

DOI: 10.34220/2311-8873-2022-58-64



УДК 629.113

05.22.10 – эксплуатация автомобильного транспорта

### **ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ ПЕРЕВОДЕ АВТОМОБИЛЕЙ НА ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

✉<sup>1</sup>**Попов Дмитрий Анатольевич**  
к.т.н., доцент кафедры машиностроительных технологий Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова (РФ)  
e-mail: [qaz.7@mail.ru](mailto:qaz.7@mail.ru)

**Симакин Иван Алексеевич**  
студент 1 курса машиностроительного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова (РФ)

**Агарков Степан Данилович**  
студент 2 курса магистратуры Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова (РФ)

**Горячев Николай Андреевич**  
студент 1 курса машиностроительного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова (РФ)

#### **Аннотация**

В статье приводится анализ технического опыта эксплуатации газомоторных двигателей, в частности, автомобилей семейства ГАЗ с двигателем ЗМЗ при переводе их на двухтопливную систему питания «газ-бензин». Отмечены основные технические задачи, с которыми сталкиваются собственники автомобилей, эксплуатационные и ремонтные службы. Предлагаются возможные пути их решения.

**Ключевые слова:** ГАЗОМОТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ, РЕСУРС КЛАПАНОВ, МЕТАСТАБИЛЬНЫЙ СПЛАВ

<sup>1</sup>Автор для ведения переписки

### **TECHNICAL CHALLENGES IN THE TRANSFER OF CARS TO GAS ENGINE FUEL AND WAYS TO SOLUTION THEM**

✉<sup>1</sup>**Dmitriy A. Popov**  
cand. of Tech. Sc., associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies, Voronezh State Forestry Engineering University of G.F. Morozov, Russian Federation, e-mail: [qaz.7@mail.ru](mailto:qaz.7@mail.ru)

**Ivan A. Simakin**  
1st year student of the Faculty of Mechanical Engineering of the Department of Mechanical Engineering Technologies of the Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov (RF)

**Stepan D. Agarkov**  
2nd year graduate student of the Department of Mechanical Engineering Technologies of the Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov (R F)

**Nikolai A. Goryachev**  
1st year student of the Faculty of Mechanical Engineering of the Department of Mechanical Engineering Technologies of the Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov (RF)

#### **Annotation**

The article provides an analysis of the technical experience of operating gas-engine engines, in particular, cars of the GAZ family with a ZMZ engine when they are transferred to a dual-fuel gas-gasoline power supply system. The main technical challenges faced by car owners, maintenance and repair services are noted. Possible ways of their solution are proposed.

**Keywords:** GAS ENGINES, VALVE RESOURCE, METASTABLE ALLOY

### **1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы**

Развитие автомобильного транспорта в современных условиях идет по следующим основным направлениям, обусловленным экологическими требованиями по снижению и даже полному исключению токсичных выбросов, а также парниковых газов за счет сокращения и полного отказа от применения углеводородов, а именно: переход автомобилей на электрическую тягу (электромобили); использование в качестве топлива для ДВС водород; частичная или полная замена жидкого топлива газообразным (метан).

Наиболее перспективным в экологическом плане являются электромобили, так как при их эксплуатации полностью отсутствуют вредные выбросы и значительно снижается шумность, что весьма актуально для городской среды. Но пока еще существуют проблемы, связанные с разработкой топливных элементов, имеющих емкость, достаточную для комфортной эксплуатации автомобилей, а также задачи экологичной утилизации и переработки топливных элементов, выработавших свой ресурс, отсутствует техническая инфраструктура технического обслуживания и ремонта электромобилей.

Опыт использования водородного топлива известен уже более 20 лет, однако данный вид топлива не находит широкого распространения, как в связи с субъективными, так и объективными причинами. Объективными причинами являются: относительно высокая стоимость получения водорода, его хранения и непосредственно использования из-за высокой взрывоопасности. При этом перспективы получения «зеленого» водорода, исключающего использование углеводородного сырья при высокой производительности процесса сравнительно не велики.

Значительные запасы природного газа как РФ, так и за рубежом, а также его низкая токсичность при сгорании в ДВС по меньшей мере в ближайшие 20-30 лет делают его наиболее реальным альтернативным, по отношению к жидким углеводородам, топливом, существенно снижающим выбросы. Причем переход действующих автомобилей на газ сопровождается минимальными вложениями на приобретение и установку газового оборудования и бюрократическими процедурами. При этом уже существует нормативно-правовая база и, пусть не очень развитая, но уже отработанная инфраструктура технического обеспечения и заправочных станций.

Уже сегодня двухтопливные системы питания получили широкое распространение и оценены по достоинству, как в Европейских странах, так и странах СНГ (Украина, Казахстан и др.). В России процесс перехода гражданского транспорта на газомоторное топливо происходит крайне медленно, несмотря на принятые правительством стимулирующие меры, такие как компенсация части стоимости газобаллонного оборудования и стимулирования развития инфраструктуры, при том, что стоимость газового топлива в 2 раза ниже бензина. На коммерческом транспорте, а также муниципальном переход осуществляется более динамично, это обусловлено в первую очередь значительным экономическим эффектом и быстрым сроком окупаемости вложенных затрат за счет высокой интенсивности эксплуатации 50 тыс. км и более в год. Существенный шаг в направлении развития и интенсификации использования газомоторного топлива сделал завод ПАО «КАМАЗ», выпустив серийные автомобили на метановом топливе.

Именно интенсивный коммерческий опыт эксплуатации позволил выявить как положительные, так и проблемные стороны эксплуатации, технического обслуживания и ремонта газомоторных автомобилей. Несомненно, к преимуществам двухтопливных систем можно отнести: высокую экологичность газомоторного топлива по отношению к жидкому; получение экономического эффекта на разнице приобретения жидкого и газообразного топлива, причем, чем выше интенсивность эксплуатации, тем больше эффект; отмечено существенное повышение общего пробега на двухтопливных системах; повышение ресурса цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизмов (КШМ).

Повышение наработки КШМ и ГРМ обусловлено тем, что при использовании газа не наблюдаются детонационные явления, даже кратковременные, свойственные бензиновым двигателям. За счет плавности нарастания давления при воспламенении газозвоздушной смеси, высокой степени ее сгорания, отсутствия отложений (нагара) продуктов неполного сгорания по-

ложительно сказываются на ресурсе механизмов. Немаловажное значение на долговечность механизмов оказывает то, что подача газо-воздушной смеси не разжижает масляную пленку на стенках цилиндра, в отличие от впрыска топлива, а значит сохраняет ее смазочные свойства, а также в целом повышается ресурс моторного масла, особенно в зимнее время.

Выявленные в процессе анализа недостатки двухтопливных систем питания состоят в следующем: необходимость установки дополнительной системы питания (газовой) усложняет и даже несколько утяжеляет конструкцию автомобиля (в основном за счет газовых баллонов) общей системы питания, надежность при этом снижается, а трудоемкость обслуживания возрастает; отмечаются перебои в работе систем питания (газовой или бензиновой) если продолжительно время система не работает; существуют проблемы с точной корректировкой соотношения доз бензиновой и эжекционной газовой систем питания, это сказывается на изменении стехиометрического состава топлива, а значит на качестве горения; отмечено некоторое снижение экономического эффекта при эксплуатации в зимнее время на коротких пробегах, характерных для гражданского автотранспорта.

Одним из основных недостатков, выявленных при переводе на двухтопливную систему питания коммерческих автомобилей семейства ГАЗ с двигателем ЗМЗ, стало существенное снижение ресурса головки блока цилиндров (ГБЦ) и как следствие, потребность в дорогостоящем ремонте. Анализ эксплуатационной надёжности данных автомобилей показал, что отказ ГБЦ может возникнуть уже при пробеге 40 ... 50 тыс. км при этом наработка у аналогичных импортных автомобилей достигает 200 и более тыс. км.

По-нашему мнению основными причинами, препятствующими массовому переходу легковых автомобилей на газомоторное топливо, является необходимость переоборудования автомобилей, установки дополнительного оборудования и сопряжённые с этим бюрократические согласования, а также снятие автомобиля с гарантии завода-изготовителя (в гарантийный период, в основном до 3 лет). При наличии на рынке заводских автомобилей с установленным газовым оборудованием процесс значительно ускорился бы. Немаловажное значение имеют технические вопросы, в частности отмеченное выше снижение ресурса ГБЦ.

Для установления причин отказа и определения возможных направлений решения этих задач нами были проведены анализ и исследования случаев выхода из строя ГБЦ.

### Материал и методы

Осмотру подвергались ГБЦ двигателя ЗМЗ (табл. 1), работавшие на двухтопливной системой питания с различной наработкой до отказа и вышедшие из строя. На основании диагностической проверки в цилиндрах наблюдалось падение компрессии. Проводилась разборка двигателей, полностью снимали ГБЦ и разбирали ее на детали, выполняли их осмотр, а также контрольные измерения рабочих размеров

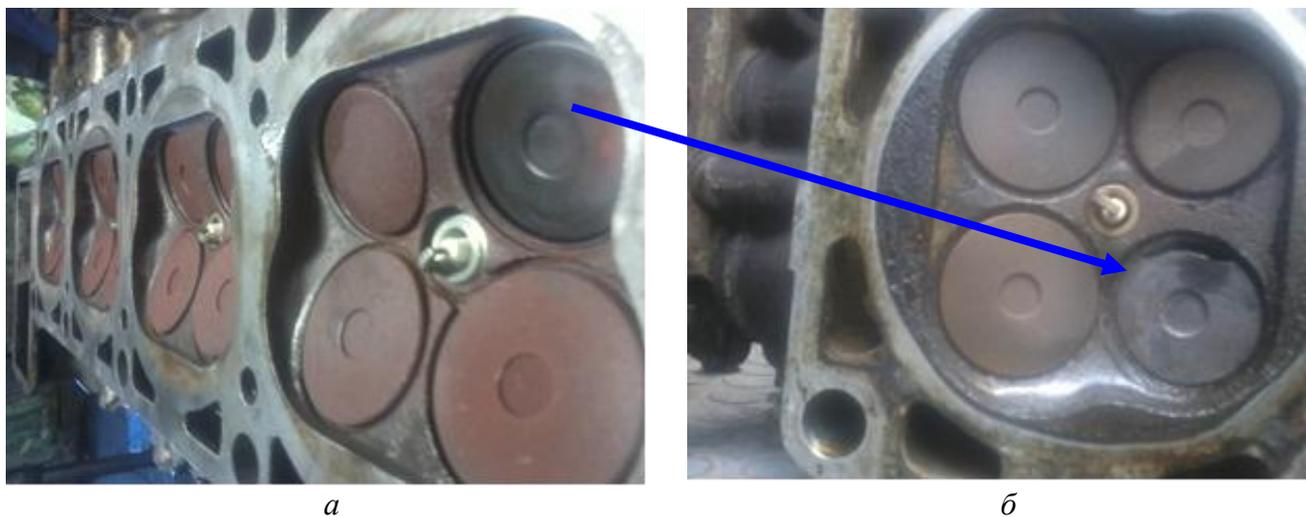
Таблица 1 – Параметры исследуемых ГБЦ двигателя ЗМЗ с 2-х топливной системой питания

№№	Пробег с начала эксплуатации, тыс. км	Пробег до отказа после перевода на газ, тыс. км	Значения компрессии, МПа	Причина отказа
1	0,3	37	5,5	прогар клапана 2-ой цилиндр
2	10	75	7,5	прогар клапана 4-ой цилиндр
3	3,2	57	8	прогар клапана 2-ой цилиндр
4	0,5	53	8,5	прогар клапана 3-ой цилиндр
5	2,2	64	7	прогар клапана 4-ой цилиндр

Для исследования микроструктуры сплавов, с целью их идентификации и сравнительной оценки, использовали металлографический анализ на микроскопе МИМ7, а также микротвердомер ПМТ-3. Травление шлифов осуществляли 4 % спиртовым раствором азотной кислоты.

### Результаты исследований

По результатам разборки были установлены фактические причины отказа – нарушение герметичности цилиндров в результате образования сквозного прогара между фасками выпускного клапана и посадочной втулкой (седло) (рис. 1-2). При этом внешний осмотр рабочей поверхности клапанов, показал, что нагар на них отсутствовал, что характерно для газомоторных ДВС.



*а* – общий вид; *б* – вид клапана, вышедшего из строя

Рисунок 1 – Состояние ГБЦ двигателя ЗМЗ-406.1 после отказа



Рисунок 2 – Характерные повреждения клапанов – прогар, выявленные при осмотре

Контрольный осмотр всех клапанов и их посадочных мест (седел) показал, что характерные повреждения клапанов (рис. 2) вызваны нарушением герметичности, возникшей в следствии термопластической деформации рабочей поверхности седел (проседание) от воздействия рабочих температур и одновременном контактном взаимодействии деталей пары. Таким образом, первопричиной вызывающей прогар клапанов является недостаточная жаропрочность седел клапанов, искажающая геометрию посадочного места. При этом на жидком топливе таких явлений не наблюдается.

Вероятными причинами повышенного разогрева выпускного тракта, отличающими работу ДВС на жидком и газообразном топливе две. Первая состоит в том, что при использовании газового топлива процесс горения в такте выпуска при определенной частоте вращения не завершается, а смесь продолжает догорать, проходя через открытый клапан, вызывая повышенный нагрев как самого клапана, так и его посадочного места. Второй причиной является низкая теплоемкость газозвушной смеси, в отличие от топливной смеси подаваемой в цилиндр. При этом газовая смесь слабее отводит тепло от деталей ГРМ, а значит, также

способствует повышенному разогреву. В обоих рассмотренных случаях устранение деформации седла возможно за счет применения более жаропрочных сплавов для изготовления втулок клапанов. Это позволит обеспечить стабильность геометрических размеров посадочного места при рабочих температурах.

Металлографический анализ структуры серийных втулок, показал, что они изготовлены из серого феррито-перлитного чугуна, предположительно марки СЧ 20-25 ГОСТ 1412-85. Данный чугун не отличается жаропрочностью и износостойкостью при повышенных температурах.

Из ремонтной практики известно, что при ремонте ГБЦ, на место изношенных втулок устанавливаются хорошо зарекомендовавшие себя в работе втулки импортного производства фирм Kolbenschmidt, SM и др. Металлографические наблюдения структуры этих сплавов показали, что они изготовлены из углеродистой легированной стали, предположительно марки DIN X40CrSiMo10-2, отечественный аналог 30X13H7C2. Эта высоколегированная сталь мартенситного класса, отличающаяся относительно высокими механическими свойствами до 650 °С, но при долговременной выдержке более 500 °С ударная вязкость ее существенно снижается до 150 кДж/м<sup>2</sup>.

По нашему мнению, исходя из анализа условий и режимов эксплуатации сопряжения седло – клапан ГРМ, целесообразным может стать применение сплавов на аустенитной основе, в частности, антифрикционного чугуна АЧС-5. Использование данного материала для производства подшипников скольжения показало его высокую стойкость к истиранию при наличии абразива, а также воздействию динамических нагрузок. Металлические сплавы на основе метастабильного аустенита обладают отличной прирабатываемостью, а также способны существенно самоупрочняться от действия контактных нагрузок [1-7]. При этом аустенитная основа таких материалов имеет высокую жаропрочность, а присутствующий в структуре свободный графит оказывает смазывающее действие, снижая износ сопряжения.

Кроме применения новых сплавов, целесообразно рассмотреть возможность создания жаропрочных и антифрикционных покрытий на рабочей поверхности деталей, например плазменными технологиями. Такой подход позволит создавать покрытия с заданными свойствами как при изготовлении деталей, используя при этом относительно дешевые сплавы для основы, так и при восстановительном ремонте [8-9].

Среди перспективных жаропрочных и износостойких материалов, наносимых на рабочую поверхность, целесообразно рассматривать конструкционные материалы, разработанные в Военно-морской академии имени Н. Г. Кузнецова. Данные материалы имеют природное происхождение на основе серпентинитовых горных пород (научное открытие № 323 («Свойство энергоплотных минеральных веществ изменять параметры триботехнических систем»). Испытания данных материалов показали, что они способны более чем в 10 раз! повысить антифрикционные и в 2-3 раза жаропрочные свойства деталей, а также исключить водородное изнашивание [10].

### **Обсуждение и заключение**

Перспективным топливом для автомобильного транспорта на ближайшее 20-30 лет остается природный газ - метан. Преимуществами его использования взамен жидкого топлива являются: экологичность, относительно низкая стоимость, опыт эксплуатации и наработки по инфраструктуре обслуживания и заправки транспорта, а также правительственные субсидии в РФ.

Основными причинами низкой динамики перехода в РФ на газомоторное топливо остаются: отсутствие серийно производимых газомоторных автомобилей; отсутствие развитой инфраструктуры заправочных станций, а также не решенные технические задачи, в частности, недостаточный ресурс ГБЦ отдельных марок двигателей, в которых детали имеют недостаточную жаропрочность. Ускорение темпов перевода автомобилей на газомоторное топливо – это комплексная задача, состоящая не только в мерах финансовой поддержки, но и решения технических вопросов, связанных с повышением ресурса ответственных деталей двигателя для обеспечения надежности и высокого ресурса.

Список литературы

- 1 Масленков, С. Б. Стали и сплавы для высоких температур : Справочник: в 2 т. / С. Б. Масленков, Е. А. Масленкова. – М. : Metallurgy, 1991. Т. 1 328 с.
- 2 Литвинов, В. С. Физическая природа упрочнения марганцевого аустенита / В. С. Литвинов, С. Д. Каракишев. Межвузовский сб. «Термическая обработка и физика металлов». Свердловск, УПИ, 1979, № 5. – С. 81-88.
- 3 Станчев, Д. И. Перспективы применения специального аустенитного марганцовистого чугуна для деталей фрикционных узлов лесных машин / Д. И. Станчев, Д. А. Попов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : Материалы международной научно-технической конференции ВГТУ. – Вологда, 2007. – С. 109-111
- 4 Виноградов, В. Н. Износостойкие стали с нестабильным аустенитом для деталей газопромыслового оборудования / В. Н. Виноградов, Л. С. Лившиц, С. Н. Платонова. // Вестник машиностроения. – 1982. – №1. – С. 26-29.
- 5 Попов, В. С. Сопротивление абразивному изнашиванию сплавов со структурой метастабильного аустенита в зависимости от их химического состава / В. С. Попов, Н. Н. Брыков, М. И. Андрющенко // Трение и износ. – 1991. – № 3. – С. 59-60.
- 6 Филиппов, М. А. Метастабильный марганцевый аустенит как структурная основа сталей с высокой стойкостью в условиях динамического контактного нагружения / М. А. Филиппов // МиТОМ, 1995. – № 10. – С. 12-15.
- 7 Кадырметов, А. М. Перспективы получения многокомпонентных покрытий атмосферным плазменным напылением / А. М. Кадырметов, Д. А. Попов, А. В. Викулин, В. О. Воронежский, Р. В. Стеганцев // Воронежский научно-технический вестник. – 2018. – Т. 4, № 4 (26). – С. 46-54.
- 8 Mathematical modeling of plasma deposition and hardening of coatings-switched electrical parameters / A. M. Kadyrmetov, S. N. Sharifullin, A. S. Pustovalov // Journal of Physics: Conference Series 669 012052 : VII Conference on Low Temperature Plasma in the Processes of Functional Coating Preparation IOP Publishing,. – pp. 1-5 (2016).
- 9 Strengthening of plasma-spraying coats by power impulse modulation of plasmatron direct arc / G. Suhotchev, A. Kadyrmetov, E. Pamfilov // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), IEEE Conference Publications, 1-4 Dec., Tomsk, Russia,. – pp. 1-5 (2015).
- 10 Холопов, Ю. В., Машиностроение: ультразвук : УЗС, БУФО, ГЕО / Ю. В. Холопов. – Санкт – Петербург, 2008. – 328 с.

References

- 1 Maslenkov, S. B. Steels and alloys for high temperatures : Handbook : in 2 volumes / S. B. Maslenkov, E. A. Maslenkova. – M. : Metallurgy, 1991. Т. 1 328 p.
- 2 Litvinov, V. S. Physical nature of hardening of manganese austenite / V. S. Litvinov, S. D. Karakishev. Interuniversity Sat. "Heat Treatment and Physics of Metals". Sverdlovsk, UPI, 1979, №. 5. – S. 81-88.
- 3 Stanchev, D. I. Prospects for the use of special austenitic manganese cast iron for parts of friction units of forest machines / D. I. Stanchev, D. A. Popov // Actual problems of the development of the forest complex: Proceedings of the international scientific and technical conference of VSTU. – Vologda, 2007. – S. 109-111.
- 4 Vinogradov, V. N. Wear-resistant steels with unstable austenite for parts of gas production equipment / V. N. Vinogradov, L. S. Livshits, S. N. Platonova. // Bulletin of mechanical engineering. – 1982. – №. 1. – S. 26-29.
- 5 Popov, V. S. Resistance to abrasive wear of alloys with the structure of metastable austenite depending on their chemical composition / V. S. Popov, N. N. Brykov, M. I.

Andryushchenko // Friction and wear. – 1991. – №. 3. – S. 59-60.

6 Filippov, M. A. Metastable manganese austenite as a structural basis for steels with high resistance under dynamic contact loading / M. A. Filippov. // MiTOM, 1995. – №. 10. – P. 12-15.

7 Kadyrmetov, A. M. Prospects for obtaining multicomponent coatings by atmospheric plasma spraying / A. M. Kadyrmetov, D. A. Popov, A. V. Vikulin, V. O. Voronetsky, R. V. Stegantsev // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2018. – V. 4, №. 4 (26). – S. 46-54.

8 Mathematical modeling of plasma deposition and hardening of coatings-switched electrical parameters / A. M. Kadyrmetov, S. N. Sharifullin, A. S. Pustovalov // Journal of Physics: Conference Series 669 012052 : VII Conference on Low Temperature Plasma in the Processes of Functional Coating Preparation IOP Publishing. – pp. 1-5 (2016).

9 Strengthening of plasma-spraying coats by power impulse modulation of plasmatron direct arc / G. Suhotchev, A. Kadyrmetov, E. Pamfilov // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), IEEE Conference Publications, 1-4 Dec., Tomsk, Russia. – pp. 1-5 (2015).

10 Kholopov, Yu. V., Mechanical engineering : ultrasound : USS, BUFO, GEO / Yu. V. Kholopov. – St. Petersburg, 2008. – 328 p.

© Попов Д.А., Симакин И. А., Агарков С.Д., Горячев Н. А., 2021