

УДК 629.113

## ПУТИ РАЗВИТИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА КАМАЗА И НАМИ В ОБЛАСТИ ИСПЫТАНИЙ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И АВТОПОЕЗДОВ СПОСОБОМ ВЫБЕГА

Д. Х. Валеев, В. С. Карабцев / ОАО «КамАЗ»  
С. В. Бахмутов, В. А. Петрушов / ФГУП «НАМИ»

Современные аэродинамические трубы для натурных испытаний автомобилей — самые крупные по рабочему объёму, сложности и стоимости совершенные испытательные сооружения, обеспечивающие широкий комплекс аэродинамических исследований автомобилей (в основном легковых).

Наибольшее распространение среди трёх десятков в мире получили трубы с сечениями рабочих камер до  $38 \text{ м}^2$  при их длине до 15 м, что не позволяет испытывать грузовые автомобили с лобовой площадью более  $3,6 \text{ м}^2$ . Только четыре автомобильные трубы в мире имеют сечения рабочих камер от  $56$  до  $90 \text{ м}^2$ , но и они не обеспечивают проведения натурального аэродинамического эксперимента автомобилей средней и большой грузоподъёмности и тем более автопоездов.

Лишь один уникальный эксперимент выполнили авторы работы [3] в неавтомобильной аэродинамической трубе NASA с сечением рабочей части  $892 \text{ м}^2$ . Был испытан натуральный образец седельного магистрального автопоезда с лобовой площадью  $10,2 \text{ м}^2$ .

Несмотря на столь благоприятные физические условия проведения исследований, авторы не приводят в своей статье абсолютное значение коэффициента  $c_D$ , ограничиваясь ссылкой на то, что при испытаниях того же образца автопоезда на дороге методом выбега был получен коэффициент  $c_x$ , равный  $0,302\text{--}0,307$ . Отказ авторов от предоставления одного из важнейших результатов этих уникальных испытаний вызван его некорректностью вследствие необычно большой толщины пограничного слоя и метрологией поддерживающей рамы аэродинамических весов. Судя по последующим печатным источникам, описываемые эксперименты не получили продолжения для регулярных испытаний.

Оптимизация создаваемых грузовых автомобилей с помощью продувки масштабных моделей трудна в связи с необходимостью достижения удовлетворительного соответствия с натурными испытаниями. Причиной этого является необходимость вынужденно пренебрегать воспроизведением на модели мелких выступающих

деталей автомобиля, особенно в подднищевой зоне, и течений в подкапотном пространстве, что существенно нарушает условия аэродинамического подобия.

Регрессионный анализ полученных данных в совокупности с данными натурных испытаний тех же моделей автомобилей в полигонно-дорожных условиях методом, описываемым ниже, привёл к следующему корреляционному соотношению между коэффициентами  $c_x$  автомобилей в дорожных условиях и коэффициентом  $c_D$ , измеренным в малых аэродинамических трубах КАИ, ГСХИ, ИМ МГУ и других:

$$c_x = 0,9^{\sqrt{c_D}} \mp 0,11.$$

Отсюда видно, что ошибка прогнозирования реального  $c_x$  может достигать  $15\text{--}35\%$ .

Стремясь снизить турбулентность и нестабильность потока, во всех аэродинамических трубах в мире не испытывают автомобили при скоростях эксплуатационных режимов ( $60\text{--}120 \text{ км/ч}$ ,  $R_e = 5 - 10 \times 10^6$ ), при которых поток в рабочей части высокотурбулентен и нестабильен. В большинстве европейских труб используется скорость  $40 \text{ м/с}$  ( $144 \text{ км/ч}$ ), а в трубах Porsche, Volvo, Ford Köln —  $50\text{--}58 \text{ м/с}$  ( $180\text{--}210 \text{ км/ч}$ ), то есть при более высоких (в  $1,5\text{--}2$  раза) значениях чисел  $R_e$ . Между тем специальные испытания автомобиля Jeep 4x4 в трубе автополигона НАМИ показали, что при повышении скорости продувки с  $10,6$  до  $45,6 \text{ м/с}$  коэффициент  $c_x$  снижается с  $0,522$  до  $0,475$ , то есть на  $10\%$  [2]. Аналогичные данные можно встретить и в фундаментальной литературе по автомобильной аэродинамике.

КамАЗ применяет численные методы исследования аэродинамических характеристик с использованием 3D-моделей в среде NX 8.5 и импортом геометрии в расчётный комплекс STAR-CCM+.

Представляет интерес распространение методов вычислительной аэродинамики на решение трёхмерной задачи, например метода панелирования [4].

Расчитанные аэродинамические характеристики требуют экспериментального подтверждения, в том числе с помощью метода выбега.

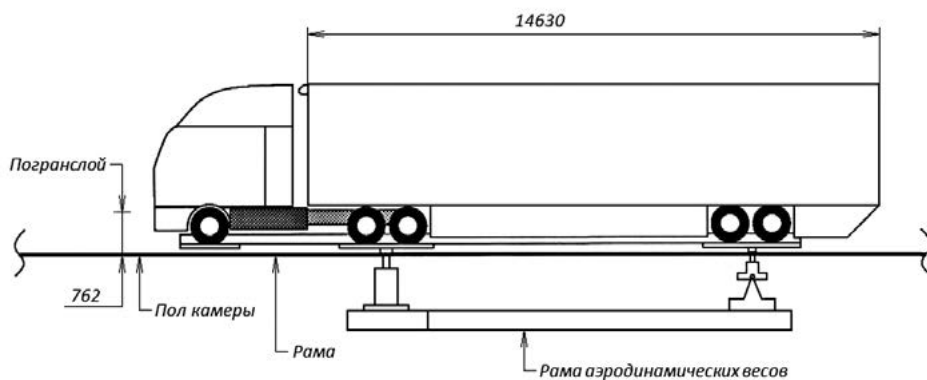


Рисунок 1. Схема установки натурального образца автопоезда с тягачом NITC 9700 в аэродинамической трубе NASA

Попытки комбинировать определение аэродинамических сопротивлений в трубах, сопротивлений качению на барабанных стендах, потерь в трансмиссии (на стендах) с последующим их суммированием не устранили сомнений исследователей в полной корректности такого метода. Проблема в том, что такой подход к оценке сопротивлений движению эффективен для раздельной доводки соответствующих частей автомобилей, но не воспроизводит взаимовлияния каждой из измеряемых сил в присутствии остальных при одних и тех же параметрах окружающей среды и температурах агрегатов, достигаемых при разных скоростных режимах.

Символически методы измерения сопротивлений движению автомобилей, которые автомобилестроение всего мира пыталось взять на вооружение в течение XX века, показаны на рис. 2.

Большинство из этих методов и их недостатков хорошо известны, они не выдержали прогрессирующих требований к ним и практикой были отвергнуты. Среди них можно остановиться на методе аэродинамического экрана доктора Фогга. Этот метод авторы фундаментальных работ по автомобильной аэродинамике упоминают, чтобы отдать должное существованию других методов, наряду с трубными. В прошлом, в связи с инженерным интересом к этому методу, опубликованному в 1947 году, к нему обращались в Англии (MIRA, 1963) и США (1966), а в 1990 году в отечественной практике соответствующая ходовая установка была воспроизведена под руководством профессора Ю. А. Ечеистова [5] (рис. 3).

Поскольку буксировкой объекта испытаний под экраном измерялись сопротивления качению и потери в трансмиссии, аэродинамическое сопротивление вычислялось как разность между суммарной силой и этими подэкранными сопротивлениями. Суммарную силу измеряли либо буксированием на длинном фале, либо выбегом того же автомобиля без экрана. Проблемы возникали в связи с неодинаковыми температурами шин (и трансмиссии) в обеих фазах испытаний, то есть под экраном и вне его, что важно

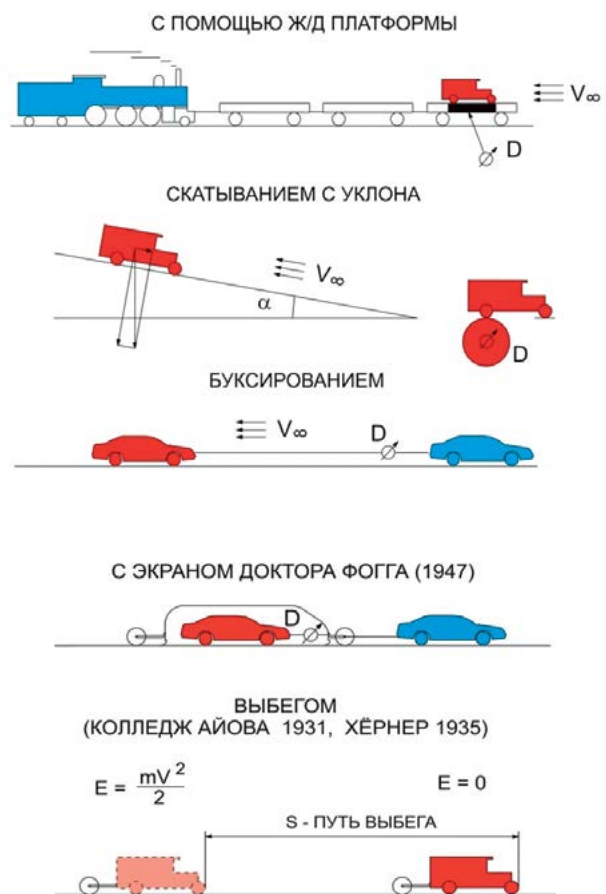


Рисунок 2. К истории дорожных методов измерения сопротивлений движению автомобилей

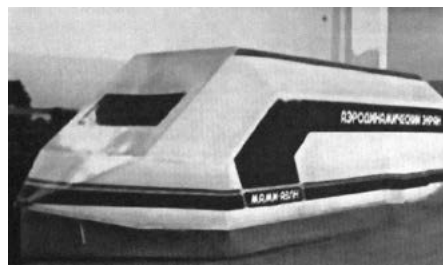


Рисунок 3. Подвижный (прицепной) аэродинамический экран конструкции МАМИ

в связи с существенным влиянием этих температур на сопротивления движению.

Необходимость «подруливания» объекта испытаний и механические колебания сложной системы «тягач — экран — автомобиль» вызывали существенные погрешности показаний динамометра. В развитие этого метода в МАМИ был предложен навесной аэродинамический экран [6], обладающий рядом преимуществ, однако он так и не был доведён до практического использования.

В итоге практика исследований в ведущих странах автомобилестроения оставила в поле внимания метод выбега, при котором скорость исследуемого объекта измеряется в течение его движения по инерции с отключённым двигателем по горизонтальной ровной дороге постоянного микропрофиля, а затем дифференцированием скорости находится замедление. Здесь сыграло роль основное преимущество метода: взаимодействие автомобиля в штатной комплектации одновременно с дорогой и воздушной средой естественной турбулентности при минимально необходимых средствах испытаний. Это преимущество превалировало над главными недостатками метода: зависимостью от погодно-климатических условий и необходимостью проведения дополнительных процедур по разделению трёх видов сопротивлений движению.

Большинство отечественных и зарубежных исследований в данной области подробно проанализированы в [2]. Здесь же отметим их главную общую особенность, которая состоит в том, что во всех упоминаемых методах параметр замедления определяется как производная от функции «скорость — время».

Приверженность зарубежных исследователей к использованию функции «скорость — время» подтверждает и пересмотренный в 2006 году стандарт ISO 10521-1 на способы определения суммарных сопротивлений движению автомобилей методом выбега для последующего их воспроизведения на барабанных стендах при исследовании топливной экономичности и токсичности [7]. Относительно новой тенденцией в измерениях суммарного сопротивления движению является введённый в этот стандарт способ использования динамометрических ведущих колёс (регламентированная точность  $\pm 3$  Н·м или  $\pm 0,5$  %).

К сожалению, возможности регламентированного данным стандартом инструментария ограничили сферу его применения автомобилями полной массой только до 3,5 т.

Отрицательное ускорение  $j$  — главный фактор определения сопротивлений движению в методе выбега. Будучи умноженным на приведённую массу системы, оно даёт силу сопротивления. Традиционный

способ вычисления, используемый во многих приборах, включая энкодеры, выражается формулой

$$j = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\Delta t_1}, \quad (1)$$

где  $\Delta\omega$  — интервал скорости (в данном случае угловой, общность вывода распространяется и на поступательное движение);  $\Delta t_1$  — интервал времени;  $\omega_1$  — скорость в начале интервала  $\Delta t_1$ ;  $\omega_2$  — скорость в конце интервала  $\Delta t_1$ .

Но для определения скоростей  $\omega_1$  и  $\omega_2$  необходимо измерять пройденный путь  $\Delta\alpha_1$  и  $\Delta\alpha_2$  за интервалы времени  $\Delta t_2$  и  $\Delta t_3$ :

$$\omega_1 = \frac{\Delta\alpha_1}{\Delta t_2}, \quad \omega_2 = \frac{\Delta\alpha_2}{\Delta t_3}.$$

В результате

$$j = \frac{\frac{\Delta\alpha_1}{\Delta t_2} - \frac{\Delta\alpha_2}{\Delta t_3}}{\Delta t_1}, \quad (2)$$

то есть в этом случае имеются пять источников погрешностей измерений. Дополнительные три источника погрешностей образуются в результате неточности спрямления участков кривых  $\omega_1$ - $\omega_2$  (рис. 9),  $\alpha_1$ - $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ - $\alpha_4$  (рис. 10). Восемь составляющих погрешностей измерения замедлений даже при малости каждой из них и являются главным препятствием для высокоточных измерений замедлений и, следовательно, сопротивлений движению.

Это одна из причин того, что ни один из многочисленных вариантов метода выбега, базирующихся на измерении скорости, не стал инструментом регулярного и тем более общепринятого применения для контроля и оптимизации параметров аэродинамических сопротивлений и сопротивлений качению автомобилей и автопоездов.

Казалось бы, в таких условиях главным инструментом измерения замедлений должны стать современные высокочувствительные датчики инерционного типа или же так называемые гиросплатформы. Однако их высокая чувствительность служит источником регистрации значительных шумов поступательных замедлений. В связи с тем, что измеряемые замедления при выбегах грузовых автомобилей и автопоездов не превышают 0,05 g, амплитуда регистрируемых шумов нередко превышает средние измеряемые значения. Последующие фильтрация или сглаживание данных приводят к потерям точности оценки тех нескольких процентов снижения сопротивлений движению, за которые ведётся борьба, например, при доводке конструкции автомобиля.

Новые возможности повышения точности лабораторно-дорожных измерений метода выбега были найдены в связи с выводом функции «путь — время», не содержащей скорости [2]:

Таблица 1. Исходные зависимости для определения сопротивления движению автомобиля

Силы, приведённые к окружности ведущего колеса	Безразмерные величины (силы, делённые на вес автомобиля)		Коэффициенты влияния скорости	Зависимости безразмерных величин от скорости
	Обозначения	Величины при $V = 0$		
Сопротивления качению $P_f$	$f$	$f_0$	$k_f [c^2 \cdot m^2]$	$f = f_0 + k_f V^2$
Потери в трансмиссии $P_d$	$d$	$d_0$	$b [c \cdot m^{-1}]$	$d = d_0 + bV$
Аэродинамического сопротивления $P_w$	$\chi$	$0$	$k_w = c_x \frac{\rho F}{2G} [c^2 \cdot m^{-1}]$	$\chi = k_w V^2$
Полного сопротивления $P_z$	$v = d + f + \chi$	$a = f_0 + d_0$	$c = k_f + k_w$	$v = a + bV + cV^2$

$$S = \frac{\delta}{gc} \left( \ln \frac{\cos \beta}{\cos(BT + \beta)} - hT \right), \quad (3)$$

где  $\delta$  — коэффициент вращающихся масс;  $B$  и  $c$  — константы функции сопротивления движению автомобиля;  $h$  и  $\beta$  — коэффициент силовых потерь в трансмиссии.

В этой формуле

$$T = T_z - t,$$

где  $T_z$  — полное время выбега;  $t$  — текущее время выбега.

В основе вывода формулы (3) лежит уравнение выбега, приведённое к безразмерной форме:

$$\frac{\delta dV}{g dt} = a + bV + cV^2, \quad (4)$$

Формула (3) даёт возможность определять параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (табл. 1) для полинома сопротивления движению автомобиля без измерения скорости выбега.

Этим исключена целая группа источников погрешностей измерений. Уравнение движения вывешенных ведущих колёс и трансмиссии, не содержащее скорости, получено и для определения параметров  $d_0$ ,  $b$  и  $h$ . Появляется несколько альтернативных решений рассматриваемой проблемы.

Наиболее рациональным путём в начальной фазе развития метода была запись значений времени выбега для четырёх фиксированных точек кривой «путь — время» с номерами 1, 2, 3 и 4.

Обозначив отношение длин двух участков  $\Delta S_{12}$  и  $\Delta S_{34}$  в общем случае  $\sigma$ , можно записать для точек с такими номерами:

$$\frac{\Delta S_{12}}{\Delta S_{34}} = \frac{S_1 - S_2}{S_3 - S_4} = \sigma, \quad (5)$$

где  $S_i$  — остаточный путь выбега от соответствующей точки пути выбега до точки остановки автомобиля.

Измерив величины  $T_1 \dots T_4$  времени выбега и используя (3), можно записать два выражения для  $\Delta S_{12}$  и  $\Delta S_{34}$ , подставив которые в (5) после некоторых преобразований получим:

$$\frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1} \left( \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_4} \right)^\sigma = h [T_1 - T_2 - \sigma(T_3 - T_4)], \quad (6)$$

$$\text{где } \alpha_i = BT_i + \arctan \frac{h}{B} \quad (i = 1, 2, 3, 4). \quad (7)$$

После определения  $B$  методом последовательных приближений параметр  $c$  может быть найден из вы-

ражения, получаемого с помощью почленного сложения двух выражений для  $\Delta S_{12}$  и  $\Delta S_{34}$ .

Зная  $B$  и  $c$ , параметр  $a$  определяем, используя следующую формулу:

$$a = \frac{\delta^2}{g^2 c} (B^2 + h^2). \quad (8)$$

Формулы (3)–(8) сводят измеряемые параметры для определения суммарной силы сопротивления движению только ко времени выбега.

Одним из ключевых моментов определения параметров сопротивлений движению автомобилей и автопоездов в дорожных условиях является способ разделения суммарных сопротивлений движению на их составляющие  $P_{mp}$ ,  $P_w$  и  $P_f$ . В поисках оптимального решения специалисты ОАО «КамАЗ» и ФГУП «НАМИ» накопили значительный опыт, описанный, соответственно, в [1] и [2].

Наиболее пригодным является способ выполнения двух серий выбегов объекта испытаний с двумя значениями масс, отличающимися на 10–15 %, что даёт дополнительные уравнения движения для нахождения новых неизвестных. При этом параметры трансмиссии определяются либо стендовыми испытаниями [1], либо выбегом вывешенных ведущих колёс автомобиля [1], [2].

В табл. 2 и 3 показаны примеры результатов испытаний натуральных образцов автомобилей и автопоездов, полученные с использованием описанных выше приёмов.

Остаётся актуальным поиск путей сокращения длительности натурального эксперимента, что приводит к приёму замены измерения полного времени выбега  $T$  на его высокоточное математическое прогнозирование, базируясь на экспериментальных данных, получаемых в начальной фазе выбега.

Для решения этой задачи можно использовать участок кривой «путь — время» в начальной фазе выбега  $S = f(t)$  0–4, разделённой на четыре отрезка одинаковых пройденных путей, или, что то же самое, чисел оборотов колеса. Координаты точек кривой 1, 2, 3, 4 — важные компоненты составляемой системы уравнений.

При таком подходе, в отличие от базового способа, когда определяется один неизвестный па-

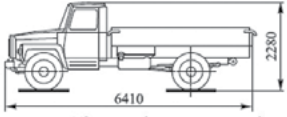
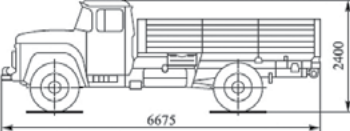
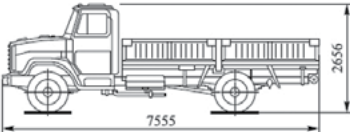
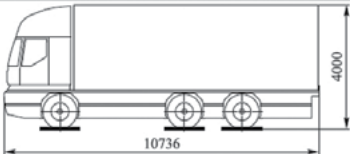
Автомобиль (шины) (размеры в миллиметрах)	Параметры сопротивлений	
	аэродинамических	качению
1	2	3
 27. ГАЗ 3307 (240-508R У-2)	$c_x = 0,6760 (\pm 3,8\%)$ $F = 4,31 \text{ м}^2$ $c_x F = 2,92 \text{ м}^2$ $A = 2,73$	$f_0 = 0,0132 (\pm 4,2\%)$ $k_f = 3,40 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^2$ $f_{90} = 0,0149$ $t_a = 16,5 \text{ }^\circ\text{C}$
 28. ЗИЛ 130 (МИ 151 260-508)	$c_x = 0,7735 (\pm 11,4\%)$ $F = 4,80 \text{ м}^2$ $c_x F = 3,71 \text{ м}^2$ $A = 2,70$	$f_0 = 0,0091 (\pm 4,8\%)$ $k_f = 2,62 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^2$ $f_{90} = 0,0107$ $t_a = 14,0 \text{ }^\circ\text{C}$
 29. ЗИЛ 4331-10 (260x508R ИН-142Б)	$c_x = 0,6740 (\pm 4,9\%)$ $F = 5,20 \text{ м}^2$ $c_x F = 3,51 \text{ м}^2$ $A = 2,93$	$f_0 = 0,0092 (\pm 2,7\%)$ $k_f = 4,90 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^2$ $f_{90} = 0,0114$ $t_a = -3,0 \text{ }^\circ\text{C}$
 32. НАМИ 0286 «Тайфун» (350/80 R22,5 И-388 передние) (420/80 R572 И-325 задние)	$c_x = 0,3470 (\pm 2,4\%)$ $F = 9,55 \text{ м}^2$ $c_x F = 3,31 \text{ м}^2$ $A = 3,08$	$f_0 = 0,0055 (\pm 4,2\%)$ $k_f = 5,20 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^2$ $f_{90} = 0,0081$ $t_a = 5,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Таблица 2. Параметры сопротивлений движению некоторых грузовых автомобилей

**Обозначения:**  $F$  — лобовая площадь;  $A$  — относительная длина автомобиля;  $f$  — коэффициент сопротивления качению (нижний индекс указывает скорость);  $k_f$  — коэффициент влияния скорости;  $t_a$  — температура воздуха

параметр  $B$ , необходимо находить решение системы уравнений с двумя неизвестными  $B$  и полным временем выбега  $T_\Sigma$ .

Применяя способ вывода уравнения (4) для параметра  $B$  для равных и смежных участков 0-1 и 1-2 и затем для 2-3 и 3-4 (в обоих случаях  $\sigma = 1$ ), получаем систему уравнений с двумя неизвестными  $T_\Sigma$  и  $B$ :

$$\left. \begin{aligned} \cos^2 \alpha_1 &= e^{h(T_\Sigma - 2T_1 + T_2)} \\ \cos \alpha_0 \cdot \cos \alpha_2 & \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \cos^2 \alpha_3 &= e^{h(T_2 - 2T_3 + T_4)} \\ \cos \alpha_2 \cdot \cos \alpha_4 & \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где  $\alpha_i = BT_\Sigma - t_i + \arctg \frac{h}{B}$  ( $i=0, 1, 2, 3, 4$ ), ( $i=0, 1, 2, 3, 4$ ), причём  $\alpha_0 = BT_\Sigma + \arctg \frac{h}{B}$ .

В результате решения такой системы способом итераций находят значения параметров  $B$  и  $T_\Sigma$ ,

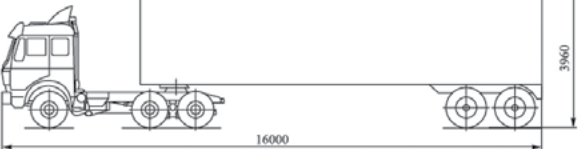
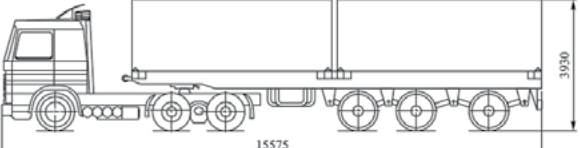
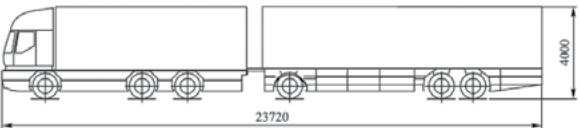
Автомобиль (шины) (размеры в миллиметрах)	Параметры сопротивлений	
	аэродинамических	качению
1	2	3
 33. Mercedes-Benz 2238S с полуприцепом «Фрюоф» FB6F2-40 (11,00 R20 Goodyear) (12,00 R20 И-150N)	$c_x = 0,718 (\pm 5,0\%)$ $F = 8,19 \text{ м}^2$ $c_x F = 5,88 \text{ м}^2$ $A = 4,95$ * без обтекателя	$f_0 = 0,0063 (\pm 1,4\%)$ $k_f = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^2$ $f_{90} = 0,0073$ $t_a = 16,0 \text{ }^\circ\text{C}$
 34. Scania R142N с полуприцепом МАЗ 93891 (11,00 R20 Michelin) (320-508 ИЯВ-12Б односкатные)	$c_x = 0,729 (\pm 4,2\%)$ $F = 9,51 \text{ м}^2$ $c_x F = 6,93 \text{ м}^2$ $A = 4,47$ * без обтекателя	$f_0 = 0,0076 (\pm 1,8\%)$ $k_f = 4,4 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^2$ $f_{90} = 0,0098$ $t_a = 15,0 \text{ }^\circ\text{C}$
 36. НАМИ 0286 «Тайфун» (350/80 R22,5 И-388 передние, 420/80 R572 И-325 задние) с полуприцепом НАМИ 0287 (350/80 R22,5 И-388 передние)	$c_x = 0,400 (\pm 3,4\%)$ $F = 9,55 \text{ м}^2$ $c_x F = 3,82 \text{ м}^2$ $A = 6,80$	$f_0 = 0,0062 (\pm 2,7\%)$ $k_f = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^2$ $f_{90} = 0,0089$ $t_a = 6,2 \text{ }^\circ\text{C}$

Таблица 3. Параметры сопротивлений движению некоторых грузовых автопоездов

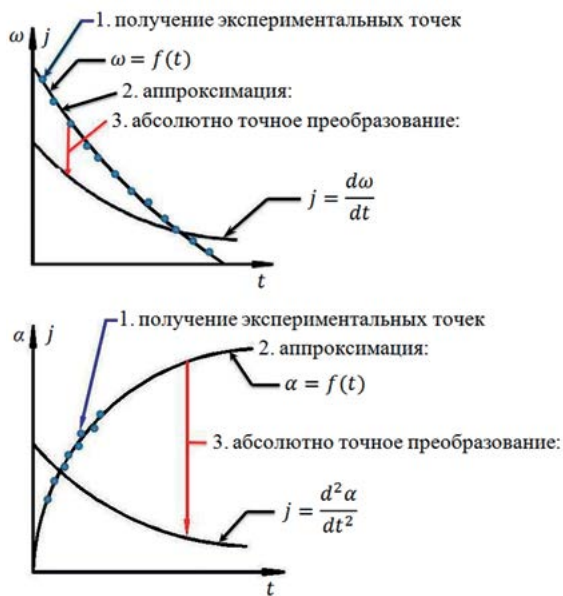


Рисунок 4. Принципы определения замедлений поступательной или вращательной системы с использованием экспериментально найденных функций: а) скорость — время, б) путь — время

а во всём остальном следуя описанной выше методике, находят параметр  $c$ .

При этом не требуется измерения параметров выбега в диапазоне скоростей от максимальной до остановки. Достаточно зарегистрировать параметры, например, в интервале 90–70 км/ч или 120–90 км/ч.

Такой способ, являясь альтернативой базовому, наиболее перспективен в качестве дальнейшего развития метода не только для коротких испытательных трасс, но и в качестве универсального.

Предварительный анализ показывает, что данный вариант обработки экспериментальной кривой метода выбега обеспечивает наибольшее совпадение экспериментальной и аппроксимирующей кривых.

Подводя итог высказанным соображениям относительно поиска путей развития метода выбега, следует коснуться возможностей нахождения функции «замедление — время» путём аналитического дифференцирования полученных экспериментально функций «скорость — время» или «путь — время». Успех зависит от нахождения монотонной непрерывной функции, аппроксимирующей экспериментальные данные (рис. 4). Если выражение такой функции найдено, определение его производных по правилам математического дифференцирования является абсолютно точным. Таким образом, в этом случае точность получаемых результатов зависит только от точности (качества) аппроксимации экспериментальных данных.

Способ б, показанный на рис. 4, предпочтительнее по простоте и точности, чем способ а. Достаточно на одном из колёс автомобиля установить метку для регистрации одного оборота и реагирующий на неё датчик. В процессе записи параметров выбега может быть получена совокупность экспериментальных точек, показанных на рис. 4, причём с точностью, равной точности измерения времени одного оборота колеса. Единственность метки датчика обеспечивает высокую точность измерения периодов вращения колеса. Это наглядно показывается практически абсолютной повторяемостью значений периода в опытах при постоянной скорости вращения. Что касается способа а, то его особенности рассмотрены выше при анализе восьми компонент погрешности способа  $\omega = \Delta\alpha/\Delta t$ .

Специалисты ФГУП «НАМИ» применили способ (рис. 4) в методе стендового определения сопротивлений качению шин, и в настоящее время этот метод становится предметом дополнения к Правилу ЕЭК ООН № 117. Предшествовавшая этому значительная по объёму экспериментальных данных работа может служить предварительной апробацией применения такого подхода на примере вращательного движения к исследованию поступательного движения автомобилей и автопоездов.

Авторы намерены совместными усилиями довести указанный способ до практического внедрения при создании и доводке перспективных автомобилей и автопоездов производства ОАО «КамАЗ».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Карабцев В. С., Валеев Д. Х. Повышение эффективности автотранспортных средств на стадии разработки // Журнал автомобильных инженеров. — 2003. — № 1 (18).
2. Петрушов В. А. Автомобили и автопоезда. Новые технологии исследования сопротивлений качению и воздуха. — М.: Торгус Пресс, 2008.
3. Lanser W., Ross J., Kaufman A. Aerodynamic Performance of a Drag Reduction Device on a Full-Scale Tractor-Trailer // SAE 912125.
4. Syed R. A. Computational Fluid Dynamics // Aerodynamics of Road Vehicles. — Wolf-Heinrich Hucho, SAE, 1998. — 4th ed.
5. Зверев И. Н., Смирнов В. А., Бернацкий В. В. Определение  $C_x$  автомобиля при помощи экрана // Автомобильная промышленность. — 1991. — № 6.
6. Бахмутов С. В., Карузин О. И., Гуторов В. Г., Громушкин В. А. Способ определения аэродинамического сопротивления наземного транспортного средства. — Авторское свидетельство № 1128139 от 08.08.1984 г.
7. Стандарт ISO 10521-1. Road Vehicles — Road Load — Determination Under Reference Atmospheric Conditions.