена и кислорода, а также общее давление оставались неизменными. Зависимость состава продуктов окисления этилена от соотношения CH_4/O_2 в исходной смеси приведена на рис. 1.

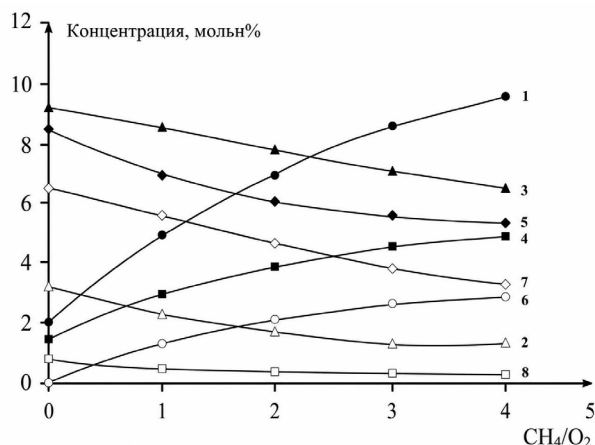
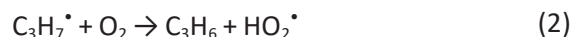


Рис. 1. Зависимость состава продуктов окисления этилена от соотношения CH_4/O_2 . 1 – C_3H_6 , 2 – H_2 ($\times 10^{-1}$), 3 – CO ($\times 10^{-1}$), 4 – C_2H_6 , 5 – $\Delta[C_2H_4]$ ($\times 10^{-1}$), 6 – $\Delta[CH_4]$ ($\times 10^{-1}$), 7 – C_4H_8 , 8 – C_3H_8 . $(CH_4 + N_2):C_2H_4:O_2 = 4:2:1$. $T = 893$ К.

Как видно из рис. 1, при увеличении концентрации метана в исходной смеси выход пропилена возрастает почти в пять раз. При этом содержание CO, H_2 , пропана в продуктах реакции снижается.

Наблюдаемое повышение выхода пропилена в присутствии метана можно объяснить реакцией присоединения образующихся при окислении метана метильных радикалов $CH_3^{\bullet}$ к этилену по реакции (1) с последующими реакциями превращения пропильного радикала в пропилен (2) и (3):



Таким образом, используя добавки метана, можно в простом газофазном процессе окисления этилена получить заметный выход более ценного и востребованного пропилена.

Окислительная конверсия смесей этилена с пропаном. В качестве еще одной интересной возможности получения пропилена можно рассматривать сопряженное окисление этилена с пропаном. В табл. 1 и 2 представлены экспериментальные результаты, полученные при окислении смесей, содержащих и не содержащих этилен.

Сопоставление приведенных в табл. 1 и 2 экспериментальных результатов показывает, что добавление этилена в исходную смесь существенно влияет на ход процесса, меняя соотношение продуктов реакции. Так, повышаются выходы углеводородов – пропилена, бутана, бутенов, а также

Таблица 1. Влияние температуры на конверсию пропана $K_{C_3H_8}$, селективность образования пропилена $S_{C_3H_6}$ и концентрации образовавшихся продуктов (мольн.%) при окислении смеси $N_2:C_3H_8:O_2 = 3:5:1$

T, °C	C_3H_6	C_2H_4	C_4H_{10}	C_4H_8	H_2	CH_4	CO	C_2H_4O	$S_{C_3H_6}$, %	$K_{C_3H_8}$, %
490	4,24	5,23	0,18	0	1,23	6,14	4,27	0,42	31,8	27,1
526	5,07	6,32	0,38	0	2,12	7,70	4,73	0,41	32,7	32,7
567	6,14	7,65	0,52	0	4,03	9,47	5,35	0,36	32,9	39,2
624	6,94	9,39	0,57	0,04	5,61	11,77	5,06	0,30	32,2	46,0
674	7,61	10,38	0,54	0,07	7,07	13,64	5,06	0,23	32,6	51,2
726	7,73	12,14	0,36	0,26	9,62	16,44	4,83	0,08	30,5	61,4
780	5,74	14,56	0,18	0,71	12,76	22,27	4,94	0,03	20,5	85,2

Таблица 2. Влияние температуры на конверсию пропана $K_{C_3H_8}$, селективность образования пропилена $S_{C_3H_6}$ и концентрации образовавшихся продуктов (мольн.%) при окислении смеси $C_2H_4:C_3H_8:O_2 = 3:5:1$

T, °C	C_3H_6	C_4H_{10}	C_4H_8	H_2	CH_4	CO	C_2H_4O	$K_{(C_2H_4)}$, %	$K_{(C_3H_8)}$, %	$\Delta[C_2H_4]$
485	5,76	0,41	0,03	0,94	5,23	4,54	0,91	8,7	19,7	19,1
538	6,64	0,48	0,10	1,62	6,71	5,35	0,77	8,9	24,4	19,6
574	7,12	0,54	0,15	2,45	7,79	5,50	0,91	8,9	28,3	19,6
622	7,83	0,62	0,18	3,86	10,29	5,65	0,74	9,3	35,4	20,5
674	8,62	0,58	0,27	5,10	11,77	6,59	0,68	11,3	38,8	24,8
726	9,04	0,39	0,64	8,20	15,39	6,82	0,36	12,0	48,0	26,3
777	7,65	0,18	1,29	12,27	21,06	6,59	0,03	13,6	64,1	29,9

оксида этилена. При этом рост температуры приводит к повышению выхода бутенов, снижению выхода оксида этилена, а максимальная концентрация бутана проходит через максимум.

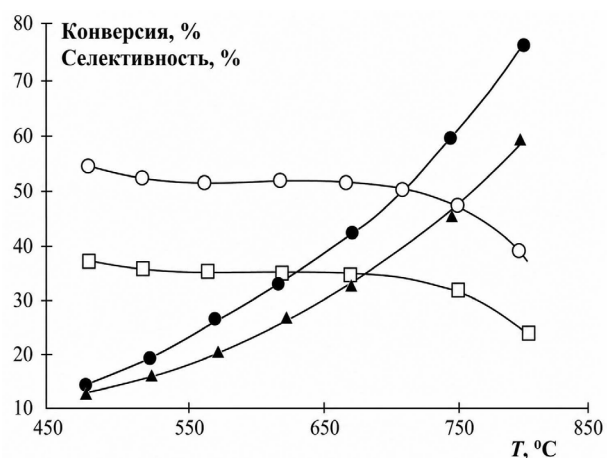
На рис. 2 показано влияние температуры на конверсию пропана и селективность образования пропилена при окислении этилена в присутствии и в отсутствие в исходной смеси метана. Исследовалось окисление смесей $N_2:C_3H_8:O_2 = 4,5:8:1$ и $C_2H_4:C_3H_8:O_2 = 4,5:8:1$ при $P = 660$ Торр.

Интересным является тот факт, что, в ряде случаев (смесь состава $C_2H_4:C_3H_8:O_2 = 4,5:8:1$), подаваемый в реакционную зону этилен, практически не расходуется. Очевидно, что в ходе процесса устанавливается равновесие между количеством расходуемого и образующегося при окислении пропан-этиленовой смеси этилена. В то же время, несмотря на постоянство концентрации этилена в реакторе, его введение в исходную смесь заметно повышает выход целевого пропилена.

Обнаруженное явление подтверждается также расчетами с применением методов численного моделирования.

Вычисления проводились с использованием программы Chemkin 19.2 [16]. В качестве возмож-

ных моделей окисления углеводородов были опробованы наборы реакций GRI-Mech 3.0 [17], San Diego [18], Aramco-Mech 3.0 и NUIGMech1.1 [19]. Механизм GRI-Mech 3.0, так же как и механизм San Diego, не учитывает образования алкилпероксильных радикалов. Механизм AramcoMech

**Рис. 2.** Влияние температуры на конверсию пропана (•) и селективность образования пропилена (□) в отсутствие метана, а также конверсию пропана (Δ) и селективность образования пропилена (○) в присутствии метана. $\tau = 4,5$ с.

3.0 дает неудовлетворительные результаты по временам протекания процесса и концентрациям продуктов реакции.

После введения в механизм NUIGMech 1.1 реакций продолжения цепей с участием алкилпероксильных радикалов было получено соответствие между экспериментальными и расчетными данными по времени протекания процесса и максимальным концентрациям продуктов окисления пропана [20].

На рис. 3 приведены кинетические кривые, отражающие изменение концентрации этилена при его различных содержаниях в исходной реагирующей смеси.

Как видно из рис. 3, этилен, входящий в состав исходной смеси в количестве 15 мол.% (кривая 4), практически не расходуется в ходе процесса, что вполне соответствует эксперименту. Эксперименты показали также, что наблюдаемый эффект может быть получен при пониженных давлениях (до 150 Торр) и более высоких концентрациях

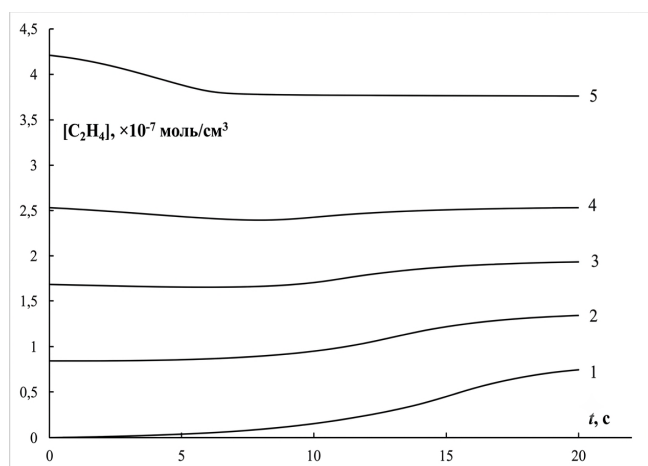


Рис. 3. Изменение во времени концентрации этилена при его различных содержаниях в исходной реакционной смеси. 1 – $[C_2H_4]_0 = 0$, 2 – 5, 3 – 10, 4 – 15, 5 – 25 мол.%. $C_3H_8:O_2:(C_2H_4 + N_2) = 2:1:1$, $T = 450\text{ }^{\circ}C$, $P = 1\text{ атм}$.

кислорода. Данный факт позволяет проводить процесс окислительной конверсии смесей пропана с этиленом с прямым получением целевых продуктов, расходуя только дешевый пропан.

Расчетным путем исследовалась также возможность получения промышленно важного продукта – оксида этилена при сопряженном окислении пропан-этиленовых смесей. В табл. 3 обобщены данные по влиянию исходной концентрации этилена и температуры процесса на выход оксида этилена.

Из табл. 3 видно, что увеличение содержания этилена в исходной смеси при всех температурах приводит к росту максимальной концентрации оксида этилена. Учитывая тот факт, что, в определенных условиях, процесс превращения пропан-этиленовой смеси происходит без расхода олефина, полученный результат может рассматриваться как перспектива получения оксида этилена непосредственно из пропана.

Окисление смесей *n*-бутана с этиленом. Еще одним интересным примером сопряженного окисления предельного и непредельного углеводорода является совместное окисление этилена и *n*-бутана в условиях, при которых этилен в отсутствие бутана не окисляется. В первой серии экспериментов исследовали влияние концентрации *n*-бутана в исходной смеси на выход оксигенатов. При изменении исходной концентрации *n*-бутана в смеси $C_2H_4:O_2:(N_2 + n-C_4H_{10}) = 1:3:1$ общее давление поддерживалось неизменным за счет варьирования концентрации азота.

В табл. 4 приводятся данные, полученные при окислении этилен-бутановых смесей как экспериментально, так и расчетным путем. Можно видеть, что максимальные концентрации формальдегида, ацетальдегида, метанола и оксида этилена увеличиваются с ростом начальной концентрации *n*-бутана.

Таблица 3. Влияние концентрации этилена в исходной смеси и температуры реактора на максимальную концентрацию оксида этилена. $C_3H_8:O_2:(C_2H_4 + N_2) = 2:1:1$, $P = 1\text{ атм}$

$[C_2H_4]_0$, %	Максимальная концентрация оксида этилена, 10^{-7} моль/см ³				
	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
0	0,093	0,220	0,333	0,405	0,42
5	0,400	0,880	0,940	0,871	0,760
10	0,666	1,460	1,500	1,320	1,09
15	0,905	1,980	2,030	1,750	1,410
25	1,230	2,820	2,980	2,540	2,020

Таблица 4. Экспериментально измеренные и рассчитанные максимальные концентрации кислородсодержащих продуктов реакции, полученные при различном содержании *n*-бутана в исходной смеси состава ($N_2 + C_2H_4$): O_2 :*n*- C_4H_{10} = 1:3:1. P = 250 торр и T = 280 °C

$[C_2H_4]_0 \cdot 10^{-7}$ моль/ cm^3	Максимальные концентрации (10^{-7} моль/ cm^3)							
	CH_2O		CH_3CHO		CH_3OH		C_2H_4O	
	счет	эксп	счет	эксп	счет	эксп	счет	эксп
2,899	3,194	3,31	0,396	0,41	0,231	0,24	0,206	2,47
5,798	3,708	3,92	0,907	1,12	0,741	0,97	0,268	3,02
8,696	3,955	4,29	1,466	1,81	1,385	1,53	0,309	3,45
11,595	4,157	4,63	2,050	2,53	2,050	2,37	0,339	3,61
14,494	4,35	5,01	2,668	3,11	2,589	2,74	0,355	3,82

Таблица 5. Экспериментально измеренные и рассчитанные максимальные концентрации кислородсодержащих продуктов реакции, полученные при различном содержании этилена в исходной смеси состава ($N_2 + C_2H_4$): O_2 :*n*- C_4H_{10} = 1:3:1. P = 250 торр и T = 280 °C

$[C_2H_4]_0 \cdot 10^{-7}$ моль/ cm^3	Максимальные концентрации (10^{-7} моль/ cm^3)					
	CH_2O		CH_3CHO		C_2H_4O	
	эксп	счет	эксп	счет	эксп	счет
0	2,64	2,44	2,62	2,47	0,02	0,015
7,2	3,51	3,4	2,71	2,58	0,19	0,167
14,5	5,01	4,35	3,11	2,67	0,37	0,336

Также исследовалось влияние исходной концентрации этилена на процесс окисления этилен-бутановых смесей. В табл. 5 приведены данные, полученные как экспериментально, так и расчетным путем.

Анализ данных табл. 5 показывает, что максимальные концентрации всех оксигенатов увеличиваются с ростом концентрации этилена. В частности, максимальная концентрация оксида этилена увеличивается в 18,5 раз.

Типичная кинетика накопления продуктов реакции, полученная при окислении смеси $C_2H_4:O_2:n-C_4H_{10}$ = 1:3:1, представлена на рис. 4.

Таким образом, показано существенное взаимное влияние предельных и непредельных углеводородов как на состав и выход продуктов, так и на кинетику процесса при их сопряженном окислении.

4. Заключение

В серии экспериментальных исследований процессов сопряженного окисления предельных и непредельных легких углеводородов показано их существенное взаимное влияние на кинетику

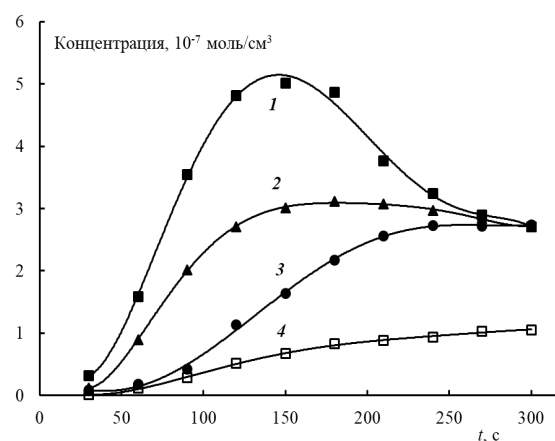


Рис. 4. Кинетические кривые накопления формальдегида (1), ацетальдегида (2), метанола (3) и оксида этилена (x3) (4) при P = 250 торр и T = 280 °C в смеси $C_2H_4:O_2:n-C_4H_{10}$ = 1:3:1.

процесса и выход продуктов. Установлено, что сопряженные процессы окисления смесей этилена с метаном повышают выход пропилена. Экспериментально и методом численного моделирования показано, что окисление смесей этилена с пропаном может служить источником прямого, некаталитического получения пропилена и окси-

дов олефинов непосредственно из пропана. При этом в процессе не расходуется относительно дорогой этилен. Сопряженное окисление этилена с *n*-бутаном позволяет повысить эффективность получения ряда оксигенатов. В целом следует отметить, что получение ценных соединений, в частности пропилена, а также оксидов олефинов непосредственно из доступных алканов, таких как пропан и *n*-бутан, является существенным преимуществом предлагаемого некаталитического способа в сравнении с существующими промышленными аналогами.

Author Contributions

Vladimir Arutyunov: Formal Analysis; Writing – Original Draft; analyzed the results and prepared the manuscript. **Mikhail Pogosyan:** Methodology; Investigation; developed the experimental methodology and conducted the experimental studies. **Narek Pogosyan:** Investigation; conducted the experimental studies. **Sergey Arsentiev:** Investigation; Formal Analysis; conducted the experimental studies and analyzed the results. **Lyudmila Strekova:** Investigation; Writing – Review & Editing; conducted the literature review and revised the manuscript.

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- [1]. V.I. Savchenko, V.S. Arutyunov, I.G. Fokin, A.V. Nikitin, I.V. Sedov, et al. Oxidative conversion of wet and associated gases into fuels for power plants. *Journal Natural Gas Science Engineering* 31 (2016) 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.03.004>.
- [2]. V. Arutyunov. Technological prospects of noncatalytic partial oxidation of light alkanes. *Review Chemical Engineering* 37 (2019) 99-123. <https://doi.org/10.1515/revce-2018-0057>.
- [3]. N.M. Poghosyan, M.D. Poghosyan, L.N. Strekova, L.A. Tavadyan, V.S. Arutyunov. Effect of the Concentrations of Methane and Ethylene on the Composition of the Product of Their Co-oxidation. *Russian Journal of Physical Chemistry B* 9 (2015) 218-222 <https://doi.org/10.1134/S1990793115020104>.
- [4]. N.M. Poghosyan, M.D. Poghosyan, S.D. Arsentiev, L.N. Strekova, L.A. Tavadyan, et al. Oxidative Pyrolysis of Propane with an Admixture of Ethylene. *Petroleum Chemistry* 56 (2016) 834-838. <https://doi.org/10.1134/S0965544116090176>.
- [5]. N.M. Poghosyan, M.D. Poghosyan, S.D. Arsentiev, L.A. Tavadyan, L.N. Strekova, et al. Propylene Synthesis by Copyrolysis of Propane and Ethylene. *Petroleum Chemistry* 60 (2020) 316-320. <https://doi.org/10.1134/S0965544120030172>.
- [6]. S.D. Arsentev, A.H. Davtyan, Z.H. Manukyan, L.A. Tavadyan, L.N. Strekova, et al. Kinetic Modeling of the Effect of the Conditions of Conjugate Oxidation of Propane and Ethylene on the Yield of Propylene. *Russian Journal of Physical Chemistry B* 18 (2024) 125-131. <https://doi.org/10.1134/S1990793124010020>.
- [7]. V. Arutyunov, N. Poghosyan, M. Poghosyan, L. Tavadyan, O. Shapovalova, et al. The production of olefins by conjugated oxidation of light hydrocarbons. *Chemical Engineering Journal* 329 (2017) 231-237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.05.109>.
- [8]. N.M. Pogosyan, M.D. Pogosyan, O.V. Shapovalova, L.N. Strekova, L.A. Tavadyan, et al. Formation of Olefins during Conjugate Partial Oxidation of Light Hydrocarbons. *Collective monograph Technological Combustion*, p. 114-129. Moscow, 2018. (In Russ.).
- [9]. N.M. Pogosyan, M.D. Pogosyan, O.V. Shapovalova, A.V. Nikitin, L.N. Strekova, et al. Production of Olefins by Conjugate Oxidation of Light Hydrocarbons. *Combustion and Explosion* 9(1) (2016) 83-90. (In Russ.).
- [10]. E.A. Arakelyan, S.D. Arsentev, A.A. Mantashyan, Peculiarities of oxidation of ethane-ethylene mixtures. *Petrochemistry* 27 (1987) 776-779.
- [11]. R.R. Grigoryan, S.D. Arsentev, A. A. Mantashyan, Thermal oxidation of ethylene-propylene mixtures. Epoxidation reaction, *Chemical Physics* 4 (1985) 75-78. (In Russ.).
- [12]. V.S. Arutyunov, O.V. Krylov. Oxidative conversion of methane. *Russian Chemical Reviews* 74 (2005) 1111-1137. <https://doi.org/10.1070/rc2005v074n12abeh001199>.
- [13]. C.S. McEnally, L. Pfefferle, B. Atakan, K. Kohse-Hoinghaus. Studies of aromatic hydrocarbon formation mechanisms in flames: Progress towards closing the fuel gap. *Progress in Energy and Combustion Science* 32 (2006) 247. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2005.11.003>.
- [14]. M.J. Pogosyan, N.M. Pogosyan, S.D. Arsenyev. Study of the regularities of gas-phase non-catalytic oxidation of n-butane-ethylene mixtures.

- Petrochemistry 64 (2024) 226-231. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0028242124030049>.
- [15]. R.R. Grigoryan, S.D. Arsentev, A.A. Mantashyan. Ethylene Epoxidation under the Effect of Gas Phase Thermal Oxidation of Methane. Petroleum Chemistry 51 (2011) 448-453. <https://doi.org/10.1134/S0965544111060041>.
- [16]. ANSYS Academic Research CFD. License of Semenov Research Center of Chemical Physics. Customer ID 1080307.
- [17]. GRI-Mech 3.0. Available online: <http://combustion.berkeley.edu/gri-mech/releases.html>.
- [18]. The San Diego Mechanism. Available online: <https://web.eng.ucsd.edu/mae/groups/combustion/mechanism.html>.
- [19]. Combustion Chemistry Centre, University of Galway. Mechanism Downloads. Available online: <http://c3.nuigalway.ie/combustionchemistry-centre/mechanismdownloads/>.
- [20]. S.D. Arsentev, L.A. Tavadyan, M.G. Bryukov, A.S. Palankoeva, A.A. Belyaev, et al. Kinetic Modeling of Propane Oxidation in the Temperature Range of 700 to 1100 K. Russian Journal of Physical Chemistry B 16 (2022) 1019. <https://doi.org/10.1134/S1990793122060021>.

About the authors

V.S. Arutyunov – Dr. Sci. (Chem.), N.N. Semenov FRC CP RAS, Moscow, Russia
E-mail: v_arutyunov@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0339-0297>

M.D. Poghosyan – Senior Researcher, Cand. Sci. (Chem.), A.B. Nalbandyan IChPh, NAS RA, Yerevan, Armenia
E-mail: m-poghosyan@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4750-8165>

N.M. Poghosyan – Junior Researcher, Cand. Sci. (Chem.), A.B. Nalbandyan IChPh, NAS RA, Yerevan, Armenia
E-mail: narek-poghosyan@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0913-2037>

S.D. Arsentev – Head of the Department Laboratory Director, Dr. Sci. (Chem.), A.B. Nalbandyan IChPh, NAS RA, Yerevan, Armenia
E-mail: arsentiev1953@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9146-3304>

L.N. Strekova – Cand. Sci. (Chem.), N.N. Semenov FRC CP RAS, Moscow, Russia
E-mail: strekova@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-5963>

Conjugated processes of the oxidation of light hydrocarbons

V.S. Arutyunov², M.J. Poghosyan¹, N.M. Poghosyan¹, S.D. Arsentev^{1*}, L.N. Strekova²

¹A.B. Nalbandyan Institute of Chemical Physics, NAS of the Republic of Armenia, Paruyra Sevak Str., 5/2, Yerevan, Republic of Armenia

²N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics, RAS, Kosygina Str., 4, Moscow, Russia

ABSTRACT

A series of experimental studies of the conjugate oxidation of saturated and unsaturated light hydrocarbons demonstrated their significant mutual influence on process kinetics and product yield. It was established that conjugate oxidation of ethylene-methane mixtures increases propylene yield. Experiments and numerical modeling demonstrated that the oxidation of ethylene-propane mixtures can serve as a source for the direct, non-catalytic production of propylene and olefin oxides directly from propane. Moreover, the process does not consume relatively expensive ethylene. The conjugate oxidation of ethylene with *n*-butane improves the efficiency of producing a number of oxygenates.

Keywords: ethylene, propylene, hydrocarbon oxidation, conjugated processes, oxygenates

Жеңіл көмірсутектердің конъюгатты тотығу процестері

В.С. Арутюнов², М.Дж. Погосян¹, Н.М. Погосян¹, С.Д. Арсентьев^{1*}, Л.Н. Стрекова²

¹А.Б. Налбандян ат. Химиялық физика институты, Армения Республикасы ҰҒА, Паруира Севак к., 5/2, Ереван, Армения Республикасы

²Н.Н. Семенов РҒА Химиялық физика бойынша федералды ғылыми-зерттеу орталығы, Косыгина к., 4, Мәскеу, Ресей

АҢДАТПА

Қаныққан және қанықпаған жеңіл көмірсутектердің конъюгатты тотығуының бірқатар эксперименттік зерттеулері олардың процестің кинетикасы мен өнім шығымына айтарлықтай өзара әсерін көрсетті. Этилен-метан қоспаларының конъюгатты тотығу процестері пропилен шығымын арттыратыны анықталды. Тәжірибелер мен сандық модельдеу этилен-пропан қоспаларының тотығуы пропаннан тікелей, каталитикалық емес пропилен мен олефин оксидтерін өндіру көзі бола алатынын көрсетті. Сонымен қатар, процесс салыстырмалы түрде қымбат этиленді тұтынбайды. Этиленді n-бутанмен бірге тотықтыру бірқатар оксигенаттарды өндіру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: этилен, пропилен, көмірсутектердің тотығуы, бірге тотығу процестері, оксигенаттар