

УДК 620.9(075.8) : 656.13.07

© Ю. Г. Котиков, д-р техн. наук, профессор  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
Санкт-Петербург, Россия)  
E-mail: cotikov@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-1-122-131

© Ju. G. Kotikov, Dr. Sci. Tech., Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering,  
St. Petersburg, Russia)  
E-mail: cotikov@mail.ru

## РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КВАНТОМОБИЛЯ

### COMPUTATIONAL RESEARCH OF THE QUANTOMOBILE LONGITUDINAL STABILITY

Исследование направлено на методические проработки оценки опрокидывающего момента, вызываемого тростом квантовых двигателей, для обеспечения продольной устойчивости квантомобиля. В отсутствие каких-либо натурных данных по рассматриваемой концепции квантомобиля, актуальным представляется получение оценок значимости изложенной проблемы — что и является целью данной работы. В среде ПО Matlab построена модель распределения нормальных реакций на опорных колесах квантомобиля. Сформирована методика исследования на основе названной модели. На базе модели квантомобиля — аналога грузовика — проведено расчетное исследование влияния расположения КвД на продольную устойчивость экипажа. Схема сил, действующих на квантомобиль, должна стать родовой для формирования схем квантомобилей с дополнительными трастерами для повышения продольной устойчивости экипажа.

*Ключевые слова:* квантовый двигатель, квантомобиль, силовой баланс, нормальные реакции на колеса, продольная устойчивость.

The purpose of the study is to elaborate a methodological evaluation of the car's rollover moment caused by the quantum engine thrust, in order to preserve the longitudinal stability of the quantomobile. In view of the lack of any full-scale data regarding the quantomobile concept under consideration, it appears to be relevant to obtain estimates of the significance of the stated problem, and this is the purpose of this paper. In the Matlab environment, there was constructed a model of normal reactions' distribution on the quantomobile supporting wheels. There was formed a research methodology based on the considered model. Based on the model of the quantomobile, an analogue of a truck, there has been conducted a computational study of the influence of the location of the QuEn on the longitudinal stability of the vehicle. The scheme of the forces operating on a quantomobile should become generic one for the formation of schemes of quantomobiles with additional thrusters for vehicle longitudinal stability increase.

*Keywords:* quantum engine, quantomobile, force balance, wheel normal reactions, longitudinal stability.

#### Введение

Благодаря научно-технической мысли возникли предпосылки создания нового класса двигательных установок — квантовых двигателей (КвД). Реализация передовых идей, например, КвД В.С. Леонова [1, 2], позволит реализовать извлечение энергоустановками энергии из физического вакуума. На смену автомобилям придёт поколение технических средств (ТС) с квантовыми двигателями — квантомобили [3].

КвД будут создавать векторную тяговую силу (траст), которую можно непосредственно, исключая трансмиссию, прикладывать к корпусу экипажа для его движения [2–4]. Колесное шасси ТС потеряет при этом функцию движителя, оставаясь всё же опорным устройством [5–9]. Все колеса становятся ведомыми.

Наземный режим движения квантомобиля, при наличии у траста вертикальной составляющей, сможет переходить в воздушный [9]. Для момента перехода особо важна

оценка потери продольной устойчивости, которую необходимо знать, чтобы компенсировать трастерами и/или оперением.

Приложение силы тяги в находящейся над опорной поверхностью (ОП) точке корпуса ТС меняет схему сил, действующих на наземное ТС. Точки возникновения и приложения сил тяги в пятнах контакта ведущих колес традиционных кинематических схем трансформируются в точки приложения вектора тяги КвД к корпусу ТС.

Формирование соответствующих кинематических схем будет небесполезным при раннем формировании типажа квантомобилей. В статье рассматривается обобщенная схема движения по горизонтальной ОП квантомобилей с только лишь продольным трастом КвД. Исследование направлено на методические проработки оценки опрокидывающего момента, вызываемого трастом КвД, для обеспечения продольной устойчивости квантомобилей.

Разница в величинах динамических нагрузок на колеса передней и задней осей экипажа (и соответственно нормальных реакций ОП) с точки зрения сохранения продольной устойчивости для автомобиля имеет второстепенное значение, поскольку на эксплуатационных режимах движения автомобиля названные нагрузки отражаются (воспринимаются) нормальными встречными реакциями достаточно твердой ОП, что обеспечивает продольную устойчивость.

В случае квантомобилей при векторе траста, вывешенном над ОП, следует ожидать формирования значительного продольного опрокидывающего момента [10], во время которого экипаж подвергнется вращательному движению в плоскости тангажа [11] при отсутствии твердой опоры (вывешивании квантомобилей).

В отсутствие каких-либо натуральных данных по рассматриваемой концепции квантомобилей актуальным представляется получение оценок значимости изложенной

проблемы — что и является целью данной работы. Задачи по достижению этой цели: выбор математической модели (ММ) движения квантомобилей, формирование на основе этой ММ Simulink-модели в среде Matlab, проведение совокупности расчетных имитаций, обсуждение и обобщение результатов расчетов.

### Методы

#### Силовой баланс квантомобилей

Для приближенной оценки устойчивости квантомобилей считаем достаточным моделирование движения экипажа с горизонтальным трастом по горизонтальной же ОП; также пренебрегаем учетом возможной подъемной, либо прижимающей силы, действующей на экипаж в целом.

Эта постановка и допущения позволяют использовать достаточно простой вариант уравнения силового баланса квантомобилей [3–6, 12]:

$$F_{Tx} = F_r + F_w + F_a = G_q f_{r0} (1 + f_{rv} V_q^2) + k_w S_{front} V_q^2 + \frac{G_q}{g} a (1 + \delta_{wh}), \quad (1)$$

где  $F_{Tx}$  — продольная сила тяги КвД (траст), Н;  $F_r$  — сила сопротивления качению ведомых опорных колес, Н;  $F_w$  — сила сопротивления воздуха, Н;  $F_a$  — сила инерции, противодействующая ускорению экипажа, Н;  $G_q$  — вес квантомобилей, Н;  $f_{r0}$  — коэффициент сопротивления качению колес (трогания) при нулевой скорости;  $f_{rv}$  — скоростной коэффициент сопротивления качению колес,  $c^2/m^2$ ;  $V_q$  — текущая скорость продольного движения экипажа, м/с;  $k_w$  — коэффициент обтекаемости экипажа воздухом,  $H \times c^2/m^4$ ;  $S_{front}$  — лобовая площадь экипажа,  $m^2$ ;  $g$  — ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $a$  — продольное ускорение экипажа,  $m/c^2$ ;  $\delta_{wh}$  (deltaWh) — коэффициент инерции вращения опорных колес экипажа.

Используем понятие приведенной массы:  $m' = G_q (1 + \delta_{wh}) / g$ . Для квантомобилей эта масса учитывает только вращение опорных колес, поскольку вращающиеся детали традици-

онного силового привода (ДВС, муфта сцепления, коробка передач, главная передача) отсутствуют.

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

Также отметим, что в нотации Simulink математической записи уравнения соответствует символьная форма записи для сигналов (только латиница, прямым шрифтом, без надстрочных и подстрочных индексов), например:

$$F_{Tx} = F_r + F_w + F_a. \quad (2)$$

Эту форму записи будем также использовать далее.

На рис. 1 отображен график прикладываемых к экипажу сил, а также приведены обозначения:  $V_q$  — вектор скорости движения квантомобиля;  $C_g$  — центр тяжести экипажа;  $G_q$  — сила тяжести экипажа;  $F_{Tx}$ ,  $F_w$ ,  $F_a$ ,  $F_{f1}$  и  $F_{f2}$  — продольная сила тяги КвД, сила сопротивления воздуха, приведенная сила инерции экипажа, силы сопротивления качению передних и задних колес, соответственно;  $T_{f1}$  и  $T_{f2}$  — моменты сопротивления качению колес;  $h_w$ ,  $h_{FTx}$ ,  $h_g$  — расстояния векторов соответствующих сил  $F_w$ ,  $F_{Tx}$ ,  $F_a$  от ОП;  $L$ ,  $L_1$  и  $L_2$  — расстояния базовое и от осей колес до проекции центра тяжести на ОП;  $A$  и  $B$  — цен-

тральные точки пятен контакта колес с ОП;  $R_{z1}$  и  $R_{z2}$  — искомые нормальные реакции;  $C_w$  — аэродинамический фокус;  $Q$  — точка приложения траста КвД к корпусу экипажа.

### Баланс моментов сил, действующих на квантомобиль

Схему формирования нормальных реакций  $R_z$  на опорных колесах квантомобиля разберем с помощью рис. 1 [12–15].

Сумма моментов относительно точки  $B$  задних колес:

$$\Sigma M_B = (R_{z1} \cdot L - G_q \cdot L_2) + (M_{f1} + M_{f2}) + F_w \cdot h_w + F_a \cdot h_g - F_{Tx} \cdot h_{FTx} = 0. \quad (3)$$

Момент, создаваемый трастом, — сумма реактивных моментов:

$$F_{Tx} \cdot h_{FTx} = (R_{z1} \cdot L - G_q \cdot L_2) + m' \cdot 0 \cdot h_g + + k_w \cdot S_{front} \cdot V_q^2 \cdot h_w + (T_{f1} + T_{f2}). \quad (4)$$

Учтем, что  $T_{f1} + T_{f2} = f R_{z1} r_{п1} + f R_{z2} r_{п2} = (R_{z1} + R_{z2}) f r_{п} = G_q f r_{п}$ , где  $r_{п}$  — динамический радиус колеса. В соответствии с формулой (1) коэффициент сопротивления качению колёс  $f = f_{r0} (1 + f_{rv} V_q^2)$ .

Рассмотрим фрагмент  $(R_{z1} \cdot L - G_q \cdot L_2)$ . Полная реакция ОП  $R_{z1}$  состоит из двух составляющих: статической и динамической, т. е.  $R_{z1} = R_{z1stat} + R_{z1din}$ . В статике, когда экипаж стоит и при этом  $F_{Tx} = 0$ , уравнения (3) и (4) вырождаются до вида  $(R_{z1} \cdot L - G_q \cdot L_2) = 0$ ,

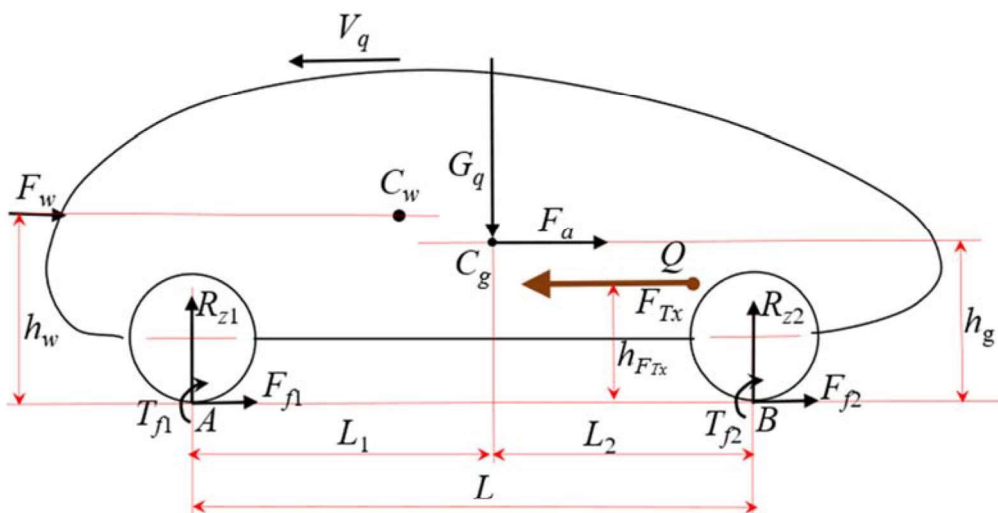


Рис. 1. Схема сил, действующих на наземный квантомобиль

и тогда  $R_{z1} = G_q \cdot L_2 / L = M_{z1stat} / L = R_{z1stat}$  (поскольку в статике  $R_{z1din} = 0$ ). Тогда для общего случая движения экипажа цепочка преобразований приведет к следующему:  $R_{z1} \cdot L - G_q \cdot L_2 = (R_{z1stat} + R_{z1din}) \cdot L - G_q L_2 = (G_q \cdot L_2 / L + R_{z1din}) \cdot L - G_q L_2 = G_q L_2 + R_{z1din} \cdot L - G_q L_2 = R_{z1din} \cdot L$  — это и есть опрокидывающий момент, возникающий в движении.

Теперь можно записать:

$$R_{z1din} \cdot L = F_{Tx} \cdot h_{Ftx} - G_q f_{r0} (1 + f_{rv} V_q^2) \cdot r_\delta - k_w S_{front} V_q^2 \cdot h_w - m^2 a \cdot h_g \quad (5)$$

$$R_{z1din} \cdot L = F_{Tx} \cdot h_{Ftx} - F_r \cdot r_\delta - F_w \cdot h_w - F_a \cdot h_g \quad (6)$$

В символьной нотации Simulink это запишется в виде (здесь переменную L потребовалось индексировать):

$$Rz1din \cdot Lwb = Ftx \cdot HFtx - Fr \cdot Rd - Fw \cdot Hw - Fa \cdot Hg. \quad (7)$$

Также используем

$$Mz1din = Mftx - Mfr - Mfw - Mfa. \quad (8)$$

Тогда нормальная реакция

$$Rz1din = (Mftx - Mfr - Mfw - Mfa) / Lwb. \quad (9)$$

Нормальная реакция задних колес в отсутствие подъемной силы в ММ:  $R_{z2din} = -R_{z1din}$ . Тогда разница между динамическими составляющими нагрузок колес передней и задней осей равна  $2 R_{z2din}$ .

Баланс моментов сил относительно точки В в нотации Simulink:

$$Mftx(t) = Mfr(t) + Mfw(t) + Mfa(t) + Mz1din(t), \quad (10)$$

где  $Mz1din(t)$  — динамический опрокидывающий момент.

Для условной оценки значимости динамического момента опрокидывания вокруг колес передней оси относительно стабилизирующего момента  $M_{1stat}$ , порожденного силой тяжести экипажа, введем безразмерный коэффициент (как показатель потери устойчивости):

$$K_{Mz1} = M_{z1din} / M_{z1stat}. \quad (11)$$

### Учет трения покоя колес при трогании и смене направления движения экипажа

Процесс трогания ведомого колеса сродни картине сухого трения [16–18]. Это ока-

зывает влияние на формирование продольной устойчивости.

Рассматриваем процесс без учета упругости и податливости конструктивных элементов квантомобиля и ОП, а также скольжения колес.

Чтобы вызвать качение ведомого колеса, к нему необходимо приложить толкающее усилие  $F_{kx}$ . У опорного колеса квантомобиля такое усилие прикладывается к его оси вращения, со стороны рамы (корпуса) экипажа.

Однако приложение к колесу усилия  $F_{kx}$ , как известно, не сразу приводит колесо в режим качения. Для этого необходимо, чтобы величина усилия  $F_{kx}$  была достаточной для преодоления силы сопротивления сдвига покоящегося колеса, а для всех колес квантомобиля суммарно это:  $\Sigma F_{kx} = F_{r0} = f_{r0} \cdot G_q$ . Пока не достигнута эта величина, экипаж стоит [19, 20]. Отметим, при полной остановке экипажа (в результате замедления) значение  $F_r$  в момент остановки сбрасывается с величины  $F_{r0}$  до нуля.

Если экипаж меняет направление своего продольного движения, т. е. проходит точку  $V_x = 0$ , то в этот момент остановки значение  $F_r$  сбрасывается до нуля, а затем наращивается до значения  $-F_{r0}$  (силы уже другого знака). Темп наращивания этой силы, а также скорости колес зависит от величины тяговой силы  $F_{Tx}$  в этот период: при  $|F_{Tx}| \geq |F_{r0}|$  движение колес (и квантомобиля) с наращиванием скорости начинается сразу, а при  $|F_{Tx}| < |F_{r0}|$  движение колес отсутствует до момента выполнения равенства  $|F_{Tx}| = |F_{r0}|$ .

Реализация таких условий задействования сил  $F_r$ ,  $F_{r0}$  и  $F_{Tx}$ , да еще в условиях асинхронного изменения знака скорости, формализована в алгоритме, который будет отражен ниже, на схеме рис. 2.

### Simulink-модель приземного движения квантомобиля (МПДК)

Структура авторской имитационной системы состоит из четырех подсистем: Scenario — для формирования сценария ис-

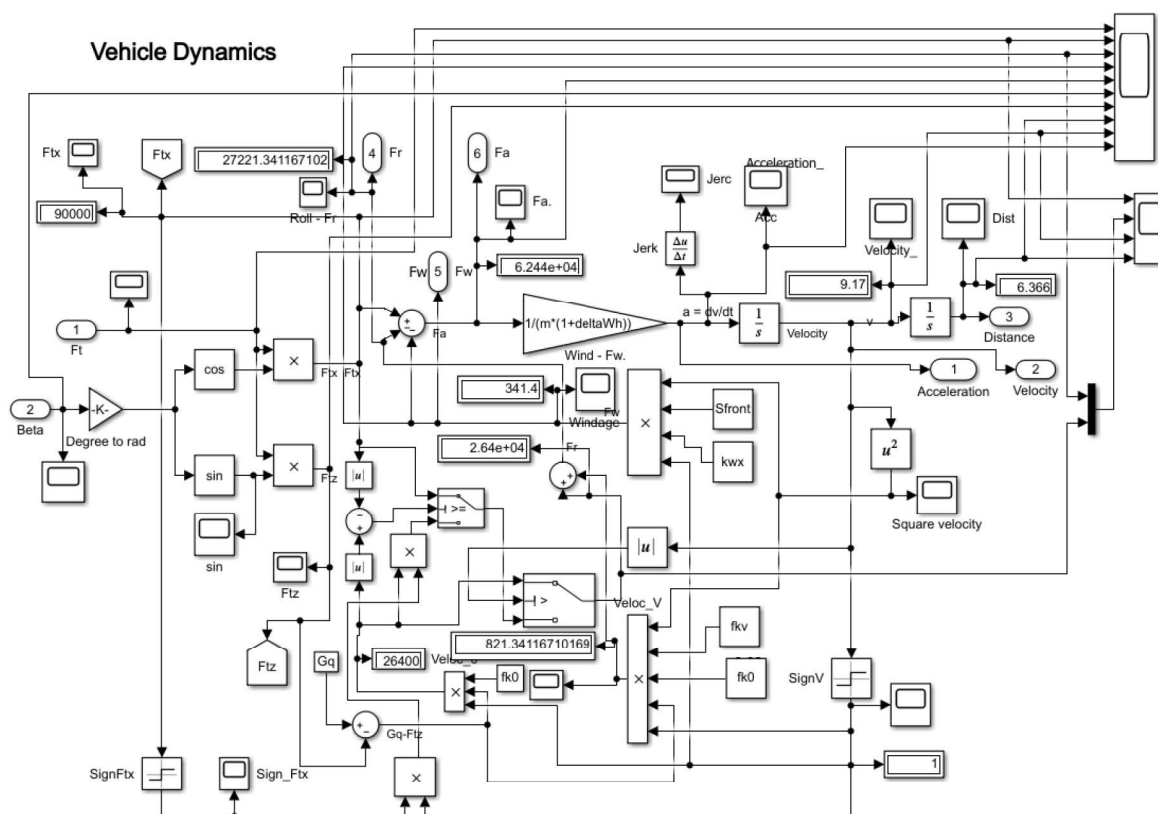


Рис. 2. Подсистема *Vehicle Dynamics*

следования и задания вектора траста  $F_T$  [21]; расчета показателей динамики продольного движения экипажа (рис. 2); расчета показателей энергетики движения [21]; расчета нормальных реакций *NormReactions* (рис. 3).

Отметим, что подсистемы изобилуют множеством блоков визуализации выходных данных. Это продиктовано поисковым характером исследования, необходимостью структурной и временной детализации процессов. В подсистеме *NormReactions*, например, информация собирается на осциллограф с 14 входами (см. рис. 3).

### Результаты имитационного моделирования

#### Объект расчетного исследования

В качестве объекта расчетного исследования определен квантомобиль, являющийся аналогом существующего автомобиля КамАЗ-4326 [3–8, 15].

Приведем расчеты для нормальных нагрузок колес только передней оси (учитывая, что  $R_{z_{din}} = -R_{z_{din}}$ ). Также пренебрежем сложной аэродинамикой — будем довольствоваться лишь обобщенным аэродинамическим коэффициентом.

Взяты данные движения автомобиля-аналога:  $G_q = 88$  кН;  $f_{r0} = 0,3$ ;  $f_{rV} = 4 \times 10^{-4} \text{ c}^2/\text{M}^2$ ;  $k_w = 0,5 \text{ H} \times \text{c}^2/\text{M}^4$ ;  $S_{front} = 7 \text{ M}^2$ ;  $\delta_{wh} = 0,04$  [15]. База экипажа  $L = 4,250$  м; составляющие базы:  $L_1 = 2,100$  м;  $L_2 = 2,150$  м. Высоты приложения сил:  $h_g = 1,3$  м;  $h_w = 1,6$  м;  $h_{FTx} = 1,0$  м. Максимальный траст КвД: 90 кН.

#### Трогание квантомобили

Зададим закон изменения вектора траста: первая секунда — рост от 0 Н до 90 000 Н; далее  $F_{Tx}(t) = 90\,000$  Н (рис. 4).

Видим, что для  $F_{r0} = f_{k0} \cdot G_q = 0,3 \cdot 88\,000 = 26\,400$  Н трогание колес происходит в момент времени  $t = 0,3$  с по достижении  $F_{Tx} = F_r = 26\,400$  Н. В пределах промежутка

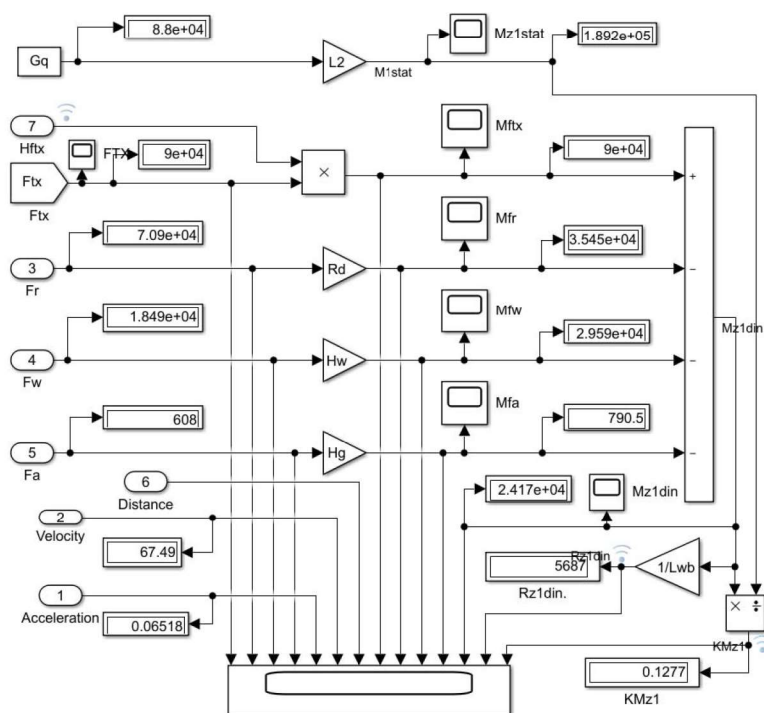


Рис. 3. Подсистема расчета нормальных реакций и сопутствующих величин *NormReactions*

времени  $0 < t \leq 0,3$  с  $F_r(t) = F_{Tx}(t)$ ,  $F_w(t) = 0$ ,  $F_a(t) = 0$  — поскольку и скорость, и ускорение равны нулю. Растущая сила  $F_{tx}(t)$  целиком идет на накопление силы страгивания колес. Возникающий динамический опрокидывающий момент  $M_{z1din}(t)$  растет до 13 000 Нм, соответственно динамическая составляющая нагрузки на колеса передней оси  $R_{z1din}(t)$  до 3000 Н (экипаж «клюет»). Величина коэффициента  $K_{Mz1}$  при этом достигает значения 0,07 (7 %).

Во временном интервале  $0,3 \text{ с} < t < 1$  с  $F_{tx}$  растет до максимума 90 000 Н.  $F_r$  растет медленно (в соответствии с величиной скоростного коэффициента  $F_{kv}$ ). Растут ускорение и скорость — благодаря увеличивающейся разнице сил ( $F_{tx} - F_r$ ). Величины момента  $M_{z1din}(t)$  и силы  $R_{z1din}(t)$  падают (в основном из-за больших ускорений экипажа); более того, при  $t = 0,8$  с они переходят в отрицательную область;  $K_{Mz1}$  при  $t = 1$  с достигает значения  $K_{Mz1} = -0,03$  (-3 %) — динамическая нагрузка переходит с колес передней оси на

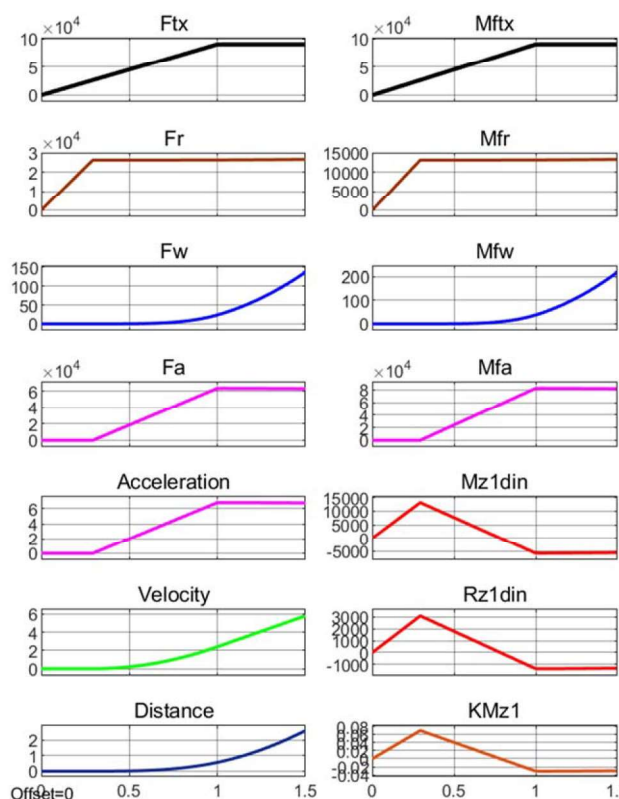


Рис. 4. Динамика изменения сил и моментов при трогании квантомобиля

колеса задней оси (реализуется потенциальная энергия, накопленная до страгивания экипажа).

### Разгон квантомобиля

Динамику движения в фазе разгона можно проследить с помощью рис. 5. Видим, что сила  $R_{z1din}$  и ее момент  $M_{z1din}$  разгружают колеса передней оси до отметки  $t = 5$  с, затем начинают их загружать. На 30-й с разгон практически заканчивается — об этом свидетельствует зануление ускорения. На рис. 3 посредством дисплеев зафиксирован именно этот момент. Можем убедиться, что баланс сил (по уравнению (9)) соблюден:  $90\,000 \approx 70\,900 + 18\,490 + 608$ . Также соблюден баланс моментов сил (по формуле (10)):  $90\,000 \approx 35\,450 + 29\,590 + 790,5 + 24\,170$ .

В конце разгона коэффициент  $K_{Mz1} = 0,1277$  (12,77 %) (см. рис. 5).

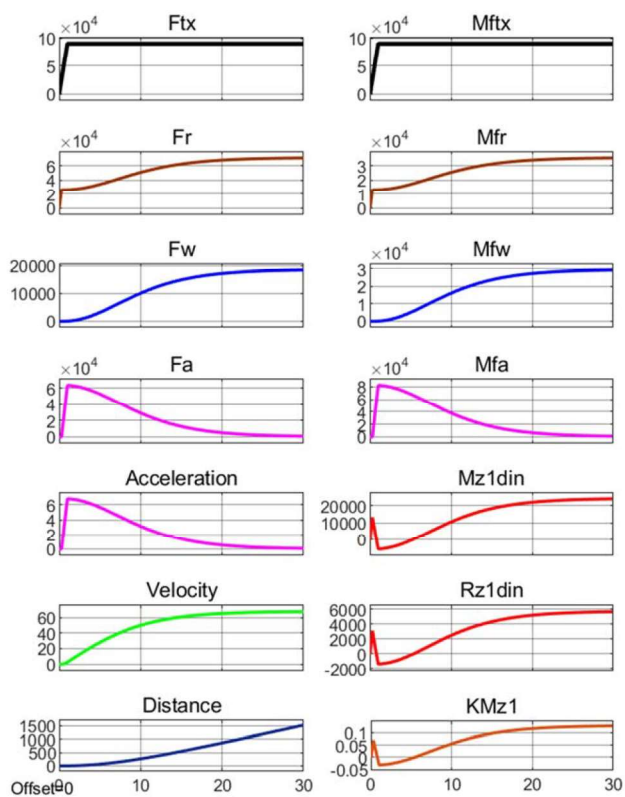


Рис. 5. Динамика изменения сил и моментов при разгоне квантомобиля

### Продольное маневрирование

Продольное маневрирование — возвратно-поступательное движение экипажа путем смены направления задающего вектора траста.

На рис. 6 отражено изменение сил и моментов при изменении траста  $F_{tx}$ . Видим трогание колес при значении  $F_r = F_{tx} = 26\,400$  Н. Отмечаем, несмотря на достижение трастом нулевого значения на 35-й с, выход скорости на нуль при 40 с — при этом переброс  $F_r$  от  $26\,400$  Н до  $-26\,400$  Н. Этим объясняется ступенчатое изменение ускорения, силы  $F_a$ , а также  $R_{z1din}$  и  $M_{z1din}$ . Отмечаем, что экипаж, пройдя вперед  $1000$  м, вернулся к концу на нулевую позицию.

Коэффициент  $K_{Mz1}$  принимает свои максимальные положительное и отрицательное значения  $\pm 0,17$  (17 %).

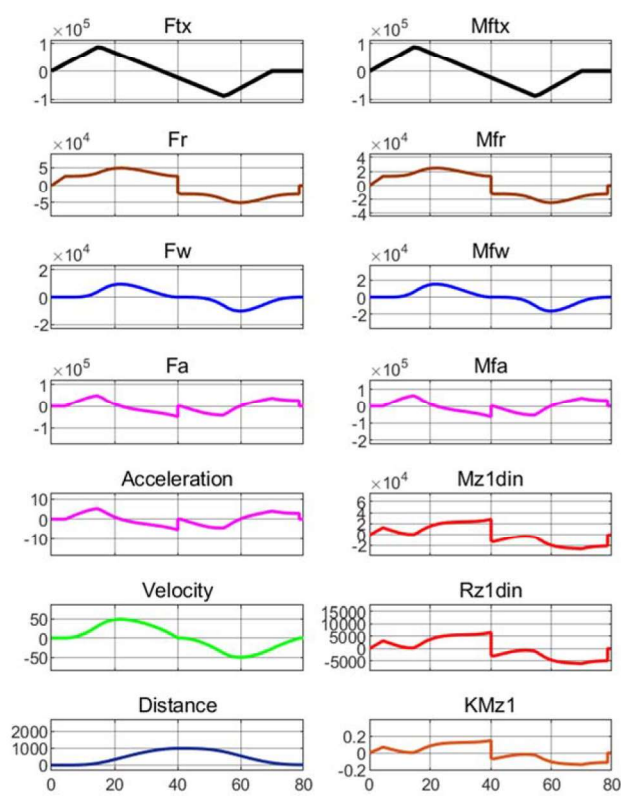


Рис. 6. Динамика сил и моментов при маневрировании

### Обсуждение

Сформированная методика оценки продольной устойчивости квантомобиля на базе созданной Simulink-программы может послужить основой расчетной оптимизации компоновок этого вида ТС.

В качестве примера оценим влияние высоты действия (установки) траста КвД  $H_{Ftx}$  на продольную устойчивость экипажа. На рис. 7, а представлено семейство кривых зависимостей динамической нагрузки на колеса передней оси  $R_{z1din}$  в процессе разгона от высоты действия траста  $H_{Ftx}$  в диапазоне значений высоты 0,6–1,4 м. На рис. 7, б аналогичные зависимости для показателя потери устойчивости  $K_{Mz1}$ .

Из рис. 7 видим, что высота действия траста существенно влияет на продольную устойчивость. При высоте действия  $H_{ftx} = 1,4$  м динамическая нагрузка достигает трети статической нагрузки на колеса передней оси (для рассматриваемой компоновки). А при высоте действия 0,6 м динамические усилия имеют вывешивающий характер в процессе всего разгона. Это закономерность для выбранного сочетания весовых, геометрических и средовых параметров на-

шего сквозного примера. Естественно, для других сочетаний подвижки зависимостей могут быть существенными — здесь показаны возможности программы и методические аспекты ее использования.

Для нейтрализации опрокидывающего момента роль опоры может играть, например, дополнительный вертикальный трастер, отдаленный в плоскости тангажа от основного трастера. Но постоянная смена режимов движения экипажа потребует и оперативно меняющейся и согласованной силы тяги дополнительного трастера. Это касается и оперения. Естественно, функционирование трастера и оперения должно охватываться общим контуром системы управления, в которой должны использоваться базовые зависимости типа рассмотренных.

Осознание того, что в приведенном нами примере для квантомобиля-аналога фактически использована несовершенная геометрическая форма «короба» автомобиля КамАЗ-4326, обозначает перспективу возможности существенного улучшения аэродинамики квантомобиля при устремлении его формы к «летающему крылу» [10]. Тогда на высоких скоростях, благодаря возникно-

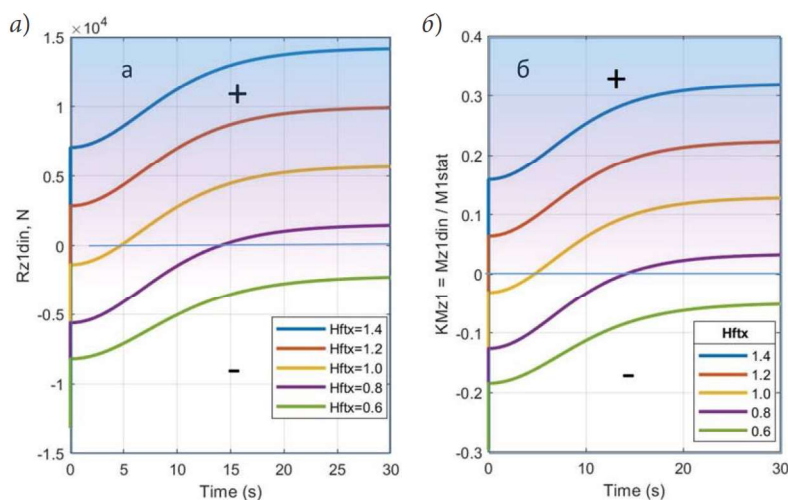


Рис. 7. Влияние высоты действия траста КвД  $H_{Ftx}$  на продольную устойчивость экипажа в процессе его разгона: а — динамическая нагрузка на передние колеса  $R_{z1din}$ ; б — показатель потери устойчивости  $K_{Mz1}$ ; «+» — усилие, прижимающее к ОП; «-» — усилие, вывешивающее над ОП



вению подъемной силы, распределение нормальных реакций существенно изменится с уменьшением продольного опрокидывающего момента. Но тем не менее, представленная здесь методика, по мнению автора, будет необходимой базовой частью исследований и проектирования компоновки и конструктивного воплощения квантомобилей.

### Заключение

Simulink-модель приземного движения квантомобиля, сформированная на основе рассмотрения кинематической схемы сил, действующих на квантомобиль, и привлечения математической модели трогания и движения экипажа, позволила провести расчетное исследование динамики продольного маневрирования квантомобиля с фиксацией опрокидывающих моментов и производных величин, характеризующих продольную устойчивость экипажа.

На основе результатов имитационного моделирования показана значимость проблемы обеспечения продольной устойчивости квантомобиля.

Методика оценки продольной устойчивости квантомобиля на базе созданной программы может послужить основой расчетной оптимизации компоновок этого вида ТС.

На базе расчетов посредством МПДК преодолена познавательная сложность отбраживания и количественной оценки параметров продольного движения гипотетического квантомобиля.

МПДК можно рассматривать как важную компоненту структуры дальнейших исследований функционирования квантомобиля средствами Matlab-Simulink.

### Библиографический список

1. Патент № 2185526 Российская Федерация. Способ создания тяги в вакууме и полевой двигатель для космического корабля (варианты) / Леонов В. С. Бюллетень № 20 от 20.07.2002. URL: <https://drive.google.com/>

<file/d/0B1gwB1O4JZNwdjVCdWtrN3ZSVDJMMUffWlpFVHRIZw/view>

2. Leonov V. S. Quantum Energetics. Vol. 1. Theory of Superunification. Cambridge International Science Publishing, 2010. 745 p. URL: [http://www.cisp-publishing.com/acatalog/info\\_54.html](http://www.cisp-publishing.com/acatalog/info_54.html)

3. Котиков Ю. Г. Энергетика транспорта: монография. СПб.: СПбГАСУ, 2018. 196 с. URL: <http://dx.doi.org/10.23968/978-5-9227-0935-4-2018-1-206>.

4. Kotikov Ju. Comparative Analysis of Energy Consumption by Modern Cars and Future Qantomobiles. Architecture and Engineering. Vol. 3. Is. 4. Pp. 26–32.

5. Котиков Ю. Г. Тягово-скоростные свойства квантомобиля // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1 (72). С. 168–176.

6. Kotikov Ju. Specifics of the Qantomobile Force Balance. Architecture and Engineering, Vol. 4. Is. 1. Pp. 3–10.

7. Котиков Ю. Г. Расчетное исследование силового баланса квантомобиля // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2 (73). С. 147–152.

8. Kotikov Ju. Actualization of the Qantomobile Force Balance in the Pitch Plane. Architecture and Engineering. Vol. 4. Is. 2. Pp. 53–60.

9. Kotikov Ju. The Rise of the Qantomobile Theory. Architecture and Engineering. Vol. 5. Is. 4. Pp. 74–81.

10. Степанов Г. Ю. Гидродинамическая теория аппаратов на воздушной подушке. М., МАШГИЗ, 1963. 94 с.

11. Бень Е. Модели и любительские суда на воздушной подушке; пер. с польск. Л.: Судостроение, 1983. 128 с. URL: <https://dl.booksee.org/genesis/224000/c9a35762213c89c356f5b3c278d86788/as>.

12. Kotikov Ju. Distribution of the Normal Reactions on the Qantomobile Wheels. Architecture and Engineering. Vol. 6. Is. 4. Pp. 72–79.

13. Волков Е. В. Теория движения автомобиля: монография. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. 204 с.

14. Селифонов В. В., Хусаинов А. Ш., Ломакин В. В. Теория автомобиля. М.: МГТУ «МАМИ», 2007. 102 с.

15. Котиков Ю. Г. Основы теории квантомобиля: монография. СПб.: СПбГАСУ, 2021. 210 с. URL: <http://dx.doi.org/10.23968/978-5-9227-1142-5-2021-1-253>.

16. Mungan C. Rolling friction on a wheeled laboratory cart. URL: [https://www.usna.edu/Users/physics/mungan/\\_files/documents/Publications/PhysEd4.pdf](https://www.usna.edu/Users/physics/mungan/_files/documents/Publications/PhysEd4.pdf)

17. Zehil G., Gavin P. Simple algorithms for solving steady-state frictional rolling contact problems in two and three dimensions. International Journal of Solids and Structures. Vol. 50. Is. 6. 15 March 2013. Pp. 843–852.

18. Carrara V., and Kuga H. Estimating Friction Parameters in Reaction Wheels for Attitude Control. Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems

in Engineering, Volume 2013, Article ID 249674, 8 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/249674>

19. Кручинин П. А. Сухое трение в модели качения деформируемого колеса // Сборник научно-методических статей. Теоретическая механика. Вып. 30, 2018. М.: Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова. С. 139–147. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/122132450/>.

20. Копотилов В. И. Переход ведомого колеса в качение при трогании автомобиля с места. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_24372909\\_59215676.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24372909_59215676.pdf).

21. Котиков Ю. Г. Исследование энергозатрат на разгон квантомобиля // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 2 (91). С. 143–153.

### References

1. Leonov V. S. *Sposob sozdaniya tyagi v vakuume i polevoy dvigatel' dlya kosmicheskogo korablya (varianty)* [Method of vacuum thrust generation and field engine for spacecraft (variants)]. Patent RF, no. 2185526, 2002. Available at: <https://drive.google.com/file/d/0B1gwB1O4JZNwdjVcDwtrN3ZSVDJMMUffWlpFVHRIZw/view>

2. Leonov V. S. *Quantum Energetics. Vol. 1. Theory of Superunification*. Cambridge International Science Publishing, 2010, 745 p. Available at: [http://www.cispublishing.com/acatalog/info\\_54.html](http://www.cispublishing.com/acatalog/info_54.html)

3. Kotikov Yu. G. *Energetika transporta* [Transport energetics]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2018, 196 p. Available at: <http://dx.doi.org/10.23968/978-5-9227-0935-4-2018-1-206>

4. Kotikov Ju. Comparative analysis of energy consumption by modern cars and future quantomobiles. *Architecture and Engineering*, vol. 3, iss. 4, pp. 26–32.

5. Kotikov Ju. G. *Tyagovo-skorostnyye svoystva kvantomobilya* [Traction-speed properties of the quantomobile]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 1 (72), pp. 168–176.

6. Kotikov Ju. Specifics of the quantomobile force balance. *Architecture and Engineering*, vol. 4, iss. 1, pp. 3–10.

7. Kotikov Ju. *Raschetnoe issledovanie silovogo balansa kvantomobilya* [Research of energetics of quantamobile acceleration]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 2 (73), pp. 147–152.

8. Kotikov Ju. Actualization of the quantomobile force balance in the pitch plane. *Architecture and Engineering*, vol. 4, iss. 2, pp. 53–60.

9. Kotikov Ju. The rise of the quantomobile theory. *Architecture and Engineering*, vol. 5, iss. 4, pp. 74–81.

10. Stepanov G. Yu. *Gidrodinamicheskaya teoriya apparatov na vozduшной podushke* [Hydrodynamic theory of hovercrafts]. Moscow, MASHGIZ Publ., 1963, 94 p.

11. Ben' E. *Modeli i lyubitel'skie suda na vozduшной podushke* [Models and amateur hovercrafts]. Transl. from Polish. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1983, 128 p. Available at: <https://dl.booksee.org/genesis/224000/c9a35762213c89c356f5b3c278d86788/as>

12. Kotikov Ju. Distribution of the normal reactions on the quantomobile wheels. *Architecture and Engineering*, vol. 6, iss. 4, pp. 72–79.

13. Volkov E. V. *Teoriya dvizheniya avtomobilya* [Theory of the automobile movement]. Khabarovsk, Pacific State University Publ., 2018, 204 p.

14. Selifonov V. V., Khusainov A. Sh., Lomakin V. V. *Teoriya avtomobilya* [Theory of automobile]. Moscow, Moscow State Pedagogical University “MAMI” Publ., 2007, 102 p.

15. Kotikov Ju. G. *Osnovy teorii kvantomobilya* [Fundamentals of the quantomobile theory]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2021, 210 p. Available at: <http://dx.doi.org/10.23968/978-5-9227-1142-5-2021-1-253>

16. Mungan C. Rolling friction on a wheeled laboratory cart. Available at: [https://www.usna.edu/Users/physics/mungan/\\_files/documents/Publications/PhysEd4.pdf](https://www.usna.edu/Users/physics/mungan/_files/documents/Publications/PhysEd4.pdf)

17. Zehil G., Gavin P. Simple algorithms for solving steady-state frictional rolling contact problems in two and three dimensions. *International Journal of Solids and Structures*, vol. 50, iss. 6, March 15, 2013, pp. 843–852.

18. Carrara V., Kuga H. Estimating friction parameters in reaction wheels for attitude control. Hindawi Publishing Corporation, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, art. ID 249674, 8 p. Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/249674>

19. Kruchinin P. A. *Sukhoe trenie v modeli kacheniya deformiruemogo kolesa* [Dry friction in the rolling model of a deformable wheel]. *Sbornik nauchno-metodicheskikh statey* [In: Collection of scientific and methodical articles]. *Teoreticheskaya mekhanika – Theoretical Mechanics*, 2018, iss. 30. Lomonosov Moscow State University Publ., pp. 139–147. Available at: <https://istina.msu.ru/publications/article/122132450/>

20. Kopotilov V. I. *Perekhod vedomogo kolesa v kachenie pri troganii avtomobilya s mesta* [Transition of the driven wheel into the rolling state when the car is starting its motion]. Available at: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_24372909\\_59215676.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24372909_59215676.pdf)

21. Kotikov Ju. *Issledovanie silovogo balansa kvantomobilya* [Calculation research of the quantamobile power balance]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2022, no. 2 (91), pp. 143–153.