

Транспортные услуги. Инженерия и инженерное дело

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-08>

УДК: 621.43.004.64

МРНТИ: 53.31.35

**Формирование структуры эксплуатационно-ремонтного цикла силовых агрегатов КАМАЗ****\*<sup>1</sup>Мурзахметова У.А., <sup>1</sup>Жұмакешов Ә.Н., <sup>1</sup>Борамбай Е.С.**<sup>1</sup>Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г.Алматы, Казахстан\*Автор-корреспондент email: [u\\_murzakhmetova@mail.ru](mailto:u_murzakhmetova@mail.ru)

Поступила: 04 декабря 2024 Рецензирование: 16 января 2024 Принята в печать: 23 февраля 2024	<b>Аннотация</b> В данной статье изложены результаты научного исследования, направленного на формирование и обоснование рациональной структуры эксплуатационно-ремонтного цикла (ЭРЦ) силовых агрегатов автомобилей КАМАЗ. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения надёжности, ремонтпригодности и экономической эффективности технического обслуживания и восстановления двигателей в условиях интенсивной эксплуатации. Предложен системный подход к выбору оптимальных сроков замены быстроизнашиваемых элементов (вкладышей, поршневых колец) без необходимости проведения полного капитального ремонта, что позволяет снизить затраты и увеличить межремонтный ресурс. Проведён сравнительный анализ моделей двигателей КАМАЗ серий Euro, показаны изменения в их конструктивных характеристиках, влияющие на показатели долговечности и эффективности. Особое внимание уделено методам электроосаждения железа как инновационной технологии восстановления поверхности деталей. Приведены результаты лабораторных исследований, включая микроструктурный анализ покрытий, их адгезионные и прочностные характеристики при различных режимах осаждения. Установлены оптимальные параметры технологического процесса, обеспечивающие наилучшее качество восстановленных поверхностей. Полученные данные доказывают целесообразность внедрения разработанной методики в систему технической эксплуатации автотранспортных средств, позволяя сократить затраты на ремонт до 25%, снизить простоев технику и повысить ресурс её ключевых узлов. <b>Ключевые слова:</b> цикл технического обслуживания и ремонта, силовые агрегаты, формирование структуры ЭРЦ, двигатели, серия Euro.
<b>Мурзахметова У.А.</b>	<b>Информация об авторах:</b> Кандидат технических наук, профессор кафедры «Транспортная техника и организация перевозок», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-5429-023X">https://orcid.org/0000-0002-5429-023X</a> , E-mail: <a href="mailto:u_murzakhmetova@mail.ru">u_murzakhmetova@mail.ru</a> .
<b>Жұмакешов Ә.Н.</b>	магистрант ОП 7М07104 «Транспорт, транспортная техника и технологии», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0000-9904-5302">https://orcid.org/0009-0000-9904-5302</a> , E-mail: <a href="mailto:Alibizhumeakeshov@mail.ru">Alibizhumeakeshov@mail.ru</a>
<b>Борамбай Е.С.</b>	магистрант ОП 7М07104 «Транспорт, транспортная техника и технологии», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0006-1160-3802">https://orcid.org/0009-0006-1160-3802</a> , E-mail: <a href="mailto:Borambai-elman@mail.ru">Borambai-elman@mail.ru</a>

Көлік қызметі. Инженерлік іс және инженерия

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-08>

ЭОЖ: 621.43.004.64

GTAMP: 53.31.35

## КАМАЗ қуат агрегаттарының пайдалану - жөндеу циклінің құрылымын қалыптастыру

\*<sup>1</sup>Мурзахметова У.А., <sup>1</sup>Жұмакешов Ә.Н., <sup>1</sup>Борамбай Е.С.

<sup>1</sup>Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан

\*Автор-корреспондент email: [u\\_murzakhmetova@mail.ru](mailto:u_murzakhmetova@mail.ru).

Мақала келді:  
04 желтоқсан 2024  
Сараптамадан өтті:  
16 ақпан 2024  
Қабылданды:  
23 ақпан 2024

### Түйіндеме

Бұл мақалада КАМАЗ автомобильдерінің қуат агрегаттарының пайдалану-жөндеу циклінің (ЭРЦ) ұтымды құрылымын қалыптастыруға және негіздеуге бағытталған ғылыми зерттеу нәтижелері баяндалған. Тақырыптың өзектілігі қарқынды пайдалану жағдайында қозғалтқыштарға техникалық қызмет көрсету мен қалпына келтірудің сенімділігін, жөнделуін және экономикалық тиімділігін арттыру қажеттілігімен байланысты. Авторлар толық күрделі жөндеуді қажет етпестен тез тозатын элементтерді (кірістірулер, поршеньдік сакиналар) ауыстырудың оңтайлы мерзімдерін таңдауға жүйелі тәсілді ұсынды, бұл шығындарды азайтуға және жөндеу аралық ресурсты ұлғайтуға мүмкіндік береді. EURO сериялы КАМАЗ қозғалтқыштарының модельдеріне салыстырмалы талдау жүргізілді, олардың құрылымдық сипаттамаларында беріктік пен тиімділік көрсеткіштеріне әсер ететін өзгерістер көрсетілген. Бөлшектердің бетін қалпына келтірудің инновациялық технологиясы ретінде темірді электрмен тұндыру әдістеріне ерекше назар аударылады. Өр түрлі тұндыру режимдеріндегі жабындардың микроқұрылымдық талдауын, олардың адгезиялық және беріктік сипаттамаларын қоса алғанда, зертханалық зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Қалпына келтірілген беттердің ең жақсы сапасын қамтамасыз ететін технологиялық процестің оңтайлы параметрлері Орнатылған. Алынған деректер автокөлік құралдарын техникалық пайдалану жүйесіне әзірленген әдістемені енгізудің орындылығын дәлелдейді, бұл жөндеу шығындарын 25% - ға дейін қысқартуға, техниканың тоқтап қалуын азайтуға және оның негізгі тораптарының ресурсын арттыруға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** техникалық қызмет көрсету және жөндеу циклі, қуат блоктары, ERC құрылымын қалыптастыру, қозғалтқыштар, Euro сериясы

<b>Мурзахметова У.А.</b>	<b>Авторлар туралы ақпарат:</b> Техника ғылымдарының кандидаты, PhD докторы, «Көлік технологиясы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасының профессоры. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-5429-023X">https://orcid.org/0000-0002-5429-023X</a> , E-mail: <a href="mailto:u_murzakhmetova@mail.ru">u_murzakhmetova@mail.ru</a> .
<b>Жұмакешов Ә.Н.</b>	Магистрант, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0000-9904-5302">https://orcid.org/0009-0000-9904-5302</a> , E-mail: <a href="mailto:Ali-bizhumekeshov@mail.ru">Ali-bizhumekeshov@mail.ru</a>
<b>Борамбай Е.С.</b>	Магистрант, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0006-1160-3802">https://orcid.org/0009-0006-1160-3802</a> , E-mail: <a href="mailto:Borambai-elman@mail.ru">Borambai-elman@mail.ru</a>

Transportation Services. Engineering

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-08>

UDC: 621.43.004.64

IRSTI: 53.31.35

**Formation of the structure of the operational and repair cycle of KAMAZ power units****\*<sup>1</sup>Murzakhmetova U.A., <sup>1</sup>Zhumakeshov A.N., <sup>1</sup>Borambai E.S.**<sup>1</sup>Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan\*Corresponding author email: [u\\_murzakhmetova@mail.ru](mailto:u_murzakhmetova@mail.ru).

Received:  
04 December 2024  
Peer-reviewed:  
16 February 2024  
Accepted:  
23 February 2024

**Abstract**

This article presents the results of a scientific study aimed at the formation and justification of a rational structure of the maintenance and repair cycle (ERC) of power units of KAMAZ vehicles. The relevance of the topic is due to the need to improve the reliability, maintainability and cost-effectiveness of engine maintenance and restoration in conditions of intensive operation. The authors propose a systematic approach to choosing the optimal replacement time for quick-wear elements (inserts, piston rings) without the need for a complete overhaul, which reduces costs and increases the inter-repair life. A comparative analysis of the KAMAZ Euro series engine models has been carried out, and changes in their design characteristics affecting durability and efficiency have been shown. Special attention is paid to the methods of electrodeposition of iron as an innovative technology for restoring the surface of parts. The results of laboratory studies, including microstructural analysis of coatings, their adhesion and strength characteristics under various deposition conditions are presented. The optimal parameters of the technological process have been established, ensuring the best quality of the restored surfaces. The data obtained prove the expediency of introducing the developed methodology into the system of technical operation of motor vehicles, allowing reducing repair costs by up to 25%, reducing equipment downtime and increasing the resource of its key components.

**Keywords:** maintenance and repair cycle, power units, formation of the ERC structure, engines, Euro series

<b>Murzakhmetova U. A.</b>	<b>Information about authors:</b> <i>Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Engineering and Organization of Transportation, Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-5429-023X">https://orcid.org/0000-0002-5429-023X</a>. E-mail: <a href="mailto:u_murzakhmetova@mail.ru">u_murzakhmetova@mail.ru</a>.</i>
<b>Zhumakeshov A. N.</b>	<i>Master's student of the OP 7M07104 - "Transport, transport equipment and technologies", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0000-9904-5302">https://orcid.org/0009-0000-9904-5302</a>. E-mail: <a href="mailto:Alibizhumekeshov@mail.ru">Alibizhumekeshov@mail.ru</a></i>
<b>Borambai E. S.</b>	<i>Master's student of the OP 7M07104 - "Transport, transport equipment and technologies", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0006-1160-3802">https://orcid.org/0009-0006-1160-3802</a>. E-mail: <a href="mailto:Borambai-elman@mail.ru">Borambai-elman@mail.ru</a></i>

## Введение

В современных условиях, когда автомобилестроение и эксплуатация автомобильных агрегатов становятся всё более сложными и высокотехнологичными, проблема повышения эффективности и качества функционирования этих агрегатов приобретает особую значимость. Одним из ключевых факторов, обеспечивающих успешную эксплуатацию автомобилей, является их ремонтпригодность — способность агрегатов и систем восстанавливать работоспособность после использования с минимальными затратами времени и средств. По мере увеличения срока службы автомобилей и их оборудования задача повышения ремонтпригодности становится всё более актуальной.

Усложнение конструкции автомобилей, рост требований к экологическим характеристикам, необходимость выполнения более сложных задач и повышение надёжности оборудования требуют разработки и внедрения новых методов обслуживания, диагностики и ремонта. В результате традиционные подходы становятся менее эффективными, а техническое обслуживание и восстановление элементов автомобилей требуют новых технологических решений.

Одной из приоритетных задач является разработка и совершенствование структуры эксплуатационно-ремонтного цикла (ЭРЦ) силовых агрегатов, таких как двигатели и трансмиссии. Эффективная реализация этой задачи требует комплексного подхода, включающего обновление технологий восстановления, внедрение новых материалов, а также методов диагностики и прогнозирования износа деталей.

Для рациональной организации ремонтного процесса необходимо учитывать множество факторов — от конструктивных особенностей двигателя до условий эксплуатации в различных климатических и дорожных зонах. Существенное значение имеет и экономическая обоснованность выполняемых ремонтных мероприятий, что позволяет оптимизировать затраты и повысить общую эффективность работы автотранспортных предприятий.

Целью настоящего исследования является анализ современных методов восстановления силовых агрегатов автомобилей КАМАЗ, особенно двигателей серии Euro-1, а также разработка подходов, направленных на повышение их ремонтпригодности, снижение эксплуатационных затрат и продление срока службы. Отдельное внимание уделено технологическим аспектам, включая анализ технико-экономических факторов, влияющих на процессы восстановления, и оценку эффективности применения различных методов и материалов.

## Методы

В ходе исследования применялись:

- Анализ эксплуатационно-ремонтного цикла (ЭРЦ) — изучение взаимосвязей между техническим состоянием элементов агрегата и необходимостью выполнения предупредительных и капитальных ремонтов;
- Экономическое моделирование — расчет минимальных удельных затрат на замену дешевых деталей (вкладышей, поршневых колец) без замены дорогостоящих компонентов;
- Электрохимический анализ — исследование условий электроосаждения железа на восстановление деталей методом катодной поляризации в различных температурных и вакуумных режимах;
- Испытания в электрохимической ячейке ЯСЭ-2 — оценка качества покрытия, адгезии и микроструктуры на образцах из стали 45;
- Микроскопический анализ — изучение микроструктуры покрытий и механизмов роста кристаллов при различных плотностях тока.

## Результаты

Для решения поставленных задач, как с теоретической, так и с практической точек зрения, проведено исследование, направленное на повышение ремонтпригодности и совершенствование методов восстановления силовых агрегатов. В качестве основы использована структура эксплуатационно-ремонтного цикла (ЭРЦ) агрегата или автомобиля в целом, предполагающая анализ ресурса его элементов, то есть их наработки до достижения предельного состояния. На этом этапе обязательно осуществляется либо предупредительный (ПР), либо капитальный ремонт (КР).

С целью разработки системы ПР элементов на основе закономерностей изменения их технического состояния в процессе эксплуатации, авторами предложена технико-экономическая методика обоснования ресурса элементов и объема выполняемых ПР. Установлено, что взаимное влияние технического состояния сопряжённых элементов свидетельствует об экономической целесообразности максимального использования ресурса дорогостоящих компонентов за счёт своевременной замены недорогих, но быстроизнашивающихся деталей. Это, в свою очередь, служит основой для формирования рациональной структуры обеспечения работоспособности агрегатных сопряжений [1, 2].

Для теоретического обоснования применена методика оценки предельного состояния и ресурса деталей основных сопряжений двигателя на основе экономического критерия, при котором предупредительный ремонт оказывается наиболее эффективным. Установлено, что технический ресурс шеек коленчатого вала и гильз цилиндров более чем в два раза превышает ресурс вкладышей и поршневых колец. Это подтверждает техническую целесообразность их замены без необходимости перешлифовки шеек коленчатого вала и замены гильз и поршней.

Однако окончательное решение о целесообразности подобной замены и частоте её проведения должно приниматься с учётом экономических расчётов. В данном контексте экономический критерий основан на минимизации суммарных удельных затрат на приобретение дорогостоящих деталей (коленчатый вал, гильзы, поршни) и поддержание их работоспособности путём своевременной замены более дешёвых и быстроизнашивающихся компонентов (вкладышей, поршневых колец).

Момент достижения оптимального экономического эффекта зависит от динамики изменения технического состояния сопряжённых деталей до и после замены дешёвых элементов. В основных сопряжениях двигателя можно выделить две группы компонентов, существенно различающихся по стоимости и ресурсу: в подшипниках коленчатого вала — это сам вал и вкладыши; в цилиндропоршневой группе — гильзы и поршни, а также компрессионные кольца. При этом интенсивность износа вкладышей в среднем в 3,5 раза выше, чем шеек коленчатого вала, а верхних компрессионных колец — в 4 раза выше, чем гильз цилиндров в зоне верхнего пояса.

Эти различия находят отражение в величинах технического ресурса: для шеек коленчатого вала и гильз он в среднем в два раза превышает ресурс вкладышей и поршневых колец. Существенная вариативность ресурса дешёвых деталей осложняет планирование ремонтов. В связи с этим рациональные интервалы замены таких компонентов до капитального ремонта рекомендуется определять на основе экономического критерия, минимизирующего совокупные затраты на содержание агрегата.

Система обеспечения работоспособности силовых агрегатов автомобилей базируется на выявленных закономерностях изменения их технического состояния в процессе эксплуатации. Эти закономерности формируются под воздействием совокупности факторов, классифицированных по функциональным группам [3] (см. рисунок 1).

Анализ схемы позволяет заключить, что ключевое влияние на эффективность технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) оказывают конструктивно-технологические факторы. Именно они в значительной степени определяют качество изготавливаемых агрегатов и ав-



томобилей в целом. При этом в отечественном автомобилестроении сохраняется значительный потенциал для достижения уровня развитых стран, особенно в аспектах повышения долговечности и обеспечения экологической безопасности выпускаемой техники [4].

Достижение высоких показателей по экологическим нормам дизельных двигателей, а также по показателям их функционирования и долговечности, неразрывно связано с повышением качества изготовления деталей, их восстановления при ремонте, а также с применением новых технологий и материалов.



**Рисунок 1.** Схема факторов, определяющих эффективность технической эксплуатации автомобилей [материал автора]

Одним из ключевых элементов автомобиля, во многом определяющим его эффективность, является силовой агрегат (двигатель). В рамках индустриальной модернизации автомобилей КАМАЗ, ТОО «КАМАЗ» осуществляет разработку и выпуск модельного ряда современных двигателей, соответствующих экологическим стандартам ЕЭК ООН EURO-1, EURO-2, EURO-3 и EURO-4.

Модернизация началась с двигателя модели 740.10 (мощность — 210 л.с., номинальная частота вращения коленчатого вала — 2600 мин<sup>-1</sup>, максимальный крутящий момент — 850 Н·м). В результате доработок был создан двигатель модели 740.11-240, соответствующий требованиям экологического стандарта EURO-1. Он обладает мощностью 240 л.с., номинальной частотой вращения 2200 мин<sup>-1</sup> и сохраняет прежний максимальный крутящий момент — 850 Нм.

Затем был налажен выпуск двигателей, соответствующих экологическим требованиям стандарта EURO-2. К ним относятся модели 740.30-260 и 740.50-360, созданные на базе двигателя 740.11-240.

Следующим этапом модернизации современного семейства двигателей стал выпуск силовых агрегатов, соответствующих требованиям EURO-4. При этом увеличение мощности двигателя более чем в 1,5 раза по сравнению с базовой моделью (см. таблицу 1) [8], без значительного изменения размеров его основных деталей (коленчатый вал, шатун, блок цилиндров и др.), положительно сказалось на долговечности и конкурентоспособности силового агрегата.

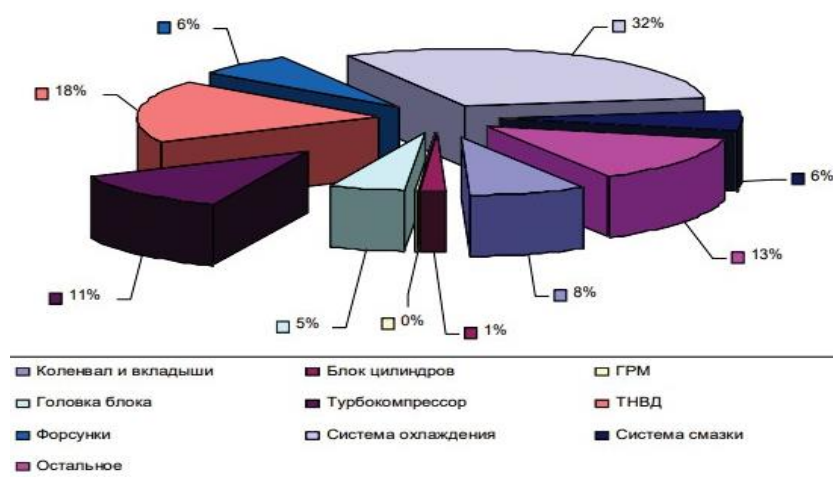
При этом всё более актуальным становится вопрос снижения издержек на протяжении всего жизненного цикла автомобиля, что побуждает к тщательному анализу зарубежного опыта в области проектирования, эксплуатации и обслуживания автотранспортной техники.

Формирование современного семейства силовых агрегатов автомобилей КАМАЗ, а также совершенствование их конструкции и технологий изготовления, значительно повлияли на повышение их надёжности.

Надёжность автомобиля является одним из ключевых комплексных показателей, отражающих изменение его качества в процессе эксплуатации. Анализ распределения отказов по элементам двигателя КАМАЗ позволяет выявить наименее надёжные узлы, определить направления их конструктивного и технологического совершенствования, обосновать потребность в запасных частях с учётом конкретных условий эксплуатации, а также установить рациональные нормативы технического обслуживания и ремонта (см. рисунок 2).

**Таблица 1.** Характеристика двигателей семейства КАМАЗ

Параметр	Ед. изм.	КамАЗ-740.10	КамАЗ-740.11-240	КамАЗ-740.13-260	КамАЗ-740.30	КамАЗ-740.50
Номинальная мощность	кВт (л.с.)	154 (210)	176 (240)	191 (260)	191 (260)	265 (360)
Давление масла	кПа (кгс/см <sup>2</sup> )	195–388 (3.5–4)	392–539 (4–5.5)	392–539 (4–5.5)	392–539 (4–5.5)	392–539 (4–5.5)
Макс. крутящий момент	Н·м (кгс·м)	667 (68)	833 (85)	931 (95)	1079 (110)	1470 (150)
Диаметр цилиндра	мм	120	120	120	120	120
Ход поршня	мм	120	120	120	120	130



**Рисунок 2.** Распределение отказов по элементам двигателя КамАЗ за 2022-2023 гг., в условиях ТОО «Алматинский Автоцентр КамАЗ» [материал автора]

Качество автомобиля определяется не только его способностью выполнять заданные функции, но и, прежде всего, уровнем надёжности — способностью длительно сохранять, а при необходимости и восстанавливать работоспособность при минимальных затратах труда и средств.

В этом контексте долговечность выступает как характеристика качества, связанная со временем эксплуатации. Если в процессе использования агрегата происходит частичная или полная утрата его свойств, препятствующая выполнению им предусмотренных функций, это может привести к частичному либо полному выходу автомобиля из строя.

Снижение долговечности элементов и агрегатов обусловлено рядом факторов: конструктивные, производственные и монтажные ошибки, допущенные на этапах проектиров-

ния, изготовления или сборки. Такие дефекты, как правило, проявляются на ранних стадиях эксплуатации.

Постепенная утрата элементом или агрегатом функциональных свойств вследствие износа. Этот процесс носит закономерный характер: с увеличением времени эксплуатации автомобиля износ в рабочих сопряжениях нарастает. Он происходит под воздействием как случайных, так и детерминированных факторов. При этом завершение изнашивания в большинстве случаев имеет случайный характер, что затрудняет точное прогнозирование отказов.

Воздействия физического характера, способные вызвать внезапные отказы элементов и агрегатов даже при отсутствии видимых признаков ухудшения их функциональных свойств.

Все виды отказов и причины, их вызывающие, объединяет один общий признак — случайный характер возникновения, даже в тех случаях, когда им предшествует постепенное накопление физических изменений.

Учитывая вышеизложенное, при восстановлении поверхностей узлов и деталей необходимо определить условия формирования электролитических железных покрытий, обладающих высокой адгезией к основному материалу, а также равномерным распределением физико-механических свойств и толщины по всей поверхности.

Для оценки электрохимического состояния поверхности образца, а также влияния температуры и разреженной среды на кинетику электроосаждения железа в начальный период катодной поляризации был использован метод поляризационных измерений.

Исследования проводятся в стеклянной герметизированной электрохимической ячейке ЯСЭ-2. В качестве электрода сравнения используется насыщенный хлорсеребряный электрод ЭВЛ-1МЗ, а в качестве материала вспомогательного электрода — сталь 3 (ГОСТ 380–71).

Образцы (рабочий электрод) изготавливаются из стали 45 (ГОСТ 1050–74). Диаметр наружной цилиндрической поверхности образца составляет 12 мм, общая длина — 120 мм, а рабочая длина, на которую наносится электрическое железо, равна 100 мм, что соответствует площади поверхности 1,2 дм<sup>2</sup>. Шероховатость поверхности соответствует 7-му классу ( $R_a = 0,63$ ).

Конструкция исследуемого электрода соответствует общепринятым требованиям. Площадь исследуемой поверхности 0,5 дм<sup>2</sup> (относительная погрешность измерения 1%). Исследуемая поверхность рабочего электрода располагается вертикально. Поляризация рабочего электрода осуществляется с помощью потенциостата П-5827М в гальваностатическом режиме. Регистрация потенциала как функции от тока  $\psi = f(I)$  осуществляется планшетным двухкоординатным потенциометром ПДП-4.

Скорость развертки потенциала  $4 \cdot 10^{-3}$  В/с. Плотность тока катодной поляризации ( $D_k$ ), А/дм<sup>2</sup>: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5 (относительная погрешность измерения 5%). Величина плотности тока обусловлена исследованием катодного процесса в начальный период электролиза, начинающегося с постепенного, ступенчатого выхода на режим. Электрохимические исследования проводились при температуре (°C): 20; 55; 80. Постоянное значение температуры поддерживалось с помощью термостата Вобзера через водяную рубашку электрохимической ячейки. Погрешность установки температуры в термостате определялась с помощью контактного термометра (ГОСТ 9871–61)  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ , температура в ячейке измерялась ртутным термометром (ГОСТ 215–73 ТЛ–2) с точностью  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Герметичность ячейки обеспечивалась шлифованными соединениями с вакуумной смазкой. Разрежение в ячейке создавалось вакуумным насосом через редуктор-баллон. Степень разрежения контролировалась вакуумметром ГОСТ 6521–60. Величина разрежения устанавливалась: при температуре  $20^\circ\text{C}$  –  $2,5 \cdot 10^3$  Па, при  $55^\circ\text{C}$  –  $1,5 \cdot 10^4$  Па, при  $80^\circ\text{C}$  –  $4,7 \cdot 10^4$  Па. При выбранных значениях величины степени разрежения давление над электролитом не достигает значения давления насыщенного пара, т.е. наблюдается кипение электролита.

Для исследования использовался электролит состава: хлористое железо ( $\text{FeCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ ) –  $350 \pm 1$  г/л; кислота соляная –  $1,5 \pm 1$  г/л.

Для приготовления электролита использовались реактивы марки «ч», хлористое железо ГОСТ 4149 – 65, соляная кислота ГОСТ 3118 – 68 и дистиллированная вода. Исследуемая



поверхность образца шлифуется и полируется до зеркального блеска пастой ГОИ, затем обезжиривается суспензией «венской извести», тщательно промывается проточной водой. Подготовленный образец анодно травится в 30 %-м растворе серной кислоты (ГОСТ 2184–67) при температуре  $20 \pm 2$  °С, плотности тока  $60 \text{ А/дм}^2$ , время обработки 60 секунд. Анодно обработанный образец промывается проточной водой, сушится фильтровальной бумагой и помещается в ячейку. После достижения равновесного потенциала в исследуемом растворе подается ток поляризации. Подача тока на ячейку и регистрация изменения потенциала в зависимости от тока проводятся в соответствии с инструкцией по эксплуатации потенциостата П–5827М.

Осаждение металла на катоде рассматривается как процесс, протекающий в две стадии: образование центров кристаллизации (зародышей) и рост этих центров. Размер образующихся кристаллов определяется соотношением скоростей указанных стадий, а также средним временем, необходимым для формирования кристалла — от образования зародыша до прекращения его роста.

При электрокристаллизации размер кристаллов становится меньше, если низка концентрация, температура и выше вязкость электролита, так как эти факторы влияют на диффузию.

Исследование явлений слоеобразования на гранях кристаллов при электроосаждении железа привело к ряду важных выводов:

Микроскопически видимые слои периодически распространяются по грани, часто образуясь у одного и того же края.

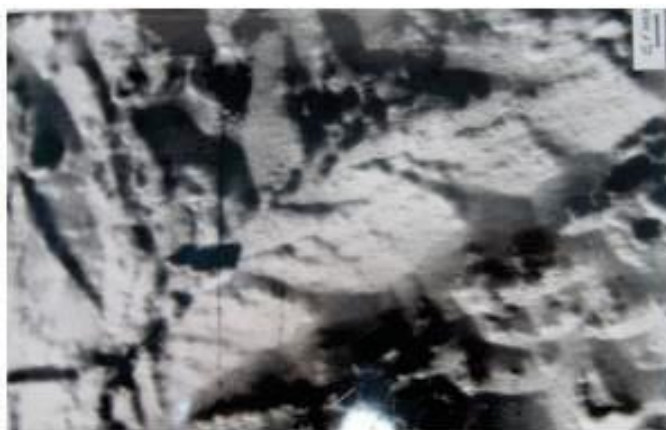
Толщина слоев изменяется в зависимости от условий роста кристаллов, варьируя от долей микрона до нескольких микрон (см. рисунок 3):

- скорость распространения слоя по грани также изменяется в соответствии с его толщиной;
- нередко на еще не завершеном слое возникают новые слои, рост грани при этом осуществляется путем одновременного распространения нескольких слоев;
- с увеличением размеров грани толщина слоя, измеренная вдоль его граней, оказывается неодинаковой.

Из этого видим, что могут быть использованы при помощи представлений о различии скоростях образования и роста кристаллов на основе явления пассивации. Объяснение локализации и периодичности возникновения «зародышей» толстых слоев заключается в концентрационных явлениях при движении электролита. Движение электролита в диффузном слое при процессе роста кристаллов играет фундаментальную роль, так как потребление ионов происходит локализованно — около фронта роста толстого слоя, периодически распространяющегося на грани кристаллов. Своеобразное потребление ионов в направлении, параллельном поверхности катода, вызывает возникновение тангенциального градиента концентрации. Этот градиент концентрации проявляется в непосредственной близости катода, к поверхности, т.е. в той области пограничного слоя, в которой при соответствующих условиях может возникнуть диффузный слой, характерный для рассмотренных явлений.

На фотографиях микроструктуры электролитического железа наблюдается столбчатая дендритообразная структура (рис. 4, а), при плотностях тока  $8 \dots 10 \text{ А/дм}^2$  железо имеет характерную волокнистую структуру с волокнами, расположенными перпендикулярно поверхности покрытия, а при плотности более  $10 \text{ А/дм}^2$  в железе наблюдаются трещины (рис. 4, б)

Исследование электрохимического состояния железоуглеродистого сплава показало, что перенапряжение выделения водорода в значительной степени снижается в зависимости от степени разреженности атмосферы над уровнем электролита. Так, в электролите, нагретом до  $55^\circ\text{C}$ , с разреженностью над зеркалом электролита 75%, величина снижения перенапряжения водорода соответствует перенапряжению водорода в электролите, нагретом до  $80^\circ\text{C}$  при нормальных условиях.



**Рисунок 3.** Трехмерные ступени (пакеты) роста твердого электролитического железного покрытия [материал автора]  
а) полученного при плотностях б) появление трещин тока:  $8...10 \text{ А / дм}^2$



**Рисунок 4.** Микроструктуры электролитического железа [материал автора]

В связи с этим появляется возможность произвольного увеличения или уменьшения количества выделяющегося водорода в зависимости от степени разреженности атмосферы, что особенно важно в первоначальный период формирования покрытий электролитического железа на поверхности. Исследование структурных преобразований в электролитическом железе, полученном в электролите, нагретом до  $55^{\circ}\text{C}$ , показало, что получение контактного слоя железа без наличия в нем трещин обеспечивается в тех случаях, когда выход железа по току равен не менее 15% и не более 30%.

### Обсуждение

Практическая значимость предложенного подхода заключается в сокращении простоев техники, повышении ресурса дорогостоящих узлов и снижении затрат. Частичный ремонт без капитального вмешательства позволяет использовать ресурс двигателя более эффективно. С точки зрения надёжности, такая схема ЭРЦ способствует равномерному распределению нагрузок между элементами, устраняет преждевременный износ быстроизнашиваемых деталей и предотвращает их воздействие на более дорогостоящие компоненты.

Применение электроосаждения железа как метода восстановления позволяет устранить мелкие дефекты поверхностей, не прибегая к мехобработке или замене. Установленные оптимальные параметры обеспечивают наилучшее соотношение между скоростью осаждения, качеством покрытия и его эксплуатационными свойствами.

Технологические ограничения метода также выявлены: при превышении плотности тока в 10 А/дм<sup>2</sup> резко ухудшается качество покрытия. Это связано с нарушением равномерности осаждения и повышенным выделением водорода.

Экономический эффект от внедрения технологии электроосаждения и рационального ЭРЦ подтверждён расчётами и сопоставлением с традиционным капитальным ремонтом. Снижение затрат на ремонт до 20–25% делает технологию привлекательной для автотранспортных предприятий и сервисных центров.

### Выводы

Проведённое исследование показало, что в процессе эксплуатации дизельных двигателей КамАЗ наиболее интенсивному износу подвергаются такие детали, как шатунные и коренные вкладыши, компрессионные и маслосъёмные кольца, клапаны, а также элементы газораспределительного механизма. Эти элементы часто выходят из строя до наступления расчетного срока капитального ремонта, что влечёт за собой увеличение простоев и эксплуатационных затрат.

Практика демонстрирует, что выполнение полного капитального ремонта при каждом снижении мощности или компрессии двигателя экономически нецелесообразно, особенно в условиях интенсивной эксплуатации. Вместо этого рекомендуется внедрение подхода селективного (частичного) ремонта, заключающегося в замене только тех узлов и деталей, которые реально утратили работоспособность.

Применение оптимизированного эксплуатационно-ремонтного цикла позволяет продлить общий срок службы двигателя без капитального вмешательства. Это достигается за счёт своевременной диагностики, технического обслуживания и точечной замены изношенных компонентов. Экономическая эффективность такого подхода подтверждена расчётами: снижение затрат на ремонт и обслуживание может достигать 20–25% по сравнению с традиционной схемой капитального ремонта.

Таким образом, подход к обслуживанию двигателей должен базироваться на данных технической диагностики и фактическом состоянии узлов, что позволяет обеспечить более надёжную и экономичную эксплуатацию автотракторной техники.

**Конфликт интересов.** Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

*Ссылка на данную статью:* Мурзахметова У.А., Әлібекова М.К., Жұмакешов Ә.Н., Борамбай Е.С. Формирование структуры эксплуатационно-ремонтного цикла силовых агрегатов КАМАЗ. Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2024; 1(5):78-89. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-08>

*Cite this article as:* Murzahmetova U.A., Alibekova M.K., Zhumakeshov Ә.N., Borambaj E.S. Formirovanie struktury ekspluatacionno-remontnogo cikla silovyh agregatov KAMAZ [Formation of the structure of the operational and repair cycle of KAMAZ power units]. Vestnik Kazhskogo avtomobil'no-dorozhnogoinstituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2024; 1(5):78-89. (In Rus.). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-08>

### Литература

- [5] Шаяхметов А.Б. Диагностика транспортной техники. Костанай:КГУ им. А. Байтурсынова. 2011, 102.
- [6] Жирнов А.Ю., Кириллов А.Г. Диагностическое обеспечение технической эксплуатации автомобилей. Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: материалы XVIII Международной научно-практической конференции. Владимир, Россия. 2016, 126-130.
- [7] Денисов А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей. Саратов: СГТУ. 1999, 352.

- [8] Денисов А.С., Тугушев Б.Ф., Горшенина Е.Ю., Асоян А.Р. Анализ физико-механических свойств металла коленчатых валов, восстановленных нанесением наплавочных металлопокрытий. Автотранспортное предприятие. 2012;4:45-47.
- [9] Асоян А.Р. и др. Объемное моделирование и анализ деформации коренных опор двигателя КамАЗ– 740. Проблемы геометрического компьютерного моделирования в подготовке конструкторов для инновационного производства: сборник материалов Поволжской научно-методическая конференция. Саратов: Россия, 2010. 183- 188.

### References

- [1] Shayahmetov AB. Diagnostika transportnoj tekhniki [Diagnostics of transport equipment]. Kostanaj: KGU im. A. Bajtursynova. 2011, 102. (in Russ.).
- [2] ZHirnov AYU, Kirillov AG. Diagnosticheskoe obespechenie tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobilej [Diagnostic support of technical operation of vehicles]. Aktual'nye problemy ekspluatatsii avtotransportnyh sredstv: materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Actual problems of motor vehicle operation: proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference]. Vladimir, Russia. 2016. 126-130. (in Russ.).
- [3] Denisov AS. Osnovy formirovaniya ekspluatacionno-remontnogo cikla avto-mobilej [Fundamentals of the formation of the maintenance and repair cycle of cars]. Saratov: SGTU. 1999, 352. (in Russ.).
- [4] Denisov AS, Tugushev BF, Gorshenina EYu, Asoyan AR. Analiz fiziko-mekhanicheskikh svojstv metalla kolenchatyh valov, vosstanovlennyh nanesseniem naplavochnyh metallopokrytij [Analysis of the physico-mechanical properties of the metal of crankshafts restored by applying surfacing metal coatings]. Avtotransportnoe predpriyatie = A trucking company. 2012; 4:45-47. (in Russ.).
- [5] Asoyan AR and others. Ob"emnoe modelirovanie i analiz deformatsii korenykh opor dvigatelya KamAZ– 740 [Volumetric modeling and analysis of the deformation of the main bearings of the KamAZ– 740 engine]. Problemy geometricheskogo komp'yuternogo modelirovaniya v podgotovke konstruktorov dlya innovacionnogo proizvodstva: sbornik materialov Povolzhskoj nauchno-metodicheskaya konferenciya [Problems of geometric computer modeling in the training of designers for innovative production: collection of materials of the Volga Scientific and Methodological Conference]. Saratov, Russia, 2010. 183-188. (in Russ.).