

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЯ
ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ
ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Хохлов А.А., доктор технических наук, доцент

тел. 89997693210, khokhlov.73@mail.ru

Хохлов А.Л., доктор технических наук, профессор

тел. 89278280897, chochlov.73@mail.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Ключевые слова: эксплуатационные показатели автомобиля, двигатель внутреннего сгорания, цилиндро-поршневая группа, информационная модель, технико-эксплуатационные показатели, мощность, крутящий момент, расход топлива, оксидирование, металлизация, многомерная система управления

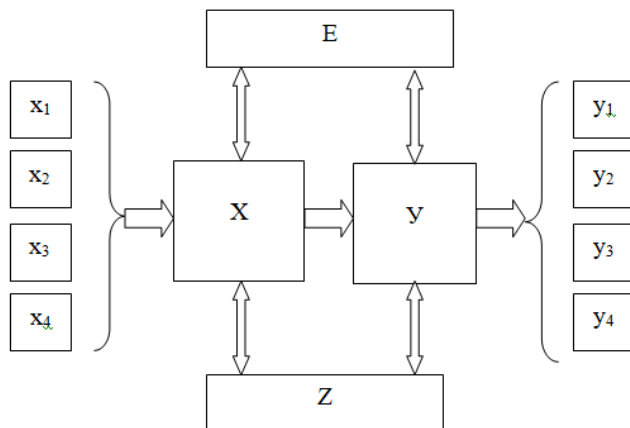
В статье обоснована взаимосвязь между технико-эксплуатационными показателями двигателя внутреннего сгорания и эксплуатационными характеристиками автомобиля. На основе методов системного анализа рассмотрена информационная модель влияния параметров двигателя (мощность, крутящий момент, расход топлива) на эксплуатационные показатели автомобиля (расход топлива, динамика, экология) с учётом дорожных и климатических условий. Двигатель представлен как многомерная управляемая система, изменение параметров которой определяет эксплуатационные свойства автомобиля. Предложена концептуальная модель повышения эксплуатационных показателей путём модернизации цилиндро-поршневой группы с использованием оксидирования поршней и металлизации гильз цилиндров. Создание покрытий с оптимальными параметрами позволяет улучшить топливную экономичность, динамические и экологические характеристики автомобиля.

Введение. Современное развитие автомобильного транспорта требует повышения экономичности, динамичности и экологической безопасности подвижного состава. Научное обоснование улучшения этих эксплуатационных показателей базируется на принципе взаимосвязи основных элементов автомобиля. Поскольку источником энергии является двигатель внутреннего сгорания, изменение его технико-эксплуатационных показателей (мощность, крутящий момент, расход топлива) и техническое состояние узлов и агрегатов закономерно влечет за собой изменение свойств автомобиля в целом.

Автомобиль эксплуатируется в различных природно-климатических и дорожных условиях, которые накладываются на характеристики двигателя. В связи с этим двигатель необходимо рассматривать как управляемую параметрическую систему. Улучшение состояния цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) является одним из эффективных путей повышения технико-экономических показателей двигателя [1-4]. В работе предлагается концептуальная модель, устанавливающая связь между модернизацией ЦПГ (окислирование поршней, металлизация гильз) и эксплуатационными показателями автомобиля.

Цель: научное обоснование взаимосвязи между технико-эксплуатационными показателями двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и эксплуатационными характеристиками автомобиля для определения направлений их улучшения за счет модернизации ЦПГ.

Материалы и методы исследований. Обоснование повышения эксплуатационных характеристик транспортного средства базируется на анализе системных взаимосвязей и параметрического влияния совокупности агрегатов автомобиля. Ввиду того, что источником энергообеспечения и основным звеном, детерминирующим эксплуатационные свойства, выступает двигатель внутреннего сгорания (ДВС), изменение его технико-эксплуатационных параметров закономерно влечет за собой коррекцию эксплуатационных показателей автомобиля как объекта его установки (рисунок 1).



X - технико-эксплуатационные показатели двигателя; x_1 - эффективная мощность, кВт; x_2 - индикаторная мощность, кВт; x_3 - крутящий момент, Н·м; x_4 - удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч; Y - эксплуатационные показатели автомобиля; y_1 - путевой расход топлива, л/100 км; y_2 - ускорение автомобиля, м/с; y_3 - динамический фактор; y_4 - экологические показатели (содержание CO, CH); E - природно-климатические и дорожные условия эксплуатации; Z - режимы эксплуатации автомобиля

Рисунок 1 - Информационная модель влияния параметров двигателя на эксплуатационные показатели автомобиля

В рассматриваемой модели входные (возмущающие) параметры X представляют собой совокупность технико-эксплуатационных показателей двигателя внутреннего сгорания, включая мощность, крутящий момент и удельный расход топлива, и задаются вектор-функцией.

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} \quad (1)$$

Выходные параметры будут характеризовать эксплуатационные показатели автомобиля Y и определяться вектор-функцией

$$Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\} \quad (2)$$

Поскольку автомобиль эксплуатируется в различных природно-климатических и дорожных условиях (возмущающие параметры e_i) и

при различных режимах (возмущающие параметры z_i), то результирующее значение параметров Y будет определяться функцией

$$Y = f(X, E, Z). \quad (3)$$

Тогда корректирующее воздействие на управляемые потоки Y могут быть представлены системой уравнений:

$$Y(y_1, y_2, y_3, y_4) = X(x_1, x_2, x_3, x_4) \pm E(e_i), \quad (4)$$

$$Y(y_1, y_2, y_3, y_4) = X(x_1, x_2, x_3, x_4) \pm Z(z_i).$$

В этом случае значение результирующего выходного потока (эксплуатационных показателей автомобиля), с учетом воздействия природно-климатических, дорожных и эксплуатационных режимов эксплуатации, может быть представлено как

$$Y = \psi(y_i) \cdot E(e_i) \cdot Z(z_j). \quad (5)$$

$$\text{где } \psi(y_i) = \sum ((x_i \cdot e_i) + (x_i \cdot z_i)) \quad \text{при } i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

и принятии допущения, что $e_i = \text{const}$ и $z_i = \text{const}$, т.е., что условия эксплуатации имеют определенное фиксированное значение для определенного времени работы автомобилей.

Таким образом, для повышения эксплуатационных показателей автомобиля требуется целенаправленная вариация технико-эксплуатационных параметров двигателя с целью идентификации доминирующих факторов, оказывающих максимальное влияние на эксплуатационные характеристики транспортного средства. Для реализации данной задачи целесообразно рассматривать двигатель внутреннего сгорания как управляемую параметрическую систему.

Автомобильный двигатель как объект управления характеризуется многомерностью, обусловленной тем, что количество входных параметров превышает единицу, при этом каждый из них оказывает влияние на два и более выходных параметра. Следовательно, оптимизация режимов функционирования двигателя достигается либо посредством совершенствования параметров протекания рабочих процессов, либо за счет улучшения условий работы его механизмов и систем. Каждый из указанных подходов обеспечивает повышение технико-эксплуатационных показателей двигателя, что, в свою очередь,

влечет за собой улучшение эксплуатационных характеристик автомобиля, в состав которого он входит.

Модель функционирования ДВС может быть представлена в виде определенной многомерной и многоуровневой системы [5-7]. Такая система будет формироваться с учетом входных и выходных процессов. При этом часть входных процессов является управляющими и определяется n -мерным вектором $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$, определяющим параметры рабочего процесса двигателя (индикаторное давление, количество свежего заряда и др.), и m -мерным вектором $B(b_1, b_2, \dots, b_m)$, определяющим параметры и конструктивные особенности его механизмов (материалы и параметры ЦПГ, КШМ, газораспределительного механизма и т.д.). Входной поток воздействий, представленный k -мерным вектором $E(e_1, e_2, \dots, e_k)$, является неуправляемым и характеризует природно-климатические и дорожные условия, в которых эксплуатируется двигатель. На основании вышеизложенного можно предложить следующую концептуальную модель взаимосвязи и влияния модернизации цилиндро-поршневой группы методом оксидирования днищ поршней и металлизацией рабочей поверхности гильз цилиндров на технико-экономические показатели автомобильных двигателей и эксплуатационные показатели автомобиля (рисунок 2) [8].

В соответствии с принятой концептуальной моделью исследования по оценке влияния формируемых покрытий на рабочих поверхностях поршня и гильзы цилиндров предусматривают установление оптимальных параметров формируемых покрытий, выбор технологий и технологических режимов, обеспечивающих создание покрытий с требуемыми характеристиками, а также определение эффективности воздействия модернизированной ЦПГ на эксплуатационные показатели автомобиля.

Выводы. В работе установлена причинно-следственная связь между технико-эксплуатационными показателями двигателя и эксплуатационными характеристиками автомобиля. Двигатель обоснованно представлен как многомерная управляемая система, что позволяет целенаправленно влиять на эксплуатационные свойства автомобиля через его параметры. Разработанная концептуальная модель формализует влияние модернизации цилиндро-поршневой

группы (окисидирование поршней и металлизация гильз) на расход топлива, динамику и экологические показатели. Определены направления дальнейших исследований по оптимизации параметров покрытий и количественной оценке их эффективности.

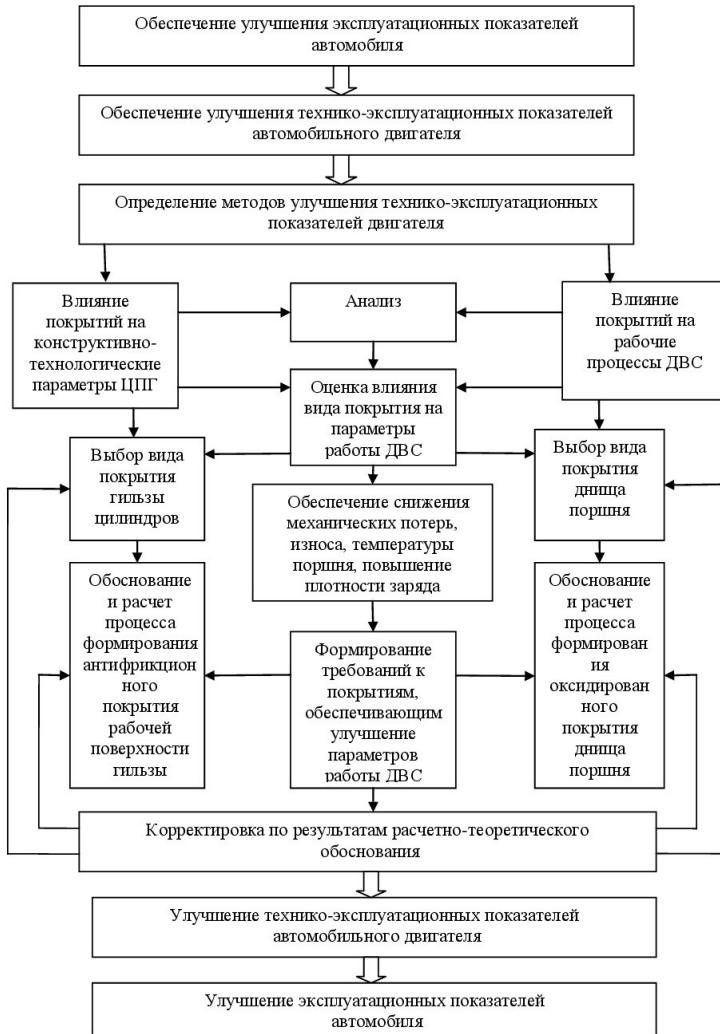


Рисунок 2 - Концептуальная модель повышения эксплуатационных показателей автомобиля

Библиографический список:

1. Салахутдинов, И. Р. Теоретическое обоснование снижения износа уменьшением величины ЭДС в паре трения «поршневое кольцо - гильза цилиндров» / И. Р. Салахутдинов, А. А. Глущенко, А. Л. Хохлов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2(66). – С. 191-196. – DOI 10.18286/1816-4501-2024-2-191-196. – EDN VPSZWY.

2. Теоретическое обоснование параметров антикавитационного покрытия гильз цилиндров / А. А. Глущенко, И. Р. Салахутдинов, А. Л. Хохлов, М. М. Замальдинов // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы : Сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Пенза, 09–10 декабря 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 22-25. – EDN ERKYIO.

3. Салахутдинов, И. Р. Теоретическое обоснование снижения интенсивности кавитационного изнашивания стенок гильзы цилиндров нанесением антикавитационного покрытия / И. Р. Салахутдинов, А. А. Глущенко, А. Л. Хохлов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 2(58). – С. 18-24. – DOI 10.18286/1816-4501-2022-2-18-24. – EDN PPSVKG.

4. Салахутдинов, И. Р. Факторы, влияющие на износ рабочих поверхностей деталей двигателя внутреннего сгорания / И. Р. Салахутдинов, А. И. Салахутдинов, А. А. Глущенко // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : Материалы XV Международной научно-практической конференции, Ульяновск, 26 июня 2025 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2025. – С. 594-604. – EDN EKJMOV.

5. Хохлов, А. А. Многопараметрическая модель формирования эксплуатационных показателей дизеля и машинно-тракторного агрегата при использовании смесового минерально - рыжикового топлива / А. А. Хохлов, А. Л. Хохлов // Аграрная наука и образование на современном этапе развития : Материалы XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Ульяновского ГАУ, Ульяновск, 23 июня 2023 года / Редколлегия: И.И. Богданов [и др.]. – Ульяновск:

Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2023. – С. 653-661. – EDN RQZIKY.

6. Информационная модель изменения эксплуатационных показателей МТА при работе дизеля на смесевом рыжиково-минеральном топливе / А. П. Уханов, А. А. Хохлов, Д. А. Уханов, А. Л. Хохлов // Актуальные вопросы аграрной науки : Материалы Национальной научно-практической конференции, Ульяновск, 20–21 октября 2021 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2021. – С. 417-422. – EDN HUQXPY.

7. К формированию модели эффективности функционирования сельскохозяйственного трактора в составе МТА при работе на альтернативных видах топлива / А. А. Глущенко, И. Р. Салахутдинов, А. К. Субаева [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2024. – Т. 19, № 1(73). – С. 42-47. – DOI 10.12737/2073-0462-2024-42-47. – EDN DALGJF.

8. Хохлов, А. Л. Методика и результаты эксплуатационных исследований автомобилей, оснащённых двигателями с типовыми и окислированными поршнями / А. Л. Хохлов, А. А. Хохлов, А. А. Хохлова // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутский ГАУ, 03–04 октября 2024 года. – Иркутский: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 153-159. – EDN SFBYXF.

CONCEPTUAL BASIS FOR IMPROVING VEHICLE PERFORMANCE BY UPGRADING THE CYLINDER-PISTON GROUP OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

**Khokhlov A.A., Khokhlov A.L.
FSBEI HE Ulyanovsk SAU**

Keywords: *vehicle performance, internal combustion engine, cylinder-piston group (CPG), information model, technical and operational indicators,*

power, torque, fuel consumption, oxidation, metallization, multidimensional control system

This article substantiates the relationship between the performance of an internal combustion engine and vehicle performance. Using systems analysis methods, an information model is developed to explain the influence of engine parameters (power, torque, fuel consumption) on vehicle performance (fuel consumption, dynamics, ecology), taking into account road and climatic conditions. The engine is presented as a multidimensional controlled system, changes in whose parameters determine the vehicle's performance. A conceptual model is proposed for improving performance by upgrading the cylinder-piston assembly using piston oxidation and cylinder liner metallization. Creating coatings with optimal parameters can improve fuel efficiency, vehicle performance, and environmental performance.