

Көлік қызметі. Инженерлік іс және инженерия

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-11>

ӨОЖ: 621.43

ГТАМР: 73.31.35

Автомобиль қозғалтқышының бөлшектерін тиімді жөндеу және сапасын арттыру***¹Мурзахметова У.А., ¹Борамбай Е.С., ¹Жүмекешов Ә.Н., ¹Нарымқол А.М.**¹Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан*Автор-корреспондент email: u_murzakhmetova@mail.ru.

Мақала келді:
17 қантар 2024
Сараптамадан өтті:
14 ақпан 2024
Қабылданды:
03 наурыз 2024

Түйіндеме

Мақалада қазіргі жағдайда автомобиль қозғалтқыштарының тиімділігі мен сенімділігін арттырудың өзекті мәселелері қарастырылады. Қазіргі заманғы көлік құралдарын жобалаудың күрделілігі техникалық жағдайды дәл диагностикалауды және техникалық қызмет көрсетудің жоғары деңгейін талап етеді. Техникалық диагностиканың тораптар мен агрегаттардың жай-күйін бағалаудың, ресурсты болжаудың және пайдалану сенімділігін арттырудың негізгі құралы ретіндегі маңыздылығына ерекше назар аударылады. Зерттеу нысаны ретінде КамАЗ автомобильдерінің дизельді қозғалтқыштары таңдалды, олардың техникалық жағдайы диагностика әдістері мен құралдарының кешені негізінде бағаланады. Қозғалтқыштың ресурсын анықтайтын негізгі элементтер — иінді білік, байланыстырушы шыбықтар, цилиндрлер блогы, сондай-ақ олардың тозу процестері қарастырылған. Күрделі жөндеуге дейінгі қызмет ету мерзімін дәл анықтауға мүмкіндік беретін қозғалтқыштың динамикалық сипаттамаларын бағалауға негізделген диагностикалық әдіс сипатталған. Сонымен қатар, Euro-1, EURO-2, EURO-3 және EURO-4 экологиялық стандарттарына сәйкес келетін қозғалтқыштар олардың үнемділігі мен пайдалану шығындарының төмендеуіне назар аудара отырып зерттелуде. Нәтижелер қозғалтқыштың қызмет ету мерзімін ұзартуға, оның сенімділігін арттыруға және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға мүмкіндік беретін кешенді диагностиканы қолданудың тиімділігін растайды. Ұсынылған тәсілдер автокөлік құралдарына қызмет көрсету жүйелерін жаңғырту үшін негіз бола алады.

Түйін сөздер: автомобиль қозғалтқыштары, КамАЗ, борттық диагностика, техникалық жағдай, бөлшектерді қалпына келтіру.

Мурзахметова У.А.	Авторлар туралы ақпарат: Техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік технологиясы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасының профессоры. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5429-023X . E-mail: u_murzakhmetova@mail.ru .
Борамбай Е.С.	Магистрант, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-1160-3802 . E-mail: Borambai-elaman@mail.ru
Жүмекешов Ә.Н.	Магистрант, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-9904-5302 . E-mail: Ali-bizhumekehov@mail.ru
Нарымқол А.М.	Магистрант, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-2006-0849 . E-mail: narymkol-a@mail.ru

Transportation Services. Engineering

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-11>

UDC: 621.43

IRSTI: 73.31.35

Effective repair and quality improvement of automotive engine parts***¹Murzahmetova U.A., ¹Borambaj E.S., ¹Zhumekezhov A.N., ¹Narymkol A.M.**¹Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan*Corresponding author email: u_murzakhmetova@mail.ru.

Received: 17 January 2024
 Peer-reviewed: 14 February 2024
 Accepted: 03 March 2024

Abstract

The article discusses current issues of improving the efficiency and reliability of automotive engines in modern conditions. The complexity of the design of modern vehicles requires an accurate diagnosis of the technical condition and a high level of maintenance. Special attention is paid to the importance of technical diagnostics as a key tool for assessing the condition of components and assemblies, predicting life and improving operational reliability. Diesel engines of KAMAZ vehicles have been selected as the object of research, the technical condition of which is assessed on the basis of a set of diagnostic methods and tools. The main elements that determine the life of an engine are identified — the crankshaft, connecting rods, and cylinder block, and the processes of their wear are considered. A diagnostic technique based on an assessment of the dynamic characteristics of the engine is described, which makes it possible to accurately determine the service life before major repairs. In addition, engines that comply with EURO-1, EURO-2, EURO-3 and EURO-4 environmental standards are being investigated, with an emphasis on their efficiency and reduced operating costs. The results obtained confirm the effectiveness of complex diagnostics, which allows to extend the service life of the engine, increase its reliability and reduce maintenance costs. The presented approaches can serve as a basis for the modernization of vehicle maintenance systems.

Keywords: car engines, Kamaz, on-board diagnostics, technical condition, restoration of parts.

Murzakhmetova U. A.**Information about authors:**

Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Engineering and Organization of Transportation, Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5429-023X>. E-mail: u_murzakhmetova@mail.ru.

Borambaj E.S.

Master's student of the OP 7M07104 - "Transport, transport equipment and technologies", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-1160-3802>. E-mail: Borambai-elman@mail.ru

Zhumekezhov A.N.

Master's student of the OP 7M07104 - "Transport, transport equipment and technologies", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-9904-5302>. E-mail: Alibizhumekezhov@mail.ru

Narymkol A.M.

Master's student of the OP 7M07104 - "Transport, transport equipment and technologies", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-2006-0849>. E-mail: narymkol-a@mail.ru

Транспортные услуги. Инженерия и инженерное дело

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-11>

УДК: 621.43

МРНТИ: 73.31.35

Эффективный ремонт и повышение качества деталей двигателя автомобиля***¹Мурзахметова У.А., ¹Борамбай Е.С., ¹Жүмекешов Ә.Н., ¹Нарымқол А.М.**¹Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан*Автор-корреспондент email: u_murzakhmetova@mail.ru.

Поступила:

17 января 2024

Рецензирование:

14 февраля 2024

Принята в печать:

03 марта 2024

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные вопросы повышения эффективности и надёжности автомобильных двигателей в современных условиях. Сложность конструкции современных транспортных средств требует точной диагностики технического состояния и высокого уровня технического обслуживания. Особое внимание уделяется значимости технической диагностики как ключевого инструмента оценки состояния узлов и агрегатов, прогнозирования ресурса и повышения эксплуатационной надёжности. В качестве объекта исследования выбраны дизельные двигатели автомобилей КамАЗ, техническое состояние которых оценивается на основе комплекса методов и инструментов диагностики. Выделены основные элементы, определяющие ресурс двигателя — коленчатый вал, шатуны, блок цилиндров, а также рассмотрены процессы их износа. Описана методика диагностики, основанная на оценке динамических характеристик двигателя, позволяющая точно определить срок службы до капитального ремонта. Кроме того, исследуются двигатели, соответствующие экологическим стандартам EURO-1, EURO-2, EURO-3 и EURO-4, с акцентом на их экономичность и снижение эксплуатационных затрат. Полученные результаты подтверждают эффективность применения комплексной диагностики, которая позволяет продлить срок службы двигателя, повысить его надёжность и снизить расходы на техническое обслуживание. Представленные подходы могут служить основой для модернизации систем обслуживания автотранспортных средств.

Ключевые слова: автомобильные двигатели, КамАЗ, бортовая диагностика, техническое состояние, восстановление деталей.

Мурзахметова У.А.	Информация об авторах: Кандидат технических наук, профессор кафедры «Транспортная техника и организация перевозок», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5429-023X . E-mail: u_murzakhmetova@mail.ru .
Борамбай Е.С.	магистрант, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-1160-3802 . E-mail: borambai-elaman@mail.ru
Жүмекешов Ә.Н.	магистрант, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-9904-5302 . E-mail: alibizhumekeshov@mail.ru
Нарымқол А.М.	магистрант, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-2006-0849 . E-mail: narymkol-a@mail.ru

Кіріспе

Қазіргі техниканың даму кезеңінде автомобиль агрегаттарының сенімділігі мен ұзақ мерзімділігіне қойылатын талаптар артып келеді. Бұл талаптарды орындау үшін техникалық қызмет көрсету мен жөндеу үдерістерін заманауи деңгейде ұйымдастыру қажет. Осы тұрғыда техникалық диагностика – машина мен оның құрамдас бөліктерінің нақты техникалық жағдайын анықтауға, ақаулардың алдын алуға және жөндеу жұмыстарын жоспарлы түрде жүзеге асыруға мүмкіндік беретін маңызды құрал болып табылады. Мұндай тәсіл жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартып қана қоймай, пайдаланушыға үнемділік тұрғысынан да айтарлықтай пайда әкеледі.

Сонымен қатар, диагностикалық құралдардың көмегімен алынған мәліметтер техника жұмысын оңтайландыруға, отын шығынын азайтуға және экологиялық көрсеткіштерді жақсартуға септігін тигізеді. Бұл қазіргі заманғы көлік құралдарының тиімділігі мен қоршаған ортаға әсерін теңгерімді түрде басқаруға мүмкіндік береді. Сондықтан техникалық диагностика – автокөлік жүйелерін басқарудың ажырамас бөлігі ретінде қарастырылуы тиіс.

Әдістері

Зерттеу барысында техникалық диагностика әдістері қолданылды, олар машиналардың жұмыс процесіндегі техникалық жағдайын үздіксіз бақылауға және алынған көрсеткіштерге сүйене отырып, келесі жоспарлы жөндеуге дейінгі пайдалану мерзімін болжауға мүмкіндік береді. Бұл әдістер тек жекелеген бөлшектер мен агрегаттардың нақты техникалық күйін бағалауға ғана емес, сонымен қатар жанама көрсеткіштер мен техникалық емес әдістерді пайдалана отырып, қажетті техникалық қызмет көрсету көлемі мен түрлерін анықтауға да бағытталған.

Тарихи және әлеуметтік контексттер, атап айтқанда, қазіргі энергетикалық проблемаларға саналы және практикалық саяси және техникалық шешімдерді ұсыну үшін өте маңызды. Осы шешімдердің кейбірі және олардың артықшылықтары талқыланады, ал кемшіліктер олардың қаншалықты жылдам жүзеге асырылуы мүмкін екендігіне байланысты қарастырылады.

Автомобиль көлігінің дамуы өңдеу өнеркәсібінде, ауыл шаруашылығында, саудада және басқа салаларда тасымалдауды қамтамасыз ете отырып, ел экономикасының барлық салаларының қызметіне айтарлықтай әсеретеді. Бүгінгі таңда, автокөлік паркінің құрылымында КамАЗ көліктерінің үлесі 27%-дан астам болып отыр. КамАЗ көліктерін өнеркәсіптік жаңғыртуды жүзеге асыра отырып, Алматы «КамАЗ» автоорталығы EURO-1, EURO-2, EURO-3 және EURO-4 экологиялық стандарттарына сәйкес келетін міндетті қолданылатын қозғалтқыштардың заманауи топтамасын шығарып отыр. Ол қозғалтқыштың қуатын оның негізгі бөліктерінің (иіндібілік, шатун, цилиндрлер блогы және т.б.) құрамдастарын, сонымен қатар, көлік құралының бүкіл өмірлік циклі бойынша шығындарды азайту мәселесі бүгінгі таңда өзекті болып отыр. Алғашқыдан бастап көліктің жүрісінен егізделген қозғалтқыштардың техникалық жағдайы негізгі мойын тіректің шекті күйінің жұмысы және критерийі, ол автомобильдің қозғалтқыштың оңтайлы ағымдағы, күрделі жөндеуге дейін жүгірісін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл тәуелділіктер қозғалтқыштардың техникалық жағдайындағы өзгерістерді болжауға мүмкіндік береді. Сонымен аталған өзгерістер түйісетін бөлшектердің тозу үдерістерінің салдары болғандықтан, негізгі мойынтіректі қозғалтқыштар көлік бөлшектерінің жүрісінен тозуына тәуелділігін анықталуы қажет [1].

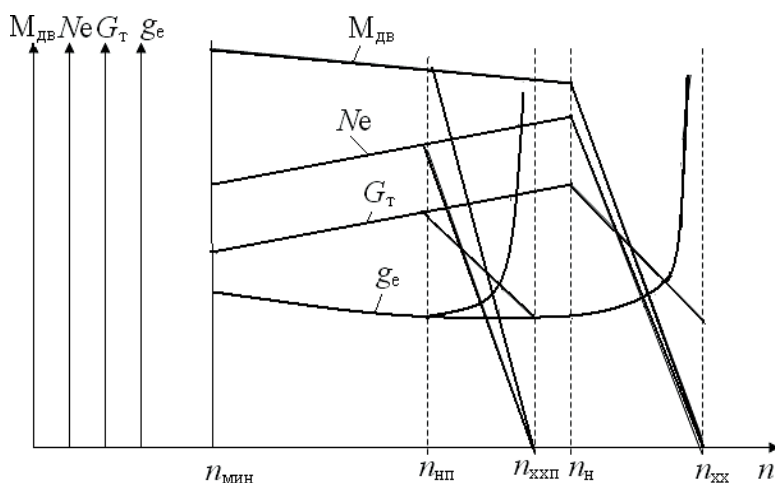
Нәтижелер

КамАЗ көліктерінің қуат блоктарының жұмысын арттыру және олардың

контрукциясымен жасау технологиясын жақсарту мен, көліктің сенімділігін күрт өзгерттік. Көлік құралының сенімділігі – үдеріс жүрісі барысында, оның сапасының өзгеруін сипаттайтын көрсеткіштер мәндері негізгі кешенді әзірлемелер екені анықталды. КамАЗ қозғалтқышының элементтері бойынша істен шығуды бөлуді талдау мақсатында автомобильдің ең аз сенімді элементтерін анықтауға мүмкіндік береді, одан әрі жобалау және технологиялық жетілдіру, нақты жұмыс жағдайын да қосалқы бөлшектерді тұтынуды негіздеу, техникалық қызмет көрсету мен жөндеудің ұтымды нормаларын белгілеу болып отыр.

Қозғалтқыштың жұмыс өнімділігінің толық сипаттамасы – оның нормативтік сипаттамалары мен қамтамасыз етумен орындалады. Қозғалтқыштың жұмыс өнімділігін бағалау үшін қозғалтқыш білігінің айналу жылдамдығына (жылдамдық сипаттамасы) байланысты индикаторлардың сипаттамаларын пайдалану ыңғайлы. Бұл көрсеткіштердің арасындағы байланыс барлық режимді реттегіші бар дизельдік қозғалтқыштың жылдамдық сипаттамаларында анық көрінеді (1 – сурет).

График отын беруді өзгерту арқылы қозғалтқыштың жылдамдық режимдерін өзгертуге болатындығын көрсетеді. Бұл қозғалтқыштың сипаттамаларын өзгертеді. Әрбір режимнің өзінің номиналды көрсеткіш мәндері болады. Аралық режимдерде сипаттамаларды құру техникасы келесідей.



Сурет – 1. Аралық режимі бар қозғалтқыштың нормативтік сипаттамалары
[автордың материалы]

n_n и $n_{хх}$ – номиналды айналу жылдамдығы мен бос жүріс жылдамдығы сәйкес келеді қалыпты жылдамдық шегі;

$n_{нп}$ и $n_{ххп}$ – төмендетілген жылдамдық режиміне сәйкес айналу жылдамдығы.

Төмендетілген жылдамдықтағы номиналды жылдамдықты келесідей анықтауға болады:

$$n_{нп} = n_n - 1,08 (n_{хх} - n_{ххп}) \quad (1)$$

$$G_{mххп} = G_{mхх} \frac{n_{ххп}}{n_{хх}} \quad (2)$$

$$g_{en} = \frac{1000 G_{mn}}{N_{en}} \quad (3)$$

мұнда: $G_{mххп}$ және N_{en} – $n_{ххп}$ және $n_{нп}$ арасындағы кез келген айналу жылдамдығы

нүктесіне сәйкес келетін отын шығыны және қуат мәндері.

Қозғалтқышты қандай режимдерде жұмыс істеу керектігін анықтауға болады. Бұл режим номиналды жүктемеге жақын – толық отынмен қамтамасыз етілген. Бұған қозғалтқыш орнатылған машинаның атқарушы органдарының құрамын есептеу және таңдау арқылы қол жеткізуге болады.

Автомобиль қозғалтқыштарының ұзақ мерзімділігін арттырудың ғылыми негіздері мен әдістемесі тұжырымдалған, оларды пайдалану автомобиль көлігін пайдалану тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді, бұл алынған нәтижелер жөндеудің және қалпына келтіру тиімділігінің маңыздылығын растайды және келесі қорытындылар жасауға мүмкіндік береді: техникалық жай-күйін талдаумен дизельдік қозғалтқыштарды диагностикалау кезінде қозғалтқыштар мен олардың жүйелерін кешенді диагностикалауға мүмкіндік беретін әмбебап аспаптар мен кешендерді қолданған дұрыс екенін көрсетті. Дизельдік қозғалтқыштардың динамикалық қасиеттерін бағалауға негізделген техникалық жағдайын диагностикалау әдістемесі үлкен қызығушылық тудырады, алайда мүмкін болатын ақауларды жою үшін оларды жетілдірудің қосымша әдістері мен құралдарын қолдану қажет екені анықталды. Қозғалтқыштардың негізгі элементтерінің және оларды қалпына келтіруге арналған жабдықтардың техникалық жай-күйінің көрсеткіштерін бағалау әдістемесі мен өлшеу құралдарының кешені әзірленді.

Талқылау

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, дизельді қозғалтқыштардың техникалық жағдайын кешенді диагностикалау олардың жұмыс істеу сенімділігін арттыруда шешуші рөл атқарады. Қозғалтқыштың негізгі элементтерінің, атап айтқанда, иіндібіліктің негізгі мойынтіректерінің тозу деңгейін бақылау арқылы қозғалтқыштың қалпына келтіру немесе күрделі жөндеуге дейінгі қалпын дәл болжауға болады. Диагностикалау нәтижелері қозғалтқыштың жүктемелі режимдері мен айналу жылдамдығы арасындағы тәуелділікті анықтауға мүмкіндік берді, бұл өз кезегінде қозғалтқыштың тиімді жұмыс істеу аймағын нақтылауға ықпал етеді.

Сонымен қатар, КамАЗ қозғалтқыштарын жаңғырту нәтижесінде олардың экологиялық сипаттамалары жақсарғаны байқалды, бұл EURO стандарттарына сәйкестігімен расталады. Қозғалтқыштардағы құрылымдық өзгерістер мен жетілдірулер олардың энергия үнемдеушілік қабілетін арттырып, жалпы пайдалану тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік берді. Алайда кейбір ақауларды анықтау үшін қазіргі қолданылып жүрген диагностикалық әдістер жеткіліксіз болуы мүмкін, сондықтан қосымша жетілдірулер мен әдістер қажет.

Қорытынды

Зерттеу барысында алынған нәтижелер КамАЗ дизельді қозғалтқыштарын техникалық диагностикалаудың маңыздылығын және тиімділігін көрсетті. Қозғалтқыш элементтерінің техникалық жай-күйін бағалау және күрделі жөндеу қажеттілігін алдын ала болжау олардың ұзақмерзімділігін арттыруға, техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға және жалпы пайдалану тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, дизельді қозғалтқыштардың динамикалық қасиеттеріне негізделген диагностикалау әдістері практикалық тұрғыда өз тиімділігін көрсетті, алайда мүмкін болатын ақауларды жою үшін оларды жетілдірудің қосымша әдістері мен құралдарын енгізу қажет. Ұсынылған кешенді диагностикалық тәсілдер көлік құралдарының техникалық жағдайын нақты бағалауға және қауіпсіз әрі сенімді пайдалануын қамтамасыз етуге жол ашады.

Мүдделер қақтығысы. Корреспондент автор мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Осы мақалаға сілтеме: Мурзахметова У.А., Борамбай Е.С., Жұмекешов Ә.Н., Нарымқол А.М. Автомобиль қозғалтқышының бөлшектерін тиімді жөндеу және сапасын арттыру. Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyryn Khabarshysy. 2024; 1(5):106-112. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-11>

Cite this article as: Murzahmetova UA, Borambaj ES, Zhumekeshov AN, Narymkol AM. Avtomobil' kozgaltkyshynyn bolshekterin tiimdi zhondeu zhane sapasyn arttyru [Effective repair and quality improvement of automotive engine parts]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogoinstituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyryn Khabarshysy. 2024; 1(5):106-112. (In Rus.). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-11>

Литература

- [1] Иванов А.М. (ред.). Автомобили. Теория эксплуатационных свойств: учебник для студентов высших учебных заведений. Москва: Академия. 2014, 170.
- [2] Денисов А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей. Саратов: СГТУ. 2013, 352.
- [3] Асоян А.Р., Денисов А.С., Захаров В.П. Анализ изменения технического состояния ресурсопределяющих элементов дизелей КАМАЗ в процессе эксплуатации. Известия ВолгГТУ. 2012; 8:32–35.
- [4] Денисов А.С., Кулаков А.Т., Сибиряков С.В. Экспериментальная оценка деформации вкладышей подшипников коленчатого вала дизеля КамАЗ-740. Восстановление и укрепление деталей машин. Саратов: СГТУ. 2001, 24–27.
- [5] Демьянушко И.В., Миронова В.В., Логинов Е.М. Исследование напряженно-деформированного состояния литых автомобильных колес при ударных нагрузках. Машиностроение и инженерное образование. 2017; 1(30):42–49.

References

- [1] Ivanov AM (ed.). Avtomobili. Teoriya ekspluatatsionnykh svoystv: uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy [Vehicles. Theory of operational properties: textbook]. Moscow: Akademiya. 2014, 170. (in Russ.)
- [2] Denisov AS. Osnovy formirovaniya ekspluatatsionno-remontnogo tsikla avtomobiley [Fundamentals of forming the operational-repair cycle of vehicles]. Saratov: SGTU. 2013, 352. (in Russ.)
- [3] Asoyan AR, Denisov AS, Zakharov VP. Analiz izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya resursoopredelyayushchikh elementov dizeley KAMAZ v protsesse ekspluatatsii [Analysis of technical condition change of resource-defining elements of KAMAZ diesel engines during operation]. Izvestiya VolgGTU = News of VolgGTU. 2012; 8:32-35. (in Russ.)
- [4] Denisov AS, Kulakov AT, Sibiryakov SV. Eksperimentalnaya otsenka deformatsii vkladyishey podshipnikov kolenchatogo vala dizelya KAMAZ-740 [Experimental assessment of bearing insert deformation in KAMAZ-740 diesel crankshaft]. Vosstanovlenie i uprochnenie detalei mashin [Machine parts recovery and strengthening]. 2001; 1:24-27. (in Russ.)
- [5] Demyanushko IV, Mironova VV, Loginov EM. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya litykh avtomobilnykh koles pri udarnykh nagruzkakh [Study of stress-strain state of cast car wheels under impact loads]. Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie = Mechanical Engineering and Engineering Education. 2017; 1(30):42-49. (in Russ.)