

СИНТЕЗ ФИШЕРА-ТРОПША НА ПРОМОТИРОВАННЫХ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ

Попов А.Ю.

Омский государственный технический университет, Омск, Россия,

popov_a_u@list.ru

В статье методом тройной пропитки получены кобальтовые катализаторы на основе оксида алюминия с использованием промотора диоксида циркония. Проведены испытания на лабораторной установке синтеза Фишера-Тропша, в результате которых изучено влияние температуры ФТ-синтеза, добавок промотора ZrO_2 (3 % масс.) в катализатор и добавок кобальта с 10 до 30 % (масс.) в Со-катализатор на конверсию оксида углерода, выход жидких продуктов C_{5+} , селективность образования углеводородов CH_4 и C_2-C_5 . Определены оптимальные температуры, при которых образуется наибольшее количество углеводородных продуктов. Проведена сравнительная характеристика приготовленных Со-катализаторов на их активность и селективность в отношении образования синтетических углеводородов. Установлено, что промотирование Со-катализатора оксидом циркония (3 % масс.) приводит к существенному повышению выхода C_{5+} и селективности образования углеводородов C_1-C_5 . При сравнении приготовленных Со-катализаторов выявлено, что катализатор с содержанием кобальта 20 % (масс.) является наиболее активным для получения наибольшего выхода углеводородов.

Ключевые слова: синтез-газ, кобальтовые катализаторы, промотор, синтез Фишера-Тропша, конверсия, селективность, углеводороды

ҚҰРАМЫНДА КОБАЛЬТ БАР ПРОМОТОРЛАНҒАН КАТАЛИЗАТОРЛАРДАҒЫ ФИШЕР-ТРОПШ СИНТЕЗІ

Попов А.Ю.

Омск мемлекеттік техникалық университеті, Омск, Ресей,

popov_a_u@list.ru

Мақалада цирконий диоксиді промоторын қолдана отырып, алюминий оксиді негізіндегі кобальт катализаторлары үш есе сіндіру әдісімен алынды. Зерттеулер Фишер-Тропш синтезінің зертханалық қондырғысында жүргізілді, нәтижесінде ФТ-синтез температурасының, ZrO_2 промотор қоспаларының (мас 3%) әсері катализаторға және кобальт қоспаларына 10-нан 30% - ға дейін (масс.) көміртегі оксидін конверсиялауға арналған бірлескен катализаторға, C_{5+} сұйық өнімдерінің шығымы, C_4 және C_2-C_5 көмірсутектерінің түзілу селективтілігіне әсері зерттелді. Көмірсутек өнімдерінің ең көп мөлшері пайда болатын оңтайлы температура анықталды. Синтетикалық көмірсутектердің түзілуіне қатысты олардың белсенділігі мен селективтілігіне дайындалған Со катализаторларының салыстырмалы сипаттамасы жүргізілді. Со - катализаторды цирконий оксидімен (3 % масс.) белсендіру көмірсутектер түзілуінің шығымдылығы C_{5+} мен C_1-C_5 селективтілігінің айтарлықтай артуына әкелетіні анықталды. Дайындалған Со катализаторларды салыстыру кезінде кобальт мөлшері 20 % (масс.) болатын катализатор көмірсутектердің ең көп мөлшерін алу үшін ең белсенді екендігі анықталды.

Түйінді сөздер: синтез-газ, кобальт катализаторлары, промотор, Фишер-Тропш синтезі, конверсия, селективтілік, көмірсутектер.

FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS ON PROMOTED COBALT-CONTAINING CATALYSTS

Popov A.Y.

Omsk State Technical University, Omsk, Russian,

popov_a_u@list.ru

In this article, cobalt catalysts based on alumina using a zirconium dioxide promoter were obtained by triple impregnation. Tests were carried out on a laboratory Fischer-Tropsch synthesis unit, as a result of which the influence of the temperature of FT synthesis, the addition of a ZrO₂ promoter (3% wt.) to the catalyst and the addition of cobalt from 10 to 30% (wt.) to the Co-catalyst on the conversion of the oxide was studied. carbon, yield of liquid C₅₊ products, selectivity of formation of hydrocarbons CH₄ and C₂-C₅. The optimal temperatures at which the largest amount of hydrocarbon products are formed have been determined. A comparative characterization of the prepared Co-catalysts was carried out for their activity and selectivity with respect to the formation of synthetic hydrocarbons. It has been established that promotion of the Co-catalyst with zirconium oxide (3 wt.%) leads to a significant increase in the yield of C₅₊ and the selectivity of the formation of C₁-C₅ hydrocarbons. When comparing the prepared Co-catalysts, it was revealed that the catalyst with a cobalt content of 20% (wt.) is the most active for obtaining the highest yield of hydrocarbons.

Keywords: synthesis gas, cobalt catalysts, promoter, Fischer-Tropsch synthesis, conversion, selectivity, hydrocarbons

Введение. Существует общераспространенное мнение, что химическая переработка угля в синтетические моторные топлива придет на смену нефтепереработке по мере истощения запасов нефти. В частности, альтернативой нефтепереработке является газохими, основанная на химической переработке природного газа, запасы которого, по самым осторожным прогнозам, достаточны на 100-150 лет [1].

Одним из наиболее освоенных в промышленности методов химического превращения органического сырья в топлива является синтез Фишера-Тропша (ФТ-синтез). В последние десятилетия интерес к этому методу значительно возрос в связи с повышением экологических требований, изменением запасов ископаемых энергоносителей и постепенным повышением себестоимости продуктов нефтегазопереработки. В настоящее время в мире (ЮАР, Новая Зеландия, Малайзия, США) по этому методу производят свыше 5 млн тонн углеводородов, моторных топлив и других органических продуктов [2].

Основной целью ФТ-синтеза является создание синтетического заменителя нефти для использования в качестве синтетического смазочного масла или синтетического топлива [3]. В частности, с учетом того, что уголь - наиболее изобильное ископаемое сырье, угольный процесс ФТ-синтеза может найти в ближайшем будущем значительно - более широкое применение, давая не только бензин, но также газойль и топлива нового поколения [4].

Продукты ФТ-синтеза обладают исключительным качеством с точки зрения содержания водорода, однородности молекулы, температуры замерзания, характеристик горения и содержания серы. Эти продукты имеют высокую рыночную стоимость. Углево-

дороды C₅- C₁₀ после изомеризации для повышения октанового числа используются, в основном, в качестве бензинового топлива. Низшие продукты (бутан, пропан) могут также олигомеризоваться в бензин. Тяжелые продукты отправляются на крекинг для получения низкомолекулярных продуктов [5].

Наиболее активными катализаторами синтеза Фишера-Тропша являются Fe, Co, Ni, Ru. В промышленности находят применение исключительно кобальтовые и железные катализаторы, которые отличаются наибольшей активностью в превращении синтез-газа (6).

В последние десятилетия осуществлено большое число исследований в области разработки новых катализаторов ФТ-синтеза [7-10]. При этом, в качестве носителей катализаторов синтеза Фишера-Тропша (особенно кобальтовых) обычно используют индивидуальные оксиды и смешанные оксидные системы, склонные к образованию твердых растворов или шпинельных *структур* (11). Типичными носителями Co-катализаторов являются: силикагель, кизельгур, оксиды алюминия, кремния, титана, магния и циркония, аморфные алюмосиликаты, цеолиты. Природа носителя и его физико-химические характеристики могут оказывать сильное воздействие на активность и селективность контактов. Носитель может также вступать в химическое взаимодействие с металлом, носитель участвует в образовании новых соединений или новых фаз. Сильное взаимодействие металла с носителем может осуществляться по механизму переноса заряда с возникновением частичного положительного заряда на металле [12]. В основном, с увеличением кислотности носителя выход жидких и твердых углеводородов возрастает [13].

Таблица 1 - Основные параметры проведения процесса ФТ-синтеза на катализаторе 10%Co/90% γ -Al₂O₃

Катализаторы	Температура, оС	Конверсия СО, %	Селективность продуктов, %	
			СН ₄	С ₂ -С ₅
10%Co/ 90% γ -Al ₂ O ₃	160	6,4	0,2	0,0
	170	9,7	1,2	0,0
	180	13,8	7,2	1,8
	190	23,1	12,6	4,7
	200	37,5	19,4	9,3
	210	47,3	24,8	13,1
	220	58,1	28,2	14,7
	230	61,2	27,8	12,6

Целью данной работы является получение синтетических углеводородов из моноокси углерода и водорода на кобальтовых катализаторах на основе оксида алюминия (промотированных оксидом циркония) и изучение влияния содержания кобальта и промотора на основные показатели синтеза Фишера-Тропша.

Материалы и методы. Кобальтовые катализаторы готовили методом тройной пропитки. В качестве носителя катализатора использовали гранулированный оксид алюминия γ -Al₂O₃. Промотором в катализаторах служил диоксид циркония ZrO₂, который использовали для повышения активности катализатора и селективности в образовании синтетических углеводородов.

Для приготовления кобальтовых катализаторов для синтеза Фишера-Тропша применяли следующие реактивы: нитрат кобальта шестиводный Co(NO₃)₂·6H₂O и нитрат циркония шестиводный ZrO(NO₃)₂·2H₂O.

Предварительно носитель прокальвали в муфельной печи при температуре 450 °С в течение 5 часов, для удаления посторонних веществ (в том числе особенно углерода).

Каталитические испытания на лабораторной установке ФТ-синтеза проводили с использованием полученных катализаторов следующих составов: 10%Co/90% γ -Al₂O₃, 10%Co/3%ZrO₂/87% γ -Al₂O₃, 20%Co/3%ZrO₂/77% γ -Al₂O₃, 30%Co/3%ZrO₂/67% γ -Al₂O₃.

Эксперимент проводили в две стадии: восстано-

вление катализатора и непосредственно ФТ-синтез. Кобальтовые катализаторы предварительно активировали (восстанавливали) в токе водорода при атмосферном давлении (0,1 МПа) и температуре 450 °С с объемной скоростью подачи синтез-газа 2000 ч⁻¹ в течение 1 часа. Расход водорода составлял 1000 мл/мин.

ФТ-синтез проводили при атмосферном давлении в интервале температур 160-230 °С. Исходную газовую смесь разного состава подавали в соотношении H₂/CO = 2/1 (об.) со скоростью 250 мл/мин при последовательно повышаемой температуре с шагом 10 °С. Продолжительность ФТ-синтеза в изотермических условиях при объемной скорости подачи синтез-газа 500 ч⁻¹ составляла около 12 ч. Непрореагировавшие углеводородные газы отправляли на сброс в вентиляцию.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных экспериментов были синтезированы следующие углеводороды: метан (СН₄); этан (С₂Н₆), пропан (С₃Н₈); изобутан и бутан (С₄Н₁₀); неопентан, изопентан и н-пентан (С₅Н₁₂).

Результаты проведенных исследований по получению синтетических углеводородов представлены в таблицах 1-5 и рисунках 1-6, на которых приведены соответствующие зависимости конверсии оксида углерода и концентрации продуктов СН₄, С₂-С₅ от температуры синтеза на катализаторах с содержанием кобальта в диапазоне 10-30 мас.%. В таблице 5 выход жидких продуктов С₅₊ (г/м³) процесса ФТ-синтеза на исследуемых катализаторах был получен в течение всего времени протекания синтеза.

Таблица 2 - Основные параметры проведения процесса ФТ-синтеза на катализаторе 10%Co/3%ZrO₂/87%γ-Al₂O₃

Катализаторы	Температура, °C	Конверсия CO, %	Селективность продуктов, %	
			CH ₄	C ₂ -C ₅
10%Co/3%ZrO ₂ / 87%γ-Al ₂ O ₃	160	7,5	1,2	0,0
	170	12,4	2,6	1,7
	180	21,2	9,3	4,5
	190	35,9	17,8	10,6
	200	52,7	29,2	19,2
	210	62,8	32,9	16,3
	220	69,5	30,2	15,8

Таблица 3 - Основные параметры проведения процесса ФТ-синтеза на катализаторе 20%Co/3%ZrO₂/77%γ-Al₂O₃

Катализаторы	Температура, °C	Конверсия CO, %	Селективность продуктов, %	
			CH ₄	C ₂ -C ₅
20%Co/3%ZrO ₂ / 77%γ-Al ₂ O ₃	160	10,6	3,6	1,5
	170	18,3	8,1	3,4
	180	35,4	13,8	9,5
	190	59,1	21,9	18,2
	200	73,7	30,2	25,9
	210	76,2	34,2	21,7
	220	78,4	29,4	19,3

Таблица 4 - Основные параметры проведения процесса ФТ-синтеза на катализаторе 30%Co/3%ZrO₂/67%γ-Al₂O₃

Катализаторы	Температура, °C	Конверсия CO, %	Селективность продуктов, %	
			CH ₄	C ₂ -C ₅
30%Co/3%ZrO ₂ / 67%γ-Al ₂ O ₃	160	15,3	2,8	0,2
	170	23,8	10,8	4,1
	180	40,9	19,4	10,9
	190	67,2	25,3	21,5
	200	76,1	31,1	20,1
	210	79,8	33,8	18,4
	220	82,4	31,7	16,8

Таблица 5 - Выход жидких продуктов процесса ФТ-синтеза на исследуемых катализаторах

Катализаторы	Выход C ₅₊ , г/м ³
10%Co/90%γ-Al ₂ O ₃	35
10%Co/3%ZrO ₂ /87%γ-Al ₂ O ₃	47
20%Co/3%ZrO ₂ /77%γ-Al ₂ O ₃	62
30%Co/3%ZrO ₂ /67%γ-Al ₂ O ₃	54

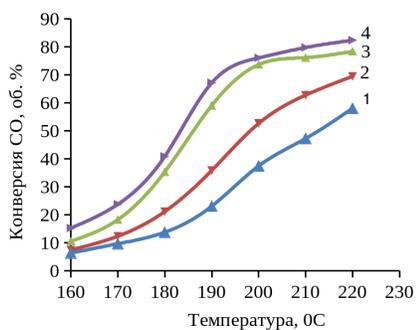


Рис. 1 - Зависимость конверсии CO от температуры синтеза для катализаторов:
 1 - 10%Co/90% γ -Al₂O₃;
 2 - 10%Co/3%ZrO₂/87% γ -Al₂O₃;
 3 - 20%Co/3%ZrO₂/77% γ -Al₂O₃;
 4 - 30%Co/3%ZrO₂/67% γ -Al₂O₃

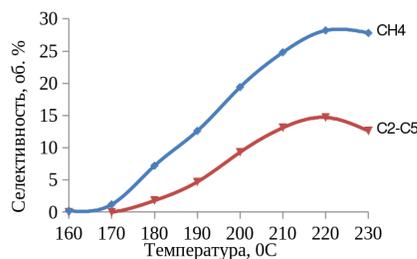


Рис. 2 - Зависимость селективности образования CH₄ и C₂-C₅ от температуры синтеза с применением катализатора 10%Co/90% γ -Al₂O₃

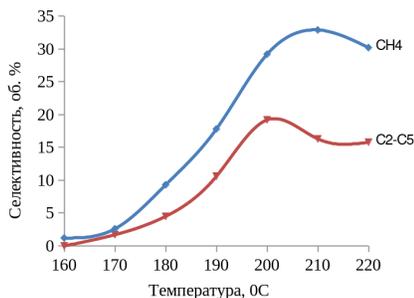


Рис. 3 - Зависимость селективности образования CH₄ и C₂-C₅ от температуры синтеза с применением катализатора 10%Co/3%ZrO₂/87%Al₂O₃

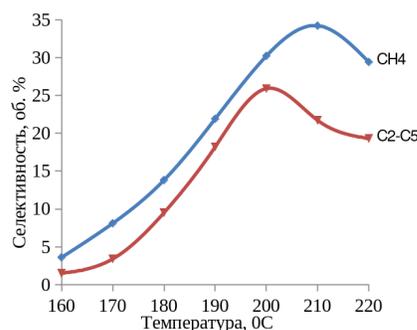


Рис. 4 - Зависимость селективности образования CH₄ и C₂-C₅ от температуры синтеза с применением промотированного катализатора 20%Co/3%ZrO₂/77%Al₂O₃

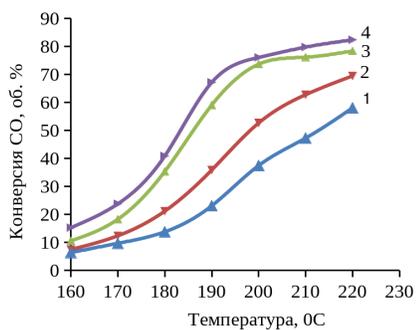


Рис. 5 - Зависимость селективности образования CH₄ и C₂-C₅ от температуры синтеза с применением промотированного катализатора 30%Co/3%ZrO₂/67%Al₂O₃

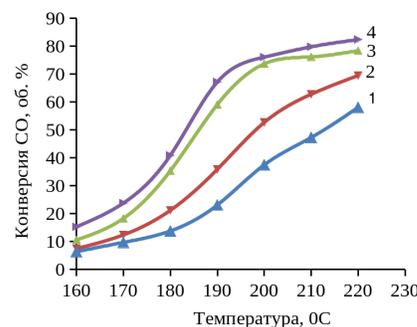
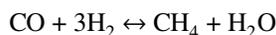


Рис. 6 - Влияние содержания кобальта в катализаторе Co/ZrO₂/Al₂O₃ на селективность углеводородов CH₄ и C₂-C₅

Полученные результаты экспериментов показали, что добавление промотора - двуокиси циркония ZrO_2 в количестве 3% (мас.) к катализатору 10%Co/90% γ - Al_2O_3 приводит к увеличению конверсии CO, выходу C_{5+} (35-47 г/м³) и повышению селективности образования продуктов CH_4 (28,2-32,9%), C_2 - C_5 (14,7-19,2%) при оптимальных температурах их наибольшего образования. При промотированном катализаторе наибольшее количество продуктов C_2 - C_5 , CH_4 получается при более низких температурах (200 °C и 210 °C соответственно), по сравнению с непромотированным катализатором, где оптимальная температура составляла 220 °C.

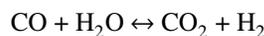
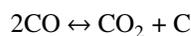
Селективность образования метана выше по сравнению с углеводородами C_2 - C_5 , что связано с тем, что повышение температуры способствует увеличению вероятности обрыва углеводородной цепи. А это способствует преимущественно к образованию относительно небольших молекул метана, чем углеводородов C_2 - C_5 , имеющие более длинную цепь. При этом, образование метана (с одновременным образованием воды) из синтез-газа может происходить путем гидрогенолиза образовавшихся олефинов или прямого гидрирования оксида углерода в соответствии с уравнением:



Рост содержания кобальта с 10 до 20 % (мас.) в катализаторе приводит к увеличению выхода жидких углеводородов (C_{5+}) с 47 до 62 г/м³ и селективности образования газообразных углеводородов CH_4 (32,9-34,2%), C_2 - C_5 (19,2-25,9%) при оптимальных температурах их наибольшего образования. При этом наибольшее количество продуктов C_2 - C_5 и CH_4 наблюдается при температурах соответственно 200 °C и 210 °C. Дальнейшее повышение содержания кобальта до 30 % (мас.) способствует некоторому уменьшению выхода продуктов

C_{5+} с 62 до 54 г/м³ и селективности образования CH_4 (34,2-33,8%), C_2 - C_5 (25,9-21,5%) при оптимальных температурах их наибольшего образования. Данный факт возможно обусловлен уменьшением удельной поверхности катализатора из-за заполнения пор носителя γ - Al_2O_3 частицами металла (кобальта). Вследствие этого уменьшается активность и селективность катализатора.

Следует также отметить, что в состав газа, выходящего из реактора в процессе ФТ-синтеза, образовывались такие побочные продукты, как H_2O и CO_2 . Образование последнего может происходить в результате прохождений реакций диспропорционирования CO (Белла-Будуара) и водяного газа:



При повышении температуры синтеза фактически во всех опытах наблюдалось увеличение доли CO_2 в газе. При этом, выделяющийся в процессе реакции углерод (одновременно с CO_2) приводит к «зауглероживанию» катализатора (а также реактора), что в значительной степени снижает активность и селективность катализатора. Поэтому повышение содержания двуокиси углерода в получаемом газе носит негативный эффект.

Выводы. На основании полученных экспериментальных данных выявлено, что при добавлении промотора ZrO_2 (3 % мас.) в непромотированный катализатор и кобальта с 10 до 20 % (мас.) в промотированный катализатор происходит увеличение конверсии оксида углерода, повышение выхода продуктов C_{5+} и селективности образования CH_4 и C_2 - C_5 . Добавление промотора ZrO_2 (3 % мас.) в непромотированный катализатор приводит к снижению оптимальной температуры T_{opt} , при которой образуются наибольшее количество углеводородов.

Литература

1. Козин В.Г., Солодова Н.Л., Башкирцева Н.Ю., Абдуллин А.И. Современные технологии производства компонентов моторных топлив: учебное пособие - Казань: Изд-во Казан.гос. технол. ун-та.- 2009.- 328 с.
2. Valero M.C., Raybaud P. Cobalt Catalyzed Fischer-Tropsch Synthesis: Perspectives Opened by First Principles Calculations // Catal. Lett. - 2013.- № 143.- pp.1-17.
3. Games G. Speight. Synthetic Fuels Handbook // USA: The McGraw-Hill Companies inc. - 2008. - 421 p.
4. Таймаров М.А., Шакиров И.М. Усовершенствование комплекса для получения угольной нефти // Вестник Казан.технол. ун-та. - 2013. - № 23. - стр.183-185.
5. Ke Liu. Hydrogen and syngas production and purification technologies. - USA: A John Wiley & Sons inc.- 2010.- 546 p.
6. Agung Tri Wijayanta, Md. Saiful Alam, Koichi Nakaso, Jun Fukai. Numerical investigation on combustion

of coal volatiles under various O₂/CO₂ mixtures using a detailed mechanism with soot formation // *Fuel.*, - 2012. - Vol.93. - pp. 670-676.

7. Патент РФ №2389548. Риз Дэвид К. Промотируемый катализатор Фишера-Тропша, способ его получения и способ синтеза углеводородов Фишера-Тропша.- 2010.

8. Saib A.M., Moodley D.J., Ciobic I.M., Hauman M.M., Sigwebela B.H., Weststrate C.J., Niemantsverdriet J.W., van de Loosdrecht J. Fundamental understanding of deactivation and regeneration of cobalt Fischer-Tropsch synthesis catalysts // *Catalysis Today.* - 2010. - № 154. - pp. 271-282.

9. Borg O., Eri S., Blekkan E.A., Storsoter S., Wigum H., Rytter E., Holmen A. Fischer-Tropsch synthesis over γ -alumina-supported cobalt catalysts: Effect of support variables // *Journal of Catalysis.* - 2007. - № 248. - pp.89-100.

10. Lohitharn N., Goodwin Jr. J.G. Impact of Cr, Mn and Zr addition on Fe Fischer-Tropsch synthesis catalysis: Investigation at the active site level using SSITKA // *Journal of Catalysis.* - 2008. - № 257. - pp. 142-151.

11. Zare A., Shiva M., Mirzaei A.A. Effect of calcination and reaction conditions on the catalytic performance of Co-Ni/Al₂O₃ catalyst for CO hydrogenation // *Journal of industrial and engineering chemistry*, 2013. - V.19. - Issue: 6. - pp. 1858-1868.

12. Wenping P., Jacobs G., Kang J., Sparks D., Gnanamani M.K., Pendyala V.R.R., Shafer W.D., Keogh R.A., Graham U.M., Thomas G.A. Fischer-Tropsch synthesis. Effect of alkali, bicarbonate and chloride addition on activity and selectivity // *Catalysis today*, 2013. - V.215. - pp. 73-79.

13. Dachuan Shi, Jimmy A. Faria, Ali A. Rownaghi, Raymond L. Huhnke, Daniel E. Resasco. Fischer-Tropsch Synthesis Catalyzed by Solid Nanoparticles at the Water/Oil Interface in an Emulsion System // *Energy & fuels*, 2013. - Vol.27, Issue 10. - pp. 6118-6124.

References

1. Kozin V.G., Solodova N.L., Bashkirtseva N.Yu., Abdullin A.I. Modern technologies for the production of motor fuel components: a textbook - Kazan: Publishing house Kazan.gos. technol. Univ.- 2009.- 328 p.

2. Valero M.C., Raybaud P. Cobalt Catalyzed Fischer-Tropsch Synthesis: Perspectives Opened by First Principles Calculations // *Catal. Lett.* - 2013.- №143.- pp.1-17.

3. Games G. Speight. Synthetic Fuels Handbook // USA: The McGraw-Hill Companies inc. - 2008. - 421 p.

4. Taimarov M.A., Shakirov I.M. Improvement of the complex for the production of coal oil // *Vestnik Kazan. tekhnol. un-ta.* - 2013. - No. 23. - pp.183-185.

5. Ke Liu. Hydrogen and syngas production and purification technologies. - USA: A John Wiley & Sons inc., 2010.- 546 p.

6. Agung Tri Wijayanta, Md. Saiful Alam, Koichi Nakaso, Jun Fukai. Numerical investigation on combustion of coal volatiles under various O₂/CO₂ mixtures using a detailed mechanism with soot formation // *Fuel.*, 2012. - Vol.93. - pp. 670-676.

7. Patent RF №2389548. Riz Deivid K. The promoted catalyst of synthesis of Fischer-Tropsh, way of his production and way of synthesis of hydrocarbons of Fischer-Tropsh.- 2010.

8. Saib A.M., Moodley D.J., Ciobic I.M., Hauman M.M., Sigwebela B.H., Weststrate C.J., Niemantsverdriet J.W., van de Loosdrecht J. Fundamental understanding of deactivation and regeneration of cobalt Fischer-Tropsch synthesis catalysts // *Catalysis Today.* - 2010. - № 154. - pp.271-282.

9. Borg O., Eri S., Blekkan E.A., Storsoter S., Wigum H., Rytter E., Holmen A. Fischer-Tropsch synthesis over γ -alumina-supported cobalt catalysts: Effect of support variables // *Journal of Catalysis.* - 2007. - № 248. - pp.89-100.

10. Lohitharn N., Goodwin Jr. J.G. Impact of Cr, Mn and Zr addition on Fe Fischer-Tropsch synthesis catalysis: Investigation at the active site level using SSITKA // *Journal of Catalysis.* - 2008. - № 257. - pp.142-151.

11. Zare A., Shiva M., Mirzaei A.A. Effect of calcination and reaction conditions on the catalytic performance of Co-Ni/Al₂O₃ catalyst for CO hydrogenation // *Journal of industrial and engineering chemistry*, 2013. - V.19.

- Issue: 6. - pp. 1858-1868.

12. Wenping P., Jacobs G., Kang J., Sparks D., Gnanamani M.K., Pendyala V.R.R., Shafer W.D., Keogh R.A., Graham U.M., Thomas G.A. Fischer-Tropsch synthesis. Effect of alkali, bicarbonate, and chloride addition on activity and selectivity // Catalysis today, 2013. - V.215. - pp. 73-79.

13. Dachuan Shi, Jimmy A. Faria, Ali A. Rownaghi, Raymond L. Huhnke, Daniel E. Resasco. Fischer-Tropsch Synthesis Catalyzed by Solid Nanoparticles at the Water/Oil Interface in an Emulsion System // Energy & fuels, 2013. - Vol.27, Issue 10. - pp. 6118-6124.

Сведения об авторе

Попов А.Ю.- доктор технических наук, профессор, профессор Омского государственного технического университета, Омск, Российская федерация, e-mail: popov_a_u@list.ru.

Information about author

Popov A. Y. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, e-mail: popov_a_u@list.ru.