



GIDROKSIPROPILMETILSELULOZA VA GLITSIRINBIKARBAMAT MODIFIKATSIYASI

Bafoyev Abduhamid Hoshim o'g'li

Buxoro davlat texnika universiteti, Kimyo muhandislik kafedrasi doktoranti
Модификация гидроксипропилметилцеллюлозы и глицеринбикарбамата

Бафоев Абдухамид Хашим оглы

Докторант кафедры химической технологии Бухарского
государственного технического университета

Hydroxypropylmethylcellulose and Glycerinbicarbamate modification

Bafoyev Abduhamid Hoshim o'g'li

Doctoral student of the Department of Chemical Engineering, Bukhara State
Technical University

Annotatsiya: *Ushbu maqolada gidroksipropilmetilseluloza (HPMC) va glitserin bikarbonatning modifikatsiyalash jarayonlari o'rganiladi, ularning IQ spektral va viskozimetrik tahlillari o'tkaziladi. HPMC asosida o'zgartirilgan kompozitsiyalarni sintez qilish usullari, ularning fizik-kimyoviy xususiyatlari va amaliy qo'llanilishi tahlil qilinadi.*

Аннотация : *В статье изучаются процессы модификации гидроксипропилметилцеллюлозы (ГПМЦ) и бикарбоната глицерина, проводятся их ИК-спектральный и вискозиметрический анализы. Проанализированы методы синтеза модифицированных композиций на основе ГПМЦ, их физико-химические свойства и практическое применение.*

Abstract: *In this article, the modification processes of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) and glycerol bicarbonate are studied, their IR spectral and viscosimetric analyses are performed. Methods for synthesizing*



modified compositions based on HPMC, their physicochemical properties and practical applications are analyzed.

***Kalit so'zlar:** HPMC glitserin bikarbamat, gidroksipropil metil tsellyuloza, modifikatsiyalangan polimer, sanoat texnologiyasi.*

***Ключевые слова:** ГПМЦ, бикарбамат глицерина, гидроксипропилметилцеллюлоза, модифицированный полимер, промышленная технология.*

***Keywords:** HPMC glycerin bicarbamate, hydroxypropyl methyl cellulose, modified polymer, industrial technology.*

Kirish HPMC (Hidroksipropil metilseluloza) haqida ma'lumot

HPMC – suvda eruvchan, ionli tuzilishga ega bo'lmagan selluloza polimeridir. Uning tarkibidagi gidroksil guruhlari, metoksi va gidroksipropil guruhlari bilan almashtirilgan HPMC 2%–5% konsentratsiyada bog'lovchi sifatida ishlatiladi, lekin ko'pincha tabletka qoplama polimeri sifatida qo'llanadi.

Polimer zanjiri uzunligi, o'lchami va shoxlanish darajasi uning eritmadagi viskozligini belgilaydi. Odatda qoplama uchun past viskozli polimerlar kerak bo'ladi. Past viskozli polimerlardan foydalanganda, qoplama formulatsiyasidagi qattiq modda tarkibi kamaygan suv miqdori bilan oshirilishi mumkin, bu esa qoplanish jarayonini tezlashtiradi va samaradorligini oshiradi.

HPMC polimer xususiyatlariga ega:

Suvda eriydigan plyonka hosil qiladi.

Yopishqoq bo'lmaganligi sababli ishlov berish oson.

Shaffof, mustahkam va egiluvchan plyonka hosil qiladi, bu esa tabletkalarni himoya qiladi.



Tashqi ko‘rinishni yaxshilaydi va ishqalanishga chidamlilikni oshiradi.

Biroq, past viskozli HPMC plyonkalar kamroq mustahkamlikka ega bo‘ladi. Yuqori viskozli HPMC esa mustahkam plyonka hosil qiladi, lekin bu plyonkalar tabletkaga yopishadi va osongina ajralib ketishi mumkin. HPMC faqat o‘zi ishlatilganda, tabletkaning o‘yama yuzalarini to‘ldirib yuborish xususiyatiga ega. Shu sababli, uni boshqa polimerlar yoki plastifikatorlar bilan aralashtirish orqali tabletkaga yuzasiga bog‘lanishini yaxshilash va to‘ldirish muammolarini oldini olish mumkin.

HPMC turli darajadagi zarracha o‘lchami, viskozligi, molekulyar massasi va metoksi hamda gidroksipropil guruhlarining almashinish darajalariga qarab farqlanadi. Suvning polimerga kirib borishi dori ajralishiga ta’sir qiladi, shuning uchun faqat gidroksipropil guruh va almashinish darajasi emas, balki almashinish ham dori ajralishiga va eruvchanligiga ta’sir ko‘rsatadi [1].

Geterogenlik polimerning hosil bo‘lish tezligiga ta’sir qiladi, chunki almashinish guruhleri o‘rtasidagi gidrofob ta’sirlar dori yuzasiga o‘zgarish kiritishi mumkin [2]. Almashinish o‘zgarishi ishlab chiqarishdagi farqlarga olib kelishi mumkin [3]. Suv bilan o‘zaro ta’sirlashganda, HPMC gidratlanib, qalinlashgan yopishqoq qatlam hosil qiladi.

HPMC zarrachalarining o‘lchami tabletkaning qattiqligi va suvning kirib borish jarayoni orqali dori yuzasi ajralishiga ta’sir qiladi. Kichik zarrachali HPMC tabletkalarni mustahkam qiladi, chunki uning yuzasi katta va zarrachalararo bog‘lanish kuchliroq bo‘ladi. Katta zarrachali HPMC esa eruvchanlikni oshiradi, chunki ular orasida suv kirib borishi uchun bo‘shliqlar ko‘proq bo‘ladi [4].

Dori ajralish mexanizmi HPMC zarrachalarining o‘lchamiga bog‘liq:

Katta zarrachalar – parchalanish orqali ajralish.



O'rta zarrachalar – diffuziya orqali ajralish.

Biroq, katta zarrachalarning tez eruvchanligi yuqori konsentratsiya tufayli muvozanatlashadi, chunki ko'proq polimer zanjirlari mavjud bo'lib, suv kirib borishi uchun joy qoldirmaydi. HPMC matritsalaridan dori ajralish tezligi dori/HPMC nisbati, dori eruvchanligi, siqish kuchi va HPMC viskozlik darajasiga bog'liq. Past viskoziteli HPMC siqish kuchiga sezgirroq bo'lib, asosan eroziya asosida ajralishi mumkin, yuqori viskoziteli HPMC esa asosan diffuziya asosida dori ajralishini ta'minlaydi [5].

HPMC ning mexanik xususiyatlari uning funktsional xususiyatlariga ham ta'sir qiladi. Rowe tadqiqotiga ko'ra, agar bog'lovchining substrat yuzasida tarqalish koeffitsiyenti musbat bo'lsa, zich granula hosil bo'ladi, agar manfiy bo'lsa, teshikli granula hosil bo'ladi.

Shuningdek, gidroksipropilsellyuloza (HPMC) ham keng qo'llaniladigan bog'lovchilardan biridir [6]. HPMC ion bo'lmagan, suvda eruvchan va pHga sezgir bo'lmagan tsellyuloza efiri bo'lib, yuqori darajadagi almashtirishlar tufayli termoplastik xususiyatga ega va boshqa suvda eruvchan selluloza efirlariga qaraganda kamroq gigroskopikdir. HPMC yaxshi plyonka hosil qilish xususiyatiga ega .

Gidroksipropilmetilsellyuloza (HPMC) asosidagi plyonkalar

Gidroksipropil metil tsellyuloza [7] Dow Chemical Co. (Midland, MI) tomonidan taqdim etilgan. HPMC yuqori plyonka hosil qilish xususiyatlari va gidrofob materiallar bilan yaxshi mos kelishi sababli plyonka hosil qiluvchi agent sifatida tanlangan. Uch xil o'lchamdagi oziq-ovqat darajasidagi o'zgartirilmagan mikrokristall selluloza (MCC) va lipid bilan qoplangan (LC)-MCC nanoparchalari FMC Biopolymers (Princeton, NJ) tomonidan taqdim etilgan.

HPMC plyonka eritmasi



HPMC ning asosiy xususiyatlaridan biri shundaki, u past konsentratsiyada ham yuqori viskozlikka ega ega. Shu sababli, plyonka hosil qilish eritmalarining yetarli viskozitesini ta'minlash uchun atigi 3% kerak bo'ldi.

Nazorat plyonkasi quyidagi usulda tayyorlandi:

HPMC distillangan suvda eritildi. Issiq sovuq texnikasi qo'llanildi: kukun avval umumiy suv hajmining 1/5 dan 1/3 gacha bo'lgan qismida aralashtirildi va 90°C dan yuqori haroratda to'liq gidratlanmaguncha qizdirildi. Keyin qolgani sovuq suv sifatida qo'shib, dispersiya harorati pasaytirildi. 70°C haroratga yetgach, HPMC to'liq suvda erib ketdi.

HPMC/MCC kompozit plyonka eritmasi MCC namunalari 8% li suvli suspenziya shaklida taqdim etildi. HPMC ushbu suspenziyaga aralashtirilib, quritilgan plyonkalarda HPMC/MCC nisbatlarini quyidagicha hosil qildi: 3:0.08, 3:0.4, 3:0.8. Barcha eritmalarda HPMC/suv nisbati 3:97 edi. Ushbu eritmalar Polytron 3000 [8] homogenizatori yordamida 10000 rpm tezlikda 20 daqiqa davomida homogenizatsiya qilindi.

HPMC ning past sirt energiyasi tufayli turli miqdordagi gidrofob nanoparchalarni o'z ichiga olishi mumkin, bu esa barcha formulalar uchun plyonka hosil qilish imkonini beradi. Plyonka eritmalarida mikro pufakchalar hosil bo'lishining oldini olish uchun vakuum qo'llanildi. Plyonkalar quyidagicha tayyorlandi: 30 × 30 sm shisha quyish plitalari [9] bilan yopildi. Eritmalar 1.15 mm qalinlikda quyildi. 24 soat davomida xona haroratida quritiladi. Quritilgandan so'ng, plyonkalar qoplamadan ajratiladi. Plyonka qalinligi 0.001 mm aniqlikda mikrometr yordamida beshta nuqtada (markaz va to'rtta burchak) o'lchandi. Zarralar hajmini tahlil qilish Eritmadagi nanoparchalar hajmi dynamic light scattering (DLS) usuli bilan Malvern Zetasizer 10 yordamida o'lchandi.



Scanning Electron Microscopy (SEM) yordamida MCC nanoparchalarining plyonkalardagi morfologiyasi tahlil qilindi va ularning diametri aniqlandi.

Suv bug'ining o'tuvchanligini (WVP) aniqlash.

Suv bug'ining o'tuvchanligi (WVP) ASTM E96-80 standarti bo'yicha gravimetrik modifikatsiyalangan idish usuli yordamida o'lchandi[10]. Tajribalar $25.3 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ haroratda fan va motorlar bilan ishlaydigan maxsus kabinetlarda o'tkazildi. Havо tezligi 500 ft/min (152 m/min) bo'lib, kabinet ichida bir xil nisbiy namlik (RH) saqlanishini ta'minladi. Test idishlari polimetil metakrilat (Plexiglas) dan tayyorlangan. Har bir idishning pastki qismiga deionizatsiya qilingan suv qo'yilib, plyonkalar yuqori namlik (RH) muhiti ga ta'sir qilish uchun joylashtirildi. Har bir film kamida 8 ta test idishiga joylashtirildi, har bir idishning 2 soatdan ortiq vaqt oralig'ida 8 marta o'lchovi olindi. Har bir tajriba uchun plyonka ostidagi nisbiy namlik va to'g'rilangan WVP hisoblandi[11].

Mexanik xususiyatlarini o'lchash. Quritilgan plyonkalar 15 mm kenglikdagi, 100 mm uzunlikdagi rektangular o'rtacha kesimga ega qilib kesildi. Har bir uch qismi 25 mm \times 35 mm kvadrat shaklida bo'ldi.

Odatda, oqsillar va polisaxaridlar strukturaviy matritsa sifatida yaxshi mexanik xususiyatlarga ega va gaz, aroma hamda lipidlar uchun mukammal to'siq bo'lib xizmat qiladi. Ammo ular suv bug'i o'tuvchanligi jihatidan past samaradorlikka ega. Aksincha, gidrofob moddalarning namlik to'siqlari kuchli, lekin ular mo'rt plyonkalar hosil qiladi [13]. Shu sababli, ushbu moddalarning kombinatsiyasi orqali mexanik mustahkamlik va past o'tuvchanlik xususiyatlariga ega kompozit plyonkalar ishlab chiqilgan.

Gidroksipropil metil sellyuloza (HPMC) asosidagi yaroqli plyonkalar haqida ko'plab ilmiy manbalarda ma'lumotlar keltirilgan [14]. HPMC plyonkalari



o'rtacha mexanik mustahkamlikka ega, yog' va yog' tarkibli moddalar ta'siriga chidamli, qovushqoqlik xususiyatlariga ega, shaffof, hidsiz va ta'msiz [15].

Biroq, HPMC plyonkalarining suv sezgirliги ularning sanoat darajasida qo'llanilishiga to'sqinlik qiladi. Shu sababli, gidrofob moddalarni HPMC matritsasiga qo'shish orqali ushbu plyonkalarni yaxshilash bo'yicha tadqiqotlar olib borilgan.

Turli lipid turlari va miqdorining ta'siri o'rganilgan. Masalan, apelsinlarga HPMC-lipid qoplama ishlatilganda asal mumi eng past vazn yo'qotish natijasini bergan [16]. Shuningdek, yuzaga chiqish vositalari (surtactants) va choy daraxti efir moyi qo'shish orqali HPMC plyonkalarining xususiyatlari yaxshilangani aniqlangan [17]. Biroq, bugungi kunda yuqori o'tuvchanlik va past mexanik mustahkamlik kabi muammolar hamon dolzarb bo'lib qolmoqda. Bu muammolarni hal qilish yo'nalishlaridan biri sellyuloza tolalarini mustahkamlovchi element sifatida qo'llash hisoblanadi. Bir qancha tadqiqotlarda sellyuloza tolalarining plyonkaga mustahkamlik berishi qayd etilgan [18]. Biroq, ko'pgina olimlar sellyulozaning suvni o'ziga singdirish xususiyati tufayli ushbu yondashuv cheklanganligini ta'kidlaganlar. Oldingi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, 500 nm gacha kichraytirilgan sellyuloza tolalari plyonkaning tortish kuchiga bardoshlilikini ikki barobar oshirgan, lekin suv bug'i o'tuvchanligini yaxshilay olmagan [19]. Ushbu ishning maqsadi HPMC plyonkasining suvga chidamliligini oshirish uchun lipid bilan qoplangan MCC (mikrokristall tsellyuloza) to'ldirgichlarining ta'sirini o'rganishdir. Shuningdek, lipid bilan qoplanmagan MCC bilan taqqoslab, ushbu kompozit plyonkalar to'liq tavsiflanadi.

Sintez qism:

Glitsirin:



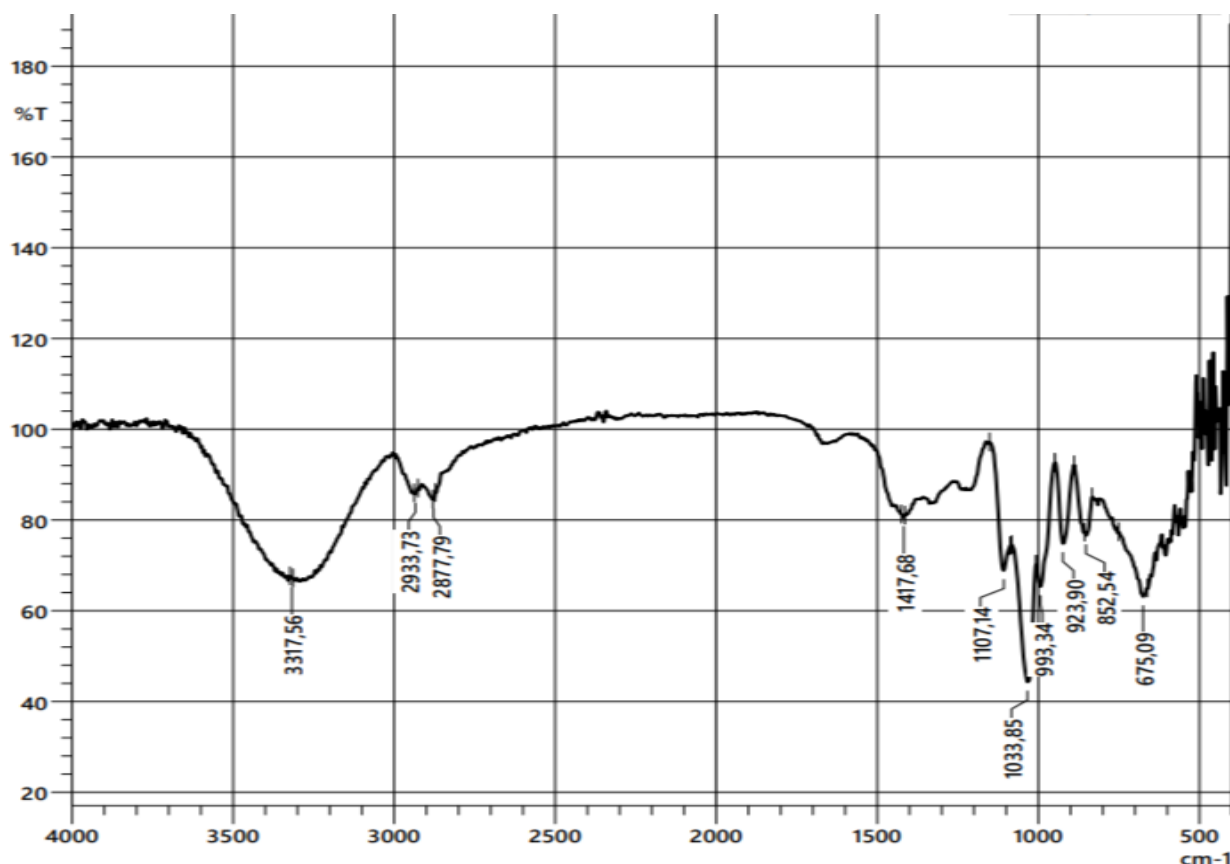
Kimyoviy formulasi: $C_3H_8O_3$

Molekulyar massasi: 92.09 g/mol

Tuzilishi: Uchta gidroksil (-OH) guruhi bor, shuning uchun u uchatomli spirt hisoblanadi.

Glitserinning fizik xossalari: Rangsiz, shaffof va yopishqoq shirin tamli suyuqlik, oziq-ovqat sanoatida qo'llaniladi. Qaynash harorati: $\sim 290\text{ }^\circ\text{C}$. Erish harorati: $\sim 17.8\text{ }^\circ\text{C}$

Reaksiya uchun olingan glitsirinning IQ spektordagi ko'rinishi.



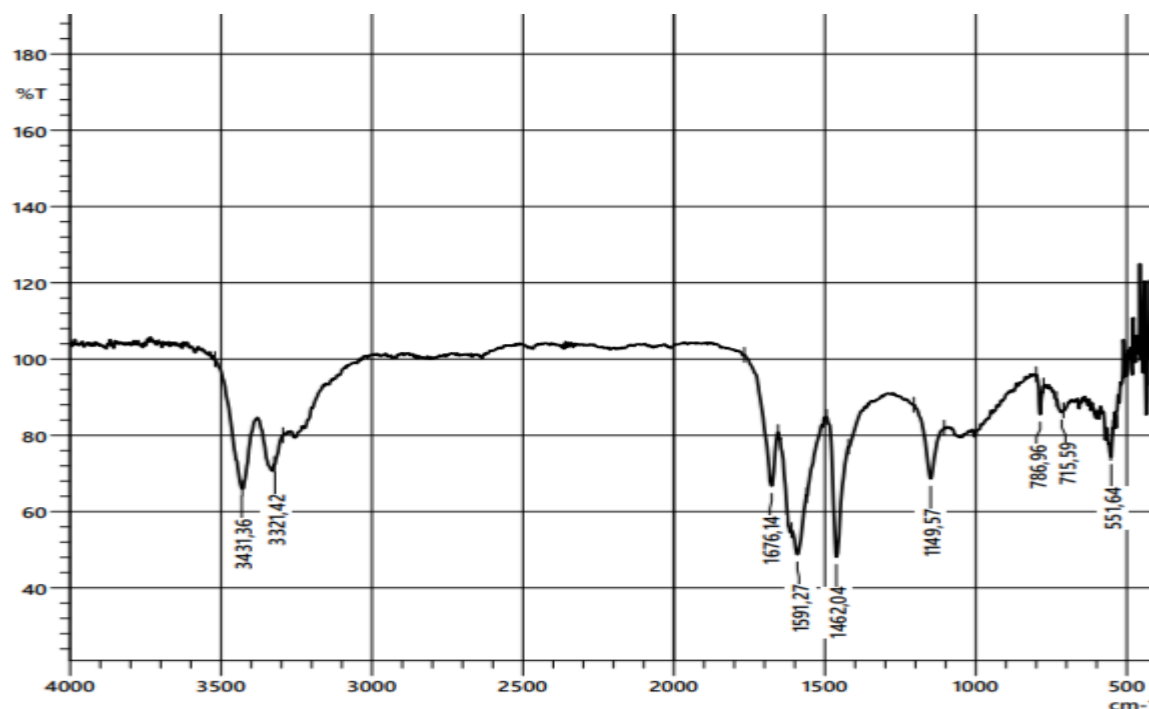
Glitsirin tarkibida O-H guruhi uchun valent tebranish soxasi 3317.56 cm^{-1} , da N-H bog'ining tebranishi 3317.56 cm^{-1} , C-H bog'ning tebranishi 2933.73 dan 1417.68 cm^{-1} gacha, 1107.14 va 1033.85 cm^{-1} C-O funksional guruxiga mos tebranishni ifodalaydi 993.34 , 923.90 , 825.54 cm^{-1} C-H funksional guruhlari borligini ko'rsatadi



Karbamid (Mochevina) haqida umumiy ma'lumot

Karbamid molekulasi bitta karbonil (C=O) guruhi va ikkita amin (NH₂) guruhidan iborat. Karbamidning fizik xossalari. Rangsiz, kristall modda. Suvda yaxshi va organik erituvchilarda yomon eriydi. Suvda eritilganda yoki qizdirilganda ammiak gazi ajralib chiqadi.

Reaksiya uchun olingan karbamidning IQ spektor dagi ko'rinishi.



Buyerda 3431.36 cm⁻¹ O-H bog'ining tebranishini, 3324.42 cm⁻¹ N-H bog'lari o'rtasidagi tebranishni, 1676.14 cm⁻¹ C=O bo'g'lari o'rtasidagi tebranishni, 1591.27 cm⁻¹ va 1462.04 cm⁻¹ C=C funksional guruxlariga mos tebranishni, 786.96 cm⁻¹ va 715.59 cm⁻¹ funksional guruxlariga mos tebranishni ko'rsatadi

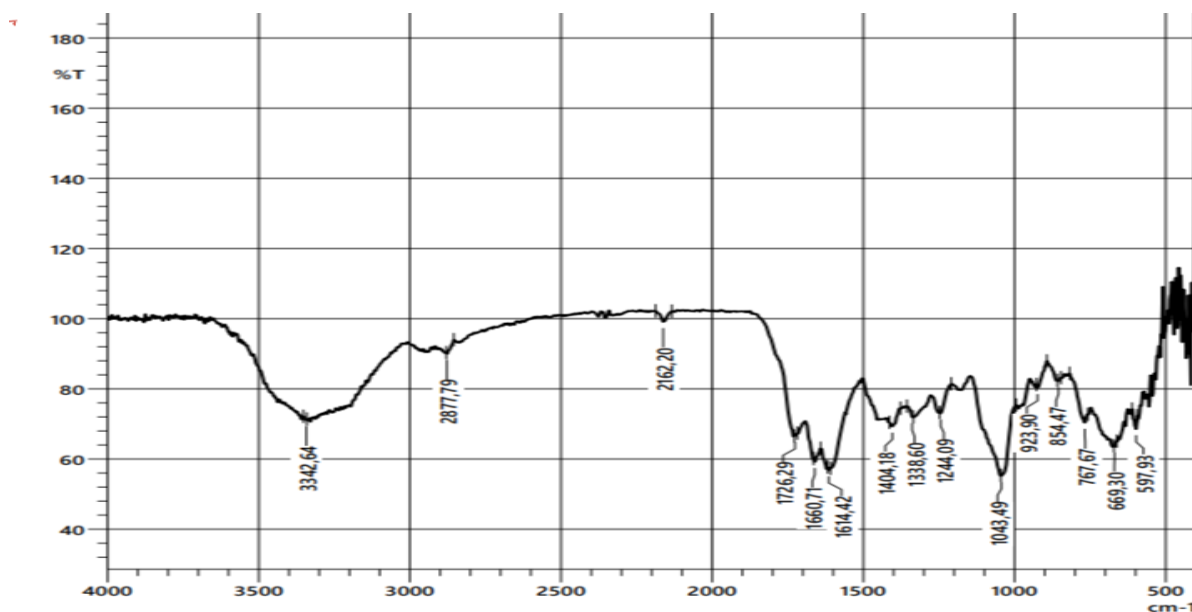
Tajriba qismi: Glitsirin bikarbamat sintezi:

184 gramm glitsirin bilan 260 gramm karbamid o'lchab olindi, so'ngra glitsirin isitgichda biroz qizdirib harorat 130 °C ga borganda karbamid oz-ozdan



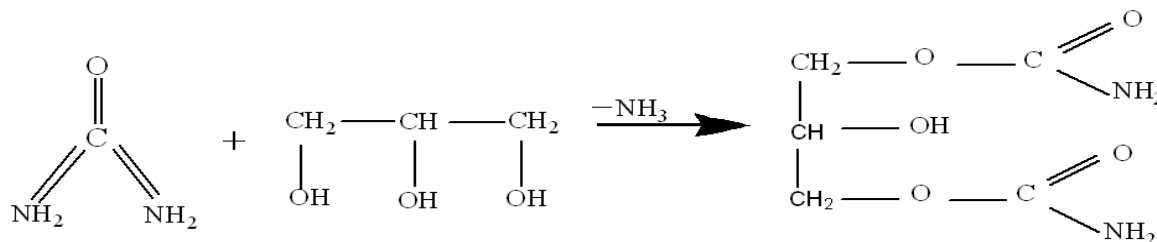
qo'shildi va aralastirgich bilan aralastirib turgan holda reaksiya harorat 160 °C ga qadar ko'tarildi va ammiak gazi ajrala boshladi bu reaksiya 5 soat davomida olib borildi. Jarayon natijasida och sariq rangli quyuq mudda glitsirin bikarbamat hosil bo'ldi.

Hosil bo'lgan glitsirinbikarbamatning IQ spektordagi ko'rinishi



Buyerda 3342.64 cm^{-1} O-H va N-H orasidagi tebranishni, 2877.79 cm^{-1} C-H orasidagi bog'larni tebranishini 2162.20 cm^{-1} C-N bog'lari orasidagi tebranishni, 1726.29 cm^{-1} C-O orasidagi bog' tebranishini, 1660.71 cm^{-1} va 1614.42 cm^{-1} C-C orasidagi bog'ning tebranishini ko'rsatadi.

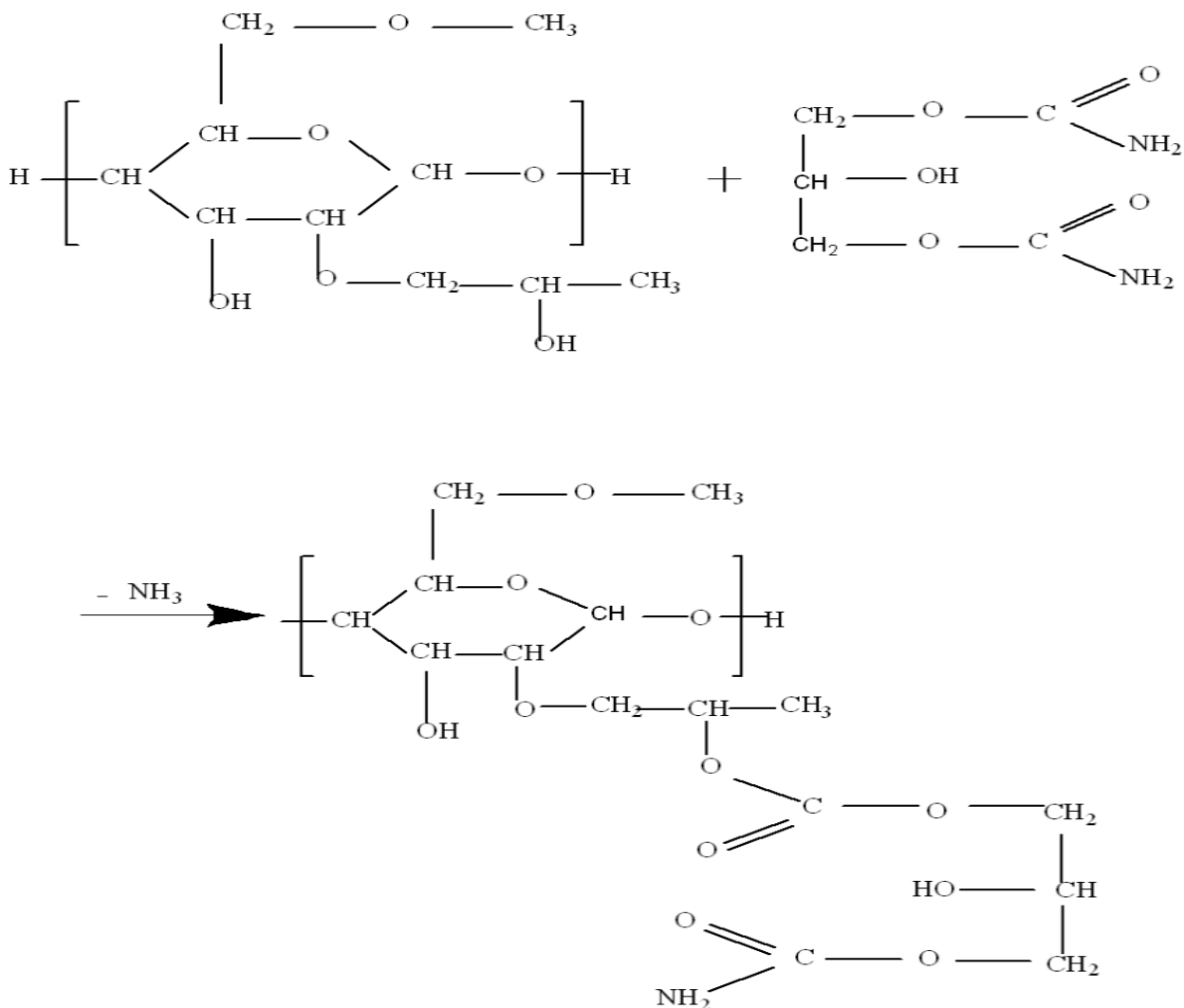
Uning IQ analiz tahlili asosida taxminiy formulasi quydagicha bo'ladi





HPMC (gidroksipropilmetilseluloza) eritmasini tayyorlash: 150 °C suvda 50 °C haroratda 10 gram HPMC oz-ozdan solinib aralashtirgich yordamida aralashtirib turildi va 6.25% li oq quyuq eritma olindi. Gidroksipropilmetilselulozaning glitsirinbikarbamat bilan modifikatsiyasini tayyorlash. 160 gramm HPMC eritmasi qizddirilib 3gramm glitsirin bi karbamat qo'shildi harorat 100 °C gacha ko'tarildi va aralashtirgich yordamida aralashtirib turildi jarayon 4 soat davomida olib borildi. Jarayon so'ngida sariq rezinasimon modda HPMC va GB hosilasi olindi. Olingan modda quritgich pechida ikki soat davomida quritildi.

Jarayonning kimyoviy reaksiyadagi ko'rinishi:





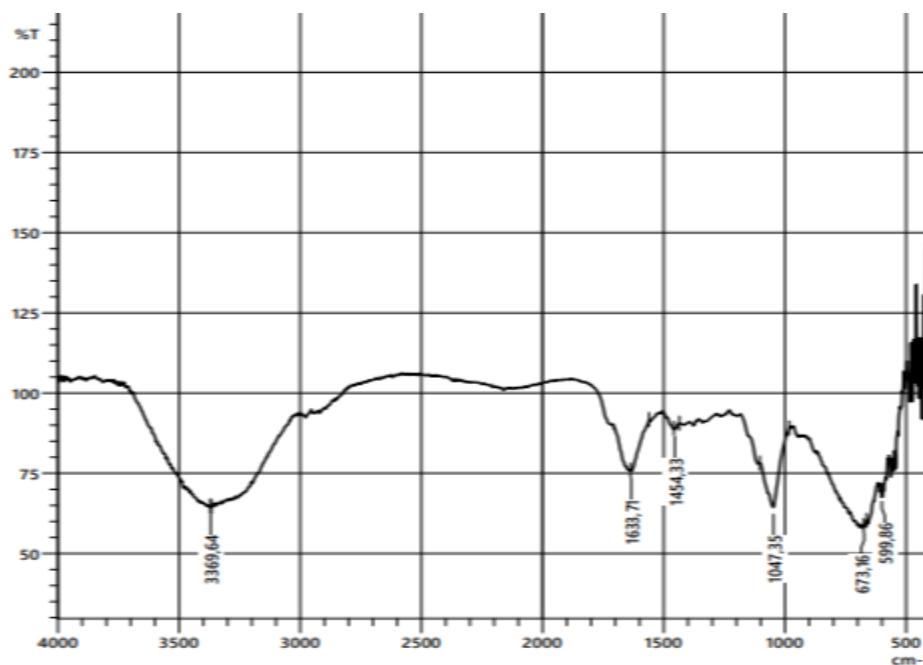
Hosil bo'lgan gidroksipropilmetilselulozaning glitsirinbikarbamat bilan hosilasining

viskozimetrik tahlil natijalari.

Modda	0 0.1% li	0.0 0.05% li	0.0 0.025% li	0.0 0.0125 % li
HP	9:59	4:17		2: 04
HPMC			2:44	
G GB-		6:33		2: 58
HPMC	12:48		4:26	

Hosil bo'lgan gidroksipropilmetilselulozaning glitsirinbikarbamat bilan hosilasining

IQ spektordagi ko'rinishi.



Buyerda 3369.64 cm^{-1} O-H orasidagi bog'larning tebranishini, 1454.33 cm^{-1} CH₂ va CH₃ funksional guruhlari orasidagi tebranishni, 1047.35 cm^{-1} C-O



orasidagi bog'ning tebranishini 3369.64 cm^{-1} N-H bog'ning orasidagi tebranishni ko'rsatadi.

Xulosa:

Gidroksipropil metilselulozaning (HPMC) glitserin bikarbamat bilan modifikatsiyasi natijasida hosil bo'lgan yangi kompozitsion materiallar fizik-kimyoviy xususiyatlari jihatidan tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, glitserin bikarbamatning qo'shilishi HPMC asosidagi plyonkalarining mexanik mustahkamligini oshirish bilan birga, ularning elastikligi va namga chidamliligini yaxshilaydi. Shuningdek, modifikatsiyalangan HPMC ning sirt faolligi va biodegradatsiya xususiyatlari optimallashtirilgan bo'lib, uni qurilish, farmatsevtika va qadoqlash sanoatida qo'llash va shu bilan birga bazalt ponellari uchun qoplam sifatida foydalanish taklif etildi imkoniyatlarini kengaytiradi.

Adabiyotlar sharhi:

1. Villalobos, R.; Chanona, J.; Hernandez, P.; Gutierrez, G.; Chiralt, A. Gloss and transparency of hydroxypropyl methyl cellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. *Food Hydrocolloids* 2005, 19, 53–61.

2. Villalobos, R.; Hernandez-Munoz, P.; Chiralt, A. Effect of surfac- ~ tants on water sorption and barrier properties of hydroxypropylmethylcellulose films. *Food Hydrocolloids* 2006, 20, 502–509.

3. Sanchez-Gonzalez, L.; Vargas, M.; Gonzalez-Martí'nez, C.; Chiralt, A.; Chafer, M. Characterization of edible films based on hydroxypropylmethylcellulose and tea tree essential oil. *Food Hydrocolloids* 2009, 1–8

4. Teixeira, E. de M.; Pasquini, D.; Curvelo, A. A. S.; Corradini, E.; Belgacem, M. N.; Dufresne, A. Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch. *Carbohydr. Polym.* 2009, doi: 10 1016/I carbpol 2009 04 034.



5. Freire, C. S. R.; Silvestre, A. J. D.; Pascoal-Neto, C.; Gandini, A.; Martin, L.; Mondragon, I. Composite based on acylated cellulose fibers and low-density polyethylene: effect of the fiber content, degree of substitution and fatty acid chain length on final properties. *Compos. Sci. Technol.* 2008, 68, 3358–3364

6. Angles, M. N.; Dufresne, A. Plasticized starch/tunicin whisker nanocomposites. 1. Structural analysis. *Macromolecules* 2000, 33, 8344–8353

7. Dufresne, A.; Dupeyre, D.; Vignon, M. R. Cellulose microfibrils from potato tuber cells: processing and characterization of starchcellulose microfibril composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 2000, 76, 2080–2092.

8. Favier, V.; Cavaille, J. Y.; Canova, G. R.; Shrivastava, S. C. Mechanical percolation in cellulose whisker nanocomposites. *Polym. Eng. Sci.* 1995, 37 (10), 1732–1739.

9. Krochta, J. M.; Mulder-Johnston, C. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technol.* 1997, 51, 61–74

10. Perez-Gago, M. B.; Rojas, C.; del Rio, M. A. Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropyl methylcellulose-lipid composite coatings used to protect postharvest quality of mandarins cv. Fortune. *J. Food Sci.* 2002, 67 (8), 2903–2910

11. Villalobos, R.; Chanona, J.; Hernandez, P.; Gutierrez, G.; Chiralt, A. Gloss and transparency of hydroxypropyl methyl cellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. *Food Hydrocolloids* 2005, 19, 53–61

12. Villalobos, R.; Hernandez-Munoz, P.; Chiralt, A. Effect of surfac- ~ tants on water sorption and barrier properties of hydroxypropylmethylcellulose films. *Food Hydrocolloids* 2006, 20, 502–509

13. Sanchez-Gonzalez, L.; Vargas, M.; Gonzalez-Martí'nez, C.; Chiralt, A.; Chafer, M. Characterization of edible films based on hydroxypropylmethylcellulose and tea tree essential oil. *Food Hydrocolloids* 2009, 1–8



14. Teixeira, E. de M.; Pasquini, D.; Curvelo, A. A. S.; Corradini, E.; Belgacem, M. N.; Dufresne, A. Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch. *Carbohydr. Polym.* 2009, doi: 10.1016/I.carbpol.2009.04.034
15. Freire, C. S. R.; Silvestre, A. J. D.; Pascoal-Neto, C.; Gandini, A.; Martin, L.; Mondragon, I. Composite based on acylated cellulose fibers and low-density polyethylene: effect of the fiber content, degree of substitution and fatty acid chain length on final properties. *Compos. Sci. Technol.* 2008, 68, 3358–3364
16. Angles, M. N.; Dufresne, A. Plasticized starch/tunicin whisker nanocomposites. Structural analysis. *Macromolecules* 2000, 33, 8344–8353
17. Dufresne, A.; Dupeyre, D.; Vignon, M. R. Cellulose microfibrils from potato tuber cells: processing and characterization of starchcellulose microfibril composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 2000, 76, 2080–2092
18. Favier, V.; Cavaille, J. Y.; Canova, G. R.; Shrivastava, S. C. Mechanical percolation in cellulose whisker nanocomposites. *Polym. Eng. Sci.* 1995, 37 (10), 1732–1739.
19. Dogan, N.; McHugh, T. H. Effects of microcrystalline cellulose on functional properties of hydroxypropyl methyl cellulose microcomposite films. *J. Food Sci.* 2007, 72 (1), E16–E