



ХҒТАР 55.43.31
Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2026-154-1-132-148>

Тиімді әдістерді таңдау арқылы TORO-40D шахта өзітөкіштерінің жұмыс қабілеттілігін арттыру

М.Ә. Жуманов¹ , Қ.Д. Байжуманов¹ , Н.С. Камзанов^{2*} ,
Е.Б. Калиев³ , Р.А. Козбагаров³ 

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

²Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы, Қазақстан

³М.Тынышбаев атындағы АЛТ университеті, Алматы, Қазақстан

E mail: ¹mergenamir@mail.ru, ¹kadirbek_79@mail.ru,

^{2*}n.kamzanov@satbayev.university, ³Kaliyev.ye@mail.ru, ³ryctem_1968@mail.ru

Андатпа. «Қазақмыс» корпорациясының жерасты кеніштерінде соңғы жылдары айтарлықтай тоқтап қалулар жиі байқалады. Бұл кеніштерде әртүрлі пневматикалық доңғалақ жетектері бар жоғары өнімді өздігінен жүретін жабдықтардың көптеген түрлері пайдаланылады. Тәжірибе көрсеткендей, жерасты өздігінен жүретін қондырғыларды жөндеудің ескірген әдістері мен құралдарын пайдалану қазіргі өндірістік талаптарға толық сәйкес келмейді және тиімсіз болып отыр. Мұндай бақылау жүйесінің болмауы жабдықтардың күтпеген жерден істен шығуына, өндірістік процестің баяулауына және жөндеу шығындарының артуына әкеледі. Істен шығудың алдын алу үшін белгілі бір жұмыс уақыты өткеннен кейін диагностикалық мәліметтер негізінде әрбір қондырғының болжамды және қалған қызмет ету мерзімін анықтау қажет. Бұл тәсіл техникалық қызмет көрсетуді алдын ала жоспарлауға, апаттық жағдайлардың алдын алуға және жабдықтардың жалпы пайдалану тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Осы мақалада «Қазақмыс» корпорациясының кеніштерінде қолданылатын машиналар бөлшектерінің қалған қызмет ету мерзімін болжауға бағытталған жүргізілген зерттеулердің негізгі нәтижелері қарастырылып, алынған деректердің өндірістік тәжірибеде қолдану мүмкіндіктері талданады.

Түйін сөздер: диагностика, өзітөкіш, доңғалақ редукторы, спектрлік талдау, агрегаттық жөндеу әдісі, ресурс

Кіріспе

Қазіргі уақытта кен өндіру жүргізіліп жатқан «Қазақмыс» корпорациясының № 55, 57, 65, 67 ірі шахталары жаңа үлгідегі кеніштер болып табылады. Бұл шахталардың қазбаларында пневматикалық доңғалақты және шынжыр табанды әртүрлі жетекті, жоғары өнімді, өздігінен жүретін жабдықтардың әр түрлері пайдаланылады. Машиналардың көпшілігінде дизельді жетек және топсалы-буынды рама бар [1-3].

Тәжірибе көрсеткендей, жерасты өздігінен жүретін жабдықтарды пайдалану кезінде ескі әдістер мен құралдарды қолданатын жөндеу жүйесін пайдалану тиімсіз болып шықты. «Қазақмыс» корпорациясының жерасты кеніштерінде технологиялық жабдықтардың едәуір тоқтап тұруы байқалады. Тоқтап тұру ұзақтығы жалпы уақыттың 12%-дан 30%-на дейін ауытқиды. Машиналардың жалпы паркінің (20...30)%-ы үнемі жөндеуде тұрады, қосалқы бөлшектердің жылдық шығыны (15...20)%-ды, ал материалдар – машиналар мен жабдықтардың жалпы құнының (8...10)%-ын құрайды. Жөндеушілердің саны жерасты жұмысшыларының жалпы санының (20...25)%-ын құрайды.

Өздігінен жүретін машиналарды пайдаланудың төмен тиімділігінің негізгі себептерінің бірі – диагностика әдістері мен құралдарын қолдану арқылы әрбір машинаның және оның агрегаттарының техникалық жай-күйін тұрақты бақылау жүйесінің болмауы.



1-сурет. TORO-40D өзітөкіш

Машинаның (агрегаттың) істен шығуына дейінгі жұмыс істеген ресурсының мәні белгілі бір шектерде ауытқитындығына байланысты, осы кезеңде істен шығу ықтималдығы пайда болады. Істен шығуды болдырмау үшін машинаның (агрегаттың) белгілі бір жұмыс істеу уақытында диагностика деректері бойынша болжамды және қалдық ресурсты анықтау қажет. Бұл деректер бойынша агрегаттарды алып тастау немесе машинаны жөндеуге тоқтату мерзімдері белгіленеді. Бұл апаттық жөндеулерді болдырмайды және агрегаттардың жұмысының сенімділігін арттырады. Осылайша, диагностика әдістері мен құралдарын қолдану арқылы машинаның әрбір агрегатының жұмысының сенімділігін арттыра отырып, тұтастай алғанда машинаның жұмысқа

қабілеттілігі артады. Осыған байланысты, заманауи ресурстық диагностикалау әдістері мен құралдарын қолдану арқылы оның агрегаттарының сенімді жұмысын арттыру жолымен машинаның жұмыс қабілеттілігін арттыруға бағытталған зерттеулер өзекті болып табылады.

Жұмыста зерттеу объектісі ретінде планетарлық доңғалақ редукторлары таңдалды. Бұл әр машинада олардың төртеуден болуымен, ал Жезқазған шахталарында 68 TORO-40D өзітөккіш (1-сурет) және 20 TORO-501 тиеу-тасымалдау машинасы жұмыс істейтіндігімен түсіндіріледі. Сонымен қатар, бұл редукторлардың бөлшектері мен құрастыру бірліктері кенеттен өзгертін динамикалық жүктемелерде жұмыс істейді және жиі шамадан тыс жүктеледі. Олардың салыстырмалы түрде төмен төзімділігі бар, бұл ресурстық параметрлерді, жөндеу әсерлерінің еңбек сыйымдылығы мен құнын есептеу үшін статистикалық материалды тез жинауға мүмкіндік береді, бұл жөндеу нормативтерін және доңғалақ редукторларын жөндеудің жедел кестелерін әзірлеу үшін қажет [1-4].

Әдіснама

Машиналар мен жабдықтарды диагностикалау әдістері мен құралдарының көмегімен жұмысқа қабілетті жағдайда ұстау саласындағы зерттеулер авиацияда, теміржол және автомобиль көлігінде, машина жасау зауыттарында жүргізіледі.

Мұндай зерттеулер тау-кен машиналары мен жабдықтары үшін жүргізілмеген. Аталған салалардағы әзірлемелерді тау-кен өнеркәсібіне көшіру пайдаланудың ерекше шарттарына және осы машиналардың конструкциясының айрықша ерекшеліктеріне байланысты мүмкін емес.

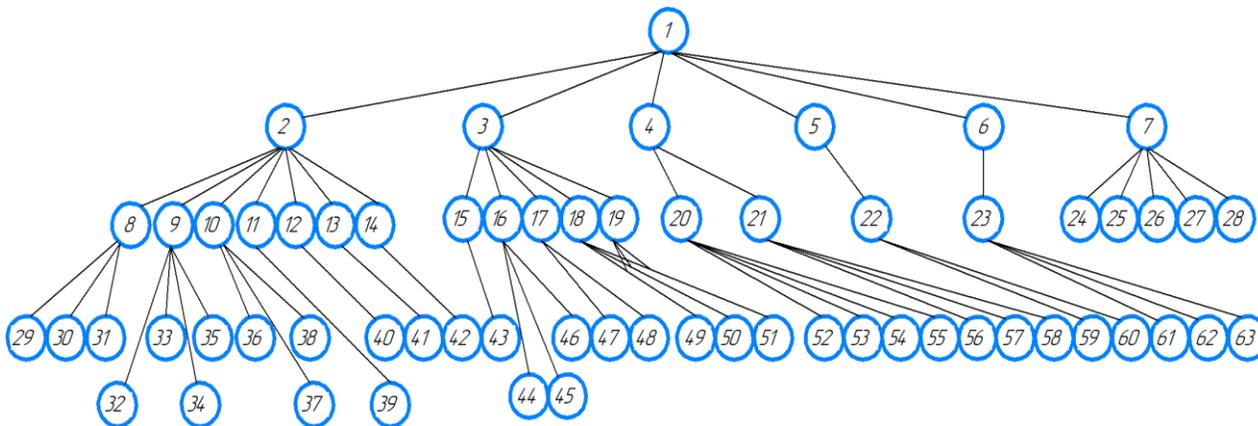
Жұмыста алынбалы агрегаттарды диагностикалау әдістері мен құралдарын және айналым қорының қорларын басқару теориясын қолдану арқылы пневматикалық доңғалақты өздігінен жүретін дизельді машиналардың жұмыс қабілеттілігін арттыру бойынша зерттеулердің нәтижелері баяндалған. Зерттеу объектісі ретінде TORO-40D өзітөккіштердің доңғалақ редукторлары алынды, олар жалпы май ваннасы бар агрегаттардың типтік өкілдері ретінде және өзітөккіштер мен тиегіштерде олардың едәуір (240-тан астам) санына байланысты таңдалды. Отандық және шетелдік тәжірибе машиналар мен жабдықтарды диагностикалау процестерін енгізу олардың жұмыс қабілеттілігін арттырудың маңызды құралдарының бірі болып табылатынын көрсетеді. Істен шығулардың уақтылы алдын алу олардың санын азайтуға және, соның салдарынан, машиналардың тоқтап тұруын қысқартуға әкеледі, олардың жөндеу аралық ресурсы толығырақ пайдаланылады [2,4,5].

Техникалық диагностика реттеу, баптау, жөндеу және басқа да профилактикалық жұмыстарды уақтылы орындау есебінен машиналарды пайдаланудың өнімділігі мен үнемділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Күрделі жүйелердің дайындығы тек істен шығу қарқындылығының өсуімен ғана емес, сонымен қатар техникалық құрылғыларды және атап айтқанда, машиналарды қалпына келтіру ұзақтығының артуымен де нашарлайтыны белгілі. Осыған байланысты, қалпына келтіру сипаттамаларын жақсарту нәтижесінде машиналардың жұмыс қабілеттілігін арттыру міндеті үлкен өзектілікке ие болады: істен шыққан элементті іздеу уақыты және

істен шығуды жою уақыты.

Белгілі болғандай, қазіргі заманғы жөндеу жүйелері агрегаттық жөндеу әдісіне (АЖӘ) негізделген. Негізгі технологиялық жабдықты АЖӘ-ге көшірудің негізгі шарты – машиналарды өзара алмастырылатын алынбалы агрегаттарға, құрастыру бірліктеріне іс жүзінде бөлшектеу. Машиналарды бөлшектеу пайдалану жағдайында машиналардың жұмыс қабілеттілігін қалпына келтірудің ең үнемді жолын қамтамасыз ететін алынбалы элементтердің осындай номенклатурасын әзірлеуді мақсат етеді. Демек, әрбір машина үшін алынбалы агрегаттардың оңтайлы номенклатурасы тұжырымдалуы тиіс (2-сурет).



2-сурет. TORO-40D құрылымдық-функционалдық сұлбасы

1 – автокөлік; 2 – қозғалтқыш; 3 – трансмиссия; 4 – жүргізу механизмі; 5 – рама; 6 – кузовты басқару механизмі; 7 – электр жабдықтары; 8 – майлау жүйесі; 9 – қоректендіру жүйесі; 10 – салқындату жүйесі; 11 – каталикалық нейтрализатор; 12 – поршеньдік-цилиндрлік топ; 13 – иінді-шатунды механизм; 14 – газ тарату механизмі; 15 – беріліс қорабы; 16 – гидротрансформатор; 17 – кардандық беріліс; 18 – алдыңғы ось; 19 – артқы ось; 20 – рульдік басқару; 21 – тежегіш жүйесі; 22 – жартылай рама топсасы; 23 – рульдік басқарудың гидрожүйесі; 24 – генератор; 25 – стартер; 26 – аккумуляторлық батарея; 27 – кернеу реттегіші; 28 – фаралар; 29 – сүзгі элементтері; 30 – гидронасос; 31 – майлы радиатор; 32 – жоғары қысымды отын насосы; 33 – отынды алдын ала қыздырғыш; 34 – отын сүзгілерінің элементтері; 35 – ауа тазартқыш; 36 – су насосы; 37 – радиатор; 38 – термостат; 39 – түтін газдарын каталикалық тазартқыш; 40 – блок-цилиндр; 41 – иінді білік (жинағымен); 42 – бөліп-тарату білігі (жинағымен); 43 – фрикциондар; 44 – сорғы тегершігі; 45 – турбиналық дөңгелек; 46 – реактор; 47 – аралық кардандық беріліс; 48 – жетекші доңғалақтардың кардандық берілісі; 49 – дифференциал; 50 – конустық цилиндрлік беріліс; 51 – ступица; 52 – бұрылыс цилиндрлері; 53 – бұру тізбегі; 54 – клапандық таратушы; 55 – рульдік басқару блогы («орбитрол»); 56 – гидроаккумуляторлар; 57 – тежегіш крандары; 58 – тұрақ тежегішінің цилиндрлері; 59 – артқы жартылай ось; 60 – гидронасос; 61 – көтеру цилиндрлері; 62 – корпус көтергіш цилиндр; 63 – корпусның гидравликалық жүйесінің негізгі дистрибьюторы

АЖӘ-нің негізгі артықшылығы – машинадағы алынбалы агрегаттардың жөнделмейтіндігінде. Ақаулылардың орнына машинаға айналым қорынан агрегаттар орнатылады. Демек, жекелеген агрегаттарды дайындау және жөндеу сапасын арттыру есебінен машинаның жұмыс қабілеттілігін арттыруға болады.

Жалпы май ваннасында жұмыс істейтін әрбір бөлшектің құрылымдық параметрлері таңдалды, олардың шекті мәндеріне жеткенде редуктор күрделі жөндеуге ағытылады және оңтайлы диагностикалау әдісі қолданылады.

Маймен жұмыс істейтін бөлшектер мен құрастыру бірліктерінің көпшілігін диагностикалаудың басым әдісі майды спектрлік талдау болып табылады.

АЖӘ кезінде тозу дәрежесі тек сол бөлшек пен шекті тозуы кезінде агрегат жөндеуге алынып тасталатын құрастыру бірліктерінің түйісетін бөлшектері үшін ғана анықталады. Эксперименттік зерттеулер кезінде бір май ваннасында жұмыс істейтін доңғалақ редукторының әрбір бөлшегінің химиялық құрамы мұқият зерттелді (1-кестені қараңыз).

Майды спектрлік талдауды пайдалану кезінде май сынамаларын алу өте жауапты операция болып табылады. Талдауға арналған эталондар TORO-40D өзінтөккіштердің агрегаттарында (гидромеханикалық беріліс қорабы, көпірлер, доңғалақ редукторлары және т.б.) қолданылатын жаңа мотор майы негізінде дайындалды [5-7].

1-кесте. TORO-40D өзінтөккіштердің доңғалақ беріліс бөліктерінің химиялық құрамы

№	Бөлшектердің атауы	Саны	Элементтердің орташа құрамы, %					
			C	Mn	Cr	Cu	Si	Ni
1	Күн тегершігі	1	0.5	0.6	0.2	0.3	0.3	0.3
2	Жетектегі тегершік	1	0.4	0.6	0.6	0.3	0.3	1.2
3	Сателлит	3	0.5	0.6	-	-	0.3	0.3
4	Сателлит бармағы	3	0.4	0.6	0.9	0.3	0.3	0.3
5	Жартылай өс	1	0.5	0.6	0.2	0.3	0.3	0.3
6	Шұлық	1	0.1	0.4	0.7	2.9	-	-
7	Жетектегіш	1	0.3	0.6	0.2	0.3	0.3	-
8	Жартылай өс сақинасы	1	0.4	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3

Май сынамалары редуктор үшін маңызды кезеңдерде алынды: іске қосылғаннан кейін, май қосқаннан кейін, май ауыстырғаннан кейін, жалпы ваннада жұмыс істейтін бөлшектердің техникалық ресурсының ең төменгі мәндерінде редукторды алып тастау алдында. Май сынамаларының талдауы МФС-7 қондырғысымен және айнымалы ток доғасының генераторы, штатив, полухроматор және электронды-тіркеу қондырғылары,

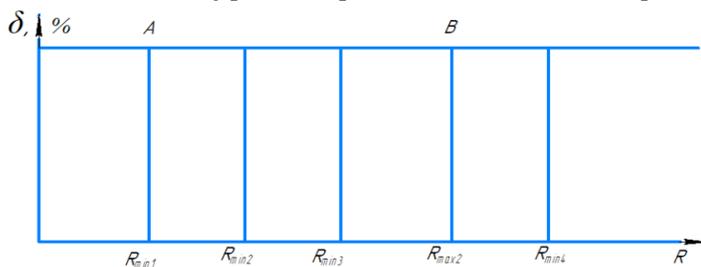
зертханалық микроаналитикалық үлгідегі таразылар және т.б. кешеніндегі сынамаларды дайындауға арналған қондырғылармен жабдықталған арнайы зертханада жүргізілді.

Нәтижелер мен талқылаулар

Майды спектрлік талдау бойынша диагностиканы енгізу тозатын беттердің бөлшектерін өлшеу, жиынтық жұмыс істеу уақытынан тозуды алу үшін өлшеу деректерін өңдеу $\delta = f(\sum R)$ және тозудың сызықтық шамасынан майдағы тозған материалдың массасын алу бойынша $m = F(\delta)$ үлкен дайындық жұмыстарын жүргізуді талап етті. Бұл тәуелділіктерді тезірек алу үшін ең аз санды өлшеулер жүргізу қажет болды, яғни, деректерді тек редуكتور күрделі жөндеуге алынып тасталатын бөлшектер үшін ғана алу керек болды.

Жұмыста ресурсты бөлудің ықтималдық теориясы қабылданды, онда әрбір жөндеу бірлігінің минималды (R_{\min}), орташа (\bar{R}) және максималды (R_{\max}) ресурс мәндері, оның таралу заңы мен параметрлері бар. Редуكتورдың күрделі жөндеуге алынуына себеп болатын бөлшектерге ресурсының мәні минималды болатын бөлшектер жатады $R_{\min} \leq R_{\max}$, мұнда R_{\max}^{\min} – максималды ресурстың минималды мәні. 3-суретте 1, 2, 3, 4-бөлшектер үшін $R_{\min i}$ және $R_{\max i}$ орналасу графигі берілген [5-7].

А ($R_{\min 1}$)-дан В ($R_{\min 2}$)-ға дейінгі аралықта 1, 2, 3-бөлшектердің істен шығу және редуكتورдың жөндеуге алыну ықтималдығы бар. $R_{\min 2}$ жұмыс істеу уақытына жеткенде 2-бөлшектің істен шығу және редуكتورдың жөндеуге алыну ықтималдығы 100%-ға жетеді. $R_{\min 1} \leq R_{\max i}^{\min}$ болатын бөлшектер үшін аспаптық өлшеулер арқылы есептеу үшін $\delta \leq (\sum R)$ және $\delta = F(m)$ деректері алынады. 3-суретте бұл 1, 2, 3, 4-бөлшектерге қатысты.



3 – сурет. Ресурс параметрлерін алу үшін бөлшектерді таңдау

Ресурс мәндерін бөлудің ықтималдық теориясы кезінде тозудың шекті шамасы R-ден $R_{\max i}$ -қа дейінгі шектерде әртүрлі жұмыс істеу уақытында орын алуы мүмкін. Бұл жағдайда редуكتورдың таңдалған бөлшектер тобы үшін легирлеуші қоспаларды анықтау қажет, олардың майдағы мазмұны бойынша әрбір бөлшектің тозу дәрежесі туралы қорытынды жасалады.

Ең көп еңбекті қажет ететін міндет – редуكتور картеріндегі легирлеуші қоспалардың

массасын тозу дәрежесіне байланысты бөлшектер арасында бөлу. Бұл жағдайда әрбір бөлшек үшін айырым белгілерін табу қажет, олар бойынша майдағы белгілі бір компоненттердің оған тиесілі екендігі анықталады. 2-кестеде редуктордың жөндеуге алынуына себеп болатын төрт бөлшектің химиялық құрамы келтірілген.

2 - кесте. TORO-40D автоөзітөккіштің доңғалақ беріліс бөліктерінің орташа химиялық құрамы

№	Бөлшектердің атауы	Саны	Элементтердің орташа құрамы, %					
			C	Mn	Cr	Cu	Si	Ni
1	Күн тегершігі	1	0.5	0.6	0.2	0.3	0.3	0.3
2	Жетектегі тегрешік	1	0.4	0.6	0.6	0.3	0.3	1.2
3	Сателлит	3	0.5	0.6	-	-	0.3	0.3
4	Сателлит бармағы	3	0.4	0.6	0.9	0.3	0.3	0.3

Кесте негізінде әрбір қоспаның мөлшері басқа қоспалардың мөлшерімен байланысты деп айтуға болады. Осы байланысты пайдалана отырып, теңдеулер жүйесі құрастырылады. Негізгі легирлеуші материал ретінде Mn алынды, себебі ол бөлшектердің материалдарында үлкен мәнде және тең мөлшерде кездеседі. Есептеуді жеңілдету үшін теңдеулерді төрт компонент (Mn, Cr, Ni, Cu) бойынша құрастырамыз және олардың массасын Mn эквивалентіне теңестіреміз:

$$\sum Mn_j = Mn_1 + Mn_2 + Mn_3 + Mn_4, \quad (1)$$

мұндағы Mn_j , Mn_1 , Mn_2 , Mn_3 , Mn_4 , 1, 2, 3, 4 бөлшектерінің тозуынан пайда болған майдағы марганецтің мөлшері, г.

$$\sum Mi_j = Ni_1 + Ni_2 + Ni_3 + Ni_4, \quad (2)$$

мұндағы $\sum Mi_j$ – сынама алу сәтінде редутор картеріндегі никельдің жалпы массасы, г; Ni_1 , Ni_2 , Ni_3 , Ni_4 – 1, 2, 3, 4 бөлшектерінің тозуынан пайда болған майдағы никельдің мөлшері, г.

Mi -ді эквивалентті Mn_i -ге алмастырамыз. 2-кестеге сәйкес 1-бөлшекте Mn мөлшері Mi -ден 2 есе көп, 3 және 4-бөлшектерде Mn-ден 2 есе аз. Сонда (2) теңдеуі келесі түрге келеді:

$$\sum Ni = 0.5Mn_1 + 2Mn_2 + 0.5Mn_3 + 0.5Mn_4, \quad (3)$$

Осылайша $\sum Cr$ және $\sum Cu$ үшін теңдеулер құрастырамыз:

$$\sum Cr = 0.33Mn_1 + 2Mn_2 + 1.5Mn_4, \quad (4)$$

$$\sum Cu = 0.5Mn_1 + 0.5Mn_2 + 0.5Mn_4. \quad (5)$$

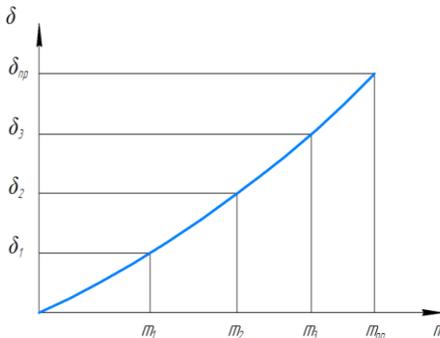
Спектрлiк талдау деректерi: $\sum Mn = 240г$; $\sum Ni = 140г$; $\sum Cr = 80г$; $\sum Cu = 80г$.

(3) формуласынан $Mn_1 = 2\sum Ni - 4Mn_2 - Mn_3 - Mn_4$ табамыз. (1) формуласы бойынша

$$Mn_2 = \frac{2\sum Ni - \sum Mn}{3} = 13г \quad \text{табамыз.}$$

Осылайша $\sum Mn_1 = 132г$; $\sum Mn_3 = 79г$; $\sum Mn_4 = 16г$ табамыз. Осы деректердi пайдалана отырып, $\delta = F(m)$ тәуелдiлiгi бойынша әрбiр кезектi диагностикадан кейiн әрбiр бөлшектiң тозу шамасы δ анықталады.

Барлық аспаптық өлшеулер тау-кен-шахта жабдықтары зауытында (ТКШЖЗ) редукторды жөндеуге бөлшектеу кезiнде және бөлшектердi ақауын анықтау кезеңiнде жүргiзiлдi. Тозатын беттердiң сызықтық өлшемдерiн өлшеу жұмыста әзiрлеген технологиялық карталарды пайдалану арқылы жүргiзiледi. Тозған материалдың массасын өлшеу негiзiнен зерттелетiн бөлшектi өлшеу арқылы жүргiзiледi.



4 - сурет. δ тозу мәнінің m тозған металл массасына тәуелдiлiгi

Бөлшектiң тозған материалының жиынтық массасы m_i келесi математикалық формула негiзiнде есептеледi: $m_i = m_n - m_b$, мұндағы көрсеткiштердiң мәні: m_n - бөлшектiң номиналды (бастапқы) массасы. Бұл көрсеткiш бұйымның техникалық паспортынан немесе зауыттық жұмыс сызбаларынан нақтыланады; m_b - пайдалану мерзiмiнен кейiнгi немесе сынақтан өткен бөлшектiң iс жүзiндегi (өлшенген) массасы.

Зерттеу барысында алынған барлық өлшеу деректерi мұқият статистикалық өңдеуден өткiзiледi. Тәжiрибелiк жұмыс нәтижесiнде таңдап алынған 8 бiрдей бөлшектiң әрқайсысы

үшін жеке көрсеткіштер анықталып, $\delta = F(R)$ түріндегі функционалдық тәуелділіктер құрастырылды (4-сурет).

Бұл графикалық деректер тозу шамасының жоғалтқан металл массасына тікелей қатыстылығын және бөлшектің пайдалану ресурсын нақты анықтауға мүмкіндік береді. 4-суретте көрсетілгендей, металл массасының кемуі мен механикалық тозудың арасындағы пропорционалды байланыс бөлшектердің беріктік сипаттамасын бағалаудың негізгі критерийі болып табылады.

Шекті тозу δ_{\max} дайындаушы зауыттың деректері бойынша алынды. δ_{\max} және диагностикалау арқылы алынған R жұмыс істеу уақытындағы тозу шамасы бойынша болжамды ресурс мына формула бойынша анықталды:

$$R_{\text{for}} = R \cdot \sqrt[n]{\frac{\delta_{\max}}{\delta}}, \text{ машина-сағат} \quad (6)$$

мұндағы R – өлшеу кезеңіндегі жұмыс істеу уақыты; n – тозу түріне байланысты болатын коэффициент, анықтамалықтарда келтіріледі.

Сателлиттер мысалында δ тәуелділігі легирлеуші қоспалардан $\delta = f(m_{Cr})$ және $\delta = f(m_{Ni})$ және т.б. алынды. Әрбір жұмыс істеу уақыты бойынша және белгілі тозу шамалары кезінде $\sum m_{Ni}$, $\sum m_{Cr}$, $\sum m_{Mn}$ және т.б. сомалары табылды.

$$\begin{aligned} \sum m_{Cr} &= m_{Cr_1} + m_{Cr_2} + \dots + m_{Cr_n}; \\ \sum m_{Ni} &= m_{Ni_1} + m_{Ni_2} + \dots + m_{Ni_n}; \\ &\dots\dots\dots \\ \sum m_{Mn} &= m_{Mn_1} + m_{Mn_2} + \dots + m_{Mn_n}, \end{aligned}$$

мұндағы $m_{Ni_1}, \dots, m_{Ni_n}, m_{Cr_1}, \dots, m_{Cr_n}, m_{Mn_1}, \dots, m_{Mn_n}$ – 1-ден n -ші бөлшекке дейінгі $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ тозуы кезіндегі никель, хром, марганец және басқа легирлеуші қоспалардың массасы. Осылайша, әрбір жұмыс істеу уақыты үшін барлық 8 бөлшектің тозуынан майда әрбір компоненттің қанша болуы керектігі есептеледі. Осы деректер бойынша доңғалақ редукторының әрбір бөлшегі үшін ресурс мәндері, таралу заңдары және олардың параметрлері анықталады.

Картердің ағызылған және жұмыс істеп тұрған майларындағы легирлеуші қоспалардың жалпы массасын анықтау әдісі ұсынылды. Бұл масса редуктор бөлшектерінің тозған материалының массасына сәйкес келуі тиіс. Әдістің мәні келесідей:

1. Картердегі майдың ең төменгі деңгейіне жеткенде сынама алынады;
2. Сынама алғаннан кейін максималды белгіге дейін май құйылады;

3. Құйылатын майдың көлемі $V_y = V_{\max} - V_{\min}$, мұнда V_{\max} , V_{\min} – картердегі майдың максималды және минималды көлемдері.

4. Бөлшектердің тозуынан пайда болған және ағып кеткен маймен бірге редуктордан шығарылған компоненттердің жалпы массасы мына формула бойынша есептеледі:

$$\sum m_{Cr} = m_{Cr_1} + m_{Cr_2} + \dots + m_{Cr_n};$$

$$\sum m_{Mn} = m_{Mn_1} + m_{Mn_2} + \dots + m_{Mn_n} \text{ және т.б.}$$

мұндағы $m_{Cr_1}, m_{Cr_2}, \dots, m_{Cr_n}, m_{Mn_1}, m_{Mn_2}, \dots, m_{Mn_n}$ – сәйкесінше Cr, Mn және т.б. компоненттерінің массасы, ағып кеткен маймен картерден шығарылған және 1, 2 ... n рет май қосқаннан кейін алынған.

5. $\delta = f(m_i)$ тәуелділіктерін алу үшін ескерілуі қажет әрбір легирлеуші қоспаның жалпы массасы мына теңдеуден табылады:

$$\sum M_i = M_i^z + M_i^d + M_i^b,$$

мұндағы M_i^z, M_i^d – ауыстыру және ағып кету кезінде картерден шығарылған i - ші легирлеуші қоспаның жалпы массасы; M_i^b – картерде жұмыс істеп тұрған майдан соңғы сынама алу кезіндегі i -ші легирлеуші қоспаның массасы. Сонда $\delta = f(\sum M_{Cr})$.

Диагностикалау мерзімділігі (τ) диагностикалау мен жөндеуге кететін меншікті шығындар минималды болатындай етіп таңдалуы қажет. Диагностикалау мерзімділігі жалпы түрде мына формула бойынша анықталады:

$$\tau = \mu \cdot R, \text{ маш. сағат} \quad (7)$$

мұндағы μ – оңтайлылық коэффициенті, оңтайлы мерзімділіктің істен шығулар арасындағы орташа жұмыс істеу уақытынан қанша есе артық немесе кем екенін көрсетеді.

Істен шығуға дейінгі жұмыс істеу уақытының экспоненциалды таралу заңы кезінде оңтайлылық теңдеуі келесі түрге ие болады:

$$e^{-\lambda\tau} - \lambda\tau - 1 - \frac{C_d}{C_a} = 0, \quad (8)$$

мұндағы $\lambda = \frac{1}{R}$ – істен шығулар ағынының параметрі.
Вейбулл таралу заңы кезінде:

$$\frac{\alpha\beta \cdot \tau^{\beta-1}}{e^{-\alpha\tau^\beta}} \int e^{\alpha R^\beta} dR + \alpha\tau^\beta - \frac{C_{d.o}}{C_A} = 0 \quad (9)$$

мұндағы α, β – таралу параметрлері.

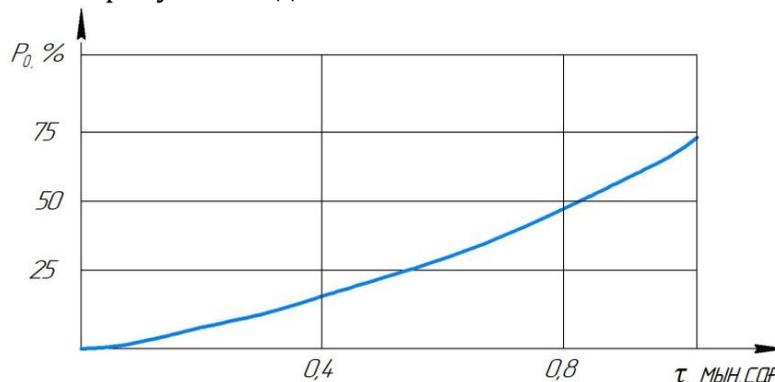
5-суретте техникалық нысанның нақты белгіленген жұмыс режимі мен қоршаған ортаның пайдалану жағдайларына сәйкес, диагностикалау шараларының өткізілу жиілігіне байланысты апаттық жөндеу ықтималдығының өзгеру динамикасы көрсетілген. Графиктік мәліметтер кезекті тексерулер арасындағы уақыт аралығының ұзаруы мен кенеттен орын алатын істен шығу жағдайларының арасындағы тікелей корреляцияны айқын бейнелейді.

Бұл тәуелділік келесі маңызды аспектілерді ашады:

Диагностикалау мерзімділігінің әсері: Тексерулер арасындағы интервалдың ұлғаюы жабдықтың жай-күйін бақылау деңгейін төмендетіп, апаттық жөндеу жұмыстарының туындау қаупін едәуір арттырады;

Пайдалану тиімділігі: Суреттегі қисықтар техникалық қызмет көрсетудің оңтайлы кестесін құру үшін негіз болып табылады, бұл өндірістік шығындарды азайтуға және техниканың сенімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді;

Ықтималдық болжамы: Алынған заңдылықтар арқылы нақты пайдалану жағдайларында жабдықтың істен шығу қаупін алдын ала болжап, профилактикалық шараларды уақтылы жоспарлауға болады.



5 - сурет. Жиі диагностикалау мен авариялық жөнделудің ықтималдылық тәуелділігі

Осылайша, 5-суретте бейнеленген жиі диагностикалау мен авариялық жөндеудің ықтималдылық тәуелділігі техникалық жүйелердің қауіпсіздік стратегиясын қалыптастыруда шешуші рөл атқарады.

Картерден май сынамалары келесі жағдайларда алынады: бұйымның іске қосылуы аяқталғаннан кейін, әрбір май қосу және ауыстырудан кейін, сондай-ақ май ваннасында жұмыс істейтін жекелеген бөлшектердің тозу дәрежесін анықтау үшін.

Майды іске қосу, қосу және ауыстыру мерзімділігі пайдалану жөніндегі нұсқаулықта көрсетілген. Сынама алудың мерзімділігі мен саны оңтайландырылады.

Техникалық сараптама жүргізу барысында, ең алдымен, болжамды қалдық ресурсы $R_{\text{при}}$

міндетті түрде есептелуі қажет редуктордың негізгі бөлшектері мен жеке құрастыру бірліктерінің тізімі айқындалады. Бұл кезеңде «сенімділіктің әлсіз буыны» принципі қолданылады: яғни, жалпы агрегаттың істен шығуына бірінші кезекте себеп болуы мүмкін, максималды ресурсы R_{\max}^{\min} ең аз мәнге ие болатын бөлшектер мен тораптар ерекше мұқияттылықпен таңдап алынады (6-суретті қараңыз).

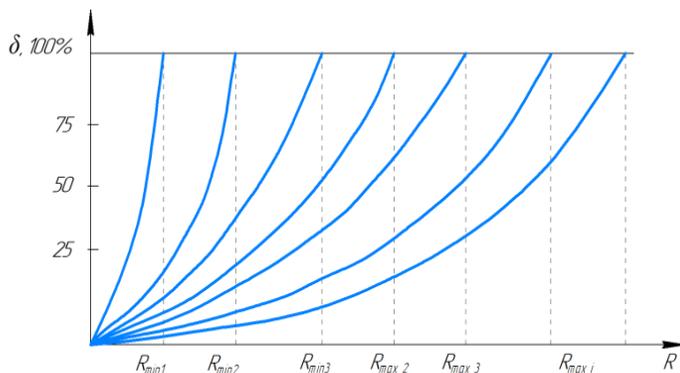
Бұл үдерістің маңыздылығы келесі факторлармен негізделеді:

Сенімділікті бағалау: Ресурс мөлшері төмен бөлшектерді (мысалы, тісті дөңгелектер, мойынтіректер немесе тығыздағыштар) алдын ала анықтау бүкіл механизмнің апатсыз жұмыс істеу уақытын дәл болжауға мүмкіндік береді;

Диагностиканың оңтайлы параметрі: 6-суретте көрсетілгендей, диагностикалық шараларды өткізудің ең тиімді уақыт аралығы мен зерттелетін үлгілердің (сынамалардың) қажетті саны нақты статистикалық деректер негізінде белгіленеді;

Экономикалық тиімділік: Бөлшектердің тозу қарқындылығын бақылау арқылы жоспардан тыс жөндеу шығындарын азайтуға және техникалық қызмет көрсету кестесін оңтайландыруға жағдай жасалады.

Осылайша, диагностиканың оңтайлы уақытын дұрыс таңдау және алынған үлгілер санын нақты белгілеу редуктордың қызмет ету мерзімін ұзартудың негізгі кепілі болып табылады.



6 - сурет. Диагностиканың оңтайлы уақытын және алынған үлгілердің санын белгілеу

Графикте (6-сурет) δ , % – бөлшектердің тозуы пайызбен; R – машинаның жұмыс істеу уақыты маш.сағ.; $R_{\min 1}, R_{\min 2}, R_{\min 3}$ – 1, 2 және 3-ші бөлшектердің минималды ресурс мәндері, $R_{\max 1}, R_{\max 2}, R_{\max 3}$ – олардың максималды мәндері.

Агрегаттың жұмыс істеу уақыты $R_{\max 2}$ -ге жеткенде, соңғысы алынып, күрделі жөндеуге жіберілуі керек. $R_{\min 1}$ -ден $R_{\max 2}$ -ге дейінгі диапазонға $R_{\min 1}, R_{\min 2}, R_{\min 3}$ мәндері түседі.

Қорытынды

Агрегаттық жөндеу әдісі кезінде өздігінен жүретін тау-кен машиналарының жұмыс қабілеттілігін арттыру олардың агрегаттарының сенімді жұмысын ресурстық

диагностикалау әдістері мен құралдары арқылы арттыру жолымен қол жеткізіледі. Бұл майды спектрлік талдау әдістері мен құралдарының көмегімен істен шығулардың алдын алу арқасында апаттық жөндеулерге кететін шығындарды және осы жөндеулердегі машиналардың тоқтап тұруынан болатын шығындарды азайту арқылы қол жеткізілді, бұл агрегаттың алынғанға дейінгі болжамды және қалдық ресурсын анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл жабдықтар кен өндіру процесінде маңызды рөл атқарады, алайда олардың сенімді әрі үздіксіз жұмыс істеуі техникалық қызмет көрсету мен жөндеу жүйесінің тиімділігіне тікелей байланысты. Тәжірибе көрсеткендей, жерасты техникаларын жөндеудің дәстүрлі әдістері қазіргі өндірістік талаптарға толық сәйкес келмейді және тиімділігі төмен.

Өздігінен жүретін жабдықтардың тиімділігінің төмендеуінің негізгі себептерінің бірі – машиналар мен олардың негізгі тораптарының техникалық жағдайын тұрақты бақылауға мүмкіндік беретін диагностикалық әдістердің жеткіліксіз қолданылуы. Мұндай бақылаудың болмауы жабдықтардың күтпеген жерден істен шығуына, өндірістік процестің баяулауына және жөндеу шығындарының артуына әкеледі.

Сондықтан диагностикалық деректер негізінде қондырғылардың болжамды және қалған қызмет ету мерзімін анықтау техникалық қызмет көрсетуді жоспарлауға, апаттардың алдын алуға және жабдықтарды пайдалану тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Авторлар қосқан үлесі

М.Ә. Жұманов – зерттеу тұжырымдамасы мен жүйе архитектурасын әзірлеу, мақаланы жазу, нәтижелерді интерпретациялау, мақаланың жариялауға арналған соңғы нұсқасын бекіту, деректердің тұтастығы мен дұрыстығына жауапкершілік;

Қ.Д. Байжуманов – деректерді жинау, эксперименттік жұмыстарды жүргізу, нәтижелерді интерпретациялау;

Н.С. Камзанов – деректерді жинау, нәтижелерді талдау, мақаланың жекелеген бөлімдерін жазу;

Е.Б. Калиев – деректерді жинау, нәтижелерді интерпретациялау;

Р.А. Козбагаров – деректерді жинау, нәтижелерді интерпретациялау.

Барлық авторлар мақаланың соңғы нұсқасымен танысып, оны мақұлдады.

Әдебиеттер тізімі

1. Голик В.И. Подземная разработка рудных месторождений. Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. ISBN 978-5-9729-0793-9.-кітап
2. Анушенков А.Н., Ахпашев Б.А., Долков Е.П. Подземная геотехнология. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2017. ISBN 978-5-7638-3725-4.-кітап
3. Шакенов А., Сладковский А., Столповских И. Влияние состояния автомобильных дорог на срок службы шин карьерного самосвала. Научный вестник Национального горного университета. 2022, 6, р. 25-29. ISSN 2071-2227, eISSN 2223-2362. Доступно в: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/025>. - мақала

4. Сладковский А., Утегенова А., Колга А. Д., Гавришев С. Е., Столповских И., Таран И. Повышение эффективности использования самосвалов в условиях работы на открытых горнодобывающих предприятиях. Научный вестник Национального горного университета 2019, 2, р. 36-42. ISSN 2071-2227, eISSN 2223-2362. Доступно в: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-2/8>.- мақала
5. Kyrgyzbay B., Zhumanov M., Kaliyev Y., Kamzanov N., Baikenzhe N., Kozbagarov R. Predicting residual life of TORO-40D units using the oil spectral analysis method. Communications - Scientific letters of the University of Zilina. 2025, 27(3), p. B208-B215, Available online: DOI:10.26552/com.C.2025.040-мақала
6. Rakhmangulov A., Burmistrov K., Osintsev N. Multi-criteria system's design methodology for selecting open pits dump trucks. Sustainability. 2024, 16(2), 863. eISSN 2071-1050. Available from: <https://doi.org/10.3390/su16020863>- мақала
7. Bodziony, P.; Kasztelewicz, Z.; Sawicki, P. The problem of multiple criteria selection of the surface mining haul trucks. Archives of Mining Sciences. 2016, 61(2), p.223-243. ISSN: 0860-700, eISSN: 1689-0469. Available online: DOI:10.1515/amsc-2016-0017 мақала
8. Гудков А.Г., Кузнецов В.В. Диагностика горных машин и оборудования. – Москва: Недра, 2019. – 312 с
9. Тарасенко А.П., Лобанов Д.В. Надежность и техническая диагностика горных машин. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 256 с
10. Кравченко В.И. Техническое обслуживание и ремонт горного оборудования. – Москва: Горная книга, 2018. – 280 с
11. Gupta S., Kumar U. Maintenance Engineering and Management of Mining Machinery. – CRC Press, 2021. – 340 p
12. Mobley R.K. An Introduction to Predictive Maintenance. – 3rd ed. – Elsevier, 2020. – 432 p
13. Jardine A.K.S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2006. – Vol. 20. – P. 1483–1510
14. Lei Y., Li N., Guo L., Li N., Yan T., Lin J. Machinery health prognostics: A systematic review from data acquisition to remaining useful life prediction // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2018. – Vol. 104. – P. 799–834
15. Randall R.B. Vibration-based Condition Monitoring. – John Wiley & Sons, 2011. – 320 p

**М.А. Жуманов¹, К.Д. Байжуманов¹, Н.С. Камзанов^{2*}, Е.Б. Калиев³,
Р.А. Козбагаров³**

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.

Сатбаева, Алматы, Казахстан

³АЛТ Университет имени М.Тынышпаева, Алматы, Казахстан

Повышение работоспособности шахтных самосвалов TORO-40D путем выбора рациональных методов

Аннотация. В подземных рудниках корпорации «Казакхмыс» в последние годы всё чаще наблюдаются значительные простои. На этих рудниках используется большое количество высокопроизводительного самоходного оборудования с различными пневмоколёсными приводами. Практика показывает, что применение устаревших методов и средств ремонта подземных самоходных установок не в полной мере соответствует современным производственным требованиям и является неэффективным. Одной из основных причин снижения эффективности самоходного оборудования является недостаточное использование диагностических методов и средств, позволяющих осуществлять непрерывный контроль технического состояния каждой машины и её основных узлов. Отсутствие такой системы контроля приводит к внезапным отказам оборудования, замедлению производственного процесса и увеличению затрат на ремонт. Для предотвращения отказов после определённого времени работы необходимо на основе диагностических данных определять прогнозируемый и остаточный срок службы каждой установки. В данной статье рассматриваются основные результаты проведённых исследований, направленных на прогнозирование остаточного срока службы деталей машин, применяемых на рудниках корпорации «Казакхмыс», а также анализируются возможности использования полученных данных в производственной практике.

Ключевые слова: диагностика, автосамосвал, колесный редуктор, спектральный анализ, агрегатный метод ремонта, ресурс оборудования

**M.A. Zhumanov¹, K.D. Baizhumanov², N.S. Kamzanov^{3*}, Ye.B. Kaliyev⁴,
R.A. Kozbagarov⁵**

^{1,2}Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

³Kazakh National Research Technical University, Republic of Kazakhstan

^{4,5}Mukhametzhn Tynyshbayev ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Improving the performance of TORO-40D mining dump trucks by selecting rational methods

Abstract. In recent years, significant downtime has been increasingly observed in the underground mines of the Kazakhmys Corporation. A large number of high-performance self-propelled machines with various pneumatic wheel drives are used in these mines. Practice shows that the use of outdated methods and tools for repairing underground self-propelled equipment does not fully meet modern production requirements and is therefore inefficient. One of the main reasons for the reduced efficiency of self-propelled equipment is the insufficient use of diagnostic methods and tools that enable continuous monitoring of the technical condition of each machine and its main components. To prevent failures, after a certain period of operation, it is necessary to determine the predicted and remaining service life of each unit based on diagnostic data. This article presents the main results of studies aimed at predicting the remaining service life of machine components used in the mines of Kazakhmys Corporation, and analyzes the possibilities of applying the obtained data in industrial practice.

Keywords: diagnostics, dump truck, wheel gearbox, spectral analysis, aggregate repair

method, resource, equipment

References

1. Golik V.I. Podzemnaya razrabotka rudnykh mestorozhdeniy [Underground Mining of Ore Deposits]. Vologda: Infra-Inzheneriya, 2022. ISBN 978-5-9729-0793-9. [in Russian].
2. Anushenkov A.N., Akhpashev B.A., Dolgov E.P. Podzemnaya geotekhnologiya [Underground Geotechnology]. Krasnoyarsk: Sibirskiy federalnyy universitet, 2017. ISBN 978-5-7638-3725-4. [in Russian].
3. Shakenov A., Sladkovskiy A., Stolpovskikh I. Vliyanie sostoyaniya avtomobilnykh dorog na srok sluzhby shin karernogo samosvala [Influence of Road Condition on the Service Life of Quarry Dump Truck Tires]. Nauchnyy vestnik Natsionalnogo gornogo universiteta [Scientific Bulletin of the National Mining University]. 6, 25–29 (2022). <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-6/025>. [in Russian].
4. Sladkovskiy A., Utegenova A., Kolga A.D., Gavrishev S.E., Stolpovskikh I., Taran I. Povysheenie effektivnosti ispolzovaniya samosvalov v usloviyakh raboty na otkrytykh gornodobyvayushchikh predpriyatiyakh [Improving the Efficiency of Dump Truck Operation at Open-Pit Mining Enterprises]. Nauchnyy vestnik Natsionalnogo gornogo universiteta [Scientific Bulletin of the National Mining University]. 2, 36–42 (2019). <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-2/8>. [in Russian].
5. Kyrgyzbay B., Zhumanov M., Kaliyev Y., Kamzanov N., Baikenzhe N., Kozbagarov R. Predicting residual life of TORO-40D units using the oil spectral analysis method. Communications – Scientific Letters of the University of Zilina. 27(3), B208–B215 (2025). <https://doi.org/10.26552/com.C.2025.040>. [in English].
6. Rakhmangulov A., Burmistrov K., Osintsev N. Multi-criteria system’s design methodology for selecting open pits dump trucks. Sustainability. 16(2), 863 (2024). <https://doi.org/10.3390/su16020863>. [in English].
7. Bodziony P., Kasztelewicz Z., Sawicki P. The problem of multiple criteria selection of the surface mining haul trucks. Archives of Mining Sciences. 61(2), 223–243 (2016). <https://doi.org/10.1515/amsc-2016-0017>. [in English].
8. Гудков А.Г., Кузнецов В.В. Диагностика горных машин и оборудования. – Москва: Недра, 2019. – 312 с
9. Тарасенко А.П., Лобанов Д.В. Надежность и техническая диагностика горных машин. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 256 с
10. Кравченко В.И. Техническое обслуживание и ремонт горного оборудования. – Москва: Горная книга, 2018. – 280 с
11. Gupta S., Kumar U. Maintenance Engineering and Management of Mining Machinery. – CRC Press, 2021. – 340 p
12. Mobley R.K. An Introduction to Predictive Maintenance. – 3rd ed. – Elsevier, 2020. – 432 p
13. Jardine A.K.S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2006. – Vol. 20. – P. 1483–1510
14. Lei Y., Li N., Guo L., Li N., Yan T., Lin J. Machinery health prognostics: A systematic review from data acquisition to remaining useful life prediction // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2018. – Vol. 104. – P. 799–834

15. Randall R.B. Vibration-based Condition Monitoring. – John Wiley & Sons, 2011. – 320 p

Авторлар туралы мәлімет:

М.Ә. Жұманов – т.ғ.к., доцент, қауымдастырылған профессор, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан.

Қ.Д. Байжуманов – т.ғ.к., доцент, қауымдастырылған профессор, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан.

Н.С. Камзанов – PhD докторы, қауымдастырылған профессор, Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу Университеті, Сәтпаев көшесі 22, Алматы қаласы, Қазақстан.

Е.Б. Калиев – т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, М.Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті, Шевченко көшесі, 97, Алматы, Қазақстан.

Р.А. Козбагаров – т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, М.Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті, Шевченко көшесі, 97, Алматы, Қазақстан.

М.А. Жуманов – к. т. н., доцент, ассоциированный профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект Аль-Фараби 71, Алматы, Казахстан.

Қ.Д. Байжуманов – к. т. н., доцент, ассоциированный профессор, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, проспект Аль-Фараби 71, Алматы, Казахстан.

Н.С. Камзанов – доктор PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сәтбаева, ул. Сәтбаева, 22, Алматы, Казахстан.

Е.Б. Калиев – к. т. н., ассоциированный профессор, АЛТ Университет имени М. Тынышпаева, ул. Шевченко, 97, Алматы, Казахстан.

Р.А. Козбагаров – кандидат технических наук, доцент, ассоциированный профессор, АЛТ Университет имени М.Тынышпаева, ул. Шевченко, 97, Алматы, Казахстан.

M.A. Zhumanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan.

K.D. Baizhumanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi Avenue, Almaty, Kazakhstan.

N.S. Kamzanov – PhD, Associate Professor, Kazakh National Research Technical University, 22 Satpayev St., Almaty, Kazakhstan.

Ye.B. Kaliyev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ALT University named after M. Tynyshbayev, 97 Shevchenko St., Almaty, Kazakhstan.

R.A. Kozbagarov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ALT University named after M. Tynyshbayev, 97 Shevchenko St., Almaty, Kazakhstan.



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)