

4. Запрягаев М.М., Крылов Л.К., Магидович Е.И., Щукин М.М. Армейские автомобили. Конструкция и расчет, Часть вторая. Ходовая часть и органы управления. Под ред. А.С.Антонова. Военное издательство МО СССР. М-1970.
5. Автомобили: конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть: Учеб. пособие для вузов/ А.И. Гришкевич, Д.М. Ломако, В.П. Автушко и др.; Под ред. А.И. Гришкевича.-Мн.:Выш. шк., 1987.-200с.:ил.

Организация адаптивных автоматических систем управления движением гусеничных и колесных машин

д.т.н. доц. Ягубов В.Ф., Шапкин А.Н.
«МАДИ» (ГТУ), ОАО «НИИСтали»
8-915-413-31-27, awsomporter@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены задачи и принципы построения бортовых информационно-управляющих систем транспортных машин. Изложены вопросы организации адаптивной системы контроля, диагностирования и управления движением колесных и гусеничных машин.

Ключевые слова: бортовая информационно-управляющая система (БИУС), адаптивный регулятор, автоматическая система управления движением.

Общей целью автоматизации управления движением гусеничной (колесной) машины является снятие с водителя ряда функций по управлению движением, что позволяет:

- во-первых, разгрузить водителя, облегчить процесс управления движением машины и тем самым снизить его утомляемость;
- во-вторых, обеспечить автоматический выбор режимов работы двигателя и трансмиссии в зависимости от их технического состояния и внешних условий движения, что позволит повысить эксплуатационные показатели объекта управления.

В связи с этим задачами автоматической системы управления движением (АСУД) являются:

- выбор оптимальных моментов переключения передач;
- предохранение деталей и узлов двигателя и трансмиссии от перегрузок;
- адаптация управления к изменяющимся условиям и режимам движения;
- контроль рабочих параметров и технического состояния систем и агрегатов, обеспечивающих движение машины, и поддержание их в установленных нормах.

Под оптимальными моментами переключения понимаются такие соотношения задающих параметров, при которых машина реализует наивысшие тягово-скоростные и топливно-экономические качества в соответствии с требуемым режимом движения и внешними условиями.

Для оптимального управления движением необходимо исключить или уменьшить факторы, ограничивающие эти показатели. К ним относятся:

- нерациональные переключения передач, в том числе цикличность;
- динамические нагрузки, возникающие в трансмиссии при переключении передач;
- температурный режим агрегатов и узлов.

В свою очередь эти факторы зависят от внешних условий движения машины: коэффициента сопротивления движению, коэффициента сопротивления повороту, условий движения по заносу в повороте и др. Внешние условия движения являются случайными возмущающими воздействиями на машину, изменяющимися в широких пределах, что вместе с разнообразными режимами работы машины обуславливает множество различных состояний и реакций деталей и узлов машины, учесть которые чрезвычайно трудно.

Режимы движения могут быть следующими: трогание с места, разгон, установившееся движение, движение на подъем, движение на спуск, торможение, поворот.

Наиболее сложными режимами с точки зрения оптимального управления являются разгон, поворот, движение на подъем и спуск.

Разгон машины характеризуется влиянием таких факторов, как интенсивность ускорения, внешние условия движению, траектория движения. Условием обеспечения полной реализации тягово-скоростных свойств машины, что необходимо для интенсивного разгона, является равенство сил тяги до и после переключения передач $f_{\partial i} = f_{\partial i+1}$.

Одним из условий снижения цикличности переключения является:

$$f_{\partial i+1} \geq f_c. \quad (1)$$

На рисунке 1 заштрихованная область не удовлетворяет этому условию, т.к. если значение силы сопротивления, действующей на участке пути, попадает на заштрихованную зону, то она превышает значение силы тяги на следующей передаче, но меньше силы тяги на предыдущей передаче, что приводит к зацикливанию.

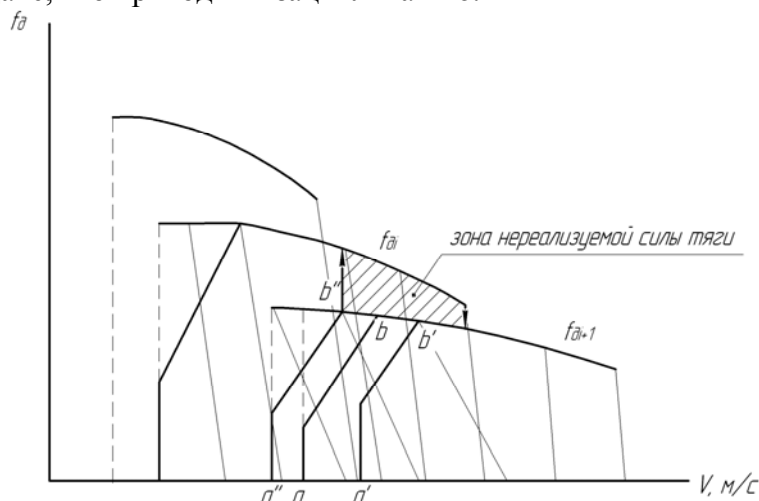


Рисунок 1 – Характеристика переключения передач: ab – оптимальная характеристика переключения передач; a'b' – характеристика переключения на высшую передачу; a''b'' – характеристика переключения на низшую передачу

Чтобы оценить, реализуется это условие или нет, система управления должна определять сопротивление движению непосредственно перед переключением передачи и сравнивать его с силой тяги на следующей передаче:

$$M_c = M_d(Z, \omega_d) - J_a \dot{\omega}_d, \quad (2)$$

где: M_c – момент сопротивления на валу двигателя;

$M_d(Z, \omega_d)$ – момент двигателя, зависящий от положения органа управления топливоподачей и угловой скорости вала двигателя;

J_a – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции вращающихся и поступательно движущихся масс транспортной машины, зависящий от передаточного числа трансмиссии.

Также для снижения цикличности и нерациональных переключений применяют раздвижку характеристики управления, представляющей собой зависимость силы тяги на смежных передачах при равных расходах топлива от скорости движения машины (рисунок 1).

Величина раздвижки характеризуется коэффициентом возврата:

$$K_v = \frac{V_{n-e}}{V_{e-n}}, \quad (3)$$

где: V_{n-e} , V_{e-n} – соответственно, скорости, соответствующие моменту переключения с низшей передачи на высшую и с высшей передачи на низшую.

Коэффициент возврата выбирается таким, чтобы перекрыть падение скорости во время переключения:

$$\Delta V = f_c \frac{g}{\delta} \Delta t, \quad (4)$$

где: ΔV – падение скорости движения за время переключения;

f_c – сила сопротивления движению;

δ – коэффициент учета вращающихся масс;

Δt – время переключения, зависящее от быстродействия системы управления и силы сопротивления движению.

Для исключения влияния кратковременных изменений силы сопротивления движения или случайного воздействия водителя на педаль подачи топлива в алгоритме переключения передач предусматривают временную задержку 1-3 с, которая обеспечивает снижение цикличности, но отрицательно влияет на динамические качества машины.

Скорость движения машины в повороте ограничивается условием по заносу:

$$V_{c \text{ крит}} = \sqrt{\frac{\mu_{\max} \cdot g}{k}}, \quad (5)$$

где: $V_{c \text{ крит}}$ – критическая скорость движения по заносу;

μ_{\max} – коэффициент сопротивления повороту;

k – кривизна траектории.

Кроме того, при движении по траектории с частой сменой знака кривизны из-за действия инерционного момента, а также разворота продольной оси машины относительно касательной к траектории ее центра масс в сторону поворота, прохождение пути происходит при меньшей скорости (при скорости гарантированно управляемого движения), чем при повороте в одну сторону.

Таким образом, опасность потери управления машиной из-за возникновения заноса является случайным событием, так как она зависит от двух случайных величин μ_{\max} и k . Этому событию соответствует в определенных условиях движения и определенная вероятность его выполнения.

Зависимость вероятности управляемого движения машины с данной скоростью и выше называется функцией быстроходности по заносу и обозначается $F_3(V_c)$ [1], т.е.

$$F_3(V_c) = P_3(V \geq V_c), \quad (6)$$

где: $P_3(V \geq V_c)$ – вероятность управляемого движения машины с данной скоростью V и выше.

Поэтому АСУД должна решать функцию автоматизации управления движением машины как в прямолинейном, так и в криволинейном движении за счет обеспечения контроля поведения машины при движении в повороте, и автоматического ограничения скорости движения V_c при приближении ее к критической скорости по заносу $V_{c.кр}$, тем самым предотвращая занос.

Основными показателями гусеничных и колесных машин являются средняя скорость движения V_{cp} и путевой расход топлива Q_s . Скорость движения машины, оснащенной АСУД, будет определяться и уровнем управляемости, так как ухудшение управляемости ведет к снижению средней скорости движения, возможной по тяговым свойствам в данных дорожно-грунтовых условиях.

На рисунке 2а показана зависимость функции быстроходности по заносу $F_3(V_c)$ от скорости движения.

Влияние управляемости на среднюю скорость будет сказываться тем сильнее, чем выше скорость, обеспечиваемая тяговыми возможностями, то есть это влияние зависит от удельной мощности машины, так как с увеличением удельной мощности повышается вероятность движения с высокими скоростями (рисунок 2б).

Развитие электроники и микропроцессорной техники обусловило широкое внедрение в колесную и гусеничную технику различных автоматических систем, предназначенных для облегчения действий водителя, связанных с контролем рабочих параметров, обнаружением неисправностей и управлением работой систем и агрегатов машины. Системы, обеспечивающие комплексное решение этих задач, получили название бортовых информационно-управляющих систем (БИУС). Вследствие случайного характера изменения внешних условий движения и управляющих воздействий водителя условия работы БИУС характеризуются

ограниченностью информации, необходимой для выработки управляющих воздействий.

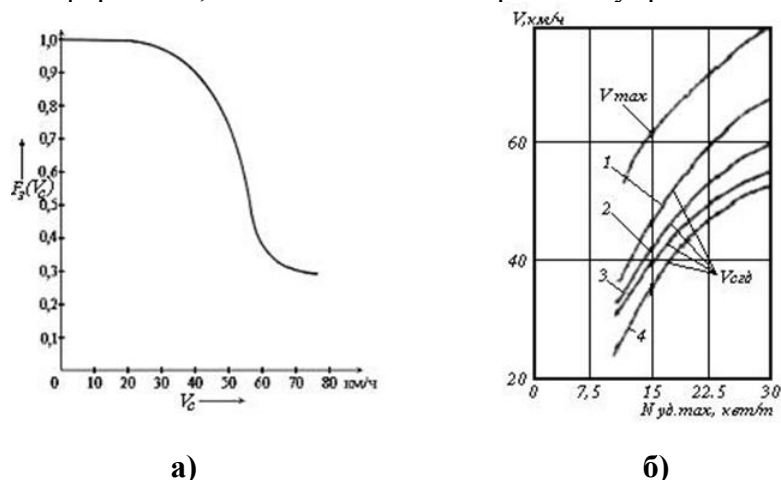


Рисунок 2 – а) функция быстроходности гусеничной машины с учетом ограничений скорости по заносу $F_3(V_c)$ для грунтовых дорог и местности; б) влияние ограничивающих факторов на максимальную (V_{max}) и среднюю ($V_{сгд}$) скорости движения при различных уровнях удельной мощности $N_{уд. max}$: 1 – внешние условия; 2 – эргономический фактор; 3 – управляемость; 4 – плавность хода

В таких условиях обычные БИУС не обеспечивают высокой эффективности управления. Выход состоит в том, чтобы придать системе управления движением машины свойство адаптивности, т.е. свойство автоматического учета информации не только априорной, использованной на стадии проектирования, но и текущей.

Нужный закон управления формируется адаптивным регулятором в процессе функционирования по реакциям объекта на управляющие воздействия. Иными словами, алгоритм адаптивного управления опирается на информацию о состояниях управляемого процесса, поступающего по каналам обратной связи, и обеспечивает достижение заданной цели любым объектом, несмотря на то, что остается неизвестно, каков в точности объект.

При наличии адаптивного регулятора свойство адаптивности (приспособляемости) приобретает вся система: если при изменении внешних условий или характеристик самого объекта управления найденный ранее закон управления перестает быть удовлетворительным (это становится известным по поведению объекта), то адаптивный регулятор находит новый закон управления, при котором поведение системы вновь начинает удовлетворять требуемым критериям и обеспечивается достижение цели управления.

Адаптивное устройство выполняет функции идентификации, принятия решения, модифицирования [2].

Процедура *идентификации* заключается в определении истинных значений изменяющихся физических величин и связанных с ними параметров, относящихся к основной системе (получение недостающей априорной информации). Выбор методов идентификации для использования в адаптивных системах должен осуществляться в соответствии со следующими требованиями:

- идентификация должна иметь возможность физической реализации в условиях функционирования объекта управления;
- время идентификации должно быть достаточно малым (для повышения быстродействия адаптивной настройки основной системы);
- метод идентификации должен быть пригодным для реализации с помощью управляющих ЭВМ и микропроцессоров;
- результаты идентификации должны иметь достаточно простую форму представления, а в качестве исходной информации должны использоваться непосредственно сами входные величины идентифицируемого процесса.

Процедура идентификации может быть реализована на основе прямого и косвенного измерения параметров процессов функционирования объекта управления и характеристик

внешних условий.

Наиболее простой разновидностью идентификации является *прямое измерение параметров* (к которым относятся, например, температура, давление, расход топлива и т.д.).

Косвенное измерение параметров представляет собой более сложную разновидность идентификации, при которой неизвестные параметры определяются как результат функциональных преобразований физических величин, полученных в результате прямого измерения.

Процесс принятия решения представляет собой вторую после идентификации элементарную процедуру адаптации и заключается в определении закона согласования настраиваемых параметров регулятора основного контура с параметрами нестационарного процесса функционирования объекта управления.

Исходными данными для принятия решения, в процессе которого используются *регулярные (аналитические) и поисковые алгоритмы*, служат результаты идентификации. Структурная схема *аналитической самонастраивающейся системы* может быть использована в случае, когда известно выражение, непосредственно связывающее параметры модели процесса с настраиваемыми параметрами регулятора. В таких системах контролируемые изменения свойств системы управления производятся на основе аналитического определения условий экстремума функционалов, отображающих цель и качество управления. Для построения и функционирования системы данного типа, не требующей времени на поиск настроек регулятора, необходимо получение исходной информации и наличие времени для вычисления и реализации оптимального решения.

Поисковые алгоритмы принятия решения используются в случаях, когда аналитическое выражение, связывающее параметры модели процесса с настраиваемыми параметрами регулятора, отсутствует (в силу сложности этой связи или же трудности ее получения) или требует больших затрат времени на его получение [3]. При их реализации результат идентификации (параметры модели процесса) подаются на вход устройства принятия решения. Контролируемые изменения параметров управляющей системы производятся для поиска условий, обеспечивающих достижение области экстремума регулируемой величины. Поисковые системы в отличие от аналитических не нуждаются в полной информации о состоянии и режимах работы объекта, но требуют значительное время на поиск оптимального решения.

Модифицирование заключается в реализации исполнительного воздействия в основной системе (например, задание параметров регулятора или структуры основного контура). Будучи тесно связанной с предшествующими процедурами адаптации (идентификацией и принятием решения), модифицирование отличается чрезвычайно большим разнообразием вариантов технической реализации, которые охватывают как аналоговую аппаратуру, так и ЭВМ и программные продукты.

Большое практическое значение имеет разновидность адаптивного управления, в которой параметры регулятора основной системы β известным образом зависят от некоторых величин, связанных с процессом (переменных параметров процесса α , помех z и др.). В этом случае представляется возможным, проведя измерение указанных величин посредством адаптирующего устройства (в соответствии с известной зависимостью), осуществить компенсирующую коррекцию (настройку) параметров регулятора основной системы β . Описанная разновидность разомкнутых адаптивных систем называется системой адаптивной компенсации возмущений [2]. Эти системы являются относительно простыми, однако требуют достаточно большого объема априорной информации.

Вектор управляющих воздействий формируется в зависимости от совокупной аналоговой и дискретной информации о состоянии и режимах движения машины и задающих воздействиях водителя. Управляющее воздействие формируется последовательно с учетом коррекции по входной информации после подачи команды управления. Приоритет управляющего воздействия определяется по "весовому" (наиболее значимому) параметру в диспетчере состояний, режимов движения машины и задающих воздействий водителя. Диспетчер состояний и режимов движения машины определяет фазы существования объекта и распределяет функции управления. При этом формируемое системой управляющее воздействие на-

правлено на сохранение работоспособности машины на базе предсказания нарастающего отказа и вывода машины из критического состояния.

Анализируя изменения рабочих параметров машины, система управления осуществляет коррекцию задающих воздействий водителя, обеспечивая тем самым защитные функции при его ошибочных действиях. В случае возникновения ситуации, когда необходимо обеспечить требуемый режим движения независимо от технического состояния машины, например, в боевой обстановке при возникновении отказа и невозможности его локализации автоматической системой, водитель может перейти на ручной режим управления движением.

Переход на ручное управление осуществляется и в случае выхода из строя автоматической системы контроля и управления. При этом на пульте управления сохраняется индикация аварийной сигнализации.

Заключение.

Система управления движением гусеничными и колесными машинами должна обеспечивать оптимальные тягово-скоростные и динамические качества машины в условиях широко и часто изменяющихся условий и режимов движения, которые являются случайными воздействиями.

Необходимость автоматического комплексного управления движением машины, контроля и диагностирования ее рабочих параметров обуславливает внедрение в колесную и гусеничную технику бортовых информационно-управляющих систем, минимизирующих участие человека в выборе режимов работы систем и агрегатов, обеспечивающих движение машины. При этом БИУС должна обладать адаптивными свойствами в связи с широко изменяющимися условиями движения, свойствами узлов и агрегатов в процессе эксплуатации объекта, а также задающих воздействий водителя.

Литература.

1. Савочкин В.А., Дмитриев А.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых машин.- М.: Машиностроение, 1990.-320 с.
2. Срагович В.Г. Адаптивное управление.- М.: Наука,1981.- 384 с.
3. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование.- М.: Машиностроение, 1973.- 606 с.

Использование программного обеспечения для математического моделирования при проектировании автомобилей с гибридными силовыми установками

Черанёв С. В.

МГТУ «МАМИ»

8(495) 223-05-23 доб. 1154, cheranев@mami.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы математического моделирования при проектировании автомобилей с гибридными силовыми установками. При проектировании транспортного средства одной из основных задач, стоящих перед разработчиками, является максимальная проработка проекта еще до постройки опытных образцов. Правильно построенная математическая модель может вплотную приблизить результаты виртуальных испытаний к реальным стендовым и дорожным тестам. Работая с математической моделью, инженер способен протестировать автомобиль с различными узлами и агрегатами, что является практически невозможным при работе с реальными системами и агрегатами.

Ключевые слова: гибридная силовая установка, математическое моделирование, система управления, тягово-динамические характеристики.

При проектировании транспортного средства одной из основных задач, стоящих перед разработчиками, является максимальная проработка проекта еще до постройки опытных образцов. Правильно построенная математическая модель может вплотную приблизить результаты виртуальных испытаний к реальным стендовым и дорожным тестам. Работая с матема-