

METANNI KATALITIK PIROLIZLAB NANOUGLEROD OLISH REAKSIYASI TEZLIGIGA TURLI OMILLARNING TA'SIRI

To'rayev B.
Abduraximova M
Kungratov K

*Sh.Rashidov nomidagi Samarqand Davlat universiteti akademik litseyi tabiiy fanlar
kafedrasida Kimyo fani o'qituvchilari*

Annotatsiya: Neft yo'ldosh gazlarini katalitik pirolizlab nanouglerod olish reaksiyasida $14\%Ni*4\%Co*7\%Fe*6\%Cu/YUKS$ va $14\%Ni*4\%Co*6\%Fe*4\%Cu*2\%Mo/YUKS$ tarkibli katalizatorlar ishtirokida nanouglerodli qatlamlar hosil bo'lish tezligiga metanni katalitik pirolizlash jarayonining turli parametrlarining ta'siri o'rganilgan. Katalizatorlar ishtirokida nanouglerod hosil bo'lishiga harorat ta'siri bo'yicha tajribalar natijalariga ko'ra, katalizator 1 soat ishlashi davomida 500, 550 va 650°C haroratlarda mos ravishda 7,2; 17,5; 22,2 g/g_{kat} ni tashkil etgan. 2,5 soat davomida 9 g massali katalizatorlar ishtirokida, qatlamining 0,8 sm atrofida qalinlikdagi miqdorlarida, metanning chiziqli tezligi 250 sm/daq bo'lganda turli haroratda nanouglerodning hosil bo'lishi o'rganilganda 650°C da $14\%Ni*4\%Co*6\%Fe*4\%Cu*2\%Mo/YUKS$ da 598 g/soat nanouglerod hosil bo'lishi aniqlangan.

Kalit so'zlar: Neft yo'ldosh gazlari, katalizator, jarayonni o'tkazish haroratlari, nanouglerod, chiziqli tezlik, tekstur xarakteristika, mahsulot unumi.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ НАНОУГЛЕРОДНОЙ РЕАКЦИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПИРОЛИЗА МЕТАНА В НЕФТЯНЫХ СПУТНИКОВЫХ ГАЗАХ

Аннотация. $14\% Ni * 4\% Co * 7\% Fe * 6\% Cu/YUKC$ и $14\% Ni * 4\% Co * 6\% Fe * 4\% Cu * 2\% Mo/YUKC$ в реакции нефтяных газов методом каталитического пиролиза эффект изучено влияние различных параметров процесса каталитического пиролиза метана на скорость образования нанougлеродных слоев в присутствии каталитических катализаторов. По результатам опытов по влиянию температуры на образование нанougлерода в присутствии катализаторов катализатор эксплуатировался в течение 1 часа при температурах 500, 550 и 650 °C соответственно 7,2; 17,5; 22,2 г/г_{кат}. $14\% Ni * 4\% Co * 6\% Fe * 4\% Cu * 2\% Mo/ YUKC$ 598 г/ч Нанougлеродо образование.

Ключевые слова: нефтяные газы, катализатор, температуры процесса, нанougлерод, линейная скорость, текстурные характеристики, выход продукта.

EFFECT OF DIFFERENT FACTORS ON THE SPEED OF NANOUGLEROD REACTION OF CATALYTIC PYROLYZING OF METHANE IN OIL SATELLITE GASES

Annotation. *14% Ni * 4% Co * 7% Fe * 6% Cu / YUKS and 14% Ni * 4% Co * 6% Fe * 4% Cu * 2% Mo / YUKS in the reaction of petroleum gases by catalytic pyrolysis the effect of various parameters of the process of catalytic pyrolysis of methane on the rate of formation of nanocarbon layers in the presence of catalysts was studied. According to the results of experiments on the effect of temperature on the formation of nanocarbon in the presence of catalysts, the catalyst was operated for 1 hour at temperatures of 500, 550 and 650 °C, respectively, 7.2; 17.5; 22.2 g / gkat. 14% Ni * 4% Co * 6% Fe * 4% Cu * 2% Mo / YUKS 598 g / h nanoglerode formation was found.*

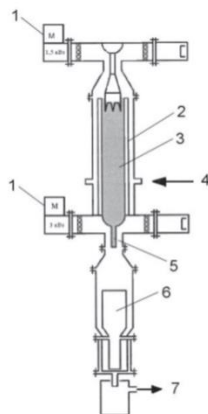
Keywords: *Petroleum gases, catalyst, process temperatures, nanocarbon, linear velocity, texture characteristics, product yield.*

KIRISH

Hozirgi kunda yangi uglerodli materiallar-uglerod nanotrubkalari va fullerenlarga katta e'tibor qaratilmoqda. Ma'lumki neft yo'ldosh gazlari (NYG) quyi molekulyar uglevodorodlardan iborat bo'lib, butun dunyoda metanning parchalanishidan nanouglerod olishda samarali katalizatorlar ishlab chiqarishga katta miqdorda mablag' sarflanadi [1,2,3]. Bu yondashuvning keng tarqalishi texnologik apparatning ixchamligi va uglevodorod manbasining nisbatan arzonligi bilan bog'liq. Fullerenlarning elektronkada qo'llanilishi ularning yarimo'tkazgich xususiyatlari bilan bog'liq bo'lsa, meditsina sohasida ulardan dori-darmonlarni etkazuvchi konteynerlar sifatida foydalanish mumkin. So'nggi foydalanish imkoniyati ularning biologik inertligi bilan xarakterlanadi. Shunga alohida e'tibor qaratish kerakki, bunday kompozit materiallarning optik xususiyatlari ham nazariy, ham amaliy jihatdan katta qiziqish uyg'otadi. Shu sababli, bugungi kunda yangi uglerodli materiallar-fullerenlar [4], uglerod nanotrubkalari [5] va gibrid grafen/uglerodli nanotrubkalar [6] kabi uglerodli nano tuzilmalar ko'plab ajoyib mexanik, optik, elektr va issiqlik xususiyatlariga ega bo'lib, ularni ko'plab sanoat dasturlarida, bunday kompozit materiallar etarlicha katta mustahkamlikka va tribologik xususiyatlarga ega bo'lib, ulardan nanotranzistorlar deb ataluvchi va boshqazamonaviy va kelajak nanoelektronika elementlarini olishda foydalanish mumkin ayniqsa nanotexnologiya sohasida foydalanish uchun istiqbolli materialga aylantiradi. Mutaxassislar birinchi navbatda uglerodli nanotrubkalar, hamda tarkibida uglerod bo'lgan kompozitlarning (sanoatda ishlab chiqarishga yaqin bo'lgan) mexanik xususiyatlariga alohida e'tibor qaratishadi. Ko'pgina tadqiqotlar uglerod nanotrubkalarining fizik shaklini aniq nazorat qilishga muvaffaqiyatli urinishdi [7]. Uglerodli nanotrubkalar asosidagi kompozit materiallarning yorug'likni yutish koeffitsienti birga teng ekanligi yoki ma'lum geometriyali uglerod nanotrubkalari to'g'ri zonali yarim o'tkazgichlar bo'lib, ulardan optoelektronkada keng foydalanish mumkin. Xususan, diametri, grafen qatlamlari soni, nuqsonlar zichligi, uzunligi va boshqalar kabi turli xil o'sish parametrlarining hosil bo'lgan nanotrubkalarining xususiyatlariga ta'siri o'rganildi [8]. Bundan tashqari, nanouglerod

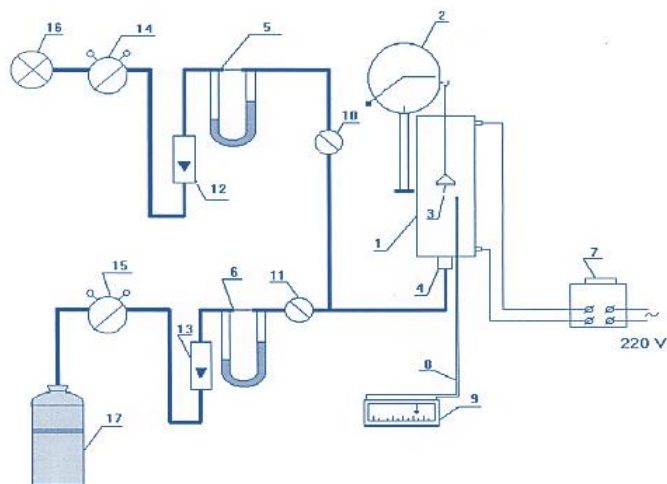
trubkalarining o‘z-o‘zidan yig‘iladigan grafen parchalari [9], nanouglerod trubkalarida grafen qatlamlarining kimyoviy bug‘lanishi [10] va oddiy mexanik aralashtirishga, gibrid (grafen/uglerodli nanotrubkalar) tuzilmalarni tayyorlashga ko‘plab yondashuvlar taklif qilingan. Fullerenlar-uglerodning shakllaridan biri bo‘lgan monomolekulyar birikma bo‘lib, uglerod atomlaridan tashkil topgan qavariq berk ko‘pyoqlardir. Mutaxassislar fullerenlardan mikro, nanoelektronika (uglerod trubkalari bilan bir qatorda) va meditsina sohalarida keng foydalanishga umid qilishmoqda. Uglerod manbai sifatida etilen, atsetilen va metan hozirgi vaqtda eng ko‘p ishlatiladi. Nano o‘lchovli o‘tuvchi metall zarrachalari, oksidi yoki metall shakli yoki aralashmasi katalizator sifatida muvaffaqiyatli ishlatilgan [11]. Ular orasida Fe, Ni va Co tez eriydiganligi va yuqori haroratda uglerod atomlari uchun yuqori tarqalish tezligi tufayli eng ko‘p ishlatiladigan katalizatorlardir [12]. Ma‘lum qilinishicha, temir katalizatori uglevodorodlarning parchalanish jarayonida yuqori katalitik faollikka ega, bu uglerodning yuqori samaradorligiga olib keladi [13]. Bundan tashqari, kobalt katalizatoridan foydalanish nanouglerod trubkalarining grafitlangan bo‘lishiga olib keladi, lekin ularning o‘tkazuvchanligi juda past [14]. Temir yoki kobalt asosidagi katalizatorlarga molibden qo‘shilishi ularning katalitik xususiyatini oshiradi va ingichka nanouglerod trubkasining sintezini rag‘batlantiradi. Nanotrubkalar va fullerenlar [15] ning olinish tarixi bir necha o‘n yilliklarni o‘z ichiga oladi; ularning tabiati va xususiyatlarini tushunishning eng muhim bosqichlari so‘nggi sharhlar va kitoblarda yaxshi ifodalangan [16]. Ishda 2 xil katalizatorida $\text{CH}_4 \xrightarrow{500-650^\circ\text{C va kat}} \text{C}_{\text{nanouglerod}} + 2\text{H}_2$ reaksiyasi bo‘yicha metanning katalitik pirolizlab vodoroddan tashqari, reaksiya paytida qimmatbaho mahsulot - nanotolali uglerod hosil bo‘ladi, uni kompozit materiallarga to‘ldiruvchi sifatida, o‘tga chidamli materiallar sintezi uchun reaktiv sifatida ishlatish mumkin. So‘nggi yillarda bu sohada salmoqli rivojlanish kuzatilmoqdaki.

Tajriba qismi. Ishda O‘zbekiston Respublikasi, Navoiy viloyati, Navbahor tumanidan keltirilgan bentonitdan olingan yuqori kremniyli seolit (YUKS) va organik modda masalan, glitsin va limon kislotasi aralashmasining havoda $\geq 500^\circ\text{C}$ haroratlarda o‘zaro ta’sirlashishidan hosil bo‘lgan kompozit ishlatildi. Navbahor tumanidan keltirilgan bentonitdan olingan mezog‘ovakli YUKS larning katalitik faolligi juda yuqori. NYGlari tarkibidagi metanni katalitik pirolizlab nanouglerod olish reaksiyasi uchun laboratoriya sxemasi tuzildi (1-rasm).



1-rasm. Neft yo'ldosh gazlaridan nanouglerod olish sxemasi: 1-magnetron; 2-reaktor; 3-katalizator 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS; 4-metan gazini kirish joyi; 5-reaksiya mahsulotlari tushadigan kamera; 6-uglerod nanozarrachalari tutqichi; 7-vodorod va qoldiq gazlarni chiqish joyi.

Nanouglerod olish kinetikasini o'rganish uchun ichki diametri 60 mm va uzunligi 400 mm bo'lgan, yuboriladigan gaz aralashmasini bir maromda qizdirish uchun 100 mm ga nasadka bilan to'ldirilgan va pastki yon tomonidan gaz kiritish uchun shtutser bilan jihozlangan oqimli reaktor yig'ildi. Reaktorni qizitish elektropech bilan amalga oshirildi, uning harorati laboratoriya avtotransformatori yordamida boshqarildi. Reaktorning sxemasi quyidagi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Nanouglerod hosil bo'lishi kinetikasini o'rganish uchun eksperimental qurilma sxemasi

1 – reaktor; 2 – torsion tarozi VT-500; 3 – katalizatorli qayiqcha; 4 – gaz fazani kiritish uchun shtutser; 5, 6 – difmanometr; 7 – laborator avtotransformatori; 8 – xromel-alyumelli termopara; 9 millivoltmetr; 10, 11 – bir yo'lakli kran; 12, 13 – rotametr RM-0,25G; 14, 15 – manometrli reduktolar; 16, 17 – gaz manbai.

Nanouglerodning o'ziga xos sirt yuzasi (S_{sol}) va g'ovaklilik (G') Brunauer-Emmett-Teller (BET) usuli yordamida Micromeritics (AQSH) kompaniyasining ASAP 2020 asbobida azotning past haroratli adsorbsiyasi bo'yicha aniqlandi. Azotning adsorbsiyasi - desorbsiya izotermlari 77 K haroratda $P/P_s = 0,0-1,0$ nisbiy bosim oralig'ida qayd etildi. S_{sol} qiymati $P/P_s = 0,05-0,30$ da adsorbsion izotermaga asoslangan BET usuli bilan baholandi. Mezog'ovaklar hajmi va ularning o'lchamlari bo'yicha taqsimoti Barrett, Joyner va Xalenda (BJH) usuli yordamida $P/P_s = 0.35-0.95$ da, mikroporalar uchun bu parametrlar $P/P_s = 0,00 \div 0,01$ diapazonida azot adsorbsiyasi-desorbsiya izotermasi orqali topilgan.

Rentgen fazaviy tahlil DRON-5M markali difraktometrda, nikel filtr bilan filtrlangan misning xarakterli nurlanishi (K_α chiziq) foydalanildi, 20 kV tasvirga olish rejimida o'tkazildi. Uglarodning strukturaviy va morfologik xususiyatlari skanirlovchi va yorituvchi elektron mikroskoplari yordamida o'rganildi. Skanirlovchi elektron mikroskopiyada JSM-6460 mikroskopi ishlatildi. Yorituvchi elektron mikroskopik (YOEM) tasvirlar JEOL JEM-2010 elektron mikroskopi yordamida olindi. Yorituvchi elektron mikroskop 200 kV tezlashtiruvchi kuchlanishda ishlaydi va 0,14 nm o'lchamdagi panjaraga

ega. Derivatografik tahlil havo muhitida F. Pulik, Y. Paulik va L. Erdey sistemasi derivatografida haroratni 1 dan 10°C/daq gacha ko'tarish haroratida amalga oshirildi.

Gaz aralashmalarini qo'shimchalardan tozalash va namdan quritish uchun seolit asosidagi filtrdan foydalanildi. Reaksiyaning gaz moddalarining sifatii va miqdoriy tarkibi gazoxromatografik usulda "Xromatek-Kristall 7000" xromatografida tahlil qilindi.

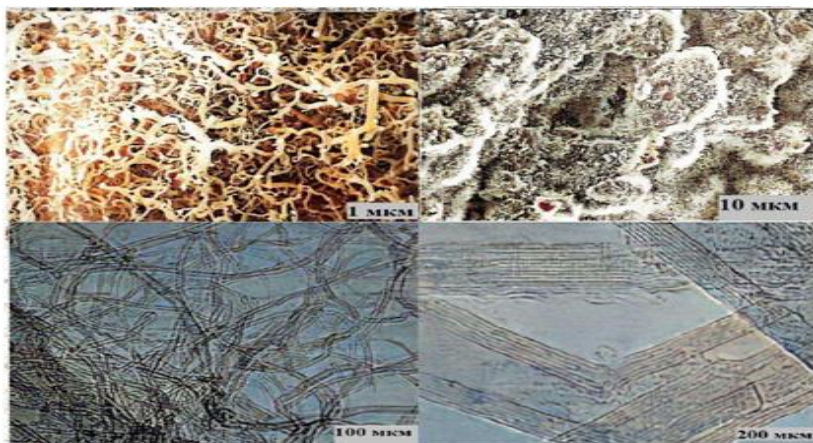
Tajriba natijalari va ularning muhokamasi. 650°C haroratda va 9 g massali katalizatorida metanning 170 sm/daq chiziqli tezligida jarayon davomiyligining ortishi bilan nanouglerodning unumi ortib boradi va 200-240 daqiqadan so'ng doimiy qiymatga erishiladi (1-jadval).

1-jadval

Nanouglerodning unumiga jarayon davomiyligining ta'siri (650°C harorat, 9 g massali 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKSkatibli katalizator, gaz oqimining tezligi 170 sm/daq)

Jarayon davomiyligi, daq	Mahsulotning nanouglerod unumii, g/g
10	0,2
50	0,8
90	3,8
130	6,7
150	8,9
200	12,5
240	17,6

Olingan mahsulotning o'lchami 15-60 nm va tozalik darajasi 96% ni tashkil etadi. Sintez qilingan nanouglerodning JSM-6460 elektron mikroskopi yordamida olingan mikrotasviri 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKSkatalizatorida metan pirolizi mahsuloti mikrotasviri (harorat 650°C, metanning chiziqli tezligi 170 sm/daq, katalizator massasi 9 g)

Katalizator qavati qalinligining nanouglerod unumiga ta'sirini o'rganish bo'yicha tajriba natijalari 2-jadvalda keltirilgan. Ularni olish uchun katalizatorning turli miqdorlari bir xil yuzada bir tekis qatlam bilan taqsimlandi va reaktorda gaz yo'nalishi bo'yicha ularning massasi ortishi yoki kamayishi bilan reaktorga joylashtirildi. Tajribalar 650°C haroratda va gazning 170 sm/daq chiziqli tezligida 240 daq davomida o'tkazildi. Gaz oqimi bo'yicha

katalizator qanday tartibda joylashganiga bog‘liq bo‘lmasdan, balki qatlam qalinligining qiymatiga bog‘liq bo‘lib, nanouglerod unumi qiymatiga ta’sir qilmaydigan qalinlik 1,4 sm dir. Keyingi tadqiqotlarda ichkidiffuzion sohaga to‘g‘ri kelmasligi uchun tajribalar 1 sm ga teng qalinlikda o‘tkazildi.

2-jadval

Katalizator qavati qalinligining nanouglerod unumiga ta’siri (harorat 650°C, gazning 170 sm/daq chiziqi tezligi, tajriba davomiyligi 150 daq, katalizator - 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKS)

№ konteynerlar	Katalizator massasi, g	Katalizator qavati qalinligi, sm	Mahsulot unumi, g/g
Reaktorda metan oqimi harakatlanishi yo‘nalishi bo‘yicha massa ortishi tartibida katalizatorning joylashishi			
1	20,1	0,5	58
2	29,7	0,7	72
3	40,1	0,9	95
4	60,2	1,4	123
5	80,7	1,8	143
Reaktorda metan oqimi harakatlanishi yo‘nalishi bo‘yicha massa kamayishi tartibida katalizatorning joylashishi			
1	19,6	0,5	53
2	29,7	0,7	74
3	41,1	0,9	93
4	59,2	1,4	112
5	79,7	1,8	135

Nanouglerod hosil bo‘lish tezligiga gazning (metan) chiziqi tezligining ta’siri katalizator qavatining 1 sm qalinligida, jarayonni o‘tkazishning 550 va 650°C haroratlarida 10-40 sm/daq oraliqda o‘rganildi. O‘tkazilgan tajriba natijalari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKSkatalizatorida metanning turli chiziqi tezliklarida 150 g/g nanouglerod unumiga erishish vaqti

Tajriba №	550°C		Tajriba №	650°C	
	metanning chiziqi tezligi, sm/daq	vaqt, sekund		metanning chiziqi tezligi, sm/daq	vaqt, sekund
1	59,0	18 35	1	82,6	780
2	88,5	12 55	2	176,9	550
3	118,0	12	3	206,4	280

		90			
4	206,4	12 00	4	235,9	330
5	235,9	23 90	5	294,9	1715

Gazning chiziqli tezligi oshirilganida 150 g/g nanouglerod unumiga erishish jarayoni tezligi ortadi, so'ngra gaz tezliklarining qandaydir oraliq'ida vaqt doimiy qoladi, ma'lum vaqtdan keyin yana o'sishda davom etadi. Harorat ortishi bilan jarayonning tezligi gazning chiziqli tezligiga bog'liq bo'lmasdan gazning kichik tezliklarida, nanouglerod hosil bo'lish jarayoni tezligi reaktor orqali o'tadigan metanning kam miqdori bilan ushlab turiladi.

Chiziqli tezlikning bu qiymatlarida jarayonning eng katta tezligi ta'minlanadi va metan tezligining eng katta chetlanishlari nanouglerod hosil bo'lish tezligiga ta'sir ko'rsatmaydi. Shuning uchun keyingi tadqiqotlar metanning 250 sm/daq chiziqli tezligida o'tkazildi.

14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKSkatalizatorida nanouglerod hosil bo'lishiga harorat ta'siri bo'yicha tajribalar gaz harakatining 250 sm/daq chiziqli tezligida, katalizatorning 9 g massali va qatlamining 0,8 sm atrofida qalinlikdagi miqdorlarida 500, 550 va 650°C haroratlarda amalga oshirildi. Bu tajribalar natijalari 4-jadvalda berilgan. Haroratning ko'tarilishi bilan nanouglerod hosil bo'lish tezligining ortishi sodir bo'ladi.

4-jadval

14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKSkatalizatorida turli haroratda nanouglerodning hosil bo'lishi (katalizator massasi 9 g, metanning chiziqli tezligi 250 sm/daq)

vaqt, daq	Nanouglerodning massasi, g/g _{kat}		
	500°C	550°C	650°C
5	0	0	0
10	0,02	0,25	0,62
15	0,1	1	2,12
20	0,25	1,75	3,9
25	0,67	2,44	4,86
30	1,07	3,32	5,21
35	1,49	4,14	6,41
40	1,98	4,76	7,48
45	2,23	5,2	8,55
50	2,73	5,77	9,63
55	3,22	6,14	10,96
60	3,72	6,45	11,75
65	4,21	6,52	12,87
70	4,71	7,56	14,02
75	5,04	8,49	15,68
80	5,45	10,42	17,16

85	5,87	11.36	19.2
90	6,2	13.54	22.8
95	6,9	15.21	21.3
100	7,19	17.34	21.2

Shu bilan birga ushbu ishda 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS tarkibli katalizatorning katalitik faolligi ham sinab ko'rildi. Bu katalizator oldingi bilan solishtirilganda 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKS tarkibli katalizatorga nisbatan faolroq bo'lib chiqdi va u ishtirokidagi tajribalar ancha past haroratlar oralig'ida o'tkazildi.

Gaz oqimi chiziqli tezligining jarayon tezligiga ta'sirini 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS katalizatorida jarayonning o'rtacha tezligini tajriba boshlanishidan so'ng 20 daq o'tib hisobladik. Oldingi katalizatoridan farqli ravishda, gaz oqimi chiziqli tezliklarining tadqiq qilinadigan oralig'ida jarayon tezligining gaz tezligiga bog'liqligi faqat ikki sohaga ega: birinchi sohada ya'ni gaz oqimining kichik chiziqli tezliklarida metanning chiziqli tezligi oshirilganida nanouglerod hosil bo'lish tezligi oshishi kuzatildi, ikkinchi sohada esa ya'ni gazning 20 sm/daq dan yuqori tezliklarida jarayonning tezligi reaktorda metanning chiziqli tezligiga bog'liq emas. Jarayonni gaz oqimining 250 sm/daq kam bo'lmagan chiziqli tezliklarida o'tkazish talab etiladi. Keyingi tadqiqotlar metanning 250 sm/daq chiziqli tezligida o'tkazildi. Haroratning nanouglerod hosil bo'lish tezligiga ta'siri tadqiqotlari 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS katalizatori 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKSdan farqli ekanligini ko'rsatdi. Pastroq haroratlarda u yuqori unum bilan nanouglerod olishga imkon beradi. Eksperimental tadqiqot natijalari 5-jadvalda keltirilgan.

5-jadval

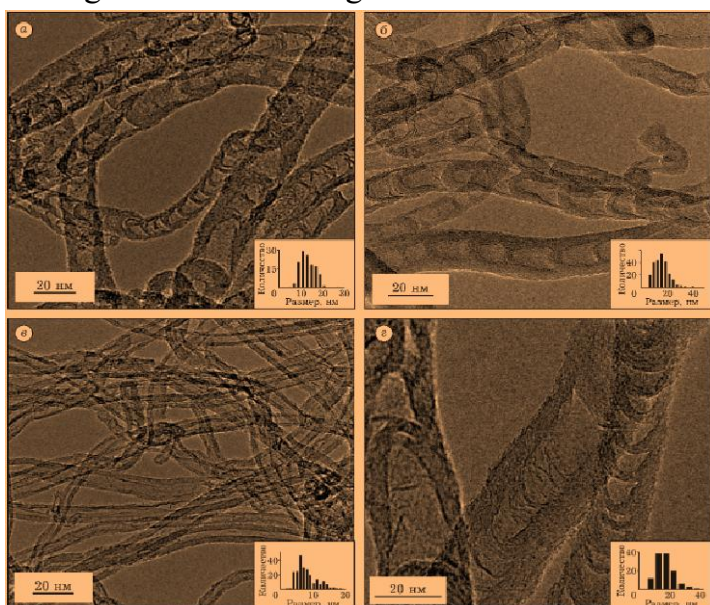
2,5 soat davomida 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKS va 14%Ni*4%Co*6%Fe*4% Cu*2%Mo/YUKS katalizatorida turli haroratda nanouglerodning hosil bo'lishi (katalizator massasi 9 g, metanning chiziqli tezligi 250sm/daq)

Katalizator tarkibi % massa ulushda	az	Reaksiya harorati	S ning unumi g/soat
14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKS	H ₄	500 ±10 ⁰ C	2 34
14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKS	H ₄	550 ±10 ⁰ C	4 92
14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKS	H ₄	650 ±10 ⁰ C	5 60
14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YU KS	H ₄	500 ±10 ⁰ C	3 82
14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YU KS	H ₄	550 ±10 ⁰ C	5 54

	14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YU		650	5
KS		H ₄	±10 ⁰ C	98

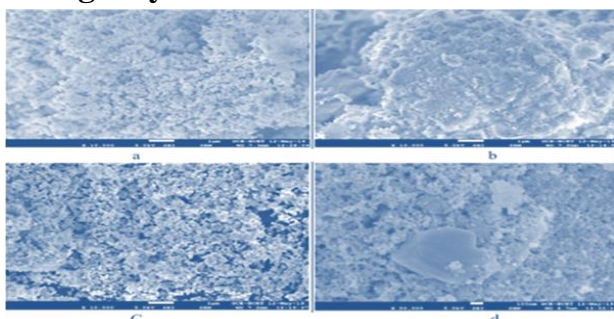
Katalizator va olingan nanouglerodning tekstur xarakteristikalari.

14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS katalizatorning 9 g miqdorida 560°C haroratda, tajriba boshlanishidan keyin 2 soat o‘tib metanning 250 sm/daq chiziqli tezligida olingan mahsulotning mikrotasvirlari 3-rasmda keltirilgan. Ko‘rinib turibdiki, mahsulot asosan 10 dan 90 nm gacha diametrli va qariyb 97% tozalikdagi nanougleroddan iborat. Mikrotasvir elektron mikroskopi yordamida olingan. 4-rasmdan ko‘rinib turibdiki, tadqiq etilayotgan katalizatorga ishlov berish harorati (500 (a), 550 (b), 600 (s), 650 (d) °C) ni oshirib borgan sari gulbargga o‘xshagan qat-qat tuzilishlar hissasi ortib boradi. Bu esa katalizator solishtirma sirt-yuzasining oshishiga olib keladi. Katalizatorga ishlov berish harorati 650°C dan oshganda katalizator g‘ovak tuzilishining zichlashishi kuzatiladi va solishtirma sirt-yuza kamayadi.



(katalizator massasi 9 g, metanning chiziqli tezligi 250 sm/daq)

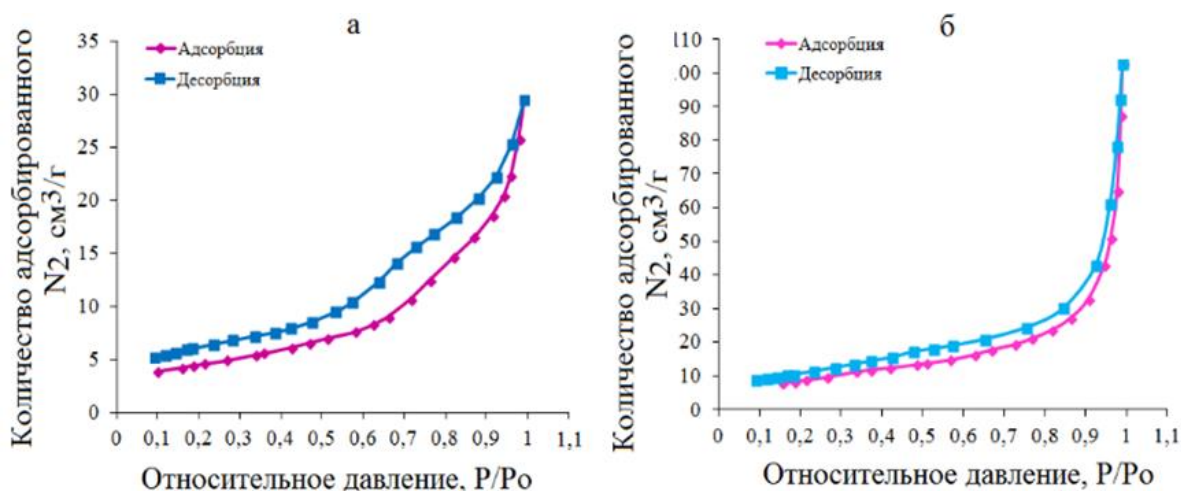
4-rasm. Metandan 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKSkatalizatorida 550⁰C (a), 650⁰C (b) va 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS katalizatorida 550⁰C (v), 650⁰C (g) da sintez qilingan nanouglerodning yorituvchi elektron mikroskopda olingan mikrofotografiyasi



5-rasm. 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS tarkibli katalizatorning skanirlovchi elektron mikroskopda olingan mikrofotosurati

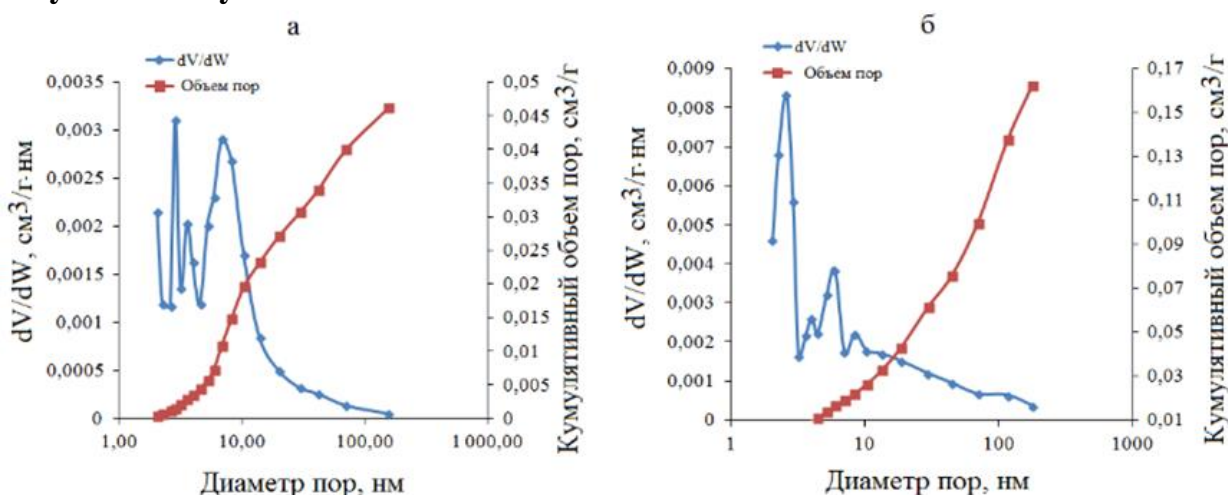
5-rasmda (a, b) sintez qilingan katalizatorlarning adsorbsiya-desorbsiya azot past haroratli izotermasi ko‘rsatilgan. Adsorbsiya izotermalari de Bur klassifikatsiyasi bo‘yicha IV turga xos bo‘lib, mezog‘ovaklarda kapillyar kondensatlanish jarayoni boshlanganligidan

darak beradi va kapillyar-kondensatsion gisterezis xalqasi boshlanishiga mos keladi. Gisterezis xalqasi shakli nazariy va amaliy kimyo xalqaro ittifoqining klassifikatsiya bo'yicha N³ tipga mos keladi, bu material strukturaviy qatlamida tirqish va yassi parallel izlar borligini bildiradi. Izotermada $P/P_0 = 0-0,05$ oraliqda mezog'ovaklarda monomolekulyar adsorbsiya va mikroг'ovaklarda adsorbsiya –mikroг'ovaklarning hajmiy to'lishi kuzatiladi. $P/P_0 = 0,05$ da mezog'ovaklarda mono- va polimolekulyar adsorbsiya kuzatiladi. $P/P_0 = 0,05-0,4$ soha polimolekulyar adsorbsiyani ifodalaydi, bu BET tenglamasida solishtirma sirt-yuzasi (S_{sol}) ni aniqlashda ishlatiladi. Adsorbsiya izotermasida $P/P_0 = 0,4-1,0$ oraliq mezog'ovaklarda kapillyar kondensatsiya sodir bo'lishini xarakterlaydi. $R/R \approx 1$ bo'lganda izotermada sorbsion egrilik keskin ortadi, bu katalizator tarkibida katta zarralar borligi, (6-rasm, a, b) egrilik zarralar o'lchami kattalashganini ko'rsatadi. Katalizator sirtining solishtirma yuzasi $95m^2/g$ va $50-120m^2/g$ o'zgarish diapazoniga ega. Zarraning yig'indi hajmi $0,22sm^3/g$, zarra diametri $8,6nm$.



a-dastlabki katalizator; b-ishlov berilgan katalizator

6-rasm. 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS tarkibli katalizatorning adsorbsiya-desorbsiya izotermalari



a-dastlabki katalizator; b-ishlov berilgan katalizator

7-rasm. 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS tarkibli katalizatorlarda o'lchami bo'yicha g'ovaklarning taqsimlanishi

Xulosalar. Shunday qilib 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKSva 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS tarkibli katalizator joylashgan reaktorda nanouglerodli qatlamlar hosil bo'lish tezligiga metanni katalitik pirolizlash jarayonining turli parametrlari: katalizator qavati qalinligi, gaz faza harakatlanish tezligi, jarayonni o'tkazish haroratlarining ta'siri bo'yicha eksperimental ma'lumotlar olingan. 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKS katalizatorida nanouglerod hosil bo'lishiga harorat ta'siri bo'yicha tajribalar gaz harakatining 250 sm/daq chiziqli tezligida, katalizatorning 9 g massali va qatlamining 0,8 sm atrofida qalinlikdagi miqdorlarida 500, 550 va 650°C haroratlarda amalga oshirildi. Tajribalar natijalariga ko'ra, katalizator 1 soat ishlashi davomida 500, 550 va 650°C haroratlarda mos ravishda 7,2; 17.5; 22.2 g/gkat ni tashkil etdi. 2,5 soat davomida 9 g massali katalizatorlar ishtirokida, metanning chiziqli tezligi 250 sm/daq bo'lganda turli haroratda nanouglerodning hosil bo'lishi o'rganilganda 14%Ni*4%Co*7%Fe*6%Cu/YUKSda 650°C da 560 g/soat nanouglerod 14%Ni*4%Co*6%Fe*4%Cu*2%Mo/YUKS da esa 598 g/soat nanouglerod hosil bo'lishi aniqlandi.

ADABIYOTLAR:

- [1] Kuvshinov G. G., Popov M. V., Solovev E. A. i dr. // Evropeyskiy issledovatel. 2012. Выр. 36, No 12-1. S. 2102.
- [2] Puchkov L. A., Vorobev B. M., Vasyuchkov YU. F. // Горный информационно-аналитиче-skiy byulleten. 2006. No 1. S. 210.
- [3] Kuvshinov G. G., Mogilnykh Yu. I., Kuvshinov D. G. et al. // Proceedings of the 11-th World Hydrogen Energy Conf., Stuttgart (Germany), 1996. P. 2.
- [4] Bannov A. G., Kuvshinov G. G. // Materialovedenie. 2011. No 10. C. 47.
- [5] Krutskiy YU. L., Bannov A. G., Sokolov V. V. i dr. // Ros. nanotexnologii. 2013. No 3-4. S. 22
- [6] Reshetenko T. V., Avdeeva L. B., Ismagilov Z. R. et al. // Applied Catalysis A: General 2003. Vol. 247. P. 51.
- [7] Kuvshinov G. G., CHukanov I. S., Krutsky Y. L. et al. // Carbon. 2009. Vol. 47. R. 215.
- [8] Handbook of Nanophysics. Clusters and Fullerenes, edited by Klaus D. Sattler (CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC, 2010).
- [9] Graphene. Synthesis and Applications, edited by Wongbong Choi and Jo-won Lee (CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC, 2012).
- [10] B.S. Murty, P. Shankar, Badlev Raj, B.B. Rath, James Murday, Textbook of Nanoscience and Nanotechnology (Springer University Press, India, 2013).
- [11] Springer Handbook of Nanomaterials, edited by Robert Vajtai (Springer-Verlag, Berlin,2013).
- [12] Carbon Nanomaterials, Second Edition, edited by Yuri Gogotsi and Volker Presser (CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC, 2014).

[13] Debaprasad Das, Hafizu Rahaman, Carbon Nanotubes and Graphene Nanoribbon Interconnects (CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC, 2015).

[14] Carbon Nanomaterials Sourcebook, Vol. 1. Graphene, Fullerenes, Nanotubes, and Nanodiamonds, edited by Klaus D. Sattler (CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC, 2016).

[15] Structure and Multiscale Mechanics of Carbon Nanomaterials, edited by Oscar Paris, CISM International Centre for Mechanical Sciences 563 (Springer, Wien, CISM, Udine, 2016).

[16] R. Sure, R. Tonner, P. Schwerdtfeger, A systematic study of rare gas atoms encapsulated in small fullerenes using dispersion corrected density functional theory // J. Comp. Chem. 36 (2015) 88.