

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

Қ. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты
Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасы

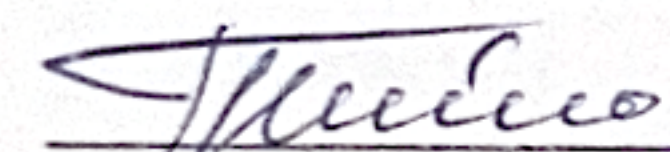
Жаксылыкова Жания
Магистр академиялық дәрежесін алу үшін

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы «Мотор майларын тұрақтандыру үшін
белсендірілген көмір мен бутилгидрокситолуол
(ВНТ) негізіндегі композициялық антиоксиданттың
тиімділігін зерттеу»

Дайындау бағыты 7М07109- «Көмірсутек қосылыстарының
химиялық инженериясы»

Ғылыми жетекші: х.ғ.д, профессор

 Бойко Г.И.

" 20 " 01 2026 ж.

Рецензент

Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ

х.ғ.к., қауымд. профессор

 Рахметуллаева Р.К.

" 20 " 01 2026 ж.

Норма бақылаушы

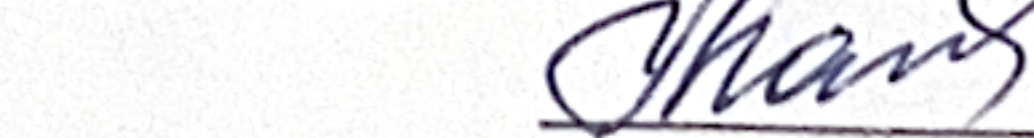
 Демеубаева Н.С.

" 20 " 01 2026 ж.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

"Химиялық және биохимиялық
инженерия" кафедрасының

меңгерушісі х.ғ.к. қауым. профессор

 Р.А.Маңғазбаева

" 20 " 01 2026 ж.

Алматы 2026 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

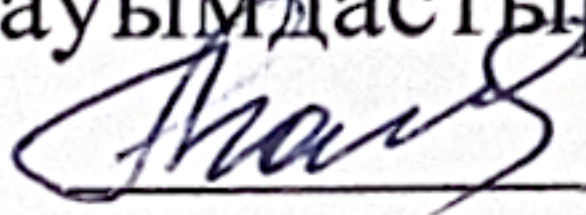
"Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

Қ. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты
Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасы

7M07109- «Көмірсутек қосылыстарының химиялық инженериясы»

"Химиялық және биохимиялық инженерия"
кафедрасының меңгерушісі

Х. Ғ. К., қауымдастырылған профессор

 Р.А.Маңғазбаева
" 20 " 01 2026 ж.

Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА

Магистрант Жаксылыкова Жания

Тақырыбы «Мотор майларын тұрақтандыру үшін белсендірілген көмір мен бутилгидрокситолуол (ВНТ) негізіндегі композициялық антиоксиданттың тиімділігін зерттеу

Университет ректорының 2026 жылғы «14» 01 №14 бұйрығымен бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі "23" қаңтар 2026ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: *диплом алдындағы тақырып бойынша әдебиеттерге шолу нәтижелері, теориялық мәліметтер жиыны*

Магистрлік диссертацияда әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

а) Мотор майларының тотығу процестерінің теориялық негіздерін, сондай-ақ антиоксиданттық қоспалардың тотығу тұрақтылығына әсер ету механизмдерін зерттеу;

б) Активтендірілген көмір мен бутилгидрокситолуолдың (ВНТ) физика-химиялық қасиеттерін талдап, олардың мотор майларындағы антиоксиданттық әсерін бағалау;

в) Инфрақызыл спектроскопия (ИК), қышқыл және сілтілік санды анықтау, тұтқырлық және тұтқырлық индексін өлшеу сияқты зертханалық әдістер арқылы композит енгізілген және енгізілмеген май үлгілерінің қасиеттеріндегі өзгерістерді салыстырмалы талдау;

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

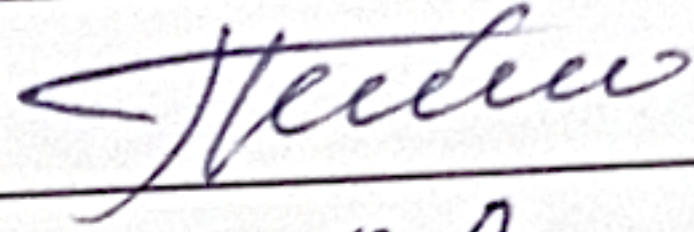
Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 69 атау

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

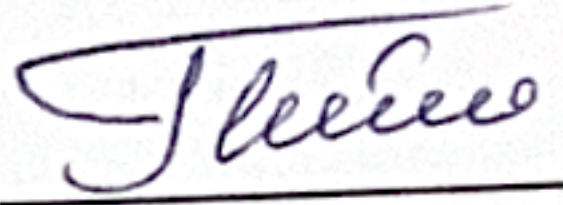
Бөлімдердің атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Әдебиетке шолу	07.05.2024	
Зерттеу нысандары мен әдістері	02.04.2025	
Зерттеу нәтижелері. Қорытынды	01.11.2025	

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушының қойған

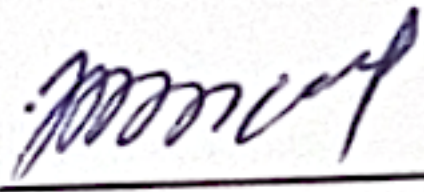
қолдары

Бөлімдердің атауы	Консультанттар, аты-жөні (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Магистрлік диссертация	Химия ғылымдарының докторы Бойко Г.И.	20.01.2026	
Норма бақылау	ХжБИ кафедра аға оқытушысы, Доктор PhD Демеубаева Н.С	20.01.2026	

Ғылыми жетекші, ассоц. проф.

 Бойко Г.И.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды

 Жаксылыкова Ж.С.

Күні

«20» қаңтар 2026 ж

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

1. ӘДЕБИ ШОЛУ	13
1.1. Базалық майлар және олардың сипаттамалары	13
1.2. Мотор майларының химиялық құрамы және жіктелуі	14
1.3. Мотор майларына қойылатын талаптар	15
1.4. Нормативтік және жіктеу стандарттары	16
1.5. Мотор майларының тотығу процестері теориясының негіздері	17
1.5.1. Әртүрлі мақсаттағы майлау материалдарының қартаю процестерінің теориялық негіздері	19
1.6. Мотор майларының ресурсына әсер ететін факторлар	25
1.7. Мотор майларының тотығу және термиялық бұзылу механизмдері	26
1.8. Қоспалар және олардың функционалдық тағайындалуы	28
1.8.1. Мотор майларының антиоксиданттық қоспалары	29
1.8.2. ВНТ – мотор майларының антиоксиданты ретінде	30
1.9. Мотор майларын тұрақтандыруда активтендірілген көмірді адсорбент ретінде қолдану	31
1.10. Композиттік антиоксидант тұжырымдамасы: активтендірілген көмір мен ВНТ үйлесімі	32
2. ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ	35
2.1. Зерттеу объектісі. Материалдар мен реагенттер	35
2.2. Композиттік антиоксиданттарды дайындау әдістемесі	36
2.2.1. Көміртекті тасымалдағышты дайындау	36
2.2.2. Бутилгидрокситолуол ерітіндісін дайындау	38
2.3. Активтендірілген көмір бетінде ВНТ иммобилизациялау	40
2.4. Композиттерді майлар құрамына енгізу және олардың қасиеттерінің өзгерісін бақылау	42
2.5. Майларды жеделдетілген тотығуға ұшырату әдістемесі	42
2.6. Зерттеу әдістері	44
3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛДАУ	46
3.1. Зерттелетін үлгілердің сипаттамасы. Бастапқы реагенттер мен алынған композит құрылымын зерттеу және дәлелдеу	46
3.2. Тотығудан кейін май қасиеттерінің өзгерісін зерттеу	48
3.2.1. Майдың қышқыл санын анықтау	48
3.2.2. Майдың сілтілік санын анықтау	50
3.2.3. Майлардың қышқыл-сілтілік сипаттамаларын салыстырмалы талдау	52
3.2.4. Үлгілерді ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттеу	53

3.2.5.Мотор майларының тұтқырлығын анықтау әдістемесі және нәтижелерді талдау	55
3.2.6 Тұтқырлық индекcін есептеу нәтижелерін талдау	58
3.2.7. Үлгілердің түсі мен визуалды қасиеттерінің өзгерісін зерттеу	59
3.3. Композит тиімділігін салыстырмалы талдау	62

ҚОРЫТЫНДЫ

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

АҢДАТПА

Диссертациялық жұмыс 68 беттен, 5 кестеден, 13 суреттен, 69 пайдаланылған әдебиет көздерінен тұрады. Түсіндірме жазбада мотор майларын тұрақтандыруға арналған композиттік антиоксиданттың теориялық негіздері, белсендірілген көмір мен бутилгидрокситолуол (ВНТ) қасиеттерінің сипаттамасы және зерттеу әдістемесі қарастырылған.

Жұмыста май үлгілерін жеделдетілген термооксидативті қартаю жағдайында зерттеу жүргізіліп, қышқылдық және сілтілік саны, тұтқырлық, тұтқырлық индексі сонымен қатар инфрақызыл спектрлер бойынша талдау жасалды. Сондай-ақ композиттік антиоксиданттың мотор майларының тотығу тұрақтылығына әсері бағаланды.

Алынған нәтижелер негізінде ұсынылған композиттік антиоксиданттың тиімділігі көрсетіліп, мотор майларының пайдалану қасиеттерін сақтау мүмкіндігі анықталды.

АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа состоит из 68 страниц, 5 таблиц, 13 рисунков и 69 использованных литературных источников. В пояснительной записке рассмотрены теоретические основы композитного антиоксиданта, предназначенного для стабилизации моторных масел, приведена характеристика активированного угля и бутилгидрокситолуола (ВНТ), а также описана методика проведения исследований.

В работе проведены исследования образцов масел в условиях ускоренного термоокислительного старения, выполнен анализ кислотного и щелочного числа, вязкости, индекса вязкости, а также инфракрасных спектров. Кроме того, оценено влияние композитного антиоксиданта на окислительную стабильность моторных масел.

На основании полученных результатов показана эффективность предложенного композитного антиоксиданта и определена возможность сохранения эксплуатационных свойств моторных масел.

ABSTRACT

The dissertation consists of 68 pages, 5 tables, 13 figures, and 69 references. The explanatory note discusses the theoretical foundations of a composite antioxidant intended for the stabilization of motor oils, describes the properties of activated carbon and butylated hydroxytoluene (BHT), and outlines the research methodology.

The study investigates oil samples under accelerated thermo-oxidative aging conditions, with analyses of acid number, base number, viscosity, viscosity index, as well as infrared spectra. In addition, the effect of the composite antioxidant on the oxidative stability of motor oils was evaluated.

Based on the obtained results, the effectiveness of the proposed composite antioxidant is demonstrated, and the possibility of preserving the performance properties of motor oils is established.

КІРІСПЕ

Мотор майлары іштен жану қозғалтқыштарында үйкеліс режимін реттеп, бөлшектердің тозуын шектеуде маңызды рөл атқарады. Олар үйкелісті азайту, жылуды әкету, металл беттерді коррозиядан қорғау және цилиндр-поршень тобының герметикалылығын қамтамасыз ету сияқты бірқатар негізгі функцияларды орындайды. Сонымен қатар жану өнімдері мен механикалық ластағыштарды байланыстыру арқылы қозғалтқыштың тұрақты жұмыс істеуіне ықпал етеді. Майдың пайдалану қасиеттерінің сақталуы қозғалтқыштың қызмет ету мерзіміне, жұмыс сенімділігіне және экологиялық көрсеткіштеріне тікелей әсер етеді.

Мотор майларының пайдалану мерзімін шектейтін негізгі факторлардың бірі – тотығу процесі. Қозғалтқышта жоғары температураның, ауа оттегінің және металл беттердің каталитикалық әсерінен май құрамында радикал-тізбекті реакциялар жүреді. Нәтижесінде гидропероксидтер, органикалық қышқылдар, шайырлы қосылыстар және ерімейтін қатты бөлшектер түзіледі. Бұл майдың тұтқырлығының артуына, қышқыл санының өсуіне және бөлшектер бетінде шөгінділердің пайда болуына алып келеді, ал мұндай өзгерістер қозғалтқыш тозуын жеделдетеді.

Тотығу процестерін баяулату үшін мотор майларының құрамына антиоксиданттық қоспалар енгізіледі. Қолданыста кең таралған фенолдық және аминдік антиоксиданттар бос радикалдарды тұрақтандыру және гидропероксидтерді ыдырату арқылы тотығу тізбегін тежейді. Фенолдық қосылыстардың ішінде бутилгидрокситолуол (ВНТ) жоғары белсенділігімен және термиялық тұрақтылығымен ерекшеленеді. Алайда пайдалану барысында дәстүрлі антиоксиданттар біртіндеп жұмсалып, жоғары температура жағдайында тиімділігін төмендетуі мүмкін.

Антиоксиданттардың әсерін күшейту мақсатында белсенді заттарды қатты тасымалдағыштарға бекітуге негізделген композиттік жүйелерге қызығушылық артып келеді. Мұндай тасымалдағыштар ретінде жоғары адсорбциялық қасиеттерімен сипатталатын көміртекті материалдар қолданылады. Активтендірілген көмір тотығу барысында түзілетін органикалық қышқылдар мен полярлы қосылыстарды байланыстырып, майдағы тотығу жүктемесін төмендетуге мүмкіндік береді. Антиоксиданттың көмір бетіне иммобилизациялануы оның жұмсалуын баяулатып, қорғаныш әсерінің ұзақ сақталуын қамтамасыз етеді.

Бутилгидрокситолуол мен активтендірілген көмірді бір жүйеде қолдану мотор майларын қорғаудың химиялық және физикалық механизмдерін біріктіреді. Мұндай композиттер радикалдық процестерді тежеумен қатар тотығу өнімдерін адсорбциялау арқылы майдың деградациясын баяулатуға мүмкіндік береді. Осы бағыттағы зерттеулер мотор майларының тотығу тұрақтылығын

арттыру және олардың қызмет ету мерзімін ұзарту тұрғысынан практикалық маңызға ие.

Зерттеудің өзектілігі: Қазіргі уақытта мотор майларына қойылатын талаптар қозғалтқыштардың жұмыс режимдерінің күрделенуіне, температуралық жүктемелердің артуына және экологиялық нормалардың қатаюына байланысты күшейіп келеді. Мұндай жағдайларда майдың тотығуы оның пайдалану қасиеттерінің төмендеуіне алып келетін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Жоғары температура, ауа оттегінің әсері және тозу өнімдерінің жиналуы радикалдық процестердің қарқындылығын арттырып, майдың қартаюын жеделдетеді.

Тотығу процестерін баяулату мақсатында мотор майларының құрамына антиоксиданттық қоспалар енгізіледі. Дегенмен дәстүрлі антиоксиданттардың тиімділігі пайдалану барысында біртіндеп төмендеуі мүмкін, бұл майдың ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз етудің қосымша тәсілдерін қарастыру қажеттігін көрсетеді.

Бутилгидрокситолуол (ВНТ) антиоксидант ретінде фармацевтикада, косметика өнеркәсібінде және полимер материалдарын тұрақтандыруда қолданылатын белгілі қосылыс болып табылады. Бұл салаларда оның антиоксиданттық қасиеттері мен химиялық тұрақтылығы зерттелген. Осыған байланысты ВНТ-тың мотор майларының құрамындағы әсерін бағалау ғылыми тұрғыдан қызығушылық тудырады.

Экономикалық тұрғыдан бутилгидрокситолуолдың өндірісте кең таралған қосылыс болуы оны майлау материалдары үшін қолдану мүмкіндігін қарастыруға негіз бола алады.

Зерттеудің мақсаты: Активтендірілген көмір мен бутилгидрокситолуол (ВНТ) негізінде алынған композиттік антиоксиданттың мотор майларының тотығу тұрақтылығына әсерін бағалау.

Зерттеудің міндеттері:

Қойылған мақсатқа сәйкес келесі міндеттер қарастырылды:

1. Активтендірілген көмір мен ВНТ негізінде композиттік антиоксидантты алу;
2. Май үлгілерін бақыланатын термооксидативті қартаю жағдайына ұшыратып, олардың физика-химиялық қасиеттеріндегі өзгерістерді анықтау;
3. Қышқыл санының өзгерісі, инфрақызыл спектрлер, тұтқырлық және визуалдық көрсеткіштер бойынша композиттің тиімділігін бастапқы майлармен салыстыра отырып бағалау.

Зерттеу әдістері: Зерттеу барысында май үлгілері жеделдетілген термиялық тотығу әдісімен қартаюға ұшыратылды. Май құрамындағы функционалдық топтардың өзгерісін талдау үшін инфрақызыл спектроскопия (FTIR) қолданылды. Қышқыл саны титриметриялық әдіспен (TAN) анықталды. Сонымен қатар майдың деградация дәрежесін бағалау мақсатында

тұтқырлығының, түсінің өзгерісі және басқа да визуалдық көрсеткіштері талданды.

Ғылыми жаңалығы: Жұмыстың ғылыми жаңалығы бутилгидрокситолуол мен активтендірілген көмір негізіндегі композиттік антиоксидантты алу және оның мотор майларындағы тотығу процестеріне әсерін кешенді түрде бағалаумен сипатталады. Жеделдетілген термооксидативті қартаю жағдайында мұндай композиттік жүйенің жаңа және пайдаланылған мотор майларындағы әсері салыстырмалы түрде талданды.

Зерттеу нәтижелері химиялық антиоксидантты көміртекті адсорбентпен біріктіре қолдану ВНТ белсенділігінің сақталуына ықпал етіп, тотығу өнімдерінің түзілуін шектеуге және майдың деградация дәрежесін төмендетуге мүмкіндік беретінін көрсетеді.

Практикалық маңызы: Зерттеу нәтижелері мотор майлары үшін антиоксиданттық қоспаларды әзірлеу және олардың тотығу тұрақтылығын бағалау барысында қолданылуы мүмкін. Композиттік антиоксиданттарды пайдалану майдың тотығу процестерін баяулатуға және пайдалану қасиеттерінің тұрақтылығын сақтауға ықпал етуі ықтимал.

Ұсынылған зерттеу әдістемесі майлау материалдарындағы басқа да біріктірілген антиоксиданттық жүйелердің тиімділігін салыстырмалы түрде бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін.

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Диссертациялық жұмыста келесі стандарттарға сілтемелер қолданылды:

1. **ГОСТ 17479.1–85** — Мотор майлары. Жіктелуі.
2. **ГОСТ Р 52994–2008** — Майлау майлары. Терминдер мен анықтамалар.
3. **ГОСТ 6243–81** — Майлау майлары. Тұтқырлықты анықтау әдісі.
4. **ГОСТ 33–2000** — Мұнай өнімдері. Кинематикалық тұтқырлықты анықтау.
5. **ГОСТ 11362–96** — Мұнай өнімдері. Қышқылдықты анықтау әдісі.
6. **ГОСТ 11362–96 (ISO 3771:1990)** — Мұнай өнімдері. Сілтілік санды анықтау әдісі.
7. **ГОСТ Р 52247–2004** — Синтетикалық майлар. Жалпы талаптар.

1 ӘДЕБИ ШОЛУ

1.1.Базалық майлар және олардың сипаттамалары

Мотор майларының тотығу тұрақтылығын арттыру мәселесі трибология мен майлау материалдары химиясындағы өзекті ғылыми бағыттардың бірі. Бұл мәселені шешу майлардың құрамын, химиялық табиғатын және пайдалану барысында жүретін қартаю процестерін түсінуді талап етеді. Осы бөлімде мотор майларының негізгі компоненттері ретінде базалық майлардың түрлері мен олардың тотығу тұрақтылығына әсер ететін сипаттамалары қарастырылады.



Сурет 1 – Мотор майлары

Қазіргі заманғы мотор майлары көпкомпонентті жүйелер болып табылады, ал олардың негізін базалық майлар құрайды. Базалық майлар майлау материалдарының тұтқырлық, температуралық тұрақтылық, төмен температурадағы аққыштық және тотығуға төзімділік сияқты негізгі физика-химиялық қасиеттерін анықтайды. Базалық компоненттің сапасы қозғалтқыш майының тиімділігі мен қызмет ету мерзіміне тікелей әсер етеді [1].

Өнеркәсіпте базалық майлар шығу тегі мен өндіру технологиясына байланысты минералды, синтетикалық және жартылай синтетикалық болып бөлінеді.

Минералды базалық майлар мұнайды атмосфералық-вакуумдық айдау және кейінгі тазалау процестері арқылы алынады. Қолданылатын тазалау әдісіне қарай олар селективті, адсорбциялық және гидрокаталитикалық өңделген майлар болып жіктеледі. Тазалау дәрежесі артқан сайын ароматты көмірсутектердің, шайырлар мен күкіртті қосылыстардың мөлшері төмендеп, майдың термиялық және тотығу тұрақтылығы жоғарылайды. Минералды майлар өндірісінің қарапайымдылығымен ерекшеленгенімен, синтетикалық майлармен

салыстырғанда қартаюға және төмен температура әсеріне төзімділігі төмен болады [2].

Синтетикалық базалық майларға полиальфаолефиндер, күрделі эфирлер, фосфор қышқылының эфирлері және полиорганосилоксандар жатады. Полиальфаолефиндер жоғары термооксидативті тұрақтылығымен, төмен ұшқыштығымен және кең температуралық диапозонда тұрақты тұтқырлық қасиеттерімен сипатталады. Күрделі эфирлердің полярлығы жоғары болғандықтан, олар металл беттермен жақсы әрекеттесіп, берік майлау қабықшасының түзілуіне ықпал етеді [2, 3].

Фосфор қышқылының эфирлері мен силиконды қосылыстар жоғары термиялық төзімділік пен химиялық инерттілік талап етілетін арнайы мақсаттағы майларда қолданылады. Мұндай майлар авиациялық техникада, турбиналарда және жоғары температура жағдайында жұмыс істейтін тораптарда пайдаланылады. Сонымен қатар эфирлік майлар биоыдырағыштығымен ерекшеленеді, алайда олардың құны салыстырмалы түрде жоғары.

Жартылай синтетикалық майлар минералды және синтетикалық компоненттердің қоспасынан тұрады. Бұл олардың бағасы мен пайдалану қасиеттері бойынша аралық орынды алуына мүмкіндік береді.

Базалық майлардың негізгі сипаттамаларына тұтқырлық, тұтқырлық индексі, жану температурасы, қату температурасы және кокстену қабілеті жатады. Аталған көрсеткіштер майдың молекулалық құрылымына, тазалау дәрежесіне және химиялық тұрақтылығына байланысты. Ароматты және күкіртті қосылыстары көп, жеткіліксіз тазаланған минералды майлар тотығу мен деградацияға бейім келеді. Ал синтетикалық базалық майлар тұрақты химиялық құрылымының арқасында жоғары термооксидативті төзімділік көрсетеді және жоғары жүктеме жағдайында пайдалануға қолайлы [1].

1.2 Мотор майларының химиялық құрамы мен жіктелуі

Мотор майлары базалық майлар мен функционалдық қоспалар кешенінен тұратын күрделі композициялық жүйелер қатарына жатады. Бұл компоненттер іштен жану қозғалтқыштарының жұмыс жағдайында майлау, қорғау және тұрақтандыру функцияларын бірлесіп атқарады. Май құрамының негізгі бөлігін базалық майлар құрайды, олар тұтқырлық, термиялық тұрақтылық және тотығу процестеріне төзімділік сияқты негізгі қасиеттерді айқындайды. Ал қоспалар кешені мотор майларының пайдалану мүмкіндіктерін кеңейтіп, қосымша функционалдық сипаттамалар береді [5].

API (American Petroleum Institute) жіктемесіне сәйкес базалық майлар тазалану дәрежесіне, күкірт мөлшеріне және тұтқырлық индексіне байланысты бес топқа бөлінеді. Бірінші топқа жататын минералды базалық майлар ароматты және нафтенді көмірсутектердің салыстырмалы түрде жоғары үлесімен, сондай-

ақ термооксидативті тұрақтылығының шектеулілігімен сипатталады. Екінші топтағы базалық майлар көмірсутектердің қанығу дәрежесінің жоғарылауымен және жақсартылған пайдалану қасиеттерімен ерекшеленеді. Үшінші топты терең гидрокрекингтен өткен базалық майлар құрайды, олардың сипаттамалары синтетикалық өнімдерге жақын келеді. Төртінші топқа жоғары химиялық тұрақтылығымен және төмен буланғыштығымен ерекшеленетін полиальфаолефиндер жатады. Бесінші топқа майлау композицияларының қасиеттерін реттеу мақсатында қолданылатын арнайы синтетикалық компоненттер енгізіледі [1].

Қазіргі мотор майлары кең функционалдық мүмкіндіктерге ие қоспалар кешенін қамтиды. Бұл қоспалар антиоксиданттық, антикоррозиялық, жуғыш, диспергирлеуші, депрессорлық және үйкелісті модификациялаушы қызмет атқарады. Олардың негізгі міндеттері қатарында қозғалтқыш бөлшектерінің тозуын азайту, күйе мен лак тәрізді шөгінділердің түзілуін шектеу, тұтқырлықтың тұрақтылығын сақтау және майдың тотығу арқылы деградациясын баяулату бар [6].

Мотор майларының тиімділігі қоспалардың түрі мен мөлшеріне едәуір тәуелді, әсіресе тотығу процестерін баяулатуда антиоксиданттардың рөлі айрықша. Майдың тұрақтылығына температуралық режим, каталитикалық белсенді металдардың болуы, базалық майлардың сапасы және тозу өнімдерімен ластану деңгейі әсер етеді. Тіпті жаңа майға пайдаланылған майдың аз мөлшерде қосылуы тотығу процестерінің жеделдеуіне әкелуі мүмкін, себебі қоспаға қышқылдар, пероксидтер және радикалдық реакцияларды белсендендіретін металл бөлшектері түседі. Сондықтан мотор майларының химиялық құрамын және олардың деградация ерекшеліктерін талдау антиоксиданттық жүйелердің тиімділігін бағалау үшін маңызды саналады [7,8].

1.3 Мотор майларына қойылатын талаптар

Қазіргі заманғы мотор майлары іштен жану қозғалтқыштарының сенімді, ұзақ мерзімді және экологиялық тұрғыдан қауіпсіз жұмысын қамтамасыз етуге бағытталған. Оларға қойылатын талаптар қозғалтқыштардың конструкциялық ерекшеліктерін, жұмыс режимдерін және қолданылатын отын түрлерін ескере отырып қалыптастырылады. Мотор майының сапасы оның физика-химиялық қасиеттерімен және пайдалану барысында осы қасиеттердің тұрақтылығымен сипатталады [9].

Негізгі пайдалану көрсеткіштерінің бірі – тұтқырлық. Бұл параметр үйкеліс беттері арасында берік майлау қабықшасының қалыптасуына әсер етіп, механикалық үйкеліс шығындарын азайтады. Тұтқырлық мәні қозғалтқыштың конструкциясына, жүктеме деңгейіне және температуралық режиміне сәйкес таңдалады. SAE халықаралық стандарттары мен тиісті мемлекеттік нормативтер

әртүрлі климаттық жағдайларда қолданылатын майлар үшін тұтқырлықтың рұқсат етілген диапазондарын белгілейді.

Мотор майлары үшін маңызды талаптардың бірі термооксидативті тұрақтылық саналады. Бұл көрсеткіш майдың жоғары температура мен оттегінің әсерінен деградацияға төзімділігін сипаттайды. Термооксидативті тұрақтылығы жоғары майлар шламдар мен лак тәрізді шөгінділердің түзілуін шектейді, бұл турбонаддувпен жабдықталған және жоғары жүктемеде жұмыс істейтін қозғалтқыштар үшін ерекше маңызды [10].

Тозуға қарсы қасиеттер үйкеліс кезінде қозғалтқыш бөлшектерінің зақымдануын азайтуға бағытталған. Бұл қасиеттер зертханалық сынақтар арқылы, соның ішінде төртшарикті үйкеліс машинасында жүргізілетін тесттермен бағаланады. Антикоррозиялық қасиеттер майдың металл беттерді ылғалдың, оттегінің және жану процесі барысында түзілетін агрессивті өнімдердің әсерінен қорғау қабілетін көрсетеді. Аталған қасиеттерді қамтамасыз ету үшін май құрамына коррозия ингибиторлары енгізіледі [9].

Сонымен қатар мотор майлары жеткілікті диспергирлеуші қабілетке ие болуы тиіс, яғни тотығу мен тозу өнімдерін май көлемінде біркелкі күйде ұстап, олардың тұнуын болдырмауы қажет. Көбіктенуге бейімділіктің төмен болуы және ұзақ уақыт пайдалану кезінде физика-химиялық параметрлердің тұрақтылығын сақтау да маңызды талаптарға жатады. Майлау материалы межсервистік кезең бойы қозғалтқыштың тазалығын және майлау жүйесінің сенімді жұмысын қамтамасыз етуі қажет.

Мотор майларына қойылатын талаптар тұтқырлық-температуралық сипаттамаларды, тотығуға төзімділікті, тозуға және коррозияға қарсы қасиеттерді, сондай-ақ пайдалану барысында тұрақтылықты қамтитын көрсеткіштер жиынтығымен айқындалады.

1.4 Нормативтік және жіктеу стандарттары

Мотор майларының сапасы мен пайдалану жарамдылығы халықаралық және ұлттық нормативтік құжаттар арқылы реттеледі. Бұл стандарттар майлардың физика-химиялық және пайдалану қасиеттеріне қойылатын талаптарды белгілеп, әртүрлі типтегі қозғалтқыштар үшін оларды дұрыс таңдауға мүмкіндік береді. Нормативтік жүйелер тұтқырлық сипаттамаларды, тотығуға төзімділікті, тозуға қарсы және антикоррозиялық қасиеттерді, сондай-ақ экологиялық талаптарға сәйкестікті кешенді түрде бағалауға бағытталған.

Ең кең таралған халықаралық жіктеу жүйелерінің бірі API (American Petroleum Institute) стандарты саналады. Бұл жүйе мотор майларын бензинді және дизельді қозғалтқыштарға арналған топтарға бөліп, олардың пайдалану деңгейін әріптік индекстер арқылы сипаттайды. API жіктемесі қозғалтқыш конструкциясының ерекшеліктерін, жүктеме деңгейін және пайдалану

жағдайларын ескере отырып, майлардың қорғаныш қасиеттерін бағалауға мүмкіндік береді [11].

Еуропалық тәжірибеде кеңінен қолданылатын ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) стандарты экологиялық талаптарға, отын үнемділігіне және қазіргі қозғалтқыштардың конструкциялық ерекшеліктеріне басымдық береді. Бұл жіктеу майлардың жоғары температурадағы тұрақтылығын, шөгінді түзуге бейімділігін және шығарындыларды азайту жүйелерімен үйлесімділігін ескере отырып қалыптастырылған.

Жеңіл автокөліктерге арналған мотор майлары үшін ILSAC (International Lubricant Standardization and Approval Committee) стандарттары қолданылады. Бұл жүйе отын үнемділігіне, төмен температуралық қасиеттерге және каталитикалық нейтрализаторлармен үйлесімділікке қатысты талаптарды қамтиды.

Ұлттық деңгейде мотор майларының сапасы ГОСТ және техникалық шарттар арқылы реттеледі. Бұл құжаттарда тұтқырлық көрсеткіштері, тотығу тұрақтылығы, буланғыштық, коррозиялық белсенділік және басқа да маңызды параметрлер нормаланады. ГОСТ талаптарына сәйкестік зертханалық және стендтік сынақтар нәтижелерімен расталады [1].

Мотор майының белгілі бір стандартқа сәйкестігі оның нақты қозғалтқыш түрі мен пайдалану жағдайларына жарамдылығын көрсетеді. Нормативтік және жіктеу жүйелерін дұрыс қолдану майды таңдауда техникалық қателіктердің алдын алуға мүмкіндік береді.

1.5 Мотор майларының тотығу процестері теориясының негіздері

Мотор майларының қартаюы олардың химиялық және физика-химиялық қасиеттерінің өзгеруімен қатар жүретін күрделі процестер жиынтығымен сипатталады. Бұл өзгерістер тотығу, термиялық ыдырау және кейбір көмірсутек фракцияларында байқалатын полимерлену реакцияларымен байланысты. Пайдалану және сақтау кезінде май жану өнімдерімен, тозу бөлшектерімен, шаң-тозаңмен, металл және бейметалл қоспалармен, отын қалдықтарымен және ылғалмен ластанады. Аталған факторлар майдың деструкциясын жеделдетіп, оның пайдалану қасиеттерінің төмендеуіне әсер етеді [12].

Қалыпты жұмыс режимінде мотор майларының деградациясының кең таралған түрлерінің бірі тотығу процесі саналады. Бұл процесс майдың көлемінде (картер аймағында), жұқа қабықша күйінде (үйкеліс беттерінде) және аэрозоль түрінде (картер газдары аймағында) жүруі мүмкін. Май массасындағы тотығу көбіне шлам тәрізді ерімейтін шөгінділердің түзілуімен сипатталса, жұқа қабықшадағы тотығу лак тәрізді қабаттардың пайда болуына әкеледі. Ал жоғары температура әсеріне ұшырайтын аймақтарда көміртекті қатты өнімдер — күйе түзіледі [13].

Күйенің түзілу қарқындылығы қозғалтқыштың температуралық режиміне және жану процесінің ерекшеліктеріне тәуелді. Күйе бөлшектері абразивтік қасиет көрсетіп, үйкеліс беттерінің тозуын күшейтеді, сонымен қатар майдағы тотығу процестерін каталитикалық түрде жеделдетуі мүмкін. Жану камерасында күйенің жиналуы жылу алмасуды нашарлатып, детонация мен калильді тұтанудың пайда болу ықтималдығын арттырады.

Лак тәрізді шөгінділер жоғары температура жағдайында цилиндр-поршень тобы бөлшектерінің бетінде түзілетін жұқа май қабықшасының тотығуы нәтижесінде пайда болады. Поршень сақиналары аймағында лактың жиналуы олардың қозғалысын шектеп, тығыздағыш қабілетінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Бұл өз кезегінде май шығынының артуына және қозғалтқыштың жылулық режимінің бұзылуына әсер етеді [13].

Мотор майларының тотығу процестерін түсіндіру үшін көмірсутектердің пероксидтік тотығу теориясы кеңінен қолданылады. Бұл теория А. Н. Бах пен К. О. Энглер еңбектерінде негізделіп, кейін П. Н. Черножуков пен С. Э. Крейн тарапынан дамытылды. Теорияға сәйкес тотығу төмен температурада тұнуға бейім қышқыл өнімдердің (органикалық қышқылдар, оксикислоталар, эстолдидтер) және жоғары температурада лак пен күйеге айналатын бейтарап өнімдердің (шайырлар, асфальтендер, карбендер, карбоидтар) түзілуімен қатар жүреді [13].

Пероксидтік механизмге сәйкес тотығудың бастапқы сатысында органикалық пероксидтер мен гидропероксидтер түзіледі. Гидропероксидтер $R-O-O-H$ типті қосылыстарға жатады, ал пероксидтер $R-O-O-R$ құрылымымен сипатталады. Бұл қосылыстардағы $-O-O-$ байланысының энергиясы төмен болғандықтан, олар оңай ыдырап, тотығудың тізбекті реакцияларына қатысатын бос радикалдардың түзілуіне жағдай жасайды [14].

Пероксидтік теория тотығу процестерінің жалпы заңдылықтарын сипаттағанымен, индукциялық кезеңнің болуын және тотығу жылдамдығының қоспалардың аз мөлшеріне тәуелділігін толық түсіндірмейді. Бұл ерекшеліктер тізбекті реакциялар теориясы аясында қарастырылады. Тізбекті реакциялар бос радикалдардың қатысуымен бірнеше аралық сатылар арқылы өтеді және тармақталатын реакциялар кезінде процестің қарқынды дамуына әкеледі [15].

Қазіргі ғылыми көзқарастарға сәйкес автооксидация көмірсутек молекуласынан сутек атомының үзілуімен және алкил радикалының түзілуімен басталады. Алкил радикалы оттеппен әрекеттесіп, пероксильді радикал түзеді, ол басқа көмірсутек молекуласынан сутек атомын жұлып алып, гидропероксидтер мен жаңа радикалдардың түзілуін қамтамасыз етеді. Гидропероксидтердің ыдырауы қышқыл санының артуына, тұтқырлықтың өсуіне және шайырлы заттар мен шламдардың түзілуіне алып келеді.

1.5.1. Әртүрлі мақсаттағы майлау материалдарының қартаю процестерінің теориялық негіздері

Іштен жану қозғалтқыштарын пайдалану барысында мотор майлары қартаю процестеріне ұшырайды, соның нәтижесінде олардың негізгі сапалық көрсеткіштері өзгеріске түседі. Атап айтқанда, тұтану температурасы, тұтқырлық, қышқыл саны, тығыздық және оптикалық сипаттамалар өзгереді, яғни майдың физикалық күйі мен химиялық құрамы біртіндеп бұзылады. Мотор майының нақты қызмет ету мерзімін бағалау және болжау үшін қартаю механизмдерін, олардың даму заңдылықтарын және сапа көрсеткіштерінің шекті рұқсат етілген мәндерін түсіну қажет.

Қозғалтқыш ішінде жұмыс істейтін майлар әртүрлі әсерлерге ұшырайды: механикалық, термиялық, термооксидативті және химиялық. Бұл процестер металдармен, полимерлермен, сумен, ауамен және жану барысында түзілетін қышқылды ортада жүреді, ал аталған факторлардың көпшілігі майдың қартаюын жеделдетеді. Майға үздіксіз әсер ететін негізгі факторлардың бірі – жылулық энергия, ол қартаюдың статикалық сипатын анықтайды. Ал механикалық энергия дросселдеу, сығылу, разряд, діріл, араластыру және үйкеліс беттеріндегі шекаралық қабатта пайда болады.

Температуралық және термооксидативті әсерлер нәтижесінде базалық май ғана емес, сондай-ақ қоспалар да тотығу мен термиялық деструкцияға ұшырайды. Қозғалтқышта жұмыс істеу барысында жүретін физика-химиялық өзгерістерді шартты түрде бірнеше негізгі топқа бөлуге болады: біріншіден, физикалық сипаттағы өзгерістер, яғни май компоненттерінің булануы, тозу және коррозия өнімдерінің жиналуы, газдар мен судың еруі; екіншіден, қоспалардың мөлшерлік құрамының өзгеруі, бұл олардың термиялық ыдырауына және үйкеліс беттерінде сорбциялық қабықшалардың түзілуіне байланысты; үшіншіден, химиялық өзгерістер, соның ішінде көмірсутектердің тотығуы, судың қатысуымен жүретін гидролиз реакциялары, органикалық қышқылдардың әсерінен болатын ацидолиз және қоспалардың металл беттерімен өзара әрекеттесуі; төртіншіден, механохимиялық процестер, яғни майдың үйкеліс аймақтарындағы трибохимиялық реакцияларға қатысуы және механикалық әсерлердің химиялық реакцияларды жеделдетуі; бесіншіден, отынның толық жанбау өнімдерінің, атап айтқанда азот, күкірт және көміртек оксидтерінің әсерінен туындайтын өзгерістер [17].

Майдың тотығу процесі көпсатылы сипатқа ие болғандықтан, көптеген зерттеулерде қышқыл саны тотығу қарқындылығын және майдың пайдалану ресурсын сипаттайтын негізгі көрсеткіш ретінде қарастырылады. Автооксидацияның тізбекті реакциялары антиоксиданттық қоспалардың қатысуымен айтарлықтай баяулайды, себебі олар белсенді радикалдар мен гидропероксидтерді тұрақты қосылыстарға айналдыру арқылы реакция тізбегін үзеді [17].

Қоспалардың химиялық құрылымдарының алуан түрлілігі және олардың металл беттерімен әрі тотығу өнімдерімен өзара әрекеттесу ерекшеліктері мотор майларының тотығу процестерін математикалық түрде дәл сипаттауды қиындатады [18,19]. Дегенмен, көптеген жағдайларда көмірсутектердің тотығу реакциялары бірінші ретті кинетикаға бағынады деп есептеледі және олар сәйкес кинетикалық теңдеулер арқылы сипатталады.

$$V_i = k_i c_i, \quad (1)$$

мұндағы

k_i — реакция жылдамдығының константасы,

c_i — реагенттің ағымдағы концентрациясы.

Берілген дифференциалдық теңдеуді шешу реакция барысында зат концентрациясының уақытқа тәуелділігін алуға мүмкіндік береді: $c_i = c_{oi} e^{k_i t}$

Тәжірибелік зерттеулерде тотығу өнімдерінің жеке концентрацияларын анықтау күрделі болғандықтан, процестің қарқындылығы әдетте интегралды көрсеткіштер арқылы бағаланады. Мұндай көрсеткіштердің бірі ретінде мотор майлары үшін кеңінен қолданылатын қышқыл саны алынады.

Тотығу процесінің кинетикалық қисықтары келесі эмпирикалық тәуелділікпен сипатталуы мүмкін:

$$y = y_0 e^{x^n}, \quad (2)$$

мұндағы

y_0 — көрсеткіштің бастапқы мәні,

$x=kt$

n — көрсеткіш дәрежесі (көбінесе $n=1$, кейбір жағдайларда $0 \leq n \leq 2$).

Өртүрлі тотығу жылдамдықтарында бірдей көрсеткіш мәніне жету уақыты келесі қатынас арқылы анықталады: $k_1 t_1 = k_2 t_2$.

Тотығу процесінің жылдамдық константасының температураға тәуелділігі Аррениус теңдеуімен сипатталады:

$$k = A e^{U/RT}, \quad (3)$$

A — молекулалардың соқтығысу жиілігін сипаттайтын коэффициент, $1/c$;

U — активтену энергиясы, Дж/моль;

R — универсал газ тұрақтысы (8,313 Дж/(моль·К)).

Коэффициент A зерттелетін мұнай өніміне тән жеке ерекшеліктерді сипаттайды. Алайда Аррениус теңдеуі тек орташа, докритикалық температуралар аймағында ғана орындалады. Осыған байланысты мотор майларының қартаю процесін сипаттауда реакция жылдамдығының константасы мен активтену энергиясы нақты бір реакцияны емес, тотығу, деструкция және қоспалардың өзгеруі сияқты бірқатар процестердің жинақталған әсерін көрсететін интегралды параметрлер ретінде қарастырылады.

Температуралық режимді күшейту кезінде белгілі бір уақыттан кейін t_x , тотығу процесінің заңдылықтары өзгеруі мүмкін. Бұл құбылыс жоғары температурада антиоксиданттық қоспалардың ыдырауымен немесе тотығу

процесін каталитикалық түрде жеделдететін жаңа қосылыстардың түзілуімен байланысты болуы ықтимал. Осы себепті мотор майларын жеделдетілген сынау кезінде температура мәні тәжірибелік жолмен анықталатын t_x шегінен асырылмай таңдалады.

Майлардың қартаю процесін және органикалық қоспалардың үйкеліс беттерінде шекаралық қорғаныш қабықшаларын түзу барысында жұмсалуды ескеру үшін бірқатар кинетикалық тәуелділіктер қолданылады. Осы процестерді сипаттау үшін келесі өрнек ұсынылады [17]:

$$y = y_1 e^{kt} + \frac{2y_2}{e^{mkt} + e^{-mkt}}, \quad (4)$$

мұндағы:

y_1 және y_2 – сәйкесінше базалық май мен қоспалардың бастапқы қышқыл саны;

m – эмпирикалық коэффициент;

m_k – қоспалардың жұмсалу жылдамдығының тұрақтысы;

k – базалық майдың тотығу жылдамдығының тұрақтысы.

Әдеби деректерге сәйкес мотор майларының қартаю процестері ұқсас заңдылықтар бойынша жүреді [17, 20, 21]. Қозғалтқышты жаңа маймен пайдаланудың бастапқы кезеңінде органикалық және бейорганикалық текті механикалық қоспалардың мөлшері жылдам өседі, қышқыл саны артады, ал сілтілік қоры бір мезгілде төмендейді. Белгілі бір уақыт өткен соң бұл өзгерістердің қарқындылығы баяулап, процесс салыстырмалы түрде тұрақтанады. Мұндай құбылыс негізінен майды жұқа тазалау сүзгілерінің жұмысымен және пайдалану барысында жаңа майды толықтырумен байланысты [22].

Аталған тұрақтану тотығу процесінің толық тоқтауын білдірмейді, тек оның баяу режимге ауысуын көрсетеді. Сілтілік қордың азаюы бірінші ретті реакция теңдеуімен сипатталуы мүмкін:

$$x = x_0 e^{-kt}, \quad (5)$$

мұндағы:

x_0 – қоспаның бастапқы концентрациясы;

x – қоспаның ағымдағы концентрациясы.

Егер майдың жану арқылы шығыны және толықтыру жүргізілмесе, қоспаның жұмыс істеу уақыты келесі өрнекпен анықталады:

$$t = k^{-1} \ln(x_0/x), \quad (6)$$

Ал майдың үздіксіз жануы мен толықтырылуын ескерген жағдайда қоспаның рұқсат етілген жұмыс уақыты мына теңдеумен өрнектеледі:

$$t_{\text{доп}} = \frac{G_m}{k+Q_y} \ln \frac{x_0(k-Q_y)-Q_g x_g}{x_{\text{min}}(k+Q_y)-Q_g x_g}, \quad (7)$$

мұндағы:

G_m – май массасы;

Q_y және Q_g – тиісінше майдың жану және толықтыру жылдамдығы;

x_g – толықтырылатын майдағы қоспа концентрациясы.

Бұл өрнек $x_{min} > \frac{Q_g x_g}{k + Q_y}$ шарты орындалған жағдайда ғана қолдануға жарамды.

Бірқатар зерттеулерде [22] майды қоспамен байытылған күйде толықтыру ұсынылады, мұнда қоспа концентрациясы келесі өрнек бойынша анықталады:

$$x_g = x_0(k + Q_y)/Q_y, \quad (8)$$

Алайда көрсетілген теңдеулерді нақты пайдалану жағдайларында қолдану едәуір қиындықтар туындатады. Бұл майдың жану және толықтыру жылдамдығын, қоспаның ағымдағы концентрациясын және оның жұмсалыу қарқындылығын дәл анықтаудың күрделілігімен байланысты. Сонымен қатар металл беттердің, жану өнімдерінің және толықтыру операцияларының әсерін ескерген жағдайда мотор майларының қартаю процесін аналитикалық түрде толық сипаттау іс жүзінде мүмкін болмайды.

Жұмыс істеп тұрған мотор майларының сапасын бағалау критерийлерін дұрыс таңдау кезінде олардың пайдалану барысында әртүрлі қоспалармен ластану механизмдерін зерттеу нәтижелері ерекше маңызға ие. Мұндай ластанулардың түзілу жылдамдығы қозғалтқыштың жұмыс шарттарына, температуралық режиміне, тораптардың техникалық күйіне, сүзгілеу жүйесінің тиімділігіне, майдың сапасына және оның құрамындағы судың мөлшеріне тәуелді.

Жоғары температура жағдайында және ауа оттегінің қатысуымен майлар термиялық ыдырауға ұшырап, тотығу және полимерлену процестеріне түседі. Сонымен қатар майдың қартаюына үйкеліс беттерінде жүретін контактылы тотығу да әсер етеді. Минералды майлардың тотығу механизмі Н. И. Черножуков пен С. Б. Крейн еңбектерінде жан-жақты зерттелген [12–18]. Бұл зерттеулерде майлардың тотығуы екі негізгі бағытта жүретіні анықталған: қышқыл және бейтарап өнімдердің түзілуі [17,25]. Қышқыл тотығу өнімдері металдардың коррозиясын күшейтіп, коррозиялық-механикалық тозудың қарқындылығын арттырса, бейтарап қосылыстар майлау жүйесінде ластану мен шөгінділердің жиналуына себеп болады. Сонымен қатар отын жану кезінде түзілетін күкірт пен азот оксидтері металл беттермен әрекеттесіп, нагар түзілуін күшейтеді. Тотығу процесінің қарқындылығы майдың сапасымен ғана емес, қолданылатын отынның тұтанғыштығына, тұтқырлығына және фракциялық құрамына да байланысты [30].

Ерімейтін қоспалардың түзілуіне ең алдымен қозғалтқыштың жұмыс шарттары, әсіресе температура шешуші әсер етеді. Температура төмен болғанда майдың тотығу жылдамдығы баяулайды, алайда отынның толық жанбау өнімдері есебінен қозғалтқыш бөлшектерінде шөгінділердің мөлшері артады. Ал қозғалтқыштың салқындату жүйесіндегі температура жоғарылаған кезде отын мен су буланып кетеді, соның нәтижесінде қоспалар саны азаяды, бірақ майдың тотығу процесі айтарлықтай жеделдейді.

Майлардың майлау қасиеттері де температураға тәуелді, әсіресе үйкеліс беттерінің химиялық модификациясы кезінде. Бұл жағдайда үйкеліс коэффициентінің салыстырмалы тұрақтануы және үйкеліс бетінде түзілетін модификацияланған қабаттардың түзілуі мен бұзылу жылдамдықтарының тепе-теңдігі байқалады [19,31].

Майдың ластану процесіне әртүрлі тозу түрлері де ықпал етеді. Май құрамында тек механикалық тозу бөлшектері ғана емес, сонымен қатар коррозиялық-механикалық тозу нәтижесінде түзілетін әртүрлі химиялық қосылыстар жиналады. Мұндай қосылыстардың түзілу қарқындылығы үйкеліс аймағындағы поляризация деңгейіне байланысты болып, ол өз кезегінде металдардың электролиттік коррозиясын күшейтеді [32,33].

В. П. Коваленко эксплуатация барысында түзілетін қоспаларды органикалық және минералдық деп екі топқа бөледі және олардың мотор майларының пайдалану қасиеттеріне әсері әлі де жеткілікті деңгейде зерттелмегенін атап өтеді. Белгілі бір арақатынаста бұл қоспалар агрессивті компоненттердің әсерін ішінара бейтараптандыруы мүмкін, алайда жалпы алғанда олар нагар түзілуін күшейтіп, май арналары мен тазалау құрылғыларының ластануына, қозғалтқыштың жылулық режимінің бұзылуына, май жүйесіндегі қысымның төмендеуіне және тотығу процестерінің қарқындануына әкеледі [34].

Органикалық ластағыштар, әдетте, қатты бейорганикалық бөлшектермен салыстырғанда бөлшектердің тозуына азырақ әсер етеді. Кейбір жағдайларда олар абразивтік тозуды төмендетуі мүмкін, себебі органикалық қосылыстар абразив бөлшектерді қаптап, олардың үйкеліс беттерімен тікелей жанасуын шектейді. Ал бейорганикалық қоспалар иінді біліктің негізгі және шатун мойындарының тозуын жеделдетеді, ал ауа арқылы қозғалтқышқа түсетін қатты бөлшектер поршень сақиналары мен цилиндр гильзаларының қарқынды тозуына себеп болады [34].

Майлардың ластану механизмінде судың да рөлі маңызды. Су еріген күйде немесе эмульсия түрінде әртүрлі химиялық реакцияларға қатысып, қышқылдар мен сілтілердің түзілуіне ықпал етеді, бұл әсіресе қоспалармен байытылған майлардың қасиеттерін нашарлатады. Су араласқан май металдардың коррозиясын күшейтіп, төмен молекулалы қышқылдардың белсенділігін арттырады, майдың тотығу процесін жеделдетеді, кокстену қабілетін жоғарылатады және сүзгілеу жүйесінің тиімділігін төмендетеді.

Дизельді қозғалтқыштарда майдың негізгі ластағыштары ретінде отынның толық жанбау өнімдері, әсіресе күйе бөлінеді, сондықтан дизель майларының түсі бензин қозғалтқыштарына арналған майлардан ерекшеленеді.

Майлардың ластану механизмін талдау оның базалық майдың қасиеттерін ғана емес, сонымен қатар түзілетін өнімдердің құрамын және құрылымын өзгертетін көп факторлы күрделі процесс екенін көрсетеді. Осыған байланысты майлардың сапасы мен ресурсын бағалаудың көптеген әдістері ұсынылған,

сондай-ақ майдың күйін жүйелі түрде бақылауға мүмкіндік беретін негізгі пайдалану қасиеттерін бөліп көрсету қажеттілігі туындайды.

Мотор майларының қызмет ету мерзімі мәселесі отандық және шетелдік зерттеушілер тарапынан кеңінен қарастырылғанымен, бұл бағытта бірыңғай көзқарас әлі қалыптаспаған [35–39]. Аталған мәселені шешу үшін майдың пайдалану қасиеттерін қарапайым, бірақ сенімді әдіспен бағалауға мүмкіндік беретін және олардың тозуға қарсы қасиеттерімен әрі тұтқырлық–температуралық сипаттамаларымен өзара байланысатын критерийді негіздеу қажет.

Майлау материалдардың пайдалану қасиеттерін сипаттайтын маңызды әрі жеткіліксіз зерттелген көрсеткіштердің бірі – температуралық тұрақтылық болып табылады. Бұл көрсеткіш базалық май мен қоспалардың температуралық деструкция процестерін сипаттайды және майдың жұмысқа қабілетті температуралық диапазонын, сондай-ақ деструкцияның басталу температурасын анықтайды. Температуралық тұрақтылық әдетте үйкеліс коэффициентінің температураға тәуелді өзгерісі арқылы немесе көлемдік сынақтарда лак пен нагар түзілуі бойынша бағаланады. Қазіргі уақытта смазкалық материалдардың температуралық тұрақтылығын үйкеліс жағдайында анықтауға арналған стандартталған әдістер әзірленген.

Температуралық деструкция процестері туралы ақпараттың нақтылығын арттыру мақсатында бірқатар тәсілдер ұсынылған [43]. Бұл тәсілдер температуралық тұрақтылықты тұтқырлықтың өзгеруі, деструкция мен нагар түзілуінің басталу температурасы, жарық ағынын жұту коэффициенті, буланғыштық, температуралық тұрақтылық коэффициенті, сондай-ақ термостатталған майларды центрифугалауға дейін және кейінгі оптикалық көрсеткіштердің айырмасы мен тозуға қарсы қасиеттері бойынша бағалауды көздейді.

Тотығу және температуралық деструкция процестері үйкеліс беттерінде жүріп, майлардың қасиеттеріне әсер етеді және көбінесе бірдей физика-химиялық көрсеткіштермен сипатталады. Осыған байланысты тозуға қарсы және қарсы қажалу қоспаларының әсері температуралық фактор арқылы айқындалады. Қоспалардың микрокедір-бұдырлар арасындағы тікелей жанасу жағдайындағы әрекет ету механизмі толық анықталмаған. Дегенмен, жоғары температура мен қысым әсерінен органикалық қоспалар ыдырап, хлор, күкірт және фосфор атомдарының көзі ретінде қызмет етеді деп есептеледі. Бұл элементтер үйкеліс беттерінде төмен балқитын хлоридтерді, сульфидтерді және фосфид эвтектикаларын түзіп, олар металдармен әрекеттеседі.

Нәтижесінде түзілетін балқымалы қабықшалар жанасатын беттерді жауып, олардың ұстасуын болдырмайды. Егер қоспалардың әсері төмен балқитын органикалық қабықшалардың түзілуімен шектелсе, онда қоспа молекулалары күрделі деструкциялық реакцияларға ұшырайды. Бұл реакциялар ковалентті байланыстардың гетеролитикалық (иондардың түзілуі) және гомолитикалық

(еркін радикалдардың түзілуі) үзілуімен қатар жүреді. Қоспа молекулаларының ыдырау өнімдері базалық майдың деструкциясын иондық немесе радикалдық механизмдер арқылы бастай алады. Мұндай жанама процестер майдың сапасын төмендетіп, оның қызмет ету мерзімін қысқартады.

Осыған байланысты тотығу мен температуралық деструкция процестерінің сандық көрсеткіштерін, сондай-ақ олардың өнімдерінің тозуға қарсы қасиеттерге және тұтқырлық–температуралық сипаттамаларға әсерін зерттеу маңызды ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады. Бұл зерттеулер майлардың қартаюында қай процестің басым рөл атқаратынын анықтауға мүмкіндік береді [44–48].

1.6 Қозғалтқыш майларының ресурсына әсер ететін факторлар

Мотор майларының ресурсы оларды пайдалану тиімділігін сипаттайтын маңызды көрсеткіштердің бірі саналады. Май ресурсы іштен жану қозғалтқыштарының сенімді жұмысына тікелей әсер етеді және бірқатар техникалық әрі пайдалану факторларына тәуелді. Бұл факторларға қозғалтқыштың конструкциялық ерекшеліктері, форсирлеу деңгейі, цилиндр-поршень тобының техникалық күйі, жұмыс режимдері, майлау жүйесінің жай-күйі, оның герметикалылығы, сүзгілеу жүйесінің тиімділігі және қолданылатын мотор майының сапасы жатады [49].

Мотор майын ауыстыру мерзімдері әдетте өндірушілер жүргізетін полигондық және стендтік сынақтар нәтижелеріне негізделіп белгіленеді және жүріс километрмен немесе мотосағаттармен регламенттеледі. Мұндай тәсіл майдың күйін нақты пайдалану жағдайларында үздіксіз бақылауды талап етпейді, алайда ол қозғалтқыштың жұмыс режимдерінің әртүрлілігін толық ескере бермейді. Мысалы, майдың буланып жануы салдарынан орын алатын жүйелі толықтырулар оның кейбір қасиеттерін ішінара қалпына келтіруі мүмкін, бұл майдың нақты қызмет ету мерзіміне әсер етеді [50].

Мотор майларының ресурсын бағалаудың маңыздылығы минералды, синтетикалық және жартылай синтетикалық базалық майлар негізіндегі өнімдердің кең таралуына байланысты артып отыр. Қымбат импорттық мотор майларын нақты қозғалтқыштардың жұмыс жағдайларын ескермей қолдану экономикалық тұрғыдан әрдайым тиімді бола бермейді, себебі мұндай майлар кей жағдайда өз ресурсын толық пайдаланбай ауыстырылады.

Мотор майының қызмет ету мерзіміне қозғалтқыштың жұмыс жағдайлары айтарлықтай ықпал етеді. Жиі іске қосу, суық мезгілдегі қыздыру, жүктеме мен айналу жиілігінің ауытқуы, жоғары температуралық режимдер және дірілдер майдың термооксидативті қартаюын жеделдетеді. Мұндай жағдайларда тотығу процестерінің қарқындылығы артып, майдың физика-химиялық қасиеттері тез өзгереді [51].

Қозғалтқыштың температуралық режимі мотор майының ресурсына шешуші әсер етеді. Майлау жүйесінің сенімді жұмысы, әдетте, май температурасы шамамен 55–110 °С аралығында сақталған кезде қамтамасыз етіледі. Бұл диапазон үйкеліс тораптарында жеткілікті майлау қабықшасының түзілуіне қолайлы жағдай жасайды. Май температурасының шамадан тыс жоғарылауы жылу әкетудің нашарлауын көрсетіп, майдың жедел тотығуына және қартаюуына әкеледі.

Майлау жүйесіндегі ақаулар мотор майының ресурсын айтарлықтай төмендетуі мүмкін. Мұндай ақауларға қозғалтқыштың қызып кетуі, май қысымының төмендеуі, майдың ластануы және оның жану арқылы көп шығындалуы жатады. Суық іске қосу кезінде төмен температурада майдың қоюлануы майлау қабықшасының уақытша бұзылуына себеп болып, бөлшектердің тозуын күшейтеді [52].

Майлау жүйесінде мотор майының ұзақ уақыт пайдаланылуы оның құрамының біртіндеп өзгеруіне алып келеді. Ең алдымен майдың отынмен сұйылуы байқалады, бұл қозғалтқыштың жылулық режимінің бұзылуына және бөлшектердің тозу деңгейінің артуына әсер етеді. Сонымен қатар май құрамында тотығу өнімдері, отынның жану нәтижесінде түзілетін күйе, үйкеліс тораптарынан бөлінетін тозу бөлшектері және басқа да эксплуатациялық қоспалар жиналады. Бұдан бөлек, булану мен жану салдарынан майлау материалының жалпы мөлшері азаяды. Аталған факторлардың барлығы майдың физика-химиялық қасиеттерін нашарлатып, оның пайдалану ресурсының төмендеуіне әкеледі [53].

Сыртқы орта факторлары да мотор майының ресурсына әсер етеді. Ауадағы шаң-тозаңның жоғары мөлшері үйкеліс беттерінің абразивтік тозуын арттырып, майдың ластануын күшейтеді. Ылғалдылық пен температураның күрт ауытқуы майдың химиялық тұрақтылығын төмендетіп, тотығу процестерін жеделдетеді. Осы себепті майлау жүйесінде сүзгілеу, центрифугалау және тұндыру арқылы зиянды қоспаларды тиімді жою маңызды рөл атқарады [54].

Жүргізілген талдау мотор майының ресурсы оның термооксидативті тұрақтылығына, базалық майлардың сапасына, қоспалар кешенінің тиімділігіне, майлау жүйесінің күйіне және пайдалану жағдайларына тәуелді екенін көрсетеді. Сондықтан мотор майының күйін мерзімді бақылау және оның тотығуға төзімділігін бағалау қозғалтқыштардың сенімді әрі ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз етудің маңызды шарттарының бірі саналады [55].

1.7 Қозғалтқыш майларының тотығу және термиялық бұзылу механизмдері

Мотор майларының деградациясына әсер ететін негізгі факторлардың бірі тотығу процестерімен байланысты. Жоғары температура, ауа оттегінің әсері,

отынның толық жанбау өнімдері және тозу нәтижесінде пайда болатын металл бөлшектері май құрамында тізбекті босрадикалдық реакциялардың басталуына жағдай жасайды. Сонымен қатар термиялық бұзылу көмірсутек молекулаларындағы химиялық байланыстардың үзілуімен жүріп, бос радикалдардың түзілуіне әкеледі. Бұл радикалдар оттегімен әрекеттесіп, пероксильді радикалдар мен гидропероксидтердің түзілуін қамтамасыз етеді [56,57].

Гидропероксидтер мотор майларының тотығу процестерінде ерекше рөл атқарады, себебі олардың тұрақсыздығы майдың деградация жылдамдығына тікелей әсер етеді. Гидропероксидтердің ыдырауы нәтижесінде алкоксильді және гидроксильді радикалдар түзіліп, тотығудың тізбекті процестері күшейеді. Соның салдарынан органикалық қышқылдар, карбонилді қосылыстар, шайырлар, лак және шлам тәрізді шөгінділердің түзілуі жеделдейді. Инфрақызыл спектрлерде $3200\text{--}3600\text{ см}^{-1}$ және $1710\text{--}1740\text{ см}^{-1}$ аймақтарындағы жұтылу жолақтарының қарқындылығының артуы майдың тотығу арқылы бұзылуын және оттегі құрамды функционалдық топтардың жиналуын көрсетеді [58].

Температура радикалдық процестердің кинетикасына шешуші ықпал етеді. Температура әрбір $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа артқан сайын тотығу реакцияларының жылдамдығы шамамен екі есеге ұлғаяды. Ең жоғары жылулық жүктемелер поршень сақиналары аймағында және турбокомпрессор тораптарында байқалады, мұнда жергілікті температуралар айтарлықтай жоғары мәндерге жетеді. Мұндай жағдайлар бұл аймақтарды мотор майларының қарқынды термиялық және тотығу бұзылуына бейім етеді [59].

Мотор майының құрамында тозу нәтижесінде пайда болатын темір, мыс және басқа металдардың бөлшектері каталитикалық белсенділік көрсетеді. Олар гидропероксидтердің ыдырауын жеделдетіп, жаңа бос радикалдардың түзілуін ынталандырады. Бұл құбылыс тотығу процестерінің қарқындылығын арттырып, майдың қызмет ету мерзімін қысқартады. Пайдаланылған майларда тотығу өнімдерінің, қышқылдардың, күйенің және металл қоспаларының концентрациясы жоғары болғандықтан, олардың аз мөлшерінің өзі жаңа майға түскен жағдайда қартаю процестерінің жеделдеуіне себеп болуы мүмкін.

Мұндай жағдайларда дәстүрлі антиоксиданттық қоспалардың әсері шектеулі болады, себебі олар бос радикалдарды бейтараптандыру барысында біртіндеп жұмсалады. Осыған байланысты мотор майларын тұрақтандыру үшін босрадикалдық процестерді химиялық жолмен тежеумен қатар, тотығу өнімдерін физикалық жолмен байланыстыра алатын кешенді жүйелерді қолдану орынды саналады. Химиялық антиоксиданттар радикалдық тізбектерді үзуге бағытталса, адсорбциялық материалдар тотығу барысында түзілетін агрессивті қосылыстардың жиналуын шектеуге мүмкіндік береді. [60]

1.8 Қоспалар және олардың функционалдық топтары

Базалық майларға қажетті пайдалану қасиеттерін беру үшін олардың құрамына арнайы химиялық қосылыстар – қоспалар енгізіледі. Қоспалар мотор майларының жұмыс тиімділігін арттырып, әртүрлі пайдалану жағдайларында олардың қасиеттерінің тұрақтылығын сақтауға мүмкіндік береді. Қазіргі мотор майлары, әдетте, қозғалтқыштың типіне, жұмыс режиміне және экологиялық талаптарға сәйкес таңдалған күрделі қоспалар пакетімен қолданылады.

Атқаратын функцияларына қарай қоспалар бірнеше негізгі топқа жіктеледі:

- антиоксиданттық қоспалар – көмірсутектердің тотығу тізбегін тежеуге бағытталған;
- антикоррозиялық қоспалар – металл беттерді оттек, ылғал және агрессивті орта әсерінен
- тозуға қарсы және қарсы қажалуға қарсы қоспалар – үйкеліс аймақтарында қорғаныш қабықша түзіп, механикалық тозуды азайтады;
- жуғыш және диспергирлеуші қоспалар – тотығу және жану өнімдерін май көлемінде біркелкі күйде ұстап, шөгінді түзілуін шектейді;
- депрессорлық қоспалар – төмен температура жағдайында майдың аққыштығын жақсартады;
- тұтқырлықты тұрақтандыратын қоспалар – температура өзгерген кезде тұтқырлықтың шамадан тыс ауытқуын шектейді;
- көбіктенуге қарсы – майлау жүйесінде көбік түзілуін азайтады [61].

Антиоксиданттық қоспалар мотор майларының тотығу тұрақтылығын қамтамасыз етуде ерекше рөл атқарады. Олар көбіне фенолдық немесе аминдік табиғаттағы қосылыстармен ұсынылады. Фенолдық антиоксиданттар құрамындағы фенолдық гидроксил тобы ($-OH$) бос радикалдармен әрекеттесіп, тотығудың тізбекті реакцияларын үзуге қабілетті. Аминдік антиоксиданттар радикалдарды тұрақтандыру арқылы жоғары температура жағдайында тиімділік көрсетеді.

Тозуға қарсы қоспалар қатарында мырыш диалкилдитиофосфаты (ZDDP) кеңінен қолданылады. Бұл қосылыс жоғары жүктеме мен температура жағдайында бөлшектерді қорғап, фосфор мен күкірт құрамды функционалдық топтардың қатысуымен металл беттерде қорғаныш қабықша түзілуін қамтамасыз етеді. Алайда кейбір жағдайларда ZDDP мысқұрамды қорытпаларға қатысты коррозиялық белсенділік көрсетуі мүмкін, бұл оның қолданылуын шектеуді талап етеді [62].

Жуғыш және диспергирлеуші қоспалар көбіне кальций және магний қосылыстары негізінде дайындалып, жоғары температуралық аймақтарда лак пен шлам тәрізді шөгінділердің түзілуін шектеуге бағытталған. Бұл қоспалардың әсері олардың полярлы функционалдық топтарының тотығу өнімдерімен әрекеттесу қабілетіне байланысты. Көбіктенуге қарсы қоспалар, әдетте,

силиконды табиғатқа ие болып, майлау жүйесінде газ көпіршіктерінің тұрақтануын болдырмайды.

Қоспалардың өзара үйлесімділігі мотор майларының тиімділігі үшін шешуші мәнге ие. Мысалы, антиоксиданттардың артық мөлшері кейбір тозуға қарсы қоспалардың белсенділігін төмендетуі мүмкін, ал жуғыш қоспалардың шамадан тыс концентрациясы майдың күлділігін арттырып, шөгінді түзілуіне ықпал етеді. Сондықтан қоспалар пакетін қалыптастыру нақты пайдалану жағдайларын және қозғалтқыштың конструкциялық ерекшеліктерін ескере отырып жүзеге асырылады.

1.8.1 Мотор майларының антиоксиданттық қоспалары

Антиоксиданттық қоспалар мотор майларының құрамындағы негізгі функционалдық компоненттер қатарына жатады, себебі олар жоғары температура мен оттегінің әсерінен жүретін тотығу процестерін баяулатуға бағытталған. Антиоксиданттардың басты міндеті бос радикалдық тізбекті реакцияларды үзу, аралық реакциялық қабілеті жоғары қосылыстарды тұрақтандыру және қышқылдар мен жоғары молекулалы тотығу өнімдерінің түзілуін шектеу арқылы майдың деградациясын тежеу саналады.

Мотор майларындағы тотығу процестері тізбекті радикалдық механизм бойынша жүреді және үш негізгі сатыны қамтиды: инициация, тізбектің дамуы (пропагация) және тізбектің үзілуі (терминация). Инициация сатысында жылулық әсердің, жарықтың немесе каталитикалық белсенді металдардың (темір, мыс) қатысуымен бос радикалдар түзіледі. Пропагация сатысында бұл радикалдар оттегімен әрекеттесіп, пероксильді радикалдар түзеді, ал олар көмірсутек молекулаларынан сутек атомын жұлып алып, тотығу процесінің әрі қарай дамуына себеп болады [63].

Антиоксиданттық қоспалардың әсер ету механизмі негізінен тізбекті реакциялардың дамуын баяулатуға немесе оларды үзуге бағытталған. Мотор майларында қолданылатын антиоксиданттар химиялық табиғатына қарай фенолдық және аминдік топтарға бөлінеді.

Фенолдық антиоксиданттар бос радикалдарға сутек атомын беру арқылы оларды тұрақты молекулаларға айналдырады. Бұл процесс нәтижесінде түзілетін феноксильді радикал резонанстық тұрақтануға ие болғандықтан, тотығу тізбегін жалғастыру қабілетін жоғалтады. Мұндай механизм фенолдық антиоксиданттардың тотығудың бастапқы сатыларында жоғары тиімділік көрсетуін қамтамасыз етеді. Фенолдық гидроксил тобының ($-OH$) болуы бұл қосылыстардың антирадикалдық белсенділігін айқындайтын негізгі факторлардың бірі саналады [64].

Аминдік антиоксиданттар, әдетте, гидропероксидтердің ыдырауын тежеу және пероксильді радикалдарды бейтараптандыру арқылы әсер етеді. Олар

жоғары температура жағдайында белсендірек жұмыс істейді және көбінесе фенолдық антиоксиданттармен бірге қолданылады. Мұндай комбинация синергетикалық әсер беріп, фенолдық компонент тотығудың бастапқы сатыларын тежеуге қатысса, аминдік компонент кейінгі сатылардағы реакциялық қабілеті жоғары тотығу өнімдерін тұрақтандыруға ықпал етеді.

Антиоксиданттық қоспалардың тиімділігі олардың концентрациясына, базалық майлармен үйлесімділігіне және май құрамындағы бөгде қоспалардың болуына тәуелді. Пайдаланылған майларда қышқылдардың, металл иондарының және күйе бөлшектерінің жиналуы антиоксиданттардың тез жұмсалыуына әкеліп, олардың қорғау әсерін төмендетеді. Осыған байланысты қазіргі зерттеулер антиоксиданттардың әсер ету ұзақтығын арттыруға және олардың тиімділігін сақтау мақсатында жаңа композициялық және композиттік жүйелерді әзірлеуге бағытталады [65].

1.8.2. Фенолдық антиоксиданттар және бутилгидрокситолуолдың (ВНТ) ерекшеліктері

Фенолдық антиоксиданттар мотор майларындағы тотығу процестерін тежеуде кеңінен қолданылатын қоспалар тобына жатады. Олардың антирадикалдық белсенділігі молекулалық құрылымында фенолдық гидроксил тобының ($-OH$) болуымен байланысты, бұл топ бос радикалдармен әрекеттесіп, тотығудың тізбекті реакцияларын үзуге мүмкіндік береді. Фенолдық антиоксиданттар тотығудың бастапқы сатыларында, әсіресе индукциялық кезеңде, жоғары тиімділік көрсетеді.

Фенолдық антиоксиданттар ішінде бутилгидрокситолуол (ВНТ) термиялық тұрақтылығы және радикалдарды бейтараптандыру қабілетінің жоғары болуымен ерекшеленеді. ВНТ молекуласында фенолдық гидроксил тобы көлемді алкил орынбасарларымен қоршалған, бұл түзілетін феноксильді радикалдың резонанстық тұрақтануына жағдай жасайды. Нәтижесінде радикалдың әрі қарай тотығу тізбегіне қатысу қабілеті төмендеп, реакцияның дамуы баяулайды [63].

ВНТ-тың антиоксиданттық әсер ету механизмі бос радикалдарға сутек атомын беру арқылы іске асады. Бұл кезде көмірсутек радикалдары тұрақты молекулаларға айналады, ал ВНТ негізінде түзілген феноксильді радикал салыстырмалы түрде төмен реакциялық қабілетке ие болады. Мұндай механизм ВНТ-ты тотығудың ерте сатыларында тиімді антиоксидант ретінде қарастыруға мүмкіндік береді [66].

Мотор майларының нақты пайдалану жағдайларында ВНТ тиімділігі бірқатар факторларға тәуелді. Олардың қатарына температуралық режим, оттегінің қолжетімділігі, тозу нәтижесінде түзілетін металл бөлшектерінің болуы және базалық майлардың химиялық табиғаты жатады. Жоғары температура және

каталитикалық белсенді металдардың әсері ВНТ-тың тез жұмсалуына әкелуі мүмкін, бұл оның қорғау әсерінің уақыт өте әлсіреуіне себеп болады.

Осы шектеулерге байланысты соңғы жылдары ВНТ-тың антиоксиданттық әсерін ұзартуға бағытталған тәсілдерге қызығушылық артып отыр. Мұндай тәсілдердің бірі – ВНТ-ты қатты тасымалдағыштардың, соның ішінде активтендірілген көмірдің бетіне иммобилизациялау. Бұл жағдайда антиоксиданттың біртіндеп босап шығуы қамтамасыз етіліп, тотығу процестеріне қарсы әсерінің ұзақ уақыт сақталуына жағдай жасалады.

Сонымен қатар ВНТ құрамындағы фенолдық гидроксил тобы инфрақызыл спектроскопия әдісімен анықталатын функционалдық топтардың қатарына жатады. FTIR-спектрлерде –ОН тобына тән жұтылу аймақтарының өзгеруі антиоксиданттың күйін және оның тотығу процестеріне қатысуын бағалауға мүмкіндік береді. Бұл ВНТ негізіндегі жүйелердің тиімділігін эксперименттік тұрғыдан талдауға негіз қалайды.

Осылайша, бутилгидрокситолуолды мотор майларының антиоксиданттық қоспасы ретінде қарастыру оның молекулалық құрылымымен, антирадикалдық белсенділігімен және тотығудың бастапқы сатыларында әсер ету қабілетімен негізделеді. Ал оны активтендірілген көмірмен біріктіре қолдану антиоксиданттың қорғау әсерін күшейтуге және майдың тотығу тұрақтылығын арттыруға бағытталған перспективалы тәсілдердің бірі саналады.

1.9 Активтендірілген көмірдің адсорбент ретінде мотор майларын тұрақтандыру

Активтендірілген көмір жоғары кеуектілігімен, үлкен меншікті беткейімен және айқын адсорбциялық қасиеттерімен ерекшеленетін көміртекті материалдар қатарына жатады. Бұл қасиеттер оның әртүрлі органикалық және бейорганикалық қосылыстарды, соның ішінде тотығу өнімдерін, органикалық қышқылдарды, карбонилді қосылыстарды, шайырларды және металл иондарын тиімді байланыстыруына мүмкіндік береді. Осы ерекшеліктер активтендірілген көмірді мотор майларының қартаюын баяулатуға бағытталған перспективалы адсорбент ретінде қарастыруға негіз болады [67].

Активтендірілген көмірдің маңызды артықшылықтарының бірі оның салыстырмалы химиялық инерттілігімен байланысты. Ол базалық майлардың көмірсутектерімен тікелей химиялық реакцияларға түспейді және бақылаулы концентрацияда қолданылған жағдайда қоспалар пакетін бұзбайды. Сонымен қатар активтендірілген көмір май құрамындағы каталитикалық белсенді компоненттерді, әсіресе тотығу процестерін жеделдететін металл бөлшектерін адсорбциялау арқылы антиоксиданттарға түсетін тотығу жүктемесін төмендетуге ықпал етеді.

Әдеби деректер көміртекті адсорбенттердің мотор майларының термооксидативті тұрақтылығын арттыруға қабілетті екенін көрсетеді. Бұл әсер фенолдық антиоксиданттармен бірлесе қолданылған жағдайда айқынырақ байқалады. Мұндай жүйеде химиялық антиоксидант бос радикалдық тізбекті реакцияларды тежеуге қатысса, активтендірілген көмір тотығу барысында түзілетін агрессивті өнімдерді физикалық жолмен байланыстырып, олардың май ортасында жиналуын шектейді.

Активтендірілген көмірдің адсорбциялық тиімділігі оның кеуек құрылымына, беткі функционалдық топтарының табиғатына және бөлшек өлшеміне тәуелді. Микрокеуектер төмен молекулалық массалы қосылыстарды тиімді байланыстыруға бейім болса, мезокеуектер ірі полярлы молекулалар мен шайырлы құрылымдардың адсорбциясы үшін қолайлы саналады. Көмір бетінде оттеkkұрамды функционалдық топтардың болуы қышқыл және полярлы тотығу өнімдерімен өзара әрекеттесуді күшейтеді [68].

Активтендірілген көмірді мотор майларында қолдану белгілі бір шектеулермен қатар жүреді. Адсорбенттің шамадан тыс мөлшері майдың сүзгіленуіне кедергі келтіруі, тұнба түзілуіне немесе майлау жүйесі элементтерінің ластануына әкелуі мүмкін. Осы себепті активтендірілген көмірді қолдану кезінде оның мөлшерін, бөлшек өлшемін және енгізу тәсілін нақты пайдалану жағдайларын ескере отырып таңдау қажет.

Активтендірілген көмірдің жоғары адсорбциялық қабілеті оны мотор майларын тұрақтандыруға арналған физикалық компонент ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Ол тотығу процестеріне жанама әсер етіп, майдың қызмет ету мерзімін ұзартуға және антиоксиданттық қоспалардың тиімділігін сақтауға ықпал етеді.

1.10. Бутилгидрокситолуол мен активтендірілген көмір негізіндегі композиттік антиоксиданттардың әсер ету механизмі

Мотор майларының тотығу тұрақтылығын арттыруға бағытталған қазіргі тәсілдер антиоксиданттық қоспалардың әсерін ұзартуға және олардың тиімділігін сақтауға негізделеді. Осы тұрғыдан алғанда бутилгидрокситолуол мен активтендірілген көмірді біріктіре қолдану химиялық және физикалық тұрақтандыру механизмдерінің үйлесуіне негізделген композиттік жүйе ретінде қарастырылады.

Бутилгидрокситолуол фенолдық антиоксидант ретінде бос радикалдық тізбекті реакцияларды тежеуге қатысады. Оның әсер ету механизмі бос радикалдарға сутек атомын беру арқылы іске асады, нәтижесінде реакциялық қабілеті жоғары көмірсутек радикалдары тұрақты молекулаларға айналады. Бұл кезде түзілетін феноксильді радикал көлемді алкил орынбасарларының және резонанстық әсердің арқасында салыстырмалы түрде тұрақты күйге өтеді,

сондықтан тотығу тізбегін әрі қарай жалғастыруға қабілетсіз болады. Осылайша ВНТ тотығудың бастапқы сатыларында, әсіресе индукциялық кезеңде, антирадикалдық әсер көрсетеді.

Алайда мотор майларының нақты пайдалану жағдайларында ВНТ тиімділігі уақыт өте төмендеуі мүмкін. Бұл антиоксиданттың біртіндеп жұмсалыуымен, жоғары температураның әсерімен және металл иондарының каталитикалық белсенділігімен байланысты. Осындай жағдайда тотығу өнімдерінің жиналуы антиоксидантқа түсетін жүктемені арттырып, майдың деградациясын жеделдетеді.

Активтендірілген көмір композиттік жүйеде физикалық тұрақтандыру функциясын атқарады. Оның жоғары меншікті беткейі мен дамыған кеуек құрылымы тотығу барысында түзілетін органикалық қышқылдарды, карбонилді қосылыстарды, шайырларды, сондай-ақ каталитикалық белсенді металл иондарын адсорбциялауға мүмкіндік береді. Бұл компоненттерді май ортасынан байланыстыру тотығу процестерінің қарқындылығын төмендетіп, химиялық антиоксиданттарға түсетін тотығу жүктемесін азайтады.

Бутилгидрокситолуол мен активтендірілген көмірдің бірлесе қолданылуы синергетикалық әсердің қалыптасуына әкеледі. Мұндай жүйеде ВНТ бос радикалдық процестерді химиялық жолмен тежеуге қатысса, активтендірілген көмір тотығу өнімдерін физикалық жолмен байланыстырып, олардың май көлемінде жиналуын шектейді. Сонымен қатар активтендірілген көмір бетінде ВНТ молекулаларының ішінара адсорбциялануы антиоксиданттың біртіндеп босап шығуына жағдай жасап, оның әсер ету ұзақтығын арттыруы мүмкін.

Композиттік антиоксиданттық жүйенің тағы бір артықшылығы тотығу процестерінің әртүрлі сатыларына бір мезгілде әсер ету қабілетімен байланысты. Химиялық антиоксидант тотығудың бастапқы және орта сатыларында белсенді болса, адсорбент тотығудың соңғы кезеңдерінде түзілетін агрессивті және полярлы өнімдердің жиналуын шектейді. Бұл майдың қышқыл санының өсуін баяулатуға, тұтқырлықтың тұрақтылығын сақтауға және шөгінді түзілу бейімділігін төмендетуге мүмкіндік береді.

Инфракызыл спектроскопия әдісі композиттік жүйенің тиімділігін бағалауда маңызды құрал ретінде қарастырылады. FTIR-спектрлерде фенолдық гидроксил топтарына, карбонилді және қышқыл функционалдық топтарға тән жұтылу жолақтарының өзгеруі антиоксиданттың жұмсалу дәрежесін және тотығу өнімдерінің жиналу қарқындылығын талдауға мүмкіндік береді. Бұл композиттік антиоксиданттың мотор майларының термооксидативті тұрақтылығына әсерін кешенді түрде бағалауға негіз қалайды.

Осылайша бутилгидрокситолуол мен активтендірілген көмір негізіндегі композиттік антиоксиданттар мотор майларын тұрақтандырудың перспективалы бағыты ретінде қарастырылады. Химиялық және физикалық әсер ету механизмдерінің үйлесуі тотығу процестерін тиімді тежеуге,

антиоксиданттардың әсер ету мерзімін ұзартуға және мотор майларының пайдалану қасиеттерін сақтауға мүмкіндік береді.

2 ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ

Бұл тарауда зерттеу объектісі мен пәні, қолданылған материалдар мен реагенттер, композиттік антиоксиданттарды дайындау тәсілдері, оларды қозғалтқыш майының құрамына енгізу жолдары, сондай-ақ майлардың қасиеттерін бағалау үшін қолданылған эксперименттік әдістер сипатталады. Ұсынылған әдістеме зерттеу нәтижелерінің қайталанымдылығын және алынған деректердің ғылыми негізділігін қамтамасыз етуге бағытталған.

2.1 Зерттеу объектісі. Материалдар мен реагенттер

Осы жұмыстағы зерттеу объектісі ретінде синтетикалық қозғалтқыш майы таңдап алынды. Синтетикалық қозғалтқыш майы химиялық жолмен синтезделген көмірсутекті базалық фракциялар мен металл беттерді қорғауға, коррозиялық процестердің алдын алуға, көбіктенуді төмендетуге және тотығуды тежеуге арналған функционалдық қоспалар кешенінен тұратын көпкомпонентті жүйе болып табылады. Алайда қозғалтқышты пайдалану барысында май жоғары температураның, ауа оттегінің, отынның жану өнімдерінің және металл беттердің әсеріне ұшырап, өзінің химиялық тұрақтылығын біртіндеп жоғалтады.

Бұл процестер май құрамында тотығу өнімдерінің жиналуымен сипатталады және қышқыл санының өсуі, тұтқырлықтың өзгеруі, карбонильді қосылыстардың түзілуі, майдың қартаюы мен шламның пайда болуы арқылы байқалады. Аталған өзгерістер майдың қызмет ету мерзімін шектеп, оның пайдалану қасиеттерін төмендетеді.

Зерттеу заты ретінде активтендірілген көмір мен фенолдық антиоксидант – бутилгидрокситолуол (ВНТ) негізіндегі композиттік антиоксиданттың жаңа және пайдаланылған қозғалтқыш майларының термооксидативті тұрақтылығына әсері қарастырылды.

Зерттеу жүргізу үшін келесі материалдар мен реагенттер қолданылды:

- зерттеу объектісі ретінде іштен жану қозғалтқыштарында қолданылатын синтетикалық қозғалтқыш майы;
- антиоксиданттық компонент ретінде фенолдық типтегі кең таралған антиоксидант – ВНТ (2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол);
- адсорбциялық компонент ретінде жоғары кеуектілігі мен үлкен меншікті беткейіне ие активтендірілген көмір;
- зертханалық талдауларға арналған стандартты еріткіштер мен реагенттер.

Бутилгидрокситолуолдың таңдалуы оның жоғары термиялық тұрақтылығымен, көмірсутекті ортада жақсы еруімен және қозғалтқыш майларын тотығудың бастапқы сатыларында тиімді тұрақтандыру қабілетімен негізделеді. Ал активтендірілген көмір композит құрамында физикалық

адсорбент рөлін атқарып, қышқыл және полярлы тотығу өнімдерін, сондай-ақ каталитикалық белсенді металл қоспаларын байланыстыруға мүмкіндік береді.



Сурет 2 – БАУ-А маркалы активтендірілген көмір және Фенолдық антиоксидант – бутилгидрокситолуол

Осылайша, зерттеу объектісі ретінде қозғалтқыш майы әртүрлі күйде (жаңа және пайдаланылған), ал зерттеу пәні ретінде композиттік антиоксиданттың май қасиеттеріне әсері таңдалып, зерттеу кешенді химиялық және физика-химиялық тәсілдер арқылы жүргізілді.

2.2. Композиттік антиоксиданттарды дайындау әдістемесі

2.2.1. Көміртекті тасымалдағышты дайындау

Осы зерттеуде көміртекті тасымалдағыш ретінде адсорбциялық қасиеттері орташа деңгейдегі активтендірілген көмірдің БАУ-А маркасы қолданылды. Бұл марка тұрмыстық фильтрлерде және су тазалау жүйелерінде кеңінен пайдаланылады, сондықтан оның қасиеттері тұрақты әрі қолжетімді болып саналады.

Активтендірілген көмірді дайындау бейорганикалық және органикалық қоспаларды жоюға, ұшқыш заттардың мөлшерін азайтуға, сондай-ақ фенолдық антиоксидантты тиімді иммобилизациялауға қолайлы кеуекті құрылымды тұрақтандыруға бағытталды.

Бастапқы материалдың сипаттамалары

-көмір навескасы: $50,0 \pm 0,1$ г

-түйіршіктердің орташа өлшемі: 0,5–2,0 мм

Алғашқы бақылаулар барысында:

-бірінші жуу кезіндегі экстракттың рН мәні 8,5–9,2 аралығында болды;

-жуу суының лайлануы байқалды;

-ұсақ дисперсті көмір фракциясының болуы анықталды.

Экстракттың сілтілі ортасы кальций, калий және натрийдің қалдық сілтілі қосылыстарының (CaO , K_2CO_3 , Na_2CO_3) бар екенін көрсетті. Мұндай қоспалар бутилгидрокситолуолдың тұрақтылығына және оның адсорбция кинетикасына кері әсер етуі мүмкін.

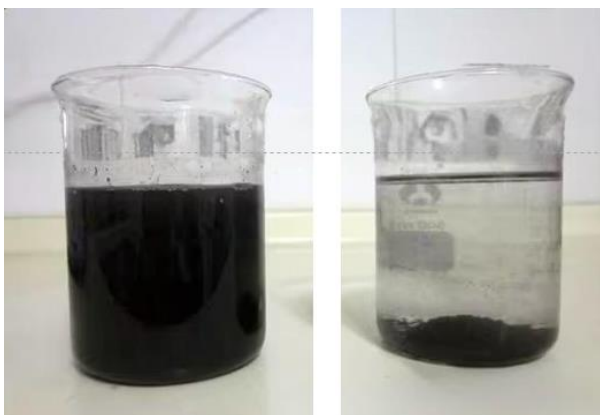
Жуу әдістемесі

Активтендірілген көмір бірнеше кезекті жуу циклдері арқылы өңделді. Әрбір циклде көмірге 200 мл дистилденген су қосылып, шыны қалақшамен абайлап араластырылды және 5 минут бойы ұсталды. Одан кейін қоспа орташа тығыздықтағы қағаз сүзгі арқылы сүзілді.

Жуу суларынан сынамалар алынып, олардың рН мәні электродты рН-метрмен өлшенді (өлшеу дәлдігі $\pm 0,02$ рН). Әрбір өлшеу алдында аспап стандартты буфер ерітінділерімен (рН 4,00 және 7,00) калибрленді.

Кесте 1 – Жуу суларының рН өзгерісі

Жуу №	Су көлемі, мл	рН мәні	Сыртқы көрінісі
1	200	8,5–9,2	күшті лайлану
2	200	8,0–8,4	әлсіз лайлану
3	200	7,4–7,8	дерлік мөлдір
4	200	7,0–7,3	мөлдір
5	200	6,8–7,2	мөлдір



Сурет 3 – Жуу суларының рН өзгерісі

Төртінші және бесінші жуудан кейін рН мәнінің 6,8–7,2 диапазонында тұрақтануы ерігіш қоспалардың негізгі бөлігі жойылғанын көрсетті.

Жуу процесі төмендегі шарттар орындалғанда аяқталды:

-қатарлас жуу циклдерінде рН ауытқуы $\pm 0,2$ бірліктен аспайды;

-жуу суы мөлдір күйін сақтайды;

-сүзгі бетінде тұздардың айқын қалдығы байқалмайды.

Жуу аяқталғаннан кейін көмір массасы $48,6 \pm 0,1$ г құрады.

Массалық шығын:

$$\Delta m_{\text{пром}} = m_0 - m_p = 50,0 - 48,6 = 1,4\text{г} \quad (10)$$

Салыстырмалы шығын:

$$W_{\text{пром}} = \frac{1,4}{50,0} \times 100\% = 2,8\% \quad (11)$$

Бұл шығындар ұсақ фракцияның шайылуымен, тұздардың еруімен және әлсіз агрегаттардың бұзылуымен түсіндіріледі.

Термиялық кептіру

Жуылған көмір гигроскопиялық ылғалды жою және массаны тұрақтандыру мақсатында 110 ± 2 °С температурада 2 сағат бойы кептіру шкафында өңделді. Таңдалған температура режимі физикалық адсорбцияланған суды жоюға мүмкіндік беріп, көмір бетінің оттегі құрамды функционалдық топтарының бұзылуына жол бермейді.

Кептіруден кейін көмір эксикаторда салқындатылып, тұрақты массаға дейін өлшенді:

-кептірілген көмір массасы: $47,3 \pm 0,1$ г

-жойылған ылғал мөлшері: 1,3 г (2,7 %)

Қатарлас екі өлшеу арасындағы масса айырмасы 0,01 г-нан аспады, бұл тұрақты массаға жеткенін растады.

Қосымша термиялық өңдеу

Көмірдің кеуекті құрылымын жетілдіру және қалдық ұшқыш органикалық қосылыстарды жою мақсатында материал 400 ± 5 °С температурада муфель пешінде 2 сағат бойы қыздырылды.

Бұл өңдеу:

-ұшқыш компоненттердің азаюына;

-микрокеуектердің ашылуына;

-меншікті беттік ауданның артуына әкелді.

Алынған көміртекті тасымалдағыш біртекті түйіршікті құрылымымен, агрегаттардың болмауымен және тұрақты адсорбциялық қасиеттерімен сипатталды, бұл оны фенолдық антиоксидантты иммобилизациялаудың келесі кезеңіне пайдалануға мүмкіндік береді.

2.2.2. Бутилгидрокситолуол ерітіндісін дайындау

Антиоксидантты көміртекті тасымалдағыштың бетіне кейінгі иммобилизациялау үшін бутилгидрокситолуолдың (ВНТ) ерітіндісі дайындалды. Бұл кезеңде антиоксиданттың толық еруін қамтамасыз ету, механикалық қоспалардың болмауы және адсорбция процесінің қайталанымдылығын қамтамасыз ететін тұрақты жұмыс концентрациясын алу негізгі талаптар ретінде қарастырылды.

Еріткіш ретінде 96 % этанол қолданылды. Этанолды таңдау келесі факторлармен негізделді:

- фенолдық антиоксиданттардың спирттерде жақсы еруі, бұл ВНТ молекуласындағы ароматты сақина мен гидроксил тобының болуымен байланысты;

- этанолдың салыстырмалы түрде төмен қайнау температурасы ($T_{\text{қайнау}} = 78,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), бұл оны жұмсақ жағдайларда (шамамен $40\text{ }^{\circ}\text{C}$) буландыруға және ВНТ-тың термиялық бұзылуын болдырмауға мүмкіндік береді;

- көміртекті тасымалдағышқа қатысты химиялық инерттілігі, яғни көмір бетінің тотығуын немесе функционалдық құрамының өзгеруін туындатпайды;

- ерітіндіде ВНТ молекулаларының агрегациясын болдырмай, көмір бетімен біркелкі жанасуын қамтамасыз етуі.

Есептеулерге сәйкес, көміртекті тасымалдағышта қажетті композит мөлшерін алу үшін (100 мл мотор майына енгізуге арналған 1,75 г композит) ерітінді дайындауға қатысатын бутилгидрокситолуол массасы 0,62 г құрады. Еріткіш көлемі 100 мл деп алынды.

Ерітіндінің концентрациясы келесі өрнек бойынша есептелді:

$$C = \frac{m_{\text{ВНТ}}}{V_{\text{этанол}}} = 0,0062 \text{ г/мл} = 6,2 \text{ мг/мл} \quad (12)$$

Осылайша алынған ВНТ ерітіндісінің жұмыс концентрациясы 6,2 мг/мл болды, бұл көміртекті адсорбенттерде ВНТ-ты тиімді адсорбциялауға ұсынылатын диапазонға (әдетте 5–10 мг/мл) сәйкес келеді.

Бутилгидрокситолуолдың 0,62 г навескасы көлемі 150 мл химиялық стаканға салынды да, оған 100 мл 96 % этанол қосылды. Ерітінді $22 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ температурада магниттік араластырғышта мөлдір және біртекті күйге жеткенше араластырылды. Орташа еру уақыты 5–7 минутты құрады.

Алынған ерітіндінің сапасын бағалау үшін визуалды бақылау жүргізілді. Ерітінді 10 минут бойы араластырмай ұсталды, бұл кристалдардың түзілуін немесе суспензияның пайда болуын бақылауға мүмкіндік берді. Осы уақыт ішінде ерітінді мөлдір күйін сақтап, тұнба немесе лайлану байқалмады, бұл антиоксиданттың толық ерігенін көрсетті.

Ерітіндіні дайындау дәлдігі ВНТ навескасының массасын бақылау және концентрацияның тұрақтылығы арқылы бағаланды. Навескадағы қателік $\pm 0,01\text{ г}$ -

нан аспады, бұл аналитикалық өлшеулер үшін рұқсат етілген шекте сәйкес келеді. Ерітінді температурасы 25 °С-тан асырылмады, себебі 60–70 °С-тан жоғары температурада ВНТ-тың ішінара тотығуы және антиоксиданттық белсенділігінің төмендеуі мүмкін.

Осылайша қолданылған әдістеме бутилгидрокситолуол ерітіндісінің химиялық тұрақтылығын, біртектілігін және қайталанымдылығын қамтамасыз етіп, оны көміртекті тасымалдағыш бетіне кейінгі иммобилизациялау үшін қолайлы етеді

2.3. Бутилгидрокситолуолды активтендірілген көмір бетіне иммобилизациялау

Бутилгидрокситолуолды (ВНТ) активтендірілген көмір бетіне иммобилизациялау пролонгирленген әсерге ие композиттік антиоксидант алу мақсатында жүргізілді. Бастапқы компоненттердің навескалары 100 мл мотор майын модификациялауға жеткілікті 1,75 г композит алу қажеттілігіне сәйкес есептелді. Осыған байланысты қолданылған навескалар келесі мәндерді құрады:

-бутилгидрокситолуол массасы: $m_{\text{ВНТ}} = 0,62 \text{ г}$;

-активтендірілген көмір массасы: $m_{\text{көмір}} = 1,30 \text{ г}$.

Аталған мөлшерлер көмірді жуу және кептіру сатыларындағы массалық шығындарды, сондай-ақ антиоксиданттың көмір бетінде ішінара ұсталып қалуын ескере отырып таңдалды.

Алдын ала дайындалған 6,2 мг/мл концентрациядағы ВНТ ерітіндісі көміртекті материалды сіңіру үшін қолданылды. Активтендірілген көмір ерітіндіге шағын порциялармен, үздіксіз араластыру жағдайында енгізілді. Иммобилизация процесі магниттік араластырғышта $22 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ температурада 30–40 минут бойы жүргізілді.

Иммобилизация барысында бутилгидрокситолуол молекулаларының көмір бетіне адсорбциясы бірнеше өзара әрекеттесу механизмдері арқылы жүзеге асты, соның ішінде:

-физикалық адсорбция;

-диаметрі 2 нм-ден кіші микрокеуектерге молекулалардың енуі;

-көмірдің ароматты құрылымдары мен ВНТ бензол сақинасы арасындағы π – π өзара әрекеттесулер;

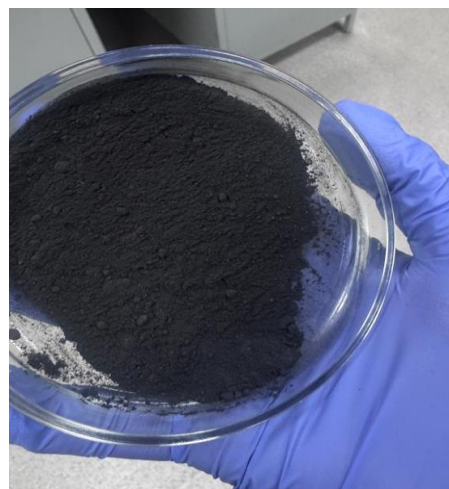
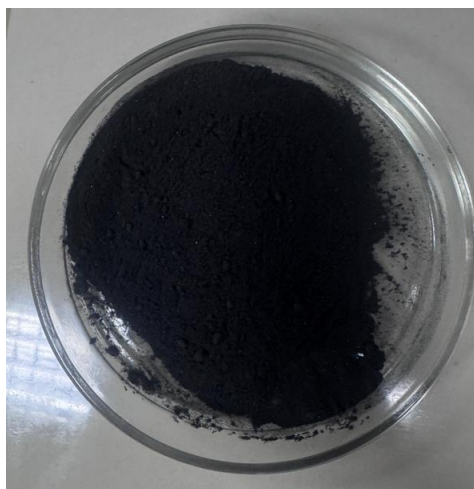
-ВНТ-тың фенолдық гидроксил тобы мен көмір бетінің оттеққұрамды функционалдық топтары арасындағы сутектік байланыстар.

Аталған механизмдер антиоксиданттың көміртекті тасымалдағыш бетінде берік бекітілуін қамтамасыз етіп, композиттік материалдың біртекті құрылымын қалыптастырды.

Адсорбция процесі аяқталғаннан кейін еріткіш (этанол) су моншасында 40 °С температурада буландыру арқылы жойылды. Бұл температуралық режим ВНТ-тың термиялық бұзылуын болдырмау мақсатында таңдалды, себебі 60–70 °С-тан жоғары температурада антиоксиданттың ішінара деградациясы мүмкін. Буландыру процесі сусымалы материал алынғанға және этанолдың тән иісі толық жойылғанға дейін жалғастырылды.

Еріткіш пен ылғалдың қалдық іздерін толық жою үшін алынған композит вакуумдық кептіруге ұшыратылды. Кептіру 2 сағат бойы келесі жағдайларда жүргізілді:

- температура: 40 ± 2 °С;
- қалдық қысым: < 10 мм сын. бағ.



Сурет 4 – Активтендірілген көмір бетіне иммобилизацияланған
бутилгидрокситоуол

Кептіруден кейін үлгі эксикаторда салқындатылып, екі рет қатарынан өлшенді. Процестің аяқталғандығының негізгі критерийі ретінде екі өлшеу арасындағы массалық айырманың $\Delta m \leq 0,01$ г мәнінен аспауы қабылданды. Бұл шарт композиттің тұрақты массаға жеткенін, сондай-ақ ұшқыш заттар мен ылғалдың толық жойылғанын көрсетті.

Алынған композиттік материал қара түсті, ұсақ дисперсті ұнтақ түрінде сипатталды және активтендірілген көмірдің беті мен кеуекті құрылымында ВНТ-тың біркелкі таралуымен ерекшеленді. Антиоксиданттың иммобилизацияланған күйі композитті мотор майының құрамына енгізген кезде оның біртіндеп босап шығуын қамтамасыз етіп, антиоксиданттық әсердің ұзақ сақталуына мүмкіндік береді.

2.4. Композиттік антиоксидантты мотор майларының құрамына енгізу және олардың қасиеттерінің өзгерісін бақылау

Бутилгидрокситолуол мен активтендірілген көмір негізінде әзірленген композиттік антиоксиданттың мотор майларының пайдалану қасиеттеріне әсерін бағалау мақсатында ол майлардың екі түрлі үлгісіне енгізілді:

1. алдын ала пайдаланылмаған, жүктемеге ұшырамаған синтетикалық мотор майы;
2. іштен жану қозғалтқышында белгілі бір уақыт пайдаланылған және тотығу дәрежесі жоғарылаған мотор майы.

Композиттік антиоксиданттың енгізілетін мөлшері 100 мл майға 1,75 г деңгейінде таңдалды. Бұл дозалау антиоксиданттың пролонгирленген әсерін қамтамасыз етуге бағытталған есептеулерге сәйкес анықталды.

Композитті енгізер алдында әрбір май үлгісі тұтқырлықты төмендетіп, қатты фазаның біркелкі таралуын қамтамасыз ету мақсатында 50 ± 2 °C температураға дейін алдын ала қыздырылды. Композит мотор майына үздіксіз араластыру жағдайында енгізілді. Енгізуден кейін қоспа 20 минут бойы қосымша араластырылып, көміртекті тасымалдағыш бөлшектерінің май көлемінде біркелкі диспергирленуіне қол жеткізілді.

Үлгілерді дайындау және бастапқы визуалды бақылау барысында келесі өзгерістер байқалды:

- көміртекті тасымалдағыштың болуына байланысты май түсінің сәл қараюы;
- араластыру кезінде суспензия күйінде сақталатын әлсіз ұсақ дисперсті тұнбаның пайда болуы;
- қоспаның коагуляция белгілерінсіз және қабаттарға бөлінусіз біртекті күйде сақталуы;
- май көлемінің барлық бөлігінде визуалды біркелкілік.

Аталған белгілер композит пен базалық май ортасының бастапқы өзара әрекеттесуін сипаттайтын көрсеткіштер ретінде тіркелді. Мұндай өзгерістер көміртекті дисперстік жүйелер үшін тән және кейінгі эксперименттік сынақтарды жүргізуге кедергі келтірмейді.

Дайындалған үлгілер композиттік антиоксиданттың тиімділігін бағалау мақсатында жеделдетілген термооксидативті қартаю сынақтарына жіберілді. Бұл сынақтар жоғары температура мен металл беттердің каталитикалық әсері жағдайында майлардың қасиеттерінің өзгерісін зерттеуге мүмкіндік береді.

2.5. Мотор майларын жеделдетілген тотығуға ұшырату әдістемесі

Термиялық қартаю процестерін модельдеу және енгізілген композиттік антиоксиданттың тиімділігін бағалау мақсатында мотор майларын жеделдетілген

тотығу әдісі қолданылды. Бұл әдіс жоғары температура мен каталитикалық факторлардың әсеріне негізделген және қысқа уақыт аралығында майларды ұзақ мерзімді пайдалану кезінде жүретін өзгерістерге ұқсас күйге жеткізуге мүмкіндік береді.

Жеделдетілген тотығу әдісін қолдану келесі міндеттерді шешуге бағытталды:

- мотор майларының термооксидативті бұзылуға төзімділігін бағалау;
- композиттік антиоксиданттың тотығу өнімдерінің түзілу жылдамдығына әсерін анықтау;
- жаңа және пайдаланылған мотор майларындағы композиттің тиімділігін салыстыру;
- жоғары температура жағдайында көміртекті тасымалдағыштың май матрицасымен өзара әрекеттесу ерекшеліктерін талдау.

Қолданылған әдістеме нәтижелердің қайталанымдылығын қамтамасыз етеді және майлау материалдарының ұзақтылығын бағалауда кеңінен қолданылатын тәсілдер қатарына жатады.

Үлгілерді тотығуға дайындау

Зерттелетін әрбір үлгі (композит енгізілген жаңа мотор майы, композит енгізілген пайдаланылған мотор майы, сондай-ақ қоспасыз бақылау үлгілері) көлемі 50 мл болатын термотұрақты шыны стакандарға орналастырылды. Әрбір үлгінің массасы 25,0 г деңгейінде алынды.

Әр стаканға өлшемі $20 \times 10 \times 1$ мм болатын мыс пластина енгізілді. Мыс тотығу процестерінің катализаторы ретінде қолданылып, көмірсутектердің ыдырауын және тотығу өнімдерінің түзілуін жеделдетеді. Бұл тәсіл майлардың коррозиялық белсенділігін бағалауға арналған стандартты әдістерге сәйкес келеді.

Термооксидативті әсер ету режимдері

Дайындалған үлгілер кептіру шкафында 150 °C температурада келесі уақыт аралықтарында ұсталды:

- 12 сағат – тотығудың бастапқы сатысын бағалау үшін;
- 24 сағат – тотығудың тереңдетілген сатысын зерттеу үшін.

Температура мәні жоғары жылулық жүктемелер байқалатын мотор тораптарының жағдайларын модельдеу мақсатында таңдалды. Экспозиция уақыты май қасиеттерінің өзгеру динамикасын әртүрлі қартаю сатыларында салыстыра талдауға мүмкіндік береді.

Тотығу процесін бақылау

Тотығу барысында және әрбір уақыт аралығы аяқталғаннан кейін май үлгілерінің күйіне визуалды бақылау жүргізілді. Бақылау кезінде келесі көрсеткіштер тіркелді:

- түсінің өзгеруі (қараюы, реңктердің пайда болуы);
- мөлдірлігінің төмендеуі (лайлану, опалесценция);

- тұнбаның пайда болуы немесе оның мөлшерінің артуы;
- беткі қабықшаның немесе шөгінділердің түзілуі;
- тұтқырлықтың визуалды арту белгілері.

Композиттік антиоксиданттың тиімділігін кешенді бағалау үшін тотығудан кейін май үлгілері бірқатар физика-химиялық әдістермен талданды. Бұл әдістер синтетикалық мотор майларының жеделдетілген тотығу жағдайындағы қасиеттерінің өзгерісін жан-жақты сипаттауға мүмкіндік береді.

2.6. Зерттеу әдістері

Мотор майларының жеделдетілген тотығу жағдайындағы қасиеттерінің өзгерісін бағалау үшін физика-химиялық талдаудың бірнеше әдістері қолданылды. Бұл әдістер майдың деградация дәрежесін, тотығу өнімдерінің түзілуін және композициялық антиоксиданттың тиімділігін кешенді түрде сипаттауға мүмкіндік береді.

Кинематикалық тұтқырлықты анықтау және тұтқырлық индексын есептеу

Кинематикалық тұтқырлық стандартты вискозиметрдің көмегімен 40 °C және 100 °C температураларда өлшенді. Бұл көрсеткіш майдың аққыштығын және үйкеліс беттерінде қорғаныш майлау қабықшасын қалыптастыру қабілетін сипаттайды. Термиялық-тотығу өңдеуден кейін тұтқырлықтың артуы жоғары молекулалық тотығу өнімдерінің түзілуін және майдың деградация дәрежесінің өсуін көрсетеді.

Қышқыл санын (КС, TAN) анықтау

Қышқыл саны титриметриялық әдіспен анықталды. Бұл көрсеткіш майдың қартаюы барысында түзілетін қышқыл тотығу өнімдерінің мөлшерін сипаттайды. Қышқыл санының артуы майдың пайдалану қасиеттерінің төмендеуін және тотығу процестерінің қарқындылығын көрсететін маңызды индикатор саналады.

Сілтілік санын (СС, TBN) анықтау

Сілтілік саны да титриметриялық әдіс арқылы анықталды. Бұл параметр майдың пайдалану кезінде түзілетін қышқыл өнімдерді бейтараптандыру қабілетін сипаттайды және жуғыш-диспергирлеуші қоспалардың (детергенттердің) қорын көрсетеді. Сілтілік санының төмендеуі қоспалар қорының сарқылуын және майдың қартаю процесінің үдеуін білдіреді.

Инфрақызыл спектроскопия (FTIR)

Зерттелетін май үлгілерінің инфрақызыл спектрлері 4000–400 см⁻¹ диапазонында тіркелді. Талдау барысында тотығу процестерін сипаттайтын келесі жұтылу жолақтарына ерекше назар аударылды:

- карбонилді қосылыстарға тән жолақтар (1700–1750 см⁻¹);
- гидроксил топтарына тән жолақтар (3200–3600 см⁻¹);
- қос байланыстар аймағы (1640–1680 см⁻¹).

FTIR-спектроскопия май құрамында тотығу өнімдерінің түзілуін анықтауға, құрылымдық өзгерістердің сипаты мен тереңдігін бағалауға және антиоксиданттық қоспалардың тиімділігін салыстырмалы түрде талдауға мүмкіндік береді.

Визуалды бақылау және тұнбаларды зерттеу

Тотығу процесі барысында май үлгілерінің сыртқы түріндегі өзгерістер тұрақты түрде тіркелді. Бақылау кезінде май түсінің өзгеруі, мөлдірлігінің төмендеуі, тұнбаның немесе механикалық қоспалардың пайда болуы ескерілді. Бұл көрсеткіштер майдың термооксидативті тұрақтылығының жанама, бірақ маңызды индикаторлары ретінде қарастырылды. Визуалды бақылау май үлгілерінің деградация дәрежесін жедел бағалауға және енгізілген композиттік антиоксиданттардың салыстырмалы тиімділігі жөнінде бастапқы қорытынды жасауға мүмкіндік берді.

3. ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ

3.1. Зерттелетін үлгілердің сипаттамасы және бастапқы реагенттер мен алынған композиттің құрылымын зерттеу

Антиоксидантты иммобилизациялау процестерінің ерекшеліктерін және алынған композиттік материалдың мотор майларының қасиеттеріне әсерін дұрыс интерпретациялау мақсатында бастапқы кезеңде қолданылған реагенттердің, сондай-ақ синтезделген композиттің құрылымдық және физика-химиялық сипаттамалары жан-жақты зерттелді. Бұл зерттеулер антиоксидант молекулаларының тасымалдағыш бетімен өзара әрекеттесу механизмін анықтауға және алынған материалдың функционалдық мүмкіндіктерін бағалауға мүмкіндік береді. Осы мақсатта бутилгидрокситолуолдың (ВНТ), активтендірілген көмірдің және олардың негізінде алынған композиттік материалдың құрылымы талданды.

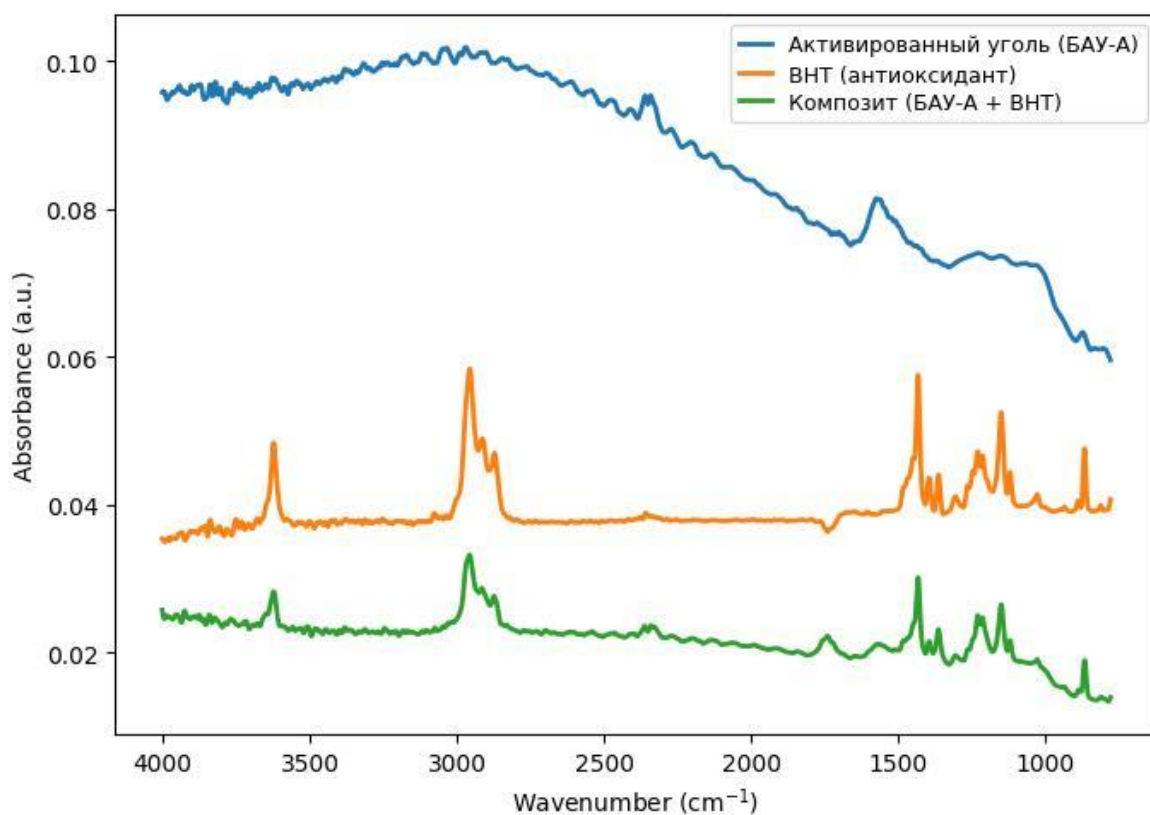
Реагенттердің құрылымын сәйкестендіру және олардың функционалдық топтарын анықтау инфрақызыл (ИҚ) спектроскопия әдісі арқылы жүзеге асырылды. Бұл әдіс молекулалардағы негізгі химиялық байланыстарды анықтауға, функционалдық топтардың күйін бағалауға және иммобилизация процесі нәтижесінде пайда болатын құрылымдық өзгерістерді бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ИҚ-спектроскопия композиттік материалдардағы физикалық адсорбция мен химиялық өзара әрекеттесу белгілерін ажыратуда кеңінен қолданылады.

Бастапқы бутилгидрокситолуол мен активтендірілген көмір үшін алынған ИҚ-спектрлер әдеби деректерде келтірілген сипаттамалармен толық сәйкес келді. Атап айтқанда, ВНТ спектрінде фенолдық антиоксиданттарға тән ароматты сақина мен алкил топтарының тербеліс жолақтары байқалды, ал активтендірілген көмір спектрі кең фондық жұтылумен және беткі оттеkkұрамды функционалдық топтардың әлсіз сигналдарымен сипатталды. Бұл деректер қолданылған реагенттердің химиялық тазалығын, құрылымдық тұрақтылығын және зерттеу үшін жарамдылығын растайды.

Алынған композиттік материалдың инфрақызыл спектрі активтендірілген көмірдің спектрімен салыстырмалы түрде талданды. Спектрлерді салыстыру барысында композит үлгісінде фенолдық антиоксидантқа тән функционалдық топтардың жұтылу жолақтарының пайда болуы және олардың қарқындылығы мен пішінінің өзгеруі байқалды. Сонымен қатар, кейбір жолақтардың кеңеюі мен қарқындылығының төмендеуі бутилгидрокситолуол молекулаларының көмір бетімен өзара әрекеттесуін және олардың кеуекті құрылым ішінде бекітілуін көрсетеді. Бұл құбылыстар антиоксиданттың көмір бетінде физикалық адсорбциялануы нәтижесінде пайда болатын спектрлік өзгерістерге тән.

Аталған өзгерістер бутилгидрокситолуол молекулаларының активтендірілген көмірдің жоғары меншікті беті мен дамыған кеуекті құрылымы есебінен тиімді түрде иммобилизацияланатынын дәлелдейді. Мұндай иммобилизация антиоксиданттың сыртқы ортаға тез миграциясын шектеп, оның функционалдық әсерін ұзақ уақыт сақтауға мүмкіндік береді.

Осылайша, инфрақызыл спектроскопия әдісімен алынған нәтижелер активтендірілген көмір бетінде бутилгидрокситолуол иммобилизацияланған жаңа композиттік материалдың қалыптасқанын сенімді түрде дәлелдейді. Алынған деректер композиттің құрылымдық ерекшеліктерін, оның модификацияланған физика-химиялық қасиеттерін және антиоксиданттың тасымалдағыш бетінде тұрақтану сипатын растайды. Сонымен қатар, бұл нәтижелер алынған композиттік материалды мотор майларының тотығу тұрақтылығын арттыруға бағытталған зерттеулерде қолданудың ғылыми негізделгендігін көрсетеді.



Сурет 5 – Белсендірілген көмірдің (БАУ-А), бутилгидрокситолуолдың (ВНТ) және олардың негізіндегі композиттік материалдың (БАУ-А + ВНТ) ИК-Фурье спектрлері. Спектрлер салыстыру ыңғайлылығы үшін ордината осі бойынша ығысқан түрде көрсетілген.

3.2 Мотор майларының тотығудан кейінгі қасиеттерінің өзгерісін зерттеу

Жеделдетілген термооксидативті өңдеуден кейін мотор майларының қасиеттері бірқатар физика-химиялық әдістер арқылы бағаланды. Талдау келесі көрсеткіштер бойынша жүргізілді:

- қышқыл санын анықтау;
- сілтілік санын анықтау;
- кинематикалық тұтқырлықты өлшеу (40 °С және 100 °С температураларда);
- инфракызыл спектроскопия арқылы тотығу өнімдерінің түзілуін бақылау (карбонилді топтарға тән $\sim 1700 \text{ см}^{-1}$ және гидроксил топтарына тән $\sim 3400 \text{ см}^{-1}$ жолақтар);
- визуалды талдау (түсінің және мөлдірлігінің өзгеруі).

Аталған көрсеткіштер майлардың тотығу дәрежесін, композиттік антиоксиданттың тиімділігін және жаңа әрі пайдаланылған мотор майларындағы тотығу процестерінің ерекшеліктерін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік берді.

3.2.1 Мотор майларының қышқыл санының өзгерісі

Мотор майларының қышқыл саны автоматты потенциометриялық титрлеу әдісімен анықталды. Талдау үшін майдан массасы 2,00 г болатын навеска аналитикалық таразыларда өлшеніп, титрлеу ұяшығына ауыстырылды. Үлгіні еріту үшін толуол мен изопропанолдың 1:1 көлемдік қатынастағы қоспасы қолданылды, бұл майдың толық еруін және титрлеу процесінің тұрақты өтуін қамтамасыз етеді. Алынған ерітінді магниттік араластырғышта біртекті жүйе түзілгенге дейін араластырылды.

Титрлеу алдын ала стандартталған 0,1 моль/л концентрациялы калий гидроксиді (КОН) ерітіндісімен жүргізілді. Автоматты титратор титрантты дозалап енгізуді қамтамасыз етіп, ерітіндінің потенциалының өзгерісін бейсу орталарда жұмыс істеуге жарамды біріктірілген шыны электрод арқылы тіркеді. Эквиваленттік нүкте титрлеу қисығының сипатына сәйкес бағдарламалық түрде анықталды, бұл визуалды әдістерге тән субъективтілікті болдырмауға мүмкіндік берді.

Қышқыл саны өрнек бойынша есептелді:
$$TAN = \frac{V \times C \times 56,11}{m},$$

мұндағы:

V — пайдаланылған титрант көлемі, мл;

C — КОН ерітіндісінің концентрациясы, моль/л;

m — май навескасының массасы, г;

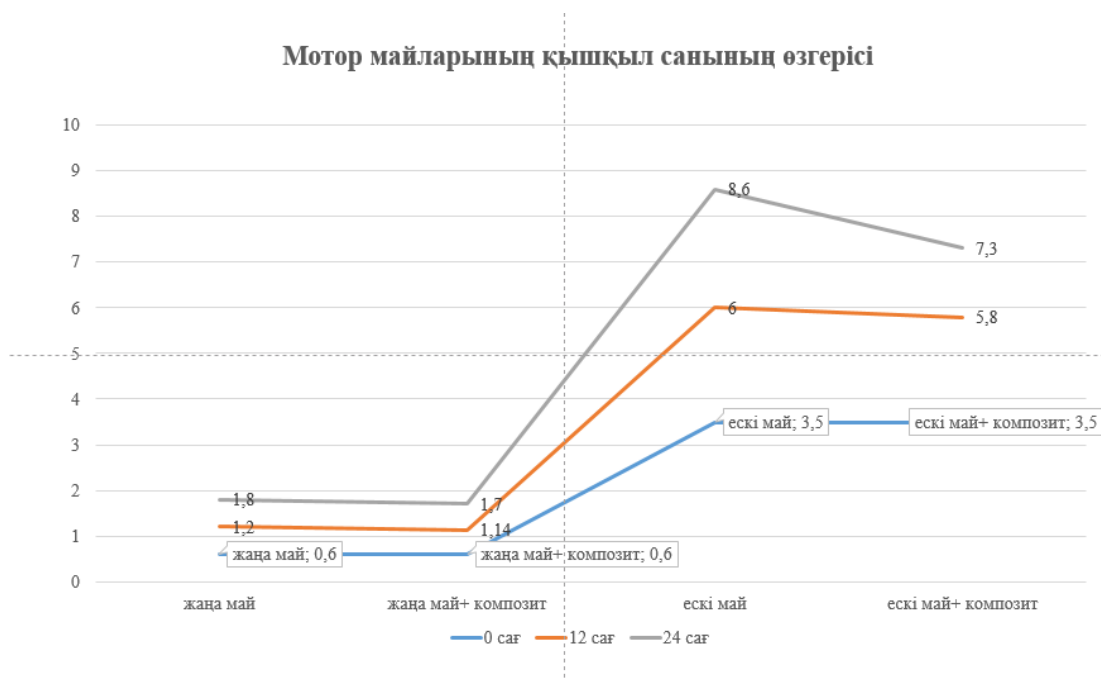
56,11 — КОН молярлық массасы, мг/ммоль.

Әрбір үлгі үшін екі параллель анықтау жүргізілді, олардың арасындағы айырмашылық рұқсат етілген мәндерден аспады. Әр талдаудың алдында электрод жуылып, потенциалы тұрақтандырылды. Бұл тәсіл өлшеулердің дәлдігін және нәтижелердің қайталанымдылығын қамтамасыз етті.

Кесте 2 – Қышқыл санының өзгерісі

Үлгі	0 сағ	12 сағ	24 сағ
1.2 TAN	0,60	1,20	1,80
1.3 TAN	0,60	1,14	1,70
2.2 TAN	3,50	6,00	8,60
2.3 TAN	3,50	5,80	7,30

Кестеде келтірілген деректер барлық үлгілерде қышқыл санының термооксидативті өңдеу уақыты артқан сайын өсуін көрсетеді, алайда бұл өсудің қарқындылығы майдың бастапқы күйіне байланысты айтарлықтай ерекшеленеді.



Сурет 6 – Мотор майларының қышқыл санының өзгерісі

Бастапқы күйде жаңа мотор майлары (1.2 және 1.3) төмен қышқыл санымен сипатталды — 0,60 мг КОН/г, бұл синтетикалық майлар үшін қалыпты деңгейге сәйкес келеді. 150 °С температурада 12 сағат ұсталғаннан кейін TAN мәні тиісінше 1,20 және 1,14 мг КОН/г дейін артты, ал 24 сағаттан соң 1,80 және 1,70 мг КОН/г деңгейіне жетті. Қышқыл санының бірқалыпты өсуі тотығу өнімдерінің түзілу қарқынының шектелгенін көрсетеді.

Пайдаланылған май үлгілерінде (2.2 және 2.3) бастапқы қышқыл саны айтарлықтай жоғары болды — 3,50 мг КОН/г, бұл эксплуатация барысында тотығу өнімдерінің жиналуымен түсіндіріледі. Термооксидативті өңдеу кезінде қышқыл саны анағұрлым қарқынды өсті: 12 сағаттан кейін 6,00 және 5,80 мг КОН/г, ал 24 сағаттан соң 8,60 және 7,30 мг КОН/г мәндеріне жетті. Соған қарамастан, композит енгізілген жүйелерде TAN өсу қарқыны антиоксидантсыз жүйелерге тән динамикамен салыстырғанда төмен болды.

3.2.2 Мотор майларының сілтілік санының (TBN) өзгерісі

Мотор майларының сілтілік саны автоматты потенциометриялық титрлеу әдісімен анықталды. Талдау үшін массасы 2,00 г болатын май навескасы аналитикалық таразыларда өлшеніп, титрлеу ұяшығына орналастырылды. Үлгіні еріту үшін толуол мен изопропанолдың 1:1 көлемдік қатынастағы қоспасы қолданылды, бұл майдағы сілтілік сипаттағы қоспалардың толық еруін және электрод жұмысының тұрақтылығын қамтамасыз етті. Ерітінді магниттік араластырғышта біртекті жүйе алынғанға дейін араластырылды.

Титрант ретінде алдын ала стандартталған 0,10 моль/л концентрациялы спирттік тұз қышқылы (HCl) ерітіндісі пайдаланылды. Біріктірілген потенциометриялық электрод ерітіндіге толық батырылып, автоматты титратор титрантты шағын порциялармен енгізу арқылы ерітіндінің потенциалының өзгерісін тіркеді. Эквиваленттік нүкте титрлеу қисығының сипатына сәйкес бағдарламалық түрде анықталды.

Сілтілік саны төмендегі өрнек бойынша есептелді:

$$TBN = \frac{V \times C \times 56,11}{m}$$

мұндағы:

V — эквиваленттік нүктеге дейін жұмсалған HCl көлемі, мл;

C — HCl ерітіндісінің концентрациясы, моль/л;

m — май навескасының массасы, г;

56,11 — КОН эквиваленттік массасы, мг/ммоль.

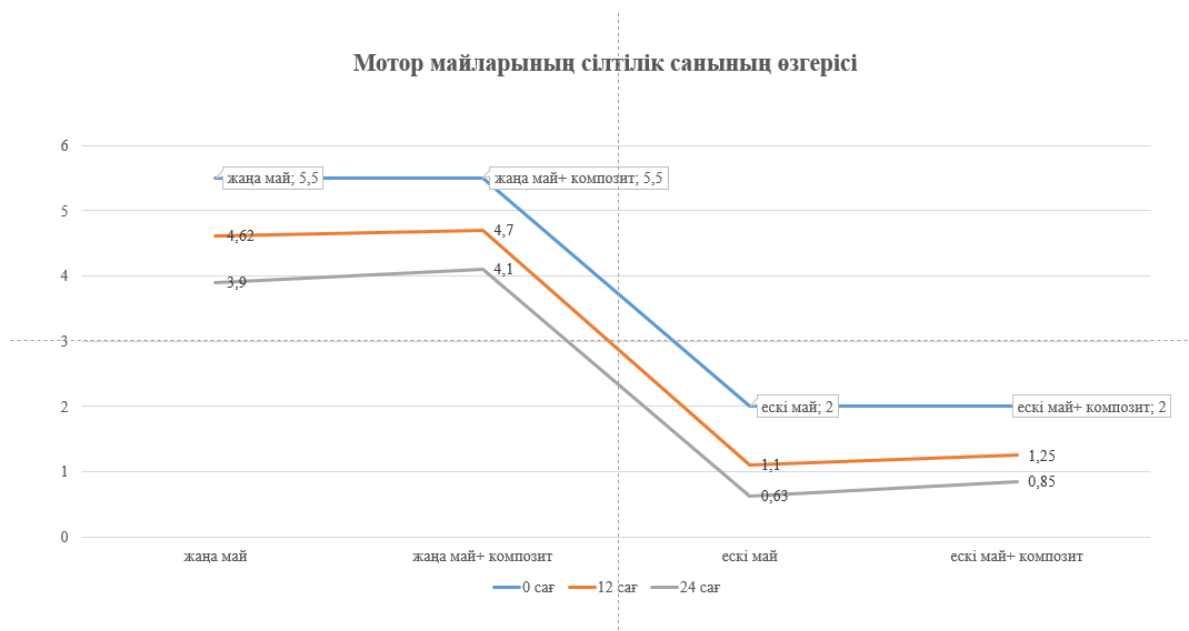
Әрбір үлгі үшін екі параллель анықтау жүргізілді, ал соңғы нәтиже орташа арифметикалық мән ретінде алынды. Өлшеулер арасындағы айырмашылық рұқсат етілген шектерден аспады. Бұл әдіс алынған нәтижелердің дәлдігі мен қайталанымдылығын қамтамасыз етті.

Кесте 3 – Сілтілік санының өзгерісі

Үлгі	0 сағ	12 сағ	24 сағ
1.2 TBN	5,50	4,62	3,90
1.3 TBN	5,50	4,70	4,10
2.2 TBN	2,00	1,10	0,63
2.3 TBN	2,00	1,25	0,85

Кестеден көрінгендей, термооксидативті өңдеу барысында барлық зерттелген үлгілерде сілтілік санының төмендеуі байқалады, бұл нейтрализдеуші қоспалардың біртіндеп жұмсалудымен байланысты.

Жаңа мотор майлары (1.2 және 1.3) бастапқыда 5,50 мг КОН/г деңгейіндегі жеткілікті сілтілік резервпен сипатталды. 150 °С температурада 12 сағат өңдегеннен кейін TBN мәндері 4,62–4,70 мг КОН/г аралығына төмендеді, ал 24 сағаттан соң 3,90–4,10 мг КОН/г деңгейінде сақталды. Сілтілік санның бірқалыпты төмендеуі нейтрализдеуші қоспалардың толық сарқылмай, белгілі бір деңгейде сақталғанын көрсетеді.



Сурет 7 – Мотор майларының сілтілік санының өзгерісі

Пайдаланылған май үлгілерінде (2.2 және 2.3) бастапқы сілтілік саны айтарлықтай төмен болды — 2,00 мг КОН/г, бұл эксплуатация барысында қоспалар пакетінің едәуір дәрежеде жұмсалғанын көрсетеді. Термооксидативті өңдеу кезінде TBN көрсеткіші қарқынды түрде төмендеп, 12 сағаттан кейін 1,10–1,25 мг КОН/г, ал 24 сағаттан соң 0,63–0,85 мг КОН/г мәндеріне жетті. Бұл пайдаланылған майлардың қышқыл тотығу өнімдерін бейтараптандыру қабілетінің шектеулі екенін айқындайды.

3.2.3 Мотор майларының қышқыл-сілтілік сипаттамаларын салыстырмалы талдау

Қышқыл (TAN) және сілтілік (TBN) сандардың өзгерісін бірлесіп талдау мотор майларының термооксидативті деградациясын кешенді бағалауға мүмкіндік береді. Бұл көрсеткіштер өзара толықтырушы сипатқа ие: TAN тотығу нәтижесінде түзілетін қышқыл өнімдердің жиналуын сипаттаса, TBN майдың осы өнімдерді нейтрализациялау қабілетін көрсетеді. Сондықтан олардың динамикасын қатар қарастыру тотығу процестерінің қарқындылығын және қоспалар кешенінің жұмсалыу дәрежесін бағалауға негіз болады.

Жаңа май үлгілерінде (1.2 және 1.3) бастапқы TAN мәндерінің төмен, ал TBN көрсеткіштерінің жоғары болуы майдың бастапқы химиялық тұрақты күйін көрсетеді. Термооксидативті өңдеу барысында қышқыл санының өсуі бірқалыпты жүріп, сілтілік санының төмендеуі айқын секіріссіз байқалды. Мұндай сипат тотығу өнімдерінің жинақталуы шектеулі екенін және нейтрализдеуші қоспалардың белгілі бір бөлігінің сақталғанын көрсетеді. Бұл композиттік антиоксиданттың қатысуымен радикалдық тізбекті процестердің баяулауымен түсіндіріледі.

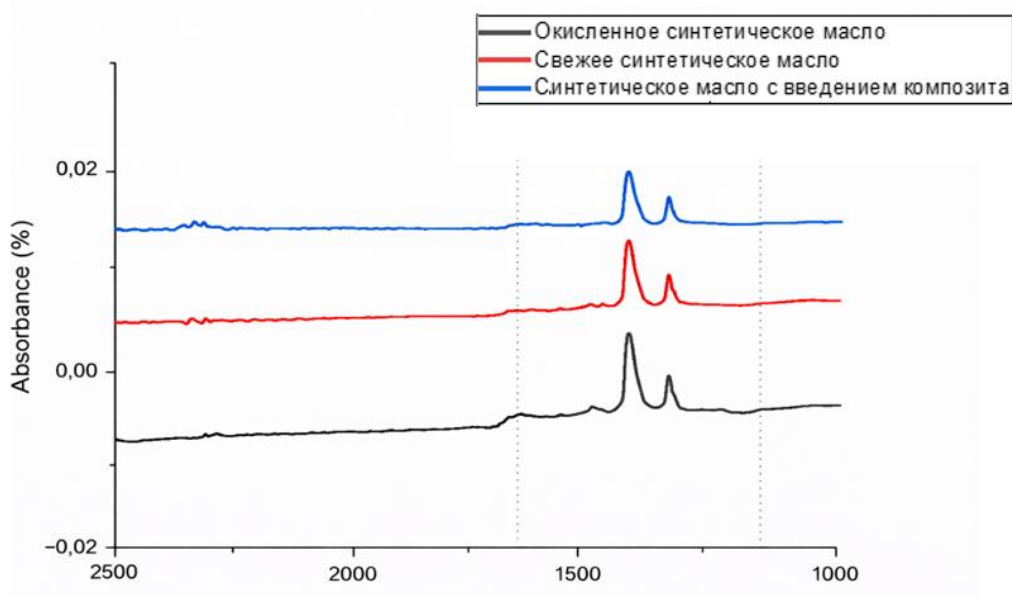
Пайдаланылған майларда (2.2 және 2.3) бастапқы қышқыл санының жоғары және сілтілік санының төмен болуы қоспалар кешенінің эксплуатация барысында едәуір дәрежеде сарқылғанын көрсетеді. Термооксидативті өңдеу кезінде TAN көрсеткішінің қарқынды өсуі және TBN мәндерінің тез төмендеуі қышқыл тотығу өнімдерінің түзілуіне қарсы тұру мүмкіндігінің шектеулі екенін айқындайды. Бұл жағдайда қалдық сілтілік резервтің жүктемесі айтарлықтай артады.

Сонымен қатар композит енгізілген пайдаланылған майларда TAN өсу қарқынының салыстырмалы түрде баяулап, ал TBN төмендеуінің біршама жұмсартуы байқалады. Бұл иммобилизденген фенолдық антиоксиданттың тотығу процестерін тежеуімен және активтендірілген көмірдің қышқыл әрі полярлы қосылыстарды ішінара адсорбциялау қабілетімен байланысты. Мұндай әсер қышқыл өнімдердің май ортасында жиналуын баяулатып, нейтрализдеуші қоспаларға түсетін жүктемені азайтады.

Осылайша, қышқыл және сілтілік сандардың салыстырмалы талдауы композиттік антиоксиданттың қатысуымен мотор майларының термооксидативті тұрақтылығының артатынын көрсетеді. Композитті қолдану қышқыл тотығу өнімдерінің жиналуын баяулатып, сілтілік резервтің сақталуына ықпал етеді, бұл майлардың функционалдық қасиеттерін жоғары температура жағдайында ұзақ уақыт бойы ұстап тұруға мүмкіндік береді.

3.2.4 Үлгілерді ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттеу

Синтетикалық майдың тотығу үдерісі барысында және композициялық материал енгізілген жағдайда оның химиялық құрылымындағы өзгерістерді зерттеу мақсатында инфрақызыл спектроскопия әдісі қолданылды. Жұтылу спектрлерін талдау $4000\text{--}1000\text{ см}^{-1}$ толқындық сандар диапазонында жүргізілді, бұл майдың көмірсутектік негізіндегі өзгерістерді, сондай-ақ тотығу нәтижесінде түзілетін оттекті қосылыстарды анықтауға мүмкіндік береді.

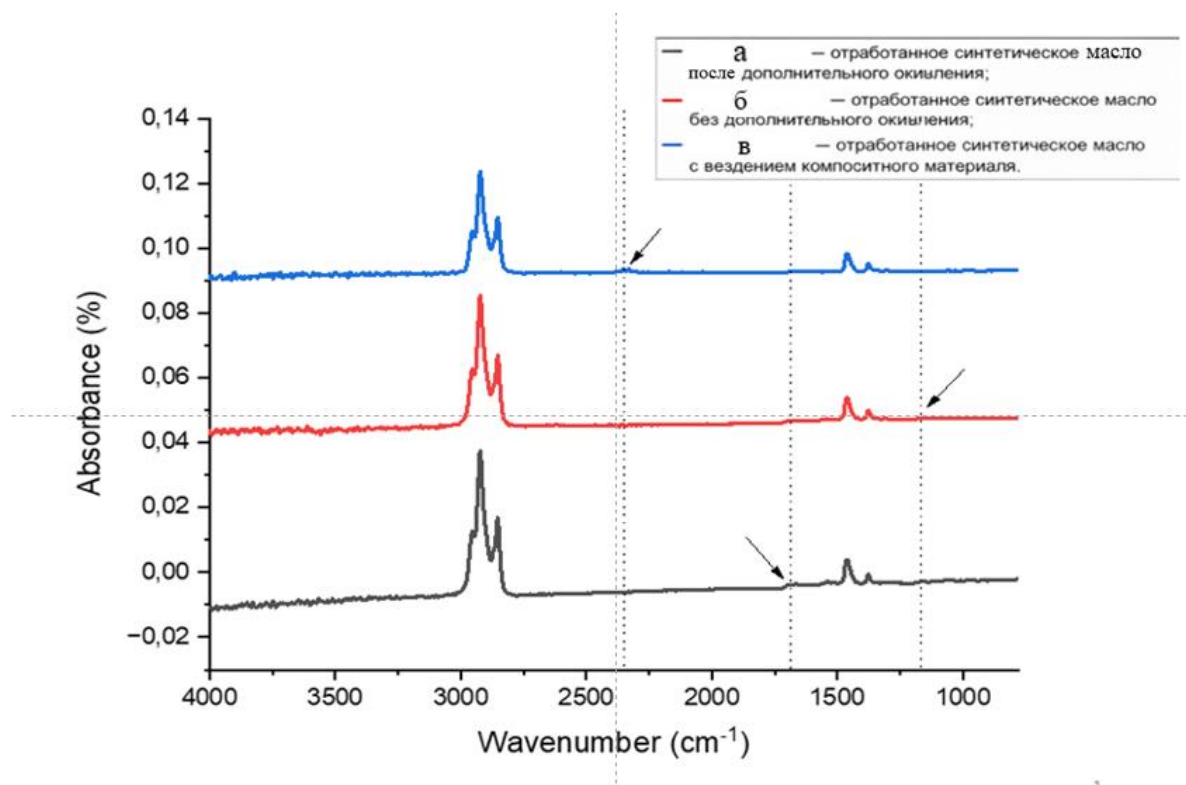


Сурет 8 —Синтетикалық майдың ИҚ-спектрлері:

а — тотығуға ұшыраған;

б — жаңа;

в — композициялық материал енгізілген синтетикалық май.



Сурет 9 – Пайдаланылған синтетикалық майдың ИҚ-спектрлері:

а — қосымша тотығудан кейін;

б — қосымша тотығусыз;

в — композициялық материал енгізілген пайдаланылған синтетикалық май.

Зерттелген барлық үлгілерде $3000\text{--}2850\text{ см}^{-1}$ аймағында шамамен 2955 , 2922 және 2853 см^{-1} максимумдары бар интенсивті жұтылу жолағы байқалады. Аталған жолақ алифатты тізбектердегі метил және метилен топтарының C–H байланыстарының валенттік тербелістеріне сәйкес келеді және синтетикалық майдың көмірсутектік қаңқасының эксплуатация және модификация жағдайларына қарамастан сақталатынын көрсетеді. Тотыққан және пайдаланылған май үлгілерінде бұл жолақтың аздап кеңеюі мен пішінінің өзгеруі байқалады, бұл полярлы қосылыстардың жиналуына байланысты молекулааралық әрекеттесулердің қайта бөлінуімен түсіндірілуі мүмкін. Алайда жолақтың интенсивтілігінің айтарлықтай төмендеуі тіркелмеген.

Спектрлер арасындағы ең айқын айырмашылықтар $1740\text{--}1700\text{ см}^{-1}$ аймағында байқалады, бұл аймақ карбонил топтарының (C=O) валенттік тербелістеріне тән. Тотыққан синтетикалық майдың спектрінде бұл жолақ ең жоғары интенсивтілікпен сипатталады, бұл карбон қышқылдары, күрделі эфирлер және альдегидті қосылыстар сияқты тотығу өнімдерінің қарқынды түзілуін көрсетеді. Қосымша тотығусыз пайдаланылған майда карбонил жолағы

әлсіз түрде байқалады, бұл эксплуатация барысында оттеkkұрамды қосылыстардың белгілі бір мөлшерде жиналатынын білдіреді. Ал композициялық материал енгізілген синтетикалық май үлгілерінде карбонил жолағының интенсивтілігі жаңа май деңгейіне жақын болып қалады немесе немодификацияланған үлгілермен салыстырғанда едәуір баяу өседі, бұл тотығу үдерістерінің баяулауын көрсетеді.

1600–1500 см^{-1} диапазонында $\text{C}=\text{C}$ байланыстарының деформациялық тербелістерімен және екіншілік тотығу нәтижесінде түзілетін конъюгацияланған құрылымдардың тербелістерімен байланысты жолақтар байқалады. Тотыққан майда бұл жолақтар айқын көрінеді, ал композициялық материал енгізілген май үлгілерінде олардың интенсивтілігі айтарлықтай төмен, бұл тотығу үдерістерінің тереңдігінің азайғанын білдіреді.

1200–1000 см^{-1} аймағында спирттік, эфирлік және пероксидті қосылыстарға тән $\text{C}-\text{O}$ байланыстарының валенттік тербелістеріне сәйкес келетін жолақтар тіркеледі. Бұл жолақтардың интенсивтілігінің артуы тотыққан май үшін барынша айқын байқалады, ал композициялық материал енгізілген үлгілерде өзгерістер әлдеқайда әлсіз сипатта көрінеді. Аталған нәтиже карбонил аймағындағы талдау деректерімен сәйкес келеді және композициялық материалдың оттеkkұрамды өнімдердің түзілуін тежеуші әсерін растайды.

Қортындылай келе, инфрақызыл спектрлерді талдау синтетикалық майдың тотығуы карбонил және $\text{C}-\text{O}$ функционалдық топтарының түзілуімен, сондай-ақ тотығу деградациясының екіншілік өнімдеріне тән жолақтардың интенсивтілігінің артуымен қатар жүретінін көрсетеді. Композициялық материал енгізу аталған спектрлік белгілердің айқындылығын төмендетіп, майдың термототығу қартаюына төзімділігін арттырады және оның химиялық құрылымын тұрақтандырудағы тиімділігін дәлелдейді.

3.2.5 Мотор майларының тұтқырлығын анықтау әдістемесі және нәтижелерді талдау

Мотор майларының кинематикалық тұтқырлығы 40 °C және 100 °C температураларда автоматтандырылған капиллярлық вискозиметр көмегімен анықталды. Әдіс майдың капилляр арқылы ағу уақыты мен оның тұтқырлығы арасындағы тәуелділікке негізделген және өлшеулердің жоғары дәлдігі мен қайталанымдылығын қамтамасыз етеді. Өлшеу алдында барлық үлгілер термостатта берілген температураға дейін ұсталып, жылулық тепе-теңдікке жеткізілді. Әрбір үлгі үшін өлшеу екі рет жүргізіліп, нәтижелер орташа арифметикалық мән ретінде ұсынылды. Тұтқырлық мәндері $\text{мм}^2/\text{с}$ бірлігінде өрнектелді.

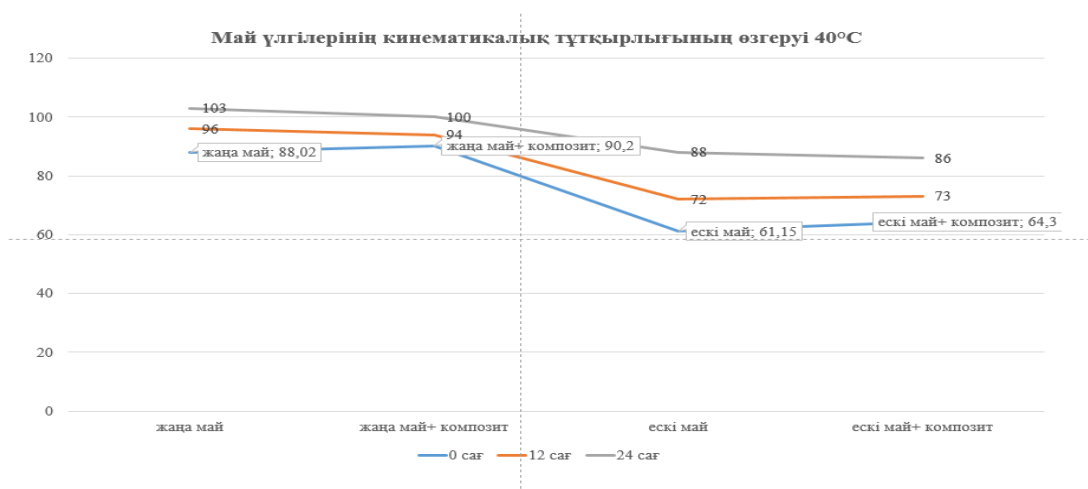
Тұтқырлықты екі температурада анықтау майдың температура өзгерісіне сезімталдығын бағалауға және термооксидативті қартаюдың құрылымдық

өзгерістерге әсерін талдауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер 4-кестеде келтірілген.

Кесте 4 – Май үлгілерінің кинематикалық тұтқырлығының өзгеруі

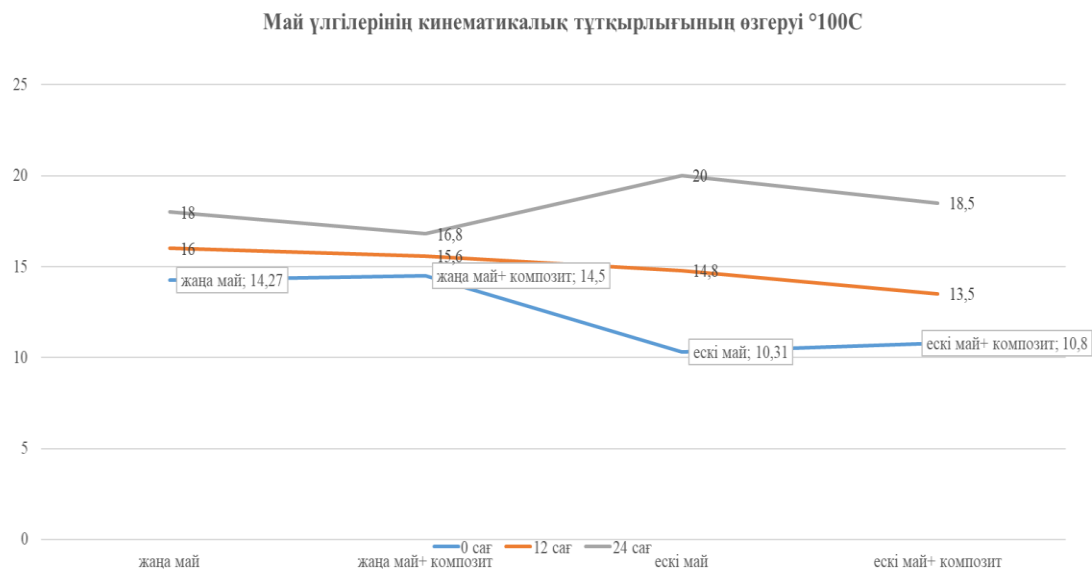
Үлгі	0 сағ	12 сағ	24 сағ
1.2 v_{40}	88,02	96,0	103,0
1.3 v_{40}	90,20	94,0	100,0
2.2 v_{40}	61,15	72,0	88,0
2.3 v_{40}	64,30	73,0	86,0
1.2 v_{100}	14,27	16,0	18,0
1.3 v_{100}	14,50	15,6	16,8
2.2 v_{100}	10,31	14,8	20,0
2.3 v_{100}	10,80	13,5	18,5

Алынған деректер жаңа май үлгілерінде (1.2 және 1.3) 40 °C температурада тұтқырлықтың біртіндеп артатынын көрсетеді. 24 сағаттық термооксидативті өңдеуден кейін тұтқырлық 88,02 және 90,20 мм²/с мәндерінен 103,0 және 100,0 мм²/с деңгейіне жетті. Мұндай өзгеріс бастапқы тотығу сатыларында түзілетін оттеққұрамды және салыстырмалы түрде жоғары молекулалы қосылыстардың түзілуімен түсіндіріледі. Тұтқырлықтың баяу өсуі композиттік антиоксиданттың поликонденсациялық процестерді шектеу қабілетін көрсетеді.



Сурет 10 – Мотор майларының кинематикалық тұтқырлығының өзгеруі 40°C

100 °C температурада жаңа майлардың тұтқырлығы да өсу үрдісін көрсетті. Бұл құбылыс термиялық әсер кезінде май матрицасында құрылымдық өзгерістердің жүретінін дәлелдейді. Дегенмен тұтқырлықтың шамадан тыс артуы байқалмады, бұл антиоксиданттық жүйенің май құрылымын тұрақтандыруға қатысатынын аңғартады.



Сурет 11 – Мотор майларының кинематикалық тұтқырлығының өзгеруі 100°C

Пайдаланылған майларда (2.2 және 2.3) бастапқы тұтқырлық мәндері төмен болды, бұл олардың эксплуатация барысында ішінара сұйылуы мен тотығу өнімдерінің қайта құрылуымен байланысты. Термооксидативті өңдеу барысында 40 °C температурада тұтқырлықтың айқынырақ өсуі байқалды. Мұндай өзгеріс май құрамында бұрыннан бар тотығу өнімдерінің әрі қарай реакцияға түсуімен түсіндіріледі. Сонымен қатар тұтқырлықтың секірмелі емес, бірқалыпты өсуі композит құрамындағы көміртекті адсорбенттің жоғары молекулалы қосылыстардың концентрациясын төмендетуге қатысатынын көрсетеді.

100 °C температурада пайдаланылған майлардың тұтқырлығы едәуір артты, бұл май матрицасының терең құрылымдық өзгерістерге ұшырағанын білдіреді. Соған қарамастан тұтқырлықтың өсу қарқыны бақылаулы сипатта қалды, бұл композиттік антиоксиданттың тұрақтандырушы әсерін растайды.

Жалпы алғанда алынған нәтижелер композиттік антиоксидант енгізілген мотор майларында тұтқырлықтың артуы баяу жүретінін көрсетеді. Бұл қышқыл және сілтілік сандар бойынша алынған деректермен үйлеседі және композиттің май құрылымын тұрақтандыруға, радикалдық тотығу процестерін тежеуге ықпал ететінін дәлелдейді.

3.2.6 Тұтқырлық индексі есептеу нәтижелерін талдау

Тұтқырлық индексі майдың температура өзгерген кездегі тұтқырлығының тұрақтылығын сипаттайтын интегралды көрсеткіш болып табылады. Зерттеу барысында тұтқырлық индексі кинематикалық тұтқырлықтың 40 °С және 100 °С температуралардағы эксперименттік мәндері негізінде халықаралық ASTM D2270 стандартына сәйкес анықталды. Зерттелген май үлгілерінің барлығы үшін тұтқырлық индексінің мәндері 100-ден жоғары болғандықтан, есептеу барысында стандартта ұсынылған логарифмдік тәуелділік қолданылды:

$$VI = \left(\frac{\log H - \log U}{\log H - \log L} - 1 \right) \times 100 \quad (9)$$

мұндағы:

U – зерттелетін майдың 40 °С-тағы кинематикалық тұтқырлығы, мм²/с;
H және L – берілген v_{100} мәніне сәйкес келетін, тиісінше VI = 100 және VI = 0 жағдайларына арналған стандарттық кинематикалық тұтқырлық мәндері.

Алынған тұтқырлық индексі мәндері май үлгілерінің жеделдетілген термооксидативті қартаю жағдайындағы тұтқырлық–температуралық қасиеттерінің өзгерісін салыстырмалы түрде бағалауға мүмкіндік берді.

Кесте 5 – Жеделдетілген термооксидативті қартаю барысында май үлгілерінің тұтқырлық индексінің өзгерісі

Үлгі нөмірі	Қартаю уақыты, сағ	v_{40} , мм ² /с	v_{100} , мм ² /с	Тұтқырлық индексі, VI
1.2	0	88,02	14,27	205
	12	96,0	16,0	215
	24	103,0	18,0	225
1.3	0	90,20	14,50	195
	12	94,0	15,6	205
	24	100,0	16,8	210
2.2	0	61,15	10,31	165
	12	72,0	14,8	185
	24	88,0	20,0	200
2.3	0	64,30	10,80	170
	12	73,0	13,5	180
	24	86,0	18,5	195

Есептеу нәтижелері барлық зерттелген үлгілер үшін тұтқырлық индексінің мәндері 100-ден жоғары екенін көрсетті, бұл майлардың жоғары температуралық

тұрақтылығын және синтетикалық немесе терең тазаланған базалық майлар деңгейіндегі қасиеттерін сипаттайды. Сонымен қатар жеделдетілген термооксидативті қартаю барысында тұтқырлық индексінің төмендеуі байқалмай, керісінше оның бірқалыпты өсуі тіркелді.

Атап айтқанда, 1.2 және 1.3 үлгілерінде тұтқырлық индексінің бастапқы мәндері жоғары болып, қартаю уақыты артқан сайын олардың өсу үрдісі айқын көрінді. Бұл үлгілер үшін VI мәндерінің 0 сағаттан 24 сағатқа дейін артуы майдың температура әсеріне төзімділігінің сақталғанын және тұтқырлық–температуралық сипаттамаларының тұрақтанғанын көрсетеді. Мұндай өзгерістер май құрылымының айқын деструкцияға ұшырамағанын және қолданылған композиттік антиоксиданттың тиімді жұмыс істегенін көрсететін жанама белгі ретінде қарастырылды.

2.2 және 2.3 үлгілерінде де тұтқырлық индексінің өсуі байқалды, алайда олардың абсолюттік мәндері 1.x сериясымен салыстырғанда төмен болды. Бұл айырмашылық базалық майлардың бастапқы қасиеттерімен және композиттік антиоксиданттың май матрицасымен өзара әрекеттесу ерекшеліктерімен түсіндірілуі мүмкін. Дегенмен, бұл үлгілерде де тотығу барысында тұтқырлық индексінің күрт төмендеуі немесе тұрақсыз өзгеруі тіркелмеді, бұл майлардың температуралық тұрақтылығының жалпы сақталғанын көрсетеді.

Тотығу процестері барысында тұтқырлық индексінің төмендеуі, әдетте, жоғары молекулалы шайырлы және асфальтенді қосылыстардың түзілуімен немесе базалық майдың құрылымдық бұзылуымен байланысты болады. Ал зерттелген үлгілерде мұндай құбылыстың байқалмауы активтендірілген көмір мен бутилгидрокситолуол (ВНТ) негізіндегі композиттік антиоксиданттың тотығу процестерін тиімді тежеуге қабілетті екенін көрсетеді. Активтендірілген көмір тотығу өнімдерін адсорбциялау арқылы майдың деградациясын баяулатса, ВНТ бос радикалдарды бейтараптандырып, тотығудың тізбекті реакцияларын тежейді. Осы механизмдердің үйлесімді әсері майдың тұтқырлық–температуралық қасиеттерінің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Тұтқырлық индексін есептеу нәтижелерін талдау композиттік антиоксиданттың мотор майларының термооксидативті қартаю жағдайында температуралық тұрақтылығын сақтауға және олардың пайдалану қасиеттерінің деградациясын баяулатуға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Алынған нәтижелер тұтқырлық индексін композиттік жүйенің тиімділігін бағалауда сенімді интегралды көрсеткіш ретінде қолдануға болатынын дәлелдейді.

3.2.7 Май үлгілерінің түсі, визуалдық қасиеттері және лайлылығының өзгерісін зерттеу

Мотор майларында жүретін термооксидативті процестердің қарқындылығын сипаттайтын маңызды көрсеткіштердің бірі – майдың түсі,

мөлдірлігі, лайлылығы және жалпы визуалдық күйінің өзгеруі. Аталған параметрлер май құрамында тотығу өнімдерінің жиналуын, жоғары молекулалы шайырлы қосылыстардың түзілуін және антиоксиданттық қоспалардың қартаю үдерісіне әсерін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік береді.



Сурет 12 – Термооксидативті өндеуден кейінгі мотор майы үлгілерінің сыртқы көрінісі

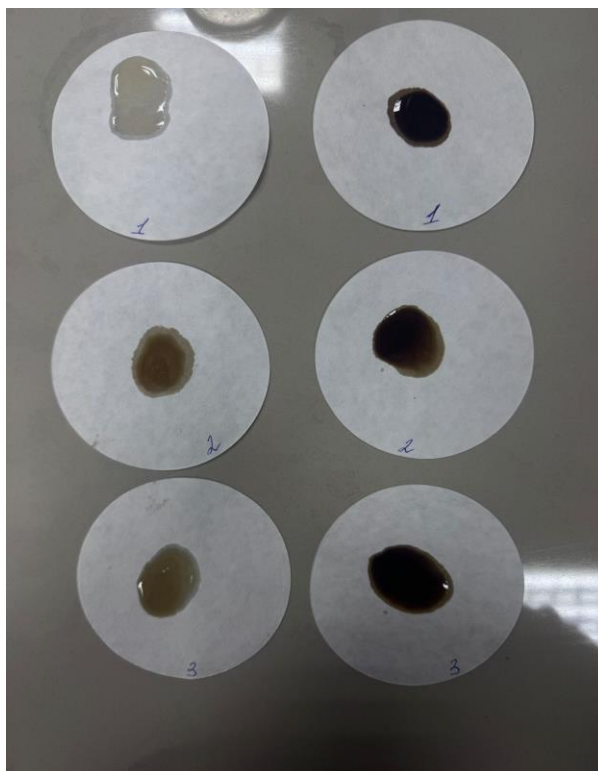
- 1 – жаңа май;
- 2 – композиттік антиоксидант қосылған тотығуға ұшыраған май;
- 3 – тотығуға ұшыраған май (композитсіз).

Осы зерттеуде визуалдық талдау және лайлылықты сандық анықтау келесі 3 түрлі үлгі үшін жүргізілді: жаңа май, композит енгізілген жаңа май, қоспасыз пайдаланылған май. Бақылаулар бастапқы күйде, сондай-ақ 150 °C температурада 24 сағаттық жеделдетілген термооксидативті өндеуден кейін жүргізілді.

Лайлылықты өлшеу турбидиметриялық әдіспен Nach 2100Qis портативті құрал көмегімен орындалды, нәтижелер FNU бірліктерімен тіркелді.

Бастапқы күйінде жаңа мотор майы ашық-сары түспен және жоғары мөлдірлікпен сипатталды. Бұл үлгі үшін лайлылық мәні 20,9 FNU құрады, яғни майда қалқымалы және коллоидты бөлшектердің аз екенін көрсетеді. Композиттік антиоксидант енгізілген жаңа майдың түсі көміртекті тасымалдағыштың болуына байланысты аздап күңгірттенгенімен, мөлдірлігі мен біртектілігі айтарлықтай өзгеріске ұшыраған жоқ, айқын тұнба байқалмады.

Қоспасыз пайдаланылған май қою түске және айқын лайлануға ие болды. Мұндай өзгерістер термооксидативті тотығу барысында жинақталған тотығу, термиялық ыдырау өнімдері мен жоғары молекулалы қосылыстардың болуымен түсіндіріледі. Бұл үлгі үшін лайлылық мәні 209 FNU құрады, бұл майдағы тотығу өнімдерінің жоғары концентрациясын дәлелдейді. Композит қосылған пайдаланылған майда түсі сәл қоюланғанымен, жүйенің жалпы біртектілігі сақталды және ірі бөлшектердің шөгуі байқалмады. Аталған үлгіде лайлылық 173 FNU деңгейінде болды, бұл композитсіз пайдаланылған маймен салыстырғанда төмен көрсеткіш.



Сурет 13 – Мотор майларының сүзгі қағазындағы көрінісі (24 сағат):

- 1 – бақылау үлгілері (жаңа және пайдаланылған май, тотығусыз);
- 2 – бақылау үлгілерінің тотығудан кейінгі күйі (композитсіз);
- 3 – ВНТ иммобилизацияланған композит қатысында тотығудан кейінгі май үлгілері.

24 сағаттық термооксидативті өңдеуден кейін қоспасыз жаңа майларда түстің айқын күңгірттенуі, сары-қоңыр реңктердің пайда болуы, мөлдірліктің төмендеуі, сондай-ақ тығыз тұнбаның түзілуі және ыдыс қабырғаларында шайырлы қабықшаның қалыптасуы байқалды, бұл майда тотығу және полимерлену өнімдерінің белсенді жинала бастағанын көрсетеді. Ал композит енгізілген майларда аталған құбылыстар әлдеқайда әлсіз байқалып, үлгілер

салыстырмалы түрде ашық түсті күйде қалып, белгілі бір деңгейде мөлдірлігін сақтады және тұнба мөлшері айтарлықтай төмен болды.

3.3 Композит тиімділігінің салыстырмалы талдауы

Зерттелген май үлгілерінің қышқыл саны (TAN), сілтілік саны (TBN) және тұтқырлық-температуралық сипаттамалары бойынша алынған нәтижелерді салыстыру композиттік қоспаның мотор майларының термооксидативті деградациясына әсерін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік береді. Барлық жағдайларда бутилгидрокситолуол мен активтендірілген көмір негізіндегі композитті енгізу қышқыл тотығу өнімдерінің жиналу қарқынын төмендетіп, сілтілік резервтің біртіндеп жұмсалыуымен және тұтқырлықтың баяу артуымен сипатталды. Мұндай өзгерістер тотығу процестерінің негізгі сатыларының, соның ішінде пероксидтік радикалдардың түзілуі мен кейінгі поликонденсация реакцияларының әлсірегенін көрсетеді.

Алынған нәтижелер пайдаланылған майларда айқынырақ байқалды, себебі мұндай жүйелерде тотығу процестері бастапқыда қарқынды жүреді. Осыған қарамастан композит бар үлгілерде TAN көрсеткішінің өсуі баяулап, TBN мәндерінің төмендеуі салыстырмалы түрде жұмсақ сипат алды. Бұл композиттің қоспалар кешені ішінара сарқылған ортада да тұрақтандырушы әсер көрсете алатынын дәлелдейді. Сонымен қатар тұтқырлықтың өзгеру динамикасы смолисті және жоғары молекулалы қосылыстардың түзілуі шектелгенін көрсетеді, себебі дәл осы өнімдер майдың шамадан тыс қоюлануына әкеледі.

Жалпы алынған деректер иммобилизденген ВНТ негізіндегі композиттің көпқырлы тұрақтандырушы әсерін айқындайды. Оның әсері радикалдық тотығу процестерін тежеумен қатар, май құрамындағы функционалдық қоспалардың сақталуына да ықпал етеді. Салыстырмалы талдау композиттің тиімділігі жеке қолданылатын антиоксиданттардың әсерінен жоғары екенін көрсетеді, бұл белсенді заттың біртіндеп босап шығуымен және көміртекті тасымалдағыштың реакцияға қабілетті қосылыстарды адсорбциялау мүмкіндігімен байланысты. Зерттеу нәтижелері ұсынылған композиттік жүйенің жаңа және пайдаланылған мотор майларының пайдалану тұрақтылығын арттыру үшін перспективалы екендігін дәлелдейді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу жұмысы аясында активтендірілген көмір мен фенолдық типтегі антиоксидант бутилгидрокситолуол (ВНТ) негізінде алынған композиттік антиоксиданттың жеделдетілген термооксидативті қартаю жағдайындағы жаңа және пайдаланылған синтетикалық мотор майларының тұрақтылығына әсері зерттелді. Алынған нәтижелер композиттің майлардың деградация көрсеткіштеріне ықпалын кешенді түрде бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында көміртекті тасымалдағышты дайындау және ВНТ-ны иммобилизациялау әдістемесі әзірленіп, тәжірибеде қолданылды. Ұсынылған тәсіл антиоксиданттың май ортасында біртіндеп босап шығуын және тотығу өнімдеріне қатысты қосымша адсорбциялық әсердің пайда болуын қамтамасыз етті.

Эксперименттік деректер композит енгізілген жағдайда қышқыл санының (TAN) өсу қарқынының баяулайтынын және сілтілік санның (TBN) төмендеуінің бірқалыпты жүретінін көрсетті. Бұл құбылыс тотығу процестерінің қарқындылығының төмендеуін және бейтараптандырушы қоспаларға түсетін жүктеменің азаюын білдіреді. Инфрақызыл спектроскопия нәтижелері оттеққұрамды функционалдық топтардың жиналу деңгейі төмендейтінін растады.

Тұтқырлықты анықтау нәтижелері композит қолданылған майларда жоғары молекулалы тотығу өнімдерінің түзілуі шектелетінін көрсетті, бұл термиялық әсер кезінде майдың шамадан тыс қоюлануын тежеуге ықпал етеді. Визуалдық бақылаулар алынған физика-химиялық мәліметтермен сәйкес келіп, композит қатысында майлардың термооксидативті қартаюы баяу жүретінін көрсетті.

Зерттеу нәтижелері фенолдық антиоксидант пен активтендірілген көмірді біріктіріп қолдану тотығу процестерін тежеудің кешенді механизмін қалыптастыратынын көрсетеді. Мұндай жүйеде ВНТ радикалдық тізбекті реакцияларды тежесе, көміртекті тасымалдағыш реакциялық қабілеті жоғары тотығу өнімдерінің бір бөлігін адсорбциялайды.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер композиттік антиоксиданттарды мотор майларының термооксидативті тұрақтылығын арттыруға бағытталған қоспалар ретінде одан әрі зерттеудің орындылығын көрсетеді және оларды жаңа антиоксиданттық жүйелерді әзірлеуде пайдалануға негіз бола алады.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. American Petroleum Institute. / API 1509: Base Oil Interchangeability Guidelines for Passenger Car Motor Oils and Diesel Engine Oils.//18th ed. Washington, DC: API, 2021 (с дополнениями 2023). 38 p.
2. Mang T., Dresel W. (eds.)/ Lubricants and Lubrication.// 3rd ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2017. 1218 p..
3. Rudnick L. R. (ed.)/ Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology.// 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2020. 1025 p.
4. Mortier R.M., Fox M. F., Orszulik S. T. (ed.) /Chemistry and Technology of Lubricants.//3rd ed. Dordrecht:Springer, 2010. 560 p.
5. Вершинина Е. П., Буров А. К./ Моторные масла: состав, свойства, применение. – М.:// Техника, 2014. – 208 с.
6. Виноградов В. Н., Безбородов Ю. Н., Аптыкаев Р. Р./ Антиокислительные и противоизносные присадки к моторным маслам. – // Уфа: Реактив, 2018. – 312 с.
7. Ищук Ю. Л./ Состав, структура и свойства моторных масел и рабочих жидкостей. – Киев:// Наукова думка, 2012. – 456 с.
8. Терентьев А. А., Лашхи В. Л./ Окисление и старение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания // Химия и технология топлив и масел. – 2020. – № 3. – С. 12–19.
9. Козлов А. В., Смирнов В. Н., Фомин В. М. /Современные требования к моторным маслам для высокофорсированных двигателей // Мир нефтепродуктов. – 2022. – № 5. – С. 14–21.
10. Гуреев А. А., Фукс И. Г., Лашхи В. Л./ Современные моторные масла и их эксплуатационные свойства. – //М.: Химия, 2021. – 448 с.
11. ГОСТ 17479.1-2013. Масла нефтяные. Классификация и обозначение. Общие требования. – //Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.
12. Черножуков Н. И., Крейн С. Э.// Окисляемость минеральных масел. — М.: Гостоптехиздат, 1955. — 416 с.
13. Фукс И. Г., Евдокимов А. Ю., Джамалов С. З.// Нагаро- и лакообразование в моторных маслах. — М.: //Нефть и газ, 2018. — 248 с.
14. Денисов Е. Т., Мицкевич Н. И., Агабеков В. Е./ Механизм окисления кислородсодержащих соединений. — Минск:// Наука и техника, 1975. — 335 с.;Черножуков Н. И. Технология нефти и газа. /Часть II. Переработка нефти. — М.: Химия, 1966 (главы по окислению).
15. Семёнов Н. Н. Цепные реакции. — Л.: Госхимиздат, 1934 (переизд. 1986);Харахонов В. В., Денисов Е. Т. / Кинетика жидкофазного окисления углеводородов смазочных масел // Нефтехимия. — 1990. — Т. 30, № 6. — С. 723–746.

16. Лашхи В. Л., Гуреев А. А./ Современные представления о механизме окисления моторных масел и действии антиоксидантов // Химия и технология топлив и масел. — 2023. — № 4. — С. 5–16.
17. Кондаков Л. А./ Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем / Л. А. Кондаков. — М.:// Машиностроение. — 216 с.
18. Резников В. Д. Моторные масла: правильный выбор для спецтехники / В. Д. Резников // Спецтехника. — 2001. — № 1. — С. 8–9.
19. Резников В. Д., Григорьев А. И. / Классификация и взаимозаменяемость отечественных и зарубежных моторных масел / В. Д. Резников, А. И. Григорьев. — М.:// УНИИ ТЭ Нефтехим. — 64 с. (Темат. обзор. Сер. «Переработка нефти»).
20. Григорьев М. А., Бунаков Б. М., Долецкий В. А./ Качество моторного масла и надёжность двигателей / М. А. Григорьев, Б. М. Бунаков, В. А. Долецкий. — М.:// Изд-во стандарта. — 238 с.
21. Арабян С. Г., Виппер А. Б., Холомонов И. А./ Масла и присадки для транспортных и комбайновых двигателей / С. Г. Арабян, А. Б. Виппер, И. А. Холомонов. — М. //Машиностроение. — 208 с.
22. Гущин В. А., Остриков В. В., Гущина А. И., Паутов В. В. Восстановление эксплуатационных свойств моторных масел. Теоретические предпосылки / В. А. Гущин, В. В. Остриков, А. И. Гущина, В. В. Паутов // Химия и технология топлив и масел. — № 1. — С. 24–25.
23. Черножуков Н. И., Крейн С. Э./ Окисляемость минеральных масел / Н. И. Черножуков, С. Э. Крейн. — М.-Л.://Госоптехиздат, 1995. — 372 с.
24. Черножуков Н. И., Крейн С. Э., Лосиков Б. В. и др. Химия минеральных масел / Н. И. Черножуков, С. Э. Крейн, Б. В. Лосиков. — М.: //Госоптехиздат, — 417 с.
25. Непогодьеv А. В. Механизм окисления масла в поршневых двигателях / А. В. Непогодьеv // Химия и технология топлив и масел. — № 4. — С. 34–38.
26. Оганесова Э. Ю., Бордубанова Е. Г., Попова З. В. и др./ Влияние условий жидкофазного высокотемпературного окисления гексадекана на механизм процесса // Нефтехимия. — 2004. — Т. 44, № 2. — С. 119–126.
27. Оганесова Э. Ю., Бакулин В. Н., Бордубанова Е. Г. и др. /Условия формирования и свойства целлюлярной структуры продуктов окисления гексадекана, изученные методом солублизации красителя // Нефтехимия. — 2005. — Т. 45, № 4. — С. 294–300.
28. Большаков Г. Ф. / Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г. Ф. Большаков. — Л.: Недра, -318 с.
29. Большаков Г. Ф. Физико-химические основы применения топлив и масел / Г. Ф. Большаков. —// Новосибирск: Наука, — 207 с.
30. Зуидема Г. Г. Эксплуатационные свойства смазочных масел / Г. Г. Зуидема. — М.: //Госоптехиздат, — 170 с.

31. Матвеевский Р. М., Буяновский И. А. и др./ Оценка энергии активации процессов химического модифицирования поверхности трения в условиях граничной смазки // Химия и технология топлив и масел. — № 3. — С. 50–52.
32. Пинчук Л. С., Неверов А. С., Гольдаде В. А. /О некоторых возможностях поляризации пар трения // Трение и износ. — Т. 1, № 6. — С. 1089–1092.
33. Шор Г. И., Благовидов Н. Ф./ Роль электрического потенциала твердой фазы при каталитическом старении масел в объёме и в тонком слое // Улучшение качества смазочных масел и присадок: труды ВНИИНП. — М.: Химия, — Вып. XIV. — С. 128–138.
34. Коваленко В. П. /Загрязнения и очистка нефтяных масел / В. П. Коваленко. — М.: Химия, — 320 с.
35. Соколов А. И. /Изменения качества масел и долговечность автомобильных двигателей / А. И. Соколов. //Томск: Изд-во Том. ун-та, 1976. — 120 с.
36. Венцель С. В. Смазка двигателей внутреннего сгорания / С. В. Венцель. — М.:/Машгиз, — 180 с.
37. Розенберг Ю. А./ Эксплуатационные свойства смазочных материалов и их оценка / Ю. А. Розенберг // Вестник машиностроения. — № 8. — С. 42–49.
38. Полунин В. Н., Павлихин С. Е., Дорфман В. П. и др./ Исследование эксплуатационных свойств автомобильных масел с присадками // Трение. Износ. Смазка (спец. вып.). — 2003. — Март. — 144 с.
39. Паренаго О. П., Кузьмина Г. Н., Бакунин В. Н. и др./ Проблемы ингибирования высокотемпературного окисления углеводородов // Нефтехимия. — Т. 35, № 3. — С. 219–227.
40. Матвеевский Р. М. /Температурная стойкость граничных смазочных слоёв и твёрдых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов / Р. М. Матвеевский. // М.: Наука, — 227 с.
41. Мышкин Н. К., Кончиц В. В. / К определению температурной стойкости граничных слоёв // Трение и износ. — Т. 11, № 4. — С. 725–728.
42. Матвеевский Р. М., Буяновский И. Я., Лазовская О. В. Противозадирная стойкость смазочных средств при трении в режиме граничной смазки / Р. М. Матвеевский, И. Я. Буяновский, О. В. Лазовская. // М. Наука, — 192 с.
43. Метод оценки термической стабильности смазочных масел / К. К. Папок; заявитель и патентообладатель К. К. Папок.
44. Колесников В. И., Савенкова М. А., Булгаревич С. Б. и др. /Исследование триботехнических характеристик пластичных железнодорожных смазок с неорганическими полимерными присадками // Трение и износ. — 2008 (29). — № 3. — С. 261–267.
45. Клейменов Б. В. Присадки к маслам / Б. В. Клейменов. — М.: Химия,

46. Заславский Ю. С., Заславский Р. Н. /Механизм действия противоизносных присадок к маслам / Ю. С. Заславский, Р. Н. Заславский.
47. Лашхи В. Л., Кулагин В. В., Виппер А. Б. /Противоизносные свойства моторных масел: методы и их оценка / В. Л. Лашхи, В. В. Кулагин, А. Б. Виппер. //М.: ЦНИИТнефтехим, С. 41–52.
48. Виноградова И. Э. Противоизносные присадки к маслам / И. Э. Виноградова. // М.: Химия.
49. Шабалин В. И., Герасимов А. С. /Факторы, определяющие ресурс моторных масел в эксплуатации // Автотранспортное предприятие. – 2022. – № 11. – С. 22–29.
50. Кутьков А. А., Марков В. А. /Влияние доливов и угара на фактический ресурс моторных масел // Транспорт на альтернативном топливе. – 2023. – № 4. – С. 51–57.
51. Wolak J., Krasodonski W., Zajac G. /The influence of operating conditions on the service life of engine oils in passenger cars // Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. – 2023. – Vol. 25, No. 2. – Art. 170123.
52. Лашхи В. Л., Шор Г. И., Богдасаров А. А. Температурные режимы и их влияние на окисление моторных масел // Мир нефтепродуктов. – 2021. – № 7–8. – С. 14–20.
53. Герасимов А. С., Шабалин В. И. /Загрязнение моторных масел в процессе эксплуатации и его влияние на ресурс // Вестник МАДИ. – 2024. – № 2. – С. 68–75.
54. Бекетов А. Р., Осипов А. В. /Контроль состояния моторных масел в эксплуатации как способ увеличения ресурса ДВС // Двигателестроение. – 2023. – № 3. – С. 34–40.
55. Schwartz S. E., Smolenski D. J., Cameron T. M. /Extending Engine Oil Life through the Development of Real-Time Oil Condition Monitoring Systems // SAE Technical Paper 2022-01-0325, 2022.
56. Денисов Е. Т., Денисова Т. Г. /Справочник по константам скорости и равновесия гомолитических жидкофазных реакций. //М.: Наука, 2020. — 512 с.
57. Maleville X., Faure D., Legros A. /Oxidation of Mineral Base Oils of Petroleum Origin: The Role of Hydroperoxides // Lubrication Science. — 1996. — Vol. 9, No. 1. — P. 3–26.
58. Лашхи В. Л., Чирва В. Ю. /ИК-спектроскопия в контроле окисления моторных масел // Химия и технология топлив и масел. — 2023. — № 5. — С. 22–28. DOI: 10.32935/0023-1169-2023-5-22-28.
59. Hsu S. M., Cummings A. L., Clark D. B. / Evaluation of Automotive Crankcase Lubricants by Differential Scanning Calorimetry // SAE Technical Paper 821252, 1982 (переизд. в сборниках 2021).
60. Гуреев А. А., Фукс И. Г. /Современные антиокислительные присадки и перспективы их развития // Мир нефтепродуктов. — 2024. — № 2. — С. 5–14.

61. Рудник Л. Р. /Присадки к смазочным материалам: свойства и применение. //Пер. с англ. — СПб.: Профессия, 2021. — 832 с.
62. Виппер А. Б., Балтенас В. М. /Функциональные присадки к моторным маслам: современное состояние и тенденции // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2023. — № 9. — С. 31–39.
63. Виппер А. Б., Балтенас В. М., Купреев В. Л. /Фенольные и аминные антиоксиданты в моторных маслах // Химия и технология топлив и масел. — 2021. — № 6. — С. 17–25.
64. Rasberger M. /Oxidative Degradation and Stabilisation of Mineral Oil Based Lubricants // Chemistry and Technology of Lubricants. 3rd ed. Springer, 2010. P. 125–162.
65. Кузьмина Г. Н., Нездоиминог А. В., Баранов А. В. /Композитные антиоксиданты на основе активного угля и фенольных соединений // Журнал прикладной химии. — 2024. — Т. 97, № 5. — С. 612–620.
66. Гуреев А. А., Лашхи В. Л. /Ограничения применения ВНТ в условиях эксплуатации с доливом отработанного масла // Мир нефтепродуктов. — 2023. — № 10. — С. 8–14.
67. Кузьмина Г. Н., Скрипченко А. В., Нездоиминог А. В. /Применение активированных углей для удаления продуктов окисления из моторных масел // Журнал прикладной химии. — 2023. — Т. 96, № 11. — С. 1543–1551.
68. Wang Y., Zhang L., Li Ch./ Synergistic effect of activated carbon and hindered phenol antioxidants on the oxidation stability of lubricating oils // Tribology International. — 2022. — Vol. 172. — Art. 107596.
69. Баранов А. В., Кузьмина Г. Н. /Композитные антиокислительные системы на основе активированного угля и 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенола для моторных масел // Химия и технология топлив и масел. — 2024. — № 4. — С. 38–45.



Отчет подоби

Метаданные

Название организации Satbayev University		Подразделение ИГИНГД		
Название Мотор майларын тұрақтандыру үшін белсендірілген көмір мен бутилгидрокситолуол (ВНТ) негізіндегі композициялық антиоксиданттың тиімділігін зерттеу				
Автор Жаксылыкова Ж.С.		Научный руководитель / Эксперт Галина Бойко		
Количество слов 12897	Количество символов 112974	Дата отчета 1/17/2026	Дата редактирования ---	Идентификатор документа 333126973

Объем найденных подоби

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

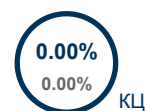
Длина фразы для коэффициента подоби 2



КП2

12897

Количество слов



КЦ

112974

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		2
Интервалы		0
Микропробелы		0
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		1

Источники

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подоби не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	7M07147_МП_МП-АДТ-22-2_Сарсентайұлы_A_14.02.24..docx 2/19/2024 Academy of Logistics and Transport (Academy of Logistics and Transport)	7 0.05 %

2	7M07147_МП_МП-АДТ-22-2_Сарсентайұлы_A_14.02.24..docx 2/19/2024 Academy of Logistics and Transport (Academy of Logistics and Transport)	6 0.05 %									
3	https://prepod24.ru/readyworks/231469/	6 0.05 %									
4	https://emirb.org/azastan-respublikasinin-bilim-jene-gilim.html?page=22	5 0.04 %									
База данных RefBooks (0.00 %)											
<table> <tr> <th>ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР</th><th>НАЗВАНИЕ</th><th>КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)</th></tr> </table>			ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)						
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)									
Домашняя база данных (0.00 %)											
<table> <tr> <th>ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР</th><th>НАЗВАНИЕ</th><th>КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)</th></tr> </table>			ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)						
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)									
Программа обмена базами данных (0.10 %)											
<table> <tr> <th>ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР</th><th>НАЗВАНИЕ</th><th>КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)</th></tr> <tr> <td>1</td><td>7M07147_МП_МП-АДТ-22-2_Сарсентайұлы_A_14.02.24..docx 2/19/2024 Academy of Logistics and Transport (Academy of Logistics and Transport)</td><td>13 (2) 0.10 %</td></tr> </table>			ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	1	7M07147_МП_МП-АДТ-22-2_Сарсентайұлы_A_14.02.24..docx 2/19/2024 Academy of Logistics and Transport (Academy of Logistics and Transport)	13 (2) 0.10 %			
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)									
1	7M07147_МП_МП-АДТ-22-2_Сарсентайұлы_A_14.02.24..docx 2/19/2024 Academy of Logistics and Transport (Academy of Logistics and Transport)	13 (2) 0.10 %									
Интернет (0.09 %)											
<table> <tr> <th>ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР</th><th>ИСТОЧНИК URL</th><th>КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)</th></tr> <tr> <td>2</td><td>https://prepod24.ru/readyworks/231469/</td><td>6 (1) 0.05 %</td></tr> <tr> <td>3</td><td>https://emirb.org/azastan-respublikasinin-bilim-jene-gilim.html?page=22</td><td>5 (1) 0.04 %</td></tr> </table>			ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	2	https://prepod24.ru/readyworks/231469/	6 (1) 0.05 %	3	https://emirb.org/azastan-respublikasinin-bilim-jene-gilim.html?page=22	5 (1) 0.04 %
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)									
2	https://prepod24.ru/readyworks/231469/	6 (1) 0.05 %									
3	https://emirb.org/azastan-respublikasinin-bilim-jene-gilim.html?page=22	5 (1) 0.04 %									

Исключенные фрагменты		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІР

магистрлік диссертацияға
Жаксылыкова Жания Сунгатовна

7M07109 – Көмірсутек қосылыстарының химиялық инженериясы

Жаксылыкова Ж.С.-ның магистрлік диссертациясы көмірсутек қосылыстарының химиялық инженериясы саласындағы өзекті мәселеге, атап айтқанда мотор майларының термототығу тұрақтылығын арттыруға арналған. Жұмыс қолданбалы сипатқа ие және қазіргі қозғалтқыштарды пайдалану жағдайында майлау материалдарының қызмет ету мерзімін ұлғайту мүмкіндігін зерттеуге бағытталған.

Жұмыста мотор майларының тотығу механизмдері, антиоксиданттық қоспалардың рөлі және майлау жүйелерін тұрақтандыру үшін адсорбциялық материалдарды қолдану мүмкіндіктері бойынша негізгі мәліметтер қарастырылған. Ұсынылған материалдар зерттеу тақырыбы бойынша қазіргі жағдай туралы жалпы түсінік алуға мүмкіндік береді.

Теориялық бөлім мотор майларының тотығу процестерін тежеуге арналған әдеби дереккөздерді талдауды қамтиды. Композициялық антиоксиданттың құрамдас бөліктері ретінде белсендірілген көмір мен бутилгидрокситолуолды қолдану негізделген.

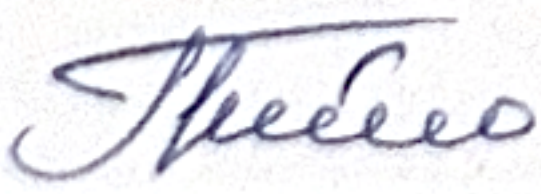
Эксперименттік бөлім стандартты физика-химиялық зерттеу әдістерін қолдану арқылы орындалған. Жұмыста жеделдетілген термототығу, титриметриялық талдау, инфрақызыл спектроскопия және мотор майларының тұтқырлық сипаттамаларын анықтау әдістері қолданылған. бутилгидрокситолуолды белсендірілген көмір бетіне иммобилизациялау арқылы, алынған антиоксиданттың май қасиеттеріне әсері бағаланған.

Диссертациялық жұмысты орындау барысында Жаксылыкова Ж.С. ғылыми әдебиеттермен жұмыс істеу, эксперименттік зерттеулер жүргізу және алынған нәтижелерді талдау дағдыларын көрсетті.

Жалпы алғанда, Жаксылыкова Ж.С.-ның магистрлік диссертациясы бітіру біліктілік жұмыстарына қойылатын талаптарға сәйкес келеді, оң бағаға лайық және 7M07109 – «Көмірсутек қосылыстарының химиялық инженериясы» білім беру бағдарламасы бойынша қорғауға ұсынылады.

Ғылыми жетекші:

химия ғылымдарының докторы, профессор

 **Бойко Г.И.**
«20» 01 2026 ж.

«Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ»
КОММЕРЦИЯЛЫҚ ЕМЕС АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ

РЕЦЕНЗИЯ

магистрлік диссертация

Жаксылыкова Жания Сунгатовна

7M07109 – «Көмірсутек қосылыстарының химиялық инженериясы»

Тақырыбы: «Белсендірілген көмір мен бутилгидрокситолуол (ВНТ) негізіндегі композициялық антиоксиданттың мотор майларын тұрақтандырудағы тиімділігін зерттеу»

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 20 презентациялық слайдтан, 5 кестеден және 13 суреттен тұрады;
б) түсіндірме жазба 68 бет көлемінде рәсімделген.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Жаксылыкова Жанияның магистрлік диссертациясының мақсаты – белсендірілген көмір мен бутилгидрокситолуол (ВНТ) негізіндегі композициялық антиоксиданттың мотор майларының термототығу тұрақтылығын арттырудағы тиімділігін зерттеу.

Әдоби шолу бөлімі тақырыпқа сәйкес жүйелі құрастырылған, негізгі теориялық аспектілер жеткілікті деңгейде қамтылған. Эксперименттік бөлімде қолданылған әдістер заманауи талаптарға сай және алынған нәтижелерді бағалау үшін жеткілікті деп есептеледі.

Алайда, жұмыста зерттеу нәтижелерін өнеркәсіптік қолдану мүмкіндіктері мен экономикалық тиімділігі туралы талдау толық ашылмаған. Сонымен қатар, композициялық антиоксиданттың ұзақ мерзімді тұрақтылығы мен басқа қоспалармен өзара әрекеттесуін қосымша зерттеу қажет.

ЖҰМЫСТЫ БАҒАЛАУ

Жұмыстың мазмұны қойылған мақсат пен міндеттерге сәйкес келеді. Материал жүйелі әрі түсінікті түрде баяндалған. Алынған қорытындылар жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелеріне негізделген.

Жаксылыкова Жанияның магистрлік диссертациясы қойылатын талаптарға сәйкес келеді және оң бағаға лайық деп есептеледі.

Рецензент

Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ

ОЗТКЖПХТ кафедрасының

Х.Ғ.Қ. қауымд. профессор

Рахметуллаева Р.К.

2026ж.

Ф.КазНТУ 706-17. Рецензия



ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ

Журналды есепке қою туралы куәлік №KZ13VPY00060905 09.12.2022 ж.

ISSN: 2959-1279



Qazaq Journal of Young Scientist

СЕРТИФИКАТ

№ S-000547/2025

Жаксылыкова Ж.С.

подтверждает, что статья была опубликована в международном
мультидисциплинарном научном журнале

“Qazaq Journal of Young Scientist” ***Vol. 3, No. 12, 2025***

Научная статья:

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИТНОГО
АНТИОКСИДАНТА НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ И ВНТ ДЛЯ
СТАБИЛИЗАЦИИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Ссылка на номер журнала:

<https://qazaqjournal.kz/qjys/issue/view/26>



г. Астана, 2025 г.

СЕРТИФИКАТ участника

CDXXXIV Международной научно-практической конференции
«Молодой исследователь: вызовы и перспективы»

Настоящий сертификат подтверждает участие в конференции
и публикацию статьи в электронном сборнике трудов

Жаксылыкова Жания Сунгатовна

«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИТНОГО
АНТИОКСИДАНТА НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ И
БУТИЛГИДРОКСИТОЛУОЛА (ВНТ) ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ
МОТОРНЫХ МАСЕЛ»

Генеральный директор
Издательство «Интернаука»


И.С. Степанов



15.12.2025
Москва

УДК 665.75:541.127:620.193

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИТНОГО АНТИОКСИДАНТА НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ И ВНТ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Жаксылыкова Ж.С.

*Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан*

В работе рассмотрен композитный антиоксидантный материал, представляющий собой бутилгидрокситолуол (ВНТ), закреплённый на поверхности активированного угля. Предложенный подход направлен на повышение термоокислительной стабильности моторных масел за счёт сочетания ингибирующих свойств ВНТ и сорбционной способности углеродного носителя, удерживающего полые продукты окисления. Экспериментальные данные показывают, что введение композита существенно замедляет накопление карбонильных соединений и рост кислотного числа, а также способствует сохранению стабильных вязкостных характеристик масла при термоокислительном старении. Полученные результаты подтверждают перспективность использования композита ВНТ-активированный уголь для повышения долговечности и эффективности смазочных материалов.

Ключевые слова: моторные масла, термоокислительная стабильность, антиоксиданты, бутилгидрокситолуол (ВНТ), активированный уголь, композитные системы, продукты окисления, ингибирование окисления.

Моторные масла в процессе эксплуатации подвержены интенсивному термоокислительному воздействию, приводящему к накоплению кислотных и карбонильных соединений, изменению вязкости и снижению защитных свойств смазочного материала. Со временем это вызывает ухудшение состояния масла, снижает эффективность работы присадочного пакета и способствует ускоренному износу деталей двигателя. Для замедления этих процессов традиционно используют антиоксиданты, однако одиночные органические ингибиторы постепенно расходуются и нередко не обеспечивают стабильную защиту на протяжении длительной работы масла, особенно при повышенных температурах.

Одним из перспективных подходов является применение композитных систем, объединяющих активный антиоксидант с материалом, способным

связывать образующиеся в процессе окисления масла полярные продукты. В данном исследовании рассматривается композит, состоящий из ВНТ, закреплённого на поверхности активированного угля. Пористая структура углеродного материала способствует удержанию образующихся кислородсодержащих соединений, которые обычно ускоряют развитие окисления, а также позволяет более равномерно распределить антиоксидант и замедлить его расход.

По предварительным данным, введение композита в моторное масло способствует снижению скорости образования продуктов окисления при термоокислительном старении. По данным ИК-спектроскопии, содержание карбонильных соединений в присутствии композита увеличивается существенно медленнее, чем в контрольных образцах. Также отмечено более плавное изменение кислотного числа, что указывает на подавление накопления органических кислот. Вязкостные показатели масла с добавлением композита сохраняются на более стабильном уровне, что может свидетельствовать о снижении образования высокомолекулярных структур, приводящих к загущению масла.

Полученные результаты позволяют рассматривать композит на основе активированного угля и ВНТ как эффективное средство для улучшения устойчивости моторных масел к термоокислительной деградации. Направления дальнейших исследований включают оптимизацию состава композита, сравнение различных типов активированного угля и оценку совместимости материала с современными присадочными пакетами.

Список использованной литературы

1. Sazeli S. et al. Semicarbazide and thiosemicarbazide containing butylated hydroxytoluene moiety: new potential antioxidant additives for synthetic lubricating oil // RSC Advances, 2021, 11(13), 7138–7145.
2. Nath A.R., Yehye W.A., Zulkifli N.W.M., Johan M.R. Ester of thiolated butylated hydroxytoluene: Potential antioxidant for synthetic lubricant oil // Thermochimica Acta, 2018, 670, 7–12.