

С. И. Кривошапов¹В. А. Кашканов²

ОЦЕНКА МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ДВИГАТЕЛЕ, ТРАНСМИССИИ И КОЛЕСАХ АВТОМОБИЛЯ НА СТЕНДЕ С БЕГОВЫМИ БАРАБАНАМИ

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет²Винницкий национальный технический университет

Эффективность автомобиля рассматривается через величину потерь энергии, затрачиваемую на передачу от двигателя к ведущим колесам автомобиля. Проанализированы аналитические и экспериментальные методы оценки механических потерь. Указаны достоинства и недостатки дорожных и стендовых испытаний автомобиля на режимах свободного выбега. Приведено описание диагностического оборудования – стенда с беговыми барабанами, используемого для имитации движения автомобиля в лабораторных условиях. Рассмотрены компоненты необходимого измерительного оборудования для регистрации скорости и крутящего момента на колесах автомобиля. Указан перечень первичных измерительных датчиков и основных преобразователей, которые передают информацию на компьютер. Приведены результаты выбега автомобиля на стенде: изменение мгновенной скорости от времени. Произведена первичная оценка регрессионной модели и получены значения коэффициентов методом наименьших квадратов отклонений скорости автомобиля. Разработана математическая модель последующей обработки экспериментальных данных. Целью математического моделирования – разделение механических потерь по силовым агрегатам отдельно для двигателя, трансмиссии и колес автомобиля.

Была произведена оценка величины потерь энергии в самом стенде с беговыми барабанами. Получена характеристика стенда, которую необходимо учитывать в измерительной процедуре. Представлены результаты экспериментальных исследований для автомобиля ГАЗ-31029. Приведены результаты влияния технического состояния агрегатов трансмиссии и колес автомобиля на величину мощности механических потерь. Исследовалось давление в шинах автомобиля. Получены графические зависимости мощности механических потерь в зависимости от скорости автомобиля. Разработаны рекомендации по алгоритму диагностирования общего состояния автомобиля по величине механических потерь на стенде с беговыми барабанами. Приведены пути дальнейшего совершенствования метода. Сформулированы основные выводы по результатам исследований.

Ключевые слова: автомобиль, эффективность, энергия, потери, диагностическое оборудование, измерение, стенд с беговыми барабанами.

Введение

Автомобиль можно рассматривать как сложную техническую систему, которая преобразовывает энергию топлива во вращательное движение колес. Только та энергия, которая будет доставлена в пятно контакта колеса и поверхности дороги, будет использована для движения автомобиля. Часть энергии, высвобожденной в результате горения топливовоздушной смеси, будет потеряна в двигателе, трансмиссии и колесах автомобиля. В конечном виде это приведет к износу деталей и нагреву окружающей среды.

Эффективность автомобиля будет тем выше, чем меньше величина механической потери энергии. Увеличение потерь энергии приведет к повышенному расходу топлива и снижению надежности транспортного средства. Величина потерь зависит от конструктивных и эксплуатационных параметров автомобиля. Режим движения, который определяется скоростью и нагрузкой, также оказывает влияние на механические потери энергии в агрегатах автомобиля.

Постановка проблемы в общем виде

В задачах оценки эффективности автомобиля необходимо знать величину потери энергии, связанной с передачей крутящего момента от двигателя к колесам. Величину потерь можно оценить в результате аналитических или экспериментальных исследований. По месту проведения измерения могут проходить в дорожных условиях или на специализированных стендах. После получения результатов эксперимента данные требуют дополнительной обработки по специальным алгоритмам.

В статье рассмотрен метод экспериментального определения мощности механических потерь автомобиля на стенде с беговыми барабанами и алгоритм обработки полученных результатов.

Анализ публикаций

Механические потери в двигателе принято оценивать средним давлением механических потерь, величина которого зависит от скорости перемещения поршня [1]. В работе [2] предложено определять среднее давление механических потерь по результатам испытания двигателя на стенде на переходных режимах. В работе [3] потери в двигателе предлагается оценивать коэффициентом эксплуатационных потерь мощности в двигателе. По величине мощности механических потерь можно диагностировать состояние двигателя [4].

Механические потери в трансмиссии предложено [2] определять в зависимости от скорости и нагрузки автомобиля. Потери энергии в колесах принято оценивать через коэффициент сопротивления качению колеса, который зависит от конструкции шины, скорости автомобиля, величины передаваемого крутящего момента и веса автомобиля [5]. В работе [6] через коэффициент сопротивления качению колеса предложено также учитывать потери, связанные с колебаниями кузова и подвески, вызванные движением автомобиля по неровной дороге. Потери в колесах в режиме торможения, когда автомобиль установлен на стенде с беговыми барабанами, рассмотрены в работе [7].

Общие механические потери в автомобиле предложено определять по выбегу на ровном участке дороги в одном или в двух направлениях [8]. Режим свободного замедления исключает передачу крутящего момента от двигателя, однако время или пути выбега будет зависеть от сопротивления воздуха [9]. Его влияние можно исключить специальными техническими средствами [10] или учесть в математическом аппарате [11]. На стенде с беговыми барабанами лобовое сопротивление воздуха отсутствует, хотя остаются потери турбулентности воздушных потоков из-за вращения колес, которыми можно пренебречь.

Использование динамических режимов движения автомобиля, когда скорость не является постоянной, необходимо учитывать инерционные массы, которые движутся поступательно и вращательно. В работе [12] приведена методика определения общего момента инерции на дороге в процессе разгона и замедления автомобиля. Момент инерции вращающихся деталей можно оценивать в лабораторных условиях: поэлементно [13] методом подвеса или комплексно [14] на нагрузочных стендах. Также момент инерции можно рассчитать по геометрической форме элемента [15] или созданной в САД-системах твердотельной модели [16].

При стендовых испытаниях на беговых барабанах линейные перемещения автомобиля относительно земли отсутствуют. Однако к моменту инерции колеса и элементов трансмиссии автомобиля добавляется инерция беговых барабанов, маховика и привода стенда [17]. Для инерционных стендов с беговыми барабанами величиной вращающихся инерционных масс нельзя пренебрегать [18].

Анализ литературы показал, что наиболее распространенным методом оценки механических потерь в автомобиле – это метод выбега на дороге. Метод выбега автомобиля на стенде с беговыми барабанами используется значительно реже [19].

Постановка задачи

Целью исследования является получение численных значений величины механических потерь в агрегатах автомобиля, которые осуществляют передачу энергии от двигателя к колесам.

Решаются следующие задачи: разработка схемы измерительной системы на базе стенда с беговыми барабанами; проведение измерения мгновенной скорости выбега автомобиля в различных условиях; разработка математического аппарата для обработки результатов эксперимента; анализ результатов исследований; разработка алгоритма общего диагностирования автомобиля по мощности механических потерь.

Изложение основного материала исследования

Для измерения механических потерь в агрегатах автомобиля был использован стенд с беговыми барабанами инерционного типа. Автомобиль за счет своего двигателя разогнался до определенной скорости. После этого передача энергии к колесам автомобиля прекращалась путем выключения зажигания двигателя и/или размыканием трансмиссии (включение сцепления и перемещение рычага коробки передач в нейтральное положение). В процессе свободного выбега измерялась мгновенная скорость вращения ведущих колес автомобиля. Эксперимент продолжался до полной остановки колес. Параллельно записывался крутящий момент на беговых барабанах стенда. Общая измерительная схема эксперимента изображена на рис. 1.

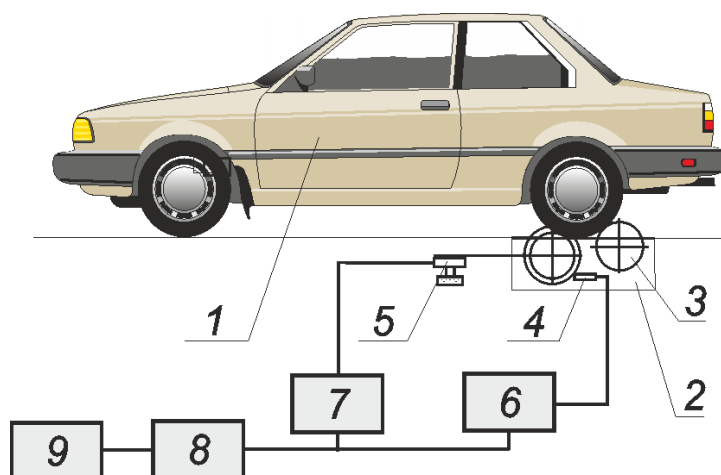


Рис. 1. Схема определения механических потерь автомобиля на стенде с беговыми барабанами:
 1 – автомобиль; 2 – стенд с беговыми барабанами; 3 – ролики стенда; 4 – датчик оборотов; 5 – тензометрический датчик крутящего момента; 6 – частотомер; 7 – усилитель и аналогово-цифровой преобразователь;
 8 – контроллер сбора данных; 9 – электронно-вычислительная машина (компьютер)

Обороты колеса (беговых барабанов) измерялись щелевым оптическим датчиком (4). Время прохождения прорезей на обтюраторе пропорционально окружной скорости внешнего протектора колеса, т.е. скорости «движения» автомобиля. Преобразование частоты вращения в скорость автомобиля производилось в измерительном блоке (6), построенного на базе микроконтроллера.

Измерение крутящего момента производилось тензометрическим датчиком (5), закрепленным на измерительной балке. Усиление электрического сигнала от датчика, а также последующее его преобразование в цифровую форму, выполнялось в специальном модуле аналогово-цифрового преобразователя (7).

Метрологическая оценка измерительной аппаратуры рассмотрена в работе [20].

На рис. 2 приведены результаты свободного выбега автомобиля ГАЗ-31029 на стенде с беговыми барабанами. Начальная скорость – 50 км/ч для трех режимов.

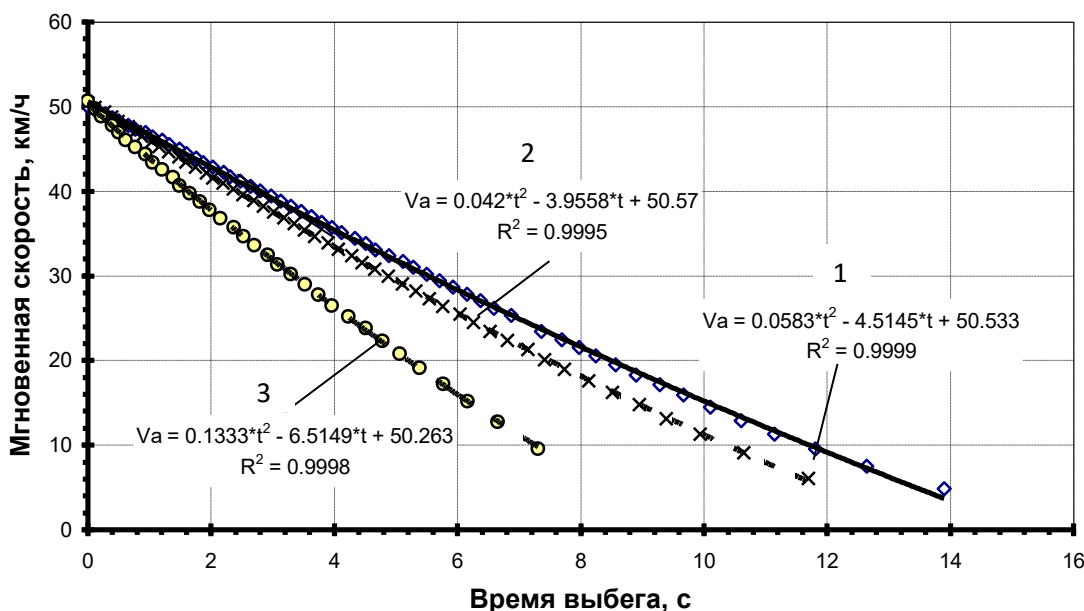


Рис. 2. Графики выбега автомобиля ГАЗ-31029 на стенде с беговыми барабанами при различном потоке энергии:
 1 – с вывешенными колесами; 2 – на прямой передаче с нажатой педалью сцепления;
 3 – с опущенной педалью сцепления и выключенным зажиганием

Временно-скоростная характеристика (см. рис. 2) была обработана методом наименьших квадратов и получена регрессионная модель вида:

$$V_a = a_T + b_T \cdot t + c_T \cdot t^2, \quad (1)$$

где a_T , b_T и c_T – коэффициенты регрессии; V_a – измеряемая скорость вращения барабанов, км/ч; t – время от начала изменения выбега, с.

Уравнение баланса сил при выбеге автомобиля описывается выражением:

$$\frac{J_i}{R^2} \cdot \frac{dV_a}{dt} = P_{mpi}, \quad (2)$$

где J_i – приведенный момент инерции вращающихся деталей i -го агрегата, приведенных к колесам автомобиля, кг·м²; P_{mpi} – сила потерь на сопротивление вращению колес автомобиля, Н; R – радиус колеса, м.

Примем, что сила сопротивления изменяется от скорости автомобиля по следующей зависимости:

$$P_{mpi} = a_{mi} + b_{mi} \cdot V_a, \quad (3)$$

где a_{mi} и b_{mi} – коэффициенты механических потерь.

Сделаем допущения, что характер потерь в трансмиссии при выбеге автомобиля соответствует потерям при движении. Тогда скорость в правой и левой части совмещенного уравнения (2) и (3) можно приравнять.

Тогда уравнение силового баланса запишем так:

$$\frac{J_i}{R^2} \cdot (b_T + 2 \cdot c_T \cdot t) = a_{mi} + b_{mi} \cdot (a_T + b_T \cdot t + c_T \cdot t^2). \quad (4)$$

Искомыми в уравнении (4) являются a_{mi} и b_{mi} . Для их определения необходима система их 2-х уравнений, полученных из (4) при двух значениях t , например, $t_1 = 0$ и $t_2 = 1$ с.

Тогда выражение (4) преобразуется в систему:

$$\begin{cases} \frac{J_i}{R^2} \cdot b_T = a_{mi} + b_{mi} \cdot a_T \\ \frac{J_i}{R^2} \cdot (b_T + 2 \cdot c_T) = a_{mi} + b_{mi} \cdot (a_T + b_T + c_T) \end{cases}. \quad (5)$$

Совместное решение системы (5) относительно a_{mi} и b_{mi} дает следующий результат:

$$a_{mi} = \frac{J_i}{R^2} \cdot \left(b_T - \frac{2 \cdot c_T \cdot a_T}{b_T + c_T} \right), \quad (6)$$

$$b_{mi} = \frac{J_i}{R^2} \cdot \frac{b_T^2 + c_T \cdot b_T - 2 \cdot c_T \cdot a_T}{b_T + c_T}. \quad (7)$$

Зная характеристику выбега автомобиля, которая оценивается коэффициентами a_T , b_T и c_T по формулам (6) и (7) можно рассчитать коэффициенты a_{mi} и b_{mi} , которые входят в уравнения силы механических потерь P_{mpi} , которая определяется по формуле (3).

Повысить точность определения механических потерь в автомобиле можно, если исключить собственные потери стэнда с беговыми барабанами. Для этого необходимо записать временно-скоростную характеристику вращения пустых барабанов. Раскручивание барабанов до начальной скорости выбега осуществляется приводным мотором стэнда без автомобиля. На рис. 3 приведен график свободного вращения барабанов стэнда.

На рис. 3 приведена формула, связывающая скорость и время выбега свободных барабанов, а также получены значения коэффициентов регрессионной модели. Характер изменения скорости на рис. 3 аналогичен формуле (1). Поэтому по формулам (6) и (7) можно рассчитать коэффициенты a_{mi} и b_{mi} , а подставив их значения в формулу (3) получить силу механических потерь стэнда.

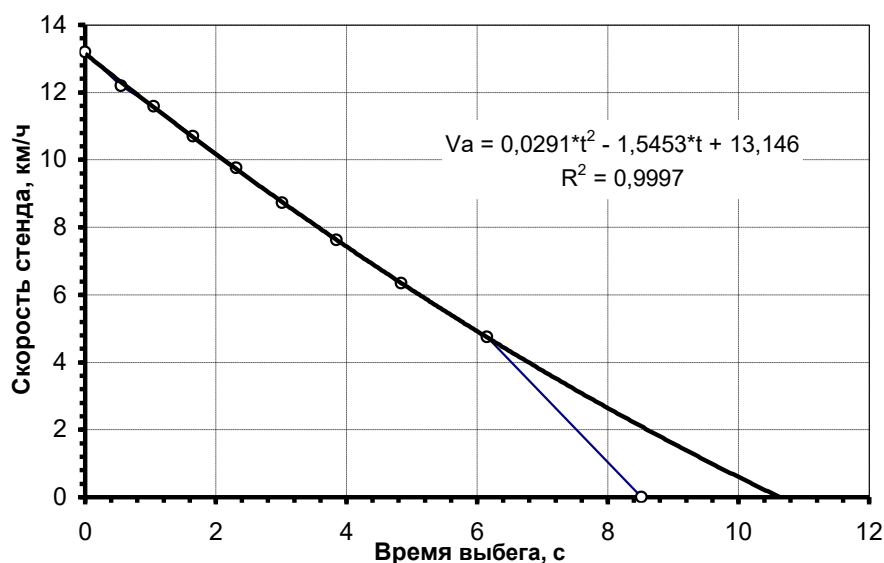


Рис. 3. Выбег свободного стенда с беговыми барабанами

Зная силу можно рассчитать мощность по формуле:

$$N = 0.278 \cdot P_{mpi} \cdot V_a = 0.278 \cdot (a_{mi} + b_{mi} \cdot V_a) \cdot V_a \quad (8)$$

На рис. 4 показаны графики изменения мощности механических потерь от скорости автомобиля, которые получены для различных схем передачи крутящего момента.

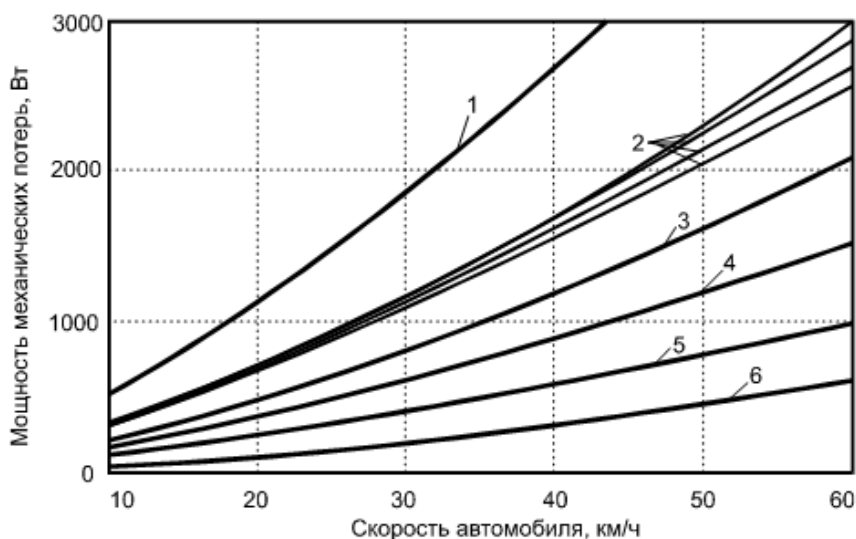


Рис. 4. Мощность механических потерь в агрегатах автомобиля:

1 – суммарные потери; 2 – трансмиссия + колеса; 3 – двигатель; 4 – колеса; 5 – трансмиссия; 6 – стенд

На рис. 5 и 6 приведены зависимости мощности механических потерь в трансмиссии и колесах автомобиля от скорости автомобиля, при разных давлениях воздуха в колесах (рис. 5) и состоянии агрегатов трансмиссии (рис. 6). На этих рисунках кривая 4 соответствует исправному (нормальному) состоянию автомобиля.

Величина механических потерь может выступать диагностическим параметром оценки технического состояния автомобиля [21].

Диагностировать общее состояние автомобиля по величине мощности механических потерь можно выполнять по следующему алгоритму:

1) Получить запись временно-скоростной характеристики выбега автомобиля на стенде с беговыми барабанами.

2) Рассчитать значения коэффициентов a_T , b_T и c_T регрессионной модели (1).

- 3) Рассчитать по формулам (6) и (7) значение коэффициентов a_{mi} и b_{mi} .
- 4) Рассчитать силу потерь в трансмиссии по формуле (3).
- 5) Скорректировать потери в трансмиссии относительно силы потерь в стенде.
- 6) Рассчитать мощность механических потерь по формуле (8) для нормативного значения скорости автомобиля.
- 7) Сравнить полученную мощность механических потерь с нормативным значением, соответствующую исправному состоянию автомобиля.

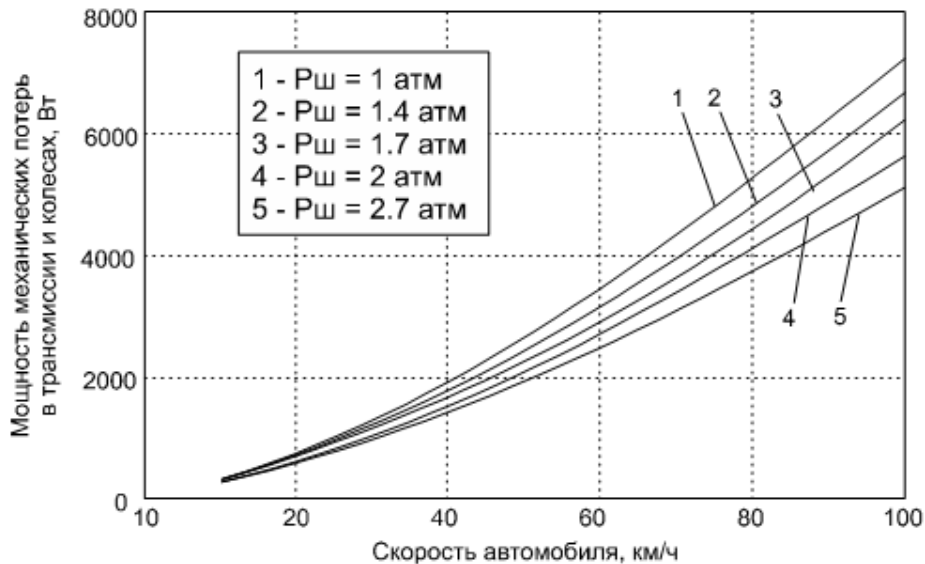


Рис. 5. Влияния потерь в трансмиссии и колесах от давления воздуха в шинах

Мощность механических потерь для исправного автомобиля необходимо для каждой марки автомобиля определять заранее и хранить в специальной базе.



Рис. 6. Влияния на величину механических потерь различных неисправностей в трансмиссии

Весь алгоритм можно реализовать программно. Программу и нормативные данные можно записать в память устройства, под управлением которой работает измерительная система стенда. В дальнейшем функциональность измерительной системы может быть расширена другими процедурами, которые можно использовать для оценки технического состояния транспортных средств.

Выводы

Стенд с беговыми барабанами может быть использован для определения мощности механических потерь методом выбега. Записав временно-скоростную характеристику выбега автомобиля по приведенным формулам можно рассчитать силу и мощность механических потерь автомобиля. В

зависимости от схемы передачи крутящего момента можно разделить мощность механических потерь двигателя, трансмиссии и колес автомобиля. Повысить точность измерения можно за счет учета потерь внутри стенда с беговыми барабанами. Исследования показали чувствительность к некоторым неисправностям трансмиссии и колес автомобиля Алгоритм измерения и обработки результатов можно автоматизировать путем разработки компьютерной программы, которая будет внедрена в измерительную систему стенда. Аппаратно-программный комплекс стенда с беговыми барабанами позволит оценивать техническое состояние транспортных средств по механическим потерям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] И. И. Тимченко, «Автомобильные двигатели: Теория рабочего цикла, системы питания и наддува, динамика и уравновешенность». Киев, УМК ВО, 1990. 260 с.
- [2] М. С. Высоцкий, Ю. Ю. Беленький и В. В. Московкин, «Топливная экономичность автомобилей и автопоездов». Минск, Наука и техника, 1984. 208 с.
- [3] А. А. Токарев, «Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля». Москва, Машиностроение, 1982. 224 с.
- [4] Р. В. Иванов, «Диагностирование ДВС по параметру мощности механических потерь». автореф. канд. техн. наук; 05.22.10. Волгоград, 2010. 16 с.
- [5] В. А. Петрушков. «Связь коэффициента сопротивления качению автомобиля (автопоезда) с обобщенными параметрами его движителя». *Обобщенный метод расчета сопротивлений с различными типами привода, Труды НАМИ*, вып. 73, 1965, с. 24-26.
- [6] Н. Я. Говорущенко и А. Н. Туренко, Системотехника транспорта (на примерах автомобильного транспорта). Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998, Т. 1, 255 с.
- [7] Э. Х. Рабинович. «Исследование и совершенствование методов и средств стендовой проверки автомобильных тормозов». автореф. канд. техн. наук; 05.22.10. Харьков: ХАДИ, 1981, 229 с.
- [8] Э. Х. Рабинович, З. Э. Кемалов и А. В. Сосновый. «Определение сопротивлений движению автомобиля методом однократного выбега». *Автомобильный транспорт*, № 22, 2008. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-soprotivleniy-dvizheniyu-avtomobilya-metodom-odnokratnogo-vybeга> (дата обращения: 06.11.2021).
- [9] В. В. Рябинин, А. И. Герасимов и В. В. Терентьев, «Определение коэффициента сопротивления качению и фактора обтекаемости автомобиля по результатам дорожных испытаний методом выбега». *Аграрный вестник Верхневолжья*, № 3(20), с. 72-76, 2017.
- [10] В. А. Банников. «К вопросу экспериментального определения воздушного сопротивления движению автомобиля и сопротивления качению колеса». *Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта*, № 4, с. 67-71, 2013.
- [11] Э. Х. Рабинович Я. Н. Замай и В. А. Иршенко. «Определение коэффициентов сопротивления движению по выбегу автомобиля». *Вестник ХНАДУ*, № 75, 2016. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-koeffitsientov-soprotivleniya-dvizheniyu-po-vybegu-avtomobilya> (дата обращения: 06.11.2021)..
- [12] В. О. Зуев, С. И. Кривошапов, Е. Х. Рабинович, М. Х. Буравцев, і В. А. Кашканов, «Оцінка запропонованого методу вимірювання моменту інерції частин приводу автомобіля за розгоном та вибігом». *Вісник машинобудування та транспорту*, № 12(2), с. 54-60, 2020. DOI: 10.31649/2413-4503-2020-12-2-54-60.
- [13] В. В. Мелешин и Б. С. Науменко. «Методика диагностирования автотранспортных средств на инерционном стенде по мощностным показателям». *Интеллект. Инновации. Инвестиции*, № 1, с. 60-66, 2018.
- [14] Tianjun Zhu1, Fudong Zhang, Jianying Li, Fei Li and, Changfu Zong, «Development Identification Method of Inertia Properties for Heavy Truck Engine Based on MIMS Test Rig», in *ICMME 2017, MATEC Web of Conferences* 153, 04009 (2018), DOI: 10.1051/mateconf/201815304009.
- [15] М. М. Гернет и В. Ф. Ратобильский, *Определение момента инерции*. Москва: Машиностроение, 1969. 247 с.
- [16] D. MacInnis, W. Cliff and K. Ising, «A Comparison of Moment of Inertia Estimation Techniques for Vehicle Dynamics Simulation». *SAE Technical Paper*, 970951, 1997, DOI: 10.4271/970951.
- [17] Е. А. Слепенко, П. А. Войцеховский и В. В. Черемных, «Определение момента инерции вращающихся масс системы "автомобиль-стенд"». *Механика XXI века*, № 8, с. 156-158, 2009.
- [18] О. С. Яньков, «Контроль технического состояния автомобилей, электромобилей и беспилотных колёсных транспортных средств на стендах с беговыми барабанами». *Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта. Сб. науч. трудов*. Москва: МАДГТУ (МАДИ), 2021, с. 203-212.
- [19] Z. Stotsko and M. Oliskevych, «Vehicle driving cycle optimization on the highway», *Transport Problems*, vol. 11, no. 2, pp. 123-131. DOI: 10.20858/tp.2016.11.2.12.
- [20] С. І. Кривошапов, В. О. Зуєв і В. А. Кашканов, «Оцінка точності вимірювання параметрів автомобіля на стенді з біговими барабанами», *Вісник машинобудування та транспорту*, вип 13, № 1, с. 60-67, 2021. DOI: 10.31649/2413-4503-2021-13-1-60-67.
- [21] Tom Denton. *Advanced Automotive Fault Diagnosis*. Open University, UK. 2006. 288 p.

Кривошапов Сергей Иванович – канд. техн. наук., доцент, доцент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей им. проф. Говорущенко Н. Я., e-mail: tesa@khadi.kharkov.ua.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков

Кашканов Виталий Альбертович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: kash_2004@ukr.net.

Винницкий национальный технический университет, г. Винница

S. Krivoshapov¹
V. Kashkanov²

Estimation of the power of mechanical losses in the engine, transmission and wheels of car on the stand with running drums

¹Kharkiv National Automobile and Road University
²Vinnitsia National Technical University

The efficiency of a car is considered through the amount of energy loss spent on transmission from the engine to the driving wheels of the car. Analytical and experimental methods for assessing mechanical losses are analyzed. The advantages and disadvantages of road and bench tests of a car in free run modes are indicated. A description of the diagnostic equipment - a stand with running drums, used to simulate the movement of a car in laboratory conditions is given. The components of the necessary measuring equipment for recording the speed and torque on the wheels of a car are considered. The list of primary measuring sensors and main transducers is indicated, which transmit information to the computer. The results of the car run-out on the stand are given: the change in the instantaneous speed from time to time. The primary assessment of the regression model is made and the values of the coefficients are obtained by the method of least squares of deviations of the vehicle speed. A mathematical model for the subsequent processing of experimental data has been developed. The purpose of mathematical modeling is to separate mechanical losses by power units separately for the engine, transmission and car wheels.

An assessment was made of the amount of energy losses in the stand itself with running drums. The characteristic of the stand has been obtained, which must be taken into account in the measurement procedure. The results of experimental studies for the GAZ-31029 car are presented. The results of the influence of the technical condition of transmission units and vehicle wheels on the value of the power of mechanical losses are presented. Car tire pressure studies have been conducted. The graphical dependences of the power of mechanical losses depending on the speed of the car are obtained. Recommendations have been developed for diagnosing the general condition of the vehicle by the amount of mechanical losses at the stand with running drums. The ways of further improvement of the method are given. The main conclusions based on the research results are formulated.

Key words: car, efficiency, energy, losses, diagnostic equipment, measurement, treadmill stand.

Krivoshapov Sergey – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor Department of Technical operations and service of cars name after prof. Govorushchenko N.Ya., e-mail: tesa@khadi.kharkov.ua.

Kashkanov Vitaliy – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: kash_2004@ukr.net.

C. I. Кривошапов¹
В. А. Кашканов²

Оцінка потужності механічних втрат у двигуні, трансмісії та колесах автомобіля на стенді з біговими барабанами

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет;
²Вінницький національний технічний університет

Ефективність автомобіля розглядається через величину втрат енергії, що витрачається на передачу від двигуна до провідних коліс автомобіля. Проаналізовано аналітичні та експериментальні методи оцінки механічних втрат. Вказані переваги та недоліки дорожніх і стендових випробувань автомобіля в режимах вільного вибігу. Наведено опис діагностичного обладнання – стенду з біговими барабанами, що використовується для імітації руху автомобіля у лабораторних умовах. Розглянуто компоненти обладнання, які необхідні для вимірювання і реєстрації швидкості та моменту на колесах автомобіля. Вказано перелік необхідних датчиків та перетворювачів, які передають інформацію на комп'ютер. Наведено результати вибігу автомобіля на стенді: зміна миттєвої швидкості за часом. Зроблено первинну оцінку регресійної моделі та отримано значення коефіцієнтів методом найменших квадратів відхилень швидкості автомобіля. Розроблено математичну модель подальшої обробки експериментальних даних.

Мета математичного моделювання – поділ механічних втрат за силовими агрегатами відокремлено для двигуна, трансмісії та коліс автомобіля. Було здійснено оцінку величини втрат енергії у самому стенді з біговими барабанами. Отримано характеристику стенду, яку необхідно враховувати у процедурі вимірювання. Наведено результати експериментальних досліджень, які отримано для автомобіля ГАЗ-31029. Наведено результати впливу технічного стану агрегатів трансмісії та коліс автомобіля на величину потужності механічних втрат. Було досліджено різний тиск у шинах автомобіля. Отримано графічні залежності потужності механічних втрат залежно від швидкості автомобіля. Розроблено рекомендації щодо діагностування загального стану автомобіля за величиною механічних втрат на стенді з біговими барабанами. Наведено шляхи подальшого вдосконалення методу. Сформульовано основні висновки щодо результатів досліджень.

Ключові слова: автомобіль, ефективність, енергія, втрати, діагностичне обладнання, вимірювання, стенд із біговими барабанами.

Кривошапов Сергей Иванович – канд. техн. наук., доцент, доцент кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів ім. проф. Говорущенко М. Я., e-mail: tesa@khadi.kharkov.ua.

Кашканов Віталій Альбертович – канд. техн. наук., доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: kash_2004@ukr.net.