ОӘК 662.756:665.3; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-3.18
https://orcid.org/0000-0003-2236-0333
https://orcid.org/0009-0007-1330-9970
https://orcid.org/0000-0001-5593-5610
https://orcid.org/0009-0005-5606-4235

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӨСІМДІК МАЙЛАРЫНАН БИОДИЗЕЛЬ АЛУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

А.Н. МУКАМБЕТКАЛИЕВА[1],
докторант,
ainash_m_89@mail.ru

В.И. КЕНЖЕСОВА[2],
техника ғылымдарының магистрі,
venera_131088@mail.ru

Г.Ж. ЖУМАГАЛИЕВА[2],
техника ғылымдарының магистрі,
zhumagaliyevagulmira@mail.ru

[1]САФИ ӨТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІ
Қазақстан Республикасы, 060027, Атырау қ., М. Баймуханов, 45а

[2]БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ИННОВАЦИЯЛЫҚ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
Қазақстан Республикасы, 090001, Орал қ., Ықсанов, 44/1

Мақалада пайдаланылған өсімдік майларынан биодизель алу технологиясы және алынған биоотынның негізгі физика-химиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері қарастырылған. Қазіргі таңда энергия ресурстарының сарқылуы мен қоршаған ортаның ластануы балама-лы және экологиялық қауіпсіз отын түрлерін дамыту қажеттілігін арттыруда. Осыған бай-ланысты пайдаланылған өсімдік майларын қайта өңдеу арқылы биодизель өндіру маңызды ғылыми және практикалық бағыттардың бірі болып табылады.

Зерттеу барысында қоғамдық тамақтану орындарынан жиналған пайдаланылған өсімдік майлары бастапқы шикізат ретінде қолданылды. Майлар алдын ала механикалық қоспалар-дан тазартылып, кептіру кезеңінен өткізілді. Биодизель трансэтерификация әдісі арқылы этил спирті мен калий гидроксиді катализаторы қатысында алынды. Алынған өнімнің тығы-здығы, кинематикалық тұтқырлығы, тұтану температурасы, қату температурасы, күкірт мөлшері және күлділігі зертханалық әдістермен анықталды. Сонымен қатар биодизельдің дизель отынымен әртүрлі қоспалары зерттеліп, олардың пайдалану қасиеттері бағаланды.

Зерттеу нәтижелері алынған биодизельдің негізгі көрсеткіштері халықаралық стан-дарт талаптарына сәйкес келетінін көрсетті. Биодизель құрамындағы күкірт мөлшерінің

төмен болуы атмосфераға зиянды шығарындыларды азайтып, оның экологиялық қауіпсіздігін арттыратыны анықталды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *биодизель, пайдаланылған өсімдік майлары, трансэтерификация, биотын, тығыздық, тұтқырлық, тұтану температурасы.*

ПОЛУЧЕНИЕ БИОДИЗЕЛЯ ИЗ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

А.Н. МУКАМБЕТКАЛИЕВА[1], докторант, ainash_m_89@mail.ru
В.И. КЕНЖЕСОВА[2], *магистр технических наук, venera_131088@mail.ru*
Г.Ж. ЖУМАГАЛИЕВА[2], магистр технических наук, *zhumagaliyevagulmira@mail.ru*

[1]АТЫРАУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМЕНИ С.УТЕБАЕВА
Республика Казахстан, 060027, г. Атырау, М. Баймуханов, 45а

[2]ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ИННОВАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Республика Казахстан, 090001 г. Уральск, Ихсанова, 44/1

В статье рассмотрена технология получения биодизеля из использованных растительных масел и исследованы основные физико-химические свойства полученного топлива. В современных условиях истощения энергетических ресурсов и усиления экологических проблем возрастает необходимость разработки альтернативных и экологически безопасных видов топлива. Одним из перспективных направлений является переработка использованных растительных масел с целью получения биодизельного топлива.

В ходе исследования в качестве сырья использовались использованные растительные масла, собранные на предприятиях общественного питания. Перед проведением процесса сырье очищалось от механических примесей и подвергалось сушке. Биодизель получали методом трансэтерификации с использованием этилового спирта и гидроксида калия в качестве катализатора. Были определены показатели плотности, кинематической вязкости, температуры вспышки, температуры застывания, содержания серы и зольности. Также исследованы смеси биодизеля с дизельным топливом различного состава и проведена оценка их эксплуатационных свойств.

Полученные результаты показали соответствие основных характеристик биодизеля требованиям международных стандартов. Установлено, что низкое содержание серы способствует снижению вредных выбросов и повышает экологическую безопасность топлива.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *биодизель, использованные растительные масла, трансэтерификация, биотопливо, плотность, вязкость, температура вспышки.*

PRODUCTION OF BIODIESEL FROM USED VEGETABLE OILS AND STUDY OF ITS PROPERTIES

A.N. MUKAMBETKALIYEVA[1], Doctoral Student, *ainash_m_89@mail.ru*
V.I. KENZHESOVA[2], Master of Technical Sciences, *venera_131088@mail.ru*
G.Zh. ZHUMAGALIYEVA[2], Master of Technical Sciences, *zhumagaliyevagulmira@mail.ru*

[1]S. UTEBAYEV ATYRAU UNIVERSITY OF OIL AND GAS
Republic of Kazakhstan, 060027, Atyrau, M. Baimukhanov str., 45 a

[2]WEST KAZAKHSTAN INNOVATIVE – TECHNOLOGICAL UNIVERSITY
Republic of Kazakhstan, 090001, Uralsk, Ikhsanova str., 44/1

The article discusses the technology of biodiesel production from used vegetable oils and presents the results of studying the main physicochemical properties of the obtained fuel. Under modern conditions of energy resource depletion and increasing environmental pollution, the development of alternative and environmentally safe fuels has become highly important. One of the promising approaches is the recycling of used vegetable oils for biodiesel production. In the study, used vegetable oils collected from public catering facilities were used as raw materials.

Prior to processing, the oils were purified from mechanical impurities and dried. Biodiesel was produced by the transesterification method using ethyl alcohol and potassium hydroxide as a catalyst. The density, kinematic viscosity, flash point, pour point, sulfur content, and ash content of the obtained biodiesel were determined by laboratory methods. In addition, biodiesel blends with conventional diesel fuel of different compositions were studied and their performance characteristics were evaluated.

The results demonstrated that the main physicochemical properties of biodiesel meet international standards. It was established that the low sulfur content of biodiesel reduces harmful emissions into the atmosphere and improves the environmental safety of the fuel.

KEYWORDS: *biodiesel, used vegetable oils, transesterification, biofuel, density, viscosity, flash point.*

Кіріспе. Қазіргі таңда әлемде энергия ресурстарының сарқылуы және қоршаған ортаның ластануы баламалы отын түрлерін іздеуді талап ететін маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Қазбалы отын түрлерін кең көлемде пайдалану атмосфераға зиянды газдардың бөлінуін арттырып, экологиялық жағдайдың нашарлауына әкелуде. Осыған байланысты жаңартылатын энергия көздерін пайдалану, соның ішінде биодизель өндірісін дамыту ерекше өзектілікке ие.

Биодизель – өсімдік және жануар майлары негізінде алынатын сұйық биоотын түрі болып табылады және ол дизель қозғалтқыштарында дәстүрлі мұнай отынына балама ретінде қолданылуы мүмкін. Әсіресе пайдаланылған өсімдік майларын қайта өңдеу арқылы биодизель алу өндірістік қалдықтарды тиімді пайдалануға және қоршаған ортаның ластануын азайтуға мүмкіндік береді [1, 4]. Пайдаланылған өсімдік майларын кәріз жүйесіне төгу экологиялық мәселелер туындататындықтан, оларды қайта өңдеу арқылы пайдалы өнім алу қазіргі кезде маңызды ғылыми бағыттардың бірі болып отыр [2, 7].

Зерттеудің мақсаты – пайдаланылған өсімдік майларын биодизель компоненті ретінде қолдану мүмкіндігін зерттеу, алынған биодизель отынының физика-химиялық қасиеттерін анықтау және оны дәстүрлі дизель отынымен салыстыру болып табылады.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы пайдаланылған өсімдік майларынан алынған биодизельдің физика-химиялық қасиеттерін кешенді бағалауымен және оның дизель отынымен әртүрлі қатынастағы қоспаларының пайдалану көрсеткіштерін салыстырмалы талдауымен сипатталады. Сонымен қатар пайдаланылған әртүрлі өсімдік майлары негізінде алынған биодизель үлгілерінің қасиеттеріне салыстырмалы зерттеу жүргізілді [3, 6].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу жұмысының тәжірибелік бөлігінде бастапқы шикізат ретінде қоғамдық тамақтану орындарынан жиналған пайдаланылған өсімдік майлары қолданылды. Жиналған майлар алдын ала механикалық қоспалардан тазарту мақсатында сүзгіден өткізілді және құрамындағы артық ылғалды жою үшін белгілі бір температурада

қыздырылып кептірілді. Шикізатты алдын ала дайындау биодизель алу процесінің тиімділігін арттыруға және реакция барысында жанама өнімдердің түзілуін азайтуға мүмкіндік береді.

Биодизель өндіру процесі триглицеридтердің төмен молекулалы спирттермен әрекеттесуі нәтижесінде жүзеге асатын переэтерификация (трансэтерификация) әдісі негізінде жүргізілді [3, 5]. Реакцияны жүргізу үшін этил спирті реакциялық орта ретінде пайдаланылды, ал сілтілік катализатор ретінде калий гидроксиді (KOH) қолданылды. Катализатор белгілі мөлшердегі спиртте ерітіліп, біртекті ерітінді алынғаннан кейін қыздырылған өсімдік майына қосылды.

Тәжірибе барысында өсімдік майы мен спирт қоспасы 55–65 °C температура аралығында тұрақты түрде араластырылып отырды. Араластыру процесі белгілі уақыт аралығында жүргізіліп, реакция толық аяқталғанға дейін жалғастырылды. Реакция аяқталғаннан кейін алынған өнім арнайы бөлгіш ыдысқа құйылып, белгілі уақыт тұндырылды. Нәтижесінде төменгі қабатта глицерин, ал жоғарғы қабатта биодизель отыны бөлініп алынды.

Алынған биодизель отынының құрамындағы қалдық катализаторлар мен спирттерді жою мақсатында өнім бірнеше рет жылы сумен жуылды. Жуылған биодизель кейіннен кептіру кезеңінен өткізіліп, құрамындағы ылғал толық жойылғанға дейін қыздырылды. Осыдан кейін алынған дайын өнім зертханалық талдаулар жүргізуге пайдаланылды.

Алынған биодизельдің сапалық көрсеткіштерін анықтау үшін стандартты зертханалық әдістер қолданылды. Биодизельдің физика-химиялық көрсеткіштері халықаралық және мемлекеттік стандарттарға сәйкес анықталды. Тығыздық көрсеткіші ASTM D4052 әдісі бойынша, кинематикалық тұтқырлық ASTM D445 стандарты бойынша, тұтану температурасы ASTM D93 әдісімен, қату температурасы ASTM D97 стандарты бойынша анықталды. Күкірт мөлшері ASTM D4294 әдісімен, ал күлділік көрсеткіші ASTM D482 стандарты бойынша зерттелді. Биодизельдің тығыздығы ареометр көмегімен өлшеніп, мемлекеттік стандарт талаптарына сәйкес анықталды. Кинематикалық тұтқырлық көрсеткіші капиллярлы вискозиметр арқылы анықталды. Сонымен қатар тұтану температурасы, қату температурасы, лайлану температурасы, күлділік, күкірт мөлшері сияқты негізгі физика-химиялық көрсеткіштер тиісті стандарттық әдістемелерге сәйкес зерттелді [7, 8].

Зерттеу барысында алынған биодизель үлгілері дәстүрлі дизель отынымен әртүрлі қатынаста араластырылып, олардың қасиеттерінің өзгеруі зерттелді. Қоспалар құрамында биодизельдің үлесі әртүрлі пайыздық мөлшерде дайындалды. Бұл тәсіл алынған биоотынның қозғалтқыштарда қолдануға жарамдылығын бағалауға мүмкіндік берді.

Эксперименттік нәтижелерді өңдеу кезінде алынған өлшеу нәтижелері бірнеше рет қайталанып, олардың орташа мәндері есептелді. Алынған деректер кестелік түрде рәсімделіп, салыстырмалы талдау жүргізілді. Сонымен қатар биодизельдің негізгі қасиеттерін дәстүрлі дизель отыны көрсеткіштерімен салыстыру арқылы олардың айырмашылықтары анықталды.

Жалпы алғанда, қолданылған әдістер кешені пайдаланылған өсімдік майларынан алынған биодизель отынының физика-химиялық қасиеттерін жан-жақты бағалауға және оның өндірістік қолдану мүмкіндігін анықтауға мүмкіндік берді [9, 10].

Нәтижелер және талқылау

Зерттеу нәтижесінде пайдаланылған өсімдік майларынан алынған биодизельдің негізгі физика-химиялық қасиеттері анықталып, дәстүрлі дизель отыны көрсеткіштерімен салыстырылды. Алынған мәліметтер биодизельдің энергетикалық және пайдалану қасиеттерінің қолданыстағы стандарт талаптарына сәйкес келетінін көрсетті. Алынған биодизельдің негізгі физика-химиялық көрсеткіштері мен дизель отынының қасиеттерін салыстыру нәтижелері *Кесте 1*-де көрсетілген.

Кесте 1 – **Биодизель және дизель отынының негізгі физика-химиялық көрсеткіштері**

Көрсеткіш	Дизель отыны	Биодизель	B20 (20% биодизель қоспасы)
Тығыздық, кг/м^3	840	875	855
Кинематикалық тұтқырлық, мм^2/с	3,5	4,8	4,1
Тұтану температурасы, °С	75	135	98
Қату температурасы, °С	–15	–8	–12
Күкірт мөлшері, %	0,18	0,04	0,10
Күлділік, %	0,01	0,02	0,015

Кесте 1 нәтижелері бойынша биодизельдің тығыздығы дизель отынына қарағанда жоғары екені байқалады. Бұл құбылыс өсімдік майларынан алынған метил эфирлерінің молекулалық массасының жоғары болуымен түсіндіріледі. Сонымен қатар тұтқырлық көрсеткішінің жоғары болуы жану процесінің тұрақтылығына оң әсер етеді.

Әртүрлі пайдаланылған өсімдік майларынан алынған биодизельдің қасиеттерін салыстыру нәтижелері *Кесте 2*-де берілген.

Кесте 2 – **Әртүрлі пайдаланылған өсімдік майларынан алынған биодизель қасиеттері**

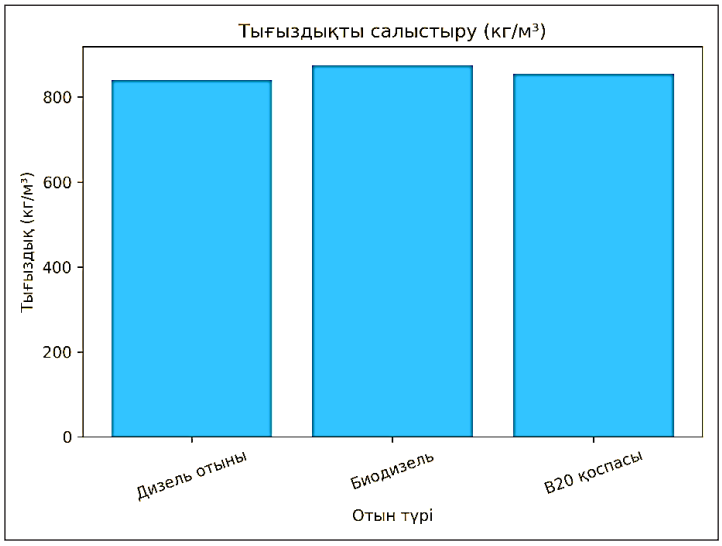
Май түрі	**Тығыздық, кг/м^3**	**Тұтқырлық, мм^2/с**	**Тұтану температурасы, °С**
Күнбағыс майы	870	4,6	132
Рапс майы	876	4,9	138
Зәйтүн майы	878	5,0	140
Қыша майы	872	4,7	135

Бұл нәтижелер әртүрлі өсімдік майларының құрамдық ерекшеліктеріне байланысты олардың физика-химиялық қасиеттерінде айырмашылықтар болатынын көрсетті. Зәйтүн майынан алынған биодизельдің тұтану температурасы ең жоғары болғаны анықталды, бұл оның қауіпсіздік қасиеттерінің жоғары екенін көрсетеді.

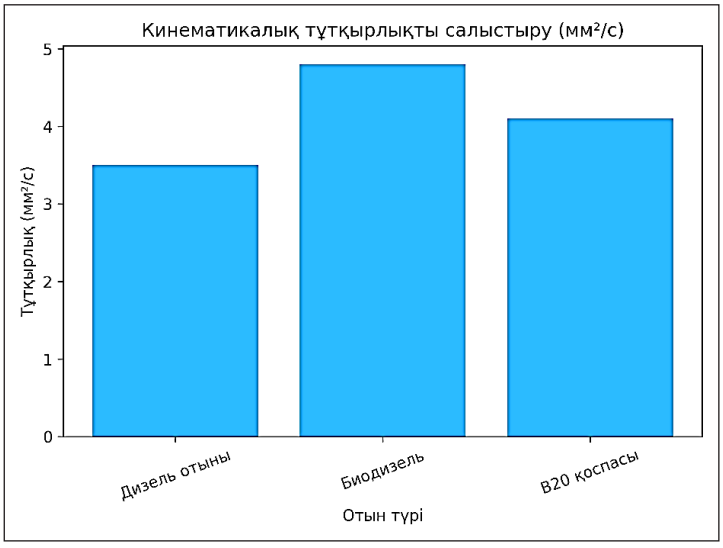
Биодизель, дизель отыны және B20 қоспасының тығыздық көрсеткіштерінің салыстырмалы өзгерісі *Сурет 1*-де көрсетілген.

Биодизельдің тығыздығының жоғары болуы оның құрамындағы май қышқылдарының этил эфирлерінің молекулалық массасының жоғары болуымен түсіндіріледі. Биодизель үлесінің артуы қоспаның энергия сыйымдылығына және жану процесінің тұрақтылығына әсер етеді. B20 қоспасының көрсеткіштері дизель отынына жақын болғандықтан, мұндай қоспаларды қозғалтқыштарға елеулі техникалық өзгерістер енгізбей қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар тығыздықтың шамалы жоғарылауы отын бүрку жүйесінің жұмыс ерекшеліктеріне ықпал етуі мүмкін.

Биодизель мен дизель отынының кинематикалық тұтқырлық көрсеткіштерінің өзгерісі *Сурет 2*-де берілген.



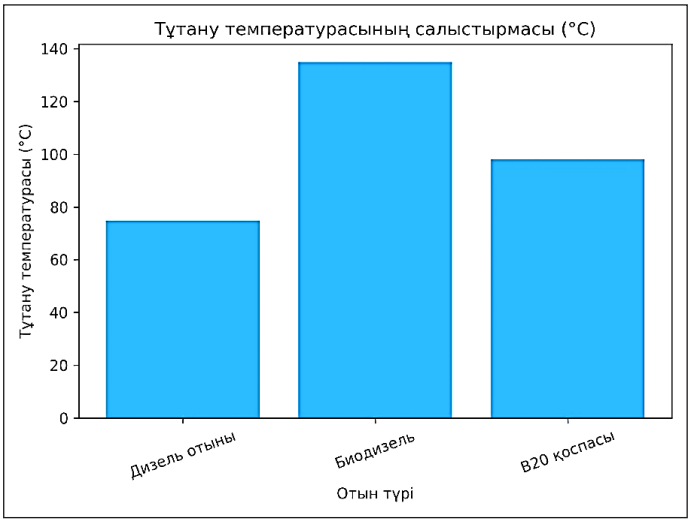
Сурет 1 – **Биодизель және дизель отынының тығыздығын салыстыру графигі**



Сурет 2 – **Кинематикалық тұтқырлықтың өзгеру графигі**

Биодизель тұтқырлығының жоғары болуы оның құрамындағы оттекті органикалық қосылыстардың болуына байланысты. Тұтқырлықтың артуы отынның майлау қасиеттерін жақсартады, алайда шамадан тыс жоғары мәндер отын бүрку процесінің тиімділігін төмендетуі мүмкін. Зерттеу нәтижелері бойынша B20 қоспасының тұтқырлық көрсеткіштері стандарт талаптарына сәйкес келетіні анықталды, бұл оның дизель қозғалтқыштарында қолдануға жарамды екенін көрсетеді.

Биодизель және дизель отынының тұтану температураларының салыстырмалы нәтижелері *Сурет 3*-те көрсетілген.



Сурет 3 – **Тұтану температурасының салыстырмалы графигі**

Биодизельдің тұтану температурасының жоғары болуы оның қауіпсіздік қасиеттерін арттырады және сақтау мен тасымалдау кезінде өрт қауіптілігін төмендетеді. Бұл көрсеткіш биодизель құрамында жеңіл ұшқыш көмірсутектер мөлшерінің аз болуымен байланысты. Сонымен қатар жоғары тұтану температурасы биоотынның экологиялық және пайдалану артықшылықтарының бірі болып табылады.

Алынған нәтижелер пайдаланылған өсімдік майларынан алынған биодизельдің физика-химиялық көрсеткіштері халықаралық стандарттарға сәйкес келетінін көрсетті [11, 12]. Алынған нәтижелер басқа зерттеушілердің биодизель бойынша жүргізген зерттеулерімен сәйкес келеді. Әдеби деректермен салыстырғанда алынған биодизельдің тұтқырлық және тұтану температурасы көрсеткіштері тұрақты мәндер көрсетті, ал күкірт мөлшерінің төмен болуы оның экологиялық артықшылығын дәлелдейді. Сонымен қатар B20 қоспасының қасиеттері дәстүрлі дизель отынына жақын болғандықтан, оны дизель қозғалтқыштарында қосымша техникалық өзгерістерсіз қолдану мүмкіндігі анықталды. Биодизель құрамындағы күкірт мөлшерінің төмен болуы оның экологиялық қауіпсіздігін арттырады және атмосфераға зиянды газдардың бөлінуін азайтады [13].

Зерттеу барысында алынған нәтижелер басқа зерттеушілердің мәліметтерімен сәйкес келеді, бұл пайдаланылған өсімдік майларын қайта өңдеу арқылы алынған биодизельдің энергетикалық тұрғыдан тиімді және экологиялық жағынан қауіпсіз отын екенін дәлелдейді. Сонымен қатар биодизельдің дизель отынымен белгілі қатынаста араластырылуы оның пайдалану қасиеттерін жақсартып, қозғалтқыштарда қолдануға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер пайдаланылған өсімдік майларын қайта өңдеу арқылы алынатын биодизельдің болашақта баламалы энергия көзі ретінде кеңінен қолданылу мүмкіндігі жоғары екенін көрсетті [14, 15].

Авторлық үлес: А.Н. Мукамбеткалиева зерттеу тұжырымдамасын әзірледі, тәжірибелік жұмыстар жүргізді, биодизель алу технологиясын зерттеп, нәтижелерді

өңдеді. Сонымен қатар пайдаланылған өсімдік майларын қайта өңдеу арқылы биодизель алу және оның физика-химиялық қасиеттерін анықтау бойынша зертханалық зерттеулер жүргізіліп, өндіріске енгізу актісі жасалды. В.И. Кенжесова зертханалық тәжірибелерді ұйымдастыруға, физика-химиялық көрсеткіштерді анықтауға және нәтижелерді талдауға қатысты. Г.Ж. Жумагалиева эксперименттік мәліметтерді өңдеуге, салыстырмалы талдау жүргізуге және мақаланы рәсімдеуге қатысты.

Қорытынды

1. Зерттеу нәтижелері пайдаланылған өсімдік майларын биодизель өндіруде тиімді және қолжетімді шикізат ретінде қолдануға болатынын көрсетті.

2. Трансэтерификация әдісі арқылы алынған биодизельдің негізгі физика-химиялық қасиеттері анықталып, олардың дәстүрлі дизель отыны көрсеткіштерімен салыстырмалы талдауы жүргізілді.

3. Алынған биодизельдің тығыздығы, кинематикалық тұтқырлығы, тұтану температурасы және күкірт мөлшері бойынша көрсеткіштері қолданыстағы стандарт талаптарына сәйкес келетіні дәлелденді.

4. Пайдаланылған өсімдік майларын алдын ала тазарту және кептіру кезеңдерінің биодизель алу тиімділігіне елеулі әсер ететіні және өнім сапасын арттыратыны анықталды.

5. Биодизельдің төмен күкірт мөлшері оның экологиялық қауіпсіздігін арттырып, атмосфераға бөлінетін зиянды заттардың көлемін азайтуға мүмкіндік беретіні көрсетілді.

6. Биодизельді дизель отынымен араластыру арқылы алынған қоспалардың қасиеттері зерттеліп, олардың қозғалтқыштарда қолдануға жарамдылығы дәлелденді.

7. Зерттеу нәтижелері пайдаланылған өсімдік майлары негізінде алынған биодизельдің болашақта энергетикалық және экологиялық тұрғыдан тиімді баламалы отын ретінде кеңінен қолданылу мүмкіндігі жоғары екенін көрсетті.

ӘДЕБИЕТ

1. Knothe G., Van Gerpen J., Krahl J. The Biodiesel Handbook. –2nd ed. – Illinois: AOCS Press, 2018.–496 p.
2. Atabani A.E., Silitonga A.S., Ong H.C., Mahlia T.M.I., Masjuki H.H., Badruddin I.A. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2019. – Vol. 16(4). – P. 2070–2093. – DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.036.
3. Meher L.C., Vidya Sagar D., Naik S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – Vol. 10(3). – P. 248–268. – DOI: 10.1016/j.rser.2004.09.002.
4. Demirbas A. Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines. – London: Springer, 2019. – 208 p. – DOI: 10.1007/978-1-4471-2401-8.
5. Agarwal A.K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines // Progress in Energy and Combustion Science. – 2021. – Vol. 33(3). – P. 233–271. – DOI: 10.1016/j.pecs.2006.08.003.
6. Kalam M.A., Masjuki H.H. Testing palm biodiesel and NPAA additives to control NOx and CO emissions in diesel engines // Energy Conversion and Management. – 2020. – Vol. 52(7). – P. 2762–2768. – DOI: 10.1016/j.enconman.2011.02.033.

7. Singh S.P., Singh D. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2019. – Vol. 14(1). – P. 200–216. – DOI: 10.1016/j.rser.2009.07.017.
8. Hoekman S.K., Broch A., Robbins C., Ceniceros E., Natarajan M. Review of biodiesel composition, properties, and specifications // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. – Vol. 16(1). – P. 143–169. – DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.143.
9. Shahid E.M., Jamal Y. Production of biodiesel: A technical review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023. – Vol. 15(9). – P. 4732–4745. – DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.079.
10. Hasan M.M., Rahman M.M. Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review // Fuel Processing Technology. – 2021. – Vol. 142. – P. 436–447. – DOI: 10.1016/j.fuproc.2014.01.035.
11. Demenin E.S., Nikolaev A.K. Investigation of rheological properties of high-pour-point oils using depressant additives // International Research Journal. – 2020. – No. 6(96). – Part 2. – P. 45–49. – DOI: 10.23670/IRJ.2020.96.6.046.
12. Li B., Guo Z. Research Status and Outlook of Mechanism, Characterization, Performance Evaluation, and Type of Pour Point Depressants in Waxy Crude Oil: A Review // Energy & Fuels. – 2024. – Vol. 38(5). – P. 4123–4145. – DOI: 10.1021/acs.energyfuels.3c04218.
13. Al-Sabagh A.M., Betiha M.A., Osman D.I. Effect of polymeric pour point depressants on the rheological properties of waxy crude oil // Egyptian Journal of Petroleum. – 2020. – Vol. 29(1). – P. 1–8. – DOI: 10.1016/j.ejpe.2019.11.001.
14. Nadirov K.S., Zhantasov M.K., Marenov B.T., Bimbetova G.Zh., Orynbasarov A.K., Shukhanova Zh.K., Otarbaev N.Sh., Nadirova Zh.K., Iztleuov G.M., Zhantasova D.M. Obtaining High-Paraffin-Content Oil Depressants // Chemical Engineering & Technology. – 2021. – Vol. 44(5). – P. 899–905. – DOI: 10.1002/ceat.202000366.
15. Matiev K.I., Samedov A.M., Akhmedov F.M. Development of Pour Point Depressants for Crude Oil and Study of Their Properties // SOCAR Proceedings. – 2021. – No. 1. – P. 90–96. – DOI: 10.5510/OGP20210100456.