



ХҒТАР 73.41.41
Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-153-4-167-189>

Карьерлік техниканың агрегаттарының жөндеу интервал уақыт аралығын оңтайландыру әдісін құру

А.С.Кадыров^{id}, А.Б.Кукешева^{id}, М.С.Дәрібжан*^{id},
Е.С.Бақытов^{id}, А.Ж.Карсакова^{id}

*Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ,
Қарағанды, Қазақстан*

*E mail:adil.suratovich@mail.ru , aliya.kukesheva@bk.ru, *miras9779@gmail.com,
elhan96@mail.ru, karsakova84@mail.ru*

Аңдатпа. Бұл мақалада KazMinerals Бозшакол кен өндірісі кәсіпорнының карьерлік техникасының, атап айтқанда САТ 16М және 16МЗ модельді автогрейдерлерінің рульдік цилиндрлері мысалында агрегаттардың жөндеу уақыт аралығын оңтайландыру әдістемесі ұсынылады. Зерттеу барысында 2018–2025 жылдар аралығындағы жоспарлы және жоспардан тыс жөндеулер бойынша нақты өндірістік статистикалық деректерге талдау жүргізілді. Агрегаттардың істен шығу себептері мен жұмыс ресурсы МТBF (істен шығулар арасындағы орташа уақыт) және МТBS (жоспарлы жөндеулер арасындағы уақыт) көрсеткіштері арқылы сандық тұрғыдан бағаланды. Есептеулер нәтижесінде 7000 және 12000 мотосағатты құрайтын екі оңтайлы жөндеу уақыт интервалы анықталды. Бұл аралықтар техниканың нақты жұмыс режиміне бейімделіп, жоспардан тыс ақаулардың алдын алуға және техникалық қызмет көрсету стратегиясын оңтайлы және икемді етуге бағытталған. Бұл әдіс нақты жұмыс жағдайларын ескеріп, жөндеу аралықтарын икемді жоспарлауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жоспардан тыс істен шығулардың алдын алып, техниканың толық ресурсын тиімді пайдалануға жағдай жасайды. Ұсынылған тәсіл жөндеу стратегиясын жетілдіру арқылы өндірістің тұрақтылығын арттыруға, қосымша шығындарды азайтуға және техникалық қызмет көрсету үдерісін оңтайландыруға ықпал етеді.

Түйін сөздер: жөндеу интервалы, сенімділік, мотосағат, рульдік цилиндр, жоспарлы жөндеу, карьерлік техника.

Кіріспе

Қазіргі кезде тау-кен өнеркәсібінде қолданылатын ауыр карьерлік техника жоғары өнімділік талаптарын орындай отырып, өте күрделі және ауыр пайдалану жағдайларына бейімделуге тиіс. Мұндай машиналар үздіксіз және қарқынды жүктеме астында жұмыс істеуге жобаланғанымен, уақыт өте келе олардың негізгі агрегаттары мен құрамдас элементтері табиғи тозуға ұшырайды. Сол себепті бір ғана маңызды компоненттің, мысалы рульдік цилиндрдің, істен шығуы бүкіл өндірістік үдерістің тоқтап қалуына әкелуі мүмкін. Бұл компоненттің жүктеме қабылдау ерекшелігіне байланысты мәселенің өзектілігі одан әрі арта түседі [1].

Жөндеу стратегияларын тиімді ұйымдастыру – өндірістік тиімділікті, сенімділікті және шығындарды оңтайландырудың негізгі шарты. Тау-кен кәсіпорындарының басым бөлігінде техникалық қызмет көрсетудің жоспарлы жүйесі қолданылады. Алайда, белгіленген жөндеу регламенттері (мысалы, әр 15 000 мотосағат сайын күрделі жөндеу жүргізу) барлық жағдайда техниканың нақты техникалық жай-күйіне сәйкес келе бермейді. Тәжірибе көрсеткендей, кейбір агрегаттар белгіленген межеге жетпей істен шығып, жоспардан тыс жөндеуді талап етеді. Бұл өндірістің үзілуіне, қосымша шығындардың артуына және жабдық сенімділігінің төмендеуіне алып келеді [2].

Жоспардан тыс жөндеулердің жиілеуі жоспарлы жөндеу аралығының техниканың нақты пайдалану жүктемесіне сәйкес келмейтінін көрсетеді. Ал жөндеу мерзімі шамадан тыс ерте белгіленсе, техникалық ресурстың толық пайдаланылмауына және экономикалық тиімсіздікке әкеледі. Осы факторлар агрегаттың нақты жұмыс көрсеткіштеріне сүйене отырып, жөндеу аралығын икемді және дәл анықтау қажеттігін дәлелдейді. Яғни, әрбір агрегаттың пайдалану ерекшеліктерін ескеріп, оңтайлы жөндеу уақытын есептеу – техниканың сенімділігін сақтау және өндірістік шығындарды азайту үшін маңызды бағыт болып табылады [3].

Бүгінгі таңда техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыруға бағытталған әртүрлі тәсілдер бар. Мысалы, Sharma (2021) «*Maintenance Scheduling of Mining Excavators Using Cox Regression and Linear Programming*» еңбегінде техниканың тиімді жұмысын қамтамасыз ету үшін Кокс регрессиясы мен сызықтық бағдарламалау әдістерін қолданса [4], Dashtaki (2025) «*Analysis of Repairability and Downtime Structure of Excavators in the Copper Mines of Iran*» атты зерттеуінде нақты жөндеу уақыттарының құрылымына терең талдау жүргізіп, шығындарды ұйымдастыру арқылы қысқарту жолдарын ұсынған [5]. Дегенмен аталған тәсілдердің ортақ шектеуі — олар нақты агрегат үшін оңтайлы жөндеу уақытын есептеуге бағытталмаған және техниканың тозу динамикасы мен нақты жүктемесін ескере отырып, жұмыс циклдерін нақты ажыратпайды.

Осы себепті бұл зерттеу карьерлік техниканың агрегаттары, соның ішінде рульдік цилиндрлер мысалында, жөндеу аралығын дәл анықтауға арналған әдістемені ұсынады. Әдіс агрегаттың істен шығуына дейінгі нақты мотосағатқа, сондай-ақ жоспарлы және жоспардан тыс жөндеулерге қатысты жинақталған статистикалық деректерге негізделеді. Мұндай тәсіл жабдықтың сенімділігін сандық түрде бағалауға және оның нақты пайдалану ерекшеліктеріне бейімделген оңтайлы жөндеу уақытын анықтауға мүмкіндік береді [3].

Зерттеу мақсаты – рульдік цилиндрлерге қатысты жоспарлы және жоспардан тыс жөндеулердің статистикалық деректерін талдай отырып, техникалық жағынан негізделген, әрі өндірістік жағдайға бейімделген оңтайлы жөндеу уақыт аралығын

анықтау. Бұл зерттеу әрі қарай осы аралықтың экономикалық тиімділігіне қатысты зерттеудің негізі болады.

Әдіснама

Зерттеу мақсатына жету үшін келесі міндеттер кезең-кезеңімен орындалды:

1. Карьерлік техниканың агрегаттарының жоспарлы және жоспардан тыс жөндеу жағдайларын талдау;
 2. Статистикалық параметрлерді талдау;
 3. Статистикалық деректерді өңдеу және оңтайлы интервалды есептеу;
- Ғылыми жаңалығы:



1-сурет. CAT 16M, 16M3 модельді автогрейдердің рульдік цилиндрі

Осы зерттеу жұмысының ғылыми жаңалығы – карьерлік техниканың жүктемеге аса сезімтал агрегаттарының (рульдік цилиндрлер) нақты пайдалану деректері негізінде MTBF (істен шығулар арасындағы орташа уақыт) және MTBS (жоспарлы жөндеулер арасындағы уақыт) көрсеткіштерін біріктіру арқылы екі сатылы оңтайлы жөндеу аралығын есептеу тәуелділіктерін алғаш рет ұсынылуында. Бұл тәуелділіктерге негізделген әдістеме нақты өндірістік статистикаға сүйене отырып, икемді, адаптивті жөндеу стратегиясын құруға және жоспардан тыс істен шығулардың алдын алуға ғылыми негіз береді.

Практикалық маңыздылығы: ұсынылған әдістеме KazMinerals Бозшакол секілді өндірістік кәсіпорындарда техникалық қызмет көрсету жүйесін жетілдіруге тікелей қолданыла алады. Оңтайлы жөндеу интервалы арқылы жоспардан тыс тоқтап қалулардың алдын алып, жөндеу жұмыстарына кететін шығындарды азайтуға және техниканың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл әдіс техникалық ресурстарды ұтымды пайдалануға, жөндеу стратегиясын нақты өндірістік жағдайға бейімдеуге және жабдықтың

өмірлік циклін ұзарта отырып, жалпы өндірістік процестің тұрақтылығын қамтамасыз етуге ықпал етеді.

1-кесте. CAT 16М, 16М3 модельді автогрейдердің рульдік цилиндрлерінің статистикасы [6, 7-12]

№	Жөндеу циклі	Сериялық нөмері	Жіберілген күні	Істен шығу себебі	Жөндеу түрі	Жөндеу соммасы
1	1	SC16M1	17.04.2022	Соташықты (шток) ауыстыру жаңадан	Жоспарлы	1 405 416 Т
2	1	SC16M2	15.03.2025		Жоспарлы	1 101 095 Т
3	1	SC16M3	09.08.2024	Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспарлы	1 528 078 Т
4	1	SC16M4	02.01.2019	Дайындалған соташықпен (шток) ауыстыру	Жоспарлы	903 434 Т
5	2	SC16M4	29.01.2021	Соташық(шток) бойымен тығыздағыш арқылы ағып кету. Дайындалған соташықты (шток) және гильзаны ауыстыру	Жоспардан тыс	700 706 Т
6	W	SC16M4	26.12.2021	Тұрғыландыру (Позиционирование) бергішінің (датчик) ақауы	Жоспардан тыс	
7	4	SC16M4	29.10.2022	Соташық (шток) бойымен тығыздағыш арқылы ағып кету. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	1 254 831 Т
8	5	SC16M4	16.08.2023	Соташық (шток) піспегінің (поршень) үзілуі. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	1 353 813 Т
9	1	SC16M5	09.08.2018		Жоспарлы	
10	2	SC16M5	09.07.2021	Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспарлы	973 523 Т
11	3	SC16M5	16.08.2023	Дайындалған соташықты (шток), гильзаны, піспекті (поршень) және қақпақты (крышка) ауыстыру	Жоспарлы	1 971 953 Т
12	1	SC16M6	02.01.2019	Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспарлы	903 434 Т
13	2	SC16M6	24.01.2024	Соташық (шток) піспегінің (поршень) үзілуі. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	1 437 849 Т
14	3	SC16M6	05.02.2025	Цилиндрдің электр сымдар шоғысында ақау бар. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	915 816 Т
15	1	SC16M7	09.08.2018		Жоспарлы	
16	2	SC16M7	09.07.2021	Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспарлы	876 072 Т
17	3	SC16M7	21.03.2023	Цилиндрдің соташығының (шток) сынуы. Дайындалған соташықты (шток), гильзаны, піспекті (поршень) және қақпақты (крышка) ауыстыру	Жоспардан тыс	1 617 796 Т
18	4	SC16M7	09.08.2024	Тұрғыландыру (Позиционирование) бергішінің (датчик) ақауы.	Жоспардан тыс	1 604 274 Т

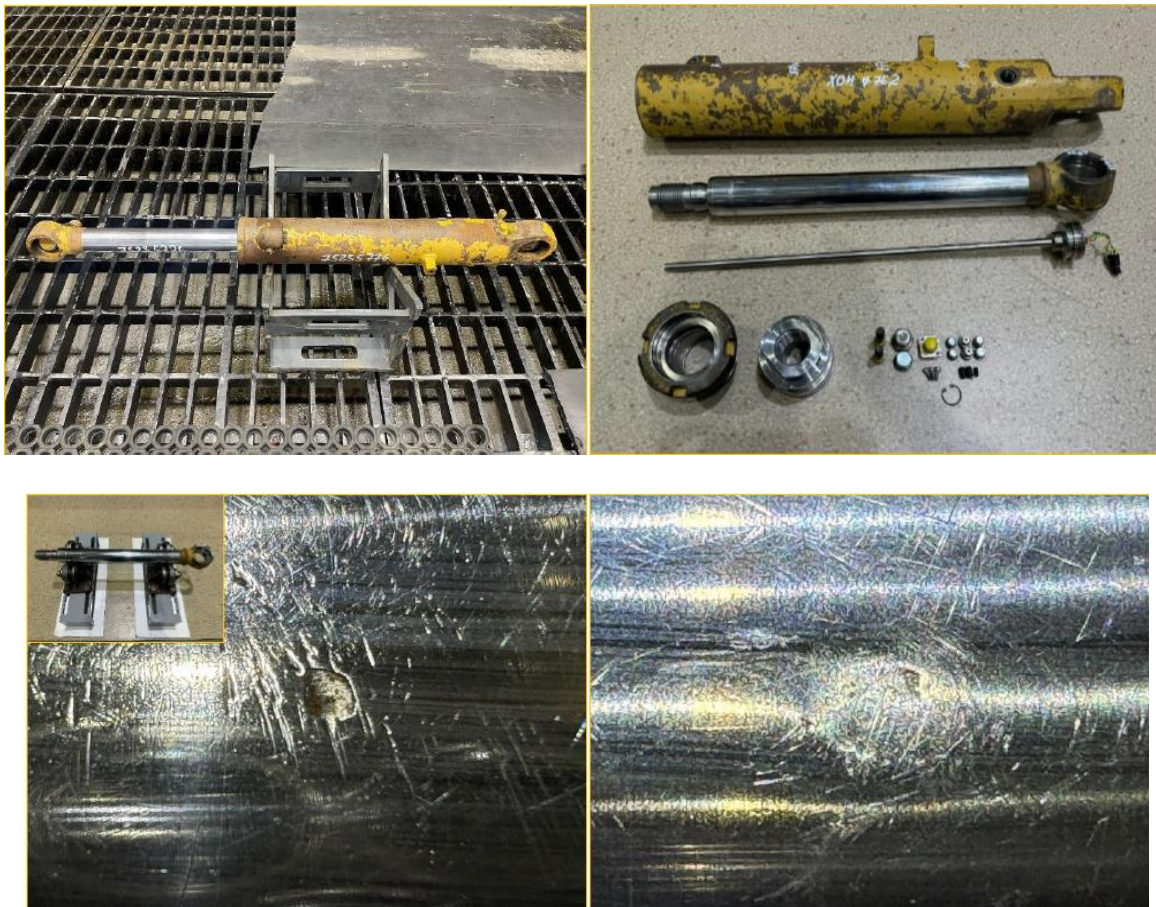
				Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру		
19	1	SC16M8	21.06.2019		Жоспарлы	453 608 Т
20	2	SC16M8	16.10.2020	Соташық (шток) бойымен тығыздағыш арқылы ағып кету. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	934 371 Т
21	3	SC16M8	19.07.2024	Тұрғыландыру (Позиционирование) бергішінің (датчик) ақауы. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	1 667 029 Т
22	1	SC16M1 2	21.06.2019		Жоспарлы	805 155 Т
23	2	SC16M1 2	17.04.2022		Жоспарлы	838 197 Т
24	3	SC16M1 2	09.08.2024	Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспарлы	1 458 557 Т
25	1	SC16M9	15.08.2020	Соташық (шток) бойымен тығыздағыш арқылы ағып кету. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	831 234 Т
26	2	SC16M9	28.12.2023	Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспарлы	1 366 396 Т
27	1	SC16M1 0	15.08.2020	Соташық (шток) бойымен тығыздағыш арқылы ағып кету. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	852 043 Т
28	W	SC16M1 0	05.02.2022	Соташық (шток) бойымен тығыздағыш арқылы ағып кету	Жоспардан тыс	
29	3	SC16M1 0	20.02.2024	Соташықпен (шток) қосылатын саусақтың (палец) үзілуі, нәтижесінде құлақшасына (проушина) зақым келген. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	1 552 890 Т
30	1	SC16M1 3	22.01.2022		Жоспарлы	913 057 Т
31	1	SC16M1 1	22.01.2022	Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспарлы	1 277 530 Т
32	2	SC16M1 1	12.05.2023	Соташықпен (шток) қосылатын саусақтың (палец) үзілуі, нәтижесінде құлақшасына (проушина) зақым келген. Дайындалған соташықты (шток) ауыстыру	Жоспардан тыс	1 330 300 Т
Жоспардан тыс жөндеу жұмыстарына жұмсалған жалпы сомма						16 052 951 Т
Жоспарлы жөндеу жұмыстарына жұмсалған жалпы сомма						15 674 409 Т
Жоспардан тыс жөндеу жұмыстарына жұмсалатын орташа сомма						1 234 842 Т
Жоспарлы жөндеу жұмыстарына жұмсалатын орташа сомма						1 119 601 Т

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [6, 7-12]

1. Жоспардан тыс агрегаттардың жөндеулеріне және істен шығу себептеріне талдау.

Зерттеу жұмысының мақсатына сәйкес, карьерлік техниканың жұмысын талдау және агрегаттардың істен шығу заңдылықтарын анықтау үшін CAT 16М және 16М3 үлгісіндегі автогрейдерлердің рульдік цилиндрлері қарастырылды (1-сурет).

Осы рульдік цилиндрлердің жүргізілген жөндеу жұмыстарына қатысты статистикалық мәліметтер жинақталды (кесте 1) [7-12].



2-сурет. SC16M9 рульдік цилиндрінің соташық (шток) бойындағы хромдалған қабаттың механикалық зақымдануы көрінісі [6]

Зерттеу мақсаттары үшін ашық интернет-дереккөздерінен алынған қосымша ақпарат пайдаланылды. Бұл ақпарат рульдік цилиндрлерді жөндеу кезінде қолданылатын қосалқы бөлшектердің шамамен алынған құнын қамтиды. Бағаға қатысты мәліметтер Caterpillar техникасына арналған қосалқы бөлшектерді жеткізушілердің көпшілікке қолжетімді коммерциялық ұсыныстары мен каталогтары негізінде жиналды. Қосалқы бөлшектердің шамаланған құнын анықтау кезінде пайдаланылған интернет-дереккөздердің тізімі «Пайдаланылған әдебиеттер» бөлімінде келтірілген және ашық баға ақпаратын ұсынатын ресми және тәуелсіз дистрибьюторлардың сайттарына сілтемелерді қамтиды [7–12].

Барлық мәліметтер кәсіпорынның ішкі коммерциялық ақпаратын жарияламай, тек зерттеу және есептік мақсаттарға шығын құрылымы мен олардың арақатынасын бағалау

үшін ғана пайдаланылды. Рульдік цилиндрлерді жөндеу бойынша жиынтық ақпарат 1-кестеде берілген.

Жоғарыда келтірілген кестеде агрегаттарға жүргізілген жөндеу жұмыстарының саны, олардың істен шығу себептері және қалпына келтіруге жұмсалған шығындар жөніндегі мәліметтер берілген. Сонымен қатар, кестеде жоспарлы (техникалық қызмет көрсету кестесіне сәйкес) және жоспардан тыс (кенеттен туындаған ақаулықтар салдарынан) жөндеулердің түрлері, сондай-ақ агрегаттардың істен шығу себептері көрсетілген.

Кестедегі деректер негізінде рульдік цилиндр агрегаттарына қатысты жоспардан тыс жөндеу жағдайлары мен олардың негізгі ақау себептеріне байланысты жан-жақты талдау жүргізілді.

2-кесте. SC16M9 рульдік цилиндрінің жөндеу жұмысына қажет болған қосалқы бөлшектер тізімі [6, 7-12]

Бөлшек нөмірі	Бөлшек атауы	Саны	Бағасы (теңге)	Сомасы (теңге)
2675257	Орын анықтау датчигі (Датчик позиционера)	1	297088,92	297088,92
2606117	Шарикті саусақ (Шаровой палец)	1	74891,71	74891,71
3076273	Гидроцилиндрге арналған тығыздағыштар жинағы (Комплект уплотнений гидроцилиндра)	1	52521,10	52521,10
2761816	Қорғаныс қалқаны (Защитный кожух)	1	16102,83	16102,83
2493505	Мойынтірек сақинасы (обойма подшипника)	1	14733,78	14733,78
8B1002	Сомын (гайка)	1	10733,09	10733,09
4418164	Тығыздағыш қаптама (пыльник)	1	6169,45	6169,45
2673865	Дайындалған соташық (Изготовленный шток)	1	205598,79	205598,79

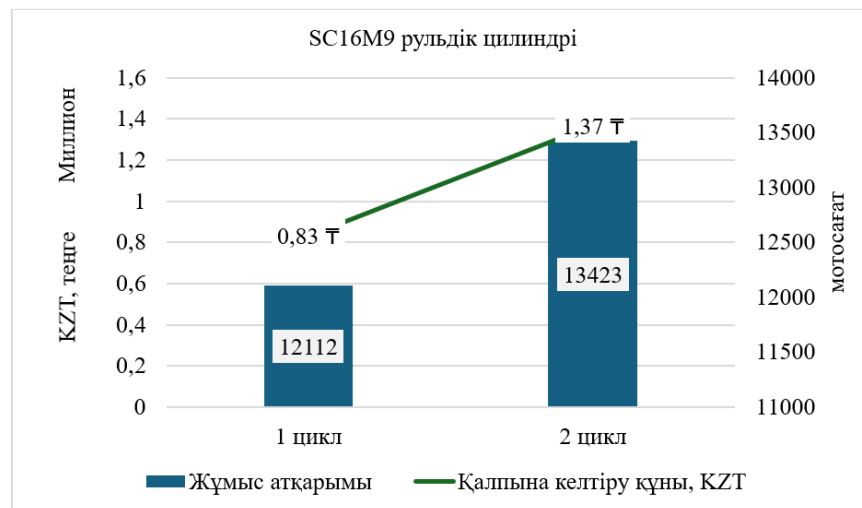
Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [6, 7-12]

1-жағдай. Соташық (шток) бойымен тығыздағыш арқылы ағып кету. Сериялық нөмірі SC16M9 рульдік цилиндрі жөндеуге келіп түсті. Жөндеу жүргізілген сәттегі агрегаттың жалпы жұмыс уақыты 12112 мотосағатты құрады. Бұл жоспардан тыс орындалған алғашқы жөндеу циклі болды.

Ағып кетудің негізгі себебі – соташық (шток) бойындағы хромдалған қабаттың механикалық зақымдануы. Нақтырақ айтқанда, хром жабынының сызаттары тығыздағыш элементтерді (уплотнитель) зақымдап, нәтижесінде жоғары қысымдағы гидравликалық сұйықтықтың ағып кетуіне алып келген (2-сурет) [6]. Содан кейін рульдік цилиндрдің жөндеу жұмысына қажет болған қосалқы бөлшектерге талдау жүргізілді.

Олардың атауы, бағасы және қажетті сандары 2-кестеде көрсетілген [6]. 2-кестеде келтірілген мәліметтерге сүйене отырып, келесі қорытынды жасауға болады: жөндеуге пайдаланылған бөлшектердің ішінде ең қымбаттары орын анықтау датчигі мен арнайы дайындалған соташық (шток) болды. Содан соң SC16M9 рульдік цилиндріне қатысты жөндеу жұмыстарының толық тарихы қарастырылды, ол 3-суретте көрсетілген.

3-суреттегі диаграммаға сәйкес, аталған агрегат екі жөндеу циклынан өткен. Екінші жөндеу жұмысы жоспарлы түрде жүргізілгенімен, оның қалпына келтіру құны (жөндеуге жұмсалған шығын) бірінші, жоспардан тыс жөндеу жұмысына қарағанда жоғары болған.



3-сурет. SC16M9 рульдік цилиндрінің жөндеу тарихының диаграммасы

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [6]

2-жағдай. Соташық (шток) бойымен тығыздағыш арқылы ағып кету. Сериялық нөмірі SC16M4 рульдік цилиндрі жөндеуге келіп түсті (4-сурет).



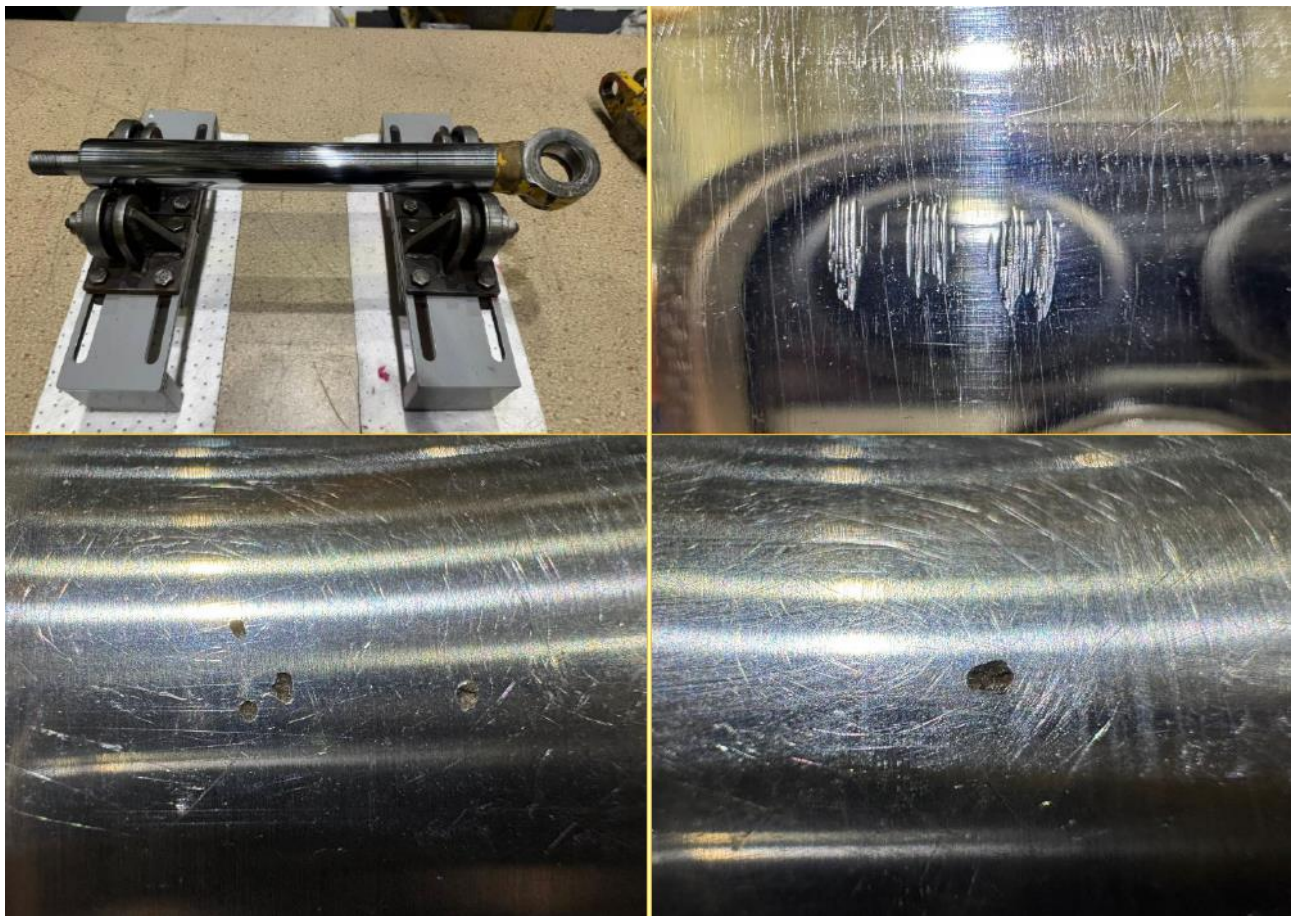
4-сурет. SC16M4 рульдік цилиндрінің жөндеуге келіп түскендегі көрінісі

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [6]

Бұл айырмашылықтың себебін түсіну үшін 1-кестеде келтірілген рульдік цилиндрлердің статистикасындағы 26-нөмірлі жолға назар аудару керек. Аталған жолда «істен шығу себебі» бағанында қандай бөлшек ауысқаны көрсетілген. Талдау нәтижесінде

белгілі болғандай, екінші жоспарлы жөндеу циклында да дайындалған соташық (шток) ауыстырылған. Бұл жағдай жөндеу құнының артуына айтарлықтай әсер еткен. Сонымен қатар, бірінші және екінші жөндеу аралығындағы үш жыл ішінде инфляция деңгейі мен қосалқы бөлшектерге байланысты бағаның өсуі де есепке алынды. Осыған байланысты шығын көлемінің ұлғаюы объективті және орынды болып табылады [6].

Жөндеу жүргізілген сәттегі агрегаттың жалпы жұмыс уақыты 24 418 мотосағатты құрады. Бұл жоспардан тыс орындалған бірінші жөндеу циклі болғанымен, жалпы жөндеу реттілігі бойынша екінші, себебі оған дейін бірінші жоспарлы жөндеу жүргізілген. Ағып кетудің басты себебі – соташық бойындағы хром жабынының механикалық зақымдануы (5-сурет) [6].



5-сурет. SC16M4 рульдік цилиндрінің соташық (шток) бойындағы хромдалған қабаттың механикалық зақымдануы көрінісі

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [6]

Хром қабатындағы сызаттар тығыздағыштың тозуына және жыртылуына себеп болып, нәтижесінде жоғары қысымдағы гидравликалық сұйықтықтың сыртқа ағып кетуі орын алған. Бұл жағдай бірінші SC16M9 үлгісіндегі агрегатта кездескен ақаумен толық сәйкес келеді, яғни қайталанатын құрылымдық мәселе бар екенін көрсетеді. Аталған

жағдай бойынша да рульдік цилиндрдің жөндеу жұмысына қажет болған қосалқы бөлшектерге талдау жүргізілді. Қосалқы бөлшектердің атауы, бағасы және қажетті саны 3-кестеде келтірілген [6].

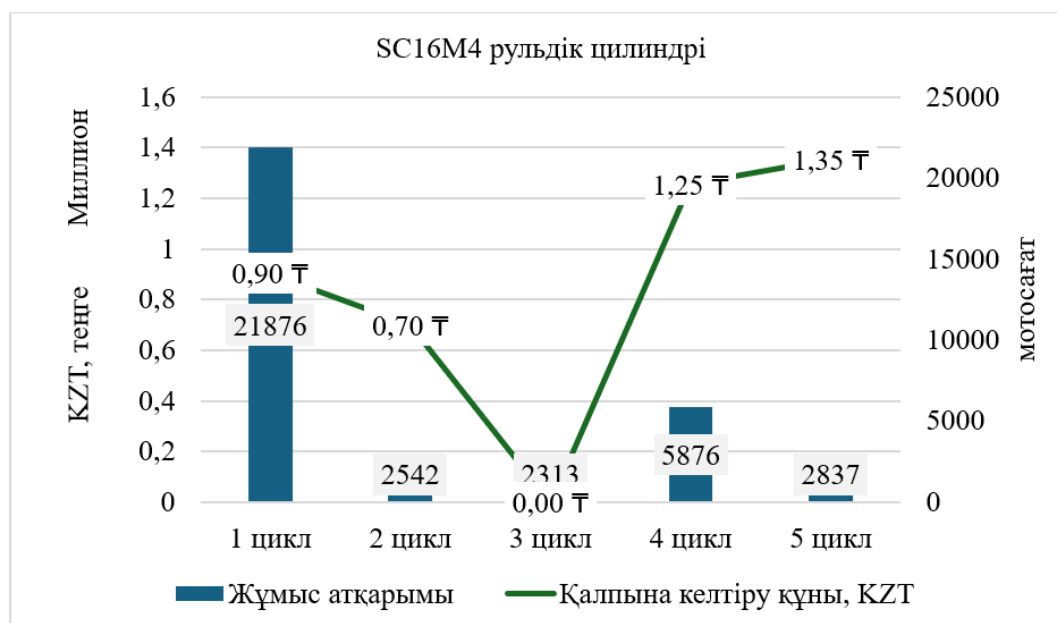
3-кестеде келтірілген мәліметтерге сүйене отырып, келесі жағдайды байқауға болады: жөндеуге пайдаланылған бөлшектердің ішінде ең қымбаттары арнайы дайындалған соташық (шток) пен гильза болған. SC16M9 рульдік цилиндріне қатысты 1-жағдайда қолданылған бөлшектермен салыстырғанда (2-ші кесте), SC16M4 цилиндрін жөндеуде бөлшектер саны біршама аз болған.

3-кесте. SC16M4 рульдік цилиндрінің жөндеу жұмысына қажет болған қосалқы бөлшектер тізімі [6, 7-12]

Бөлшек нөмірі	Бөлшек атауы	Саны	Бағасы (теңге)	Сомасы (теңге)
2493505	Мойынтірек сақинасы (обойма подшипника)	1	14733,78	14733,78
4418164	Тығыздағыш қаптама (пыльник)	1	6169,45	6169,45
2673865	Дайындалған соташық (Изготовленный шток)	1	205598,79	205598,79
2673864	Дайындалған гильза (изготовленная гильза)	1	277569,58	277569,58

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [6, 7-12]

SC16M4 рульдік цилиндрінің де жөндеу жұмыстарының толық тарихы қарастырылды, ол 6-суретте көрсетілген [6].



6-сурет. SC16M4 рульдік цилиндрінің жөндеу тарихының диаграммасы

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [6]

Жоғарыдағы 6-суреттегі диаграммаға сәйкес, зерттеліп отырған агрегат жалпы бес жөндеу циклынан өткен. Бірінші жоспарлы жөндеуден кейін қысқа уақыт аралығында қатарынан бірнеше жоспардан тыс жөндеу жұмыстары орын алған. Бұл жөндеулердің арасындағы жұмыс уақыты 2000 және 5000 мотосағат шамасында болған. Аталған жағдайдың себептерін анықтау мақсатында 1-кестеде келтірілген рульдік цилиндрлер статистикасының 4 пен 8-нөмірлі жолдарына талдау жүргізілді. Бірінші жөндеуге келген кездегі мотосағат мөлшері 21876 болған, бұл цилиндрдің бірінші циклдік жұмысты толық әрі сәтті аяқтағанын білдіреді. Екінші жөндеудің себебі – соташық (шток) бойымен тығыздағыш арқылы гидравликалық сұйықтықтың ағып кетуі. Бұл жағдай соташық бетінің қандай да бір сыртқы факторлардың әсерінен зақымдалуынан туындаған. Соның салдарынан тығыздағыш элементтер жыртылып, гильза ішіндегі жоғары қысымдағы сұйықтық сыртқа ағуға мәжбүр болған.

Алайда бұл жерде назар аударатын маңызды мәселе, 3-кестеде көрсетілген SC16M4 цилиндріне жүргізілген жөндеу жұмыстарына қажет бөлшектер тізімінің салыстырмалы түрде аздығы. Бұл көрсеткіш 1-жағдайдағы SC16M9 цилиндрімен салыстырғанда (2-ші кесте) айтарлықтай айырмашылықты байқатады және стандартты деп есептелетін барлық бөлшектердің ауыстырылмағанын көрсетеді. Осы толық ауыстырылмау факторы кейінгі 3-ші жоспардан тыс жөндеуге алып келді. Дегенмен, бұл жөндеу жағдайы кепілдік аясында болғандықтан, жөндеуге кеткен барлық шығын жөндеуші компания есебінен өтелген. Соған қарамастан, 5876 мотосағаттан кейін 4-ші жоспардан тыс жөндеу жұмысы қайта орын алған. Бұл жағдайдың себебі – алдыңғы жөндеуде стандартты бөлшектердің толық ауыстырылмауы. 4-ші жөндеу циклында бұл олқылықтар ескеріліп, барлық стандартты бөлшектер толық көлемде ауыстырылды. Алайда, 2837 мотосағат жұмыс істегеннен кейін агрегат тағы да жоспардан тыс жөндеуді қажет етті. Бұл жолы қате пайдалану салдарынан соташық поршені артық жүктемеге ұшырап, оның үзілуіне алып келген [6].

Жүргізілген талдау нәтижелері бойынша 1-кестеден келесі жағдайды байқауға болады: жоспардан тыс жөндеулер саны жоспарлы жөндеулермен шамалас болып, кейбір жағдайларда олардан асып түседі. Атап айтқанда, жоспардан тыс жөндеулер саны – 15, ал жоспарлы жөндеулер саны – 17. Қаржылық шығын тұрғысынан алғанда, жоспардан тыс жөндеулерге кеткен шығын – 16 052 951 теңге, ал жоспарлы жөндеулерге – 15 674 409 теңге болған. Бұл жағдай кәсіпорын үшін қосымша қаржылық ауыртпалық туғызатынын көрсетеді [6].

Сонымен агрегаттардың істен шығу себептері негізінен соташық (шток) бойымен тығыздағыш арқылы гидравликалық сұйықтықтың ағып кетуі, тұрғыландыру бергіші (датчик позиционера) ақауы, сондай-ақ механикалық үзілу мен сыну жағдайларымен байланысты [6].

Сонымен қатар, SC16M10 және SC16M4 сияқты кейбір рульдік цилиндрлер бірнеше рет жөндеуден өткен. Жүргізілген талдау барысында стандартты түрде ауыстырылуы тиіс бөлшектердің кей жағдайларда толық ауыстырылмайтыны анықталды. Бұл жайт олардың жиі істен шығуына және диагностикалық шаралардың сапасы жеткіліксіз екенін айғақтайды [6]. Осыған орай, жекелеген агрегаттардың қайталанатын бұзылуы жоспарлы жөндеудің бекітілген кестесімен жүргізілуі мерзімінен бұрын болатын тозудан қорғай алмайтынын, сондай-ақ бейімделмеген (адаптивті) тәсілдің болмауы істен шығу сәттерін

алдын ала болжауға мүмкіндік бермейтінін көрсетеді.

4-кесте. Рульдік цилиндрлерге жүргізілген жоспарлы және жоспардан тыс жөндеулер бойынша статистикалық ақпарат [6]

№	Жөндеу циклі	Жөндеуден кейінгі мотосағаты	Толық мотосағаты	Сериялық нөмері	Жөндеу түрі
1	1	9766	9766	SC16M1	Жоспарлы
2	1	19614	19614	SC16M2	Жоспарлы
3	1	17110	17110	SC16M3	Жоспарлы
4	1	21876	21876	SC16M4	Жоспарлы
5	2	2542	24418	SC16M4	Жоспардан тыс
6	3	2313	26731	SC16M4	Жоспардан тыс
7	4	5876	32607	SC16M4	Жоспардан тыс
8	5	2837	35444	SC16M4	Жоспардан тыс
9	1	17626	17626	SC16M5	Жоспарлы
10	2	13430	31056	SC16M5	Жоспарлы
11	3	19069	50125	SC16M5	Жоспарлы
12	1	21876	21876	SC16M6	Жоспарлы
13	2	8639	30515	SC16M6	Жоспардан тыс
14	3	3713	34228	SC16M6	Жоспардан тыс
15	1	17626	17626	SC16M7	Жоспарлы
16	2	13430	31056	SC16M7	Жоспарлы
17	3	13873	44929	SC16M7	Жоспардан тыс
18	4	6650	51579	SC16M7	Жоспардан тыс
19	1	17693	17693	SC16M8	Жоспарлы
20	2	6289	23982	SC16M8	Жоспардан тыс
21	3	15182	39164	SC16M8	Жоспардан тыс
25	1	12112	12112	SC16M9	Жоспардан тыс
26	2	13423	25535	SC16M9	Жоспарлы
27	1	12112	12112	SC16M10	Жоспардан тыс
28	2	3360	15472	SC16M10	Жоспардан тыс
29	3	3632	19104	SC16M10	Жоспардан тыс
31	1	16909	16909	SC16M11	Жоспарлы
32	2	7754	24663	SC16M11	Жоспардан тыс
22	1	17693	17693	SC16M12	Жоспарлы
23	2	16055	33748	SC16M12	Жоспарлы
24	3	9356	43104	SC16M12	Жоспарлы
30	1	16909	16909	SC16M13	Жоспарлы

Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [6]

Қорытындылай келе, жоспарлы жөндеу стратегиясын қайта қарау қажет. Себебі, нақты пайдалану жағдайларын ескермейтін тұрақты (фиксацияланған) жөндеу уақыт интервалы кәсіпорынға айтарлықтай қаржылық шығындар, техниканың ұзақ тұрып қалуы және қымбат жоспардан тыс жөндеулерге алып келуде.

2. Негізгі параметрлер бойынша статистикалық ақпаратты талдау.

Агрегаттардың жөндеу аралығын оңтайландыру әдісін құру үшін қолда бар статистикалық мәліметтер талданды. Атап айтқанда соңғы жөндеуден кейін орындалған мотосағаттар саны мен агрегаттардың жиынтық жұмыс уақытына қатысты статистикалық деректер жиналды. Аталған мәліметтер жөндеудің оңтайлы уақытын анықтауға негіз болатын негізгі ақпарат көзі болып табылады. (4-кесте) [6].

4-кестеде келтірілген деректерге сүйенсек, SC16M-5 және SC16M-12 рульдік цилиндрлері ең жоғары сенімділік көрсеткен агрегаттар қатарына жатады. Бұл цилиндрлер тек жоспарлы жөндеуден өткен және олардың жұмыс барысында жоспардан тыс ақаулықтар тіркелмеген [6].

Агрегаттар бойынша барлығы 15 жоспардан тыс жөндеу жағдайы анықталған. Бұл жөндеулердің тіркелу уақыты 2313-тен 15 182 мотосағатқа дейінгі аралықта орын алған. SC16M-4, SC16M-8 және SC16M-10 рульдік цилиндрлері жоспардан тыс ақауларға жиі ұшыраған агрегаттар ретінде бөлініп отыр. Бұл жағдай олардың істен шығу себептерін тереңірек зерттеу қажеттігін, сондай-ақ қолданыстағы жоспарлы жөндеу стратегиясын қайта қарауды талап етеді.

Осы деректер негізінде 7-суретте рульдік цилиндрлердің жөндеу түрлері бойынша мотосағаттармен бөліну диаграммасы көрсетілген [6].



7-сурет. Рульдік цилиндрлердің жөндеу түрлері бойынша бөлінуі
Ескерту: деректер негізінде құрастырылған [6]

Ұсынылған графикке сәйкес жоспардан тыс жөндеулердің көбінесе алғашқы жоспарлы жөндеуден кейін орын алатынын көрсетіп отыр. Сонымен қатар, тек жоспарлы жөндеулермен ғана шектелген агрегаттар да кездеседі. Алайда бұл агрегаттар, әдетте, белгіленген шекті мотосағат мөлшерінен аспаған. Мысалы, SC16M-12 рульдік цилиндрі орта есеппен 14 368 мотосағат жұмыс істеп, жоспардан тыс жөндеу қажеттілігіне ұшырамаған. Керісінше, SC16M-4 цилиндрі алғашқы жоспарлы жөндеуге 21 876 мотосағат

жұмыс істегеннен кейін ғана жіберілген. Бұл оның белгіленген шекті деңгейден (15 000 мотосағат) едәуір артық жүктемемен жұмыс істегенін көрсетеді. Соның салдарынан, бұл агрегат қайта-қайта жоспардан тыс жөндеуге түсіп отырған [6].

Сонымен қатар, кейбір жоспарлы жөндеу аралықтарының да оңтайлы болмауы ықтимал. Аралық тым ұзақ болған жағдайда – жоспардан тыс істен шығу қаупі артады, ал тым қысқа болған жағдайда – қызмет көрсетуге кететін шығындар орынсыз көбейеді.

Осылайша, рульдік цилиндр агрегаттарының мотосағаттары мен жиынтық жұмыс уақытына негізделген статистикалық талдау, қолданыстағы жөндеу жүйесіне түзетулер енгізудің қажеттілігін дәлелдейді. Агрегаттардың жоспардан тыс жөндеу шығындарын азайтуын қамтамасыз ету үшін, жөндеу аралықтарының негізгі параметрлеріне қосымша статистикалық өңдеу жүргізу қажет. Бұл өз кезегінде оңтайлы жөндеу уақытын нақты айқындауға мүмкіндік береді [13].

3. Статистикалық деректерді өңдеу әдістемесі.

Оңтайлы жөндеу уақытын анықтау үшін агрегаттардың істен шығуына дейінгі мотосағаттар мен олардың жалпы жұмыс уақыты бойынша жиналған статистикалық деректерге талдау жүргізу қажет. Техниканың сенімділік деңгейін сандық тұрғыда бағалауға мүмкіндік беретін мұндай талдау – жөндеу аралықтарын дәл жоспарлау және жоспардан тыс істен шығулардың алдын алу үшін аса маңызды [14].

Осы бағыттағы бағалау құралдарының ішінде ең кең таралған әрі дәл тәуелділіктердің бірі ретінде MTBF (Mean Time Between Failures) және MTBS (Mean Time Between Services) көрсеткіштері кеңінен қолданылады. Бұл көрсеткіштер техниканың сенімділігі мен қызмет көрсету тиімділігін кешенді бағалауға мүмкіндік береді және техникалық қызмет көрсету стратегиясын оңтайландырудың негізі болып табылады [15].

MTBF (Mean Time Between Failures) – агрегаттың немесе жабдықтың екі ақаудың арасындағы орташа жұмыс істеу уақыты. Бұл көрсеткіш техника сенімділігінің сандық өлшемі ретінде қолданылады және жабдықтың қаншалықты ұзақ уақыт істен шықпай жұмыс істей алатынын бағалауға мүмкіндік береді. MTBF көрсеткіші мына формула арқылы есептеледі [16]:

$$MTBF = \frac{\sum T}{n}, \quad (1)$$

мұнда: T – агрегаттың ақауға дейінгі жұмыс уақыты;

n – жоспардан тыс ақаулар саны.

MTBF жоғары болған сайын жабдықтың сенімділігі де жоғары болады. Бұл көрсеткіш жоспардан тыс істен шығуларды болжау, жөндеу стратегияларын оңтайландыру, сондай-ақ жабдықты алдын ала ауыстыру қажеттігін бағалау мақсатында кеңінен қолданылады [16].

MTBS (Mean Time Between Services) – бұл техникалық қызмет көрсетулер (жоспарлы жөндеулер) арасындағы орташа жұмыс істеу уақыты. Ол жоспарлы техникалық қызмет көрсету аралықтарының тиімділігін бағалауға арналған. MTBS анықтау формуласы келесідей [17]:

$$MTBS = \frac{\sum S}{m}, \quad (2)$$

мұнда: S – агрегаттың жоспарлы жөндеуге дейінгі жұмыс уақыты;

n – жоспарлы жөндеу саны.

Бұл көрсеткіш жөндеу аралықтарының тым ұзақ немесе тым қысқа болуын бағалауға мүмкіндік береді:

- егер $MTBS$ төмен болса – артық қызмет көрсету орын алып, шығын артады;
- егер $MTBS$ тым жоғары болса – бұл жоспардан тыс ақауларға алып келуі мүмкін.

$MTBS$ – техниканың жоспарлы күтім жүйесінің тиімділігін сипаттайтын маңызды көрсеткіш. Оны $MTBF$ -пен салыстыру арқылы қызмет көрсету жүйесінің жеткіліктілігі немесе жетілмеген тұстары айқындалады [18]. Мысалы, егер $MTBF > MTBS$ болса, бұл жоспарлы жөндеулердің жеткілікті деңгейде орындалып жатқанын көрсетеді. Ал егер $MTBF < MTBS$ болса, техниканың жоспарлы күтіміне қарамастан істен шығу жиілеп кеткенін, яғни жоспарлы жөндеулердің тиімділігін арттыру қажеттігін білдіреді [19]. Біздің жағдайда жоспардан тыс жөндеулердің саны артып, оларға жұмсалатын шығындар көбейіп отыр. Сондықтан оңтайлы жөндеу аралығы ретінде ең алдымен $MTBF$ мәнін қарастыру маңызды. Бұл техника істен шыққанға дейінгі нақты орташа уақытына негізделеді [20].

Алайда жалғыз $MTBF$ мәніне сүйену жеткіліксіз, себебі ол экономикалық тиімділікті ескермейді [21]. Сол себепті $MTBF$ пен $MTBS$ мәндерінің орташа арифметикалық мәнін есептеп, оны ұсынылатын оңтайлы жөндеу аралығы ретінде қарастыру ұсынылды:

$$T_{opt} = \frac{MTBF + MTBS}{2} \quad (3)$$

Осы интервал уақыты негізінде экономикалық есептеулер жүргізіліп, олар фактілік шығындармен салыстырылды және нақты тиімділік деңгейі бағаланды. Нәтижесінде ұсынылған әдістеме қолда бар статистикалық ақпаратты өңдеуге, агрегаттардың оңтайлы жөндеу аралығын анықтауға және оның экономикалық тұрғыдан тиімділігін дәлелдеуге мүмкіндік берді.

Нәтижелер мен талқылау

Статистикалық деректерді өңдеу нәтижелері. Жоғарыда келтірілген әдістеме бойынша статистикалық ақпаратты өңдеу нәтижелері ұсынылды. Статистикалық деректерді өңдеу үшін САТ 16М автогрейдерлерінің рульдік цилиндрлерге жүргізілген жоспарлы және жоспардан тыс жөндеулер бойынша жиналған деректер (4-кесте) пайдаланылды. Есептеулер жоғарыда сипатталған әдістемедегі (1)–(3) формулаларға сәйкес жүргізілді.

Ең алдымен, агрегаттың оңтайлы жұмыс уақыт аралығы (1) формула бойынша есептелді:

$$T_{opt.1} = \frac{\sum S}{m} = \frac{106884 \text{ мотосағат}}{15} = 7125,6 \approx 7000 \text{ мотосағат.}$$

Алынған 7125,6 мотосағат мәні 7000 мотосағатқа дейін жуықталды. Бұл жуықтаудың себебі – өндірісте техникалық қызмет көрсетудің ағымдағы түрлері (ТҚК) 250 немесе 500 мотосағаттық аралықтармен жүргізілуіне байланысты. Осы себепті 7000 мотосағат мәні қолданыстағы техникалық қызмет көрсету регламенттеріне сәйкестендірілген бірінші оңтайлы жұмыс уақыт аралығы ретінде қабылданды.

Келесі қадам – екінші оңтайлы жұмыс уақытын анықтау. Ол үшін алдымен (2) формула бойынша MTBS көрсеткіші есептелді:

$$MTBS = \frac{\sum S}{m} = \frac{279461}{17} = 16438 \text{ мотосағат.}$$

Ары қарай (3) формуланы пайдаланып, екінші оңтайлы жұмыс уақыты есептелді:

$$T_{opt.2.} = \frac{MTBF + MTBS}{2} = \frac{7000 + 16438}{2} = 11719 \approx 12000 \text{ мотосағат}$$

11719 мотосағат мәні 12000 мотосағатқа дейін жуықталды. Бұл да жоғарыда келтірілген себеппен – ТҚК интервалдарына сәйкестендіру қажеттілігімен түсіндіріледі. Нәтижесінде, 12000 мотосағат өндірістік қолдануға ыңғайлы және регламенттермен үйлесімді екінші оңтайлы жұмыс уақыт аралық ретінде қабылданды.

Ұсынылған әдістеме негізінде жүргізілген есептеулер нәтижесінде жөндеу уақыт аралықтарын оңтайландыру мақсатында екі түрлі оңтайлы жұмыс уақыт аралығы есептеліп шығарылды. Олар: 7000 және 12000 мотосағат. Осы зерттеуде ұсынылған әдістеменің таңдауы бірқатар объективті және практикалық себептерге негізделді. Ең алдымен, бұл тәсіл нақты өндірістік статистикалық деректерге сүйене отырып, карьерлік техниканың сенімділігін сандық тұрғыда бағалауға және агрегаттардың жөндеу аралығын дәл анықтауға мүмкіндік береді. Ұсынылып отырған әдістеме техниканың жоспарлы және жоспардан тыс жөндеулер аралығындағы жұмыс уақытын ескеріп, екі негізгі сенімділік көрсеткішін – MTBF (істен шығулар арасындағы орташа уақыт) және MTBS (жоспарлы жөндеулер арасындағы орташа уақыт) қолдануға негізделген. Аталған көрсеткіштер жөндеу аралығын бағалауда техниканың нақты пайдалану ерекшеліктерін ескеруге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде жоспарлы жөндеулердің тиімділігін арттырып, жоспардан тыс істен шығулардың жиілігін азайтуға ықпал етеді. Сонымен қатар, MTBF және MTBS мәндерінің орташа арифметикалық шамасы ретінде ұсынылған оңтайлы жөндеу интервалы (T_{opt}) нақты өндірістік жағдайларға бейімделген, икемді шешім болып табылады.

Аталған әдістеменің ерекшелігі – ол басқа тәсілдердегідей жөндеу аралығын ұзарту емес, керісінше, қысқарту арқылы жалпы техникалық және экономикалық тиімділікті арттыруға бағытталған. Бұл ретте агрегаттардың нақты тозу себептері мен қайталанатын ақаулықтар динамикасы есепке алынады. Мысалы, зерттеу барысында стандартты бөлшектердің толық ауыстырылмауы салдарынан бірнеше реттік жоспардан тыс жөндеулер тіркелгені анықталды, бұл жоспарлы жөндеу кестесін қайта қараудың қажеттілігін көрсетті.

Осылайша, әдістеме агрегаттың сенімділік параметрлерін, нақты пайдалану режимін және шығын құрылымын ескере отырып, жөндеу стратегиясын тек формальды регламенттерге емес, нақты өндірістік нәтижелерге негіздеу қажеттігін дәлелдейді. Сонымен қатар, оның әмбебаптығы әртүрлі техникалық агрегаттарға бейімделе алуы, бұл тәсілді өндірістік жоспарлау және шығындарды оңтайландыруда кешенді стратегиялық құрал ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Жаңа әдістеменің енгізілуі кәсіпорынның жоспардан тыс тоқтап қалу қаупін төмендетіп, техниканың пайдалану сенімділігін

арттыруға және техникалық қызмет көрсету жүйесінің тиімділігін жоғарылатуға септігін тигізеді.

Қорытынды

Зерттеу барысында қойылған басты мақсат – карьерлік техниканың рульдік цилиндрлерін жөндеудің техникалық тұрғыдан оңтайлы уақыт аралығын анықтау толығымен орындалды. Бұл мақсатқа нақты өндірістік деректерді өңдеу, сенімділік көрсеткіштерін есептеу және алынған нәтижелерді өндірістік регламенттермен сәйкестендіру арқылы қол жеткізілді.

Жұмыстың міндеттеріне сәйкес біріншіден, жоспардан тыс жөндеулер мен істен шығу себептері талданды. Бұл кезеңде CAT 16М және 16М3 автогрейдерлерінің рульдік цилиндрлеріне жүргізілген жөндеулер туралы мәліметтер жиналып, істен шығу себептері талданды. Нақты екі агрегат – SC16M9 және SC16M4 мысалында, соташық (шток) бойындағы хромдалған қабаттың зақымдануы, тығыздағыштың жыртылуы, поршень мен гильзаның тозуы, датчик ақауы сияқты қайталанатын техникалық ақаулар тіркелді. Сонымен қатар, жөндеу құнына әсер ететін қосалқы бөлшектер тізімі мен бағасы анықталып, бөлшектер толық ауыстырылмаған жағдайда қайталап істен шығу қаупі артатыны дәлелденді. Агрегаттардың жиі істен шығуына жоспарлы жөндеудің бейімделмеген интервалы, диагностиканың жеткіліксіздігі және қосалқы бөлшектердің толық ауыстырылмауы себеп болатыны анықталды. Жоспардан тыс жөндеулердің саны мен құны жоспарлы жөндеулермен салыстырарлық деңгейде, бұл стратегияны қайта қараудың қажеттілігін көрсетті.

Екінші міндет бойынша, статистикалық параметрлер талданды. Жөндеу аралығын оңтайландыру мақсатында жөндеуден кейінгі және толық мотосағаттар туралы мәліметтер жинақталды (4-кесте). SC16M4, SC16M8 және SC16M10 модельдері жоспардан тыс жөндеуге жиі ұшыраған, ал SC16M5 және SC16M12 тек жоспарлы жөндеуден өткен агрегаттар ретінде анықталды. Жоспардан тыс жөндеулердің орын алу диапазоны 2313-тен 15 182 мотосағатқа дейін болған. Сондай-ақ, қажетсіз ұзартылған жоспарлы аралықтар (мысалы, SC16M4 – 21 876 мотосағат) жоспардан тыс жөндеулердің туындауына себеп болғаны байқалды. Статистикалық талдау қолданыстағы регламенттер шектен тыс жалпыланғанын көрсетті. Агрегаттардың нақты жағдайына қарай бейімделмеген жөндеу аралықтары техниканың жиі істен шығуына және шығындардың артуына алып келген. Осылайша, жөндеу уақытын нақты мотосағаттар бойынша реттеу қажеттілігі туындады.

Үшінші міндетке сәйкес статистикалық деректерді өңдеу және оңтайлы интервалдары есептелінді. Осы кезеңде жөндеуге дейінгі мотосағаттар мен ақаулар санын ескере отырып, сенімділік көрсеткіштері – MTBF және MTBS есептеліп шығарылды. Мәндерді өндірістік ТҚК регламенттеріне (250/500 м/с) сәйкестендірілді. Осы интервалдар қолда бар нақты статистикаға және сенімділік талдауға негізделіп алынған. 7000 және 12000 мотосағат – рульдік цилиндрлердің екі техникалық және экономикалық жағынан негізделген оңтайлы жөндеу аралығы ретінде анықталды. Бұл мәндер жабдық сенімділігін арттыруға, жоспардан тыс ақауларды азайтуға және жөндеу шығындарын оңтайландыруға мүмкіндік береді.

MTBF және MTBS көрсеткіштерінің көмегімен агрегаттардың істен шығу аралығы мен

жөндеу жиілігі есептеліп, техникалық қызмет көрсету кестесін икемді түрде қайта құруға негіз болды. Ұсынылған тәсіл жабдық сенімділігін жоғарылата отырып, өндірістік жоспардан ауытқуды төмендетуге және техникалық қызмет көрсету үдерісін неғұрлым дәл жоспарлауға мүмкіндік береді.

Осылайша, жөндеу аралықтарын ғылыми негізде және нақты мәліметтерге сүйене отырып есептеу техниканың өндірістік тиімділігі мен сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Алдағы кезеңде осы аралықтардың сенімділік-экономикалық тиімділігін бағалау арқылы ең үнемді шешімді таңдау жоспарлануда.

Авторлардың қосқан үлесі

Кадыров А.С. – зерттеу мақсаты мен міндеттерін, ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығын айқындады.

Кукешева А.Б. – статистикалық деректерді өңдеу әдістемесін әзірледі, әдеби талдау жүргізді және мақаланың құрылымын қалыптастырды.

Дәрібжан М.С. – KazMinerals Бозшакол кен өндірісі кәсіпорнынан қажетті өндірістік деректерді жинады, оларды талдап, мақала мәтінін жазды.

Бақытов Е.С. – рульдік цилиндрдің ақаулықтары бойынша талдау жұмыстарын жүргізді.

Карсакова А.Ж. – жиналған статистикалық мәліметті рәсімдеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Odeyar P., Apel D. B., Hall R., Zon B., Skrzypkowski K. A review of reliability and fault analysis methods for heavy equipment and their components used in mining // *Energies*. – 2022. – Vol. 15, №17. – P. 6263. <https://doi.org/10.3390/en15176263> – ағылшын тіліндегі журнал
2. Castañón A. M., Gutiérrez-Díez J. C., Bascompta M. Analysis of the mining equipment replacement time. A case study focused on drilling rig // *Results in Engineering*. – 2024. – Vol. 24. – P. 103057. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103057> – ағылшын тіліндегі журнал
3. Suryo S. H., Bayuseno A. P. Study on reliability analysis of hydraulic components and excavator engine in maintenance of mine heavy equipment // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. – 2018. – Vol. 9, №8. – P. 1244–1254. URL: https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJMET/VOLUME_9_ISSUE_8/IJMET_09_08_134.pdf (өтініш берген күні: 20.10.2025) – ағылшын тіліндегі журнал
4. Sharma N. R., Mishra A. K., Jain S. Impact factor improvement and maintenance schedule optimisation of mining shovels by remaining useful life and linear programming // *Journal of Mines, Metals & Fuels*. – 2021. – №9. – ағылшын тіліндегі журнал
5. Dashtaki M. R., Jafari A. J., Hoseinie S. H. Development of a new method for maintainability and downtime analysis of mining machinery // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15, №1. – P. 4565. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88505-3> – ағылшын тіліндегі журнал
6. 2018–2025 жылдар аралығындағы тау-кен кәсіпорнының техникалық қызмет көрсету мен жөндеу бойынша ішкі өндірістік есептері мен шығын сметалары. – Ішкі құжат
7. Caterpillar. 103-6169: M16 × 2 Hexagonal Head Bolt. – [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.cat.com/> (өтініш берген күні: 20.10.2025) – Электрондық ресурс
8. HeavierParts. 1107149 Caterpillar RING. – [Электрон. ресурс]. URL: <https://heavierparts.com/> (өтініш берген күні: 20.10.2025) – Электрондық ресурс

9. eBay. 1362967 Seal O-Ring Fits Caterpillar 345B II, 345C, 345C L, 365B, 365B II. URL: <https://www.ebay.com/> (өтініш берген күні: 20.10.2025) – Электрондық ресурс
10. eBay. SEAL-D RING (1637233) for Caterpillar Aftermarket. – [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.ebay.com/> (өтініш берген күні: 20.10.2025) – Электрондық ресурс
11. eBay. CATERPILLAR CAT 202-6473 HEX HEAD BOLT Original New. – [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.ebay.com/> (өтініш берген күні: 20.10.2025) – Электрондық ресурс
12. TOO «Machinery Parts». Razreznnoe koltsevoe uplotnenie 220-4335 SEAL BRAKE CATERPILLAR. – [Электрон. ресурс]. URL: <https://machineryparts.kz/> (өтініш берген күні: 20.10.2025) – Электрондық ресурс
13. Leppinen J., Punkka A., Ekholm T., Salo A. An optimization model for determining cost-efficient maintenance policies for multi-component systems with economic and structural dependencies // *Omega*. – 2025. – Vol. 130. – P. 103162. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2024.103162> – ағылшын тіліндегі журнал
14. Gölbaşı O., Demirel N. A cost-effective simulation algorithm for inspection interval optimization: An application to mining equipment // *Computers & Industrial Engineering*. – 2017. – Vol. 113. – P. 525–540. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.002> – ағылшын тіліндегі журнал
15. Hamasha M. M., Bani-Irshid A. H., Al Mashaqbeh S., et al. Strategical selection of maintenance type under different conditions // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13, №1. – P. 15560. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42751-5> – ағылшын тіліндегі журнал
16. Sellitto M. A., Pinho B. Maintenance strategy choice supported by the failure rate function: Application in a serial manufacturing line // *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*. – 2023. – Vol. 31, №1. – P. 38–51. <https://doi.org/10.3311/PPso.18627> – ағылшын тіліндегі журнал
17. Garg H. Performance analysis of complex repairable industrial systems using PSO and fuzzy confidence interval based methodology // *ISA Transactions*. – 2013. – Vol. 52, №2. – P. 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2012.09.010> – ағылшын тіліндегі журнал
18. Ben S. J. Implementation of autonomous maintenance and its effect on MTBF, MTTR, and reliability of a critical machine in a beer processing plant // *Int. J. Progressive Science and Technology*. – 2022. – Vol. 31. – P. 57–66. URL: <https://www.researchgate.net/>... (өтініш берген күні: 20.10.2025) – ағылшын тіліндегі журнал
19. Mohamed A., Ben J., Muduli K. Implementation of autonomous maintenance and its effect on MTBF, MTTR, and reliability of a critical machine in a beer processing plant // In: *Applications of Computational Methods in Manufacturing and Product Design*. – Singapore: Springer Nature, 2022. – P. 511–521. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0296-3_47 – конференция материалдары / кітап бөлімі
20. Nascimento Filho A., Takahata A. K., Ribeiro de Lima C., Berton L. Computational Intelligence in Maintenance Strategy Automotive Manufacturing Industry: A Survey. – [Электрон. ресурс]. URL: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5139162> (өтініш берген күні: 20.10.2025) – Электрондық ресурс
21. Mahale Y., Kolhar S., More A. S. A comprehensive review on artificial intelligence driven predictive maintenance in vehicles: technologies, challenges and future research directions // *Discover Applied Sciences*. – 2025. – Vol. 7, №4. – P. 243. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06681-3> – ағылшын тіліндегі журнал

А.С.Кадыров, А.Б.Кукешева, М.С.Дәрібжан *, Е.С.Бақытов, А.Ж.Карсакова

НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан

Формирование методики оптимизации интервалов ремонта агрегатов карьерной техники

Аннотация. В данной статье представлена методика оптимизации интервалов технического обслуживания агрегатов карьерной техники на примере рулевых цилиндров автогрейдеров моделей CAT 16М и 16М3, эксплуатируемых на горнодобывающем предприятии KazMinerals Бозшакол. В ходе исследования проведён анализ фактических производственных статистических данных за 2018–2025 годы по плановым и внеплановым ремонтам. Причины отказов и эксплуатационные ресурсы агрегатов были количественно оценены с использованием показателей MTBF (среднее время между отказами) и MTBS (время между плановыми ремонтами). По результатам расчётов определены два оптимальных интервала технического обслуживания — 7000 и 12000 моточасов. Указанные интервалы адаптированы к реальным условиям эксплуатации, направлены на предотвращение внеплановых отказов и позволяют сделать стратегию технического обслуживания более гибкой и эффективной. Разработанная методика даёт возможность учитывать реальные производственные условия, эффективно планировать техническое обслуживание и снижать риски простоев оборудования. Предлагаемый подход способствует повышению надёжности производственного процесса, снижению дополнительных затрат и совершенствованию системы технического обслуживания.

Ключевые слова: интервал ремонта, надёжность, моточас, рулевой цилиндр, плановый ремонт, карьерная техника.

A.S. Kadyrov, A.B. Kukeshova, M.S.Daribzhan*, E.S.Bakytov, A.Zh.Karsakova

NJSC "Abylkas Saginov Karaganda Technical University", Karaganda, Kazakhstan

Development of a Methodology for Optimizing Repair Intervals of Open-Pit Mining Equipment Units

Abstract. This article proposes a methodology for optimizing the maintenance intervals of mining equipment components, using the example of steering cylinders in CAT 16M and 16M3 motor graders operated by KazMinerals Bozshakol mining enterprise. The study is based on the analysis of actual production statistics from 2018 to 2025, including both scheduled and unscheduled repairs. Causes of failures and component operational resources were quantitatively assessed using MTBF (Mean Time Between Failures) and MTBS (Mean Time Between Services) indicators. The calculations identified two optimal maintenance intervals — 7000 and 12000 engine hours. These intervals are tailored to actual operating conditions and are aimed at preventing unexpected failures while making maintenance strategies more flexible and effective. The method allows for adaptive scheduling of maintenance activities, based on real-world operational data, and ensures more efficient utilization of equipment resources. Moreover, the proposed approach improves the reliability of production processes, reduces unnecessary

expenses, and optimizes the overall maintenance workflow.

Keywords: maintenance interval, reliability, engine hours, steering cylinder, scheduled repair, mining equipment.

References

1. Odeyar P., Apel D. B., Hall R., Zon B., Skrzypkowski K. A review of reliability and fault analysis methods for heavy equipment and their components used in mining // *Energies*. – 2022. – Vol. 15, No. 17. – P. 6263. <https://doi.org/10.3390/en15176263>
2. Castanon A. M., Gutierrez-Diez J. C., Bascompta M. Analysis of the mining equipment replacement time: A case study focused on drilling rig // *Results in Engineering*. – 2024. – Vol. 24. – P. 103057. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103057>
3. Suryo S. H., Bayuseno A. P. Study on reliability analysis of hydraulic components and excavator engine in maintenance of mine heavy equipment // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. – 2018. – Vol. 9, No. 8. – P. 1244–1254. URL: [https://iaeme.com/...](https://iaeme.com/) (accessed 20.10.2025)
4. Sharma N. R., Mishra A. K., Jain S. Impact factor improvement and maintenance schedule optimisation of mining shovels by remaining useful life and linear programming // *Journal of Mines, Metals & Fuels*. – 2021. – No. 9.
5. Dashtaki M. R., Jafari A. J., Hoseinie S. H. Development of a new method for maintainability and downtime analysis of mining machinery // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15, No. 1. – P. 4565. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88505-3>
6. 2018–2025 jıldar aralyǵyndaǵı tau-ken kásipornynyń tekhnikalıq qyzmet kórsetu men jöndeü jölindegi işki öndiristik esepteri men shyǵyn smetalary. – Ішкі qūjat.
7. Caterpillar. 103-6169: M16 × 2 Hexagonal Head Bolt. URL: <https://www.cat.com/> (accessed 20.10.2025)
8. HeavierParts. 1107149 Caterpillar RING. URL: <https://heavierparts.com/> (accessed 20.10.2025)
9. eBay. 1362967 Seal O-Ring Fits Caterpillar 345B II, 345C, 345C L, 365B, 365B II. URL: <https://www.ebay.com/> (accessed 20.10.2025)
10. eBay. SEAL-D RING (1637233) for Caterpillar Aftermarket. URL: <https://www.ebay.com/> (accessed 20.10.2025)
11. eBay. CATERPILLAR CAT 202-6473 HEX HEAD BOLT Original New. URL: <https://www.ebay.com/> (accessed 20.10.2025)
12. TOO “Machinery Parts”. Razreznoe koltsevoe uplotnenie 220-4335 SEAL BRAKE CATERPILLAR. URL: <https://machineryparts.kz/> (accessed 20.10.2025)
13. Leppinen J., Punkka A., Ekholm T., Salo A. An optimization model for determining cost-efficient maintenance policies for multi-component systems with economic and structural dependencies // *Omega*. – 2025. – Vol. 130. – P. 103162. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2024.103162>
14. Golbasi O., Demirel N. A cost-effective simulation algorithm for inspection interval optimization: An application to mining equipment // *Computers & Industrial Engineering*. – 2017. – Vol. 113. – P. 525–540. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.002>
15. Hamasha M. M., Bani-Irshid A. H., Al Mashaqbeh S., et al. Strategical selection of maintenance type under different conditions // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13, No. 1. – P. 15560

<https://doi.org/10.1038/s41598-023-42751-5>

16. Sellitto M. A., Pinho B. Maintenance strategy choice supported by the failure rate function: Application in a serial manufacturing line // *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*. – 2023. – Vol. 31, No. 1. – P. 38–51. <https://doi.org/10.3311/PPso.18627>

17. Garg H. Performance analysis of complex repairable industrial systems using PSO and fuzzy confidence interval based methodology // *ISA Transactions*. – 2013. – Vol. 52, No. 2. – P. 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2012.09.010>

18. Ben S. J. Implementation of autonomous maintenance and its effect on MTBF, MTTR, and reliability of a critical machine in a beer processing plant // *Int. J. Progressive Science and Technology*. – 2022. – Vol. 31. – P. 57–66. URL: <https://www.researchgate.net/>... (accessed 20.10.2025)

19. Mohamed A., Ben J., Muduli K. Implementation of autonomous maintenance and its effect on MTBF, MTTR, and reliability of a critical machine in a beer processing plant // In: *Applications of Computational Methods in Manufacturing and Product Design*. – Singapore: Springer Nature, 2022. – P. 511–521. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0296-3_47

20. Nascimento Filho A., Takahata A. K., Ribeiro de Lima C., Berton L. Computational Intelligence in Maintenance Strategy Automotive Manufacturing Industry: A Survey. URL: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5139162> (accessed 20.10.2025)

21. Mahale Y., Kolhar S., More A. S. A comprehensive review on artificial intelligence driven predictive maintenance in vehicles: technologies, challenges and future research directions // *Discover Applied Sciences*. – 2025. – Vol. 7, No. 4. – P. 243. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06681-3>

Авторлар туралы мәлімет:

Кадыров А.С. – техника ғылымдарының докторы, «көлік техникасы және логистикалық жүйелер» кафедрасының профессоры, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Назарбаев даңғ. 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Кукешева А.Б. – көлік, көлік техникасы және технологиялары, философия докторы (PhD), «көлік техникасы және логистикалық жүйелер» кафедрасының аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Назарбаев даңғ. 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Дәрібжан М.С. – хат-хабар авторы, «көлік техникасы және логистикалық жүйелер» кафедрасының докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Назарбаев даңғ. 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Бақытов Е.С. – «көлік техникасы және логистикалық жүйелер» кафедрасының докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Назарбаев даңғ. 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Карсакова А.Ж. – көлік, көлік техникасы және технологиялары, философия докторы (PhD), «көлік техникасы және логистикалық жүйелер» кафедрасы доценті міндетін атқарушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Назарбаев даңғ. 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Кадыров А.С. – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский технический университет имени Абылкаса

Сагинова, просп. Назарбаева, 56, 100027, Караганда, Казахстан.

Кукешева А.Б. – доктор философии (PhD) по направлению «Транспорт, транспортная техника и технологии», старший преподаватель кафедры «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, просп. Назарбаева, 56, 100027, Караганда, Казахстан.

Дәрібжан М.С. – автор для корреспонденции, докторант кафедры «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, просп. Назарбаева, 56, 100027, Караганда, Казахстан.

Бақытов Е.С. – докторант кафедры «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, просп. Назарбаева, 56, 100027, Караганда, Казахстан.

Карсакова А.Ж. – доктор философии (PhD) по направлению «Транспорт, транспортная техника и технологии», исполняющая обязанности доцента кафедры «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, просп. Назарбаева, 56, 100027, Караганда, Казахстан.

Kadyrov A.S. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Engineering and Logistics Systems, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Avenue, 100027, Karaganda, Kazakhstan.

Kukesheva A.B. – PhD in Transport, Transport Engineering and Technologies, Senior Lecturer at the Department of Transport Engineering and Logistics Systems, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Avenue, 100027, Karaganda, Kazakhstan.

Daribzhan M.S. – Corresponding author, Doctoral Student at the Department of Transport Engineering and Logistics Systems, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Avenue, 100027, Karaganda, Kazakhstan.

Bakytov E.S. – Doctoral Student at the Department of Transport Engineering and Logistics Systems, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Avenue, 100027, Karaganda, Kazakhstan.

Karsakova A.Zh. – PhD in Transport, Transport Engineering and Technologies, Acting Associate Professor at the Department of Transport Engineering and Logistics Systems, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Avenue, 100027, Karaganda, Kazakhstan.

