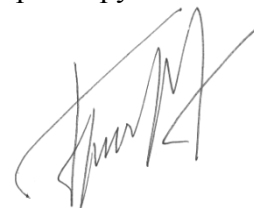


На правах рукописи



**Гричанюк Максим Валерьевич**

**МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
АВТОМОБИЛЕЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
ФОРСАЖНЫМИ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ  
МОТОРНО-ТРАНСМИССИОННЫХ УСТАНОВОК**

Специальность 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск

2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (научный исследовательский университет).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
Драгунов Геннадий Дмитриевич.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
Кравец Владислав Николаевич  
ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный  
технический университет им. Р.Е. Алексеева»,  
профессор кафедры «Автомобили и тракторы»,  
г. Нижний Новгород;

кандидат технических наук, доцент  
Бердов Евгений Иванович  
ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная  
агроинженерная академия», зав. кафедрой  
тракторов и автомобилей,  
г. Челябинск.

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Московский государственный  
машиностроительный университет (МАМИ)»,  
г. Москва.

Защита диссертации состоится 19 февраля 2014 г., в 13<sup>00</sup> часов, на заседании диссертационного совета Д212.298.09 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просьба направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ, на имя ученого секретаря диссертационного совета. Тел./факс (351)267-91-23, электронная почта: D212.298.09@mail.ru.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Е.А. Лазарев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Улучшение тягово-скоростных свойств и опорной проходимости автомобилей многоцелевого назначения (АМН) является актуальной задачей отрасли. Степень приспособляемости к выполнению различных тягово-транспортных работ предлагается оценивать энергоэффективностью автомобиля. Энергоэффективность автомобиля определяется отношением полезной совершенной работы к расходу топлива при заданных условиях движения. На энергоэффективность оказывают значительное влияние режимы работы моторно-трансмиссионных установок (МТУ). Автомобили эксплуатируются при типовых режимах работы, заявленных заводами-изготовителями (тормозные, холостые, частичные и номинальные), а также кратковременно при форсажных режимах работы.

В ряде отечественных и зарубежных работ исследуются двигатели с временным форсированием (форсажные режимы) для управления мощностью в более широких пределах по сравнению с типовыми режимами. Результаты данных работ использовались для оценки эксплуатационных параметров двигателей.

В ходе обзора общедоступных печатных и интернет-источников выявлено отсутствие исследований по влиянию форсажных режимов работы МТУ на энергоэффективность АМН. Применение форсажных режимов при различных условиях движения автомобиля требует обоснования и проведения с этой целью соответствующих теоретических и экспериментальных исследований.

**Цель исследования** разработать методику повышения энергоэффективности АМН применением форсажных режимов работы МТУ, позволяющей при эксплуатации автомобилей в различных условиях обоснованно использовать форсажные режимы.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели исследования сформулированы и решены следующие задачи:

- описать условия возможного применения форсажных режимов работы МТУ для АМН;
- предложить критерий оценки энергоэффективности автомобилей при форсажных режимах работы МТУ.
- разработать алгоритм включения форсажных режимов работы МТУ при различных условиях движения автомобиля.
- разработать математическую модель движения АМН при типовых и форсажных режимах работы МТУ.
- выполнить экспериментальное исследование АМН УРАЛ-43203 при типовых и форсажных режимах работы МТУ для проверки адекватности предложенных математических формул.
- произвести оценку влияния форсажных режимов работы МТУ на усталостную долговечность деталей трансмиссии автомобиля.

**Объект исследования.** АМН УРАЛ-43203 с дизельным двигателем, оснащенным устройством переключения режимов работы МТУ.

**Предмет исследования.** Показатели энергоэффективности автомобиля при типовых и форсажных режимах работы МТУ.

**Методологической основой работы** являются исследования, базирующиеся на основных положениях теории автомобиля, теории конечных автоматов, методах численного решения дифференциальных и алгебраических уравнений, методах электрических измерений неэлектрических величин.

**Научная новизна работы:**

– расширена классификация режимов работы МТУ, учитывающая, кроме общеизвестных типовых режимов, также форсажные режимы работы МТУ, которые ранее для исследования энергоэффективности автомобилей не использовались;

– предложен новый способ определения энергоэффективности автомобиля коэффициентом энергоэффективности, включающим в себя коэффициент нагрузки и коэффициент расхода топлива, которые характеризуют отношение полезной совершенной работы автомобилем к расходу топлива при заданных условиях движения;

– разработана математическая модель движения автомобиля с типовыми и форсажными режимами работы МТУ, позволяющая определять показатели энергоэффективности на всех режимах работы и обоснованно выбирать форсажный режим при различных условиях движения.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается корректной постановкой задач; использованием методов и подходов, описанных в научной литературе; обоснованностью применяемых теоретических зависимостей и принятых допущений; проверкой адекватности модели посредством независимых и авторских натурных испытаний; отсутствием противоречий с общепризнанными теоретическими и экспериментальными результатами зарубежных и отечественных авторов.

**Практическая ценность работы.** Разработанная методика повышения энергоэффективности АМН форсажными режимами работы МТУ может использоваться при проектировании новых и совершенствовании существующих образцов МТУ различных автомобилей для улучшения их тягово-скоростных свойств и топливной экономичности.

**Реализация.** Разработанная методика оценки энергоэффективности автомобилей используется при разработке перспективных моделей АМН в ОАО «Автомобильный завод «Урал».

**Апробация работы.** Основные положения работы докладывались в период 2010–2013 гг. на Международном конгрессе по грузовым машинам, автопоездам и городскому транспорту под патронажем FISITA, Минск: БНТУ, 2010; III научно-практической конференции аспирантов и докторантов, ЮУрГУ, 2011; LI международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству», ЧГАА, 2012; 64-й научной конференции, ЮУрГУ, 2012; 77-й Международной конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в

России: приоритеты развития и подготовка кадров», г. Москва, 2012; 5-й научной конференции аспирантов и докторантов ЮУрГУ, 2013.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 7 печатных работах, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, рекомендаций и общих выводов и содержит 118 страниц, в том числе 102 страницы машинописного текста, включающего 51 иллюстрацию, 18 таблиц, список литературы из 124 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приводятся актуальность темы, общая характеристика и краткое содержание работы.

**В первой главе** рассмотрено состояние вопроса и поставлены задачи исследования. Приводится обоснование возможности повышения энергоэффективности АМН форсажными режимами работы МТУ как одного из направлений развития автомобилестроения.

Исследованиям энергоэффективности автомобилей посвящено множество работ. Среди них наиболее известны работы, авторами которых являются Валеев Д.Х., Великанов Д.П., Вохминов Д.Е., Евсеев П.П., Ерохов В.И., Зимелев Г.В., Карабцев В.С., Копотилов В.И., Крупченков В.С., Трембовельский Л.Г., McRae G.J., Nelson D.D., Onder C.H., Pfiffner R., Reilly J.M., Ross M., Small K.A., Taubert C., Van Dender K., Zahniser M.S. и др.

Результаты, достигнутые в исследованиях, показывают, что критерии энергоэффективности автомобилей не учитывают форсажные режимы работы МТУ, а также содержат величины, которые требуют дополнительных расчетов, помимо тех, которые осуществляются математическим моделированием движения автомобиля.

Различные математические модели движения автомобиля приводятся в работах следующих авторов: Андропов Ф.Е., Астапенко А.В., Бартош В.С., Блохин А.Н., Валеев И.Д., Вохминов Д.Е., Ган Р.С., Гащук П.Н., Горелов В.А., Гришкевич А.И., Зеер В.А., Карабцев В.С., Катанаев Н.К., Ковальчук А.С., Котиев Г.О., Кравец В.Н., Лаврентьев М.М., L., Paceyka H., Popp K., Rajamani R., Rill G., Schiehlen W., Sciarretta A., Seiffert U., Shramm D., Wallentowitz H. и др.

В рассмотренных математических моделях движения автомобилей для анализа их эксплуатационных свойств используются только типовые режимы работы МТУ, форсажные режимы работы не учитывались. В исследованиях Капитонова С.И., Николашина С.С., Погуляева Ю.Д., Садовского С.С. и др. исследовались форсажные режимы работы для оценки их влияния на эксплуатационные свойства двигателей.

В работе ставятся задачи по разработке методики повышения энергоэффективности АМН форсажными режимами работы МТУ.

**Во второй главе** приводится методика повышения энергоэффективности автомобилей при форсажных режимах работы МТУ и оценки влияния форсажных режимов долговечность деталей трансмиссии.

Предложенная классификация режимов работы МТУ (рис. 1) позволила выявить режимы работы МТУ, которые ранее при оценке энергоэффективности автомобилей не учитывались. Дальнейшие теоретические и практические этапы работы посвящены исследованиям влияния форсажных режимов работы на энергоэффективность автомобилей.



Рис. 1. Классификация режимов работы МТУ

Форсажные режимы работы МТУ предназначены для повышения приспособляемости АМН к выполнению различных тягово-транспортных работ. При эксплуатации рекомендуется использовать форсажные режимы в следующих случаях:

- для снижения риска возникновения угроз жизни и здоровью людей, участвующих в тягово-транспортных работах при экстремальных ситуациях путем повышения тягово-скоростных свойств АМН;
- для улучшения опорной проходимости АМН во время эксплуатации по различным типам дорог и местности при достаточном для устойчивого движения сцеплении ведущих колес с опорной поверхностью.

Энергоэффективность автомобиля зависят от степени соответствия требуемого режима движения автомобиля и режима работы его МТУ. Для выполнения данного условия выбор режима работы МТУ согласуется с частотой вращения коленчатого вала двигателя (далее частоты вращения двигателя) и положением педали подачи топлива.

Регулирование мощности двигателя осуществляется изменением положения педали подачи топлива. Положение педали подачи топлива оценивается коэффициентом  $h_\varphi$ , который равен отношению текущего положения педали подачи топлива  $h_i$  к предельному положению  $h_{\max}$ :

$$h_{\varphi i} = \frac{h_i}{h_{\max}} \quad (1)$$

При изменении положения педали подачи топлива происходит изменение частоты вращения двигателя в зависимости от действующей на него нагрузки. Для определения частоты вращения двигателя используется коэффициент  $h_n$ , который равен отношению текущей  $i$ -й  $n_i$  частоты вращения к частоте  $n_{\max}$  при максимальной мощности ДВС:

$$h_{n i} = \frac{n_i}{n_{\max}}. \quad (2)$$

Взаимосвязь коэффициентов  $h_\varphi$  и  $h_n$  характеризует реакцию МТУ автомобиля на нагрузку, подводимую к его ведущим колесам, при различных режимах работы МТУ и условиях эксплуатации. Отношение  $h_\varphi$  к  $h_n$  предложено именовать коэффициентом нагрузки  $c_r$  и рассчитывать по формуле:

$$c_r = 0,1 \frac{h_\varphi}{h_n}. \quad (3)$$

Каждому диапазону нагрузок соответствует определенный интервал значений  $c_r$  и режим работы МТУ:

- 1) холостой ход, малые и средние нагрузки:  $0,0 \leq c_r \leq 0,8$  – типовой режим;
- 2) максимальные нагрузки:  $0,8 < c_r \leq 1,0$  – форсажный режим.

Соотношение коэффициентов нагрузки для каждого режима определяются в зависимости от соотношения крутящего момента на типовом и форсажных режимах работы МТУ. Для автомобиля УРАЛ-43203 при работе на типовом режиме (двигатель работает по внешней скоростной характеристике), где коэффициент нагрузки  $c_{rT} = 0,8$ . Значение  $c_{rT} = 0,8$  соответствует совершенной автомобилем полезной работой, при которой автомобиль начинает замедляться (при наименьшем передаточном отношении трансмиссии и достаточном сцеплении ведущих колес автомобиля с опорной поверхностью). Кратковременное форсирование двигателя на 20 % позволяет увеличить значение совершенной автомобилем полезной работы, при которой возможен останов двигателя. Для форсажного режима работы –  $c_{rF} = 1,0$ .

В зависимости от режимов работы автомобиля происходит соответствующее изменение удельного расхода топлива  $g_d$ , которое определяют по формуле:

$$g_d = g_{eP} \cdot k_{И} \cdot k_E, \quad (4)$$

где  $g_{eP}$  – удельный расход топлива при максимальной мощности двигателя;  $k_{И}$  – коэффициент, учитывающий зависимость  $g_d$  от уровня нагрузки

двигателя;  $k_E$  – коэффициент, учитывающий зависимость  $g_D$  от скоростного режима двигателя.

При расчете  $g_D$  возникает сложность определения  $k_{II}$ , ввиду необходимости определения мощности, требуемой для равномерного движения автомобиля в заданных условиях. Для упрощения вычислений предложена обоснованная физическим подобием замена коэффициентов  $k_{II}$  и  $k_E$  на  $h_\varphi$  и  $h_n$ , в результате получена формула:

$$g_D = g_{eP} \cdot h_\varphi \cdot h_n. \quad (5)$$

При значениях коэффициентов  $h_\varphi = h_n = 1$  формула (5) преобразуется в формулу:

$$g_{Dmax} = g_{eP}. \quad (6)$$

Оценить расход топлива автомобиля предлагается через коэффициент расхода топлива  $c_g$ , который определяется отношением  $g_D$  к  $g_{Dmax}$  по следующей формуле:

$$c_g = h_\varphi \cdot h_n. \quad (7)$$

Взаимосвязь коэффициентов  $c_r$  и  $c_g$  для определенного автомобиля характеризует уровень совершенства его тягово-скоростных свойств и топливной экономичности. Повышение коэффициента нагрузки и снижение расхода топлива обуславливает повышение энергоэффективности автомобиля. Для типового и форсажного режимов коэффициенты расхода топлива принимают разные значения. При значениях коэффициентов нагрузки  $c_{rT} = 0,8$  и  $c_{rF} = 1,0$  коэффициенты расхода топлива принимают следующие значения  $c_{gT} = 0,8$  и  $c_{gF} = 1,0$  – для типового и форсажного режимов соответственно.

Энергоэффективность автомобиля характеризуется коэффициентом энергоэффективности  $EE$ . Значения коэффициента  $EE$  принимают значения от 0,0 до 1,0. Для расчета значений данного коэффициента необходимо определить функциональную зависимость  $EE = f(c_r, c_g)$ . Зависимость коэффициента  $EE$  от коэффициента нагрузки подобна изменению крутящего момента двигателя при фиксированном передаточном отношении трансмиссии. Для дизельных двигателей внешние скоростные характеристики с достаточной точностью аппроксимируются полиномами второй степени. Для бензиновых и электродвигателей зависимость может аппроксимироваться полиномами более высших степеней. Для определения энергоэффективности автомобиля на типовых и форсажных режимах работы МТУ с дизельным двигателем предлагается следующая формула:

$$EE = \frac{a \cdot c_r^2 + b \cdot c_r + c}{c_{gT}}, \quad (8)$$

где  $EE$  – коэффициент энергоэффективности автомобиля;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – коэффициенты, определяющие форму параболы.

Расчет коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  для типовых режимов предлагается вычислять по следующим формулам:



$$a = \frac{EE_3 - \frac{c_{r3} \cdot (EE_2 - EE_1) + c_{r2} \cdot EE_1 - c_{r1} \cdot EE_2}{c_{r2} - c_{r1}}}{c_{r3} \cdot (c_{r3} - c_{r1} - c_{r2}) + c_{r1} \cdot c_{r2}}, \quad (9)$$

$$b = \frac{EE_2 - EE_1}{c_{r2} - c_{r1}} - a \cdot (c_{r1} + c_{r2}), \quad (10)$$

$$c = \frac{c_{r2} \cdot EE_1 - c_{r1} \cdot EE_2}{c_{r2} - c_{r1}} - a \cdot c_{r1} \cdot c_{r2}, \quad (11)$$

где  $c_{r1}, c_{r2}, c_{r3}$  – значения коэффициента нагрузки;  $EE_1, EE_2, EE_3$  – значения коэффициента энергоэффективности.

Для автомобилей с дизельным двигателем (УРАЛ-43203) взаимосвязь коэффициентов энергоэффективности, расхода топлива и нагрузки для типового режима  $EEt = f(c_{rT}, c_{gT})$  предлагается выразить формулой:

$$EEt = \frac{-1,031 \cdot c_{rT}^2 + 1,728 \cdot c_{rT}}{c_{gT}}. \quad (12)$$

Также для этих автомобилей взаимосвязь коэффициентов энергоэффективности, расхода топлива и нагрузки для форсажного режима  $EEf = f(c_{rF}, c_{gF})$  предлагается выразить формулой:

$$EEf = \frac{-0,644 \cdot c_{rF}^2 + 1,644 \cdot c_{rF}}{c_{gF}}. \quad (13)$$

Графики функций  $EEt = f(c_{rT}, c_{gT})$  и  $EEf = f(c_{rF}, c_{gF})$  представлены на рис. 2.

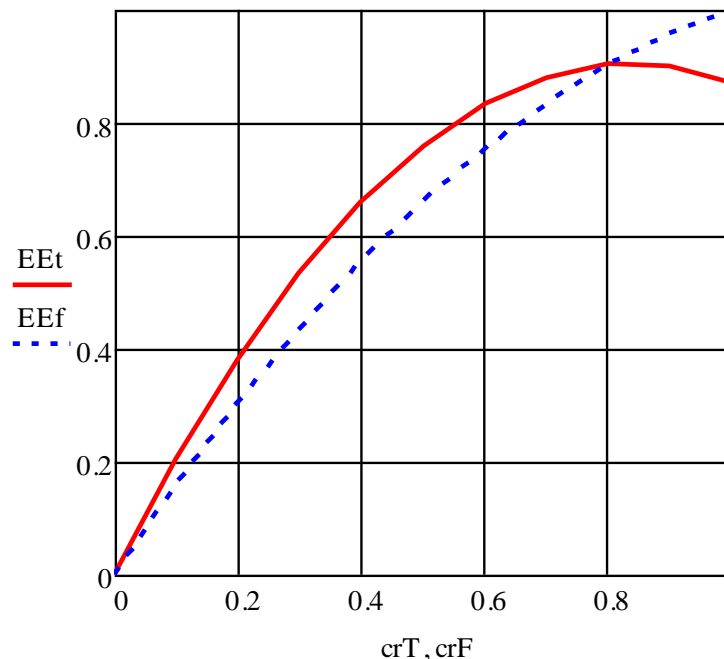


Рис. 2. Графики функций  $EEt = f(c_{rT})$  и  $EEf = f(c_{rF})$  при  $c_{gT} = 0,8$  и  $c_{gF} = 1,0$

Для расчетной оценки коэффициентов энергоэффективности автомобиля при типовых и форсажных режимах МТУ требуется соответствующая математическая модель движения автомобиля. Переключение режимов работы осуществляется при сравнении значений коэффициентов  $EEt$ ,  $EEf$  и последующем выявлении максимального значения, которое соответствует определенному режиму.

При разработке математической модели движения автомобиля УРАЛ-43203 используются уравнения движения, описанные профессорами Г.Д. Драгуновым, И.А. Мурогом. В уравнениях движения учтены количество колес и осей автомобиля, сила сопротивления на буксировочном крюке. В правой части уравнений, учитываются моменты, возникшие от силовых реакций на колесах автомобиля при заданных геометрических параметрах автомобиля. Принятая схема действующих сил изображена на рис. 3.

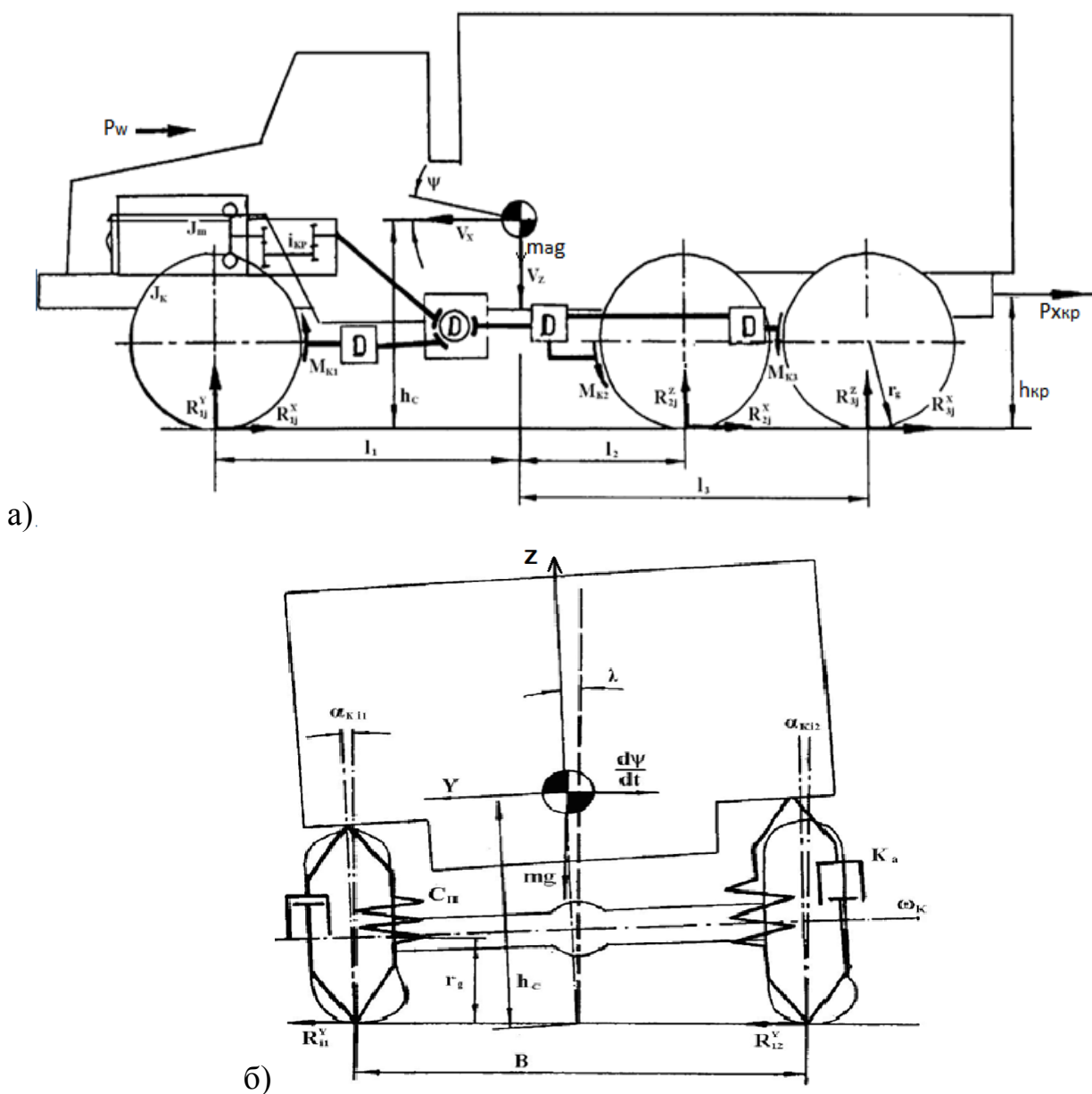


Рис. 3. Принятая схема действующих сил на автомобиль УРАЛ-43203 в продольной (а) и поперечной плоскостях (б)

С учетом принятых допущений движение автомобиля описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
m \cdot \left( \frac{dV_x}{dt} - \frac{d\beta}{dt} \cdot V_y + \frac{d\lambda}{dt} \cdot V_z \right) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 (X_{cij} - Y_{sij} - f \cdot Z_{cij} \cdot \cos \zeta_{ij} - Z_{sij} \cdot \sin \zeta_{ij}) + P_{\text{хр}} ; \\
m \cdot \left( \frac{dV_y}{dt} + \frac{d\beta}{dt} \cdot V_x - \frac{d\gamma}{dt} \cdot V_z \right) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 (X_{sij} + Y_{cij} - f \cdot Z_{sij} \cdot \cos \zeta_{ij} + Z_{cij} \cdot \sin \zeta_{ij}) + P_{\text{ур}} ; \\
m \cdot \left( \frac{dV_z}{dt} + \frac{d\gamma}{dt} \cdot V_y - \frac{d\lambda}{dt} \cdot V_x \right) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 (Z_{ij} \cdot \cos \zeta_{ij}) ; \\
J_x \cdot \frac{d^2\gamma}{dt^2} - (J_y - J_z) \cdot \frac{d\beta}{dt} \frac{d\lambda}{dt} &= h_c \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 (X_{sij} + Y_{cij} - f \cdot Z_{sij} \cdot \cos \zeta_{ij} + Z_{cij} \cdot \sin \zeta_{ij}) - \\
- \frac{B}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (Z_{i2} \cdot \cos \zeta_{i2} - Z_{i1} \cdot \cos \zeta_{i1}) - \frac{B}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (Z_{i2} \cdot \cos \zeta_{i2} - Z_{i1} \cdot \cos \zeta_{i1}) ; \\
J_y \cdot \frac{d^2\lambda}{dt^2} - (J_z - J_x) \cdot \frac{d\gamma}{dt} \frac{d\beta}{dt} &= h_c \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 [Y_{sij} - X_{cij} + f \cdot Z_{cij} \cdot \cos \zeta_{ij} + Z_{sij} \cdot \sin \zeta_{ij}] - \\
- \sum_{i=1}^n l_i \sum_{j=1}^2 Z_{ij} \cdot \cos \zeta_{ij} + M_{\text{ур}} ; \\
J_z \cdot \frac{d^2\beta}{dt^2} - (J_x - J_y) \cdot \frac{d\gamma}{dt} \frac{d\lambda}{dt} &= \frac{B}{2} \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (X_{ci2} - X_{ci1}) - \sum_{i=1}^n (Z_{si2} \cdot \sin \zeta_{i2} - Z_{si1} \cdot \sin \zeta_{i1}) - \right. \\
\left. - f \cdot \sum_{i=1}^n (Z_{ci2} \cdot \cos \zeta_{i2} - Z_{ci1} \cdot \cos \zeta_{i1}) - \sum_{i=1}^n (Y_{si2} - Y_{si1}) \right] + \\
+ \sum_{i=1}^n l_i \sum_{j=1}^2 (X_{sij} + Y_{cij} - f \cdot Z_{sij} \cdot \cos \zeta_{ij} + Z_{cij} \cdot \sin \zeta_{ij}) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^2 (M_{cij}) + M_{\text{хр}} ;
\end{aligned} \tag{14}$$

$$x(t_0), y(t_0), z(t_0), V_x(t_0), V_y(t_0), V_z(t_0), \gamma(t_0), \lambda(t_0), \beta(t_0) = 0; X_{sij} = R_{xij} \cdot \sin \theta_{ij};$$

$$Y_{cij} = R_{yij} \cdot \cos \theta_{ij}; Y_{sij} = R_{yij} \cdot \sin \theta_{ij}; Z_{cij} = R_{zij} \cdot \cos \theta_{ij}; Z_{sij} = R_{zij} \cdot \sin \theta_{ij}; Z_{ij} = R_{zij},$$

где  $R_{xij}$ ,  $R_{yij}$ ,  $R_{zij}$  – продольная, боковая и вертикальная реакции в контакте колеса  $i$ -й оси  $j$ -го борта с опорной поверхностью, Н;  $\theta$  – угол поворота колеса, рад;  $m$  – масса автомобиля, кг;  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  – продольная, боковая и вертикальная скорости автомобиля, м/с;  $J_x$ ,  $J_y$ ,  $J_z$  – моменты инерции автомобиля относительно продольной, горизонтальной и вертикальной осей соответственно, кг/м<sup>2</sup>;  $\lambda$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  – углы тангажа, крена и рысканья соответственно, рад;  $h_c$  – высота центра масс, м;  $B$  – колея автомобиля, м;  $f$  – коэффициент сопротивления качению колеса;  $M_c$  – момент сопротивления повороту колеса, Н·м.

Уравнения (14) составляют основу математической модели движения автомобиля. В модель также включено математическое представление скоростных и регуляторных характеристик дизельного двигателя.

Нагрузки в МТУ при форсажных режимах отличаются от типовых режимов, что оказывает влияние на усталостную долговечность деталей МТУ. На основе методики расчета долговечности И.Б. Барского предложен

коэффициент  $k_N$ , характеризующий отношение долговечности деталей на форсажных режимах к долговечности деталей на типовых режимах:

$$k_N = \left[ a_T + a_\Phi \cdot (b_\Phi)^{\frac{m}{s}} \right]^{-1}, \quad (15)$$

где  $a_T$ ,  $a_\Phi$  – доля от общего времени работы детали при действии эквивалентного силового фактора  $M_\Phi$  при типовых и форсажных режимах работы и  $a_T + a_\Phi = 1$ ;  $b_\Phi$  – показатель эквивалентного силового фактора на форсажных режимах при  $M_\Phi$ ;  $m$  – показатель кривой выносливости;  $s$  – величина, зависящая от вида деформации деталей:  $s = 1$  – для валов при кручении;  $s = 2$  – для зубчатых колес;  $s = 3$  – для шарикоподшипников.

В отличие от методики И.Б. Барского для предложенного способа оценки не требуются абсолютные значения действующих факторов на форсажных режимах, а только их соотношение с соответствующими факторами на типовых режимах. Для автомобиля УРАЛ-43203 предложены следующие значения факторов:  $a_\Phi = 0,1$  – доля работы на форсажном режиме от общего времени эксплуатации составляет 10%;  $b_\Phi = 1,2$  – повышение мощности двигателя на 20% по сравнению с типовым режимом.

Ниже представлены графики, показывающие изменение усталостной долговечности деталей на форсажном режиме по сравнению с типовым режимом в зависимости от факторов  $a_\Phi$  и  $b_\Phi$  (рис. 4).

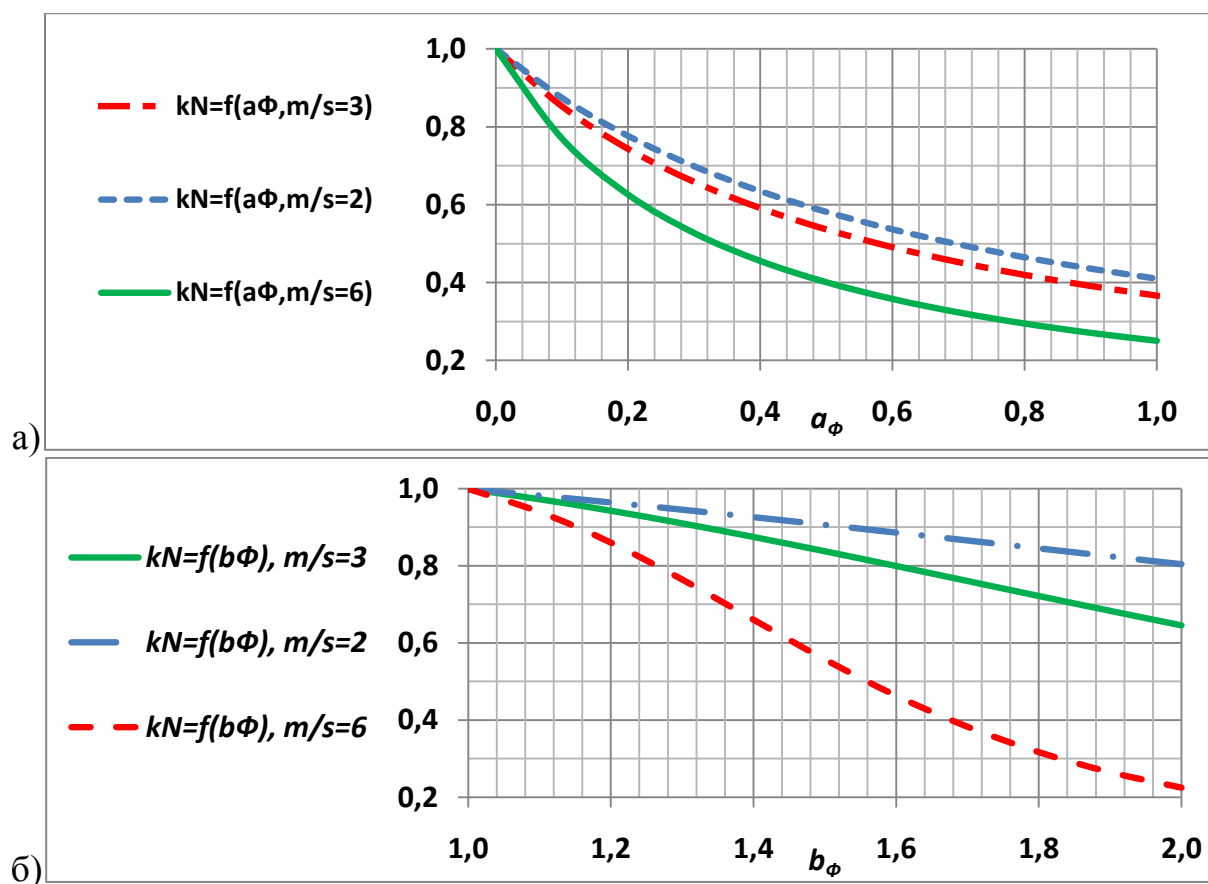


Рис. 4. Влияние факторов  $a_\Phi$  и  $b_\Phi$  на коэффициент  $k_N$ :

- а)  $k_N = f(a_\Phi)$ , при переменном факторе  $a_\Phi$  и постоянном факторе  $b_\Phi = 1,2$ ;  
 б)  $k_N = f(b_\Phi)$ , при переменном факторе  $b_\Phi$  и постоянном факторе  $a_\Phi = 0,1$

**В третьей главе** описывается методика эксперимента для проверки предположения о влиянии форсажных режимов работы МТУ автомобиля УРАЛ-43203 на его энергоэффективность. С целью проведения эксперимента разработана измерительно-регистрающая система (рис. 5).

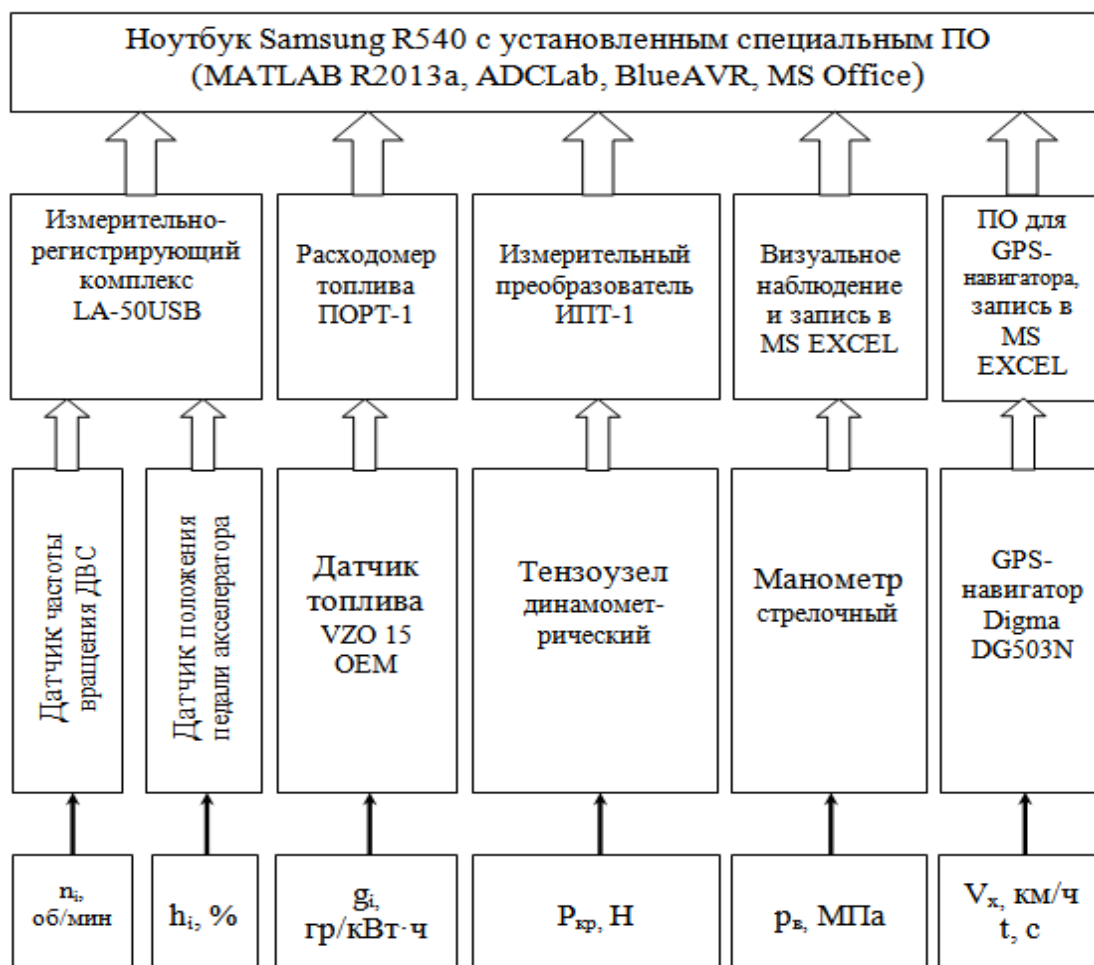


Рис. 5. Структурная схема измерительно-регистрающей системы

Целью эксперимента являлось определение следующих параметров автомобиля УРАЛ-43203 на типовых и форсажных режимах: частота вращения коленчатого вала двигателя  $n_i$ ; положение педали подачи топлива  $h_i$ ; удельный расход топлива  $g_{ei}$ ; максимальная сила тяги на крюке  $P_{кр}$ ; скорость  $V_x$  и время движения  $t$ .

Все измерительные приборы подключались к ноутбуку с установленным программным обеспечением. Для проведения измерений использовались современные технические средства и программное обеспечение. Перед проведением испытаний автомобиля выполнялась тарировка измерительной аппаратуры. Величина общей погрешности определения искомых параметров не превышает значения 3,24 %.

**В четвертой главе** приводятся результаты расчетных и экспериментальных исследований времени разгона до 60 км/ч, силы тяги на крюке (рис. 6, 7) и рекомендации по применению форсажных режимов для АМН на базе УРАЛ-4320. Приняты следующие сокращения: *FM*, *TM* –

форсажный и типовой режимы работы при расчетной оценке;  $FM_{exp}$ ,  $TM_{exp}$  – при экспериментальной оценке;  $EE_{Vx}$ ,  $EE_{Pkr}$  – значения энергоэффективности.

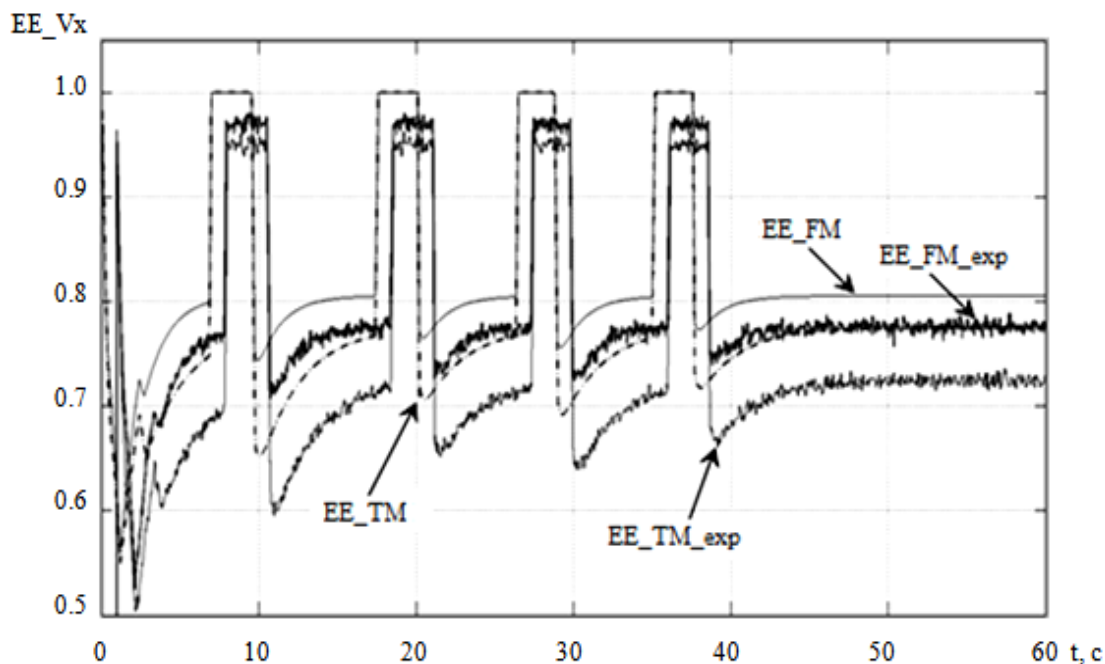


Рис. 6. Расчетные ( $EE_{FM}$ ,  $EE_{TM}$ ) и экспериментальные ( $EE_{FM_{exp}}$ ,  $EE_{TM_{exp}}$ ) значения энергоэффективности автомобиля УРАЛ-43203 при определении времени разгоне до 60 км/ч на типовых ( $TM$ ) и форсажных ( $FM$ ) режимах работы МТУ

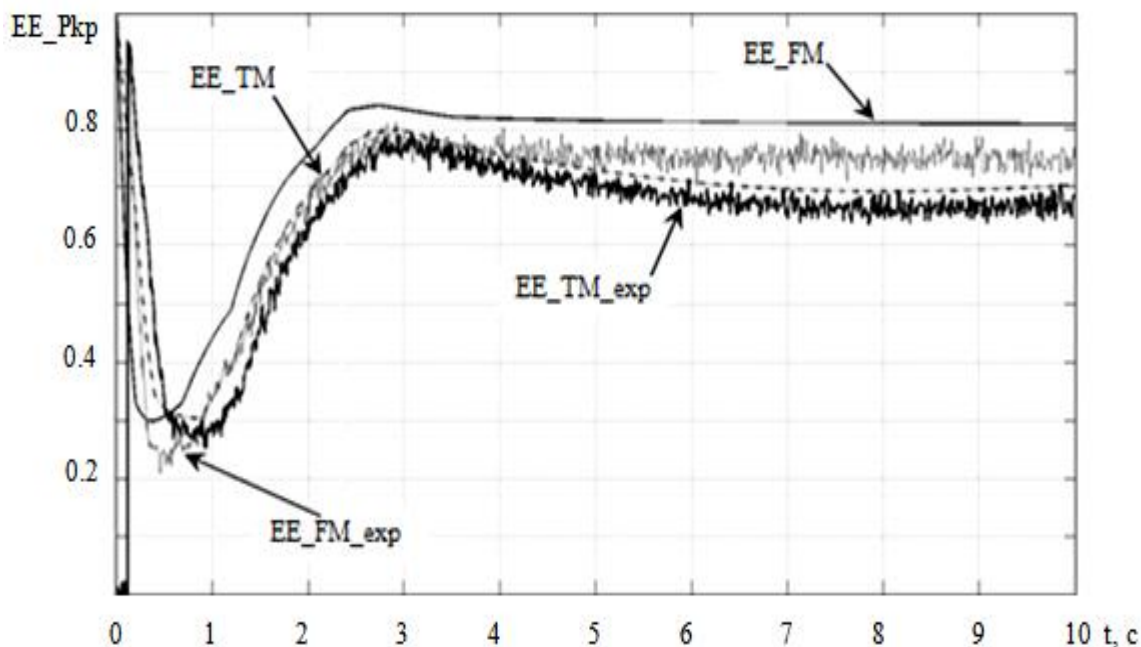


Рис. 7. Расчетные ( $EE_{FM}$ ,  $EE_{TM}$ ) и экспериментальные ( $EE_{FM_{exp}}$ ,  $EE_{TM_{exp}}$ ) значения энергоэффективности автомобиля УРАЛ-43203 при определении максимальной силы тяги на крюке при типовых ( $TM$ ) и форсажных ( $FM$ ) режимах работы МТУ

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. При эксплуатации АМН рекомендуется использовать форсажные режимы работы МТУ в следующих случаях:

– для снижения риска возникновения угроз жизни и здоровью людей, участвующих в тягово-транспортных работах при экстремальных ситуациях путем повышения тягово-скоростных свойств АМН;

– для улучшения опорной проходимости АМН во время эксплуатации по различным типам дорог и местности при достаточном для устойчивого движения сцеплении ведущих колес с опорной поверхностью.

2. Предложен критерий оценки энергоэффективности – коэффициент энергоэффективности, включающий в себя коэффициент нагрузки и коэффициент расхода топлива, которые характеризуют отношение полезной совершенной работы автомобилем к расходу топлива при заданных условиях движения. Энергоэффективность автомобиля определяется соответствующим соотношением частоты вращения двигателя и положением педали подачи топлива при заданных условиях движения.

3. Разработан алгоритм переключения режимов работы МТУ на основе сравнения значений коэффициентов энергоэффективности автомобиля на типовых и форсажных режимах. Значения коэффициента энергоэффективности позволяют в зависимости от условий движения обоснованно выбирать форсажный режим или типовой режим работы МТУ для достижения энергоэффективности.

4. Разработана математическая модель движения автомобиля с типовыми и форсажными режимами работы МТУ, которая позволяет определять тягово-скоростные свойства, топливную экономичность и энергоэффективность автомобиля с достаточной точностью.

5. Адекватность разработанной методики подтверждена результатами сравнения расчетных и экспериментальных данных, разница между которыми не превышает 7,8%. В результате экспериментального исследования получены следующие данные для автомобиля УРАЛ-43203: на форсажном режиме время разгона сократилось на 5,1 секунд, сила тяги на крюке увеличилась на 10,6 кН, энергоэффективность автомобиля при этом увеличилась на 12,8%.

6. При различных условиях эксплуатации АМН с форсированием МТУ до 20% и соответствующем снижении усталостной долговечности деталей трансмиссии до 15 % по сравнению с типовыми режимами рекомендуется использовать форсажный режим работы МТУ в пределах 10% от общего срока службы.

## Основные положения диссертации отражены в следующих работах

### *В изданиях, рекомендованных ВАК РФ*

1. Гричанюк, М.В. Экспериментальная оценка тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля при трехрежимном управлении / М.В. Гричанюк, Н.А. Карпов, И.А. Мурог // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2013. – Т. 13. – №1. – С. 97–101.
2. Гричанюк, М.В. Методика оценки энергоэффективности автомобилей / М.В. Гричанюк // Транспорт Урала. – 2013. – №4(39). – С. 84–88.
3. Драгунов, Г.Д. Математическое представление скоростных и регуляторных характеристик дизелей со всережимным регулятором / Г.Д. Драгунов, М.В. Гричанюк, О.Р. Якупов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2012. – Вып. 19. – № 12 (271). – С. 93–96.

### *Другие публикации*

1. Гонтарев, Е.П. Повышение тягово-скоростных свойств автомобиля применением форсажных режимов работы двигателя и снижением времени переключения передач [Электронный ресурс] / Е.П. Гонтарев, М.В. Гричанюк, Г.Д. Драгунов // Сборник трудов 77-й Международной конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», г. Москва. – 2012. – Режим доступа: [http://www.mami.ru/science/aai77/scientific/article/s01/s01\\_08.pdf](http://www.mami.ru/science/aai77/scientific/article/s01/s01_08.pdf).
2. Гонтарев, Е.П. Анализ влияния управляющих систем автомобиля на его тягово-скоростные свойства / Е.П. Гонтарев, М.В. Гричанюк // Материалы LI международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск: Изд-во ЧГАА, 2012. – Ч. VI. – С. 34–39.
3. Гричанюк, М.В. Организация повышения топливно-экономических и тягово-скоростных показателей автомобиля двухрежимной эксплуатацией / М.В. Гричанюк // Научный поиск: технические науки. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – С. 6–9.
4. Dragunov, G. Ultimate mode: Novelty and urgency of ultimate mode for high flotation truck type «URAL» / G. Dragunov, M. Grichanyuk // Book of papers of International Congress of Heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport. – Minsk: BNTU, 2010. – P. 217–222.