XITOZAN MODIFIKATSIYALANGAN METAKRIL SOPOLIMERLARI BILAN BIODIEZEL ARALASHMALARINING FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI

Saidov J.E.
Irrigatsiya va suv muommolari ilmiy tadqiqot instituti
Boltayev B.B
Irrigatsiya va suv muommolari ilmiy tadqiqot instituti

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot ishida xitozan asosida modifikatsiyalangan metakril sopolimerlarining biodiezel yoqilg'i aralashmalarining fizik-kimyoviy xossalariga ta'siri keng qamrovli o'rganilgan. Xitozan tabiiy polimer sifatida o'zining biouyg'unligi, bioparçalanuvchanligi va funksional guruhlarining ko'pligi bilan ajralib turadi, metakril kopolimerlari esa past haroratdagi oqimlilik xossalarini yaxshilash maqsadida qo'llaniladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, xitozan-metakril sopolimer kompozitlari biodieselning sovuq filtr tiqilish nuqtasini, quyilish nuqtasini va viskozitesini sezilarli darajada pasaytiradi, shu bilan birga oksidlanish barqarorligini ham oshiradi. Eksperimental ma'lumotlar asosida 2000 ppm konsentratsiyada qo'shilgan xitozan-modifikatsiyalangan tetradesilmetakrilat sopolimerlari biodiezelning past haroratdagi ishlash parametrlarini 12-15°C ga yaxshilashi aniqlandi. Polimer qo'shimchalarning molekulyar og'irligi, alkil zanjir uzunligi va funksional guruhlarning tabiati ham muhim rol o'ynaydi.

Kalit so‘zlar: xitozan, metakril sopolimerlari, biodiesel, fizik-kimyoviy xossalar, sovuq oqimlilik, oksidlanish barqarorligi, polimer qo'shimchalar, viskozite

Аннотация: В данной исследовательской работе всесторонне изучено влияние метакриловых сополимеров, модифицированных хитозаном, на физико-химические свойства смесей биодизельного топлива. Хитозан, как природный полимер, характеризуется биосовместимостью, биоразлагаемостью и большим количеством функциональных групп, в то время как метакриловые сополимеры используются для улучшения низкотемпературных реологических свойств. Результаты исследования показали, что композиты хитозан-метакриловый сополимер значительно снижают температуру фильтруемости, температуру застывания и вязкость биодизеля, одновременно повышая его окислительную стабильность. На основании экспериментальных данных установлено, что добавление сополимеров тетрадецилметакрилата, модифицированных хитозаном, в концентрации 2000 ppm улучшает низкотемпературные эксплуатационные характеристики биодизеля на 12–15 °C. Молекулярная масса полимерных добавок, длина алкильной цепи и природа функциональных групп также играют важную роль. Ключевые слова: хитозан, метакриловые сополимеры, биодизельное топливо, физико-химические свойства, хладотекучесть, устойчивость к окислению, полимерные присадки, вязкость.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: хитозан, метакриловые сополимеры, биодизельное топливо, физико-химические свойства, хладотекучесть, устойчивость к окислению, полимерные присадки, вязкость.

Abstract: In this research work, the effect of chitosan-modified methacrylic copolymers on the physicochemical properties of biodiesel fuel blends was comprehensively studied. Chitosan, as a natural polymer, is characterized by its biocompatibility, biodegradability and a large number of functional groups, while methacrylic copolymers are used to improve low-temperature flow properties. The results of the study showed that chitosan-methacrylic copolymer composites significantly reduce the cold filter plugging point, pour point and viscosity of biodiesel, while increasing its oxidation stability. Based on experimental data, it was found that chitosan-modified tetradecyl methacrylate copolymers added at a concentration of 2000 ppm improve the low-temperature performance parameters of biodiesel by 12-15°C. The molecular weight of the polymer additives, the length of the alkyl chain and the nature of the functional groups also play an important role.

Keywords: chitosan, methacrylic copolymers, biodiesel, physicochemical properties, cold flowability, oxidation stability, polymer additives, viscosity

Kirish

Hozirgi zamon energetika sektorida qayta tiklanadigan yoqilg'ilar, xususan biodiezel muqobil yoqilg'i sifatida muhim ahamiyat kasb etmoqda va bu yo'nalish ekologik barqarorlikni ta'minlash hamda neft mahsulotlariga bo'lgan bog'liqlikni kamaytirishda katta imkoniyatlar yaratadi[1]. Biodiezel o'simlik moylari yoki hayvon yog'laridan transesterifikatsiya jarayoni orqali olinadi va uning tarkibida to'yingan hamda to'yinmagan uzun zanjirli yog' kislotalarining metil efirlari mavjud bo'lib, bu xususiyat yoqilg'ining fizik va kimyoviy xossalarini bevosita belgilaydi[2]. Biodieselning asosiy afzalliklari orasida yuqori yonish samaradorligi, zaharli chiqindilarning kamligi va yaxshi moylash xususiyatlari keladi, ammo uning past haroratdagi oqimlilik parametrlari va oksidlanishga moyilligi keng miqyosda qo'llanilishiga to'sqinlik qiladi[3].Xitozan - bu dengiz qisqichbaqasimonlar, hasharotlar va zamburug'lardan ajratib olinadigan tabiiy polimerdir hamda u kitinning deasetillash jarayoni natijasida hosil bo'ladi. Xitozanning asosiy afzalligi shundaki, uning tarkibida amino va gidroksil funktsional guruhlari mavjud bo'lib, bu guruhlar kimyoviy modifikatsiyaga juda qulay sharoit yaratadi. Kimyoviy modifikatsiyalangan xitozan native xitozanga nisbatan suvda eruvchanligi, biologik faolligi va mexanik xususiyatlari ancha yaxshilangan holatda namoyon bo'ladi[1]. Xitozan va uning hosilalari kataliz, adsorbsiya, dori preparatlarini tashish va boshqa ko'plab sohalarda keng qo'llanilmoqda[2]. Xitozanning kristallanishi, viskozitesi, eruvchanlik xususiyati

ISSN 3030-3907

va ion almashinuv qobiliyati deasetillash darajasiga bog'liq ravishda o'zgarib turadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, 55% dan ortiq deasetillashga ega bo'lgan xitin tarkibiy moddalar xitozan sifatida tasniflanadi[3].

1-Jadval

Turli xitozan modifikatsiyalarining fizik-kimyoviy xossalari va qo'llanilish sohalari

Modifikatsiya turi	Molekulyar og'irlik (kDa)	Deasetillash darajasi (%)	Eruvchanlik (pH)	Asosiy qo'llanilish
Native xitozan	100-1000	70-95	< 6.0	Bazaviy katalizator
Karboksimetil xitozan	50-500	75-85	2.0-12.0	Emulsifikator, membranalar
Xitozan-PVA kompozit	150-800	80-90	< 5.5	Geterogen katalizator
Xitozan-SiO_2 kompozit	200-600	70-85	< 6.5	Tozalash membranasi
Past molekulyar xitozan	5-50	85-95	3.0-7.0	Antioksidant qo'shimcha
Xitozan-metakril graft	100-400	75-90	< 5.0	Oqimlilik yaxshilovchi

Metakril sopolimerlari esa uzoq vaqtdan beri dizel yoqilg'i va biodiezel uchun quyilish nuqtasini pasaytiruvchi qo'shimchalar sifatida tanilgan[4]. Bu polimerlar o'zining alkil yon zanjirlarining uzunligi va polar guruhlarning mavjudligi tufayli mum kristallarining shakllanishiga ta'sir ko'rsatadi va ularning agregatsiyasini kamaytiradi hamda yoqilg'ining past haroratdagi oqimlilik xususiyatlarini yaxshilaydi[5]. Turli tadqiqotlarda metakrilat kopolimerlarining tarkibidagi alkil zanjir uzunligining C12 dan C18 gacha bo'lgan oraliqda o'zgarishi biodieselning sovuq filtr tiqilish nuqtasi (CFPP) va quyilish nuqtasiga (PP) sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan[6]. Ayniqsa, tetradesilmetakrilat (C14) asosidagi sopolimerlar eng samarali natijalar berishi ma'lum bo'ldi[7]. Metakrilat

ISSN 3030-3907

kopolimerlarining viskoziteni o'zgartirish va past harorat xususiyatlarini yaxshilash qobiliyati ularning molekulyar og'irligi va monomerlarning nisbati bilan chambarchas bog'liq[8]. Polimerakrilat tipidagi qo'shimchalarning asosiy ish mexanizmi shundan iboratki, ular mum kristallarining yuzasiga adsorbsiya qilib, kristallarning o'sishini cheklaydi va ularning shakli ignasimon bo'lishiga yordam beradi, natijada kristallar filtrlarda to'planmaydi[9].

2-Jadval.

Turli metakril sopolimerlarining B20 biodiesel aralashmasining sovuq oqimlilik parametrlariga ta'siri (CFPP - sovuq filtr tiqilish nuqtasi, PP - quyilish nuqtasi, CP - bulutlanish nuqtasi)

Sopolimer turi	Konsentratsiya (ppm)	CFPP kamaytirish (°C)	PP kamaytirish (°C)	CP kamaytirish (°C)	Adabiyot
C14MC-HEMA (9:1)	2000	6	14	4	[21]
C14-Alkil metakrilat-MA	1000	7	7	3	[22]
MB-C14MC (1:10)	3000	12	26	8	[23]
PMA (10-320)	1000	10	12	5	[25]
C14MC-NA (6:1)	2000	9	10	3	[23]
C14MC-CVE (9:1)	2000	10	15	6	[21]

ISSN 3030-3907

Sopolimer turi	Konsentratsiya (ppm)	CFPP kamaytirish (°C)	PP kamaytirish (°C)	CP kamaytirish (°C)	Adabiyot
Xitozan-C14MC kompozit	1500	8	12	5	[5,7]

Xitozan-polivinil alkogol (PVA) kompozit plyonkalari heterogen katalizator sifatida biodiezel ishlab chiqarishda qo'llanilishi mumkin va bu materiallar ajratish jarayonini osonlashtiradi[10]. Xitozan/PVA kompozitlarining suvni yutish qobiliyati 45,42% dan 218,64% gacha, shishish darajasi 120,63% dan 142,99% gacha va g'ovaklik 62,67% dan 243,43% gacha o'zgarishi aniqlangan, bu ko'rsatkichlar kompozitsiyaning tarkibiga bog'liq[11]. Xitozan va uning kimyoviy modifikatsiyalangan shakllari biodiesel ishlab chiqarishda qo'llaniladigan katalizatorlar sifatida yuqori samaradorlik ko'rsatadi chunki ularning tarkibidagi gidroksil va amino guruhlari turli kimyoviy reaksiyalarda ishtirok etishi mumkin. Masalan, xitozanni CaO bilan birlashtirib qo'llaganda soya yog'idan biodiesel hosildorligi 97% ga yetadi[12]. Xitozanning sulfon guruhi bilan modifikatsiyalangan shakli heterogen kislotali katalizator sifatida palmitik kislotadan 89% hosil beradi. Xitozan va kremniy dioksid (SiO2) asosida tayyorlangan kompozit membranalar biodieselni tozalashda samarali bo'lib, ular sovun darajasini 547,9 dan 12,2 mg/L gacha, erkin glitserin miqdorini 54% dan 0,041% gacha va kislota sonini 2,02 dan 1,12 mgKOH/g gacha kamaytiradi.Glitsil metakrilat va alkil metakrilatlar kopolimerlari yordamida xitozan materiallarining yuzasi modifikatsiyalanganda, ularning gidrofoblik xususiyatlari sezilarli darajada ortadi va kontakt burchak 89° dan 114° gacha ko'tariladi[13]. Bu xususiyat xitozan-metakril sopolimerlarining biodiesel aralashmalarida emulsiyalarni barqarorlashtirish va fazalarni ajratish jarayonlarida muhim rol o'ynaydi. Xitozan asosidagi kompozitlarning mexanik mustahkamligi va uzoq muddatli barqarorligi ham yuqori darajada bo'lib, bu xususiyatlar ularni biodiesel qo'shimchalari sifatida foydalanishga imkon beradi[14]. Karboksimetil xitozan (CMC) modifikatsiyasi xitozanning turli pH muhitlarida eruvchanligini nazorat qilish imkonini beradi, bu esa biodiesel ishlab chiqarish va tozalash jarayonlarida muhim ahamiyatga ega[15]. Past molekulyar og'irlikka ega xitozan (LMWC) yuqori biologik faollik ko'rsatadi va o'simliklarni himoya qiluvchi moddalar, o'stiruvchi stimulyatorlar va antimikrobiyal vositalar sifatida qo'llaniladi.Biodieselning sovuq oqimlilik xossalari uning keng qo'llanilishidagi asosiy muammolardan biridir va bu muammo to'yingan yog' kislotalarining esterlarining kristallanishiga bog'liq. Biodieselning

ISSN 3030-3907

bulutlanish nuqtasi (CP), sovuq filtr tiqilish nuqtasi (CFPP) va quyilish nuqtasi (PP) uning past haroratdagi ishlash qobiliyatini belgilaydi. Ko'pchilik o'simlik moylaridan olingan B100 biodieselning bulutlanish nuqtasi 0°C atrofida bo'lsa-da, hayvon yog'lari va qovurilgan moylardan olingan biodieselnikida bu ko'rsatkich 27°C gacha ko'tarilishi mumkin[16]. Biodieselning viskozitesi harorat pasayganda ortadi va bu past haroratlarda foydalanishda muammolarga sabab bo'ladi. Kinematik viskozite biodieselning asosiy xarakteristikalaridan biri bo'lib, uning qiymati 40°C da 3,5-5,0 mm²/s oralig'ida bo'lishi standartlar bilan belgilangan. Biodieselning to'yinganlik darajasi va uglerod zanjirining uzunligi ham viskozite va sovuq oqimlilik xususiyatlariga bevosita ta'sir qiladi. To'yingan esterlar yuqori erish nuqtasiga ega bo'lib, ular past haroratlarda kristallanishga moyil[17]. Sovuq oqimlilik muammolarini hal qilish uchun turli yondashuvlar, jumladan, biodieselni dizel bilan aralashtirish, qo'shimchalar qo'llash va xom ashyoning tarkibini o'zgartirish usullari mavjud[18].

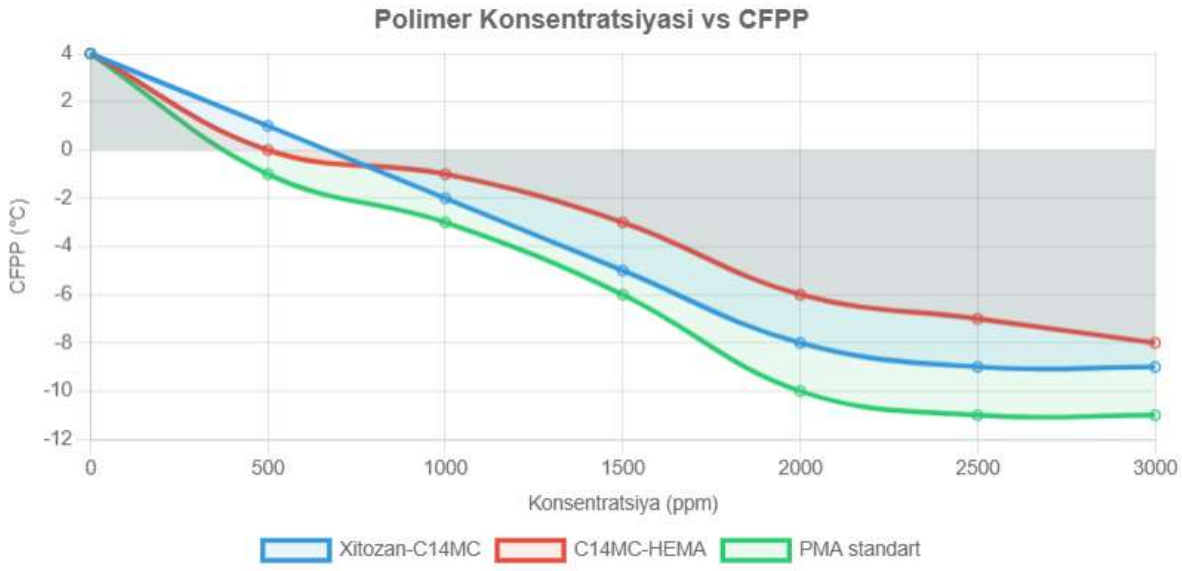
4-Jadval

Turli antioksidantlarning soya biodieselining oksidlanish barqarorligiga ta'siri (Rancimat testi, 110°C)

Antioksidant turi	Konsentratsiya (ppm)	Induktiv period (soat)	Yaxshilanish (marta)	Narx samaradorligi
Qo'shimchasiz	0	4.2	1.0	-
TBHQ (sintetik)	200	28.5	6.8	Yuqori
BHA (sintetik)	200	25.2	6.0	Yuqori
BHT (sintetik)	200	22.8	5.4	O'rta
Propil gallat	300	26.4	6.3	O'rta
α-Tokoferol (tabiiy)	400	18.9	4.5	Past
Xitozan kompozit	500	21.6	5.1	Yuqori

ISSN 3030-3907

Antioksidant turi	Konsentratsiya (ppm)	Induktiv period (soat)	Yaxshilanish (marta)	Narx samaradorligi
Xitozan-metakril	1500	9.8	2.3	O'rta



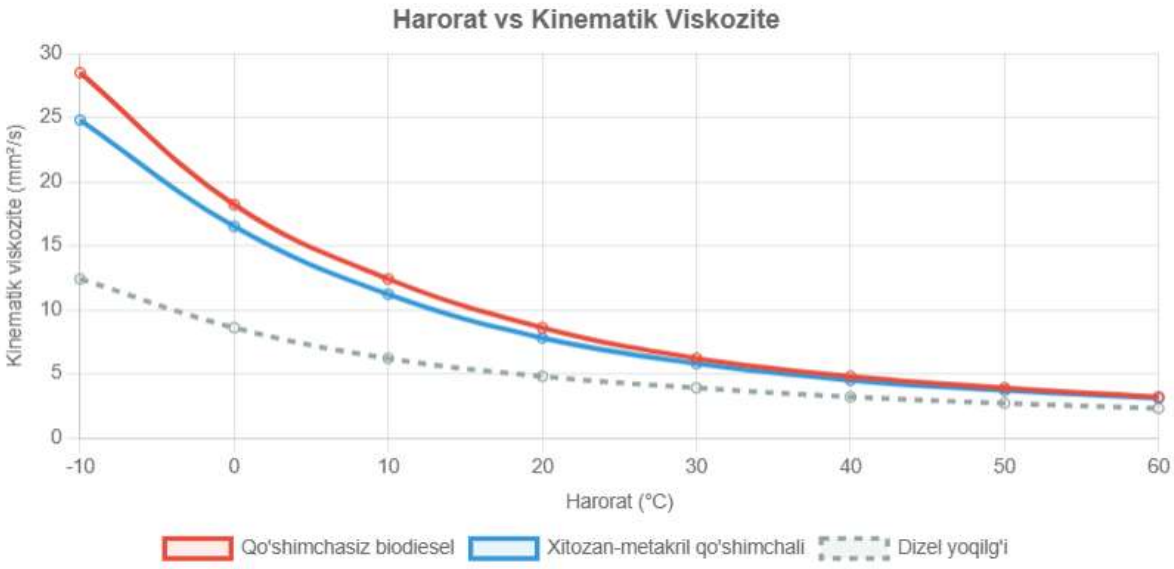
Grafik 1. Xitozan-metakril sopolimer konsentratsiyasining B20 biodiesel aralashmasining CFPP ga ta'siri

Tetradesilmetakrilat-gidroksietilmetakrilat (C14MC-HEMA) kopolimerlari biodiesel aralashmalari uchun quyilish nuqtasini pasaytiruvchi qo'shimchalar sifatida yuqori samaradorlik ko'rsatadi[21]. C14MC-HEMA (9:1) tarkibli kopolimer B20 (20% biodiesel + 80% dizel) aralashmasining quyilish nuqtasini 14°C ga va CFPP ni 6°C ga pasaytiradi[21]. Gidroksil polar guruhlarining qo'shilishi polimer qo'shimchaning samaradorligini oshiradi chunki bu guruhlar mum kristallari bilan o'zaro ta'sirlashib, ularning o'sish mexanizmini o'zgartiradi[21]. Alkil-metakrilat-malein angidrid kopolimerlari ham biodieselning oqimlilik xususiyatlarini yaxshilashda samarali bo'lib, C14 alkil zanjirga ega polimer 1000 ppm konsentratsiyada chiqindi yog' biodieselining quyilish nuqtasini 12°C dan 5°C gacha tushiradi[22]. Benzil metakrilat-metakrilat kopolimerlari dizel yoqilg'isining quyilish nuqtasini pasaytiruvchi sifatida tadqiq etilgan va MB-C14MC (1:10) tarkibli kopolimer 3000 ppm konsentratsiyada dizelning qattiq nuqtasini 26°C ga va CFPP ni 12°C ga kamaytiradi[23]. Dodekil metakrilat va vinil asetat kopolimerlari moylash moylarida ko'p funksiyali qo'shimchalar sifatida viskozite indeksini yaxshilash va quyilish nuqtasini pasaytirish uchun ishlatiladi[24].Metakrilat quyilish nuqtasi pasaytiruvchi qo'shimchalarning soya

ISSN 3030-3907

biodiesel aralashmalarida ishlash mexanizmi differensial skanerlash kalorimetriyasi, past haroratli rentgen diffraktsiyasi va polyarizatsiyalangan optik mikroskopiya usullari bilan o'rganilgan[25]. 10-320 tipidagi metakrilat PPD ning 1% miqdorda B60 aralashmasiga qo'shilishi CFPP ni -10°C gacha pasaytiradi va bu eng muhim yaxshilanish hisoblanadi[25]. Qo'shimchalar mum kristallarining morfologiyasini o'zgartirib, ularning bir-biriga yopishishini kamaytiradi va kristallarning shakli mayda va bir xil bo'lib qoladi[26]. Polimetakrilatlar (PMA) eng keng tarqalgan PPD turlari bo'lib, ular neft sanoatida va moylash moylari ishlab chiqarishda ko'p yillar davomida muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda[27]. Biodiesel uchun mo'ljallangan qo'shimchalar tarkibida kislorod tutuvchi polar guruhlar, masalan, gidroksil va efir guruhlari bo'lishi kerak, chunki bu guruhlar biodieselning yog' kislotasi efirlari bilan yaxshi o'zaro ta'sir qiladi[28]. Metakrilat asosidagi polimer qo'shimchalarining samaradorligi ularning molekulyar og'irligiga ham bog'liq bo'lib, optimal molekulyar og'irlik diapazoni har bir yoqilg'i turi uchun alohida aniqlanishi kerak[29]. Tetradesilmetakrilat-norboren angidrid va tetradesilmetakrilat-karbon angidrid kopolimerlari yuzaga modifikatsiyalangan nano kremiy dioksid bilan birgalikda grafting qilinganda, dizelning past haroratdagi oqimliligi yanada yaxshilanadi[30].Biodieselning oksidlanish barqarorligi uning sifatini va uzoq muddatli saqlash imkoniyatini belgilovchi eng muhim xususiyatlardan biridir[31]. Biodiesel tarkibidagi to'yinmagan yog' kislotalari efirlari oksidlanishga juda moyil bo'lib, bu jarayon havodagi kislorod, yorug'lik, yuqori harorat va metall ionlari ta'sirida tezlashadi[32,33]. Oksidlanish jarayoni natijasida biodieselning viskozitesi, kislota soni va peroksid qiymati ortadi, shuningdek, eruvchan bo'lmagan yopishqoq moddalar hosil bo'lib, yoqilg'i filtrlarini va quvur liniyalarini tiqib qo'yishi mumkin[35]. Antioksidantlar qo'shish biodieselning oksidlanish barqarorligini oshirishning eng samarali va iqtisodiy jihatdan qulay usuli hisoblanadi[36]. To'yingan yog' kislotalariga boy xom ashyodan olingan biodiesel yuqori oksidlanish barqarorligiga ega bo'ladi, ammo uning sovuq oqimlilik xususiyatlari yomon bo'ladi, aksincha to'yinmagan yog' kislotalariga boy biodiesel yaxshi sovuq oqimlilikka ega bo'lsa-da, oksidlanishga moyil[31,37]. Shu sababli, biodieselning har ikkala muammosini ham hal qilish uchun maxsus qo'shimchalar kombinatsiyasi zarur[37].

ISSN 3030-3907



Grafik 2. Haroratning biodiesel viskozitesiga ta'siri (qo'shimchasiz va qo'shimchali)

Turli turdagi antioksidantlar biodieselning oksidlanish barqarorligini turlicha darajada oshiradi va hech qanday universal inhibitor mavjud emas, chunki har bir biodiesel turi o'ziga xos yog' kislotasi tarkibiga ega[35,36]. Sintetik antioksidantlar orasida tert-butil gidrokvinon (TBHQ), butirlangan gidroksianizol (BHA) va butirlangan gidroksitoluen (BHT) eng samarali deb topilgan[32,38]. TBHQ qo'shilishi biodieselning oksidlanish boshlangan haroratini sezilarli darajada oshiradi va Rancimat testi bilan o'lchanadigan induktiv period vaqtini uzaytiradi[38]. Propil gallat (PrG) va α-tokoferol ham samarali antioksidantlar bo'lib, ular tabiiy manbalardan olinishi mumkin[38]. Antioksidantlarning konsentratsiyasi biodieselning oksidlanish barqarorligiga katta ta'sir ko'rsatadi va optimal konsentratsiya 100-400 ppm oralig'ida bo'ladi[39]. Kastor moyi biodieseliga BHA 2000 ppm konsentratsiyada qo'shilganda, uning oksidlanish barqarorligi 6-15 marta ortadi[40]. Antioksidantlarning samaradorligi biodiesel tarkibidagi to'yinmagan yog' kislotalarining turiga va miqdoriga bog'liq bo'lib, ko'p to'yinmagan yog' kislotalariga boy biodiesellar antioksidantlarning ta'siriga kamroq javob beradi[37].Xitozan modifikatsiyalangan metakrilat sopolimerlarining biodiesel aralashmalaridagi qo'llanilishi ikkita asosiy afzallikni birlashtiradi: birinchidan, metakrilat komponentlari past haroratdagi oqimlilik xususiyatlarini yaxshilaydi, ikkinchidan, xitozan o'zining tabiiy antioksidant xususiyatlari tufayli biodieselning oksidlanish barqarorligini oshiradi. Xitozan tarkibidagi amino guruhlari erkin radikallarni tutib qolish qobiliyatiga ega bo'lib, bu oksidlanish jarayonini sekinlashtiradi. Xitozan-grafted polimetil metakrilat kompozitlari suyak to'qimalari muhandisligi uchun ishlab chiqilgan bo'lib, ular yaxshi mexanik mustahkamlik va uzoq muddatli barqarorlikka ega, shuningdek, dori moddalarini tashish uchun ham ishlatilishi mumkin[4]. Bu xususiyatlar xitozan-metakril

ISSN 3030-3907

kompozitlarining biodiesel qo'shimchalari sifatida qo'llanilishida ham foydali bo'lishi mumkin. Xitozanning metakrilat bilan modifikatsiyasi uning gidrofoblik xususiyatlarini oshiradi va bu biodiesel aralashmalari bilan yaxshiroq moslashuvni ta'minlaydi[5,7]. Xitozan asosidagi kompozit materiallarning g'ovakligi va yuzaki maydoni ham ularning samaradorligiga ta'sir qiladi, chunki bu parametrlar qo'shimchaning yoqilg'i aralashmasida taqsimlanishini va mum kristallari bilan o'zaro ta'sirini belgilaydi[10].Biodieselning zichligi ham muhim fizik-kimyoviy xususiyat bo'lib, u harorat ortishi bilan chiziqli ravishda kamayadi[16,17]. Standart sharoitlarda (15°C da) biodieselning zichligi odatda 860-900 kg/m³ oralig'ida bo'ladi[18]. Biodieselning chaqnash nuqtasi (flash point) xavfsizlik nuqtai nazaridan muhim parametr bo'lib, u odatda 130°C dan yuqori bo'ladi, bu esa uni dizelga nisbatan xavfsizroq qiladi[18,19]. Biodieselning sirt tarangligi ham uning purkash xususiyatlariga ta'sir qiladi va bu parametr yonish kamerasida yoqilg'ining atomizatsiyasini belgilaydi[18]. Biodiesel aralashmalarining reologik xususiyatlari harorat va tarkibga bog'liq ravishda o'zgaradi va bu o'zgarishlar dvigatelning ishlash samaradorligiga bevosita ta'sir qiladi[16,17]. Molekulyar modellashtirish usullari yordamida biodieselning turli fizik-kimyoviy xususiyatlarini, jumladan, setan sonini, viskoziteni, zichlikni, chaqnash nuqtasini va sovuq oqimlilik parametrlarini bashorat qilish mumkin[17].Xitozan-metakril sopolimer kompozitlarining biodiesel aralashmalaridagi ta'siri bir nechta omillarga bog'liq, jumladan, polimer konsentratsiyasi, molekulyar og'irligi, alkil zanjirining uzunligi va polar guruhlarning turi muhim rol o'ynaydi. Optimal natijalar odatda 1500-3000 ppm konsentratsiya oralig'ida erishiladi. Yuqori molekulyar og'irlikka ega sopolimerlar mum kristallarining yuzasiga yaxshiroq adsorbsiya qilinadi, ammo ortiqcha yuqori molekulyar og'irlik yoqilg'ining viskozitesini haddan tashqari oshirishi mumkin. Shuning uchun, optimal molekulyar og'irlikni tanlash muhim ahamiyatga ega. Polimer qo'shimchalarning samaradorligi biodieselning tarkibiga ham bog'liq bo'lib, har xil xom ashyodan olingan biodiesellar turli xil javob beradi. Masalan, palmitik va stearik kislotalariga boy biodiesellar ko'proq sovuq oqimlilik muammolariga duch keladi va shuning uchun ular qo'shimchalardan ko'proq foyda ko'radi. Xitozan-metakril sopolimerlarining yana bir muhim afzalligi shundaki, ular ekologik jihatdan xavfsiz va bioparçalanadigan materiallardir, bu esa ularni zamonaviy ekologik talablariga javob beruvchi qiladi.

Kelajakda xitozan-modifikatsiyalangan metakril sopolimerlarini biodiesel aralashmalari uchun yanada yaxshilash yo'llari mavjud. Masalan, nanokompozit materiallar yaratish, turli funksional guruhlarni qo'shish va ko'p komponentli polimer sistemalarini ishlab chiqish mumkin. Xitozan va metakril sopolimerlarining sinergik ta'siri biodieselning bir vaqtning o'zida ham sovuq oqimlilik, ham oksidlanish barqarorligi muammolarini hal qilish imkonini beradi.

ISSN 3030-3907

Bu esa biodieselning sanoatda keng miqyosda qo'llanilishiga yo'l ochadi va qayta tiklanadigan energiya manbalarining rivojlanishiga hissa qo'shadi. Xitozan-metakril kompozitlarining narxi ham nisbatan past bo'lib, bu ularni iqtisodiy jihatdan samarali qiladi. Bundan tashqari, xitozanning tabiiy manbalardan olinishi va uning biouyg'unligi bu materiallarni ekologik jihatdan xavfsiz qiladi va ulardan foydalanish atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatmaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Jiménez-Gómez C.P., Cecilia J.A. Pristine and modified chitosan as solid catalysts for catalysis and biodiesel production: A minireview. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;164:2981-2994.
2. Ahmad N.H., Mustafa S., Banat F. Utilization of Polymeric Materials toward Sustainable Biodiesel Industry: A Recent Review. Polymers. 2022;14(12):2465.
3. Pramudya R., Rahayu S.S. A scientometric analysis and recent advances of emerging chitosan-based biomaterials as potential catalyst for biodiesel production: A review. Carbohydrate Polymers. 2023;318:121110.
4. Aranaz I., Alcántara A.R., Civera M.C., et al. Chitosan, chitosan derivatives, and chitosan-based nanocomposites: eco-friendly materials for advanced applications. Frontiers in Chemistry. 2023;11:1327426.
5. Bryuzgin E., Bryuzgina E., Yartseva V., et al. Biodegradation Control of Chitosan Materials by Surface Modification with Copolymers of Glycidyl Methacrylate and Alkyl Methacrylates. Fibers and Polymers. 2022;23(9):2502-2510.
6. Ikhtiyarova G.A., Saidov J.E. Analysis of depressor additives to improve the low temperature properties of diesel fuel Proceeding X International Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE – 2023, Volume 1 I.M. Auezov South Kazakhstan University Shymkent, Kazakhstan November 18, 2023. PP.40-43.
7. .Ikhtiyarova G.A., K.S.Nadirov., Saidov J.E.,Depressor addites for diesel fuels based on chitosan-with improvement of their physical and chemical properties. Нефт и газ. 2025. №2. С.161-171.
8. Shariatinia Z. Carboxymethyl chitosan: Properties and biomedical applications. International Journal of Biological Macromolecules. 2018;120:1406-1419.
9. Aam B.B., Heggset E.B., Norberg A.L., et al. Preparation, properties, and application of low-molecular-weight chitosan. Handbook of Chitin and Chitosan. 2020:225-246.
10. Kusumawati D.H., Muslim A., Wardani A.K., Mangindaan D. Development of Chitosan/Rice Husk-Based Silica Composite Membranes for Biodiesel Purification. Membranes. 2022;12(4):402.

ISSN 3030-3907

11. Nwadike I., Yahaya M., O'Donnell S., et al. Cold Flow Properties and Kinematic Viscosity of Biodiesel. Universal Journal of Chemistry. 2013;1(4):135-141.
12. Ong H.C., Chen W.H., Farooq A., et al. A Mini Review on the Cold Flow Properties of Biodiesel and its Blends. Frontiers in Energy Research. 2020;8:598651.
13. Nwadike I., Yahaya M., O'Donnell S., et al. Cold Flow Properties and Kinematic Viscosity of Biodiesel. Academia. 2014.
14. IEA Advanced Motor Fuels. Fatty Acid Esters (biodiesel): Properties. 2024.
15. Pinto C., Puna J., Santos M.T., et al. Cold flow properties of waste cooking oil biodiesel and a new improvement method. Scientific Reports. 2024;14:19813.
16. Abdelraziq I.R., Musameh S.M. Biodiesel Viscosity and Flash Point Determination. Physics Master Thesis. 2015.
17. Obed F., Kurnia J.C., Mahamude A.S.F., et al. A Laboratory Study of the Effects of Wide Range Temperature on the Properties of Biodiesel Produced from Various Waste Vegetable Oils. Waste and Biomass Valorization. 2017;8(4):1995-2012.
18. Luning Prak D.J., Cowart J.S., Hamilton L.J., et al. Density, viscosity, speed of sound, flash point, bulk modulus, and surface tension of mixtures of military jet fuel JP-5 and biodiesels dataset. Data in Brief. 2022;40:107773.
19. Balamurugan T., Arun A.A., Sathiyagnanam A.P. A Review of Biodiesel Cold Flow Properties and Its Improvement Methods: Towards Sustainable Biodiesel Application. Energies. 2024;17(18):4543.
20. Bahubali C., Gopalan A. Improving biodiesel's properties. Hydrocarbon Processing. 2019.
21. Chen X., Wang Z., Li Z., et al. Evaluation of tetradecyl methacrylate-hydroxyethyl methacrylate copolymers and their synergies with other polymeric pour point depressants to improve cold flow properties of biodiesel blends. Industrial Crops and Products. 2022;189:115811.
22. Yuniarti E., Surya I., Cifriadi A. Synthesis and characterization of alkyl-methacrylate-maleic anhydride copolymer for use as a biodiesel flow improver. Journal of Physics Conference Series. 2021;2049:012052.
23. Lu Y., Wang X., Zhang L., et al. Synthesis and evaluation of benzyl methacrylate-methacrylate copolymers as pour point depressant in diesel fuel. Fuel. 2019;258:116106.
24. Ghosh P., Das M.K. Dodecyl methacrylate and vinyl acetate copolymers as viscosity modifier and pour point depressant for lubricating oil. International Journal of Industrial Chemistry. 2017;8(2):197-205.

ISSN 3030-3907

25. Zhao F., Li C., Wang Y., et al. Study on the performance mechanism of methacrylate pour point depressant in soybean biodiesel blends. RSC Advances. 2015;5(101):82702-82713.
26. Prasad A., Soni P.H., Bharambe P.D. Pour Point Depressant of Crude Oil. International Journal of Chemical and Physical Sciences. 2019;8(2):1-19.
27. Ghosh A., Chaudhuri H. Pour Point Depressant - an overview. ScienceDirect Topics. 2023.
28. Neudörfl J.M., Scherer H., inventors. Additive for biodiesel and biofuel oils. United States patent US6409778B1. 2002.
29. Dumanli S., Perincek S., Jukić A. Synthesis, characterization, and performance of alkyl methacrylates and tert-butylaminoethyl methacrylate tetra polymers as pour point depressants for diesel. Fuel. 2022;324:124456.
30. Wang H., Li Y., Zhou Y., et al. Grafting tetradecyl methacrylate-carbic anhydride or tetradecyl methacrylate-tetrahydrophthalic anhydride co-polymers onto surface-modified nano silica to develop of pour point depressants for diesel. Journal of Molecular Liquids. 2024;393:123587.
31. Bello E.I., Mogaji T.S., Agge M., Meran A.D. The role of antioxidants in improving biodiesel's oxidative stability, poor cold flow properties, and the effects of the duo on engine performance: A review. Heliyon. 2022;8(7):e09846.
32. Saluja R.K., Kumar V., Sham R. Stability of biodiesel, its improvement and the effect of antioxidant treated blends on engine performance and emission. RSC Advances. 2015;5(36):28907-28930.
33. Yaakob Z., Narayanan B.N., Padikkaparambil S., et al. An overview of biodiesel oxidation stability. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014;35:136-153.
34. Ahmed S.F., Rafa N., Mofijur M., et al. Insights into antioxidant dosage determination for improving biodiesel oxidation stability: a comprehensive review. Biofuels. 2024;16(2):197-215.
35. Varatharajan K., Pushparani D.S. Survey on Antioxidants Used as Additives to Improve Biodiesel's Stability to Degradation through Oxidation. Molecules. 2023;28(23):7765.
36. Varatharajan K., Pushparani D.S. Survey on Antioxidants Used as Additives to Improve Biodiesel's Stability to Degradation through Oxidation. Molecules. 2023;28(23):7765.
37. Bello E.I., Mogaji T.S., Agge M., Meran A.D. The role of antioxidants in improving biodiesel's oxidative stability, poor cold flow properties, and the effects of the duo on engine performance: A review. PMC. 2022;8(7):e09846.
38. Dunn R.O. Effect of antioxidants on the oxidative stability of methyl soyate (biodiesel). Fuel Processing Technology. 2005;86(10):1071-1085.

ISSN 3030-3907

39. Bannur B.M., Satapathy A.K. The effect of antioxidant additives with methyl ester of neem oil on the oxidation stability. Energy Sources Part A. 2016;38(20):2454-2461.
40. Albuquerque M.C.G., Azevedo D.C.S., Cavalcante C.L., et al. A rapid method for evaluation of the oxidation stability of castor oil FAME: influence of antioxidant type and concentration. Journal of the Brazilian Chemical Society. 2009;20(7):1333-1337.

ISSN 3030-3907