

УДК 629.114.2

**И. С. Сазонов, д-р техн. наук, проф., Д. А. Дубовик, канд. техн. наук,
В. А. Ким, д-р техн. наук, проф., Э. И. Ясюкович, канд. техн. наук, доц.,
Н. П. Амельченко, канд. техн. наук**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КУРСОВОГО ДВИЖЕНИЯ ТРЕХОСНОЙ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ С УПРАВЛЯЕМЫМИ КОЛЕСАМИ НА ПЕРЕДНЕЙ И СРЕДНЕЙ ОСЯХ

В статье предложена методика составления расчетной динамической схемы; математической модели, включающей динамические уравнения и уравнения кинематических связей, представленных в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений; алгоритм и программное обеспечение для имитационного моделирования курсового движения трехосной колесной машины с управляемыми колесами на передней и средней осях. Приведены некоторые полученные результаты имитационного моделирования.

Курсовая устойчивость и управляемость многоосных колесных машин в значительной степени определяется их массо-геометрическими параметрами и упругими характеристиками шин [1]. В связи с этим в настоящей работе поставлена задача разработки математической модели и программного обеспечения, позволяющих прогнозировать параметры курсового движения трехосных колесных машин на упругих пневматических шинах.

Расчетная схема колесной машины с управляемыми колесами на передней и средней осях представлена на рис. 1. Математическая модель курсового движения такой машины состоит из динамических уравнений и уравнений кинематических связей ее колес с опорной поверхностью [2].

Динамические уравнения получены на основе принципа Даламбера.

Для составления уравнений кинематических связей введем в рассмотрение угол увода δ_i между проекцией продольной диаметральной линии обода i -го колеса на опорную поверхность и направлением его скорости в центре пятна контакта шины. Направление этого угла противоположно углу поворота обода колеса относительно его вертикальной оси.

Так как в настоящей работе рассматривается стационарное движение колесной машины с заданной начальной скоростью, то сумма проекций сил на ось Ox , на ось Oy и сумма моментов относи-

тельно центра масс равны нулю. Следовательно, реакциями связей являются только боковые реакции опорной поверхности на колеса, а динамические уравнения имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} m \cdot \ddot{x}_c &= -Y_1 \cdot \sin(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) - Y_2 \times \\ &\times \sin(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) - Y_3 \cdot \sin(\varphi - \delta_3) = 0; \\ m \cdot \ddot{y}_c &= Y_1 \cdot \cos(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + Y_2 \times \\ &\times \cos(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + Y_3 \cdot \cos(\varphi - \delta_3) = 0; \\ J_z \cdot \ddot{\varphi} &= Y_1 \cdot l_1 \cdot \cos(\Theta_1 - \delta_1) + Y_2 \cdot l_2 \times \\ &\times \cos(\Theta_2 - \delta_2) - Y_3 \cdot l_3 \cdot \cos \delta_3 = 0, \end{aligned} \right\} (1)$$

где Y_i – боковые реакции опорной поверхности на колеса; x_c , y_c – обобщенные координаты остова колесной машины, соответствующие продольному и поперечному перемещениям; φ – курсовой угол; δ_i – углы увода шин соответствующих колес (рис. 1).

Боковые реакции Y_i вычисляются следующим образом:

$$Y_i = k_{u_i} \cdot \delta_i, \quad i = 1 \dots 3,$$

где k_{u_i} – коэффициент сопротивления боковому уводу шины i -го колеса.

Для обеспечения чистого движения колесной машины по криволинейной траектории, т. е. без бокового скольжения ее шин, необходимым условием является существование мгновенного центра поворота колес, записанного в следующем виде:

$$\frac{l_1 + l_3}{\operatorname{tg}\Theta} = \frac{l_2 + l_3}{\operatorname{tg}\Theta_2}, \quad (2)$$

где l_1, l_2, l_3 –расстояния от центра масс

колесной машины до ее передней, средней и задней осей соответственно; Θ, Θ_2 – углы поворота управляемых колес передней и средней осей.

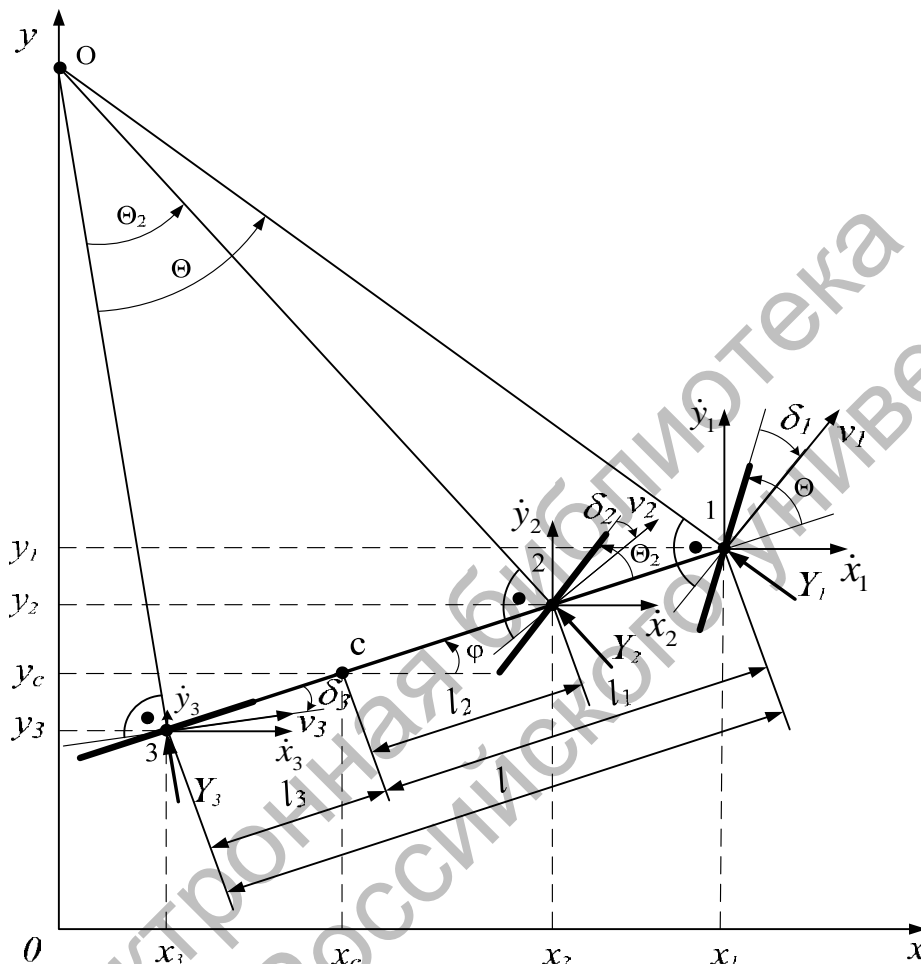


Рис. 1. Расчетная схема моделируемой системы

Из уравнения (2) функция связи между углами Θ_2 и Θ имеет вид:

$$\Theta_2 = \operatorname{arg} \operatorname{tg} \left(\frac{l_2 + l_3}{l_1 + l_3} \cdot \operatorname{tg}\Theta \right). \quad (3)$$

Вторым условием, обеспечивающим криволинейное движение колесной машины без бокового проскальзывания шин, является равенство нулю суммы проекций продольной и поперечной составляющих скоростей каждого колеса на направления нормалей к векторам скоростей геометрических центров ободьев

соответствующих колес. Эти условия запишем в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \dot{y}_1 \cdot \operatorname{Cos}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) - \\ - \dot{x}_1 \cdot \operatorname{Sin}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) = 0; \\ \dot{y}_2 \cdot \operatorname{Cos}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) - \\ - \dot{x}_2 \cdot \operatorname{Sin}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) = 0; \\ \dot{y}_3 \cdot \operatorname{Cos}(\varphi - \delta_3) - \\ - \dot{x}_3 \cdot \operatorname{Sin}(\varphi - \delta_3) = 0, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где \dot{x}_i, \dot{y}_i – проекции скоростей центров колес на продольную OX и поперечную OY оси.

Выразим продольные и поперечные координаты центров каждого колеса через обобщенные координаты:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_c + l_1 \cdot \text{Cos}\varphi; & y_1 &= y_c + l_1 \cdot \text{Sin}\varphi; \\ x_2 &= x_c + l_2 \cdot \text{Cos}\varphi; & y_2 &= y_c + l_2 \cdot \text{Sin}\varphi; \\ x_3 &= x_c - l_3 \cdot \text{Cos}\varphi; & y_3 &= y_c - l_3 \cdot \text{Sin}\varphi. \end{aligned} \right\} (5)$$

Выражения (5) продифференцируем по времени:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= \dot{x}_c - l_1 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Sin}\varphi; & \dot{y}_1 &= \dot{y}_c + l_1 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Cos}\varphi; \\ \dot{x}_2 &= \dot{x}_c - l_2 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Sin}\varphi; & \dot{y}_2 &= \dot{y}_c + l_2 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Cos}\varphi; \\ \dot{x}_3 &= \dot{x}_c + l_3 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Sin}\varphi; & \dot{y}_3 &= \dot{y}_c - l_3 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Cos}\varphi. \end{aligned} \right\} (6)$$

Полученные выражения проекций скоростей (6) подставим в (4), тогда по-

лучим:

$$\left. \begin{aligned} (\dot{y}_c + l_1 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Cos}\varphi) \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) - \\ - (\dot{x}_c - l_1 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Sin}\varphi) \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) = 0; \\ (\dot{y}_c + l_2 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Cos}\varphi) \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) - \\ - (\dot{x}_c - l_2 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Sin}\varphi) \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) = 0; \\ (\dot{y}_c - l_3 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Cos}\varphi) \cdot \text{Cos}(\varphi - \delta_3) - \\ - (\dot{x}_c + l_3 \cdot \dot{\varphi} \cdot \text{Sin}\varphi) \cdot \text{Sin}(\varphi - \delta_3) = 0. \end{aligned} \right\} (7)$$

Продифференцировав уравнения (7) по времени и произведя формальные преобразования, получим уравнения кинематических связей, представляющие собой условия (8) отсутствия бокового скольжения пятен контактов колес на опорной поверхности:

$$\left. \begin{aligned} -\ddot{x}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \ddot{y}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \ddot{\varphi} \cdot l_1 \cdot \text{Cos}(\Theta_1 - \delta_1) + \dot{\delta}_1 \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \dot{\varphi} \cdot l_1 \cdot \text{Sin}(\Theta_1 - \delta_1)] = \dot{\Theta}_1 \cdot \dot{\varphi} \cdot l_1 \cdot \text{Sin}(\Theta_1 - \delta_1) + \\ + (\dot{\varphi} + \dot{\Theta}_1) \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1)]; \\ -\ddot{x}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \ddot{y}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \ddot{\varphi} \cdot l_2 \cdot \text{Cos}(\Theta_2 - \delta_2) + \dot{\delta}_2 \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \dot{\varphi} \cdot l_2 \cdot \text{Sin}(\Theta_2 - \delta_2)] = \dot{\Theta}_2 \cdot \dot{\varphi} \cdot l_2 \cdot \text{Sin}(\Theta_2 - \delta_2) + \\ + (\dot{\varphi} + \dot{\Theta}_2) \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2)]; \\ -\ddot{x}_c \cdot \text{Sin}(\varphi - \delta_3) + \ddot{y}_c \cdot \text{Cos}(\varphi - \delta_3) + \ddot{\varphi} \cdot l_3 \cdot \text{Cos}\delta_3 + \dot{\delta}_3 \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi - \delta_3) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi - \delta_3) + \dot{\varphi} \cdot l_3 \cdot \text{Sin}\delta_3] = \dot{\varphi} \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi - \delta_3) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi - \delta_3)]. \end{aligned} \right\} (8)$$

Совокупность систем уравнений (1) и (8), представленных в виде системы уравнений (9), однозначно описывает

движение трехосной колесной машины с управляемыми колесами на передней и средней осях.

$$\left. \begin{aligned} m \cdot \ddot{x}_c &= -Y_1 \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) - Y_2 \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) - Y_3 \cdot \text{Sin}(\varphi - \delta_3) = 0; \\ m \cdot \ddot{y}_c &= Y_1 \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + Y_2 \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + Y_3 \cdot \text{Cos}(\varphi - \delta_3) = 0; \\ J_z \cdot \ddot{\varphi} &= Y_1 \cdot l_1 \cdot \text{Cos}(\Theta_1 - \delta_1) + Y_2 \cdot l_2 \cdot \text{Cos}(\Theta_2 - \delta_2) - Y_3 \cdot l_3 \cdot \text{Cos}\delta_3 = 0; \\ -\ddot{x}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \ddot{y}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \ddot{\varphi} \cdot l_1 \cdot \text{Cos}(\Theta_1 - \delta_1) + \\ + \dot{\delta}_1 \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \dot{\varphi} \cdot l_1 \cdot \text{Sin}(\Theta_1 - \delta_1)] = \\ = \dot{\Theta}_1 \cdot \dot{\varphi} \cdot l_1 \cdot \text{Sin}(\Theta_1 - \delta_1) + (\dot{\varphi} + \dot{\Theta}_1) \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_1 - \delta_1)]; \\ -\ddot{x}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \ddot{y}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \ddot{\varphi} \cdot l_2 \cdot \text{Cos}(\Theta_2 - \delta_2) + \dot{\delta}_2 \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \dot{\varphi} \cdot l_2 \cdot \text{Sin}(\Theta_2 - \delta_2)] = \\ = \dot{\Theta}_2 \cdot \dot{\varphi} \cdot l_2 \cdot \text{Sin}(\Theta_2 - \delta_2) + (\dot{\varphi} + \dot{\Theta}_2) \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi + \Theta_2 - \delta_2)]; \\ -\ddot{x}_c \cdot \text{Sin}(\varphi - \delta_3) + \ddot{y}_c \cdot \text{Cos}(\varphi - \delta_3) + \ddot{\varphi} \cdot l_3 \cdot \text{Cos}\delta_3 + \dot{\delta}_3 \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi - \delta_3) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi - \delta_3) + \dot{\varphi} \cdot l_3 \cdot \text{Sin}\delta_3] = \\ = \dot{\varphi} \cdot [\dot{x}_c \cdot \text{Cos}(\varphi - \delta_3) + \dot{y}_c \cdot \text{Sin}(\varphi - \delta_3)]. \end{aligned} \right\} (9)$$

Три последних уравнения в системе (9) являются неразрешенными относительно старших производных, поэтому применение стандартных методов решения дифференциальных уравнений для ее интегрирования не представляется возможным. В связи с этим алгоритм решения задачи предусматривает два этапа [3]:

1) представление системы (9) в виде системы линейных алгебраических уравнений относительно старших производных $\ddot{x}_c, \ddot{y}_c, \ddot{\varphi}, \dot{\delta}_1, \dot{\delta}_2, \dot{\delta}_3$ и приведение ее к форме Коши, т. е. к системе из девяти дифференциальных уравнений первого

порядка;

2) численное интегрирование полученной таким образом системы из девяти дифференциальных уравнений.

Схема алгоритма решения задачи, представленная на рис. 2, предусматривает после ввода исходных данных и задания начальных условий интегрирования вызов процедуры приведения системы дифференциальных уравнений к форме Коши, интегрирование системы дифференциальных уравнений, анализ текущих результатов интегрирования, формирование графических зависимостей по результатам интегрирования.

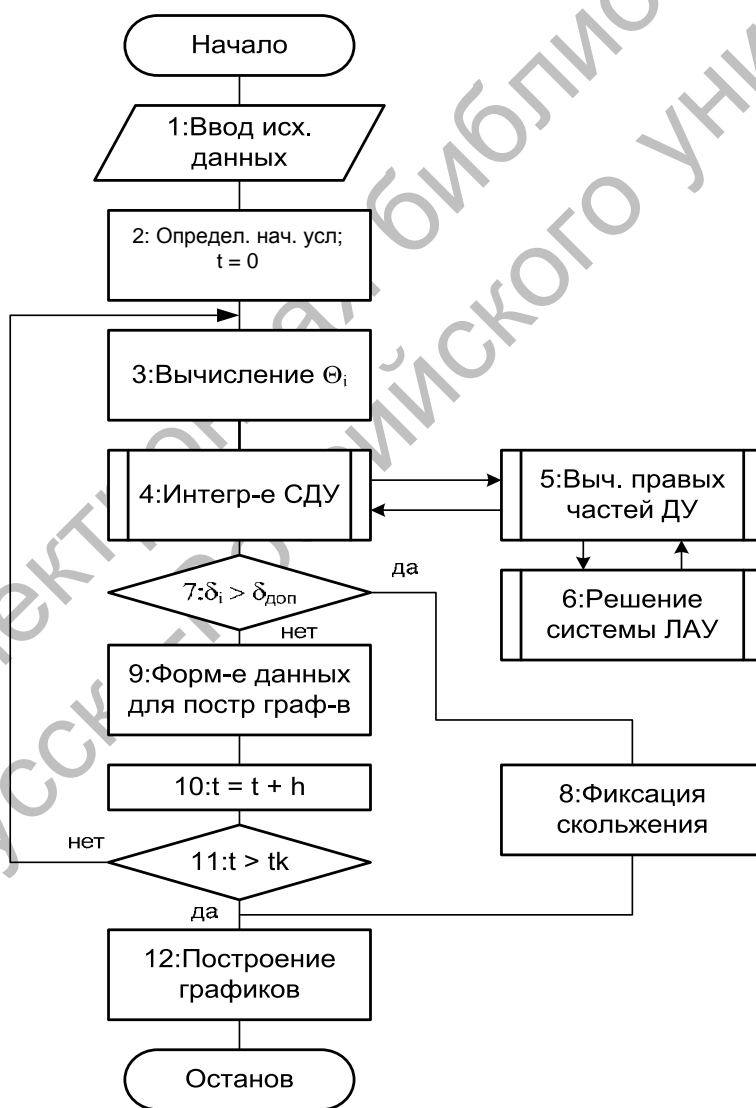


Рис. 2. Схема алгоритма имитационного моделирования курсового движения трехосной колесной машины

Программное обеспечение для исследования курсового движения колесной машины разработано в среде программы Excel с использованием языка программирования Visual Basic for Application.

На схеме алгоритма (см. рис. 2) блоки 1 и 2 предусматривают ввод с первого листа Excel исходных данных, таких как масса колесной машины, ее момент инерции относительно центральной вертикальной оси, геометрические параметры и коэффициенты сопротивления боковому уводу шин движителей, а также задание начальных условий и временных параметров интегрирования. В блоке 3 производится вычисление текущих значений углов поворота управляемых колес из матрицы, содержащей параметры закона их поворота. Блок 4 используется для организации вызова процедуры интегрирования уравнений движения (9). Блок 5 представляет собой процедуру вычисления старших производных системы дифференциальных уравнений, который, в свою очередь, обращается к представленной блоком 6 процедуре решения системы линейных алгебраических уравнений, вычисляющей старшие производные переменных модели. Логический блок 7 отслеживает момент начала скольжения колес, восьмой блок фиксирует начало

скольжения и организует завершение процесса интегрирования варианта. В блоке 9 выполняется формирование таблицы результатов интегрирования, каждая строка которой содержит численные значения таких параметров, как текущее время, переменные x_c , y_c , φ , скорости переменных \dot{x}_c , \dot{y}_c , $\dot{\varphi}$, а также углы увода шин δ_1 , δ_2 , δ_3 . В таблицу результатов интегрирования выводятся углы и скорости поворота управляемых колес передней и средней осей, а также модуль скорости перемещения центра масс колесной машины. Блоки 10 и 11 используются для перехода к следующему моменту времени интегрирования и проверки условия окончания процесса интегрирования уравнений движения. Блок 12 формирует графики и диаграммы по результатам интегрирования.

При подготовке исходных данных каждого варианта, кроме численных значений массогеометрических параметров колесной машины, необходимо определить траекторию ее движения. Последние задаются в виде матрицы, в которой фиксируются моменты времени начала действия заданных во втором ее столбце скоростей изменения углов поворота передних управляемых колес (табл. 1).

Табл. 1. Закон изменения угла поворота управляемых колес

t, c	1	3	5	9	11	13	50
$\dot{\theta}, \text{рад/с}$	0	0,025	0	-0,025	0	0,025	0

Интегрирование уравнений движения проводилось на интервале времени до 100 с с различными значениями массогеометрических параметров по различным траекториям движения.

Результаты имитационного моделирования выводились на второй лист Excel в виде численных значений моментов времени, обобщенных координат, их скоростей и, при необходимости, боковых реакций опорной поверхности на колеса. На этот же лист выводились графики из-

менения во времени названных выше координат. Один из фрагментов имитационного моделирования курсового движения колесной машины массой 6000 кг по круговой траектории со скоростью 7,5 м/с представлен на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что на протяжении всего времени моделирования 100 с поддерживалось стационарное движение, так как модуль скорости движения центра масс колесной машины практически не изменялся и оставался равным

7,5 м/с, а курсовой угол за каждые 32,095 с изменялся от 0 до 360 град и за время

моделирования было совершено неполных четыре оборота.

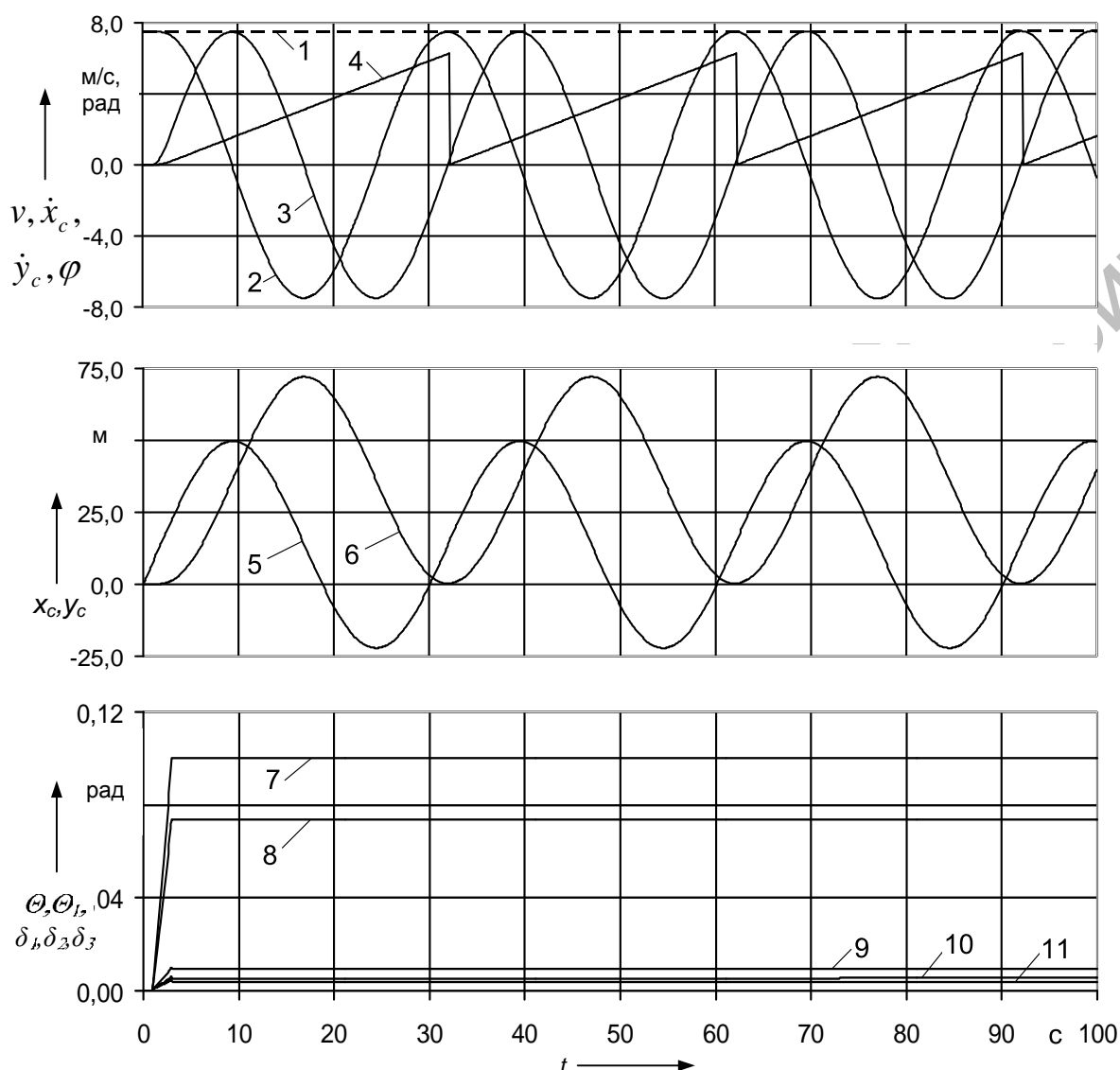


Рис. 3. Фрагмент варианта имитационного моделирования процесса движения трехосной колесной машины по круговой траектории: 1 – модуль скорости движения колесной машины v , м/с; 2, 3 – скорости перемещения центра масс колесной машины по осям OX и OY : \dot{x}_c , \dot{y}_c , м/с; 4 – курсовой угол φ , рад; 5, 6 – перемещения центра масс колесной машины по осям OX и OY : x_c , y_c , м; 7, 8 – углы поворота управляемых колес: передней и средней осей: Θ_1 , Θ_2 , рад; 9, 10, 11 – углы увода шин колес передней, средней и задней осей: δ_1 , δ_2 , δ_3 , рад

После входа в поворот углы поворота управляемых колес и углы увода сохраняли постоянные значения, а скорости перемещения центра масс колесной машины по осям OX и OY изменялись по синусоидальному закону.

На рис. 4, а представлена полученная в результате имитационного модели-

рования диаграмма траектории движения точки центра масс колесной машины по круговой траектории с параметрами $v = 7,25$ м/с, $\dot{\Theta} = 0,05$ рад/с, $L_1 = 2,2$ м, $L_2 = 1,2$ м, $L_3 = 1,6$ м, а на рис. 4, б – с параметрами $v = 7,25$ м/с, $\dot{\Theta} = 0,08$ рад/с, $L_1 = 2,2$ м, $L_2 = 1,2$ м, $L_3 = 1,4$ м.

Вариант, представленный на рис. 4, а, демонстрирует устойчивое движение по кругу. На рис. 4, б представлен вариант, в котором в момент времени $t = 96,169$ с произошло скольжение из-за неудачно выбранного сочетания геомет-

рических L_1, L_2, L_3 и, возможно, других параметров, т. к. угол увода δ_3 превысил 20 град. При этом движение происходило по спирали с некоторым уменьшением радиуса траектории движения.

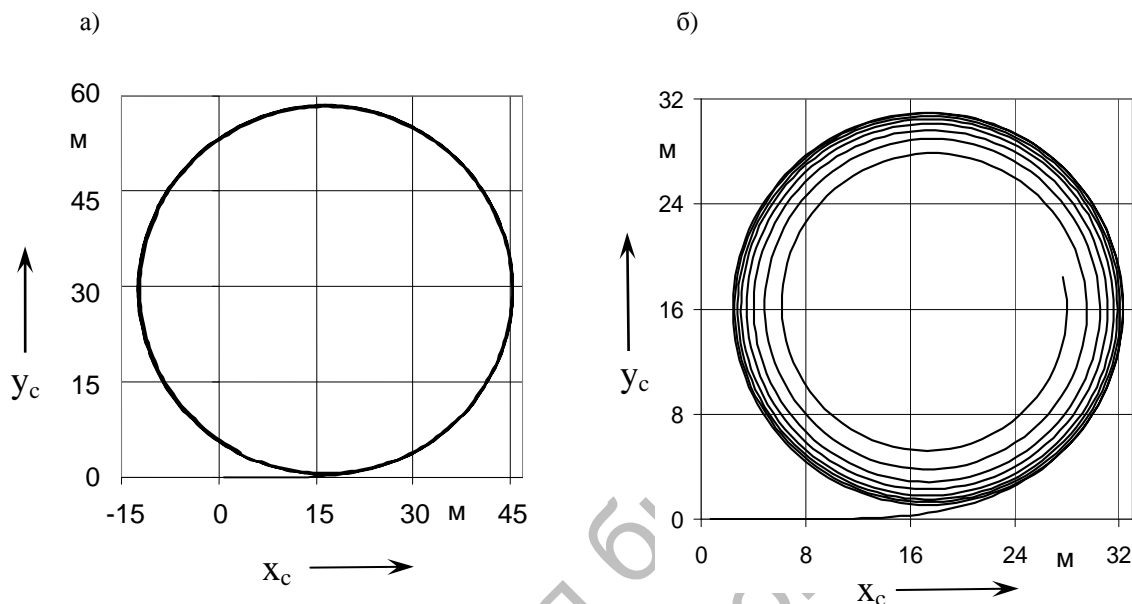


Рис. 4. Диаграммы движения трехосной колесной машины по круговой траектории в координатах $X0Y$

На рис. 5 приведены результаты моделирования курсового движения колесной машины по траектории «переставка», в котором угол управляемых колес изменялся по закону, заданному в табл. 1.

Результаты имитационного моделирования, представленные на рис. 5, показали, что при заданных исходных данных колесная машина после совершения маневра отклонилась от начального положения за 14 с на 25 м и проехала за 50 с 357 м. Движение после 14 с устойчиво, т. к. значения бокового смещения и курсовой угол колесной машины практически не изменяются и она продолжает равномерное прямолинейное движение до завершения времени моделирования.

На рис. 6 представлен фрагмент результатов моделирования режима движе-

ния «обгон» в координатах $X0Y$ со скоростью 7,25 м/с.

Полученные результаты убедительно подтверждают работоспособность разработанных математического и программного обеспечений имитационного моделирования курсового движения трехосной колесной машины.

Анализ представленных на рис. 3–5 результатов и множества других вариантов имитационного моделирования, проведенных с различными вариантами исходных данных, позволяет сделать вывод, что разработанные математическая модель и программное обеспечение адекватно отображают процессы курсового движения трехосных колесных машин с управляемыми колесами на передней и средней осях.

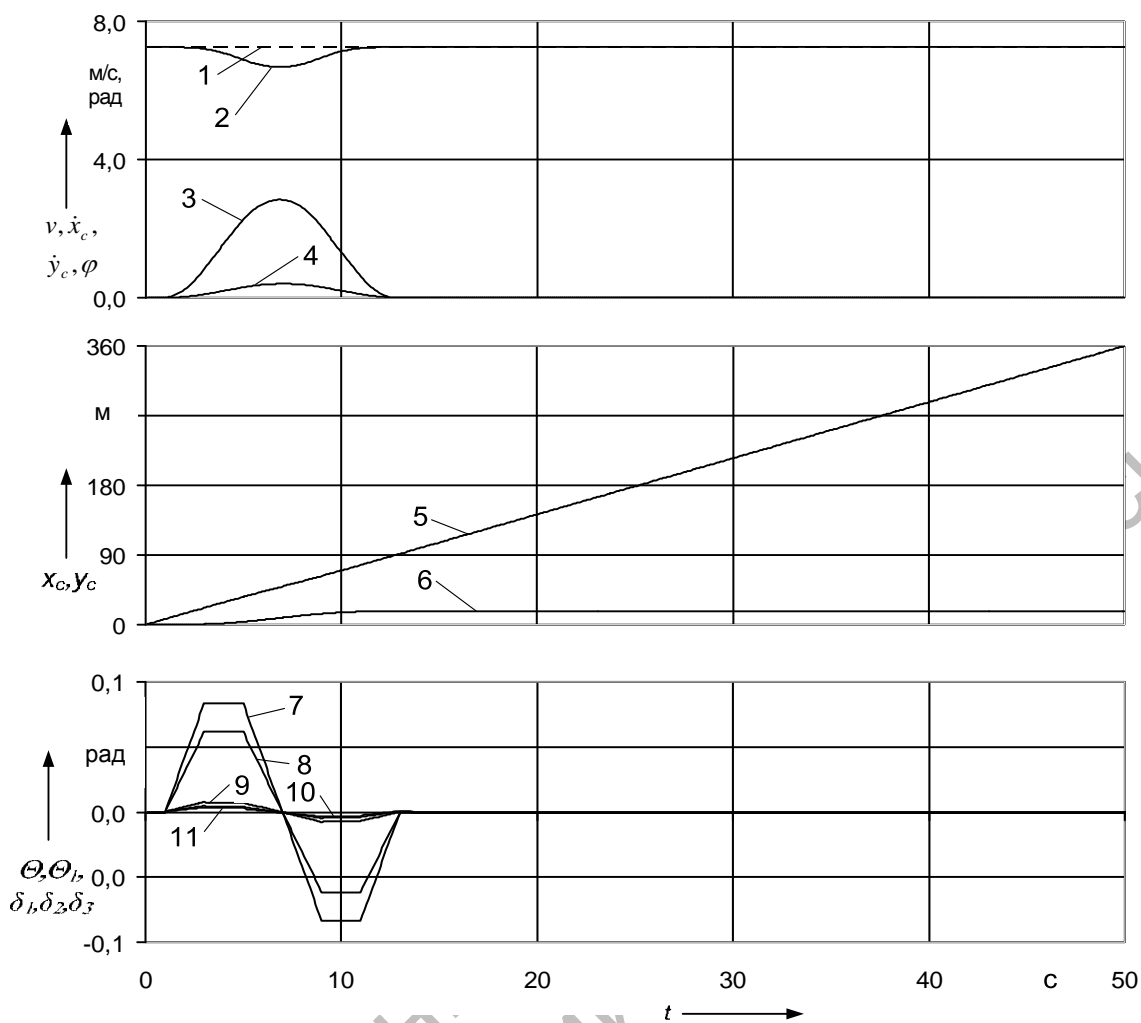


Рис. 5. Фрагмент варианта имитационного моделирования курсового движения трехосной колесной машины по траектории «переставка»: 1 – модуль скорости движения колесной машины v , м/с; 2, 3 – скорости перемещения центра масс колесной машины по осям OX и OY : \dot{x}_c , \dot{y}_c , м/с; 4 – курсовой угол φ , рад; 5, 6 – перемещения центра масс колесной машины по осям OX и OY : x_c , y_c , м; 7, 8 – углы поворота управляемых колес: передней и средней осей: Θ_1 , Θ_2 , рад; 9, 10, 11 – углы увода колес передней, средней и задней осей: δ_1 , δ_2 , δ_3 , рад

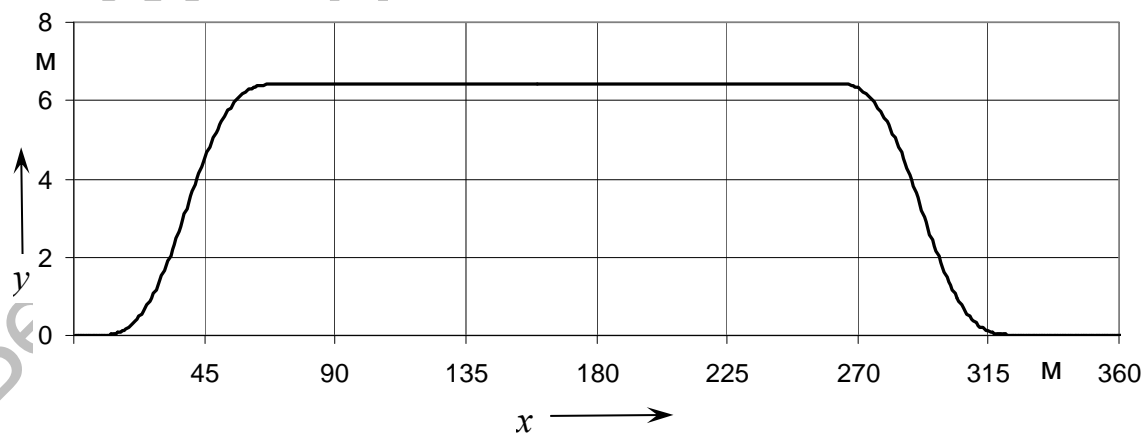


Рис. 6. Фрагмент варианта имитационного моделирования курсового движения колесной машины по траектории «обгон»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, А. А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / А. А. Антонов. – М. : Машиностроение, 1979. – 216 с. : ил.

2. Лурье, А. И. Аналитическая механика / А. И. Лурье. – М. : Физматгиз, 1961. – 824 с. : ил.

3. Ясюкович, Э. И. Влияние параметров установки управляемых колес на курсовую устойчивость трактора класса 14 кН : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 : защищена 15.10.1982 : утв. 09.03.1983 / Ясюкович Эдвард Игнатъевич. – Минск, 1982. – 235 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 05.02.2009

**I. S. Sazonov, D. A. Dubovic, P. A. Amelchenko,
V. A. Kim, E. I. Yasyukovich**
**Simulation of the rout motion of a 3-axes wheeled
Machine with controlled wheels on the front and
middle axes**

The authors offer the technique of drawing a design dynamic diagram, a mathematical model including dynamic equations and the equations of kinematic relations represented in the form of common differential equations, an algorithm and software for simulation the motion of a 3-axes wheeled vehicle with controlled wheels on the front and middle axes. Some results of simulation have been submitted.