

УДК 621.113

А.Ш. Хусаинов, А.А. Глущенко, М.А. Волков

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Хусаинов Альберт Шамильевич, доктор технических наук, окончил Ульяновский государственный технический университет, заведующий кафедрой «Проектирование и сервис автомобилей им. И.С. Антонова» Ульяновского государственного университета. Имеет статьи, монографии, учебные пособия и изобретения в области моделирования, исследования и оптимизации конструкции тракторов и автомобилей. [e-mail: a.s.khusainov@gmail.com].

Глущенко Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, окончил Ульяновский сельскохозяйственный институт, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» Ульяновского государственного аграрного университета. Имеет статьи, монографии, учебные пособия и изобретения в области моделирования, исследования и оптимизации конструкции тракторов и автомобилей. [e-mail: oildel@yandex.ru].

Волков Максим Анатольевич, кандидат физико-математических наук, окончил УлГУ, декан факультета математики, информационных и авиационных технологий УлГУ. Имеет статьи, учебные пособия и изобретения в области моделирования, проектирования сложных технических систем и разработки автоматизированных систем управления. [e-mail: volkovmax1977@gmail.com].

Аннотация

В статье приводится описание процесса разработки модели улучшения эксплуатационных показателей транспортных средств. Разработка модели основана на взаимосвязи и взаимовлиянии основных элементов транспортного средства. Поскольку источником энергии и движущей силой является двигатель внутреннего сгорания, его показатели оказывают непосредственное влияние на эксплуатационные свойства транспортного средства. В свою очередь они, главным образом, зависят от характера протекания рабочего процесса и параметров двигателя. Поэтому изменение технико-эксплуатационных показателей двигателя повлечет за собой изменение эксплуатационных показателей транспортного средства, на котором он установлен. Информационная модель влияния параметров двигателя на эксплуатационные показатели транспортного средства позволяет установить, что для определенного времени работы и фиксированных значений режимов эксплуатации улучшение эксплуатационных показателей транспортного средства возможно путем изменения технико-эксплуатационных показателей двигателя. При этом, рассматривая модель функционирования двигателя внутреннего сгорания в виде определенной многомерной и многоуровневой системы, установлено, что наибольшее влияние на изменение параметров двигателя оказывают рабочий процесс, проходящий в двигателе, и конструктивные параметры его механизмов. Основной рабочий процесс проходит в цилиндре двигателя, поэтому наибольшее влияние на изменение выходных параметров двигателя будут оказывать детали цилиндропоршневой группы. Применение при решении данной задачи математического моделирования позволяет разработать концепцию улучшения эксплуатационных показателей транспортного средства, оптимизировать процесс выбора путей модернизации транспортного средства и двигателя.

Ключевые слова: эксплуатационные показатели транспортного средства, информационная модель, многопараметрическая и многоуровневая система.

DEVELOPING THE MODEL FOR IMPROVING THE VEHICLES' OPERATING CHARACTERISTICS

Albert Shamilevich Khusainov, Doctor of Science in Engineering; graduated from Ulyanovsk State Technical University; Head of the Department of Design and Service of Automobile named after I.S. Antonov at Ulyanovsk State University; an author of articles, monographs, tutorials, and inventions in the field of simulating, research and optimization of tractor and vehicle constructions. e-mail: a.s.khusainov@gmail.com.

Andrei Anatolevich Glushchenko, Candidate of Science in Engineering; graduated from Ulyanovsk State Agrarian Institute; Associate Professor of the Department of Exploitation of Machinery and Mobile Technological Equipment

at P.A. Stolypin Ulyanovsk State Agrarian University; an author of articles, monographs, tutorials, and inventions in the field of simulating, research and optimization of tractor and vehicle constructions. e-mail: oildel@yandex.ru.

Maxim Anatolevich Volkov, Candidate of Sciences in Physics and Mathematics; graduated from Ulyanovsk State University; Dean of the Faculty of Mathematics, Information and Aviation Technologies at Ulyanovsk State University; an author of articles, tutorials, and inventions in the field of the simulating and designing of complex engineering systems and the computer-aided control system development. e-mail: volkovmax1977@gmail.com.

Abstract

The process of developing the model to improve vehicles' operating characteristics has been described in the article. The model development is based on the interrelation and reciprocal influence of the main elements of the vehicle. Since the internal combustion engine is the source of energy and the driving force, its characteristics has a direct influence on the operating properties of the vehicle. In its turn, they mainly depend on the nature of the working process course and engine parameters. Therefore, a change in the technical and operational characteristics of the engine will entail a change in the operating characteristics of the vehicle in which it has been installed. The information model of the engine parameters' influence on operating characteristics of the vehicle allows us to find that, for certain operating time and fixed values of operating modes, an improvement of operating characteristics of the vehicle can be made by changing the technical and operational characteristics of the engine. At the same time, considering the operating model of the internal combustion engine in a form of a specific multidimensional and multilevel system, it was found that the working process in the engine and the design parameters of its mechanisms have the greatest influence on the change in engine parameters. The main work process takes place in the engine cylinder, so the parts of the cylinder-piston group will have the greatest influence on the change in the output parameters of the engine. The use of mathematical modeling in solving this problem allows us to develop a concept of improving the vehicle's operating characteristics, to optimize the process of choosing the ways to modernize the engine and the vehicle.

Key words: vehicle's operating characteristics, information model, multidimensional and multilevel system.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в Российской Федерации проектирование транспортных средств достигло больших успехов как в отношении количественного роста производства транспортных средств, так и в отношении улучшения их конструкции. Значительно расширился типаж выпускаемых конструкций, созданы и освоены в производстве новые, более совершенные типы систем и агрегатов различного назначения, которые по своим показателям не уступают иностранным производителям, а в ряде случаев и превосходят их.

Однако, несмотря на достигнутые результаты, современные транспортные средства далеки от совершенства, и в первую очередь, по своим эксплуатационным показателям. Поэтому перед конструкторами и производителями стоят задачи улучшения эксплуатационных показателей. Для решения этих задач необходимо иметь полное представление взаимосвязи выходных эксплуатационных показателей транспортных средств с процессами работы и свойствами материалов механизмов основных элементов машин.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ

Научное обоснование улучшения эксплуатационных показателей транспортных средств должно основываться на взаимосвязи и взаимовлиянии его основных элементов. Источником энергии и движущей силой является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Двигатели транспортных средств работают на различных (установившихся и не установившихся) скоростных и на-

грузочных режимах, которые существенным образом определяют их эксплуатационные показатели. Характеристики двигателя оказывают непосредственное влияние на эксплуатационные свойства транспортного средства. В свою очередь они, главным образом, зависят от характера протекания рабочего процесса и показателей двигателя. Так на тягово-скоростные свойства транспортного средства влияют мощность и крутящий момент двигателя, на топливно-экономические – эффективный коэффициент полезного действия (КПД) двигателя. Поэтому изменение технико-эксплуатационных показателей двигателя повлечет за собой изменение эксплуатационных показателей транспортного средства, на котором он установлен (рис. 1) [1, 2].

В рассматриваемой модели входные (возмущающие) параметры X характеризуют набор технико-эксплуатационных показателей двигателя (мощность, крутящий момент, расход топлива) и определяются вектор-функцией

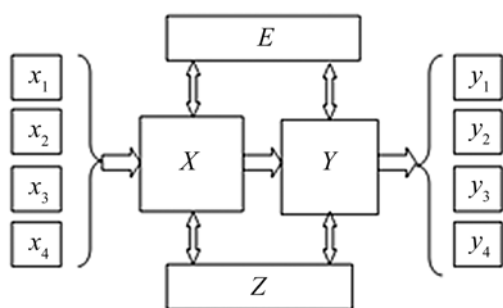
$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}. \quad (1)$$

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

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

Поскольку транспортное средство эксплуатируется в различных природно-климатических и путевых условиях (возмущающие параметры e_i) и при различных режимах (возмущающие параметры z_i), то результирующее значение параметров Y будет определяться функцией

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



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 транспортного средства;
 y_1 – путевой расход топлива, л/100 км; y_2 – ускорение транспортного средства, м/с; y_3 – динамический фактор; y_4 – экологические показатели (содержание оксидов углерода (CO), углеводородов (CH));
 E – природно-климатические и дорожные условия эксплуатации; Z – режимы эксплуатации транспортного средства

Рис. 1. Информационная модель влияния параметров двигателя на эксплуатационные показатели транспортного средства

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

$$\begin{cases} Y(y_1, y_2, y_3, y_4) = X(x_1, x_2, x_3, x_4) \pm E(e_i), \\ Y(y_1, y_2, y_3, y_4) = X(x_1, x_2, x_3, x_4) \pm Z(z_i). \end{cases} \quad (4)$$

В этом случае значение результирующего выходного потока (эксплуатационных показателей транспортного средства) с учетом воздействия природно-климатических, путевых и эксплуатационных режимов эксплуатации может быть представлено следующим образом:

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

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

и с учетом принятия допущения, что $e_i = const$ и $z_i = const$, т. е. условия эксплуатации имеют определенное фиксированное значение для определенного времени работы транспортных средств.

Как видно, для улучшения эксплуатационных показателей транспортного средства необходимо провести изменение технико-эксплуатационных показателей двигателя.

С целью выявления наиболее существенных показателей двигателя, оказывающих наибольшее влияние на эксплуатационные показатели транспортного средства, рассмотрим двигатель как управляемую параметрическую систему.

Двигатель транспортного средства представляет собой многомерный объект управления, так как число входных параметров у него больше одного, и каждый входной параметр воздействует на два выходных параметра и более. Поэтому улучшение условий работы двигателя может быть осуществлено за счет совершенствования параметров процесса или условий работы его механизмов и систем. И то и другое приведет к повышению его показателей, а соответственно и к улучшению эксплуатационных показателей транспортного средства, на котором он установлен.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДВС

Модель функционирования ДВС может быть представлена в виде определенной многомерной и многоуровневой системы.

Такая система будет формироваться с учетом входных и выходных процессов. При этом часть входных процессов является управляющей 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 цилиндропоршневой группы (ЦПГ), кривошипно-шатунного механизма (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 путевые условия, в которых эксплуатируется двигатель (рис. 2).

Выходные характеристики системы определяются i -мерным вектором $A'(c'_1, c'_2, \dots, c'_i)$ и $B'(c''_1, c''_2, \dots, c''_j)$, представляющими, соответственно, технико-эксплуатационные и топливно-экономические показатели транспортного средства, на котором установлен двигатель.

Выходной p -мерный вектор $K_{ТЭП}(P_1, P_2, \dots, P_p)$ содержит критерии комплексной оценки технико-эксплуатационных показателей рассматриваемой системы. Скалярные выходные характеристики вектора $K_{ТЭП}$ формирующие оценку двигателя, будут зависеть от скалярно-векторных значений входных потоков, имеющих вероятно-статистические параметры и формирующих граничные значения, в пределах которых будет проходить изменение функционала $K_{ТЭП}$.

Подобная система не только отражает известные потоки $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$ и $B(b_1, b_2, \dots, b_m)$, но и позволяет учесть влияние выходных потоков $A'(c'_1, c'_2, \dots, c'_i)$ и $B'(c''_1, c''_2, \dots, c''_j)$, причинно-следственную связь их образования и влияния на выходной поток $K_{ТЭП}$.

В предлагаемой модели выходные потоки $A'(c'_1, c'_2, \dots, c'_i)$ и $B'(c''_1, c''_2, \dots, c''_j)$ будут являться управляемыми параметрами, а их скалярно-векторные значения могут рассматриваться как граничные условия, в которых наиболее эффективно могут быть изменены управляющие потоки A, B и $K_{ТЭП}$. Предлагаемая

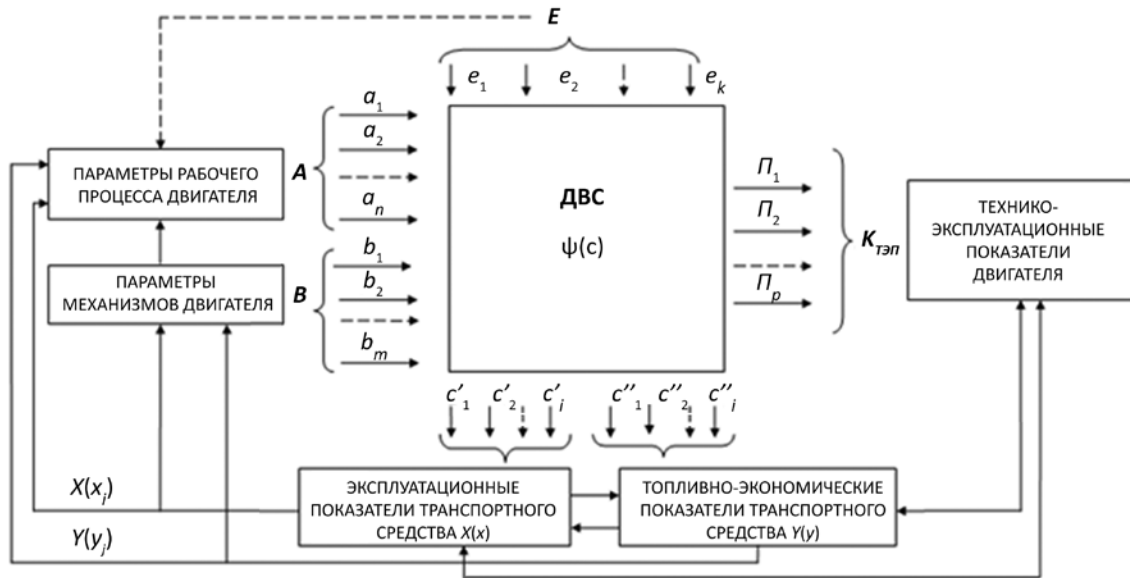


Рис. 2. Многопараметрическая модель формирования технико-эксплуатационных показателей ДВС

модель позволяет учесть влияние выходных параметров $A'(c'_1, c'_2, \dots, c'_i)$ и $B'(c''_1, c''_2, \dots, c''_j)$ на выходной факториал $K_{TЭП}$ и управляемые потоки A и B . При этом скалярно-векторные величины управляемых потоков $A(a_1, a_2, \dots, a_n)$ и $B(b_1, b_2, \dots, b_m)$ будут формировать пределы границ допустимых интервалов выходных потоков $A'(c'_1, c'_2, \dots, c'_i)$ и $B'(c''_1, c''_2, \dots, c''_j)$.

$$K_{TЭП} = f(A, B, E, A', B'). \quad (7)$$

Выходные потоки A' и B' формируют систему с обратной связью в виде потоков X и Y с учетом ограничений, устанавливаемых $K_{TЭП}$ при $0 < p \leq 1$:

$$\begin{cases} X(x_i) = A'(c'_1, c'_2, \dots, c'_i) \cdot K_{TЭП}(P_1, P_2, \dots, P_p), \\ Y(y_j) = B'(c''_1, c''_2, \dots, c''_j) \cdot K_{TЭП}(P_1, P_2, \dots, P_p). \end{cases} \quad (8)$$

Тогда корректирующее воздействие на управляемые потоки A и B могут быть представлены системой уравнений:

$$\begin{cases} A_X(a_1, a_2, \dots, a_n) = A(a_1, a_2, \dots, a_n) \pm X(x_i), \\ B_Y(b_1, b_2, \dots, b_m) = B(b_1, b_2, \dots, b_m) \pm Y(y_j), \\ A_Y(a_1, a_2, \dots, a_n) = A(a_1, a_2, \dots, a_n) \pm Y(y_j), \\ B_X(b_1, b_2, \dots, b_m) = B(b_1, b_2, \dots, b_m) \pm X(x_i). \end{cases} \quad (9)$$

В этом случае значение результирующего функционала может быть представлено следующим образом:

$$K_{TЭП} = (P_1, P_2, \dots, P_p) = \psi(c) \cdot X(x_i) \cdot Y(y_j), \quad (10)$$

$$\text{где } \psi(c) = \sum \left((a_{ij} \cdot e_{iz}) + (b_{ij} \cdot e_{iz}) \right) \begin{cases} i = 1, 2, \dots, n, \\ j = 1, 2, \dots, m, \\ z = 1, 2, \dots, k. \end{cases} \quad (11)$$

Представленные положения показывают, что наибольшее влияние на изменение параметров двигателя оказывают рабочий процесс, проходящий в двигателе, и конструктивные параметры его механизмов. Но, поскольку рабочие параметры зависят от конструктивных особенностей, можно предположить, что оптимальным воздействием, позволяющим изменить технико-эксплуатационные показатели двигателя, будет изменение конструктивных параметров механизмов. Так как основной рабочий процесс проходит в цилиндре двигателя, то наибольшее влияние на изменение выходных параметров двигателя будут оказывать детали ЦПГ.

Тогда выходной поток параметров рабочего процесса может быть представлен системой уравнений:

$$A = \left. \begin{cases} \eta_v = f(P_a, P_o, T_r, \rho_o) \\ N_i = f(\eta_i, \eta_v, \rho_o) \\ N_e = f(N_i, \eta_m) \\ \eta_i = f(P_i, V_h, Q_m) \\ g_i = f(H_u, \eta_i) \\ g_e = f(H_u, \eta_i, \eta_m) \end{cases} \right\}, \quad (12)$$

где η_v – коэффициент наполнения;

P_a – давление в конце такта впуска, МПа;

P_o – давление окружающей среды, МПа;

T_r – температура остаточных газов, °С;

ρ_o – плотность свежего заряда на впуске, г/см³;

N_i – индикаторная мощность, кВт;

η_i – индикаторный КПД;

N_e – эффективная мощность двигателя, кВт;

η_m – механический КПД;

P_i – среднее индикаторное давление действительного цикла, МПа;

V_h – рабочий объем одного цилиндра, л;
 Q_m – количество теплоты, подведенное с топливом за цикл, кДж;

H_u – теплотворная способность (низшая теплота сгорания) топлива (кДж/кг);

g_i – удельный индикаторный расход топлива, г/кВт·ч;

g_e – удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч.

Известно, что индикаторный КПД, удельный индикаторный расход топлива, эффективный КПД, удельный эффективный расход топлива зависят от коэффициента наполнения. Эффективная мощность и удельный расход топлива будут зависеть от механического КПД, который определяются механическими потерями в двигателе, в частности ЦПГ. Поэтому изменение плотности заряда с учетом снижения механических потерь за счет снижения коэффициента трения в ЦПГ позволит изменить технико-эксплуатационные и топливно-энергетические показатели ДВС [1–4].

В соответствии с информационной моделью влияния параметров двигателя на эксплуатационные показатели транспортного средства его параметры также

могут быть представлены системой функций:

$$Y = \left\{ \begin{array}{l} g_s = f(g_{es}, N_{e3}, v, \rho_T) \\ j_a = f(N_{e3}, M_k) \\ D = f(N_{e3}, M_k, v) \\ C = f(Q_m, H_u, N_{e3}, v) \end{array} \right\}, \quad (13)$$

где g_s – путевой расход топлива, кг/100 км;

g_{e3} – эксплуатационный удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч;

N_{e3} – эксплуатационная мощность двигателя, кВт;

M_k – крутящий момент двигателя, Н·м;

v – скорость транспортного средства, км/ч;

ρ_T – плотность топлива, г/л.

На основании вышеизложенного можно предложить следующую концептуальную модель взаимосвязи и влияния модернизации ЦПГ на технико-экономические показатели двигателей и эксплуатационные показатели транспортного средства (рис. 3).

Изменение коэффициента наполнения может быть осуществлено без изменения конструктивных пара-

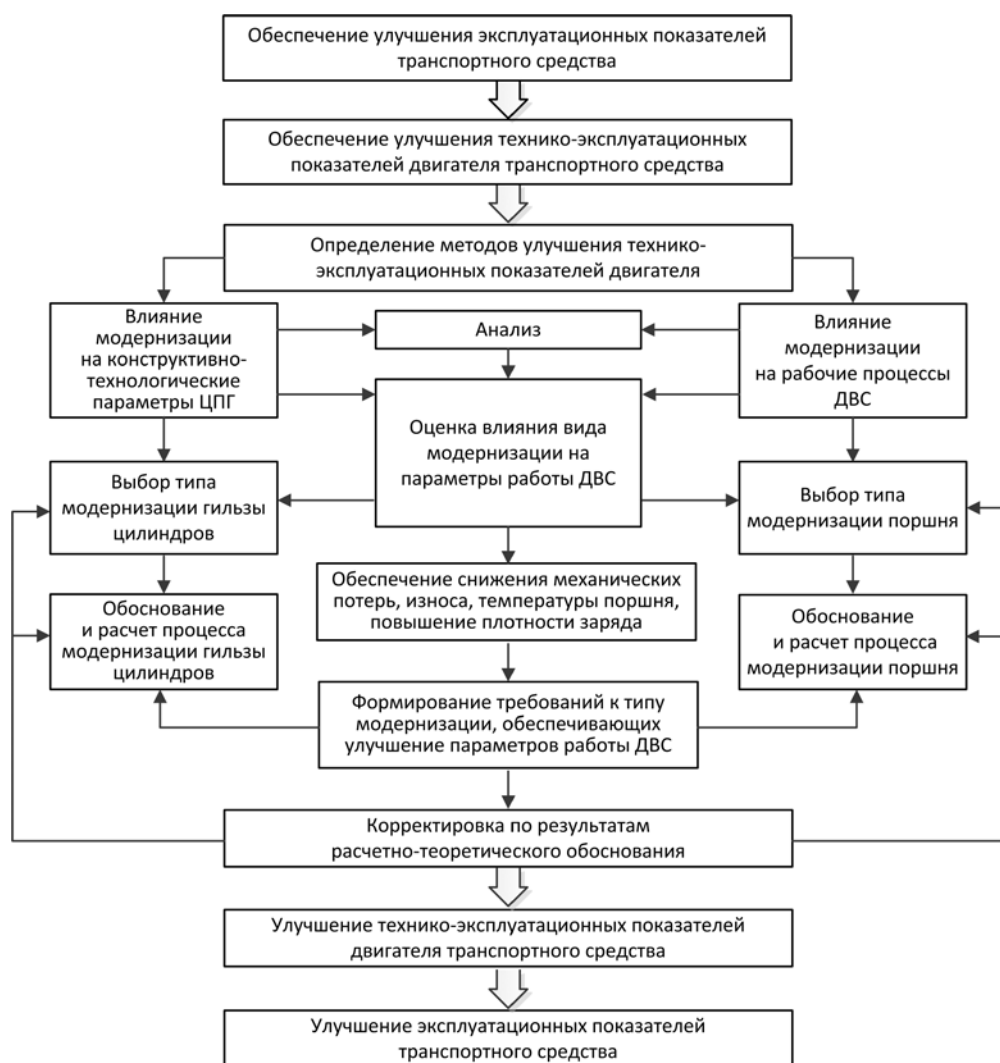


Рис. 3. Концептуальная модель повышения эксплуатационных показателей транспортного средства

метров системы воздухоподачи за счет увеличения количества свежего заряда. Не прибегая к механическим устройствам (компрессорам), это может быть реализовано только снижением температуры заряда. Поскольку при поступлении в цилиндр свежий заряд подогревается от деталей камеры сгорания, одним из решений этого будет являться снижение температуры деталей. Из всех деталей ЦПГ поршень имеет наибольшую температуру, естественно он является источником максимального подгрева свежего заряда, поэтому для реализации решения необходимо снизить его температуру в процессе работы. Это может быть реализовано формированием на днище или головке поршня теплоизолирующего покрытия [1–7].

Повышение мощности и снижение удельного расхода топлива возможно опять же без изменения конструкции за счет снижения механических потерь в сопряжениях двигателя. Поскольку наибольшие потери приходятся на ЦПГ, в частности на пару трения «поршневое кольцо – гильза цилиндров», направлением снижения механических потерь будет являться снижение коэффициента трения в рассматриваемом сопряжении. В этом случае одним из решений является нанесение на рабочие поверхности деталей антифрикционных материалов. Причем, исходя из классической теории триботехники, наиболее эффективным будет нанесение антифрикционного покрытия на большую площадь трения. В рассматриваемом случае наибольшей площадью является рабочая поверхность гильзы цилиндров. Решение этой проблемы может быть осуществлено формированием на рабочей поверхности гильзы покрытий, обладающих высокими антифрикционными свойствами. Учитывая условия работы деталей ЦПГ и свойства их материалов, антифрикционное покрытие должно иметь свойства, близкие к деталям [1–7].

Детализация концептуальной модели позволяет составить оптимальную схему достижения цели (рис. 4)

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Практическая реализация предложенной модели заключалась в формировании теплоизолирующего покрытия на днище и головке поршня методом микродугового оксидирования и нанесения антифрикционного слоя на рабочую поверхность гильзы цилиндров путем введения в неё вставок с медью.

При этом математическая модель расчета эксплуатационных показателей транспортных средств от параметров формируемых покрытий реализовывалась численно при использовании комбинации методов конечных разностей и конечных элементов. С использованием методов планирования эксперимента проводилась редукция исходной модели к эмпирико-статистической. Для этого использовались две серии численных экспериментов с исходной моделью при варьировании значений покрытий (толщина, микротвердость, термическое сопротивление, коэффициент трения и др.) в конструктивно-технологически допустимых диапазонах.

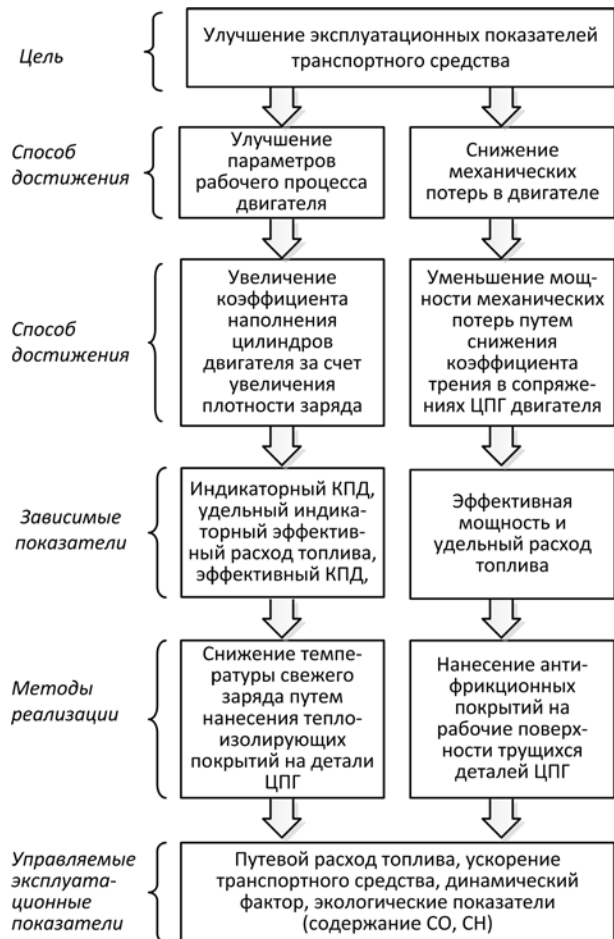


Рис. 4. Схема достижения цели

Результаты расчета показали, что снижение температуры оксидированного днища поршня приводит к повышению плотности поступающего воздушного заряда, и, следовательно, коэффициента наполнения на 3,1 %, коэффициент трения в паре «поршневое кольцо – гильза цилиндров» снижается в 1,8 раза. Соответственно снижается мощность трения колец с 5,02 до 2,87 кВт, а общая мощность механических потерь в двигателе, оснащенном экспериментальными ЦПГ, снижается на 11,6 %.

Результаты теоретического расчета эксплуатационных показателей показывают, что оснащение экспериментальной ЦПГ поршнями с оксидированным днищем и металлизированной рабочей поверхностью гильз цилиндров двигателя УМЗ–417 позволит повысить индикаторный КПД двигателя на 4,6 %. Механический КПД двигателя возрастает с 0,789 до 0,831 (на 5,9 %). Эффективный КПД (за счет возрастания индикаторного и механического КПД) возрастает с 0,22 до 0,25 (на 13,6 %). Содержание в отработавших газах оксида углерода и углеводородов соответственно снизилось на 8 % и 11 %. Путь расход топлива, в зависимости от передачи и скорости движения транспортного средства, снижается на 5,1–7,9 %. Динамическая характеристика транспортного средства, в зависимости от передачи, улучшается на 4,9–5,9 %, а ускорение на 5,4–6,3 %. Сходимость пока-

зателей топливной экономичности, полученных расчетным и экспериментальным путем, составляет 90–93 %.

Пример математического моделирования по установлению взаимозависимости эксплуатационных показателей транспортного средства от параметров двигателя доказывает, что в соответствии с представленной методикой могут выстраиваться взаимосвязи и других показателей, например тяговых свойств от параметров агрегатов трансмиссии, динамических характеристик от компоновочных решений, аэродинамики кузова и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение математического моделирования позволяет разработать концепцию улучшения эксплуатационных показателей транспортного средства, оптимизировать процесс выбора путей модернизации двигателя и транспортного средства. Использование предлагаемой модели взаимозависимости эксплуатационных показателей от материалов и геометрических параметров узлов и механизмов позволит сократить временные и трудовые затраты при проектировании новых и модернизации существующих типов двигателей и моделей транспортных средств, исключить ошибочные проектировочные решения, сократить время от начала проектирования до массового производства транспортных средств и двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глущенко А.А. Методы адаптации автомобилей к выполнению транспортного процесса // Матер. IX междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения». – Ульяновск : УлГАУ, 2018. – С. 126–130.
2. Глущенко А.А. Модель формирования и функционирования транспортного процесса // Матер. IX междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения». – Ульяновск : УлГАУ, 2018. – С. 130–135.
3. Артамонов М.Д., Морин М.М. Основы теории и конструирования автотракторных и тракторных двигателей : в 2-ч. Ч. I. Теория автомобильных и тракторных двигателей. – М. : Высш. школа, 1973. – 205 с.
4. Глущенко А.А., Хохлов А.Л. Повышение технико-эксплуатационных показателей ДВС методом микродугового оксидирования днищ поршней. – Ульяновск : УлГУ, 2016. – 126 с.
5. Автомобильные двигатели / В.М. Архангельский, [и др.] – М. : Машиностроение, 1967. – 496 с.
6. Асташкевич Б.М. Трибологические аспекты изнашивания деталей цилиндропоршневой группы мощных двигателей внутреннего сгорания // Трение и износ. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 1995. – № 1. – С. 92–105.
7. Марьин Д.М., Глущенко А.А., Салахутдинов И.Р. Формирование модели повышения трибологических характеристик цилиндропоршневой группы // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – Пермь, 2018. – № 2. – С. 80–88.

REFERENCES

1. Glushchenko A.A. Metody adaptatsii avtomobilei k vypolneniiu transportnogo protsessa [Methods of Vehicle Adaptation to Transport Process Execution]. *Mater. IX mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Agrarnaia nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiia: opyt, problemy i puti ikh resheniia"* [Proc. of 9th Intern. Sci. Workshop on Agrarian Science and Education at the Modern Development Stage: Experience, Issues, and Ways of its Decision]. Ulyanovsk, UISAU Publ., 2018, pp. 126–130.
2. Glushchenko A.A. Model formirovaniia i funktsionirovaniia transportnogo protsessa [A Model for Transport Process Creation and Functioning]. *Mater. IX mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Agrarnaia nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiia: opyt, problemy i puti ikh resheniia"* [Proc. of 9th Intern. Sci. Workshop on Agrarian Science and Education at the Modern Development Stage: Experience, Issues, and Ways of its Decision]. Ulyanovsk, UISAU Publ., 2018, pp. 130–135.
3. Artamonov M.D., Morin M.M. *Osnovy teorii i konstruirovaniia avtotraktornykh i traktornykh dvigatelei. V 2 ch. Ch. I. Teoriia avtomobilnykh i traktornykh dvigatelei* [Fundamentals of Car-and-Tractor and Tractor Engines. 2 Volumes. Part 1. Theory of Vehicle and Tractor Engines]. Moscow, Vyssh. shkola Publ., 1973. 205 p.
4. Glushchenko A.A., Khokhlov A.L. *Povyshenie tekhniko-ekspluatatsionnykh pokazatelei DVS metodom mikrodogovogo oksidirovaniia dnishch porshnei* [The Technical and Economic Performance Improvement of Combustion Engines with the Method of Microcircular Pistonhead Oxidation]. Ulyanovsk, UISU Publ., 2016. 126 p.
5. Arkhangel'skiy V.M. et al. *Avtomobilnye dvigateli* [Vehicle Engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1967. 496 p.
6. Astashkevich B.M. Tribologicheskie aspekty iznashivaniia detalei tsilindroporshnevoi gruppy moshchnykh dvigatelei vnutrennego sgoraniia [Tribological Aspects of Wear in Parts of Cylinder-Piston Group of Powerful Ice]. *Trenie i iznos* [Friction and Wear], 1995, no. 1, pp. 92–105.
7. Mariin D.M., Glushchenko A.A., Salakhutdinov I.R. Formirovanie modeli povysheniia tribologicheskikh kharakteristik tsilindroporshnevoi gruppy [The Formation of the Patterns of the Increase of Tribological Characteristics of Cylinder-Piston Group]. *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya* [Transport. Transport Facilities. Ecology], 2018, no. 2, pp. 80–88.