

Дизель қозғалтқыштарының негізгі көрсеткіштеріне аралас отынның әсерін экологиялық бағалау

Аңдатпа. Мақалада альтернативті жанармайлардың қолданыстағы түрлеріне жан - жақты талдаулар жүргізіліп, оның ішінде химиялық – физикалық қасиеттеріне терең зерттеулер жасалды. Зерттеу нәтижесінің қорытындысы бойынша диметил эфирі таңдалынды. Диметил спиртінің белгілі бір мөлшерін дизель жанармайымен араластырып және пайда болған қоспаны пайдаланған кезде қозғалтқыш жұмысын бағалау үшін сызықтық регрессия талдау әдісі қолданылды. Сызықтық регрессия коэффициенттерінің мәндерін табу техникалық есептеу мәселелерін шешуге арналған қолданбалы бағдарламалар пакетінің (MATLAB) көмегімен жүргізілді. Зерттеулер нәтижесі диметил эфирінің үштен бір бөлігін дизель отынына қосу дизельді қозғалтқыштардан шығатын қалдық газдардың көрсеткіштерін төмендету үшін ең тиімді қоспаның үлесі екенін көрсетті. Қалдық газдар көрсеткіштерінің төмендеуі экологиялық көрсеткіштердің жақсаруына алып келеді.

Түйін сөздер: статистикалық сынақ әдісі, факторлық дисперсия, түтін, азот оксиді.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-142-1-89-97

Кіріспе

Сызықтық регрессиялық талдау аралас отынның (диметил спирті мен дизель отынының қосындысы) дизель қозғалтқышының жұмысының тиімді көрсеткіштеріне және қолданылған газдардың уыттылық әсеріне толыққанды бағалау жүргізуге мүмкіндік береді. Регрессиялық талдаулар жанармай шығыны, қолданылған газдардың температурасы мен максималды қуаты үшін жасалды. Отынның толық берілуін қамтамасыз ететін режимнің моделі жасалды. Жасалған режимнің негізінде қолданылған газдардың уыттылығының модельдері құрылды. Модельдер бүркүдің басталу қысымына, бүркүдің озу бұрышына және диметил спиртінің үлесіне тікелей байланысты. Регрессиялық талдау нәтижесінде жасалынған модельдер қозғалтқыш жұмысының тиімді көрсеткіштеріне қол жеткізу және пайдаланылған газдардың уыттылығын деңгейін қажетті деңгейге дейін түсіру үшін қоспаның әртүрлі құрамымен жанармай жабдықтарының параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді [1].

Материалдар мен әдістер

Табиғи мәндермен байланысты факторлардың кодталған мәндері (x_i) қатынастар бойынша есептеді [2]:

$$x_1 = \frac{\varphi - 20}{10}, x_2 = \frac{\theta - 10}{3}, x_3 = \frac{\varphi - 20}{10} \quad (1)$$

Кесте 1. Өзгеретін факторлар және олардың өзгеру деңгейлері

Фактор	Фактодың коды	Интервал	Өзгеру деңгейлері		
			-1	0	1

%, ДМЭ (φ)	x ₁	10	10	20	30
θ	x ₂	3	7	10	13
P _ф	x ₃	2,5	12	14,5	17

Кесте 2. Факторлардың реті

№	x ₁	x ₂	x ₃
1	0	0	0
2	1	0	0
3	-1	0	0
4	0	1	0
5	1	1	0
6	-1	1	0
7	0	-1	0
8	1	-1	0
9	-1	-1	0
10	0	0	1
11	1	0	1
12	-1	0	1
13	0	1	1
14	1	1	1

Теориялық жоспарлаудың математикалық аппараты статикалық сынау әдісі, ең аз квадраттар әдісі, регрессиялық талдау сияқты статистикалық талдау әдістеріне сүйенеді [1].

Теориялық жолмен алынған деректер келесі әдіс бойынша өңделеді. Барлық бақыланатын мәндердің орташа мәні [2]:

$$\beta = \frac{\sum_{r=1}^p \sum_{j=1}^{q_r} y_r j}{q_r} \quad (2)$$

мұндағы, r – өлшеу деңгейінің реті (r =1,2,...,p);

j – әр деңгейдегі өлшеудің реті (j =1,2,...,q_r);

Топтық орташаның мәні [1]:

$$\beta_r = \frac{\sum_{j=1}^{q_r} y_r j}{q_j} \quad (3)$$

Факторлық дисперсия [2]:

$$D_F = \frac{\sum_{r=1}^p (\beta_r - \beta)^2}{p-1} \quad (4)$$

Жоспардың барлық нүктелеріндегі дисперсиялардың біркелкілігі Кохрен өлшемі бойынша жүргізіледі [2]:

$$G_r = \frac{D_{i \max}}{N \sum_{i=1}^N D_i} \quad (5)$$

мұндағы, $D_{i_{\max}}$ - үлкен сызық дисперсиясы.

Теориялық жоспарлау мәселесінің математикалық тұжырымы келесідей.

Кіріс жиынтығының параметрлері $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ мен шығыс айнымалыларымен $y = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ сипатталатын объект бар [3].

Нысанға бұзушы факторлар $z = (z_1, z_2, \dots, z_q)$ әсер етеді. Уақыттың әртүрлі сәттерінде объект кіріс және шығыс айнымалыларын байланыстыратын тәуелділіктермен анықталатын әртүрлі күйлерде болады. Біз қарастырып отырған регрессиялық модель векторлық теңдеу түрінде жазылады [1].

Біздің жағдайда жоғарыда құрылған жоспарды ескере отырып, регрессия теңдеуі келесі түрде өрнектеледі [2]:

$$R_i = A_0 + A_1x_1 + A_{12}x_1x_2 + A_{13}x_1x_3 + A_2x_2 + A_3x_3 + A_{23}x_2x_3 + A_{11}x_1^2 + A_{22}x_2^2 + A_{33}x_3^2 \quad (6)$$

Регрессия коэффициенттері ең аз квадраттар әдісімен анықталды. Регрессия коэффициенттерінің маңыздылығын бағалау регрессия коэффициенттері үшін сенімділік аралығын құру арқылы жүзеге асырылады. Егер шарт орындалса, регрессия коэффициенттері маңызды болып саналады [4]:

$$A_i \geq A_i = t \frac{D_y}{\sqrt{N}}, \quad (7)$$

мұндағы, t - Стюдент критерийі

Нәтежелерді математикалық модельмен ұсынудың жеткіліктілігін бағалау Фишер критерийі арқылы жүзеге асырылады [2]:

$$F_r = \frac{D_{ad}}{D_y} \quad (8)$$

мұндағы, D_{ad} - жеткіліктілік дисперсиясы;

D_y - репродуктивтілік дисперсиясы.

Осылайша, статистикалық маңызды емес коэффициенттерді алып тастағаннан кейін, құрастырылған модельдер келесі түрге ие болады [2]:

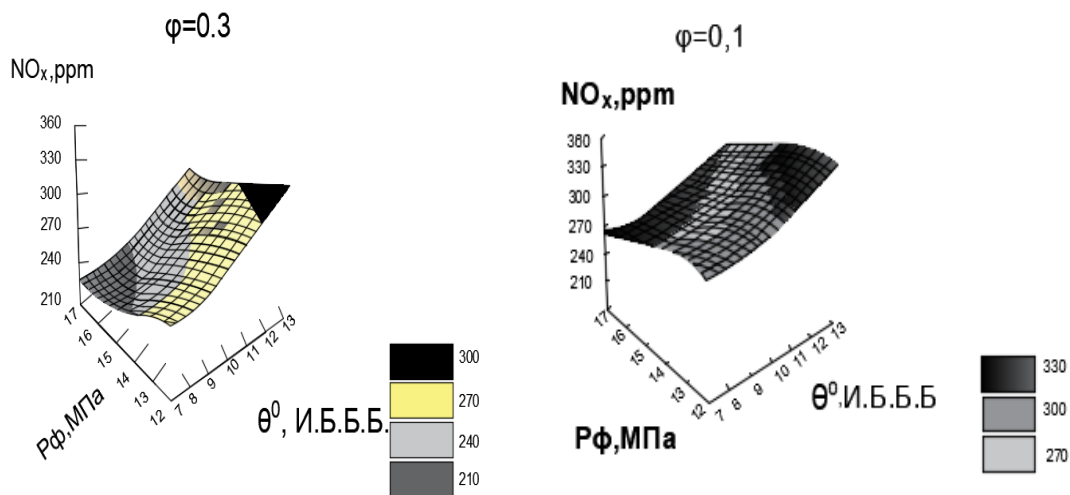
$$T_{or}(^{\circ}C) = 594.009 - 31,546x_1 + 20,192x_2 - 38,974x_3 + 6,538x_1x_2 + 16,059x_2^2 - 7,852x_3 \quad (9)$$

Алынған модельден шығатын газдардың температура деңгейі қоспадағы диметил эфирінің құрамына байланысты болатындығын көруге болады [1].

Есептеулер нәтежесі мен регрессиялық талдау нәтежесінде алынған модельден шығатын газдардың температура деңгейі қоспадағы диметил спиртінің құрамына тікелей байланысты екенін көрсетті. Дизель отынына қосатын диметил спиртінің үлесі артқан сайын температура режимі төмендей береді. Азот оксидінің шығарындыларының деңгейі мен түзілу механизмінің термиялық сипатта болуы қолданылған газдардың цикл температурасының деңгейін көрсетеді және өз кезегінде циклдің температурасына байланысты екенін ескеретін болсақ, регрессиялық талдау пайдаланылған газдардың температурасымен бірдей деңгейде деп болжам жасауға болады. Статистикалық елеусіз регрессия коэффициенттерін алып тастағаннан кейін модель келесі түрде өрнектеледі [2]:

$$NO_x(ppm) = 304.35 - 19.061x_1 + 21.441x_2 - 29.113x_3 + 5.067x_1x_2 - 28.836x_2^2 + 12.452x_3^2 \quad (10)$$

Жоғарыда көрсетілген модель NO_x шығарындыларының деңгейі көп жағдайда аралас отынның құрамына және циклдің температурасына тікелей байланысты. Бұл ретте азот оксидтерінің шығарындыларына (регрессиялық іріктеу коэффициенттеріне сәйкес) отындағы диметил эфирінің жоғары үлесі θ қарағанда Рф тиімді ықпал етеді [5].

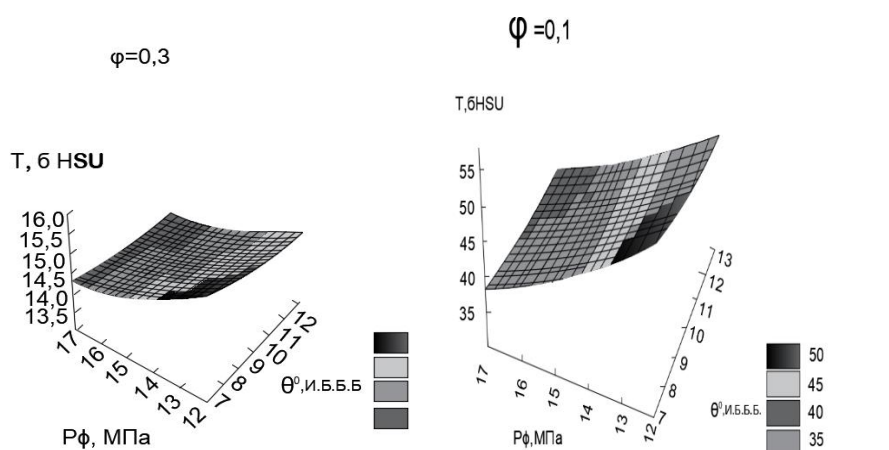


Сурет 1. Иінді біліктің бұрылу бұрышына және қысымға байланысты NO_x шығарындылары

1 суретте көрсетілген беттік деректерден диметил эфирінің үлесінің артуымен сәйкесінше температураның төмендейтіндігін байқаймыз. Штаттық реттеулерде азот оксидтерінің шығарындылары: $NO_x = (\varphi = 0,1; \theta = 11,5^\circ \text{ иббб}; P_\varphi = 15 \text{ МПа}) = 300 \text{ ppm}$; $NO_x = (\varphi = 0; \theta = 11,5^\circ \text{ иббб}; P_\varphi = 15 \text{ МПа}) = 266 \text{ ppm}$; Бұдан шығатын штаттық реттеулер кезінде азот шығарындыларының деңгейін 8 – 21 % - 5 – ға дейін төмендетуге болады[6].

Пайдаланылған газдардың түтіні келесідей өрнектеледі [2]:

$$T(\text{бHSU}) = 26.526 - 13.816x_1 + 1.908x_2 - 4.12x_3 + 1.586x_1x_2 - 3.62x_1x_3 + 0,3x_2x_3 + 0.793x_1^2 + 0.643x_2^2 + 1.245x_3^2 - 0.314x_1x_2x_3 \quad (11)$$



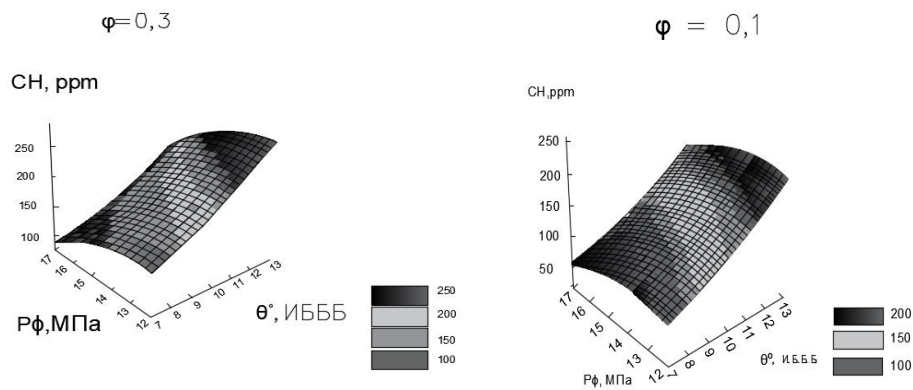
Сурет 2. Бұркүдің озу бұрышына және қысымға қоданылған газдардың түтінділігінің тәуелділігі

Диметил спиртін дизель жанармайына қосу газдардың түтіндеу деңгейін күрт төмендететінін регрессиялық тәуелділік пен алынған беттерге анализ жасау арқылы байқауға болады. Дизель отыны бойынша штаттық реттеулер кезінде пайдаланылған газдардың түтіндігі:

отын 30% ДМЭ – $T = 14,13 \text{ бHSU}$, 10% ДМЭ = $T = 37,5 \text{ бHSU}$, таза дизель отыны кезінде $T = 40 \text{ бHSU}$ тең [1]. Осылайша, отын аппаратурасын штаттық реттеу кезінде, аралас отынды пайдалану кезінде, дизель отынындағы қозғалтқыштың жұмысымен салыстырғанда пайдаланылған газдардың түтіндену көрсеткішінің шамасын 64,4% - ға (30% ДМЭ кезінде) және 6,5% - ға (10% ДМЭ кезінде) төмендеуін алуға болады [1].

Пайдаланылған газдардан шығатын СН шығарындылары келесі түрде сипатталады[2]:

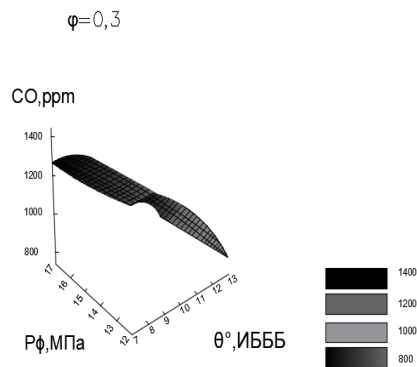
$$CH(ppm) = 162.384 - 23.219x_1 + 53.893x_2 - 32.145x_3 + 3.216x_1x_2 - 10.417x_1x_3 + 8.517x_2x_3 + 5.097x_1^2 + 12.307x_2^2 + 17.813x_3^2 \quad (12)$$



Сурет 3. Көміртек шығарындыларының бүркүдің озу бұрышына және қысымға тәуелділігі

Пайдаланылған газдары бар СО шығарындылары мынадай өрнектермен сипатталады [2]:

$$CO(ppm) = 1197.67 - 33.899x_1 + 223.002x_2 - 55.158x_3 + 41.67x_1x_2 - 4.936x_1x_3 + 9.1x_2x_3 + 17.758x_1^2 + 115.749x_2^2 + 11.33x_3^2 \quad (13)$$



Сурет 4. Көміртек оксидінің шығарындыларының бүркүдің озу бұрышына және қысымға тәуелділігі

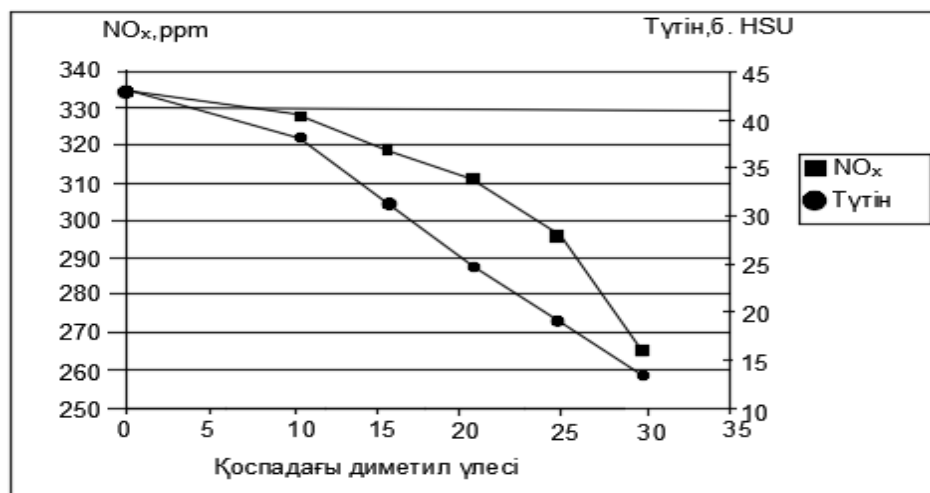
Зерттеулер мен талдау нәтижелері аралас отынды қолданғанда пайдаланылған газдардың құрамындағы көміртек және көміртек оксидтерінің шығарындыларының деңгейі дизель отынымен жұмыс кезінде бөлінетін мөлшермен салыстырғанға қарағанда біршама жоғары екенін көрсетті. Сонымен штаттық реттеулерде СН шығарындылары мыналарды құрайды: $CH = (\varphi = 0,1; \theta = 11,5 \text{ и.б.б.б. ; } P_\varphi = 15 \text{ МПа}) = 160 \text{ ppm}$, $CH = (\varphi = 0,3; \theta = 11,5 \text{ и.б.б.б. ; } P_\varphi = 15 \text{ МПа}) = 199 \text{ ppm}$. СН деңгейінің көтерілуі тиісінше 18% және 26,7% - ға күтіледі [1].

Штаттық реттеулер кезінде СО бойынша ұқсас көркіштер: $CO = (\varphi = 0,1; \theta = 11,5 \text{ и.б.б.б. ; } P_\varphi = 15 \text{ МПа}) = 1118 \text{ ppm}$, $CO = (\varphi = 0,3; \theta = 11,5 \text{ и.б.б.б. ; } P_\varphi = 15 \text{ МПа}) = 1012 \text{ ppm}$. Осылайша 10 % ДМЭ қоспасы кезінде СО 1,5 % артады да, ал 30 % ДМЭ кезінде 2 % - ға төмендейді [1].

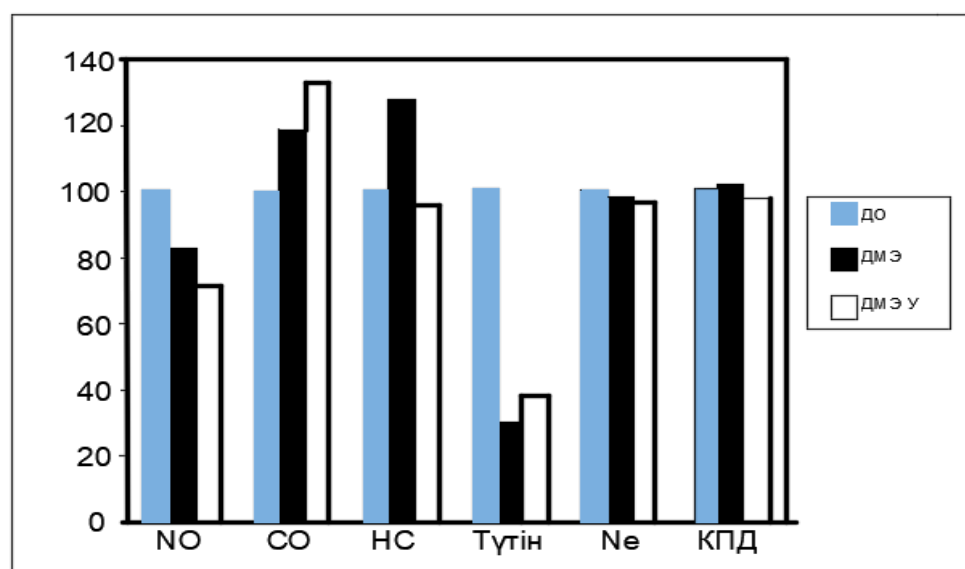
Экономикалық тұрғыдан қарастыратын болсақ диметил эфирін дизель отынына қосу тиімді. Бұл көрініс құрамында 30% - ға дейін ДМЭ бар қоспалар кезінде байқалады, ал 30% - дан асатын болса дизельдің қуаттылығы мен экономикалық көрсеткіштері күрт төмендейді [1].

Нәтежелер мен талқылаулар

Сызықтық регрессиялық модельдеу мен тәуелділіктер дизельді қозғалтқыштың тиімді көрсеткіштерінің өзгеруіне, диметил эфирінің үлесіне, иінді біліктің бұрылу бұрышы мен қысымына байланысты экологиялық сипаттмаларын және отын аппаратурасының параметрлерін бағалауға мүмкіндік береді. Осындай нәтежеге жету үшін отыз пайыз диметил эфирін қолданған жеткілікті. Диметил эфирін қолданудың тағы бір артықшылығы, пайдаланылған газдардан шығатын түтіндердің мөлшерін төмендетеді.



Сурет 5. Аралас отынның экологиялық көрсеткіштерге әсері



Сурет 6. Дизель отыны мен аралас отынның салыстырмалы көрсеткіштері

Қорытынды

Сызықтық регрессиялық модельдеу мен тәуелділіктер дизельді қозғалтқыштың тиімді көрсеткіштерінің өзгеруіне, диметил эфирінің үлесіне, иінді біліктің бұрылу бұрышы мен қысымына байланысты экологиялық сипаттмаларын және отын аппаратурасының

параметрлерін бағалауға мүмкіндік береді. Диметил эфирін дизель отынына енгізу экологиялық көрсеткіштерді жақсартады. Диметил эфирінің отыз пайызын дизель отынына қосқан кезде түгінділік үш есеге, ал азот оксидтері он сегіз есеге кемиді. Сонымен қатар жоғарыда аталған диметил эфирінің үлесін қосу қозғалтқыш құрылысын өзгертуді қажет етпейді, ал бұл өз кезегінде тиімді көрсеткіштердің өзгермейтіндігін көрсетеді. Қолданылған тәсіл дизельдің экологиялық жағдайын жақсартады, қайта жабдықтауды қажет етпейді, шикізат базасын ұлғайтуға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Торебекова С.О. Баламалы энергия көздерін пайдалану арқылы дизельді қозғалтқыштың экологиялық көрсеткіштерін жақсарту. Магистрлік диссертация/ Нұр-Сұлтан., ЕҰУ, 2021.
2. Kapus P., Cartellieri W. ULEV Potential of a DI/TCI Diesel Passenger Car Engine Operated on Dimethyl Ether // SAE Paper 952754. 1995.11 p.
3. Акобия Ш.Е. Перспективы снижения вредных выбросов при применении диметилэфира / Ш.Е.Акобия, Т.Н.Смирнова // Грузовик и автобус, троллейбус, трамвай. – 1999. – №2. – С.27–29.
4. Батурын С.А. Физические основы и математическое моделирование процессов сажевыделения и теплового выделения: автореф. докт. дис/ С.А.Батурын – Л.: ЛИИ, 1982. – 35С.
5. Ишханян А.Э. Улучшение экологических показателей дизелей путем использования в качестве топлива диметилового эфира: дисс. кан. техн. наук./А.Э.Ишханян -М., МАДИ (ТУ), 2004.
6. Математическое моделирование и исследование процессов в ДВС: Учебное пособие / под ред. В.А.Вагнера, П.А.Иващенко, В.Ю.Русакова.- Барнаул.: Изд-во АлтГТУ, 1997. – 203С.
7. Zheng, Q. One-pot post-treatment of NaY zeolites with different SiO₂/Al₂O₃ ratios: Its effect on pore structure and acidity of the resulted USY zeolite. Petroleum Science Bulletin. 2022. 7(4), с. 604–612
8. Asabin, V.V., Roslyakov, A.D., Lazarev, E.A., (...), Erzamaev, M.P., Petukhov, S.A. The use of ethanol in diesel engines. 2022. AIP Conference Proceedings 2762,020003.
9. Zhang, Y., Lou, D., Tan, P., Hu, Z., Fang, L. Effects of waste-cooking-oil biodiesel blends on diesel vehicle emissions and their reducing characteristics with exhaust after-treatment system. 2022. Journal of Cleaner Production 381,135190.
10. Tarigonda, H., Gangula, V.R., Ratnaraju, P., Doddipalli, R.R., Krupakaran, R.L. Effect of TBC, Turbocharger and EGR on the Performance of Diesel Engine Using Biodiesel. 2022. SAE Technical Papers.

А.А. Каражанов¹, Ж.Р. Алипбаев¹, У.Ш. Кокаев¹, А.Б. Забиева¹, С.О. Торебекова²

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Высший колледж транспорта и коммуникаций, Астана, Казахстан

Экологическая оценка влияния смесового топлива на основные показатели дизельных двигателей

Аннотация. В статье проведен всесторонний анализ существующих видов альтернативных топлив, в том числе углубленных исследований химико- физических свойств. По итогам исследования был выбран диметиловый эфир. При смешивании определенного количества диметилового спирта с дизельным топливом и использовании образующейся смеси для оценки работы двигателя использовался метод анализа линейной регрессии. Нахождение значений коэффициентов линейной регрессии проводилось с помощью пакета прикладных программ (MATLAB) для решения задач технического расчета. Исследования показали, что добавление одной трети диметилового эфира в дизельное топливо является наиболее эффективной добавкой для снижения показателей остаточных газов, выбрасываемых дизельными двигателями. Снижение показателей остаточных газов приводит к улучшению экологических показателей.

Ключевые слова: метод статистических испытаний, факторная дисперсия, дымность, оксид азота.

A. Karazhanov¹, Zh. Alipbayev¹, U. Kokaev¹, A. Zabiyeva¹, S.Torebekova²

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Graduate College of Transport and Communications, Astana, Kazakhstan

Environmental assessment of the impact of mixed fuel on the main indicators of diesel engines

Abstract. The article provides a comprehensive analysis of existing types of alternative fuels, including in-depth studies of chemical and physical properties. According to the results of the study, dimethyl ether was selected. When mixing a certain amount of dimethyl alcohol with diesel fuel and using the resulting mixture to evaluate engine performance, a linear regression analysis method was used. Finding the values of linear regression coefficients was carried out using an application software package (MATLAB) to solve technical calculation problems. Studies have shown that the addition of one third of dimethyl ether to diesel fuel is the most effective additive for reducing the residual gases emitted by diesel engines. A decrease in the indicators of residual gases leads to an improvement in environmental indicators.

Keywords: statistical test method, factor dispersion, smokiness, nitric oxide.

References

1. S.Torebekova. Improving the environmental performance of a diesel engine using alternative energy sources. Master's dissertation / Nur-Sultan., ENU, 2021.
2. Kapus P., Cartellieri W. ULEV Potential of a DI/TCI Diesel Passenger Car Engine Operated on Dimethyl Ether // SAE Paper 952754. 1995.11 p.
3. Akobia Sh.E. Prospects for reducing harmful emissions by using dimethylether / Sh.E.Akobia, T.N.Smirnova // Truck and bus, trolleybus, tram. – 1999. – №2. 27–29 p.
4. Baturin S.A. Physical foundations and mathematical modeling of the processes of soot emission and thermal emission: abstract of doctoral dissertation / S.A. Baturin – L.: LII, 1982. – 35 p.
5. Ishkhanyan A.E. Improving the environmental performance of diesel engines by using dimethyl ether as a fuel: diss. can. tech. Sciences. / A.E. Ishkhanyan – M., MADI (TU), 2004.
6. Matematicheskoye modelirovaniye i issledovaniye protsessov v DVS: Uchebnoye posobiye / pod red. V.A.Vagnera, P.A.Ivashchenko, V.YU.Rusakova. – Barnaul.: Izd-vo AltGTU, 1997. – 203 p.
7. Zheng, Q. One-pot post-treatment of NaY zeolites with different SiO₂ / Al₂O₃ ratios: Its effect on pore structure and acidity of the resulted USY zeolite. Petroleum Science Bulletin. 2022. 7(4), c. 604–612
8. Asabin, V.V., Roslyakov, A.D., Lazarev, E.A., (...), Erzamaev, M.P., Petukhov, S.A. The use of ethanol in diesel engines. 2022. AIP Conference Proceedings 2762,020003.
9. Zhang, Y., Lou, D., Tan, P., Hu, Z., Fang, L. Effects of waste-cooking-oil biodiesel blends on diesel vehicle emissions and their reducing characteristics with exhaust after-treatment system. 2022. Journal of Cleaner Production 381,135190.
10. Tarigonda, H., Gangula, V.R., Ratnaraju, P., Doddipalli, R.R., Krupakaran, R.L. Effect of TBC, Turbocharger and EGR on the Performance of Diesel Engine Using Biodiesel. 2022. SAE Technical Papers.

Авторлар туралы мәлімет:

А.А. Каражанов – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

Ж.Р. Алипбаев – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

У.Ш. Кокаев – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

А.Б. Забиева – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

С.О. Торбекова – техника ғылымдарының магистрі, Жоғары көлік және коммуникация колледжі, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

A. Karazhanov – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

Zh. Alipbayev – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

U. Kokaev – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

A. Zabiava – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.

S. Torebekova – master of technical sciences, Higher College of Transport and Communications, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.