

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТОР – РАБОЧАЯ ЗОНА ОПЕРАТОРА В ТРАНСПОРТНОМ СРЕДСТВЕ В ЭКСТРЕННЫХ СИТУАЦИЯХ

Кобзев А.А., Шахнин В.А., Шмаков В.С.

ГОУ ВПО Владимирский Государственный университет, Владимир, Россия, e-mail: stoletov5@rambler.ru

Рассматривается 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. Проводится анализ взаимодействия оператора и ТС. 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 ANALYSIS OF INTERACTION OF SYSTEM THE OPERATOR – THE WORKING ZONE OF THE OPERATOR IN THE TRANS-TAILOR MEANS IN EMERGENCY SITUATIONS

Kobzev A.A., Shahnin V.A., Shmakov V.S.

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

Creation of mathematical model and the analysis of dynamic system is considered: the operator (the mechanic-driver) - a working zone of the operator in a vehicle in extreme situations on purpose modeling process and definition of dynamic influences on the operator. The analysis of interaction of the operator and vehicle is carried out. The questions which are subject to consideration and research of the present dynamic process, the following: the mathematical description of the kinematic scheme of the operator, as link with difficult angular kinematics; a materialization of kinematic system gravity and the inertia moments, formation of a dynamic matrix of "operator"; the description of a working zone of the operator and object (the trans-tailor of means with the account pressure the inertia moments, etc., defined in the weights, the inertia moments in parameters of movement of object); 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 последние годы особенно динамично развиваются испытания автомобильной техники на активную (тормозные свойства, управляемость и устойчивость, обзорность) и пассивную безопасность.

В настоящее время анализ взаимодействия механика-водителя с элементами его рабочей зоны основан на натурных испытаниях. Эксперимент состоит в соударении транспортного средства и находящимся в нем манекенном оператором с внешней абсолютно жесткой средой. Эти испытания дорогостоящие и, кроме того, продолжи-

тельны во времени, так как разбиваются автомобили и деформируются манекены с системой датчиков, велики затраты по времени на подготовку материальной части испытаний. В рамках данной статьи 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.

Вопросы, подлежащие рассмотрению и исследованию настоящего динамического процесса:

- 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.

Настоящие исследования направлены 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. На рис.1 представлена укрупненная структурная схема процесса взаимодействия механика-водителя с его рабочей средой в транспортном средстве, на котором приняты следующие обозначения: $F_1(\sigma)$ – возмущение при движении от рельефа σ на ТС;

$F_2(t)$ – управляющее воздействие от МВ на ТС через двигатель и движитель и рулевое управление;

$Q(t)$ – деформации корпуса МВ (звеньев системы), причем $Q(t) = F(F_3, t)$.

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

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

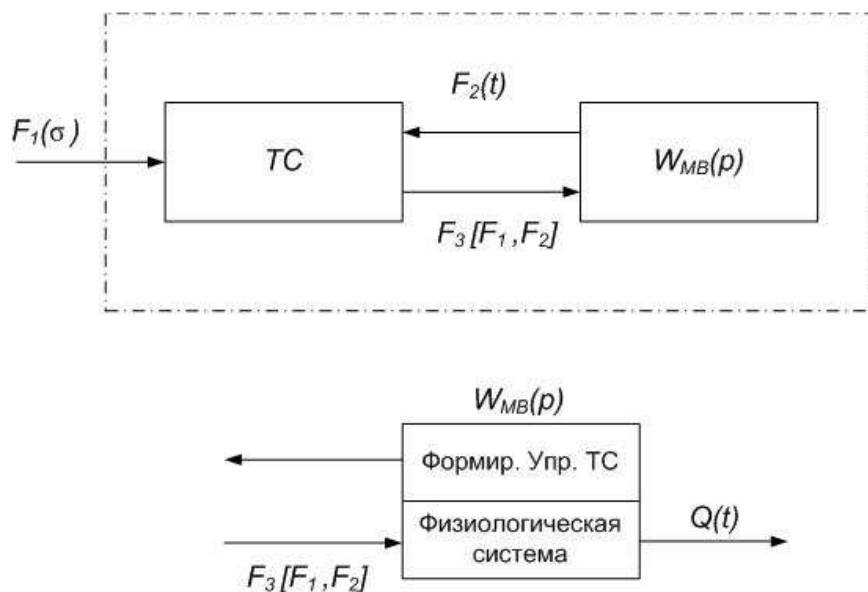


Рис.1. Структурное представление системы механик-водитель – транспортное средство – внешняя среда

Рассмотрим основные параметры тормозной динамики: начальная скорость, замедление (установившееся) при торможении, время и путь торможения, равномерность торможения; сохранение эффективности тормозной системы в течение срока службы ТС, устойчивость в процессе торможения, легкость управления и т.д.

К основным характеристикам можно отнести: зависимости изменения скорости, ускорения и пути от времени торможения; зависимости нарастания замедления от времени торможения; зависимости сил сцепления гусеничного движителя от времени торможения. На рис. 2. в качестве примера приведена тормозная диаграмма ТС при экстренном торможении на сухой дороге с начальной скорости V_0 .

На тормозной диаграмме выделены три фазы торможения:

- I – фаза реакции водителя и выбора зазоров в приводе тормозов;
- II – фаза нарастания замедления;
- III – фаза установившегося замедления.

Остановочный путь находим по выражению

$$S_0 = V_0(t_p + t_3 + 0,5t_{H3}) + \frac{V_0^2}{2j_y},$$

где t_p – время реакции водителя (зависит от водителя);

t_3 – время запаздывания привода (выбор зазоров в приводе и тормозном механизме);

t_{H3} – время нарастания замедления (зависит от темпа роста тормозных сил на гусеницах);

t_y – время торможения с установившимся замедлением;

V_0 – скорость перед торможением.

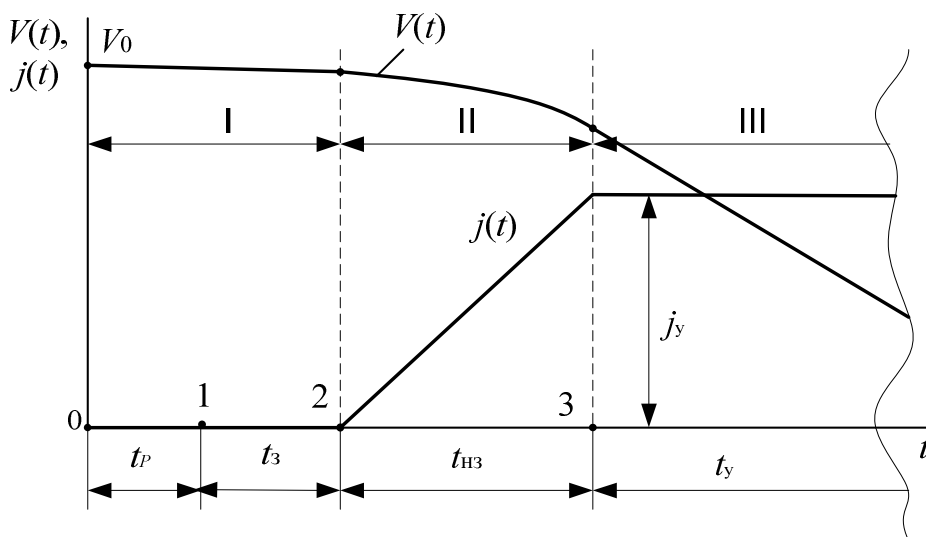


Рис. 2. Тормозная диаграмма ТС на сухом покрытии

Установившееся замедление без блокирования гусениц

$$j_y = \frac{\sum R_x}{M},$$

где $\sum R_x$ – тормозные силы на гусеницах;

M – масса ТС.

Первая фаза характеризуется временем реакции водителя и запаздыванием привода. Перемещение машины за этот период (скорость практически постоянная)

$$S_I = V_0(t_P + t_3).$$

Время реакции водителя находится в пределах $0,1 \dots 1,0$ с, а время запаздывания зависит от выбора зазора в приводе и выбора зазора между тормозной лентой и барабаном, который должен быть в пределах $\delta = 1 \dots 2$ мм и восстанавливается при проведении технического обслуживания или по потребности. При износе накладок зазор δ растет, что приводит к увеличению времени запаздывания и хода поршня бустера гидропневмоцилиндра. В конечном итоге, это приводит к росту перемещения ТС в первой фазе и снижению эффективности в третьей фазе (фаза установившегося замедления). Следует отметить большую трудоемкость восстановления зазора δ при проведении технического обслуживания. Неравномерный износ тормозных лент по бортам приводит к появлению возмущающего момента и, как следствие, уводу или заносу при экстренном торможении.

Анализируя структурную схему тормозной системы, можно выделить три системы:

- рабочая тормозная система (РТС). Все элементы механической части привода, гидро и пневмопривода выполняют заложенные при конструировании функции.
- запасная тормозная система (ЗТС). Система должна обеспечить остановку ТС при предписанном тормозном пути в случае отказа одного из элементов тормозной системы.
- стояночная тормозная система (СТС). СТС имеет общий механический привод с рабочей тормозной системой и используется на стоянке.

Представим механика-водителя в виде многозвенной системы в виде скелетона с кинематической схемой вида рис.3. Механик-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.

F – сила воздействия со стороны ТС на МВ.

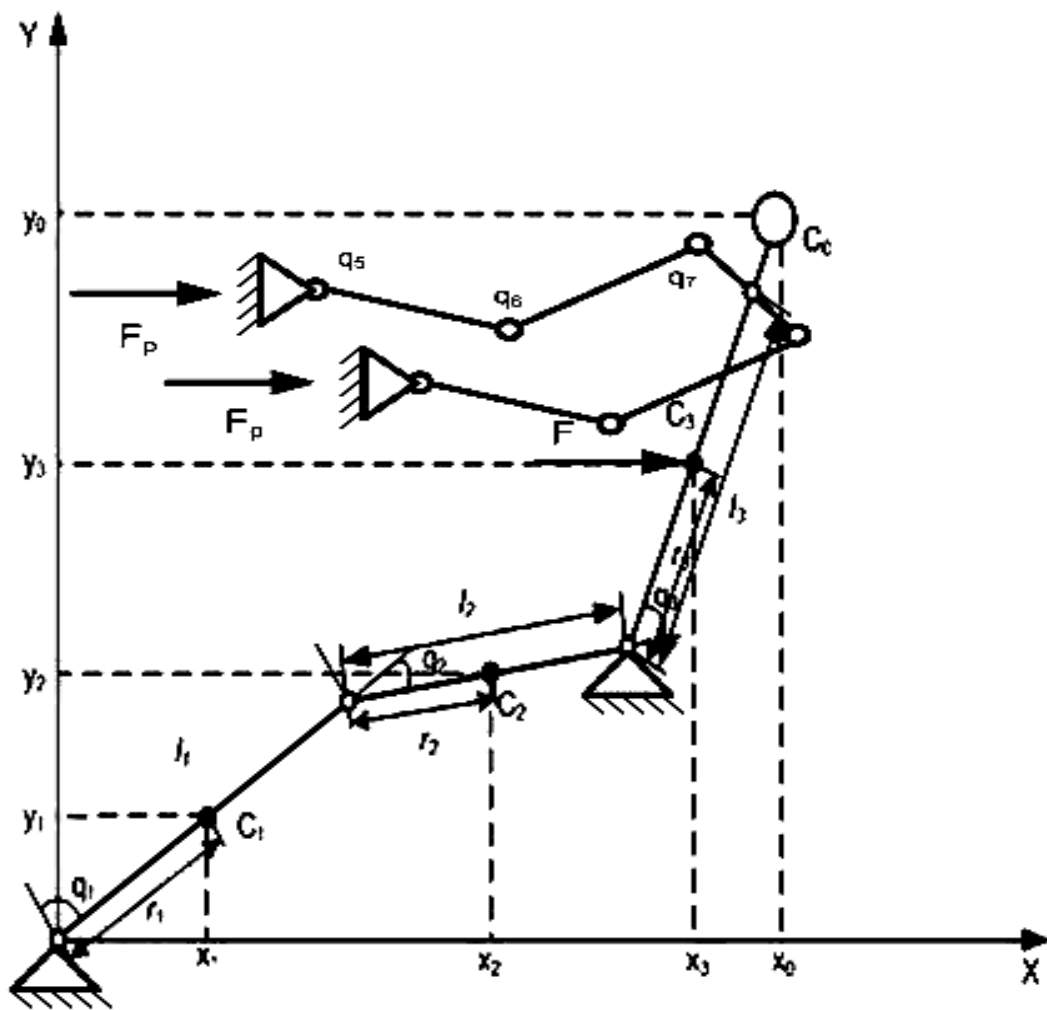


Рис.3. Расчетная схема системы

l_0, \dots, l_3 – длина звеньев, C_0, \dots, C_3 – центр масс звеньев, q_1, \dots, q_7 – обобщенные координаты углов, r_0, \dots, r_3 – расстояние от сустава до центра масс звена, F_p – воздействие на МВ от руля ТС

Тогда описание динамики многосвязной системы может быть получено с помощью уравнений Лагранжа 2-го рода. Для системы тел звеня,

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

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

Здесь φ – вектор обобщенных скоростей ($N \times 1$), причем $\varphi = dy/dx$; T – кинетическая энергия механизма; P – потенциальная энергия системы; M – вектор обобщенных неконсервативных сил ($N \times 1$) представляющий собой сумму вектора сил M_p , передаваемых от исполнительных мышц на конечности скелетона, и вектора внешних сил M_{en} . 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:

Найдем кинетическую энергию механической системы и получим систему уравнений

Для верхних конечностей МВ:

$$\begin{cases} b_{11}\ddot{q}_5 + b_{12}\ddot{q}_6 + b_{13}\ddot{q}_7 = R_{1p} + M_{cm1} + F_1, \\ b_{21}\ddot{q}_5 + b_{22}\ddot{q}_6 + b_{23}\ddot{q}_7 = R_{2p} + M_{cm2} + F_2. \end{cases}$$

Для туловища МВ:

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{q}_1 + a_{12}\ddot{q}_2 + a_{13}\ddot{q}_3 + a_{14}\ddot{q}_4 = R_1 + M_{cm1} + F_1, \\ a_{21}\ddot{q}_1 + a_{22}\ddot{q}_2 + a_{23}\ddot{q}_3 + a_{24}\ddot{q}_4 = R_2 + M_{cm2} + F_2, \\ a_{31}\ddot{q}_1 + a_{32}\ddot{q}_2 + a_{33}\ddot{q}_3 + a_{34}\ddot{q}_4 = R_3 + M_{cm3} + F_3, \\ a_{41}\ddot{q}_1 + a_{42}\ddot{q}_2 + a_{43}\ddot{q}_3 + a_{44}\ddot{q}_4 = R_4 + M_{cm4} + F_4. \end{cases}$$

Полагаем, что силы F_1 , F_2 со стороны корпуса ТС на плечевой сустав МВ 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_5 (спинной и шейный позвончики соответственно) следует рассматривать в одном из двух вариантов: 1) упругое звено с определенной жесткостью и приведенной стрелкой прогиба относительно геометрического центра $I(C, F)$; 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, 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. Андронов М.А., Межевич Ф.Е., Немцов Ю.М., Саввушкин Е.С. // Безопасность конструкции автомобиля. – 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. Лурье А.И. // Аналитическая механика. – М.: Физматгиз, 1961. – С. 824.
4. Игнатъев М.Б., Кулаков Ф.М. Покровский А.М.// Алгоритмы управления роботами-манипуляторами. – М.: «Машиностроение» , 1977. – С. 248.

Рецензенты:

Халатов Е.М., д.т.н., профессор, начальник расчетно-аналитического центра КБ «Арматура» – Филиала ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, г. Ковров.

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

Работа получена 11.11.2011.