

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24>**ОЦЕНКА ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КВАНТОМОБИЛЯ НА БАЗЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
АЭРОДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ-АНАЛОГА**

Научная статья

Котиков Ю.Г.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-7532-7380;¹ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (cotikov[at]mail.ru)

Аннотация

Целью расчетного исследования явилась оценка устойчивости продольного движения квантомобиля (наземного транспортного средства с квантовым двигателем (КД)) на базе аэродинамических характеристик автомобиля-аналога. Методы включают: рассмотрение силового баланса квантомобиля, баланса моментов сил и нормальных реакций колес; учет особенностей сил воздействия воздуха; адаптацию результатов аэродинамических испытаний автомобиля-аналога к моделированию квантомобиля. С учетом перечисленного сформирована Simulink-модель приземного движения квантомобиля, положенная в основу имитационной системы из нескольких подсистем, две из которых – *Vehicle Dynamics* и *NormReactions* – непосредственно используются для расчета результатов исследования. Среди оценочных показателей значения продольного опрокидывающего момента, нормальных реакций на колеса, коэффициента аэродинамической устойчивости (отношение аэродинамического питч-момента к суммарному опрокидывающему моменту). Результаты расчетов, проведенных с привлечением данных по автомобилю-прототипу, охватывают имитацию разгонов и крейсерских режимов квантомобиля – как в условиях аэродинамического стенда, так и в дорожных условиях. Варьируемые параметры: коэффициенты аэродинамического воздействия, координаты точки приложения треста к корпусу экипажа, коэффициенты сопротивления качению опорных колес. Результаты расчетов позволили оценить значимость продольных опрокидывающих и необходимых стабилизирующих моментов экипажа. Выводы. Продольная неуравновешенность квантомобиля в движении отличается от таковой для автомобиля. Для нейтрализации опрокидывающих моментов необходимы дополнительные вертикальные трестеры и другие средства стабилизации, охватываемые единой системой управления с основным КД. Сформированная S-модель может послужить как средством выработки конструктивных схем квантомобилей, так и оперативным решателем задействования стабилизирующих элементов на борту квантомобиля. Новизну работы можно считать существенной, в силу отсутствия сведений о подобных концептуальных исследованиях гипотетического квантомобиля.

Ключевые слова: квантовый двигатель, квантомобиль, продольное движение, устойчивость, фэродинамика, Simulink-модель.

**AN EVALUATION OF LONGITUDINAL STABILITY OF THE QUANTUM CAR BASED ON AERODYNAMIC
PARAMETERS OF THE ANALOGUE ONE**

Research article

Kotikov Y.G.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0001-7532-7380;¹ St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (cotikov[at]mail.ru)

Abstract

The aim of the calculation study was to evaluate the stability of longitudinal motion of a quantum car (a land vehicle with a quantum engine (QE)) on the basis of aerodynamic characteristics of a car-analogue. The methods include: examination of the force balance of the quantumobile, the balance of force moments and normal wheel reactions; accounting for the specifics of air forces; adaptation of the results of aerodynamic tests of the analogue car to the modelling of the car. In view of the above, a Simulink model of the ground motion of the quantum car was formed, which served as the basis for a simulation system of several subsystems, two of which – *Vehicle Dynamics* and *NormReactions* – are directly used to calculate the results of the study. Among the evaluation parameters are the values of longitudinal overturning moment, normal wheel reactions, and aerodynamic stability coefficient (ratio of aerodynamic pitching moment to total overturning moment). The results of the calculations, carried out with the involvement of data on the prototype car, cover the simulation of acceleration and cruising modes of the quantum car – both in the conditions of the aerodynamic bench and on-road conditions. Varying variables: aerodynamic influence coefficients, coordinates of the point of trust application to the crew body, rolling resistance coefficients of the supporting wheels. The results of the calculations allowed to evaluate the significance of longitudinal overturning and necessary crew stabilizing moments. Conclusions. The longitudinal unbalance of a quantum vehicle in motion is different from that of a car. To neutralize the overturning moments, additional vertical thrusters and other means of stabilization are required, covered by a single control system with the main QE. The formed S-model can serve both as a means of working out design schemes of quantum cars and as an operational solver of activation of stabilizing elements on board of a quantumobile. The novelty of the work can be considered essential, due to the lack of information about similar conceptual studies of a hypothetical quantum vehicle.

Keywords: quantum engine, quantum car, longitudinal motion, stability, aerodynamics, Simulink model.

Введение

На базе идей извлечения энергии из физического вакуума (ФВ) [1], [2], [3], [4] учеными рассматриваются концепции квантовых двигателей (КД), способных найти применение, в том числе, на транспорте [6], [7], [8], [9]. И хотя получаемые импульсы траста (тяги) КД пока малы, надежда на масштабную реализацию названных идей становится все более существенной [10], [11], [12]. Предположение, что физики задачу извлечения энергии ФВ решат успешно, а инженеры создадут работоспособные конструкции КД, вызывает необходимость рассмотрения особенностей использования траста КД для движения транспортного средства (ТС) [13], [14], [15], [16].

Основная особенность ТС с КД заключается в том, что КД по схеме воздействия на экипаж подобен реактивному двигателю (РД). Однако в отличие от РД (где траст создается как реакция на импульс отбрасываемой массы газов, получая эту массу в качестве опоры), КД создает траст за счет деформации поля ФВ, обеспечивая опору трасту во внешней части задействованного фрагмента поля [3], [7]. Иллюстрация на рис. 1 [3], [5] отображает схему деформации поля ФВ, обеспечивающего за счет градиента сил возникновение направленного траста.

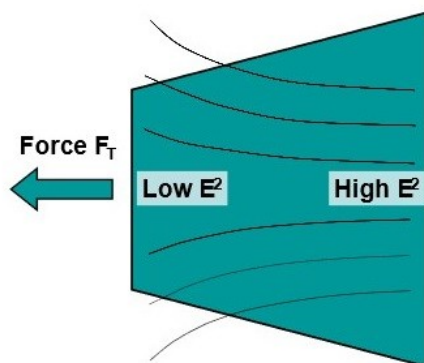


Рисунок 1 - Градиент плотности поля E^2 в конусном резонаторе, приводящий к возникновению траста F_T
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.1>

Установка КД на ТС позволит изъять трансмиссию из конструкции ТС, поскольку траст способен непосредственно двигать экипаж. Совокупность колес экипажа теряет функцию движителя, они остаются опорными. Вывешенный над опорной поверхностью (ОП) траст меняет схему сил и моментов, используемую для автомобиля. Точки возникновения сил тяги в пятнах контакта ведущих колес традиционных автомобилей переносятся в точки приложения вектора тяги КД к корпусу ТС. КД, по сути, становится и движителем [3], [15]. Наземное ТС с КД названо автором квантомобилем [13].

При возможности переводить вектор траста в наклонное положение можно за счет вертикальной составляющей этого вектора осуществлять прижим экипажа к ОП, либо его вывешивание. Это также видоизменит схему сил и моментов традиционных наземных ТС [15].

Разница в величинах вертикальных нагрузок на опорные колеса экипажа, с точки зрения сохранения продольной устойчивости, для автомобиля в большинстве случаев имеет второстепенное значение – поскольку при движении автомобиля названные нагрузки отражаются встречными реакциями твердой ОП, что обеспечивает продольную устойчивость. В случае квантомобиля, однако, во-первых, из-за отсутствия ограничений по сцеплению колес с ОП возможна реализация тяговой силы, превосходящей допустимую для автомобиля. Во-вторых, траст, вывешенный над ОП, формирует составляющую опрокидывающего момента, отсутствующую в автомобильном варианте кинематической схемы. В-третьих, в отсутствие твердой опоры вывешенный (даже частично) квантомобиль получит склонность к вращательному движению в плоскости тангажа [16].

Вывешивание (лифт) может привести к реализации режимов летательного аппарата. Реализация прижимающей силы (антилифт) при движении ТС в воде может позволить даже реализацию режима подводной лодки. Это привело к идее всесредного мультимодального квантомобиля (ВМК) [15]. Скоростные характеристики режимов ВМК в различных средах будут отличаться – и проблемным станет выбор конфигураций кузовов: универсальных, либо изменяемых, либо в комбинации. Находясь в русле концепции ВМК, ограничимся, однако, наземным ТС и влиянием аэродинамики на устойчивость его продольного движения по ОП – как базовой среды его функционирования и базирования.

В формирование суммарного опрокидывающего момента (питч-момента) вносят вклад три группы сил: сопротивления качению колес, силы инерции и силы аэродинамического воздействия [17], [18], [19]. Сосредоточим внимание на последнем аспекте. В целом же гипотезой представляемого исследования можно считать утверждение: Уровень и характер питч-момента квантомобиля отличается от такового для автомобиля, может быть значительным и требует его оперативной нейтрализации (минимизации).

Методы и принципы исследования

2.1 Цель и задачи исследования

Обобщая изложенное, целью исследования поставили моделирование и оценку продольной устойчивости квантомобиля на базе материалов аэродинамических испытаний автомобиля-аналога.

Устранение трансмиссии, перенос движительных функций с опорных колес на КД, появление возможности осуществлять лифт и антилифт наземного ТС – всё это, в отсутствие теоретических основ движения квантомобиля и эмпирических данных, вызывает необходимость использовать подход с опорой на программное имитационное моделирование (ПИМ).

Задачами по достижению цели являются:

- 1) формирование математической модели (ММ) продольного движения квантомобиля (МПДК) под поставленную цель;
- 2) построение Simulink-модели функционирования наземного ТС с охватом имитации стендовых аэродинамических испытаний и дорожного движения, с отработкой интерфейса взаимодействия с моделью и вывода данных;
- 3) на базе Simulink-модели проведение ПИМ, покрывающего некоторое множество вариантов испытаний наземного ТС – с целью формирования методики привлечения существующих материалов испытаний автомобилей-аналогов для прогнозирования устойчивости квантомобилей;
- 4) обсуждение и обобщение результатов расчетов с получением оценок продольной устойчивости квантомобиля;
- 5) формирование рекомендаций и выводов.

2.2 Вектор траста и особенности его использования в МПДК

В рамках продольного движения экипажа в плоскости развёртывания угла тангажа β вектор траста F_T раскладывается на две ортогональные компоненты F_{Tx} и F_{Tz} [15]:

$$F_T = F_{Tx} + F_{Tz} \quad (1)$$

Угол наклона вектора F_T

$$\beta = \arctg(F_{Tz}/F_{Tx}) \quad (2)$$

При этом угловой диапазон обметания вектора траста составляет в общем случае от 0° до 360° (квадранты I и IV – тяга вперед, квадранты II и III – тяга назад, при этом квадранты I и II – лифт, квадранты III и IV – антилифт). Ограничимся приземным (без отлета) движением квантомобиля ($0 \leq F_{Tz} \leq G_q$, где G_q – вес экипажа) по горизонтальной ОП. Также, приняв вертикальные перемещения ТС при наземном движении несущественными (в сравнении с его горизонтальными перемещениями), освободимся от учета динамики вертикальных перемещений ТС.

2.3 Силовой баланс квантомобиля

В качестве основы модели движения экипажа по горизонтальной ОП выбран следующий вариант уравнения силового баланса квантомобиля [15]:

$$F_{Tx} = F_r + F_{wx} + F_a = G'_q f_{k0} \left(1 + f_{kv} V_q^2\right) + c_d \left(\frac{\rho_w}{2}\right) S_{front} V_q^2 + \frac{G_q}{g} a \cdot (1 + \delta_{wh}) \quad (3)$$

где F_{Tx} – продольная сила тяги КД (траст), Н;

F_r – сила сопротивления качению опорных колес, Н;

F_{wx} – сила сопротивления воздуха продольному движению (drag), Н;

F_a – сила инерции, противодействующая ускорению экипажа, Н;

G'_q – сила давления экипажа на ОП с учетом лифта/антилифта, Н;

f_{k0} – коэффициент сопротивления качению колес при нулевой скорости;

f_{kv} – скоростной коэффициент сопротивления качению колес, c^2/m^2 ;

V_q – текущая скорость продольного движения экипажа, м/с;

c_d – коэффициент аэродинамического сопротивления, безразмерный;

ρ_w – плотность воздуха, $H \times c^2/m^4$;

S_{front} – лобовая площадь экипажа, m^2 ;

G_q – исходный вес (сила тяжести) экипажа, Н;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

a – продольное ускорение экипажа, м/с²;

δ_{wh} – коэффициент инерции вращения опорных колес экипажа.

Детализируем величину G'_q , а именно:

$$G'_q = G_q - F_{Tz} - F_{wz} \quad (4)$$

где F_{wz} – аэродинамическая подъемная сила, Н. Для квантомобиля приведенная масса $m' = G_q(1+\delta_{wh})/g$ учитывает только вращение опорных колес, поскольку вращающиеся детали силового привода отсутствуют.

Отметим, что $F_r = F_{r0} + F_{rv}$, где $F_{r0} = f_{r0} \cdot G'_q$, а $F_{rv} = f_{rv} \cdot V_q^2 \cdot G'_q$.

Также отметим, что при представлении выражений программного алгоритма (представляемого на Simulink-схемах) используется нотация Simulink (прямая латиница, без индексов), например:

$$F_{tx} = F_r + F_{wx} + F_a. \quad (5)$$

График прикладываемых к экипажу сил отображен на рис. 2. Обозначены: V_q – скорость движения экипажа; V_∞ – скорость невозмущенного воздушного потока относительно экипажа [17], [18], [19], [20]; C_g – центр тяжести (ЦТ) экипажа; G_q – сила тяжести экипажа; F_a – приведенная сила инерции экипажа; C_{FT} – точка приложения траста КД к

корпусу экипажа; F_T , F_{Tx} и F_{Tz} – сила тяги КД (траст) и ее покомпонентные компоненты; C_w – центр давления (ЦД) аэродинамических сил [17], [18], [19]; F_w , F_{wx} и F_{wz} – сила воздействия воздуха и/или ее покомпонентные компоненты; F_{f1} и F_{f2} – силы сопротивления качению передних и задних колес, соответственно; T_{f1} и T_{f2} – моменты сопротивления качению колес; $h_{F_{wx}}$, $h_{F_{Tx}}$, h_g – расстояния векторов соответствующих сил F_{wx} , F_{Tx} , F_a от ОП; $l_{F_{wz}}$, $l_{F_{Tz}}$ – расстояния векторов соответствующих сил F_{wz} , F_{Tz} до вертикали от оси задних колес; l_0 – расстояние вектора силы F_{wz} до вертикали центра колесной базы; L_{wb} , L_1 и L_2 – расстояния базовое и от осей колес до проекции ЦТ на ОП; A и B – центральные точки пятен контакта колес с ОП; R_{z1} и R_{z2} – нормальные реакции ОП.

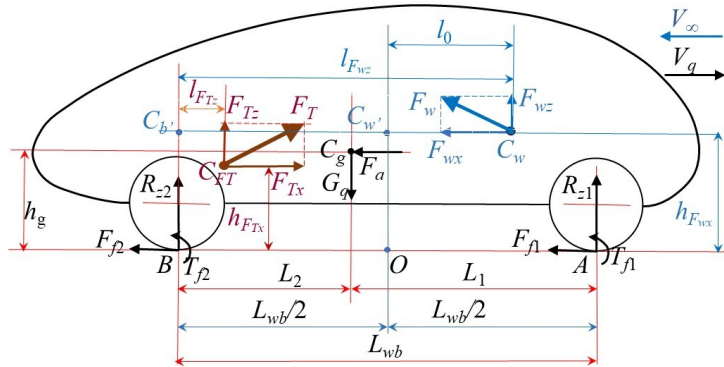


Рисунок 2 - Схема сил, действующих на квантомобиль
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.2>

2.4 Баланс моментов сил, действующих на квантомобиль

Формирование опрокидывающих моментов квантомобиля разберем с помощью рис. 2. Из характерных точек, используемых обычно при анализе баланса моментов – ЦТ (C_g) или точки контакта колес с ОП (A либо B) – выбираем точку контакта с ОП задних колес [16], [18], [19] (в сравнении с ЦТ она обладает преимуществом – постоянством расположения). В точке B размещаем начало связанной системы координат (ССК): ось x по направлению к передку экипажа, ось z вверх; положительные питч-моменты – здесь против часовой стрелки.

Сумма моментов относительно точки B [16]:

$$\Sigma M_B = R_{z1} \cdot L_{wb} - G_q \cdot L_2 + (T_{f1} + T_{f2}) + F_{wx} \cdot h_{F_{wx}} + F_{wz} \cdot l_{F_{wx}} + F_a \cdot h_g - F_{Tx} \cdot h_{F_{Tx}} + F_{Tz} \cdot l_{F_{Tz}} = 0 \quad (6)$$

Учтем, что

$$T_{f1} + T_{f2} = fR_{z1}r_\partial + fR_{z2}r_\partial = (R_{z1} + R_{z2})fr_\partial = (G_q - F_{Tz} - F_{wz}) \cdot fr_\partial = F_r \cdot r_\partial, \quad (7)$$

где r_∂ – динамический радиус колеса.

Коэффициент сопротивления качению $f = f_{k0} \left(1 + f_{kv} V_q^2 \right)$.

Реактивный момент, возникающий в движении от действия нормальной реакции ОП на колеса передней оси (относительно точки B)

$$R_{z1} \cdot L_{wb} = G_q \cdot L_2 + F_{Tx} \cdot h_{F_{Tx}} - F_{Tz} \cdot l_{F_{Tz}} - F_r \cdot r_\partial - F_{wx} \cdot h_{F_{wx}} - F_{wz} \cdot l_{F_{wz}} - F_a \cdot h_g \quad (8)$$

не является искомым питч-моментом, поскольку опрокидывающее воздействие производит момент $M_{\Sigma pm} = L_{wb} \cdot (R_{z1} - R_{z2})/2$. И требуемый (requested) стабилизирующий момент (ТСМ) тогда равен $M_{z1req} = -M_{\Sigma pm}$.

Для оценки значимости аэродинамического момента $M_{Fw} = M_{F_{wx}} + M_{F_{wz}}$ относительно ТСМ M_{z1req} ввели коэффициент

$$K_{M_{Fw}, M_{z1req}} = M_{Fw} / M_{z1req}. \quad (9)$$

2.5 Адаптация МПДК к форме представления результатов испытаний автомобилей

Необходимым явился учет в МПДК формы представления результатов аэродинамических испытаний автомобилей, отобранной ниже.

Фронтальное сопротивление (драг) представляется выражением [17], [18], [19]

$$F_D = F_{wx} = c_d \cdot (\rho_w/2) S_{front} V_q^2 = c_d \cdot Q \quad (10)$$

где Q – скоростной динамический напор;

воздействие силы лифта на экипаж [17], [18], [19]:

$$F_L = F_{wz} = c_l \cdot (\rho_w/2) S_{front} V_q^2 = c_l \cdot Q; \quad (11)$$

аэро-питч-момент [17], [18], [19]:

$$M_{pm} = c_m \cdot (\rho_w/2) S_{front} V_q^2 \cdot L_{wb} = c_m \cdot Q \cdot L_{wb}, \quad (12)$$

где c_d , c_l и c_m – коэффициенты драга, лифта и аэро-питч-момента, получаемые по результатам испытаний объектов в аэродинамической трубе (в данном исследовании считаем их постоянными во всем диапазоне скоростей).

Замысел состоял в том, чтобы в МПДК использовать данные по этим коэффициентам, зафиксированные для автомобилей в стендовых условиях.

На высоте $h_{F_{wx}}$ (см. рис. 2) существует ЦД C_w сил F_{wz} и F_{wx} – на расстоянии $l_{F_{wz}}$ от вертикальной плоскости задней оси и расстоянии l_O от вертикальной плоскости центра колесной базы.

По теореме Пуансо можно перенести силу F_{wz} в точку C_w' на вертикальной плоскости центра колесной базы (это будет сила $F_l = F_{wz}$), с возникающим при переносе моментом сил M_{Fl} .

Выявим связь координаты ЦД по горизонтали с результатами испытаний модели ТС в аэродинамической трубе следующим образом. Убедимся в возможности разложения на две составляющие коэффициента $c_m = c_{md} + c_{ml}$:

$$M_{pm} = c_m Q L_{wb} = (c_{md} + c_{ml}) Q L_{wb} = c_{md} Q L_{wb} + c_{ml} Q L_{wb} = M_{Fd} + M_{Fl},$$

где M_{Fd} – момент драга F_d относительно ОП, M_{Fl} – момент смещения силы лифта F_l с появлением плеча l_O .

Теперь можем записать: $M_{Fl} = c_{ml} (\rho_w/2) S_{front} V_q^2 \cdot L_{wb} = F_{wz} \cdot l_O = c_l \cdot (\rho_w/2) S_{front} V_q^2 \cdot l_O$.

Отсюда получим:

$$l_O = L_{wb} \cdot c_{ml} / c_l. \quad (13)$$

Далее, перемещение тем же способом силы F_{wz} из точки C_w' в точку C_b' добавит момент $M_{w'b'} = F_{wz} \cdot L_{wb} / 2 = c_l \cdot (\rho_w/2) S_{front} V_q^2 \cdot L_{wb} / 2$, приводя к сумме:

$$\Sigma M = M_{Fl} + M_{w'b'} = (\rho_w/2) S_{front} V_q^2 (c_{ml} \cdot L_{wb} + c_l \cdot L_{wb} / 2) = F_{wz} \cdot l_{F_{wz}} = c_l \cdot (\rho_w/2) S_{front} V_q^2 \cdot l_{F_{wz}}$$

После сокращения получаем $(c_{ml} \cdot L_{wb} + c_l \cdot L_{wb} / 2) = c_l \cdot l_{F_{wz}}$.

Откуда горизонтальная координата ЦД в ССК:

$$l_{F_{wz}} = L_{wb} (c_{ml} / c_l + 1/2). \quad (14)$$

Рассмотренные на базе теоремы Пуансо особенности горизонтального смещения силы лифта F_l (F_{wz}) верны и для других вертикальных сил схемы рис. 2: G_q и F_{Tz} . И поскольку аэро-питч-момент в стендовых условиях определяется с опорой на колесную базу L_{wb} с центром в точке O , то и моменты других вертикальных сил должны рассчитываться с плечами относительно точки O , а именно, $M_{GqStat} = G_q \cdot (L_{wb} / 2 - L_2)$ и $M_{FTz} = F_{Tz} \cdot (L_{FTz} - L_{wb} / 2)$. Этим из общего баланса моментов сил (6) вычленяется совокупность воздействий, образующих только опрокидывающий момент $M_{\Sigma pm}$.

2.6 Влияние высоты действия траста КД на питч-момент

В практике испытаний моделей автомобилей в аэродинамической трубе опорные элементы модели крепят к опорному столу [17], [18], [19], [20]. Схема баланса сил изображена на рис. 3а. Места крепления соответствуют точкам приложения тяговых сил R_{xw1} и R_{xw2} в пятнах контакта колес с ОП в условиях дорожного движения. Для квантомобиля, однако, траст F_{Tx} вывешен над ОП на высоте h_{FTx} (см. рис. 3б) – что требует воплощения некоего вычислительного перехода. Рассмотрим это с помощью рис. 3.

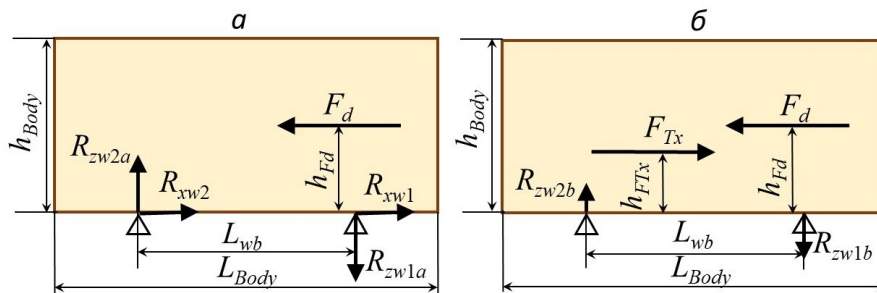


Рисунок 3 - Схемы баланса сил, действующих на тело:

а) – закрепленное в аэродинамической трубе к ОП стола; б) – с имитацией траста F_{Tx} , действующего над ОП

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.3>

Оценим соотношение сил и моментов на рис. 3а. с подключением коэффициентов c_d и c_m . В отсутствие лифта имеем: $M_{Fd} = c_d \cdot Q \cdot h_{Fd}$ и $M_{pm} = c_m \cdot Q \cdot L_{wb}$. Используя равенство этих моментов, получим:

$c_m / c_d = h_{Fd} / L_{wb} = R_{zw1a} / F_d$. Отсюда можно определить высоту ЦД для модели произвольного масштаба (при посткритических числах Re [21], [22]):

$$h_{Fd} = (c_m / c_d) \cdot L_{wb} \quad (15)$$

Для перехода ко второй ситуации (по рис. 3б) необходим учет изменения питч-момента из-за вывешивания силы F_{Tx} над ОП на высоту h_{FTx} . Тогда результирующий аэро-питч-момент:

$$M_{Fd.Tx} = F_d \cdot (h_{Fd} - h_{FTx}). \quad (16)$$

2.7 Simulink-модель приземного движения квантомобиля (МПДК)

Рассмотренный аналитический материал привлечен для формирования имитационной системы МПДК, две подсистемы которой – *Vehicle Dynamics* (рис. 4) и *NormReactions* (рис. 5) – усовершенствованы (относительно [23]) и используются для проведения представляемого исследования.

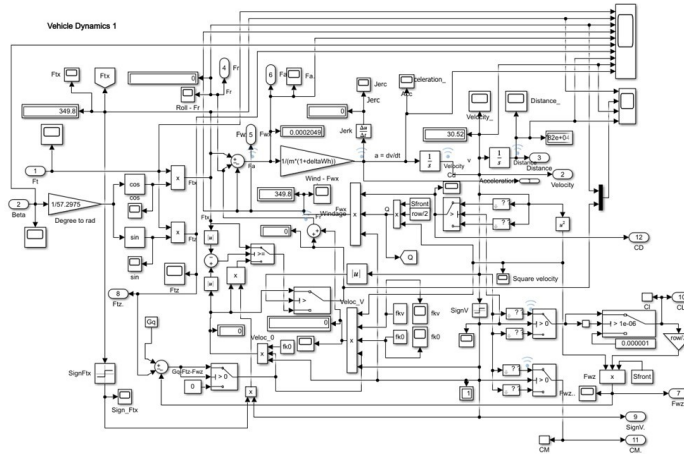


Рисунок 4 - Подсистема *Vehicle Dynamics* расчета показателей движения
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.4>

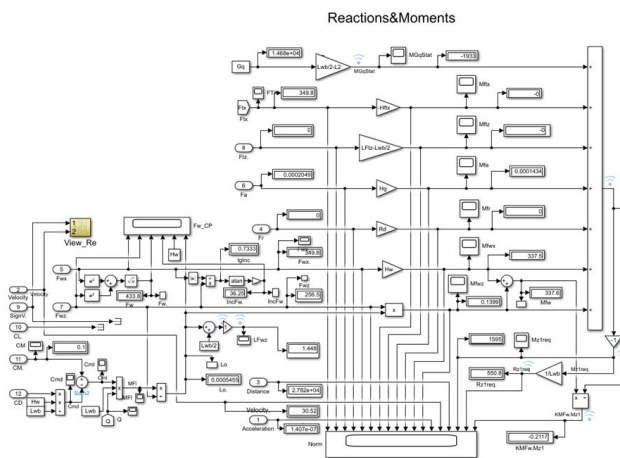


Рисунок 5 - Подсистема *NormReactions* расчета силовых моментов
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.5>

Примечание: зафиксировано состояние при моделировании обдува на стенде ТС Баруха: $V_{\infty} = 30,5 \text{ м/с}$; $F_{Tx} = 349,8 \text{ Н}$; $H_{FTx} = 0 \text{ м}$

2.8 Верификация использования результатов аэродинамических испытаний автомобиля при настройке МПДК

Верификация программы МПДК под вариант моделирования стендовых испытаний состояла в реинжиниринге в среде ПИМ состояния автомобиля, закрепленного на столе стенда (с отключенным блоком качения колес: $f_{k0}=0$, $f_{kv}=0$). При этом задавали высоту траста КД $h_{FTx} = 0$ (нереальная высота для КД квантомобиля, но вариант представления тяговой силы, реализуемой ведущими колесами автомобиля в точках контакта с ОП). Задавали зафиксированные в натурном эксперименте значения коэффициентов c_d , c_l , c_m . Далее, подобрав соответствующую силу тяги F_{Tx} , выполняли разгон виртуальной модели, заканчивающийся установившимся движением на скорости V_{∞} обдува натурной модели в трубе. Оценивали сходимость и невязки натурных и виртуальных экспериментов.

В качестве иллюстрации методики приведем действия на базе примера из классической работы Баруха [19, С. 705-707] – см. рис. 6.

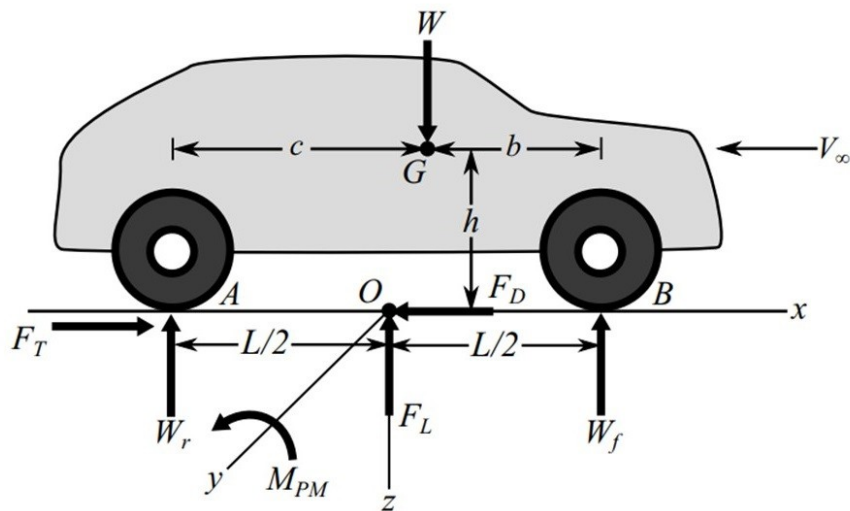


Рисунок 6 - Схема сил и моментов, действующих на автомобиль, закрепленный к столу аэродинамической трубы
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.6>

Исходные данные автомобиля (с переводом данных Баруха в систему SI): Вес автомобиля в статике $W = 3300 \text{ lb}$ (14678 Н); вес по осям: $W_f = 1800 \text{ lb}$ (6672 Н), $W_r = 1500 \text{ lb}$ (8006 Н); $L_{wb} = 9,5 \text{ ft}$ (2,8956 м); $S_{front} = 22 \text{ ft}^2$ (2,044 м²). Величины, измеренные Барухом на стенде, приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты измерений Баруха на аэродинамическом стенде

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.7>

Скорость потока V_∞		W_f		W_r		F_T	
ft/s	м/с	lb	Н	lb	Н	lb	Н
0	0	1800	8006	1500	6672	0	0
100	30,48	1745	7761	1498	6661	78,65	349,8
Разность показателей		-	-245	-	-11	-	349,8

Скоростной напор для скорости $V = 30,48 \text{ м/с}$; $Q = (\rho/2)S_{front}V^2 = 0,6125 \cdot 2,044 \cdot 30,48^2 = 1163 \text{ Н}$. Оценка $c_d = F_T/Q = 349,8/1163 = 0,3$. Оценка $c_l = F_l/Q = (245+11)/1163 = 0,22$. Оценка питч-момента для скорости $V = 30,48 \text{ м/с}$ по формуле Баруха [19] $M_{pm} = (W_r - W_f) L_{wb}/2 + W (c - L_{wb}/2) = 339 \text{ Нм}$. Тогда $c_m = M_{pm}/(Q \cdot L_{wb}) = 339/(1163 \cdot 2,8956) = 0,1$.

Далее, в МПДК ввели в исходных данных $c_d = 0,3$, $c_l = 0,22$, $c_m = 0,1$. Вычислили $h_{Fd} = c_m \cdot L_{wb} / c_d = 0,1 \cdot 2,8956 / 0,3 = 0,9652 \text{ м}$. Реализовали имитацию разгона модели ТС (иначе – воздушного потока) с трасом $F_{Tx} = 349,8 \text{ Н}$ (иначе – драга F_D) до установившегося движения (соблюдая условие: $f_{k0} = 0$, $f_{kv} = 0$).

Результаты имитации можно видеть на распечатке конечного состояния подсистемы *Reactions&Moments* в режиме виртуального установившегося движения ТС Баруха (точнее, потока воздуха относительно закрепленного экипажа) – рис. 5. На рис. 7 представлены графики виртуального разгона (точнее – потока воздуха) ТС Баруха и квантомобиля.

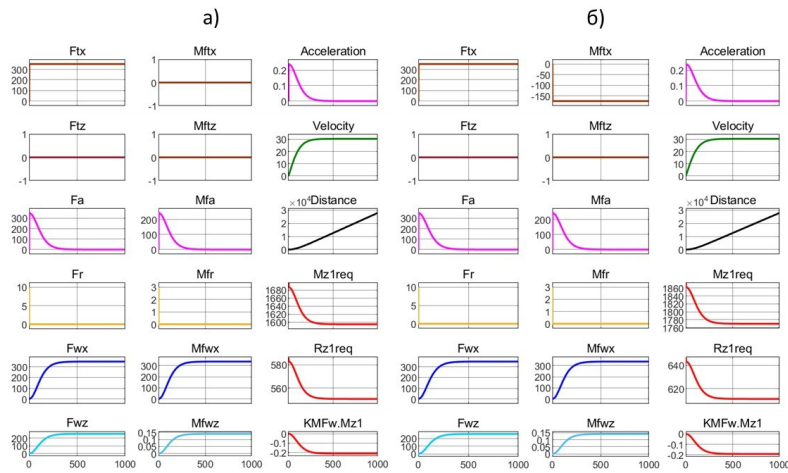


Рисунок 7 - Графики виртуального разгона ТС под условия стенда с конечной установившейся скоростью обдува $V_{\infty} = 30,5 \text{ м/с}$ ($c_d = 0,3; c_l = 0,22; c_m = 0,1; f_{k0} = 0, f_{kv} = 0$):
 а) автомобиль – $H_{F_{tx}} = 0 \text{ м}$; б) квантомобиль – $H_{F_{tx}} = 0,5 \text{ м}$
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.8>

Основные результаты ПИМ, совместно с результатами расчета показателей по данным Баруха, помещены в сравнительную таблицу 2. Отмечена высокая сходимость показателей, что явилось основанием расширения полигона ПИМ по исследованию аэродинамических показателей – возможность выхода за пределы рамочного (стендового) режима.

Таблица 2 - Сравнение результатов стендовых испытаний Баруха и реинжиниринга посредством МПДК
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.9>

Вариант исследования	Показатели								
	Скорость $V, \text{ м/с}$	$L_{FIO} (l_0), \text{ м}$	$L_{Fwz}, \text{ м}$	$F_{wx}, \text{ Н}$	$M_{Fwx}, \text{ Нм}$	$F_{wz}, \text{ Н}$	$M_{Fwz}, \text{ Нм}$	$R_{z1req}, \text{ Н}$	$M_{z1req}, \text{ Нм}$
Стенд	30,48	0	1,4478	349,8	336,9	256	370,6	-244,2	-707,4
МПДК	30,52	0	1,448	349,8	337,5	256,5	371,5	-244,5	-709

Результаты программного имитационного моделирования

С целью количественной оценки динамики и продольной устойчивости квантомобиля посредством МПДК провели расчеты разгонов с выходом на установившийся режим. Опорными выбрали значения траста: для рамочного исследования аэродинамики (имитации условий стенда с отсутствием качения колес) – $F_T = 349,8 \text{ Н}$; для исследования динамики и устойчивости движения в дорожных условиях – $F_T = 1500 \text{ Н}$. Базовые данные автомобиля-прототипа и среды: $G_q = 14680 \text{ Н}$; $L_{wb} = 2,8956 \text{ м}$; $S_{front} = 2,044 \text{ м}^2$; $\delta_{wh} = 0,04$; $f_{k0} = 0,02$; $f_{kv} = 0,00037 \text{ с}^2/\text{м}^2$; $\rho_w = 1,225 \text{ Н} \times \text{с}^2/\text{м}^4$. Базовыми значениями параметров квантомобиля (однако варьируемых попеременно в той или иной серии расчетов), явились следующие: $H_{f_{tx}} = 0,5 \text{ м}$; $L_{f_{tz}} = 0,05 \text{ м}$; $\beta = 0^\circ$; $f_{k0} = 0,02$; $f_{kv} = 0,00037 \text{ с}^2/\text{м}^2$; $c_d = 0,3$; $c_l = 0,22$; $c_m = 0,1$.

3.1 ПИМ в рамочном режиме (с трастом $F_T = 349,8 \text{ Н}$)

Для оценки влияния аэро-питч-момента на устойчивость автомобиля ($H_{f_{tx}} = 0$) и квантомобиля ($H_{f_{tx}} = 0,5$) выполнили ряд имитаций МПДК в рамочном режиме с перебором значений c_m в диапазоне $-0,1 \div 0,15$. Результаты см. рис. 8.

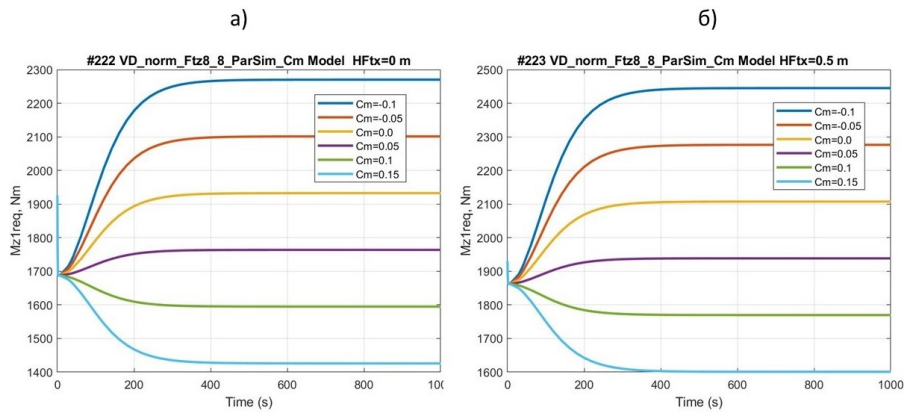


Рисунок 8 - Графики зависимости ТСМ M_{z1req} от значений коэффициента c_m : а) для автомобиля; б) для квантомобиля – при различных c_m ($f_{k0} = 0$, $f_{kv} = 0$)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.10>

Для оценки влияния высоты действия траста на устойчивость квантомобиля провели серию имитаций с варьированием величины h_{FTx} : от 0 м («автомобильный» вариант) до 0,8 м. Результаты зафиксированы на рис. 9.

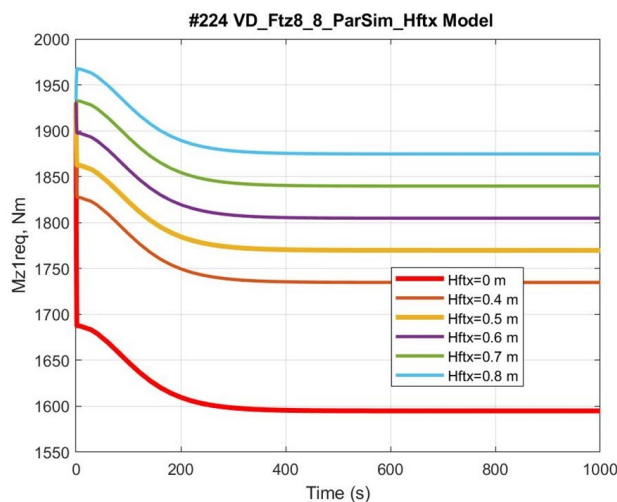


Рисунок 9 - Графики зависимости ТСМ M_{z1req} от высоты приложения тяговой силы: для автомобиля ($H_{ftx} = 0$ м) и квантомобиля ($H_{ftx} = 0,4 \div 0,8$ м)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.11>

Значение траста $F_{tx} = 349,8$ Н, обеспечивающее баланс сил при обдуве ТС Баруха на стенде со скоростью $V_{\infty} = 30,5$ м/с, имеет недостаточную тягу для обеспечения баланса сил при подключении сопротивления качению колес. Уже при $f_{k0} = 0,03$ (применительно к дорожным условиям) экипаж не сможет преодолеть силу трения покоя колес и тронуться с места. Проведя серию расчетов по рамочному исследованию аэродинамических сил и коэффициентов для подключения факторов движения в дорожных условиях, перешли к уровню силы тяги, близкому к максимальному для ТС класса автомобиля Баруха – 1500 Н. При этом для квантомобиля, в отсутствие трансмиссии, производим моделирование всего разгона экипажа с этой тягой (обоснование см. в [15]).

3.2 ПИМ движения в дорожных условиях (с трастом $F_{Tx} = 1500$ Н)

При моделировании движения экипажа в дорожных условиях, естественно, задается уровень сопротивления качению колес.

На рис. 10 представлена обобщенная картина зависимости ТСМ M_{z1req} в процессе разгона ТС (автомобиля-аналога (а) и квантомобиля (б)) от значений коэффициента f_{k0} . Используются аэродинамические коэффициенты, характеризующие экипаж без специальных аэродинамических средств (САС): $c_d = 0,3$; $c_l = 0,22$; $c_m = 0,1$.

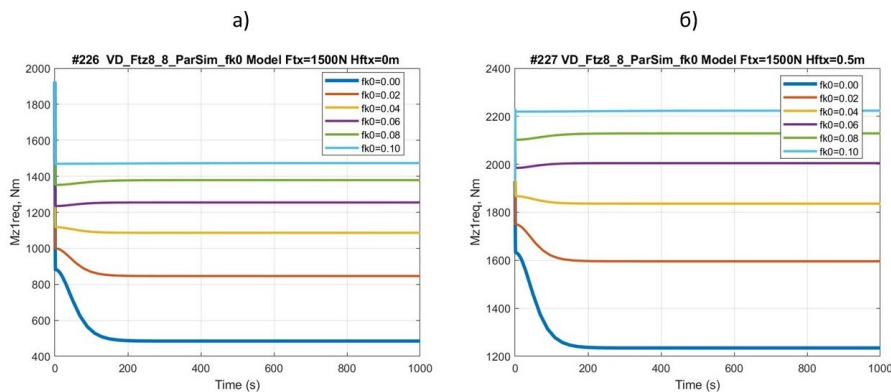


Рисунок 10 - Сравнительная картина зависимости ТСА M_{z1req} в процессе разгона ТС (автомобиля-аналога (а) и квантомобиля (б)) – от коэффициента f_{k0} ; аэродинамические коэффициенты: $c_d = 0,3$; $c_l = 0,22$; $c_m = 0,1$
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.12>

Для оценки влияния на устойчивость экипажа САС (особая форма кузова и его посадка, делители потока, боковые щитки, диффузоры, крылья и спойлеры, переднее оперение [24], [25], [26], [27]) реализован расчет необходимых стабилизирующих моментов для ТС с базовыми параметрами автомобиля Баруха, но с совокупным виртуальным привнесением в его конструкцию всех перечисленных САС. Для этого использованы результаты работы Gallego [21], в которой финальный радикальный вариант с совокупностью названных привнесенных свойств имел значения коэффициентов: $c_d = 0,574$, $c_l = -0,957$, $c_m = 0,697$. Отличие формы Тела Ахмеда [28], использованного Gallego в качестве базовой модели, от формы автомобиля Баруха считаем малозначимым фактором, поскольку во множестве вариантов трансформации Тела Ахмеда [22], [29], [30], [31] всегда можно получить форму с аэродинамическими коэффициентами автомобиля Баруха.

На рис. 11 представлена картина зависимости ТСМ M_{z1req} в процессе разгона ТС ((а) автомобиля-аналога с привнесенными свойствами и (б) квантомобиля с этими же свойствами) от значений коэффициента f_{k0} .

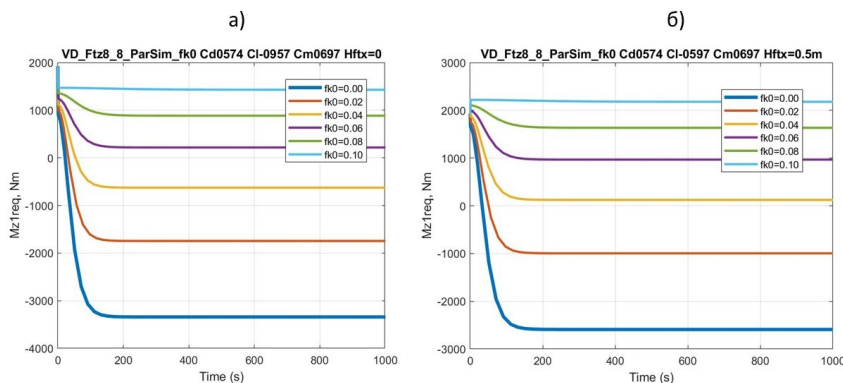


Рисунок 11 - Сравнительная картина зависимости ТСМ M_{z1req} в процессе разгона ТС с САС ((а) автомобиля-аналога и (б) квантомобиля) – от коэффициента f_{k0} ; аэродинамические коэффициенты: $c_d = 0,574$; $c_l = -0,957$; $c_m = 0,697$
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.13>

На рис. 12 представлена картина зависимости ТСМ M_{z1req} от угла наклона вектора траста β , в процессе разгона квантомобиля с выходом на установившуюся скорость 50,5 м/с при $f_{k0} = 0,02$. Этой скорости экипаж достигает при горизонтальном трасте ($\beta = 0^\circ$) $F_{tx} = 1500$ Н. При $\beta > 0^\circ$ появляющаяся сила $F_{tz} > 0$ уменьшает величину G'_q , определяющую сопротивление качению колес (см. (4)). В этом случае для достижения названной скорости достаточный уровень $F_{tx} < 1500$ Н. Использовали способность МПДК рассчитывать необходимый уровень F_{tx} в этой ситуации. Для вычисления соответствующего значения F_{tz} привлекали обращение зависимости (2).

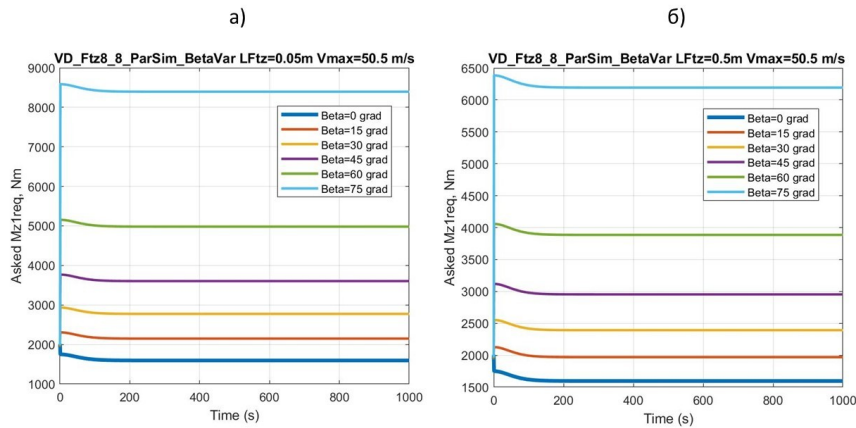


Рисунок 12 - Графики зависимости ТСМ M_{z1req} от угла наклона вектора траста β , в процессе разгона квантомобиля с выходом на крейсерскую скорость 50,5 м/с при $f_{k0} = 0,02$:

а) горизонтальная координата точки приложения траста $L_{Ftz} = 0,05$ м; б) точки приложения $L_{Ftz} = 0,5$ м

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.14>

Обсуждение результатов ПИМ

Представленные результаты являются отражением действий автора по развитию концепции квантомобиля. Эта концепция возникла в трудах Леонова В.С. [3], [7], [10] и, насколько известно, других вариантов развития концепции, кроме рассматриваемого здесь, пока нет. Поэтому уместно оценить достижения статьи с подключением идей предыдущих работ автора [14], [15], [16], [23].

В этих работах закладывались основы Simulink-моделирования движения квантомобиля, настраивались объекты-прототипы из числа существующих наземных ТС, главным образом модели КамАЗ-4326 [15]. Это позволило развить S-модель до уровня, зафиксированного на рис. 4-5, и провести с её помощью расчетное исследование продольной устойчивости квантомобиля на представленном уровне.

Влияние коэффициента c_m (см. рис. 8) на устойчивость – существенно. В диапазоне его варьирования от $-0,1$ до $+0,15$ размах изменений аэро-питч-момента у автомобиля составляет 850 Нм. Такой же размах будет и у квантомобиля, что для него более ущербно. Вполне понятно, что рост величины ТСМ M_{z1req} (в положительном направлении) связан с изменением аэро-питч-момента (и величины c_m) в отрицательную сторону.

Значимость высоты действия траста (см. рис. 3) на устойчивость квантомобиля (см. рис. 9) оценим посредством количественного рассмотрения расчетного баланса моментов. Для автомобиля на стенде ($H_{fix} = 0$ м) ТСМ $M_{z1req} = -(M_{GqStat} + M_{Fw} + M_{EtX} + M_{EtZ}) = -(-1933 + 338 + 0 + 0)$ Нм = 1595 Нм. Для квантомобиля ($H_{fix} = 0,5$ м) ТСМ $M_{z1req} = -(-1933 + 338 - 175 + 0)$ Нм = 1770 Нм. В данном случае величина «ключающего» момента $M_{Fw} = 175$ Нм по модулю составила примерно половину момента сил сопротивления воздуха M_{Fw} и десятую часть статического момента смещения центра тяжести экипажа относительно середины колесной базы M_{GqStat} .

Заслуживает внимания сравнительная картина зависимости ТСМ M_{z1req} (автомобиля-аналога и квантомобиля) от значений коэффициента дорожного сопротивления качению колес f_{k0} (см. рис. 10). По сути, семейство кривых, характеризующих квантомобиль (рис. 10б), эквидистантно семейству кривых для автомобиля-аналога (рис. 10а). Оно всё смещено на величину $\Delta M_{z1req} = F_{Tx} \cdot H_{FTx} = 1500 \text{ Н} \cdot 0,5 \text{ м} = 750$ Нм. Объяснимо всё тем же «ключающим» моментом, создаваемым трастом КД. Размах значений ТСМ M_{z1req} в диапазоне значений f_{k0} $0,0 \div 0,1$ для обоих сравниваемых вариантов составляет ≈ 1000 Нм. Следует отметить, что зафиксированные на рис. 10 кривые разгона экипажей из-за различия значений f_{k0} при $F_{Tx} = \text{const}$ заканчиваются разной конечной скоростью установившегося движения – более детализированный анализ топологии данных семейств отнесен автором на будущее.

Похожей оказалась и сравнительная картина зависимости ТСМ M_{z1req} в процессе разгона ТС с САС (автомобиля-аналога и квантомобиля) от значений коэффициента дорожного сопротивления f_{k0} (см. рис. 11). Семейство кривых, характеризующих квантомобиль (рис. 11б), топологически подобно семейству кривых для автомобиля-аналога (рис. 11а). Оно также всё смещено на свою величину ΔM_{z1req} . Однако размах значений ТСМ M_{z1req} в диапазоне значений f_{k0} $0,0 \div 0,1$ для этих сравниваемых вариантов составляет ≈ 4800 Нм.

Таким образом, привнесение САС в конструкцию квантомобиля (нацеленное специально на создание максимально возможного прижатия экипажа к ОП [21] за счет радикализации коэффициентов c_d , c_l , c_m) привело к существенному изменению размаха возможных значений ТСМ M_{z1req} , что для устойчивости экипажа на разнообразии дорожных условий будет ущербным.

Зависимость ТСМ M_{z1req} от угла наклона вектора траста β (см. рис. 12) оказалась значимой. Анализ перемещения точки приложения траста вперед, к центру колесной базы (в примере с $L_{Ftz} = 0,05$ м до $L_{Ftz} = 0,5$ м) – позволил отметить, по крайней мере, два момента. Во-первых, это приводит к снижению ТСМ для всех углов $\beta > 0^\circ$ (особенно при больших углах – сравните 6200 Нм и 8300 Нм для $\beta = 75^\circ$). Во-вторых, сужает размах значений ТСМ – сравните размах 6800 Нм для $L_{Ftz} = 0,05$ м и размах 4600 Нм для $L_{Ftz} = 0,5$ м.

Естественно, значения M_{Fiz} (а следовательно, и ТСМ при прочих равных параметрах) будут наименьшими при нахождении точки приложения траста в области центра колесной базы, но, при наличии противоречий компоновочного характера использование зависимостей типа представленных может явиться элементом соответствующих оптимизационных методик.

Заключение

Simulink-модель приземного движения квантомобиля (МПДК), созданная на базе рассмотрения схемы сил и моментов, действующих на квантомобиль, позволяет осуществлять проведение расчетных исследований как динамики продольного движения экипажа в дорожных условиях, так и имитации нагрузок в условиях аэродинамического стенда.

В целом, подтвердилась гипотеза: уровень и характер питч-момента квантомобиля отличается от такового для автомобиля. Он может быть значительным, иногда меняя направленность (относительно автомобильного варианта ТС) и требует его оперативной нейтрализации (минимизации).

На основе результатов ПИМ показана значимость проблемы обеспечения продольной устойчивости квантомобиля. Основными факторами, усугубляющими названую проблему, в сравнении с классическим автомобилем, являются возникновение и реализация тяговой силы над опорной поверхностью, что увеличивает опасность опрокидывания экипажа.

Для нейтрализации опрокидывающих моментов необходимы дополнительные вертикальные трастеры и другие средства, охватываемые единой системой управления с основным КД.

Основные средства управления аэродинамическим воздействием на экипаж: жесткие конструктивные элементы (обводы и оперение корпуса); выдвигаемое оперение; дополнительные стабилизирующих трастеры – как показали проведенные расчеты, способны существенно изменять питч-моменты квантомобиля, с увеличением зависимости их от дорожных условий.

Сформированные на базе программы МПДК методические положения оценки продольной устойчивости квантомобиля могут послужить основой расчетной оптимизации компоновок этого вида ТС, расположения силовых модулей (трастеров) и САС, задействования их в процессе движения.

Сформирована методика использования существующих материалов испытаний автомобилей-аналогов для прогнозирования устойчивости квантомобилей.

Расчеты в среде МПДК позволили преодолеть познавательную сложность отображения и количественной оценки параметров продольного движения гипотетического квантомобиля. МПДК можно рассматривать как важную компоненту структуры дальнейших исследований квантомобиля.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Маняшин А.В., Тюменский Индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.15>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Manyashin A.V., Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.24.15>

Список литературы / References

1. Dirac P.A.M. The Principles of Quantum Mechanics / P.A.M. Dirac. — Clarendon Press, 1947. — 312 p.
2. Puthoff H. Extracting Energy and Heat from the Vacuum / H. Puthoff // Physical Review E. — 1993. — Vol. 48. — № 2. — P. 1562-1565. — URL: http://www.earthtech.org/publications/PREv48_1562.pdf (accessed: 04.07.2023).
3. Leonov V.S. Quantum Energetics. Vol. 1. Theory of Superunification / V.S. Leonov. — Cambridge International Science Publ., 2010. — 745 p. — URL: https://www.researchgate.net/publication/354340919_Quantum_Energetics_Volume_1_Theory_of_Superunification_2010 (accessed: 04.07.2023).
4. Gruber J. New Hope for Our Planet: Space-Age Energy and a New Kondratieff Cycle / J. Gruber // Vortex Sci. Technol. — 2015. — Vol. 2. — № 1. — DOI: 10.4172/2090-8369.1000113. — URL: <https://www.omicsonline.org/open-access/new-hope-for-our-planet-space-age-energy-and-a-new-kondratieff-cycle-2090-8369-1000113.php?aid=41745> (accessed: 04.07.2023)
5. Brandenburg J. GEM theory of QV-Thruster Proceedings of the Estes Park Advanced Propulsion Workshop / J. Brandenburg // Proceedings of the Estes Park Advanced Propulsion Workshop. — Colorado, 2016. — P. 199-214. — URL: http://ssi.org/wp-content/uploads/2017/02/ssi_estes_park_proceedings_201609.pdf (accessed: 04.07.2023).
6. Pat. 20140013724A1 US, Int. Cl. F02K 9/00. Electromagnetic Thruster / Fetta G.; assignee Cannae LLC. — № 14/001,232; appl. 22.03.2012; publ. 16.01.2014. — 106 p. — URL: <http://www.rexresearch.com/fetta/US2014013724A1.pdf> (accessed: 04.07.2023).
7. Пат. 2185526 Российская Федерация, МПК F 03 H 5/00. Способ создания тяги в вакууме и полевой двигатель для космического корабля (варианты) / Леонов В.С.; патентообладатели Леонов В.С., Пилкин В.Е. — № 2001113320/06; заявл. 21.05.2001; опублик. 20.07.2002, Бюл. № 20. — 60 с. — URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2185526C1_20020720?ysclid=ijolp35y5g195867225 (дата обращения: 04.07.2023).
8. Tajmar M. High-Accuracy Thrust Measurements of the Emdrive and Elimination of False-Positive Effects / M. Tajmar, O. Neunzig, M. Weikert // Space Propulsion 2020+1 (March 17-19, 2021). — 2021. — <https://www.researchgate.net/publication/350108418> (accessed: 04.07.2023).

9. White H. Measurement of Impulsive Thrust from a Closed Radio-Frequency Cavity in Vacuum / H. White, P. March, J. Lawrence [et al.] // *Journal of Propulsion and Power*. — 2017. — № 33(4). — P. 1-12. — DOI: 10.2514/1.B36120.
10. Леонов В.С. Неракетный неактивный квантовый двигатель: технология, результаты, перспективы / В.С. Леонов, О.Д. Бакланов, М.В. Саутин [и др.] // *Воздушно-космическая сфера*. — 2019. — № 1. — С. 68-75. — DOI: 10.30981/2587-7992-2019-98-1-68-75.
11. McCulloch M. Propellant-less Propulsion from Quantised Inertia / M. McCulloch // *Journal of Space Exploration*. — 2018. — Vol. 7(3). — DOI: 10.13140/RG.2.2.22922.52165. — URL: https://www.researchgate.net/publication/329754104_Propellant-less_Propulsion_from_Quantised_Inertia (accessed: 04.07.2023).
12. Shawyer R. An Emdrive Thruster for Cubesats/ R. Shawyer // 71st International Astronautical Congress 2020. — 2020. — URL: <https://iafastro.directory/iac/paper/id/56845/abstract-pdf/IAC-20,C4,6,9,x56845.brief.pdf?2020-07-07.11:16:18>. (accessed: 04.07.2023).
13. Котиков Ю.Г. Энергетика транспорта / Ю.Г. Котиков. — СПб: СПбГАСУ, 2018. — 196 с. — DOI: 10.23968/978-5-9227-0935-4-2018-1-206.
14. Kotikov Yu. The Rise of the Qantomobile Theory / Yu. Kotikov // *Architecture and Engineering*. — 2020. — Vol. 5. — Iss. 4. — P. 74-81.
15. Котиков Ю.Г. Основы теории квантомобиля / Ю.Г. Котиков. — СПб: СПбГАСУ, 2021. — 210 с. — DOI: 10.23968/978-5-9227-1142-5-2021-1-253.
16. Kotikov Yu. Distribution of the Normal Reactions on the Qantomobile Wheels / Yu. Kotikov // *Architecture and Engineering*. — 2021. — Vol. 6. — Iss. 4. — P. 72-79.
17. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика / Н.Я. Фабрикант. — М.: Наука, 1964. — 816 с.
18. Hucho W. Aerodynamics of Road Vehicles / W. Hucho // *Annu. Rev. Fluid Mech.* — 1993. — № 25. — P. 485-537.
19. Baruh H. Applied Dynamics / H. Baruh. — CRC Press, 2015. — 838 p.
20. Johl G. The Design and Performance of a 1.9m X 1.3m Indraft Wind Tunnel : dis. ... of PhD / G. Johl. — Loughborough University, 2010. — 124 p. — URL: <https://hdl.handle.net/2134/7194> (accessed: 04.07.2023).
21. Gallego M.M. Design, Simulation and Testing of a Downforce-increasing Car Bodykit : dis. ... of PhD / M.M. Gallego. — Universitat Polinecnica de Catalunya BarcelonaTech, 2019. — 81 p. — URL: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/131200/DEGREE%20FINAL%20PROJECT%20-%20Marc%20Maceira%20Gallego%20%281%29.pdf?sequence=8&isAllowed=y> (accessed: 04.07.2023).
22. Perry A.K. An Investigation into the Base Pressure of Simplified Automotive Squareback Geometries : dis. ... of PhD / A.K. Perry. — Loughborough University, 2016. — 221 p. — URL: <https://hdl.handle.net/2134/22605> (accessed: 04.07.2023).
23. Котиков Ю.Г. Расчетное исследование продольной устойчивости квантомобиля / Ю.Г. Котиков // *Вестник гражданских инженеров*. — 2023. — № 1(96). — С. 122-131. — DOI: 10.23968/1999-5571-2023-20-1-122-131.
24. Katz J. Aerodynamics of Race Cars / J. Katz // *Annu. Rev. Fluid Mech.* — 2006. — № 38. — P. 27-63. — DOI: 10.1146/annurev.fluid.38.050304.092016.
25. Zhang X. Ground Effect Aerodynamics of Race Cars / X. Zhang, W. Toet, J. Zerihan // *Applied Mechanics Reviews*. — 2006. — № 59. — P. 33-49.
26. Cheng S. Influence of Rear-roof Spoiler on the Aerodynamic Performance of Hatchback Vehicle / S. Cheng, S. Mansor // *MATEC Web of Conferences* 90. — 2017. — DOI: 10.1051/mateconf/20179001027. — URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/04/mateconf_aigev2017_01027.pdf (accessed: 04.07.2023).
27. Piechna J. A Review of Active Aerodynamic Systems for Road Vehicles / J. Piechna // *Energies*. — 2021. — № 14(23). — DOI: 10.3390/en14237887.
28. Ahmed S. Some Salient Features of the Time – Averaged Ground Vehicle Wake / S. Ahmed, G. Ramm, G. Faltn // *SAE Transactions*. — 1984. — Vol. 93(2). — P. 473-503. — URL: <https://www.jstor.org/stable/44434262> (accessed: 04.07.2023).
29. Beaudoin J. Drag and lift reduction of a 3D bluff body using flaps / J. Beaudoin, J. Aider // *Experiments in Fluids*. — 2008. — № 44(4). — P. 491-501. — URL: https://www.researchgate.net/publication/226210472_Drag_and_lift_reduction_of_a_3D_bluff_body_using_flaps/ (accessed: 04.07.2023).
30. Bayraktar I. External Aerodynamics of Heavy Ground Vehicles: Computations and Wind Tunnel Testing : diss. ... PhD. — Old Dominion University, 2002. — 114 p. — DOI: 10.25777/tgte-np27. — URL: https://digitalcommons.odu.edu/mae_etds/49 (accessed: 04.07.2023).
31. Conan B. Experimental aerodynamic study of a car-type bluff body / B. Conan, P. Planquart, J. Anthoine // *Exp Fluids*. — 2011. — № 50. — P. 1273-1284. — DOI: 10.1007/s00348-010-0992-z. — URL: https://www.researchgate.net/publication/225331498_Experimental_aerodynamic_study_of_a_car-type_bluff_body (accessed: 04.07.2023).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dirac P.A.M. The Principles of Quantum Mechanics / P.A.M. Dirac. — Clarendon Press, 1947. — 312 p.
2. Puthoff H. Extracting Energy and Heat from the Vacuum / H. Puthoff // *Physical Review E*. — 1993. — Vol. 48. — № 2. — P. 1562-1565. — URL: http://www.earthtech.org/publications/PREv48_1562.pdf (accessed: 04.07.2023).
3. Leonov V.S. Quantum Energetics. Vol. 1. Theory of Superunification / V.S. Leonov. — Cambridge International Science Publ., 2010. — 745 p. — URL:

https://www.researchgate.net/publication/354340919_Quantum_Energetics_Volume_1_Theory_of_Superunification_2010 (accessed: 04.07.2023).

4. Gruber J. New Hope for Our Planet: Space-Age Energy and a New Kondratieff Cycle / J. Gruber // *Vortex Sci. Technol.* — 2015. — Vol. 2. — № 1. — DOI: 10.4172/2090-8369.1000113. — URL: <https://www.omicsonline.org/open-access/new-hope-for-our-planet-space-age-energy-and-a-new-kondratieff-cycle-2090-8369-1000113.php?aid=41745> (accessed: 04.07.2023)

5. Brandenburg J. GEM theory of QV-Thruster Proceedings of the Estes Park Advanced Propulsion Workshop / J. Brandenburg // *Proceedings of the Estes Park Advanced Propulsion Workshop.* — Colorado, 2016. — P. 199-214. — URL: http://ssi.org/wp-content/uploads/2017/02/ssi_estes_park_proceedings_201609.pdf (accessed: 04.07.2023).

6. Pat. 20140013724A1 US, Int. Cl. F02K 9/00. Electromagnetic Thruster / Fetta G.; assignee Cannae LLC. — № 14/001,232; appl. 22.03.2012; publ. 16.01.2014. — 106 p. — URL: <http://www.rexresearch.com/fetta/US2014013724A1.pdf> (accessed: 04.07.2023).

7. Pat. 2185526 Russian Federation, Int. Cl. F 03 H 5/00. Sposob sozdaniya tyagi v vakuume i polevoy dvigatel' dlya kosmicheskogo korablya (varianty) [Method of vacuum thrust generation and field engine for spacecraft (variants)] / Leonov V.S.; patentees Leonov V.S, Pilkin V.E. — № 2001113320/06; appl. 21.05.2001; publ. 20.07.2002, Bul. № 20. — 60 p. — URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2185526C1_20020720?ysclid=ljolph35y5g195867225 (accessed: 04.07.2023). [in Russian]

8. Tajmar M. High-Accuracy Thrust Measurements of the Emdrive and Elimination of False-Positive Effects / M. Tajmar, O. Neunzig, M. Weikert // *Space Propulsion 2020+1* (March 17-19, 2021). — 2021. — <https://www.researchgate.net/publication/350108418> (accessed: 04.07.2023).

9. White H. Measurement of Impulsive Thrust from a Closed Radio-Frequency Cavity in Vacuum / H. White, P. March, J. Lawrence [et al.] // *Journal of Propulsion and Power.* — 2017. — № 33(4). — P. 1-12. — DOI: 10.2514/1.B36120.

10. Leonov V.S. Neraketnyj nereaktivnyj kvantovyy dvigatel': tehnologija, rezul'taty, perspektivy [Non-Rocket Non-Reactive Quantum Engine: Idea, Technology, Results, Prospects] / V.S. Leonov, O.D. Baklanov, M.V. Sautin [et al.] // *Vozdushno-kosmicheskaja sfera* [Aerospace sphere]. — 2019. — № 1. — P. 68-75. — DOI: 10.30981/2587-7992-2019-98-1-68-75 [in Russian]

11. McCulloch M. Propellant-less Propulsion from Quantised Inertia / M. McCulloch // *Journal of Space Exploration.* — 2018. — Vol. 7(3). — DOI: 10.13140/RG.2.2.22922.52165. — URL: https://www.researchgate.net/publication/329754104_Propellant-less_Propulsion_from_Quantised_Inertia (accessed: 04.07.2023).

12. Sawyer R. An Emdrive Thruster for Cubesats/ R. Sawyer // *71st International Astronautical Congress 2020.* — 2020. — URL: <https://iafaastro.directory/iac/paper/id/56845/abstract-pdf/IAC-20,C4,6,9,x56845.brief.pdf?2020-07-07.11:16:18>. (accessed: 04.07.2023).

13. Kotikov Yu.G. Energetika transporta [Transport energetics] / Yu.G. Kotikov. — St. Petersburg: SPbSUACE, 2018. — 196 p. — DOI: 10.23968/978-5-9227-0935-4-2018-1-206. [in Russian]

14. Kotikov Yu. The Rise of the Quantumobile Theory / Yu. Kotikov // *Architecture and Engineering.* — 2020. — Vol. 5. — Iss. 4. — P. 74-81.

15. Kotikov Yu.G. Osnovy teorii kvantomobilya [Fundamentals of the Quantumobile Theory] / Yu.G. Kotikov. — St. Petersburg: SPbSUACE, 2021. — 210 p. — DOI: 10.23968/978-5-9227-1142-5-2021-1-253. [in Russian]

16. Kotikov Yu. Distribution of the Normal Reactions on the Quantumobile Wheels / Yu. Kotikov // *Architecture and Engineering.* — 2021. — Vol. 6. — Iss. 4. — P. 72-79.

17. Fabrikant N.Ja. Aerodinamika [Aerodynamics] / N.Ja. Fabrikant. — M.: Nauka, 1964. — 816 p. [in Russian]

18. Hucho W. Aerodynamics of Road Vehicles / W. Hucho // *Annu. Rev. Fluid Mech.* — 1993. — № 25. — P. 485-537.

19. Baruh H. Applied Dynamics / H. Baruh. — CRC Press, 2015. — 838 p.

20. Johl G. The Design and Performance of a 1.9m X 1.3m Indraft Wind Tunnel : dis. ... of PhD / G. Johl. — Loughborough University, 2010. — 124 p. — URL: <https://hdl.handle.net/2134/7194> (accessed: 04.07.2023).

21. Gallego M.M. Design, Simulation and Testing of a Downforce-increasing Car Bodykit : dis. ... of PhD / M.M. Gallego. — Universitat Polinecnica de Catalunya BarcelonaTech, 2019. — 81 p. — URL: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/131200/DEGREE%20FINAL%20PROJECT%20-%20Marc%20Maceira%20Gallego%20%281%29.pdf?sequence=8&isAllowed=y> (accessed: 04.07.2023).

22. Perry A.K. An Investigation into the Base Pressure of Simplified Automotive Squareback Geometries : dis. ... of PhD / A.K. Perry. — Loughborough University, 2016. — 221 p. — URL: <https://hdl.handle.net/2134/22605> (accessed: 04.07.2023).

23. Kotikov Yu.G. Raschetnoe issledovanie prodol'noj ustojchivosti kvantomobilja [Computational Research of The Quantumobile Longitudinal Stability] / Yu.G. Kotikov // *Vestnik grazhdanskih inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers]. — 2023. — № 1(96). — P. 122-131. — DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-122-131. [in Russian]

24. Katz J. Aerodynamics of Race Cars / J. Katz // *Annu. Rev. Fluid Mech.* — 2006. — № 38. — P. 27-63. — DOI: 10.1146/annurev.fluid.38.050304.092016.

25. Zhang X. Ground Effect Aerodynamics of Race Cars / X. Zhang, W. Toet, J. Zerihan // *Applied Mechanics Reviews.* — 2006. — № 59. — P. 33-49.

26. Cheng S. Influence of Rear-roof Spoiler on the Aerodynamic Performance of Hatchback Vehicle / S. Cheng, S. Mansor // *MATEC Web of Conferences 90.* — 2017. — DOI: 10.1051/mateconf/20179001027. — URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/04/mateconf_aigev2017_01027.pdf (accessed: 04.07.2023).

27. Piechna J. A Review of Active Aerodynamic Systems for Road Vehicles / J. Piechna // *Energies.* — 2021. — № 14(23). — DOI: 10.3390/en14237887.

28. Ahmed S. Some Salient Features of the Time – Averaged Ground Vehicle Wake / S. Ahmed, G. Ramm, G. Faltin // SAE Transactions. — 1984. — Vol. 93(2). — P. 473-503. — URL: <https://www.jstor.org/stable/44434262> (accessed: 04.07.2023).
29. Beaudoin J. Drag and lift reduction of a 3D bluff body using flaps / J. Beaudoin, J. Aider // Experiments in Fluids. — 2008. — № 44(4). — P. 491-501. — URL: https://www.researchgate.net/publication/226210472_Drag_and_lift_reduction_of_a_3D_bluff_body_using_flaps/ (accessed: 04.07.2023).
30. Bayraktar I. External Aerodynamics of Heavy Ground Vehicles: Computations and Wind Tunnel Testing : diss. ... PhD. — Old Dominion University, 2002. — 114 p. — DOI: 10.25777/tgte-np27. — URL: https://digitalcommons.odu.edu/mae_etds/49 (accessed: 04.07.2023).
31. Conan B. Experimental aerodynamic study of a car-type bluff body / B. Conan, P. Planquart, J. Anthoine // Exp Fluids. — 2011. — № 50. — P. 1273-1284. — DOI: 10.1007/s00348-010-0992-z. — URL: https://www.researchgate.net/publication/225331498_Experimental_aerodynamic_study_of_a_car-type_bluff_body (accessed: 04.07.2023).