

УДК 004.896: 621.856.8-8

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ВОДИТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ КАК МНОГОЗВЕННАЯ СИСТЕМА

Шмаков В.С.

ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет», Владимир, e-mail: stoletov5@rambler.ru

Рассматривается создание математической модели и анализ динамической системы: водитель-рабочая зона оператора в транспортном средстве в экстремальных ситуациях с целью моделирования процесса и определения динамических воздействий на оператора для замещения натуральных испытаний соударения подвижного объекта с оператором (механиком – водителем) с жесткой средой (удар) моделированием этой системы. Вопросы, подлежащие рассмотрению и исследованию настоящего динамического процесса, следующие: математическое описание кинематической схемы оператора, как звена со сложной угловой кинематикой; материализация кинематической системы силами тяжести и моментами инерции, формирование динамической матрицы «оператора»; описание рабочей зоны оператора и объекта (транспортного средства с учетом упругостей моментов инерции и т.п., определяемых массами, моментами инерции параметрами движения объекта); разработка математической модели настоящей системы; разработка открытой системы моделирования и исследования настоящей динамической системы.

Ключевые слова: оператор, механик-водитель, рабочая зона, алгоритм, экстренная ситуация, динамические нагрузки

THE KINEMATIC SCHEME OF THE DRIVER OF THE VEHICLE AS ITERATIVE SYSTEM

Shmakov V.S.

Vladimir State University, Vladimir, e-mail: stoletov5@rambler.ru

Creation of mathematical model and the analysis of dynamic system is considered: the driver – the worker of zo th operator in a vehicle in extreme situations for the purpose of modeling of process and op-redelenija dynamic influences on the operator for replacement of natural tests of impact of mobile object with the operator (the mechanic – the driver) with the rigid environment (blow) of model-rovaniem of this system. The questions which are subject to consideration and research present di-namicheskogo of the process, the following: the mathematical description of the kinematic scheme operator-ra, as link with difficult angular kinematics; a materialization of kinematic system si-lami weights and the inertia moments, formation of a dynamic matrix of «operator»; opi-sanie a working zone of the operator and object (a vehicle with the account упругостей momen inertia, etc., defined in the weights, the moments of inertia in parameters of movement obek eat); working out of mathematical model of the present system; Working out of open system of modeling and research of the present dynamic system.

Keywords: the operator, the mechanic-driver, a working zone, algorithm, an emergency situation, dynamic loadings

В настоящее время анализ взаимодействия водителя с элементами его рабочей зоны основан на натуральных испытаниях. Эксперимент состоит в соударении транспортного средства (ТС) и находящимся в нем манекеном оператора с внешней абсолютно жесткой средой. Эти испытания дорогостоящие и, кроме того, продолжительны во времени, так как разбиваются автомобили и деформируются манекены с системой датчиков, велики затраты по времени на подготовку материальной части испытаний. В настоящей работе рассматривается постановка задачи для анализа взаимодействия механика-водителя с его рабочей зоной при соударении автомобиля с внешней средой, разрабатывается кинематическая схема МВ, процесса взаимодействия автомобиля с сидящим в нем водителем-механиком.

Проблема, рассмотренная в рамках статьи, направлена на создание математической модели и анализ динамической системы: оператор (механик – водитель) – рабочая зона оператора в транспортном средстве в экстремальных ситуациях с целью моделирования процесса и определения динамических воздействий на оператора.

Цель работы состоит в замещении натуральных испытаний соударения подвижного объекта с оператором (механиком-водителем) с жесткой средой (удар) моделированием этой системы. Вопросы, подлежащие рассмотрению и исследованию настоящего динамического процесса, следующие:

- математическое описание кинематической схемы оператора, как звена со сложной угловой кинематикой;
- материализация кинематической системы силами тяжести и моментами инерции;
- формирование динамической матрицы «оператора»;
- описание рабочей зоны оператора и объекта (транспортного средства с учетом упругостей моментов инерции и т.п., определяемых массами, моментами инерции параметрами движения объекта); разработка математической модели настоящей системы; разработка открытой системы моделирования и исследования настоящей динамической системы.

Под внешней средой подразумевается замкнутое пространство кабины водителя.

Процесс взаимодействия описывается в декартовой системе координат. В проекте рассматривается построение кинематической модели водителя, как многозвенной системы. Контролируемые и анализируемые координаты: $x, y, z, x', y', z', x'', y'', z''$. Со стороны объекта на водителя в экстремаль-

ных ситуациях (резкие угловые и линейные ускорения) действуют возмущения (усилия). Представим вектор возмущения в виде

$$\bar{P} = f(q, \dot{q}, \ddot{q}), \quad q \in (x, y, z).$$

Рассмотрим модель взаимодействия ТС-водитель-внешняя среда:

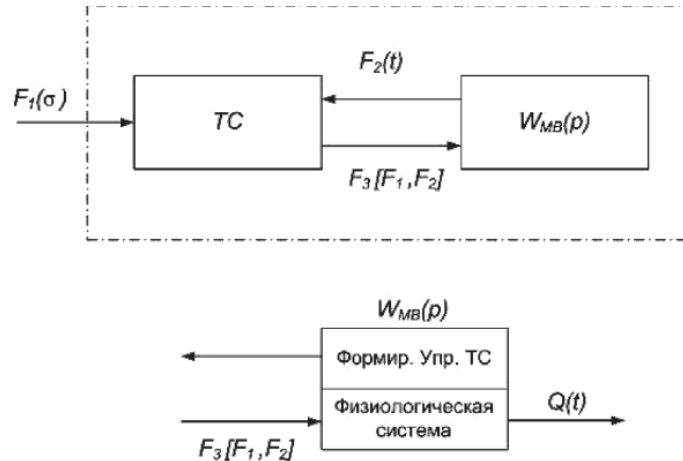


Рис. 1. Структурное представление системы водитель – транспортное средство – внешняя среда:

ТС – транспортное средство; $F_1(\sigma)$ – возмущение при движении от рельефа σ на ТС;
 $F_2(t)$ – управляющее воздействие от МВ на ТС через двигатель и движитель;
 $Q(t)$ – деформации корпуса МВ (звеньев системы), $Q(t) = F(F_3, t)$

При этом водитель представлен в виде многозвенной системы с кинематической схемой вида рис. 2.

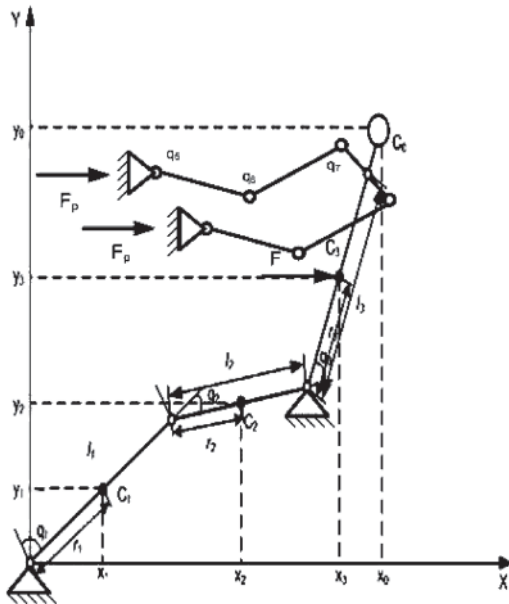


Рис. 2. Расчетная схема системы:
 l_1, \dots, l_3 – длина звеньев, C_1, \dots, C_3 – центр масс звеньев, q_1, \dots, q_7 – обобщенные координаты углов, r_1, \dots, r_3 – расстояние от сустава до центра масс звена, F_p – воздействие на водителя от руля ТС

Со стороны объекта на водителя в экстремальных ситуациях (резкие угловые и линейные ускорения) действуют возмущения (усилия). Представим вектор возмущения в виде

$$\bar{P} = f(q, \dot{q}, \ddot{q}), \quad q \in (x, y, z).$$

Представим водителя в виде многозвенной системы в виде скелетона с кинематической схемой вида рис. 2. Водитель представляет собой пространственную механическую систему из N тел (звеньев), соединенных между собой кинематическими парами пятого класса (с одной степенью свободы). Далее под системой будем понимать скелетон механика-водителя, а именно, скелет с силовыми мышцами по соответствующим суставам.

Вектор $q = [q_1, q_2, \dots, q_N]^T$ является вектором обобщенных координат системы. На первом этапе принимаем следующие допущения:

- пренебрегаем силами трения в кинематических парах;
- считаем связи идеальными, голономными и удерживающими;
- звенья абсолютно жесткие.

Тогда описание динамики многозвенной системы может быть получено с помощью уравнений Лагранжа 2-го рода. Для

системы тел звенья, находящейся в потенциальном поле сил тяжести, уравнения Лагранжа 2-го рода записываются в векторной форме так:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} \right)^T - \left(\frac{\partial T}{\partial q} \right)^T = M - \left(\frac{\partial \Pi}{\partial q} \right)^T.$$

Здесь ϕ – вектор обобщенных скоростей ($N \times 1$), причем $\dot{\phi} = dy/dx$; T – кинетическая энергия системы; Π – потенциальная энергия системы; M – вектор обобщенных неконсервативных сил ($N \times 1$), представля-

ющий собой сумму вектора сил $M_{пр}$, передаваемых от исполнительных мышц на конечности скелетона, и вектора внешних сил $M_{вн}$. Вычислив потенциальную энергию системы и определив моменты статических сил, обусловленных массой звеньев и массой головы, получим модель системы в виде дифференциальных уравнений Лагранжа 2-го рода.

F – сила воздействия со стороны ТС на МВ.

Найдем кинетическую энергию механической системы и получим систему уравнений.

Для верхних конечностей водителя:

$$\begin{cases} b_{11}\ddot{q}_5 + b_{12}\ddot{q}_6 + b_{13}\ddot{q}_7 = R_{1p} + M_{1ст} + F_1, \\ b_{21}\ddot{q}_5 + b_{22}\ddot{q}_6 + b_{23}\ddot{q}_7 = R_{2p} + M_{2ст} + F_2. \end{cases}$$

Для туловища водителя:

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{q}_1 + a_{12}\ddot{q}_2 + a_{13}\ddot{q}_3 + a_{14}\ddot{q}_4 = R_1 + M_{ст1} + F_1, \\ a_{21}\ddot{q}_1 + a_{22}\ddot{q}_2 + a_{23}\ddot{q}_3 + a_{24}\ddot{q}_4 = R_2 + M_{ст2} + F_2, \\ a_{31}\ddot{q}_1 + a_{32}\ddot{q}_2 + a_{33}\ddot{q}_3 + a_{34}\ddot{q}_4 = R_3 + M_{ст3} + F_3, \\ a_{41}\ddot{q}_1 + a_{42}\ddot{q}_2 + a_{43}\ddot{q}_3 + a_{44}\ddot{q}_4 = R_4 + M_{ст4} + F_4. \end{cases}$$

Полагаем, что силы F_1, F_2 со стороны корпуса ТС на плечевой сустав водителя действуют одновременно и одинаково. Приведенные силовые воздействия к координатам со стороны ТС обозначены как F_1, \dots, F_4 . Из полученной системы уравнений видно, что движения звеньев динамически взаимосвязаны. Кроме того, звенья l_4, l_i (спинной и шейный позвоночники соответственно) следует рассматривать в одном из двух вариантов:

1) упругое звено с определенной жесткостью и приведенной стрелкой прогиба относительно геометрического центра $l(C, F)$;

2) звено, состоящее из набора последовательно соединенных двухшарнирных звеньев.

В соответствии с физиологическим строением скелета человека, известно что позвоночник состоит из 33–34 позвонков: 7 шейных, 12 грудных, 5 поясничных, 5 крестцовых, 4–5 копчиковых.

Кроме того, инерционные характеристики (величины b_{11}, \dots, b_{23} и a_{11}, \dots, a_{44}) зависят от обобщенных координат q_i , а следовательно, от конфигурации механизма. Полученные дифференциальные уравнения являются нелинейными.

В настоящее время проводится моделирование взаимосвязанной системы механик–водитель–транспортное средство. Цель

исследований – определение силового воздействия на механика, реакций шарниров и суставов, получение эффекта разрушения шарниров и суставов.

Список литературы

1. Безопасность конструкции автомобиля / М.А. Андронов, Ф.Е. Межевич, Ю.М. Немцов, Е.С. Саввушкин. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 160.
2. Илюхин Ю.В., Подураев Ю.В. Проектирование исполнительных систем роботов. Линеаризованные системы. – М.: Изд. МПИ, 1989. – С. 75.
3. Медведев В.С., Лесков А.Г., Ющенко А.С. Системы управления манипуляционных роботов. – М.: Наука, 1978. – С. 416.
4. Игнатъев М.Б., Кулаков Ф.М. Покровский А.М. Алгоритмы управления роботами-манипуляторами. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 248.

Рецензенты:

Кульчицкий А.Р., д.т.н., профессор, зам. главного конструктора по испытаниям ООО «Владимирский моторно-тракторный завод» г. Владимир;

Гоц А.Н., д.т.н., профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых Министерства образования и науки, г. Владимир.

Работа поступила в редакцию 27.07.2011.