

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2021 Issue: 07 Volume: 99

Published: 30.07.2021 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Abdilmazhid Khuzhamurodovich Mamatkabilov
Termez State University
researcher
abdilmajid@mail.ru

MATHEMATICAL MODELS OF CURVILINEAR AND RECTILINEAR MOTION OF A CAR TAKING INTO ACCOUNT THE ELASTICITY AND DEFORMABILITY OF TIRES

Abstract: The paper proposes about the stability of the curvilinear and rectilinear movement of the car, taking into account the elasticity and deformable tires, the transverse and longitudinal roll angles of the car body in order to determine the rational values of the parameters.

Key words: rolling, wheel, carriage, deformable, tire, road, transverse, vertical, longitudinal, potential forces, kinematic parameters, curvilinear path.

Language: Russian

Citation: Mamatkabilov, A. K. (2021). Mathematical models of curvilinear and rectilinear motion of a car taking into account the elasticity and deformability of tires. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 07 (99), 179-185.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-07-99-35> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2021.07.99.35>

Scopus ASCC: 2600.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КРИВОЛИНЕЙНОГО И ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ С УЧЕТОМ УПРУГОСТИ И ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ШИН

Аннотация: В работе предлагается об устойчивости криволинейного и прямолинейного движения автомобиля с учетом упругости и деформируемой шин, поперечного и продольного углов крена кузова автомобиля с целью определения рациональных значений параметров.

Ключевые слова: качения, колеса, экипажа, деформируемой, шиной, дороге, поперечном, вертикальной, продольной, потенциальные силы, кинематические параметры, криволинейному пути.

Введение

УДК-539.3

Число публикаций по исследованию динамики колёсных транспортных средств в последние годы заметно возросло. Можно указать некоторые причины такого интереса к этой и проблеме.

Увеличение количества транспортных средств и рост интенсивности движения приводят к необходимости повышения их надёжности и безопасности. Увеличение транспортного потока и рост числа большегрузных автомобилей ведёт к ускорению разрушения дорожных покрытий.

Постоянная модернизация транспортных средств, активное внедрение элементов автоматического регулирования в различных

компонентах автомобилей требует оценки влияния всех вводимых усовершенствований на поведение автомобиля.

Современные исследования динамики автомобиля существенным образом отличаются не только от классических, восходящих к работам Жуковского и Рокара, но и от методов двадцати – тридцатилетней давности.

С одной стороны, развитие компьютерных технологий, связанных с аналитическими преобразованиями, позволяет рассматривать модели транспортных средств с большим числом степеней свободы, причем не только (в принципе) выписывать в аналитическом виде уравнения движения (необозримые с точки зрения специалиста, выполняющего преобразование в ручную). Сочетание этих методов с численным

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

анализом на быстродействующим компьютерах позволяет (в принципе) определить движение при самых разнообразных условиях.

С другой стороны, рост числа публикаций указывает на большое количество трудно решаемых проблем, одна из важнейших из них - определение зависимости тех или иных динамических свойств систем, например, устойчивости или характера потери устойчивости от тех или иных параметров задачи, причём эти проблемы такого рода, решение которых не может быть автоматически достигнуто увеличением количества учитываемых параметров или числа степеней свободы.

1.1. Постановка задачи. Кинематика системы

Рассмотрим движение автомобиля при следующих предположениях:

кузов автомобиля — твердое тело, установленное на четырех линейных пружинах с линейными демпферами;

центр масс передней зависимой подвески с управляемыми колёсами находится на одинаковом расстоянии от колёс;

колёса динамически сбалансированы, их средние плоскости всегда параллельны;

оси шкворней, поворотных цапф установлены под углами к вертикали, как в продольной, так и в поперечной плоскостях;

ось передней подвески автомобиля, упруго связанная с кузовом, может поворачиваться вокруг продольной оси автомобиля;

передние колёса жёстко связаны между собой и поворачиваются вокруг шкворней одновременно на углы \mathcal{G}_1 и \mathcal{G}_2 ;

задние колёса также жёстко связаны между собой, поперечно наклонены, причём углы их развала могут быть одинаковы.

Введём следующие обозначения:

(x, y, z) - координаты центра масс автомобиля;

θ - угол поворота автомобиля вокруг вертикальной оси;

\mathcal{G}_1 и \mathcal{G}_2 - углы поворота передних колёс вокруг шкворней, отсчитываемый от направления продольной оси автомобиля. Положительное направление отсчёта углов θ , \mathcal{G}_1 и \mathcal{G}_2 соответствует повороту колёс влево;

ψ - угол поворота оси передней подвески вместе с колёсами вокруг продольной оси автомобиля. Положительному значению угла соответствует подъём левого колеса;

γ_0 - угол продольного наклона шкворня. Он является положительным при смещении верхнего конца шкворня назад;

β_0 - угол поперечного наклона шкворня. Он считается положительным, если верхний конец шкворня смещен внутрь колеи;

β - угол поперечного наклона задних колёс. Он считается положительным, если верхняя часть колеса смещена внутрь;

v - угол продольного наклона кузова;

τ - угол поперечного наклона кузова;

m - масса автомобиля;

m_1 - масса задней части автомобиля без колёс и передней подвески;

m_{2i} - масса i -го колеса;

m_3 - масса передней подвески автомобиля;

l - расстояние от центра масс передней подвески до центра шкворня;

l_3 - расстояние от центра шкворня до центра колеса;

l_1 - расстояние от центра масс автомобиля до его передней оси;

l_2 - расстояние от центра масс автомобиля до его задней оси;

$L=l_1+l_2$ - база автомобиля;

$L_1=l+l_3$ - расстояние от центра масс передней подвески до центра колеса автомобиля (полуколея);

A_i - момент инерции i -го колеса со ступицей и тормозным барабаном относительно его диаметра;

B - момент инерции передней подвески относительно оси, перпендикулярной к ней и проходящей через центр масс (центральный момент инерции передней подвески);

C_i - осевой момент инерции i -го колеса;

D - момент инерции задней части автомобиля без передней подвески и колёс относительно оси, проходящей через её центр масс;

J_1 - момент инерции автомобиля без передних колёс относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс автомобиля;

J_2 - момент инерции передних колёс относительно оси шкворня;

J_3 - момент инерции передней подвески с управляемыми колёсами относительно продольной оси автомобиля;

K_2 - угловая жёсткость по координате ψ ;

K_1 - угловая жёсткость системы рулевого управления;

h_{2i} - коэффициент вязкого трения по координате ψ ;

h_{1i} - коэффициент вязкого трения в рулевом управлении;

K_2^l - угловая жёсткость стержневого устройства;

C_{pc} - коэффициент упругости рессоры;

$C_{ш}$ - радиальная жёсткость шины;

L_{pc} - расстояние от центра масс подвески до рессоры;

$h_{ш}$ - внутреннее сопротивление шины;

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИНЦ (Russia) = 0.126
 ESJI (KZ) = 9.035
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

h_a - внутреннее сопротивление амортизатора;

h_{pc} - внутреннее сопротивление рессор;

h_c - коэффициент вязкого трения стержневого устройства;

α_i - кинематический параметр i -ой шины, связанный с боковой деформацией шины;

β_i - кинематический параметр i -ой шины, связанный с угловой деформацией шины;

γ_i - кинематический параметр i -ой шины, связанный с углом наклона колеса;

a_i - коэффициент боковой жёсткости i -ой шины;

b_i - коэффициент угловой жёсткости i -ой шины;

σ_i - коэффициент упругости шины, связанный с боковой деформацией i -ой шины;

ρ_i - коэффициент упругости i -ой шины, связанный с углом наклона колеса;

r_i - радиус качения i -ого колеса;

ξ_i - боковая деформация i -ой шины;

φ_i - угловая деформация i -ой шины;

χ_i - угол наклона i -ого колеса;

η_i - продольная деформация i -ой шины;

Δ_i - угол вращения вокруг своей оси i -го колеса ($i=1,4$);

Предположим, что при малых отклонениях автомобиля от движения со скоростью V вдоль оси Ox скольжение шин по дороге отсутствует. В

данном случае $\dot{\Delta}_i = \frac{V}{r_i}$, где r_i радиус качения

колёс.

Рассматриваемая динамическая система состоит из шести связанных между собой тел: четырёх колёс, передней зависимой подвески и задней части автомобиля без передней подвески и колёс (рис.1.1).

Положение автомобиля определяется обобщёнными координатами: x, y, z - координаты центра масс автомобиля, θ - угол поворота автомобиля вокруг вертикальной оси, проходящий через масс автомобиля, ϑ_1, ϑ_2 - углы поворота передних колёс (левого и правого) вокруг шкворней, ψ - угол поворота оси передней подвески вместе с колёсами вокруг продольной оси автомобиля, Δ_i ($i=1,4$) - угол вращения колёс, также параметры деформации шин $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$, где индекс 1 и 2 относятся к левому и правому передних колёс, индекс 3 и 4 относятся к левому и правому задних колёс (рис.1.1). Координаты центра масс левого $C_1(x_{03}, y_{03}, z_{03})$ и правого $C_2(x_{04}, y_{04}, z_{04})$ передних колёс, центра масс передней подвески $O(x_{01}, y_{01}, z_{01})$, центра масс задней оси $B(x_{02}, y_{02}, z_{02})$, центра масс левого $D_1(x_{05}, y_{05}, z_{05})$ и правого $D_2(x_{06}, y_{06}, z_{06})$ задних колёс выражаются через обобщённые координаты $\theta, \vartheta_1, \vartheta_2, \psi, x, y, z$ автомобиля.

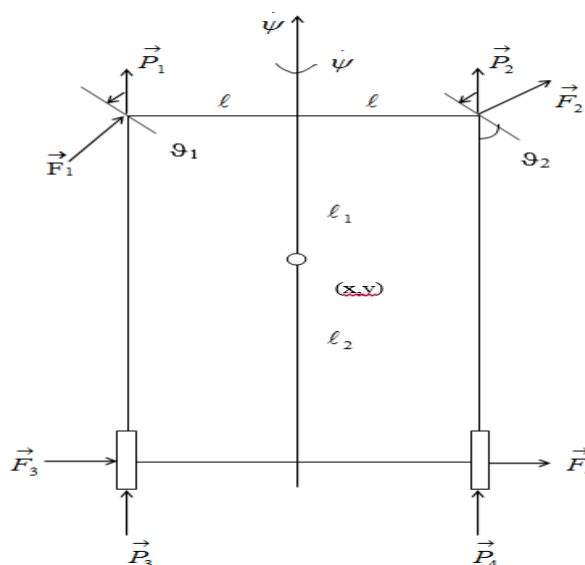


Рис.1.1.

Для этого введём следующие системы координат:

1) $\Sigma - OXYZ$ с началом в середине передней оси, ось OY направлена вдоль вектора скорости V , OZ - направлена вверх;

2) $\Sigma_1 - O_1X_1Y_1Z_1$ с началом в центре шкворня левого колеса, ось O_1X_1 , которая совпадает с передней осью, а ось O_1Y_1 параллельна скорости V ;

Impact Factor:

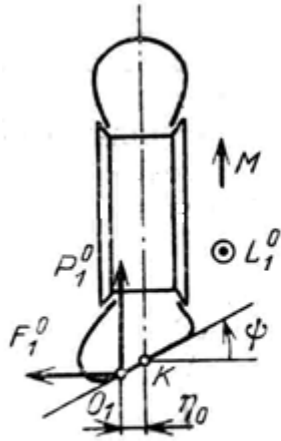
ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 0.126
 ESJI (KZ) = 9.035
 SJIF (Morocco) = 7.184

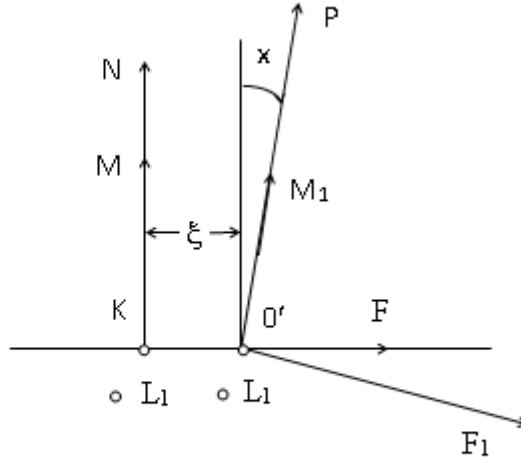
ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

3) $\sum_2 - O_2 X_2 Y_2 Z_2$ с началом в центре шкворня правого колеса, ось $O_2 Z_2$ совпадает со шкворнем;

4) $\sum_3 - O_1 X_3 Y_3 Z_3$: оси этой системы координат повернуты на угол ϑ_1 вокруг оси



а)



б)

Рис 1.2.

Пусть в системе координат $\sum_4 - O_1 X_4 Y_4 Z_4$ заданы координаты вектора $\vec{r}(x_4, y_4, z_4)$. Тогда в системе координат $\sum_3 - O_1 X_3 Y_3 Z_3$ координаты этого же вектора могут быть определены в матричной форме следующим образом:

$$[x_3] = A_4 [x_4], \quad (1.1)$$

где $[x_3] = [x_3, y_3, z_3]^T$ - матрица-столбец координат вектора \vec{r} в системе координат $\sum_3 - O_1 X_3 Y_3 Z_3$; $[x_4]$ - матрица-столбец координат вектора \vec{r} в системе координат $\sum_4 - O_1 X_4 Y_4 Z_4$, где индекс «Т» означает операцию транспонирования матрицы.

$$A_4 = \begin{pmatrix} \cos \beta_0 & 0 & -\sin \beta_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta_0 & 0 & \cos \beta_0 \end{pmatrix} -$$

матрица перехода от системы координат $\sum_4 - O_1 X_4 Y_4 Z_4$ к системе координат $\sum_3 - O_1 X_3 Y_3 Z_3$. Элементы a_{ij} ($i, j=1, 2, 3$) матрицы A_4 есть направляющие косинусы осей системы координат $\sum_4 - O_1 X_4 Y_4 Z_4$

относительно системы координат \sum_2 ;

5) $\sum_4 - O_1 X_4 Y_4 Z_4$: оси этой системы координат повернуты на угол β_0 вокруг оси $O_1 Y_3 = O_1 Y_4$, так, что ось $O_1 X_4$ совпадает с осью ступицы левого колеса.

относительно системы координат $\sum_3 - O_1 X_3 Y_3 Z_3$.

Аналогично, для преобразования координат из системы $\sum_3 - O_1 X_3 Y_3 Z_3$ к системе $\sum_2 - O_1 X_2 Y_2 Z_2$ имеем

$$[x_2] = A_3 [x_3], \quad (1.2)$$

где $[x_2] = [x_2, y_2, z_2]^T$ - матрица-столбец координат вектора \vec{r} в системе координат $\sum_2 - O_1 X_2 Y_2 Z_2$.

$$A_3 = \begin{pmatrix} \cos \vartheta_1 & -\sin \vartheta_1 & 0 \\ \sin \vartheta_1 & \cos \vartheta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} -$$

матрица перехода от системы координат $\sum_3 - O_1 X_3 Y_3 Z_3$ к системе координат $\sum_2 - O_1 X_2 Y_2 Z_2$. Элементы a_{ij} ($i, j=1, 2, 3$) матрицы A_3 есть направляющие косинусы осей системы координат $\sum_3 - O_1 X_3 Y_3 Z_3$ относительно системы координат $\sum_2 - O_1 X_2 Y_2 Z_2$.

Подставляя (1.1) в выражении (1.2), получим $[x_2] = A_3 A_4 [x_4]$.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 0.126
 ESJI (KZ) = 9.035
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

Поступая аналогичным образом, для 5 систем координат можно записать

$$[x] = A_1 A_2 A_3 A_4 [x_4],$$

где

$$A_2 = \begin{pmatrix} \cos \beta_0 & 0 & \sin \beta_0 \\ \sin \beta_0 \sin \gamma_0 & \cos \gamma_0 & -\sin \gamma_0 \cos \beta_0 \\ -\sin \beta_0 \cos \gamma_0 & \sin \gamma_0 & \cos \beta_0 \cos \gamma_0 \end{pmatrix} -$$

матрица перехода от системы координат $\Sigma_2 - O_1 X_2 Y_2 Z_2$ к системе координат $\Sigma_1 - O_1 X_1 Y_1 Z_1$ и

$$A_1 = \begin{pmatrix} \cos \psi & 0 & \sin \psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \psi & 0 & \cos \psi \end{pmatrix} -$$

$$\begin{aligned} A_{11}^1 &= \cos b_0 a_{11}^1 + \sin b_0 a_{13}^1 & A_{12}^1 &= a_{12}^1 & A_{13}^1 &= \sin b_0 a_{11}^1 + \cos b_0 a_{13}^1 \\ A_{21}^1 &= \cos b_0 a_{21}^1 + \sin b_0 a_{23}^1 & A_{22}^1 &= a_{22}^1 & A_{23}^1 &= -\sin b_0 a_{21}^1 + \cos b_0 a_{23}^1 \\ A_{31}^1 &= \cos b_0 a_{31}^1 + \sin b_0 a_{33}^1 & A_{32}^1 &= a_{32}^1 & A_{33}^1 &= -\sin b_0 a_{31}^1 + \cos b_0 a_{33}^1 \\ a_{11}^1 &= \cos J_1 (\cos y \cos b_0 - \sin y \sin b_0 \cos g_0) + \sin J_1 \sin y \sin g_0 \\ a_{21}^1 &= \cos J_1 \sin b_0 \sin g_0 + \sin J_1 \cos g_0 \\ a_{31}^1 &= \cos J_1 (-\sin y \cos b_0 - \cos y \sin b_0 \cos g_0) + \sin J_1 \cos y \sin g_0 \\ a_{12}^1 &= -\sin J_1 (\cos y \cos b_0 - \sin y \sin b_0 \cos g_0) + \cos J_1 \sin y \sin g_0 \\ a_{22}^1 &= -\sin J_1 \sin b_0 \sin g_0 + \cos J_1 \cos g_0 \\ a_{32}^1 &= \sin J_1 (\sin y \cos b_0 + \cos y \sin b_0 \cos g_0) + \cos J_1 \cos y \sin g_0 \\ a_{13}^1 &= \cos y \sin b_0 + \sin y \cos b_0 \cos g_0 \\ a_{23}^1 &= -\sin g_0 \cos b_0 \\ a_{33}^1 &= -\sin y \sin b_0 + \cos y \cos b_0 \cos g_0 \end{aligned} \quad (1.4)$$

Для задней оси и задних колес имеют место соотношения $A_{ij}^1(\beta_0, \mathcal{G}_1) = A_{ij}^2(-\beta_0, \mathcal{G}_2)$,

$a_{ij}^1(\beta_0, \mathcal{G}_1) = a_{ij}^2(-\beta_0, \mathcal{G}_2)$, следовательно,

будем иметь:

$$\begin{aligned} A_{11}^2 &= \cos b_0 a_{11}^2 - \sin b_0 a_{13}^2 & A_{12}^2 &= a_{12}^2 & A_{13}^2 &= \sin b_0 a_{11}^2 + \cos b_0 a_{13}^2 \\ A_{21}^2 &= \cos b_0 a_{21}^2 - \sin b_0 a_{23}^2 & A_{22}^2 &= a_{22}^2 & A_{23}^2 &= \sin b_0 a_{21}^2 + \cos b_0 a_{23}^2 \\ A_{31}^2 &= \cos b_0 a_{31}^2 - \sin b_0 a_{33}^2 & A_{32}^2 &= a_{32}^2 & A_{33}^2 &= \sin b_0 a_{31}^2 + \cos b_0 a_{33}^2 \\ a_{11}^2 &= \cos J_2 (\cos y \cos b_0 + \sin y \sin b_0 \cos g_0) + \sin J_2 \sin y \sin g_0 \\ a_{21}^2 &= -\cos J_2 \sin b_0 \sin g_0 + \sin J_2 \cos g_0 \\ a_{31}^2 &= \cos J_2 (-\sin y \cos b_0 + \cos y \sin b_0 \cos g_0) + \sin J_2 \cos y \sin g_0 \end{aligned} \quad (1.5)$$

матрица перехода от системы координат $\Sigma_1 - O_1 X_1 Y_1 Z_1$ к системе координат $\Sigma - OXYZ$.

Обозначим произведение матриц $A_1 A_2 A_3 A_4$ через матрицу A

$$A = A_1 A_2 A_3 A_4 = \begin{pmatrix} A_{11}^1 A_{12}^1 A_{13}^1 \\ A_{21}^1 A_{22}^1 A_{23}^1 \\ A_{31}^1 A_{32}^1 A_{33}^1 \end{pmatrix}, \quad (1.3)$$

где элементы A_{ij} ($i, j=1, 2, 3$) этой матрицы будут иметь следующие виды:

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

$$a_{12}^2 = -\sin J_2 (\cos y \cos b_0 + \sin y \sin b_0 \cos g_0) + \cos J_2 \sin y \sin g_0$$

$$a_{22}^2 = \sin J_1 \sin b_0 \sin g_0 + \cos J_2 \cos g_0$$

$$a_{32}^2 = -\sin J_2 (-\sin y \cos b_0 + \cos y \sin b_0 \cos g_0) + \cos J_2 \cos y \sin g_0$$

$$a_{13}^2 = -\cos y \sin b_0 + \sin y \cos b_0 \cos g_0$$

$$a_{23}^2 = -\sin g_0 \cos b_0$$

$$a_{33}^2 = \sin y \sin b_0 + \cos y \cos b_0 \cos g_0$$

Используя формулы (1.1) – (1.5), находим:

$O(x_1, y_1, z_1)$ - центр масс передней

подвески

$$\begin{aligned} x_{01} &= x - l_1 \sin q, \\ y_{01} &= y + l_1 \cos q, \\ z_{01} &= z, \end{aligned} \quad (1.6)$$

$B(x_2, y_2, z_2)$ - центр масс задней оси

$$\begin{aligned} x_{02} &= x + l_2 \sin q, \\ y_{02} &= y - l_2 \cos q, \\ z_{02} &= z, \end{aligned} \quad (1.7)$$

$C(x_3, y_3, z_3)$ - центр масс переднего левого колеса

$$\begin{aligned} x_{03} &= x + (x_0 + l_3 A_{11}^1) \sin q - l_1 \sin q \\ y_{03} &= y + (y_0 - l_3 A_{21}^1) \cos q + l_1 \cos q \\ z_{03} &= z + (z_0 + l_3 A_{31}^1) \end{aligned} \quad (1.8)$$

$C(x_4, y_4, z_4)$ - центр масс правого колеса

$$\begin{aligned} x_{04} &= x + (-x_0 - l_3 A_{11}^2) \sin q - l_1 \sin q \\ y_{04} &= y + (-y_0 + l_3 A_{21}^2) \cos q + l_1 \cos q \\ z_{04} &= z + (-z_0 - l_3 A_{31}^2) \end{aligned} \quad (1.9)$$

$D(x_5, y_5, z_5)$ - центр масс заднего левого колеса

$$\begin{aligned} x_{05} &= x + l_2 \sin q - L_1 \cos q \\ y_{05} &= y - l_2 \cos q - L_1 \sin q \\ z_{05} &= z \end{aligned} \quad (1.10)$$

$D(x_6, y_6, z_6)$ - центр масс правого колеса

$$\begin{aligned} x_{06} &= x + l_2 \sin q + L_1 \cos q \\ y_{06} &= y - l_2 \cos q + L_1 \sin q \\ z_{06} &= z \end{aligned} \quad (1.11)$$

где координаты центра левого шкворня x_0, y_0, z_0 равны

$$\begin{aligned} x_0 &= -l \cos y \\ y_0 &= 0 \\ z_0 &= l \sin y \end{aligned} \quad (1.12)$$

Используя формулы (1.6) – (1.12), находим скорости движения центра масс передней подвески V_1 , задней оси V_2 и четырех колес автомобиля V_3, V_4, V_5, V_6 .

Выразим теперь углы χ_i, θ_i колес и координаты x_i, y_i ($i = 1, 4$) через обобщенные координаты системы. Здесь χ_i – угол между осью Oz и средней плоскостью колеса, θ_i – угол между осью Oy и следом средней плоскости колеса на дороге, x_i, y_i – координаты точки встречи прямой наибольшего наклона, проходящей в средней плоскости колеса через его центр, с плоскостью XOY дороги. В соответствии с матрицей (4.3)

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} + \chi_1\right) = A_{31}^1 = \cos\beta_0 a_{31}^1 + \sin\beta_0 a_{33}^1,$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} + \chi_2\right) = A_{31}^2 = \cos\beta_0 a_{31}^2 - \sin\beta_0 a_{33}^2,$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} + \chi_3\right) = \sin\beta, \quad \cos\left(\frac{\pi}{2} + \chi_4\right) = \sin\beta,$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_1\right) = A_{21}^1 = \cos\beta_0 a_{21}^1 + \sin\beta_0 a_{23}^1, \quad (1.1.13)$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_2\right) = A_{21}^2 = \cos\beta_0 a_{21}^2 - \sin\beta_0 a_{23}^2,$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_3\right) = \sin\theta, \quad \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta_4\right) = \sin\theta.$$

Из этих соотношений находим (в линейном приближении):

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta + \vartheta_1, \quad \theta_2 = \theta + \vartheta_2, \quad \theta_3 = \theta_4 = \theta \\ \chi_1 &= \psi - \gamma_0 \vartheta_1, \quad \chi_2 = \psi - \gamma_0 \vartheta_2, \quad \chi_3 = \beta, \quad \chi_4 = -\beta \end{aligned} \quad (1.13')$$

Величины x_i, y_i связаны с обобщенными координатами следующим образом:

$$x_1 = x_{03} - r_1 A_{31}^1 = x + (-l \cos\psi + l_3 A_{11}^1) \sin\theta - l_1 \sin\theta - r_1 A_{31}^1,$$

$$y_1 = y_{03} - r_1 A_{32}^1 = y - l_3 A_{21}^1 \cos\theta + l_1 \cos\theta - r_1 A_{32}^1,$$

$$x_2 = x_{04} - r_2 A_{31}^2 = x + (l \cos\psi - l_3 A_{11}^2) \sin\theta - l_1 \sin\theta - r_2 A_{31}^2,$$

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

$$y_2 = y_{04} - r_2 A_{32}^2 = y + l_3 A_{21}^2 \cos \theta + l_1 \cos \theta - r_2 A_{32}^2, \quad (1.14)$$

$$x_3 = x_{05} - r_3 \sin \beta \sin \theta = x + l_2 \sin \theta - L_1 \cos \theta - r_3 \sin \beta \sin \theta,$$

$$y_3 = y_{05} \cos \theta = (y - l_2 \cos \theta - L_1 \sin \theta) \cos \theta,$$

$$x_4 = x_{06} + r_4 \sin \beta \sin \theta = x + l_2 \sin \theta + L_1 \cos \theta + r_4 \sin \beta \sin \theta,$$

$$y_4 = y_{06} \cos \theta = (y - l_2 \cos \theta + L_1 \sin \theta) \cos \theta,$$

1.2. Вычислительный эксперимент по исследованию влияния конструктивных параметров системы на устойчивость криволинейного и прямолинейного движения автомобиля.

Проведен вычислительный эксперимент с помощью программно-инструментальной системы AVTO по исследованию задач об устойчивости криволинейного и прямолинейного

движения автомобиля с учетом упругости и деформируемой шин, поперечного и продольного углов крена кузова автомобиля с целью определения рациональных значений параметров.

1.3. Основные конкретные результаты исследования:

Основными конкретными результатами исследования является следующее:

1. Разработана математическая модель криволинейного и прямолинейного движения автомобиля по ровной дороге с учетом поперечного и продольного углов крена автомобиля (Модель 1);

2. Разработана математическая модель движения автомобиля по наклонной плоскости с учетом поперечного и продольного углов крена автомобиля (Модель 2);

3. Разработана математическая модель движения автомобиля по наклонной плоскости с учетом упругости и деформируемой шин, а также поперечного и продольного углов крена автомобиля (Модель 3).

References:

1. Nejmark, Jy.I., & Fufaev, N.A. (1967). *Dinamika negolonomyh sistem.* (p.519). Moskva: Nauka.
2. Turaev, H.T., Fufaev, N.A., & Musarskij, R.A. (1987). *Teorija dvizhenija sistem s kacheniem.* (p.158). Tashkent: FAN.
3. Turaev, H.T., & Urinbaev, Je. (2002). *Uravenenija malyh kolebanij kuzova pri dvizhenii jekipazha po gorizonta'noj i naklonnoj ploskosti,* Tashkent, *DAN RUz,* №2.
4. Turaev, H.T. (1995). *Modelirovanie i issledovanie dinamiki kolesnyh transportnyh mashin s deformiruemymi shinami.* (p.168). Tashkent: FAN.
5. Turaev, H.T., Urinbaev, Je., & Jergashev, G. (2000). *Algoritm razvertyvanija opredelitelja n-go porjadka s polinomial'nymi jelementami.* Materialy Mezhdunarodnoj konferencii The third international workshop on computer algebra in scientific computing CASC-2000, (pp.93-96). Samarkand, Uzbekistan, October 5-9.
6. Turaev, H., & Urinboev, Je. (2002). *Uravenenij kolebanij kuzova jekipazha s uchetom bokovogo uvoda koles.* Doklady AN RUz, (v pechati).
7. Turaev, H.T., & Urinbaev, Je. (2000). *Programmno-instrumental'naja sistema «AVTO» dlja avtomatizacii issledovanija ustojchivosti dvizhenija kolesnyh transportnyh mashin.* Doklady Mezhdunarodnoj konferencii «Problemy upravlenija i informatiki», (pp.285-290). Bishkek, 19-22 sentjabrja.
8. Turaev, H.T., & Urinbaev, Je. (2000). *K voprosu o vlijanii konstruktivnyh parametrov na ustojchivost' prjamolinejnogo dvizhenija avtomobilja.* Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Razvitie i jeffektivnost' avtomobil'no-dorozhnogo kompleksa v Central'no-aziatskom regione», (pp.108-114). Tashkent, 1-3 nojabrja, Chast`-1.
9. Atazhanov, B., Krasinskij, A.Ja., Turaev, H.T., & Urinbaev, Je. (2001). *Ob avtomatizacii issledovanija ustojchivosti dvizhenija avtomobilja.* Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Matematicheskoe modelirovanie mehanicheskix sistem i fizicheskix processov», Almaty, 15-16 nojabrja.
10. Turaev, H.T., Urinbaev, Je., & Musaev, A.M. (2002). *Xarakteristiki turguligini avtomatlashtirish.* (p.268). Tashkent: FAN.

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИИ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350
