

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОСВЕННОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДВИЖЕНИЮ АВТОМОБИЛЯ

Э.Х. Рабинович, кандидат технических наук, доцент Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ)

В.П. Волков, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ХНАДУ, г. Харьков

М.А. Крамаренко, ассистент ХНАДУ, г. Харьков



Э.Х. Рабинович



В.П. Волков



М.А. Крамаренко

Описан уточненный метод расчета коэффициентов сопротивления воздуха и суммарного дорожного сопротивления C_x и ψ по значениям пути выбега, измеренным при полигонных испытаниях легковых автомобилей. Метод ориентирован на использование инженерно-техническими работниками автопрома и транспорта и широко использует эмпирические подходы.

We describe a method for calculating the adjusted values of coefficient of air resistance and rolling resistance (C_d and C_{rr}), based on the coast-down motion path obtained in field tests of cars. The method focuses on the use by technical officers of automotive industry and transport, and makes extensive use of empirical approaches.

Введение

Теория движения автомобиля является основой для инженерных и практических расчетов, которые приходится выполнять работникам автомобильной науки, промышленности и транспорта. В число необходимых данных для таких расчетов входят коэффициент аэродинамического сопротивления C_x (C_d , C_w) и коэффициент суммарного дорожного сопротивления ψ ; на горизонтальной дороге он равен коэффициенту сопротивления качению f (C_{rr}). Первый обычно измеряют в аэродинамической трубе, второй – на барабанном стенде. Однако в условиях реального движения по дороге значения C_x могут заметно отличаться от полученных в лаборатории. Кроме того, "...во всех аэродинамических трубах в мире не испытывают автомобили при скоростях эксплуатационных режимов (60...120 км/ч), при

которых поток в рабочей части высокотурбулентен и нестабилен" [1]. Поэтому необходимо развивать косвенные методы оценки этих коэффициентов по измеренным показателям дорожного движения.

Анализ публикаций. В работе [2] мы усовершенствовали известный метод определения сопротивлений по замедлению выбега автомобиля [3]. Эксперименты, выполненные с простыми средствами – калиброванным спидометром автомобиля и цифровым фотоаппаратом с функцией видеозаписи, позволили получить по нашим формулам значения C_x и ψ , вполне сопоставимые с известными:

$$C_x = \frac{2 \cdot \delta \cdot m \cdot (j_1 - j_2 \cdot K_v)}{F \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2 \cdot K_v)} \quad \psi = \frac{\delta \cdot (j_2 \cdot v_1^2 - j_1 \cdot v_2^2)}{g \cdot (v_1^2 - v_2^2 \cdot K_v)}, \quad (1)$$

где m – масса автомобиля, кг; j_1 и j_2 – замедления свободного выбега, м/с², при скоростях v_1 и v_2 , м/с ($v_1 > v_2$); ρ – плотность воздуха, кг/м³; F – лобовая площадь автомобиля, м²; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²; δ – коэффициент учета вращающихся масс при выбеге; K_v – коэффициент учета влияния скорости на сопротивление качению, ($K_v = \psi_{v_1} / \psi_{v_2}$).

В работе [4] был предложен метод вычисления замедлений j_1 и j_2 по результатам измерения пути выбега, регулярно публикуемым в журнале "Авторевю".

В работе [5] показано, что самые надежные оценки C_x дают расчеты при скоростях $v_1=113...123$ и $v_2=27...49$ км/ч, выполненные с учетом перемен-

ного показателя степени при скорости в формуле сопротивления воздуха.

Расчеты для большого числа автомобилей по упомянутым методикам выявили много случаев чрезмерного (до 30 %) превышения результатов вычисления C_x над значениями, объявленными изготовителем автомобиля и опубликованными в литературе [6].

Цель и постановка задачи. Цель настоящей работы – повышение надежности расчетов движения автомобиля за счет повышения точности определения коэффициентов сопротивлений движению по показателям выбега на дороге. *Рабочая гипотеза* – точность расчетов по формулам (1) можно повысить, если вычесть из замедлений j_1 и j_2 парциальные замедления от сопротивлений холостого хода трансмиссии. *Задача* – обосновать простые методики практического расчета указанных замедлений.

Определение замедления свободного выбега

Точность определения замедления зависит от метода измерения параметров выбега, то есть движения накатом. Прямое измерение датчиками ускорений представляется самым точным, но это не так: все датчики имеют собственную систематическую погрешность, к которой под влиянием внешних факторов добавляется и случайная. Так, два емкостных датчика ускорения MMA7260QT с пределом измерения 1,5 g, подвешенные вертикально, показывали (9,7305±0,045) и (9,821±0,064) вместо 9,81 м/с², а в горизонтальном положении при номинальном нулевом ускорении – (0,0039±0,040) и (0,079±0,044) м/с² (в качестве отклонений указаны 2σ) [7]. Очевидно, что такие датчики непригодны для измерения замедлений выбега, которые могут меняться за один замер, например, от 0,5 до 0,02 м/с².

Намного точнее бесконтактные спидометры CORREVIT фирмы “CORRSYS-DATRON” (Германия) и работающие по сигналам GPS комплекты V-BOX британской фирмы “RACELOGIC” (разрешающая способность 0,01 м/с²), но и намного дороже – их цены превышают возможности большинства исследователей.

Значительно доступнее метод измерения и регистрации параметров выбега путем замера време-

ни проезда автомобиля вдоль ряда меток на дороге с хорошо измеренными расстояниями между ними. Даже если использовать простые бытовые фотоаппараты с видеофункцией, результат получается достаточно точным. Обычно самый долгий замер длится не более 3 мин. Два цифровых фотоаппарата PowerShot японской фирмы “Canon” (вместе с системой обработки видео в компьютере) показали за это время 179,965 и 179,999 с. Наибольшая по модулю относительная ошибка 0,02 %.

Методика вычисления скорости и ускорения общеизвестна. Самый сложный случай – определение замедления по отчетам о полигонных испытаниях, выполненных экспертами журналов “Авторевю” и “За рулем”. Процедура включает в себя несколько этапов. На первом подбирают ручную отсутствующее в отчетах “Авторевю” значение пути выбега с 80 до 50 км/ч, как описано в [4, 8], и рассчитывают диаграммы полного выбега (ВП) для нужной группы автомобилей. По диаграммам ВП путем аналитического или численного дифференцирования рассчитывают диаграммы скорости и замедления. Принимают по рекомендациям [5] оптимальные значения скоростей v_1 и v_2 (мы принимали 118 и 31 км/ч). По диаграммам ВП находят замедления свободного выбега j_1 и j_2 при этих скоростях, подставляют в формулы (1) и вычисляют C_x и ψ .

Если в отчете о полигонных испытаниях есть только два значения выбега (130-80 и 50-0 в публикациях “Авторевю” или 120-50 и 50-0 в публикациях “За рулем”), в расчетах использовали нужные статистические характеристики процесса из ВП группы автомобилей, близких по массе, форме и отношению $SS=S_{130-80} / S_{50-0}$ либо $SS=S_{120-50} / S_{50-0}$.

Далее по каждому отобранному автомобилю было рассчитано время прохождения участка $V_a - V_b$ и среднее замедление на этом участке $j_{cp,i}$:

$$\Delta t_i = 3,6 \cdot S_i / v_{cp,i}; \quad j_{cp,i} = (V_a - V_b) / (3,6 \Delta t_i), \quad (1)$$

где $v_{cp,i}$ – средняя скорость в данном диапазоне, $v_{cp,i} = (V_a + V_b) \cdot K / (2 \cdot 3,6)$; здесь K – коэффициент, учитывающий нелинейность графика выбега в рассматриваемом диапазоне скоростей (табл. 1) [4, 9].

Таблица 1

Коэффициент нелинейности графика выбега от скорости V_a до V_b

$V_a - V_b$	160-80	160-130	130-80	100-80	120-50	50-26	50-0
Седаны 4×2 и 2×4							
Миним.	0,945	0,992	0,9765	0,996	0,947	0,977	0,488
Максим.	0,958	0,9935	0,982	0,997	0,963	0,989	0,734
Средн.	0,9497	0,9930	0,9791	0,9964	0,9535	0,9826	0,5854
Универсалы 4×4							
Средн.	0,9482	0,9929	0,9784	0,9962	0,9519	0,9808	0,5420

По диаграмме ВП находили значения скорости v^* , при которой замедление равнялось $j_{\text{ср.и}}$. Для выбранной группы находили среднее значение v^* . По ВП каждого автомобиля выполняли линейную аппроксимацию зависимости ускорения от скорости на участке от 83 до 119 км/ч и находили средние значения коэффициентов линии $j=A_5 \cdot v+B$, после чего вычисляли замедление при 118 км/ч:

$$j_{118} = j_{\text{ср.и}} + (v_1 - v_1^*) \cdot A_{5\text{ср.и}}$$

Разность $v_1 - v_1^*$ довольно велика, из-за чего можно ожидать большой погрешности расчетных значений j_{118} . Однако благодаря малой кривизне графиков $j(v)$ ошибка не выходит за допустимые пределы (например, $\pm 2,6\%$).

Для вычисления j_{31} потребовалось предварительно обработать данные выбега 50-0. Для работы был выбран участок выбега от 51 до 27 км/ч. Для каждого автомобиля нашли по ВП путь от 50 до 26 км/ч и его долю от выбега 50-0. Затем были вычислены значения времени движения от 51 до 27 км/ч и среднего замедления в этом диапазоне, найдена скорость v^* , выполнена линейная аппроксимация, вычислено среднее значение коэффициента наклона $A_{3\text{ср.и}}$ и найдены замедления при скорости 31 км/ч по формуле

$$j_{31} = j_{\text{ср.и}} + (v_2 - v_2^*) \cdot A_{3\text{ср.и}}$$

Процедура завершалась вычислением C_x и ψ по формулам (1).

Оценка сопротивлений холостого хода трансмиссии

Потери в трансмиссии автомобилей (преимущественно грузовых) подробно исследовал проф. В.В. Московкин [10, 11]. Он установил, что при движении с постоянной скоростью сопротивления создаются в основном перемешиванием масла в картерах и потому сильно зависят от вязкости масла, определяемой температурой. Из-за этого стабилизация сопротивлений происходит после непрерывного пробега около 50 км. В городских условиях такой режим движения отсутствует. Поэтому в практических расчетах приходится использовать некие средние показатели.

Парциальное замедление от потерь холостого хода в трансмиссии $j_{\text{хх}}$, то есть то замедление, которое создавали бы эти потери при отсутствии других действующих сил, может быть вычислено по второму закону Ньютона:

$$j_{\text{хх}} = P_{\text{хх}} / (m \cdot \delta),$$

где $P_{\text{хх}}$ – потери холостого хода трансмиссии, Н; m – масса автомобиля в рассматриваемом случае, кг; δ – коэффициент учета вращающихся масс колес и трансмиссии.

Специалисты МАМИ [11] для расчета потерь в трансмиссии $P_{\text{ТР}}$ предлагают следующую формулу:

$$P_{\text{ТР}} = \mu_0 G_M (P_{\text{ТРО}}^{O*} + a^*V) + \mu (P_f + P_W \pm P_J \pm P_\alpha), \quad (2)$$

где μ_0 – коэффициент учета числа агрегатов трансмиссии; G_M – масса, приходящаяся на ведущий мост, кг; $P_{\text{ТРО}}^{O*}$ – потери при скорости, близкой к нулю, Н; a^* – коэффициент, характеризующий гидравлические потери; V – скорость автомобиля, км/ч; μ – коэффициент, учитывающий сопротивления в зубчатых и карданных передачах трансмиссии при передаче крутящего момента.

Первое слагаемое формулы (2) описывает потери на перемешивание масла, которые и составляют основную часть сопротивлений холостого хода трансмиссии $P_{\text{хх}}$. Второе слагаемое исключается, так как на холостом ходу крутящий момент от двигателя не передается.

Для автомобиля с одной ведущей осью (иначе – моноприводного) и с одноступенчатой главной передачей рекомендуются такие значения: $\mu_0 = \mu = 0,036$; $P_{\text{ТРО}}^{O*} = 0,15$ Н/кг; $a^* = 0,006$ Н·ч/кг·км. Для автомобиля 4×4 с одноступенчатой главной передачей – $\mu_0 = \mu = 0,062$ [11].

Потери на перемешивание масла не зависят от массы автомобиля, она здесь использована как ориентировочный указатель на размеры автомобиля, а следовательно, и размеры шестерен трансмиссии, которые могут косвенно влиять на эти потери, так что достоверность расчетов по этой формуле невелика. Поэтому значение G_M при отсутствии конкретных данных можно принимать $0,6m_a$ для переднего привода и $0,5m_a$ для заднего.

Тогда для переднеприводного автомобиля

$$P_{\text{хх}} = \mu_0 G_M (P_{\text{ТРО}}^{O*} + a^*V) = 0,036 \cdot 0,6 \cdot m_a (0,15 + 0,006V) = 0,036 \cdot m_a (0,09 + 0,0036V) = m_a \cdot (0,00324 + 0,000137V) \quad ;$$

для заднеприводного

$$P_{\text{хх}} = 0,036 \cdot 0,5 \cdot m_a (0,15 + 0,006V) = 0,036 \cdot m_a (0,075 + 0,003V) = m_a \cdot (0,0027 + 0,000117V).$$

Для полноприводного автомобиля

$$P_{\text{хх}} = 0,062 \cdot m_a (0,15 + 0,006V) = m_a (0,0093 + 0,00037V).$$

Парциальное замедление при отсутствии конкретных данных можно вычислять при среднем $\delta=1,04$. Значения парциальных замедлений при интересующих нас скоростях приведены в табл. 2 (столбцы “Методика МАМИ”).

Результаты наших экспериментов несколько расходятся с рекомендациями [11]. Испытания 10 легковых автомобилей (3 – с передним приводом, 7 – с задним) дали значения $\mu_0=0,09$ для переднего привода и 0,12 для заднего. Для полного привода по аналогии принято 0,11. Рассчитанные при таких значениях замедления также приведены в табл. 2 (столбцы “Методика ХНАДУ”).

Таблица 2

Парциальные замедления j_{xx} , создаваемые потерями в трансмиссии (расчет по двум методикам)

Скорость, км/ч	Методика МАМИ, привод			Методика ХНАДУ, привод		
	передний	задний	полный	передний	задний	полный
118	0,018	0,015	0,077	0,043	0,032	0,091
31	0,007	0,006	0,027	0,017	0,009	0,036

Для проверки этих выводов из публикаций “Авторевю” были выбраны данные о выбегах десяти переднеприводных седанов, для них по методике [4] рассчитаны полные диаграммы выбега: путь от времени, скорость от времени и замедление от скорости. Из замедлений вычитали значения j_{xx} , приведенные в табл. 2. По скорректированным таким образом замедлениям рассчитаны ψ и C_x . В качестве эталонных принимали рассчитанные по ВП значения C_x ВП, наиболее близкие к опубликованным в литературе $C_{x\text{лит}}$ (табл. 3).

Как видно из средних значений отношения $C_x\text{ВП} / C_{x\text{лит}}$, нет однозначного различия между данными автомобилей с автоматическими (А, VAR)

и механическими (М, DSG) трансмиссиями, поэтому приходится использовать одинаковые поправки. Далее, обе методики дают результаты, укладывающиеся в пределы 1,05...1,10 [10]. Однако методика МАМИ не устраняет чрезмерных значений этого соотношения, а лишь несколько снижает их (среднее – с 1,172 до 1,105, наихудшее – с 1,314 до 1,257). Воздействие поправок по методике ХНАДУ более заметно (среднее снизилось до 1,035, наихудшее – до 1,159), однако она часто выдает соотношения, близкие к единице и даже меньше нее, что маловероятно. Были приняты значения парциальных замедлений, промежуточные между двумя методиками: 0,031 и 0,012. Результаты расчета по этим значениям приведены в табл. 4.

Таблица 3

Показатели седанов, рассчитанные с поправками на потери холостого хода трансмиссии

Автомобиль	J_{xx}	ψ	$C_x\text{ВП}$	$C_x\text{ВП} / C_{x\text{лит}}$
Honda Accord A5	–	0,0138	0,3500	1,1290
	МАМИ	0,0133	0,3309	1,0674
	ХНАДУ	0,0125	0,3008	0,9702
Škoda Superb DSG	–	0,0147	0,3697	1,1926
	МАМИ	0,0141	0,3513	1,1331
	ХНАДУ	0,0133	0,3242	1,0458
Ford Mondeo 07 M5	–	0,0114	0,3401	1,1337
	МАМИ	0,0108	0,3261	1,0871
	ХНАДУ	0,0101	0,3055	1,0183
Toyota Avensis VAR	–	0,0134	0,3565	1,2293
	МАМИ	0,0130	0,3251	1,1210
	ХНАДУ	0,0121	0,3197	1,1024
Mazda 6 A5	–	0,0151	0,3549	1,3143
	МАМИ	0,0145	0,3394	1,2571
	ХНАДУ	0,0137	0,3130	1,1593
Mazda 6 M6	–	0,0119	0,3337	1,2359
	МАМИ	0,0113	0,3196	1,1836
	ХНАДУ	0,0105	0,2986	1,1059
VW Jetta DSG	–	0,0120	0,3580	1,1366
	МАМИ	0,0141	0,3191	1,0130
	ХНАДУ	0,0133	0,3157	1,0022
Renault Fluence VAR	–	0,0144	0,3556	1,1855
	МАМИ	0,0139	0,3375	1,1250
	ХНАДУ	0,0131	0,3104	1,0467
Volvo S40 A5	–	0,0132	0,3276	1,0568
	МАМИ	0,0127	0,3076	0,9923
	ХНАДУ	0,0119	0,2816	0,9083
Toyota Camry A5	–	0,0127	0,3100	1,1071
	МАМИ	0,0122	0,2985	1,0660
	ХНАДУ	0,0114	0,2783	0,9939
Средние по всем автомобилям $C_x\text{ВП} / C_{x\text{лит}}$	J_{xx}	А, VAR	М, DSG	Все
	–	1,1703	1,1747	1,1721
	МАМИ	1,1123	1,1042	1,1046
	ХНАДУ	1,0301	1,0431	1,0353

В этом варианте наихудшее соотношение – 1,207, меньше единицы лишь одно значение – 0,979, а среднее – 1,0803, которое точно соответствует полученному

А.Н. Евграфовым и В.А. Петрушовым корреляционному коэффициенту 1,08 для случая продувки натуральных автомобилей в больших трубах с неподвижным аэродинамическим экраном [9].

Таблица 4

Показатели седанов, рассчитанные с промежуточными поправками

Автомобиль	Honda Accord	Škoda Superb	Ford Mondeo	Toyota Avensis	Mazda 6 A5	Mazda 6 M6
ψ	0,01290	0,01372	0,01045	0,01256	0,01180	0,01411
C_x ВП	0,31534	0,33721	0,31584	0,31240	0,30997	0,32600
C_x ВП/ C_x лит	1,01724	1,08776	1,05280	1,07724	1,10705	1,20741
Автомобиль	VW Jetta	Renault Fluence	Volvo S40	Toyota Camry	средние	
ψ	0,01090	0,01368	0,01349	0,01227		
C_x ВП	0,30915	0,32838	0,32615	0,30351		
C_x ВП/ C_x лит	1,14501	1,04247	1,08718	0,97908	1,08032	

Аналогичный анализ выполнен для универсалов 4×4 (табл. 5). Расчет без поправок (строки с тире) завывшал оценочное соотношение в 1,1...1,5 раза со средним 1,216. Поправки по обем методикам уменьшают его ниже единицы. Было ясно, что применение промежуточных поправок не улучшит картину. Проверен дополнительный вариант – расчет парциальных замедлений полноприводных автомобилей с коэффициентами для монопривода (моно). Именно

этот вариант дал лучшие результаты: всего одно значение меньше единицы, наименьший размах (то есть разность между максимальным и минимальным значениями) и среднее отношение, сравнительно близкое к 1,08.

Вывод

Приведенные результаты позволяют рекомендовать для практических расчетов значения парциальных замедлений, приведенные в табл. 6.

Таблица 5

Показатели универсалов 4×4, рассчитанные с поправками на потери холостого хода трансмиссии

Автомобиль	j_{xx}	ψ	C_x ВП	C_x ВП/ C_x лит
Land Rover Discovery 4 A5	–	0,0120	0,4733	1,1833
	МАМИ	0,0099	0,391	0,9776
	ХНАДУ	0,0091	0,3841	0,9604
	Моно	0,0106	0,432	1,0799
Toyota Land Cruiser Prado A5	–	0,0117	0,4535	1,1935
	МАМИ	0,0097	0,3748	0,9863
	ХНАДУ	0,0088	0,3686	0,9701
	Моно	0,0104	0,4141	1,0897
Range Rover	–	0,0133	0,4257	1,1505
	МАМИ	0,0113	0,3370	0,9108
	ХНАДУ	0,0105	0,3311	0,8948
	Моно	0,0120	0,3804	1,0281
Volkswagen Touareg A5	–	0,0122	0,382	1,1235
	МАМИ	0,0102	0,3074	0,9041
	ХНАДУ	0,0094	0,3017	0,8873
	Моно	0,0109	0,3443	1,0128
Mercedes-Benz GL 500 A5	–	0,0146	0,4718	1,2751
	МАМИ	0,0125	0,3714	1,0038
	ХНАДУ	0,0117	0,3585	0,9689
	Моно	0,0132	0,4219	1,1402
Nissan Patrol A5	–	0,0154	0,4962	1,093
	МАМИ	0,0133	0,4008	0,883
	ХНАДУ	0,0125	0,3868	0,852
	Моно	0,014	0,4481	0,987
Toyota Land Cruiser 200 A5	–	0,014	0,5228	1,4937
	МАМИ	0,012	0,436	1,2458
	ХНАДУ	0,0111	0,431	1,2316
	Моно	0,0127	0,4679	1,337

	средние			
	min	max	Размах	Ср.
–	1,0930	1,4937	0,4007	1,2161
МАМИ	0,8830	1,2458	0,4388	0,9873
ХНАДУ	0,852	1,2316	0,3796	0,9664
Моно	0,9870	1,3370	0,3500	1,0964

Таблица 6
 Парциальные замедления j_{xx} , создаваемые потерями в трансмиссии (рекомендуемые значения)

Скорость, км/ч	Привод		
	передний	задний	полный
118	0,031	0,024	0,043
31	0,012	0,008	0,017

Список литературы

- Пути развития сотрудничества КамаЗа и НАМИ в области испытаний грузовых автомобилей и автопоездов способом выбега / Д. Х. Валеев, В. С. Карабцев, С. В. Бахмутов, В. А. Петрушов [Электронный ресурс] / Журнал автомобильных инженеров. – № 5(88). – 2014. – С. 28–33. – Режим доступа: <http://www.aae-press.ru/f/88/28.pdf> //
- Рабинович Э.Х. Определение сопротивлений движению автомобиля методом однократного выбега / Э.Х. Рабинович, З.Э. Кемалов, А.В. Сосновый // Автомобильный транспорт: сб. науч. трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2008. – Вып. 22. – С. 46–48.
- BOSCH. Автомобильный справочник: пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО “КЖИ “За рулем”, 2004. – 992 с.
- Рабинович Э.Х. Оценка коэффициентов сопротивлений движению автомобиля по пути выбега / Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Е.А. Белогуров // Український метрологічний журнал. – 2010. – № 4. – С. 47–52.
- Измерение аэродинамического сопротивления движению автомобиля дорожным методом / Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Е.А. Белогуров, Д.В. Никитин [Электронный ресурс] // Метрологія та вимірювальна техніка: VIII Міжнар. наук.-техн. конф. “Метрологія–2012”, 9–11 жовтня 2012 р., Харків: наук. праці. – Харків: ННЦ “Інститут метрології”, 2012. – С. 390–393. – 1 CD-ROM.
- Рабинович Э.Х. Статистическая проверка методов определения аэродинамического сопротивления автомобиля по выбегу / Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Е.А. Белогуров // ЕКОВАРНА’2011: сб. – Варна, 2011. – С. 347–351.
- Выбор средств измерения параметров движения автомобиля при дорожном диагностировании / Э.Х. Рабинович, Д.В. Абрамов, Д.М. Клец [и др.] [Электронный ресурс] // Метрологія та вимірювальна техніка: IX Міжнар. наук.-техн. конф. “Метрологія–2014”, 15–16 жовтня 2014 р., Харків: наук. праці. – Харків: ННЦ “Інститут метрології”, 2014. – С. 363–366. – 1 CD-ROM.
- Рабинович Э.Х. Оценка коэффициентов сопротивлений движению автомобиля по пути выбега / Э. Рабинович, В. Волков, М. Крамаренко // ЕКОВАРНА’2015: сб. – Варна, 2011. – С. 347–351.
- Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля: учеб. пособие / А.Н. Евграфов. – М.: МГИУ, 2010. – 356 с.
- Петрушов В.А. Мощностной баланс автомобиля / В.А. Петрушов, В.В. Московкин, А.Н. Евграфов. – М.: Машиностроение, 1984. – 160 с.
- Методика расчета тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля на стадии проектирования: учеб. пособие / Д.Е. Вохминов, В.В. Коновалов, В.В. Московкин [и др.]. – М.: МГАПИ, МГТУ “МАМИ”, 2000. – 43 с.