

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.162>**ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕНЕ ТЯГИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ КВАНТОМОБИЛЯ**

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

Перспектива внедрения квантомобилей, использующих тягу (траст) квантового двигателя (КД), реализуемую в плоскости тангажа, требует рассмотрения энергетики движения экипажа. Это будет способствовать формированию требований к энергоэффективности КД и его энергетической приемлемости. В отсутствие натуральных объектов исследование базируется на имитационном моделировании, гибкой модели и мощном ПО. Выражение транспортной работы в виде произведения силы на коллинеарное перемещение не способно учитывать работу силы вертикального лифта при расчете показателей продольного продвижения вывешенного квантомобилья. Вертикальная компонента траста (лифт) способствует снижению сопротивления движению опорных колес и соответствующих энергозатрат. Однако на обеспечение лифта требуются свои затраты энергии, расчет которых для существующих моделей продольного движения наземных транспортных средств (ТС) проблематичен. Разработана методика оценки приемлемых энергозатрат на лифт. Методика использует авторскую модель приземного движения квантомобилья (МПДК). Она позволяет оценить уровень требуемой энергетической цены тяги (ЭЦТ) КД, ниже которого обеспечивается превосходство квантомобилья по энергоэффективности перед автомобилем-аналогом. В серии расчетов разгонов и установившегося движения ТС для различных сопротивлений опорных поверхностей и углов наклона вектора траста выявлено, что для обеспечения превосходства над автомобилем-аналогом КамАЗ-4326 ЭЦТ лифта у концепта грузового квантомобилья должна быть не более 55 Вт/Н. На базе осмысления результатов расчета преодолена познавательная сложность получения оценки реализуемой работы (энергозатрат) на движение вывешенного наземного ТС. МПДК рассматривается в качестве основы для развития моделирования движения квантомобилья в произвольных условиях.

Ключевые слова: квантомобиль, квантовый двигатель, моделирование, Matlab-Simulink, продольное движение, энергетическая цена тяги.

FORMATION OF REQUIREMENTS TO THE ENERGY PRICE OF QUANTOMOBILE PROPULSION SYSTEM THRUST

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 prospect of introduction of quantum cars using the thrust of a quantum engine (QE), implemented in the pitch plane, requires consideration of the energy of the crew motion. This will contribute to the requirements for the energy efficiency of the QE and its energy acceptability. In the absence of full-scale facilities, the study is based on simulation modelling, flexible model and powerful software. Expressing the transport work as the product of force by collinear displacement is unable to account for the work of vertical lift force in calculating the longitudinal propulsion performance of the disembodied quantum vehicle. The vertical component of the trust (lift) helps to reduce the drag on the propulsion of the support wheels and the associated energy inputs. However, providing lift requires its own energy costs, the calculation of which is problematic for existing models of longitudinal ground vehicle (GV) motion. A methodology for estimating acceptable energy costs for a lift is developed. The methodology uses the author's model of ground motion of a quantum vehicle (MGMQA). It allows estimating the level of the required energy price of thrust (EPT) of the QE, below which the superiority of the quantomobile in terms of energy efficiency over the analogue vehicle is ensured. In a series of calculations of acceleration and steady-state motion of the vehicle for various resistances of supporting surfaces and angles of inclination of the trust vector it is found out that in order to ensure superiority over the car-analogue KamAZ-4326 the EPT of the lift at the concept cargo quantomobile should be not more than 55 W/N. On the basis of comprehension of the calculation results, the cognitive difficulty of obtaining the estimation of realized work (energy consumption) for the movement of the suspended ground vehicle is overcome. MGMQA is considered as a basis for the development of modelling of quantum car motion in arbitrary conditions.

Keywords: quantomobile, quantum engine, modelling, Matlab-Simulink, longitudinal motion, energy price of thrust.

Введение

В современной физике развиваются идеи извлечения энергии из физического вакуума (ФВ) [1], [2], [3]. На базе этих идей рассматриваются концепции квантовых двигателей (КД) [4], [5]. И хотя получаемые импульсы траста (тяги) КД пока малы, надежда на практическую реализацию названных идей становится все более существенной [5], [6].

Реализация идеи КД приведет к появлению нового типа транспортных средств (ТС) – квантомобилей [3], [7], [8]. Станет возможным прикладывать траст КД к корпусу экипажа непосредственно (без трансмиссии). Необходимость трансмиссии отпадет, колесам останется только опорная функция. При наклоне вектора траста в плоскости тангажа появляется вертикальная компонента, которую можно будет использовать для вывешивания (лифта) квантомобиля. Горизонтальная компонента траста при этом используется для преодоления сил сопротивления продольному движению экипажа [6], [7], [8].

В публикациях [6], [7] рассмотрена методика и даны примеры расчета тяговых сил квантомобилей для наземной среды движения ТС с возможным полным переходом в воздушную среду. Показывается, что расчетная методика, в связи с необходимостью учета лифта, отличается от традиционных алгоритмов расчета силового баланса автомобиля.

В работах [7], [8] затронута возможность создания всесреднего мультимодального квантомобиля, способного функционировать во всех физических средах. Обобщением этих аспектов является авторская инициатива формирования теории квантомобиля [9], [10].

Вертикальная компонента траста (лифт) способствует снижению сопротивления движению опорных колес и соответствующих энергозатрат. Однако на обеспечение лифта требуются свои затраты энергии, расчет которых для существующих моделей продольного движения наземных ТС проблематичен. Необходим алгоритм сравнения энергозатрат по этим конкурирующим факторам в пределах общей транспортной работы ТС [11], [12].

Выражение транспортной работы в виде произведения силы на коллинеарное перемещение, не способно учитывать работу силы вертикального лифта при расчете показателей продольного (горизонтального) продвижения вывешенного квантомобиля. Но работа на вывешивание экипажа ведь совершается! Этот кажущийся парадокс требует разрешения.

Возникающая концепция квантомобиля с её проблемами требует совместного рассмотрения динамики и энергетики движения экипажа с КД. Сформированная автором в среде ППП *Matlab-Simulink* Модель приземного движения квантомобиля (МПДК) [11], [12], [13] направлена, в том числе, на расчетное исследование сочетания динамических возможностей и сопутствующих энергозатрат квантомобиля. На базе этих исследований предполагается формирование требований к энергоэффективности этого перспективного ТС.

Основным условием необходимости и успешности внедрения новых технических средств в практику, как известно, является их должное превосходство перед прототипическими средствами предыдущих поколений по показателям их эксплуатационных свойств, в том числе по энергоэффективности. Одним из показателей энергоэффективности ТС является энергетическая цена тяги (ЭЦТ) – отношение реализуемой мощности к силе тяги (*power-to-thrust ratio*) [12], [14], [15], [16]. Попробуем оценить границу зоны превосходства перспективных квантомобилей перед существующими автомобилями-аналогами посредством оценок ЭЦТ. Очевидно, это потребует специфической проработки исследования свойств рассматриваемого гипотетического объекта.

Методы и принципы исследования

2.1 Цель и задачи исследования

Целью расчетного исследования явилась методическая проработка формирования требований к энергоэффективности силовой установки квантомобиля, обеспечивающих улучшение энергетических показателей движения относительно существующего автомобиля-аналога.

Отсутствие признанных теоретических основ движения квантомобиля (обладающего новыми свойствами относительно традиционного автомобиля), натуральных образцов исследуемых объектов и эмпирических данных по ним, вызывает необходимость использовать подход с опорой на программное имитационное моделирование (ПИМ).

Задачами по достижению цели являются:

- 1) формирование математической модели продольного движения квантомобиля (МПДК) под поставленную цель;
- 2) построение Simulink-модели движения квантомобиля с детализацией составляющих энергозатрат на преодоление сопротивлений движению и вывешивание экипажа, с формированием модели конкурентоспособности на базе ЭЦТ; с отработкой интерфейса взаимодействия с моделью и многофакторного вывода результатов;
- 3) на базе Simulink-модели проведение ПИМ с экспериментами, охватывающими обоснованное множество вариантов разгона и установившегося движения ТС;
- 4) обсуждение и обобщение результатов расчетов;
- 5) формирование рекомендаций и выводов.

2.2 Постановка проблемных вопросов

В настоящем исследовании начало цепочки энергопреобразований начинается с подачи на корпус квантомобиля траста F_T под углом β к горизонту [6], [7], [8], [10]. Вопросы физической генерации траста, энергопреобразования в недрах конструкции КД и эффективности процесса извлечения энергии из ФВ здесь не затрагиваются. То есть, ограничиваясь компетенциями транспортников, полагаем, что физики и инженеры-энергетики предоставят функционирующий КД, обеспечивающий экипаж трастом F_T . Решаем вопросы представления и расчета механической работы, совершаемой экипажем при продольном движении под воздействием этого траста. Отмечаем при этом, что классический подход для моделирования движения ТС, развитый в теории автомобиля, в нашем случае недостаточен, поскольку в механику движения квантомобиля, при реализации наклонов вектора траста в плоскости тангажа, внедряется вывешивание (лифт) экипажа.

С проблемами вывешивания экипажа сталкиваются в ракетно- [16], самолето- [17], вертолетостроении [18], [19]. В этих областях по-разному рассчитывают вклад горизонтальных и вертикальных сил в формирование общих

энергозатрат на горизонтальное перемещение ТС. Общим положением, однако, можно отметить использование в расчетных методиках понятия ЭЦТ (power-to-thrust ratio [15], [16], [17], [18] (Вт/Н, кВт/Н, Вт/мН)).

Общим является также аддитивный характер суммы скалярных величин мощности и энергии, связанных с реализацией соответствующих сил (векторов) различной направленности.

Будем использовать в исследовании величины и их обозначения:

– ЭЦТ $K_{NF} = N/F$, где N – реализуемая мощность, F – скаляр силы;

– Коэффициент энергоэффективности (КЭ) $K_{FN} = F/N$.

Введем также понятия и обозначения:

– Энергетическая цена вертикальной тяги (ЭЦВТ) $K_{NF,h}$;

– Энергетическая цена горизонтальной тяги (ЭЦГТ) $K_{NF,l}$.

Важно отметить, что величины K_{NF} , $K_{NF,h}$ и $K_{NF,l}$ имеет размерность скорости (в системе СИ – м/с), поскольку $N = F \cdot V$, откуда следует $[N/F] = [V] = \text{м/с}$. Это коррелирует с ролью скорости в определении мощности (как «скалярной физической величины, характеризующей мгновенную скорость передачи энергии от одной физической системы к другой в процессе использования энергии» [20]).

В вышеназванных областях транспорта оценки ЭЦТ формализуются аналитически, но на базе необходимого экспериментального материала. В табл. 1 приведены некоторые оценки этих показателей, полученные по результатам авторского обзора.

Таблица 1 - Показатели удельной тяги двигателей (силовых установок)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.162.1>

№	Двигатель	Цена тяги ЭЦТ K_{NF} , кВт/Н	Коэффициент энергоэффективности КЭ K_{FN} , Н/кВт	Источник
1	Ионный двигатель ИД-500	46,7	0,0214	[14]
2	Стационарный плазменный двигатель СПД-230	26,6	0,0376	[14]
3	Стационарный плазменный двигатель СПД-140Д	15,5	0,0645	[14]
4	Ракетный ЖРД	1,43	0,7	[15]
5	Винтокрылый носитель для воздушного старта ракет	0,03	33	[16]
6	Мультироторный вертолет	0,016	62	[17]
7	Однороторный вертолет	0,01	100	[18]
8	Беспилотник	0,009	112	[19]
9	Лабораторная КД-установка Леонова В.С. (в импульсном режиме)	0,009	115	[15]

Встанут вопросы:

– Каков уровень ЭЦВТ $K_{NF,h}$ приемлем для лифта квантомобиля?

– Каков уровень ЭЦГТ $K_{NF,l}$ характерен для продольного движения квантомобиля?

– Где в диапазоне представленных табл. 1 значений найдут место показатели ЭЦТ для квантомобиля?

– Как энергообеспеченность вертикальной компоненты траста будет влиять на динамику продольного движения квантомобиля?

– Каковы те граничные значения K_{NF} , ниже которых квантомобиль будет обладать энергоэффективностью лучшей, нежели прототипируемый автомобиль того же класса?

В отсутствие натуральных образцов квантомобиля попытаемся найти ответ на эти вопросы с помощью имитационных экспериментов (ПИМ).

2.3 Суммирование ортогональных компонент вектора траста и связанных с ними скаляров мощности и энергии

В рамках продольного движения экипажа в плоскости развёртывания угла тангажа β (см. рис. 1) – вектор траста F_T раскладывается на две ортогональные компоненты F_{Tx} и F_{Tz} [3], [6], [10]:

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

В скалярной записи это:

$$F_T = \sqrt{F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2}. \quad (2)$$

Угол наклона вектора F_T

$$\beta = \arctg(F_{Tz} / F_{Tx}) = \arctg(F_{Tz} / \sqrt{F_T^2 - F_{Tz}^2}). \quad (3)$$

$$F_{Tx} = F_T \cdot \cos\beta, \quad F_{Tz} = F_T \cdot \sin\beta. \quad (4)$$

Графически это представимо рис. 1.

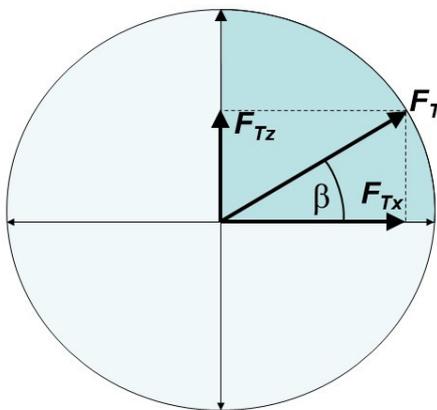


Рисунок 1 - Разложение вектора траста F_T на горизонтальную F_{Tx} и вертикальную F_{Tz} компоненты:

β – угол наклона вектора F_T относительно горизонта

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.162.2>

Ограничимся продольным приземным (без отлета) движением квантомобиля ($0 \leq F_{Tz} \leq G_q$, где G_q – вес экипажа). Ограничимся также горизонтальной опорной поверхностью (ОП).

Освободимся от вопросов формирования, моделирования и реализации аэродинамической подъемной силы, сосредоточившись на рассмотрении лифта, обеспечиваемого только вертикальной компонентой F_{Tz} траста F_T (как бы осуществляя схему «плохообтекаемого движущегося короба» [13]).

Также, приняв вертикальные перемещения ТС при наземном движении незначительными, в сравнении с исследуемыми длительными горизонтальными перемещениями его, освободимся от необходимости учета динамики вертикальных перемещений ТС (вообще-то существующей из-за упругости подвески).

Допуская, что между КД и корпусом экипажа могут устанавливаться промежуточные устройства, все же используем в анализе непосредственное приложение силы F_T к корпусу экипажа.

Акцентируем внимание на том, что в отличие от геометрической векторной суммы силовых компонент F_{Tx} и F_{Tz} (см. выражение (1) и его скалярный вариант (2)), соответствующие мощности N_{FTx} и N_{FTz} , а также величины работы A_{FTx} и A_{FTz} , являясь скалярными величинами, складываются алгебраически – скалярно, аддитивно [21], то есть:

$$N_{FT} = N_{FTx} + N_{FTz}, \quad (5)$$

$$A_{FT} = A_{FTx} + A_{FTz}. \quad (6)$$

2.4 Идейная основа оценки энергетики продольного движения квантомобиля с учетом вывешивания

Вышеприведенные допущения позволяют использовать вариант уравнения силового баланса квантомобиля, обоснованного автором в публикациях [6], [10], [11], а именно:

$$F_{Tx} = F_r + F_w + F_a = G'_q f_{k0} \left(1 + f_{kv} V_q^2\right) + c_d \left(\frac{\rho_w}{2}\right) S_{fi} V_q^2 + \frac{Gq}{g} a \cdot (1 + \delta_{wh}) \quad (7)$$

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

F_r – сила сопротивления качению ведомых опорных колес, Н;

F_w – сила сопротивления воздуха продольному движению, Н;

F_a – сила инерции, противодействующая ускорению экипажа, Н;
 G_q' – сила давления экипажа на ОП с учетом лифта, Н;
 f_{k0} – коэффициент сопротивления качению колес при нулевой скорости;
 f_{kv} – скоростной коэффициент сопротивления качению колес, c^2/m^2 ;
 c_d – коэффициент аэродинамического сопротивления, безразмерный;
 ρ_w – плотность воздуха, $H \times c^2/m^4$;
 S_{fi} – лобовая площадь экипажа, m^2 ;
 G_q – исходный вес квантомобиля, Н;
 g – ускорение свободного падения, m/c^2 ;
 a – продольное ускорение экипажа, m/c^2 ;
 δ_{wh} – коэффициент инерции вращения опорных колес экипажа.

Сила $G_q' = G_q - F_{Tz}$. Для квантомобиля приведенная масса $m' = G_q(1 + \delta_{wh})/g$ учитывает вращение только опорных колес, поскольку вращающиеся детали традиционного силового привода отсутствуют.

График прикладываемых к экипажу сил имеется в [10], [12], [13].

Расчет мощностей N_{Fr} , N_{Fw} и N_{Fa} реализации продольных сил F_r , F_w и F_a в процессе имитации движения на базе уравнения (7) осуществляем по формуле $N(t) = F(t) \cdot V(t)$. Расчет значений работы A_{Fr} , A_{Fw} и A_{Fa} , накапливаемой во времени действием сил F_r , F_w и F_a , производим по формуле $A(t) = F(t) \cdot S(t)$; используем также программный интегратор.

Работа вертикальной силы лифта F_{Tz} при горизонтальном движении экипажа не может быть рассчитана по канонам классической механики. Подход Иванова Е.М. [21] перехода от пути S ко времени t , с использованием импульса силы, – в нашем случае неприменим (поскольку относится только к свободному телу – без учета сопротивлений воздуха F_w и ОП F_r). Поэтому реализуем нижеследующие идею и соответствующий алгоритм.

Идея определения допустимого (с точки зрения неперевышения суммарной работы невывешенного экипажа) граничного значения ЭЦВТ заключается в сравнении энергетики продольного движения экипажа при том же самом F_T до одинаковой конечной скорости разгона (и/или установившегося движения) в двух крайних вариантах управления углом наклона вектора траста:

1) при $\beta = 0^\circ$ (когда вывешивание отсутствует ($F_{Tz} = 0$), $F_r > 0$, а $F_{Tx} = F_T$), с фиксацией $F_{Tx} = F_T$, N_{FTx} и A_{FTx} на максимально возможной скорости движения V_{max} ;

2) при $\beta = \arctan(G_q / \sqrt{F_T^2 - G_q^2}) = \beta_{max}$ (когда экипаж полностью вывешен ($F_{Tz} = G_q$), $F_r = 0$, а $F_{Tx} < F_T$), но при $F_r = 0$ остается горизонтальная составляющая траста F_{Tx} , необходимая и достаточная для осуществления разгона и установившегося движения ТС на зафиксированной по пункту 1) скорости V_{max} ; здесь также фиксируются F_{Tx} , N_{FTx} и A_{FTx} на скорости V_{max} ;

3) определение ЭЦВТ $K_{NF_h} = N_{FTzdiff} / F_{Tz}$, где $N_{FTzdiff} = N_{FT} - N_{FTx}$, и N_{FTx} относится к варианту $\beta = \beta_{max}$.

Тогда равенство конечных скоростей разгона V_{max} обеспечит равенство накопленной кинетической энергии $mV^2/2$ (работу силы F_a), а также приблизительное равенство двух вариантов работы силы воздушного сопротивления F_w (разница может накопиться при разной реализации темпа разгона во времени; при установившемся движении разницы не будет). При переходе от $\beta = 0^\circ$ к β_{max} работа силы сопротивления качению колес A_{Fr} (в составе полной работы A_{FT}) заменится работой силы лифта A_{FTz} . Таким образом, величина A_{Fr} при $\beta = 0^\circ$ может служить оценкой работы силы лифта A_{FTz} при $\beta = \beta_{max}$ в составе полной работы по осуществлению движения.

По-другому, разница между величиной полной работы $A_{FTx} = A_{FT}$ при $\beta = 0^\circ$ и $A_{FTx} < A_{FT}$ при $\beta = \beta_{max}$ представляет собой работу силы лифта A_{FTz} .

Обозначим максимальную скорость экипажа при реализации F_T с углом наклона вектора траста β через $V_{max\beta}$.

Теперь для разности мощностей N_{FT} и N_{FTx} (т.е. мощности $N_{FTzdiff}$, высвобождаемой для лифта при уменьшении горизонтальной тяги путём вывода вектора траста на угол β) с учетом (4) можно записать:

$$N_{FTzdiff} = N_{FT} - N_{FTx} = F_T \cdot V_{max\beta} - F_T \cdot V_{max\beta} \cdot \cos\beta = F_T \cdot V_{max\beta} (1 - \cos\beta). \quad (8)$$

$$\text{Тогда } K_{NF_h} = N_{FTzdiff} / F_{Tz} = V_{max\beta} (1 - \cos\beta) / \sin\beta. \quad (9)$$

2.5 Программное обеспечение модели МПДК

Структура имитационной системы представлена на рис. 2. Она состоит из трех подсистем: *Scenario* – для выработки задающего вектора F_T и угла β ; *Vehicle Dynamics* – расчета показателей динамики продольного движения экипажа (см. [11], [12], [13]); *Energetics* – расчета показателей энергетики движения (рис. 3).

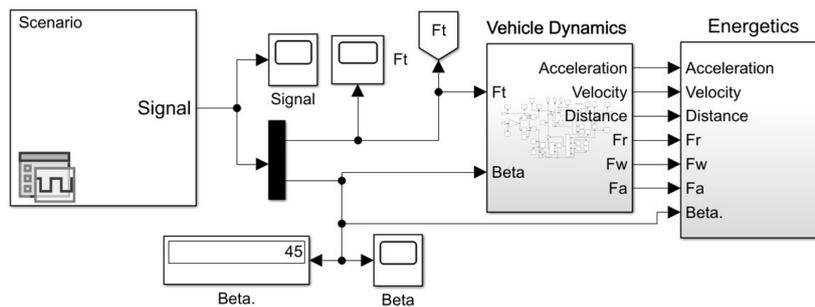


Рисунок 2 - Главный модуль S-модели МПДК
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.162.3>

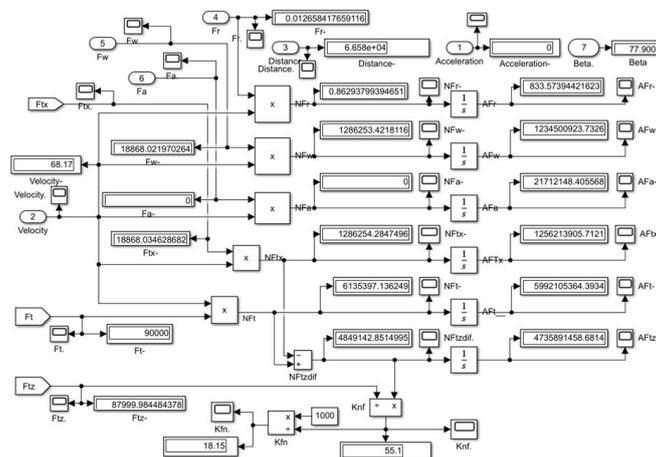


Рисунок 3 - Подсистема Energetics
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.162.4>

Примечание: зафиксированы результаты разгона вывешенного экипажа по ОП с $f_k=0,3$ при угле наклона траста $\beta = 77,9^\circ$; $t_r=1000c$

Подсистемы изобилуют множеством блоков визуализации: Осциллографов – для наблюдения за изменением величин во времени; Дисплеев – для представления итоговой информации трека.

Путем кликования Осциллографов графики процессов изменения соответствующих величин могут быть вынесены на отдельную страницу. Например, на рис. 4 собраны временные графики изменения показателей двух сравниваемых 100-секундных разгонов: при углах наклона вектора $\beta = 0^\circ$ и $\beta = 77,9^\circ$.

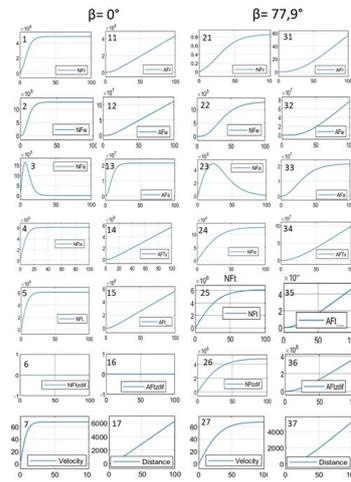


Рисунок 4 - Графики изменения показателей двух сравниваемых разгонов по ОП с $f_{k0} = 0,3$ до скорости 67,8 м/с при углах наклона вектора $\beta = 0^\circ$ (экспликации 1–7, 11–17) и $\beta = 77,9^\circ$ (экспликации 21–27, 31–37)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.162.5>

Основные результаты

3. Результаты расчета показателей движения квантомобиля

Для количественного исследования выбран гипотетический квантомобиль с данными автомобиля-аналога КамАЗ-4326 с КД (обоснован в [6], [10]):

$$G_q = 88000 \text{ Н}; f_{k0} = 0,3; f_{kv} = 3,7 \times 10^{-4} \text{ с}^2/\text{м}^2; k_{в.х} = c_d \times \rho_w / 2 = 0,58 \text{ Н} \times \text{с}^2/\text{м}^4.$$

Посредством МПДК для демонстрации метода нашли нижеследующую пару ситуаций разгона до одной и той же скорости 67,8 м/с. Для этого привлекли трастовую характеристику скоростного среза [10] (см. рис. 5).

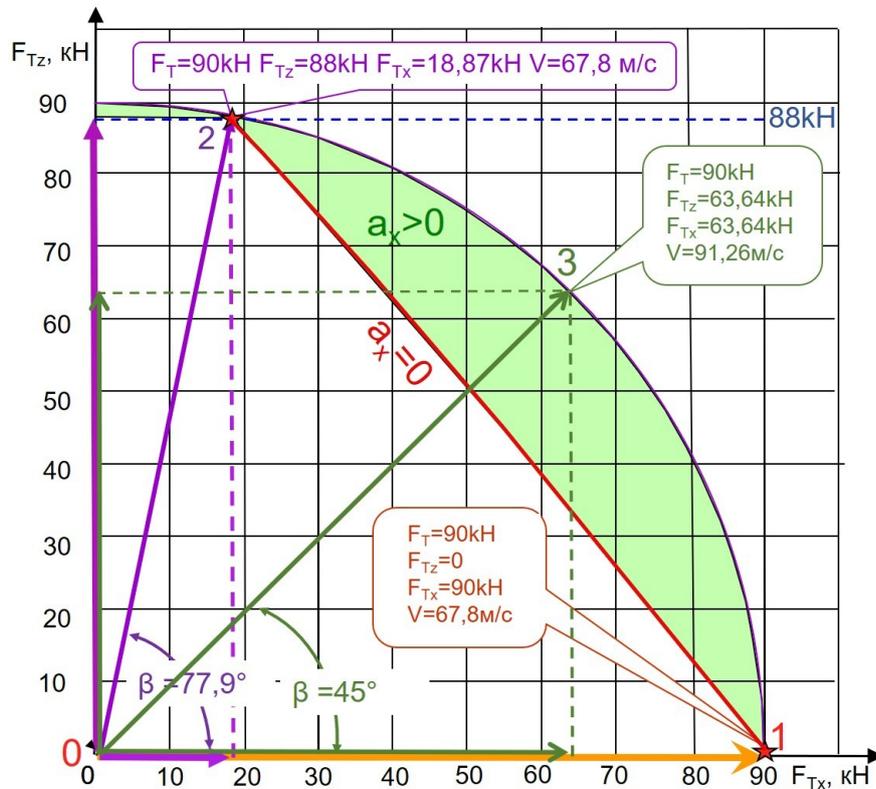


Рисунок 5 - Диаграмма использования траста величиной 90 кН в продольной плоскости тангажа при движении квантомобиля весом 88 кН по ОП с $f_{k0} = 0,3$

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.162.6>

Примечание: трастовая характеристика скоростного среза [10]

Траст $F_T = 90$ кН выбран в целях возможности продольного движения экипажа весом 88 кН до скорости V_{\max} при его полном вывешивании.

При $f_{k0} = 0,3$ совершенно невывешенный экипаж ($\beta = 0$, $F_{Tz} = 0$ – точка 1 на рис. 5) достигнет максимальной скорости 67,8 м/с.

При угле $\beta_{\max} = 77,9^\circ$ (точка 2 на рис. 5) $F_T = 88$ кН обеспечивает полное вывешивание без отлета экипажа, и при этом $F_{Tx} = 18,87$ кН. Тяговая сила F_{Tx} , идущая в этом случае только на преодоление сопротивления воздуха и сил инерции, позволяет разогнать экипаж до той же скорости 67,8 м/с.

Этим самым предоставляется возможность сравнения показателей движения, в том числе значений мгновенной мощности и накопленных энергозатрат, для двух крайних режимов движения:

1) только по ОП без какого-либо вывешивания;

2) только в воздухе (без касания ОП); – с достижением одного и того же результата – одинаковой максимальной скорости разгона V_{\max} (см. рис. 4).

Одинаковая скорость V_{\max} обеспечивает равенство приобретенной экипажем кинетической энергии $E_k = A_{Fa}$ (см. на рис. 4 экспликации 13 и 33), что используем в дальнейших построениях методики.

Линейный характер зависимости сопротивления качению колес от изменения величины $G_q' = (G_q - F_{Tz})$ (см. уравнение (7)) определяет прямолинейный характер прямой 1-2 (на рис. 5), представляющей необходимую величину траста при изменяемом угле β для установившегося движения на скорости 67,8 м/с при $f_{k0} = 0,3$ [10]. Зеленая зона на рис. 5 представляет пространство возможностей для дальнейшего разгона ($a_x > 0$) – например, при $\beta = 45^\circ$ $V_{\max} = 91,26$ м/с (см. подробно в работе [10]). В данном случае энергообеспеченность вертикальной компоненты способствовало улучшению динамики движения квантомобиля.

Анализ рис. 4 и 5 позволяет оценить разницу в формировании показателей двух сравниваемых разгонов на временном лаге 100с до скорости $V_{\max\beta} = 67,8$ м/с.

На рис. 4 приведены показатели двух сравниваемых разгонов на лаге 100 с до скорости $V_{\max\beta} = 67,8$ м/с. Разгон при $\beta = 0$ более динамичен (см. мощности N_{Fa} на экспликациях 3 и 23, также графики скорости на экспликациях 7 и 27); кинетическая энергия A_{Fa} при $\beta = 0$ накапливается быстрее – за 30 с она достигает максимума, далее оставаясь постоянной (сравни графики 13 и 33). Но более высокие значения текущей скорости (в одних и тех же сечениях времени), однако, вызывают более высокие значения сил сопротивления воздуха F_w и соответствующей мощности N_{Fw} (сравни графики 2 и 22), приводя в процессе разгона к повышенным энергозатратам A_{Fw} на эту составляющую суммарных затрат энергии (сравни графики 12 и 32).

В табл. 2 приведены показатели трех разгонов на временном лаге 1000 с, позволяющие провести сравнительный анализ и расчет энергозатрат на лифт.

Таблица 2 - Показатели сравниваемых разгонов квантомобиля

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.162.7>

№	Показатель	Невывешенный ТС ($\beta = 0^\circ$)	Частично вывешен ТС ($\beta = 45^\circ$)	Вывешенный ТС ($\beta = 77,9^\circ$)
1	Скорость V_{\max} , м/с	67,8	91,26	68,17
2	Путь S , м	67 350	90 300	66 580
3	Сила F_T , Н	71312	29829	0,01266
4	Сила F_w , Н	18667	33812	18868
5	Сила F_a , Н	20	0	0
6	Сила F_{Tx} , Н	90000	63640	18868
7	Сила F_{Tz} , Н	0	63640	88000
8	N_{Fr} , Вт / A_{Fr} , Дж	4 835 528 / 4 788 696 248	2 722 154 / 2 678 043 385	0,8629 / 834
9	N_{Fw} , Вт / A_{Fw} , Дж	1 265 800 / 1 251 337 944	3 085 626 / 3 029 876 011	1 286 253 / 1 234 500 924
10	N_{Fa} , Вт / A_{Fa} , Дж	1 374 / 21 629 824	0 / 39 097 077	0 / 21 712 148
11	N_{FTx} , Вт / A_{FTx} , Дж	6 102 702 / 6 061 664 016	5 807 780 / 5 747 016 473	1 286 254 / 1 256 213 906
12	N_{FT} , Вт / A_{FT} , Дж	6 102 702 / 6 061 664 016	8 213 248 / 8 127 316 973	6 135 397 / 5 992 105 364
13	$N_{FTzdiff}$, Вт / $A_{FTzdiff}$, Дж	0 / 0	2 405 468 / 2 380 300 499	4 849 143 / 4 735 891 459

14	$K_{nf,h}$, Вт/Н	nan	37,8	55,1
15	$K_{fn,h}$, Н/кВт	nan	26,5	18,1

Примечание: $F_T = 90000$ Н, $f_{k0} = 0,3$, $t_r = 1000$ с

В табл. 2 и далее S , F_r , F_w , F_a – финальные значения пути и сил на отметке $t_r = 1000$ с; F_{Tx} и F_{Tz} – постоянные на всем лаге; N_{Fr} , N_{Fw} , N_{Fa} , N_{FTx} , N_{FT} , – финальные значения мощности, развиваемой соответствующими силами. $N_{FTzdiff} = N_{FT} - N_{FTx}$ – разница значений мощности, развиваемой силой F_T невывешенного экипажа и силой F_{Tx} вывешенного экипажа – всё для максимальной скорости; это потребная мощность реализации силы F_{Tz} , на базе которой формируется ЭЦВТ $K_{nf,h} = N_{FTzdiff} / F_{Tz}$.

В табл. 2 и далее A_{Fr} , A_{Fw} , A_{Fa} , A_{FTx} , A_{FT} – значения работы, совершенной соответствующими силами силового баланса за время реализации t_r . $A_{FTzdiff} = A_{FT} - A_{FTx} = \int_0^{t_r} N_{FTzdiff} dt$ – разница значений работы, совершаемой силой F_T невывешенного экипажа и силой F_{Tx} вывешенного экипажа – всё на лаге t_r ; это работа силы F_{Tz} , совершенной в соответствии с искомой величиной показателя $K_{NF,h}$.

Табл. 2 заполнялась данными с распечаток результатов ПИМ вида рис. 3. Для примера, конкретно данные с цифровых дисплеев рисунка 3 разместились в таблице в колонке $\beta = 77,9^\circ$ вывешенного ТС.

Обсуждение

Обсудим значения искомых величин и уровень возможных погрешностей.

Разница финальных значений мощности по преодолению сил сопротивления продольному движению экипажа для двух вариантов движения (строки 11–13 табл. 2):

$$N_{FTzdiff} = N_{FT} - N_{FTx} = 6\,135\,397 \text{ Вт} - 1\,286\,254 \text{ Вт} = 4\,849\,143 \text{ Вт.}$$

Тогда ЭЦВТ для равенства энергоэффективности квантомобиля и автомобиля-аналога должен составлять: $K_{NF,h} = 4\,849\,143/88000 = 55,1 \text{ Вт/Н}$.

Обратный ему коэффициент (в общепринятой размерности) $K_{FN} = 18,1 \text{ Н/кВт}$.

Другой вариант расчета – посредством средней мощности на лаге t_r . Сравнение значений работы A_{FTx} по преодолению сил сопротивления продольному движению экипажа в двух крайних вариантах (табл. 2 строка 11), позволяет выявить разницу совершаемой работы этих вариантов движения:

$$\Delta A_{FTx(0-77,9^\circ)} = 6\,061\,664\,016 - 1\,256\,213\,906 = 4\,805\,450\,110 \text{ Дж.}$$

Средняя мощность на лаге 1000 с составляет 4 805 450 Вт. И тогда $K_{NF,h} = 4\,805\,450/88000 = 54,6 \text{ Вт/Н}$.

Третий вариант расчета – по формуле (9): $K_{NF,h} = 67,8 (1 - \cos 77,9^\circ) / \sin 77,9^\circ = 54,8 \text{ Вт/Н}$. Для скорости $V_{\max} = 68,17 \text{ м/с}$ вывешенного ТС: $K_{NF,h} = 68,17 (1 - \cos 77,9^\circ) / \sin 77,9^\circ = 55,1 \text{ Вт/Н}$.

Разница в полученных оценках $K_{NF,h}$ невелика. Она объясняется наличием погрешности в постановке численного эксперимента (наличие и проявление этапа разгона; $F_a = 20 \text{ Н} > 0$, $N_{Fa} = 1374 \text{ Вт}$ – т.е. разгон за 1000 с не завершился; также $F_r = 0,01266 > 0$, $N_{Fr} > 0$ – не обеспечено абсолютное вывешивание при округлении значения $F_{Tz} = 88 \text{ кН см}$. – точку 2 на рис. 5).

В качестве примера, относительно работы воздушных сил A_{Fw} (см. строки 9 и 12 табл. 2), разница составляет около 0,3% общей суммарной работы:

$$(100(1\,234\,500\,924 - 1\,251\,337\,944) / 6\,061\,664\,016 = 0,277\%).$$

Эти погрешности – незначительны, их можно считать приемлемыми, тем более на фоне погрешностей численных процедур интегрирования и дифференцирования *Matlab*. В МПДК (для детального анализа сил, мощностей и работы) реализован первый вариант расчета – через $N_{FTzdiff}$.

Итак, сходные результаты разгонов (с одинаковыми конечной скоростью и накопленной кинетической энергией) обусловлены компенсацией физических факторов: работа сил сопротивления качению (при $\beta = 0^\circ$) заменяется работой сил антигравитации (на осуществление лифта продолжительностью 1000 с. при $\beta = 77,9^\circ$). То есть эффект устранения сопротивления качению по горизонтальной ОП как бы обеспечивается в каждый момент времени передачей мощности на поддержку вертикальной силы F_{Tz} .

Полученные количественные оценки можно принять за ориентиры в балансе составляющих энергозатрат квантомобиля: затраты на лифт экипажа должны характеризоваться величиной коэффициентов в лучшую сторону от полученных значений. Таким образом для рассмотренного примера относительно ЭЦВТ должно выполняться неравенство: $K_{NF,h} < 55,1 \text{ Вт/Н}$.

Проведены расчеты ЭЦВТ $K_{NF,h}$ и ЭЦГТ $K_{NF,l}$ для четырех значений f_{k0} и четырех значений β – результаты (с округлением до целого) в табл. 3. Поскольку, как было отмечено выше, величина $K_{NF,l}$ имеет размерность скорости, то в табл. 3 в роли ЭЦГТ выступает скорость V_{\max} (именно с этой скоростью энергия передается от мобильного объекта в среду движения).

Таблица 3 - Значения граничной цены тяги ($K_{NF} = N/F$, Вт/Н) в зависимости от коэффициента сопротивления качению f_{k0} и угла наклона вектора тяги β

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.162.8>

Коэффициент сопротивления	Угол наклона вектора тяги β , град			
	Невывешенный ТС ($\beta = 0^\circ$)	Вывешен частично ($\beta = 15^\circ$)	Вывешен частично ТС ($\beta = 45^\circ$)	Вывешен полностью

влияние качественно							$(\beta = 77,9^\circ)$	
	Лифт (ЭЦВТ)	Вдоль (ЭЦГТ)	Лифт (ЭЦВТ)	Вдоль (ЭЦГТ)	Лифт (ЭЦВТ)	Вдоль (ЭЦГТ)	Лифт (ЭЦВТ)	Вдоль (ЭЦГТ)
0,3	–	68	10	77	38	91	55	68
0,2	–	83	12	83	41	100	55	68
0,1	–	105	15	112	46	111	55	68
0,01	–	146	19	142	51	124	55	68

Анализ результатов расчетов, собранных в табл. 3, позволяет отметить следующее. Диапазон значений цены горизонтальной тяги ЭЦГТ на движение конкретного исследованного ТС с максимальной для него скоростью (в рассмотренных условиях движения и при $F_T \approx G_q$) составил $68 \div 146$ м/с. Диапазон значений требуемой цены вертикальной тяги ЭЦВТ на вывешивание ТС составил $0 \div 55$ Вт/Н. При любой степени использования лифта цена вертикальной тяги оказалась ниже цены горизонтальной тяги (той же реализации плана эксперимента).

Теперь, используя данные табл. 1, можно оценить место требований к КД со стороны ТС на фоне развивающегося технического направления – оно находится в середине ряда между реально существующими и прогностическими силовыми установками обеспечения лифта (примерно на уровне Винтокрылого носителя для воздушного старта ракет и вертолетов – см. строки 4-6 табл.1 с учетом размерности).

Заключение

Разработанная в среде авторской Simulink-модели приземного движения квантомобиля (МПДК) подсистема Energetics позволила провести расчетное исследование формирования энергозатрат на этапах разгона и установившегося движения ТС. Эта модель, по мнению автора, может стать ядром алгоритмов расчета динамических и энергетических показателей произвольного движения квантомобиля.

На базе расчетов посредством МПДК преодолена познавательная сложность получения оценки реализуемой работы (энергозатрат) на вывешивание (лифт) экипажа. Неразрешимость (в рамках классической механики) расчета работы, совершаемой силой вертикального лифта при горизонтальном движении экипажа, – преодолена автором на основе идеи компенсации (перетока) энергии. Количество энергии, численно перемещаемой на ортогональное, вертикальное направление, равно разности между количеством совершаемой механической работы горизонтальных сил двух вариантов движения ТС: при отсутствии лифта и при полном вывешивании экипажа. Выигрыш от снижения сопротивления движению со стороны ОП при вывешивании экипажа сопровождается затратами энергии на поддержание лифта.

Величина ЭЦВТ $K_{NF, h} \approx 55$ Вт/Н носит весьма условный характер как минимум по двум причинам:

- 1) недостаточной широты полигона имитационного эксперимента;
- 2) отсутствия учета аэродинамической подъемной силы.

Тем не менее, по мнению автора, она позволила в первом приближении оценить порядок требований к энергообеспечению силовой тяги квантомобиля.

Классическая механика работает с изолированными, закрытыми системами. Развиваемая теория открытых систем [6], [22], одними из понятий которой являются понятия потоков энергии и мощности (которые, в частности, привлекаются к формализации извлечения энергии физического вакуума), по всей видимости, позволит в будущем охватить общими законами и рассмотренную в данной статье физическую особенность перетока энергии на ортогональные направления с привлечением категории Энергетическая цена тяги.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

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: 15.04.2024).
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: 15.04.2024).
4. 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: 15.04.2024).

5. Леонов В.С. Неракетный нереактивный 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.
6. Котиков Ю. Г. Энергетика транспорта / Ю.Г. Котиков. — СПб: СПбГАСУ, 2018. — 196 с.
7. Котиков Ю. Г. Квантомобиль как всесреднее транспортное средство. Вестник гражданских инженеров. — 2020. — № 4 (81). — СПб, СПбГАСУ. — С. 182–188. — DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-4-182-188.
8. Котиков Ю. Г. Использование свойств транспортных средств в концепте всесреднего мультимо-дального квантомобиля // Вестник гражданских инженеров. — 2020. — № 6 (83). — СПб, СПбГАСУ. — С. 195–205. — DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-6-195-205.
9. Kotikov Ju. The Rise of The Qantomobile Theory / Yu. Kotikov // Architecture and Engineering. — 2020. — Vol. 5, Iss. 4. — p. 74–81. — DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-4-74-81.
10. 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.
11. Котиков Ю. Г. Исследование динамики разгона квантомобиля средствами Matlab-Simulink / Ю. Г. Котиков // Вестник гражданских инженеров. — 2021. — № 6 (89). — СПб, СПбГАСУ. — С. 180–189.
12. Котиков Ю. Г. Исследование энергозатрат на разгон квантомобиля / Ю. Г. Котиков // Вестник гражданских инженеров. — 2022. — № 2 (91). — СПб, СПбГАСУ. — С. 143–153.
13. Котиков Ю. Г. Прогнозирование устойчивости квантомобиля с привлечением материалов испытаний эталонных аэродинамических моделей автомобилей / Ю.Г. Котиков // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — №2 (140). — URL: <https://research-journal.org/archive/2-140-2024-february/10.23670/IRJ.2024.140.38> (дата обращения: 15.04.2024). — DOI: 10.23670/IRJ.2024.140.38.
14. Гусев Ю.Г. Сравнительный анализ выбора ЭРДУ большой мощности на основе отечественных ЭРД и перспективы их применения в системах межорбитальной транспортировки и для исследования дальнего космоса / Ю.Г. Гусев, А.В. Пильников, С.Е. Суворов // Космическая техника и технологии. — 2019. — № 4(27). — С. 45–55. — DOI 10.33950/spacetech-2308-7625-2019-4-45-55.
15. Результаты измерений удельной силы тяги антигравитационного квантового двигателя без выбро-са реактивной массы. Анализ, сравнение и перспективы применения квантовых двигателей. — ГК «КВАНТОН», Жуковка. — 2018. — 32 с. — URL: <https://strannik-2.ru/media/kunena/attachments/996/квантон-2.pdf> (дата обращения: 15.04.2024).
16. Винтокрылый электрический носитель для воздушного старта космических ракет. — URL: <https://patents.google.com/patent/WO2017021758A1/ru>. (дата обращения: 15.04.2024).
17. Свердлов С.З. Статический потолок электрического мультикоптера / С.З. Свердлов. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/staticheskiy-potolok-elektricheskogo-multikoptera?ysclid=lv2tjhehds283337884> (дата обращения: 15.04.2024).
18. Bramwell G. D. Bramwell's Helicopter Dynamics. Second edition / G. D. Bramwell, David Balmford D. — A. R. S. Butterworth-Heinemann, 2001. — URL: https://www.academia.edu/19519312/Bramwell_helicopter_dynamics. (accessed:15.04.2024).
19. Ong W. Design Methodology for Heavy-Lift Unmanned Aerial Vehicles with Coaxial Rotors / W. Ong, S. Srigrarom, H. Hesse. — January 2019, Conference: AIAA Scitech 2019 Forum At: San Diego, CA, USA. —DOI: 10.2514/6.2019-2095.
20. Мощность // Яндекс. — https://yandex.ru/search/?text=%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C+%D1%8D%D1%82%D0%BE&lr=2&clid=2411726&src=suggest_B. (дата обращения: 15.04.2024).
21. Иванов Е.М. Об аддитивности работ в классической механике / Е.М. Иванов // Успехи современного естествознания. — 2005. — № 12. — С. 10–12. — URL: <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=9611>. (дата обращения: 15.04.2024).
22. Кузнецов О. Л. Физика как наука о материальном мире / О. Л. Кузнецов, П. Г. Кузнецов, Б. Е. Большаков. — URL: <http://www.pobisk.narod.ru/Pr-ob-ch/t1.htm>. (дата обращения: 15.04.2024).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dirac P.A.M. The Principles of Quantum Mechanics / P.A.M. Dirac. — Claendon 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 (ac-cessed: 15.04.2024).
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: 15.04.2024).
4. Pat. 2185526 Rossijskaya Federaciya, МРК F 03 H 5/00. Sposob sozdaniya tyagi v vakuume i polevoj dvigatel' dlya kosmicheskogo korablya (varianty) [Pat. 2185526 Russian Federation, IPC F 03 X 5/00. A method for creating thrust in a vacuum and a field engine' for a spacecraft (options)] / Leonov V.S.; patent holders Leonov V.S., Pilkin V.E. — № 2001113320/06; appl. 21.05.2001; publ. 20.07.2002, Bull. № 20. — 60 p. — URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2185526C1_20020720?ysclid=ljloip35y5g195867225 (accessed: 15.04.2024) [in Russian].
5. Leonov V.S. Neraketnyj nereaktivnyj kvantovyy dvigatel': tekhnologiya, rezul'taty, perspektivy [Non-rocket non-reactive quantum engine': technology, results, prospects] / V.S. Leonov, O.D. Baklanov, M.V. Sautin [et al.] // Vozdushno-kosmicheskaya sfera [The aerospace sphere]. — 2019. — № 1. — P. 68-75. — DOI: 10.30981/2587-7992-2019-98-1-68-75 [in Russian].

6. Kotikov YU. G. Energetika transporta [Energy of transport] / YU.G. Kotikov. — SPb: SPbGASU, 2018. — 196 p. [in Russian]
7. Kotikov YU. G. Kvantomobil' kak vsesrednoe transportnoe sredstvo. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [The quantum car' as an all-medium vehicle. Bulletin of Civil Engineers]. — 2020. — № 4 (81). — SPb, SPbGASU. — P. 182–188. — DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-4-182-188 [in Russian].
8. Kotikov YU. G. Ispol'zovanie svoystv transportnyh sredstv v koncepte vsesrednogo mul'timo-dal'nogo kvantomobilya [Utilization of vehicle properties in the concept of an omnidirectional multi-modal quantummobile] // Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. — 2020. — № 6 (83). — SPb, SPbGASU. — P. 195–205. — DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-6-195-205 [in Russian].
9. Kotikov Ju. The Rise of The Quantumobile Theory / Yu. Kotikov // Architecture and Engineering. — 2020. — Vol. 5, Iss. 4. — p. 74–81. — DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-4-74-81.
10. Kotikov YU. G. Osnovy teorii kvantomobilya [Fundamentals of Car theory] / YU.G. Kotikov. — SPb: SPbGASU, 2021. — 210 p. — DOI: 10.23968/978-5-9227-1142-5-2021-1-253 [in Russian].
11. Kotikov YU. G. Issledovanie dinamiki razgona kvantomobilya sredstvami Matlab-Simulink [Investigation of the dynamics of car acceleration by means of Matlab-Simulink] / YU.G. Kotikov // Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. — 2021. — № 6 (89). — SPb, SPbGASU. — P. 180–189 [in Russian].
12. Kotikov YU. G. Issledovanie energozatrat na razgon kvantomobilya [A study of energy consumption for the acceleration of a quantumobile] / YU. G. Kotikov // Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. — 2022. — № 2 (91). — SPb, SPbSASU. — P. 143–153 [in Russian].
13. Kotikov YU. G. Prognozirovanie ustojchivosti kvantomobilya s privlecheniem materialov ispyta-nij eta-lonnyh aerodinamicheskikh modelej avtomobilej [Predicting the stability of a quantum car using test materials of reference aerodynamic car models] / YU.G. Kotikov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. — 2024. — №2 (140). — URL: <https://research-journal.org/archive/2-140-2024-february/10.23670/IRJ.2024.140.38> (accessed: 15.04.2024). — DOI: 10.23670/IRJ.2024.140.38 [in Russian].
14. Gusev YU.G. Sravnitel'nyj analiz vybora ERDU bol'shoj moshchnosti na osnove otechestvennyh ERD i perspektivy ih primeneniya v sistemah mezhorbital'noj transportirovki i dlya issledovaniya dal'nego kosmosa [Comparative analysis of the presidential elections of Greater Russia based on domestic research and prospects for their application in interorbital transportation systems and for deep space exploration] / YU.G. Gusev, A.V. Pil'nikov, S.E. Suvorov // Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii [Space engineering and technology]. — 2019. — № 4(27). — P. 45–55. — DOI 10.33950/spacetech-2308-7625-2019-4-45-55 [in Russian].
15. Rezul'taty izmerenij udel'noj sily tyagi antigravitacionnogo kvantovogo dvigatelya bez vybro-sa reak-tivnoj massy. Analiz, sravnenie i perspektivy primeneniya kvantovyh dvigatelej [The results of measurements of the specific thrust force of an antigravity quantum engine without jet massy emission. Analysis, comparison and prospects for the use of quantum engines]. — GK «KVANTON», Zhukovka. — 2018. — 32 p. — URL: <https://strannik-2.ru/media/kunena/attachments/996/kvanton-2.pdf> (accessed: 15.04.2024) [in Russian].
16. Vintokrylyj elektricheskij nositel' dlya vozdušnogo starta kosmicheskikh raket [Rotorcraft electric carrier' for air launch of space rockets]. — URL: <https://patents.google.com/patent/WO2017021758A1/ru>. (accessed: 15.04.2024) [in Russian].
17. Sverdlov S.Z. Sticheskiy potolok elektricheskogo mul'tikoptera [Static ceiling of an electric multicopter] / S.Z. Sverdlov. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sticheskiy-potolok-elektricheskogo-multikoptera?ysclid=lv2tjhehds283337884> (accessed: 15.04.2024) [in Russian].
18. Bramwell G. D. Bramwell's Helicopter Dynamics. Second edition / G. D. Bramwell, David Balmford D. — A. R. S. Butterworth-Heinemann, 2001. — URL: https://www.academia.edu/19519312/Bramwell_helicopter_dynamics. (accessed:15.04.2024).
19. Ong W. Design Methodology for Heavy-Lift Unmanned Aerial Vehicles with Coaxial Rotors / W. Ong, S. Srigrarom, H. Hesse. — January 2019, Conference: AIAA Scitech 2019 Forum At: San Diego, CA, USA. — DOI: 10.2514/6.2019-2095.
20. Moshchnost' [Power] // Yandex. — https://yandex.ru/search/?text=%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C+%D1%8D%D1%82%D0%BE&lr=2&clid=2411726&src=suggest_B. (accessed: 15.04.2024) [in Russian].
21. Ivanov E.M. ob additivnosti rabot v klassicheskoy mekhanike [on the additivity of works in classical me-chanics] / E.M. Ivanov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [The successes of modern natural science]. — 2005. — № 12. — P. 10–12. — URL: <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=9611>. (accessed: 15.04.2024) [in Russian].
22. Kuznecov O. L. Fizika kak nauka o material'nom mire [Physics as a science of the material world] / O. L. Kuznecov, P. G. Kuznecov, B. E. Bol'shakov. — URL: <http://www.pobisk.narod.ru/Pr-ob-ch/t1.htm> (accessed: 15.04.2024) [in Russian].