

- только путём применения апробированных конструктивных решений при четком выполнении всех технологических и эксплуатационных указаний, а также выполнении ГСУ, минимизирующей влияние (мало или не чувствительной к влиянию) «человеческого фактора» на всех этапах создания и эксплуатации СМО.
- 2. Обязательно выделение особо опасных структурных звеньев (например, переключаемых стрелок на железнодорожных путях, гидроаккумуляторов и т.п.), отказ которых приводит к тяжелым последствиям, присвоение им категории особо опасных звеньев с необходимостью полного или поэтапного резервирования элементов этих звеньев и двойного – тройного контроля независимыми службами или системами всех конструкторских, технологических и эксплуатационных операций, касающихся этих звеньев.
- 3. Надёжность ГСУ СМО и безопасность ее работы целесообразно приравнивать (или быть выше в зависимости от назначения СМО) к надёжности и безопасности современных автобусов [1, 2, 4, 5, 8, 9]. Крайне целесообразно вести проектирование, изготовление, эксплуатацию ГСУ СМО в соответствии с хорошо отработанными и прошедшими длительную проверку на огромном парке воздушных судов Авиационными правилами АП25 [1] и Руководством по предотвращению авиационных происшествий ИКАО [2]. Это позволит снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций, а в ряде случаев даже избежать появления тяжелых катастроф на СМО в будущем.

Литература

1. Авиационные правила АП-25. Нормы лётной годности транспортной категории. – Л.: ЛИИ им. М.М. Громова, 1994. – 235 с.
2. Руководство по предотвращению авиационных происшествий ИКАО, 1984. 150 с.
3. Единые нормы лётной годности гражданских транспортных самолётов стран членов СЭВ. – М.: Издательство ЦАГИ, 1985. – 470 с.
4. Шумилов И.С. Системы управления рулями самолётов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 469 с.
5. Шумилов И.С. Авиационные происшествия. Причины возникновения и возможности предотвращения. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 383 с.
6. Шумилов И.С. Прочность гидравлических систем управления самолетом// Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 4(16). – С. 24. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/690.html>
7. Шумилов И.С., Чурсова Л.В., Седова Л.С. Рабочие жидкости авиационных гидросистем, их свойства // Наука и образование. Электронный журнал. – 2014. – № 4. – С. 160-199. DOI: [10.7463/0414.0705577](https://doi.org/10.7463/0414.0705577).
8. Шумилов И. С. Рулевые приводы с автономным гидропитанием (АРП) для магистральных самолётов // Наука и образование. Электронный журнал. – 2014. – № 8. – С. 139-161. DOI: [10.7463/0814.0724446](https://doi.org/10.7463/0814.0724446).
9. Шумилов И. С. Возможные пути снижения массы системы управления рулями самолёта // Наука и образование. Электронный журнал. – 2013. – № 2. – С. 111-150. DOI: [10.7463/0213.0531715](https://doi.org/10.7463/0213.0531715)
10. SAE ARP 4752A. Авиация и космос. Проектирование и монтаж гидравлических систем коммерческих транспортных воздушных судов.

Системные и несистемные оценки управляемости автомобиля

д.т.н. проф. Катанаев Н.Т., к.т.н. проф. Лепешкин А.В.
Университет машиностроения
8(495)223-05-23, доб. 1426

Аннотация. Работа касается проблемы, связанной с понятиями управляемость и наблюдаемость колесных и гусеничных машин. На основе анализа алгоритмической схемы человеко-машинной системы «Автомобиль-среда-водитель» рас-

считаются прямыми оценками динамических свойств объекта, а также интегральные оценки управляемости, которые носят системный характер.

Ключевые слова: автомобиль, водитель, алгоритмическая схема, управляемость, наблюдаемость, система, интегральные оценки.

Понятие управляемости, сформулированное Калманом [1], является одним из важнейших в общей теории движения объектов. Наличие же большого числа противоречивых взглядов на определение этого понятия в теории движения колесных машин свидетельствует об актуальности проблемы построения такой системы, которая бы дала возможность снять значительную часть неопределенностей в подходах идентификации системы и оценки ее свойств.

Нередко в качестве оценок управляемости используются динамические или статические характеристики движения объекта управления, на вход которого с целью определения реакции подается нормированный сигнал в форме ступенчатого или импульсного, а также гармонического воздействия. Заметим, что в этом случае после подачи возмущающего воздействия на органы управления объекта водитель не участвует в процессе управления его движением. Объект совершает неуправляемое движение по траектории, зависящей от собственных динамических характеристик и от внешних возмущающих воздействий.

В процессе такого испытания в перечень параметров обычно включают боковое ускорение, которое в совокупности с другими параметрами в дальнейшем используется для оценки динамических свойств объекта управления. В этом случае получение характеристик управляемости относительно траектории движения связано с необходимостью дважды проинтегрировать боковое ускорение. При этом каждый раз мы получим постоянные, которые приводят к тому, что при интегрировании по времени решение стремится к бесконечности, что свидетельствует о неустойчивости «изолированного» движения объекта относительно траектории.

Иначе говоря, неуправляемый объект, по сути, является астатическим звеном второго порядка, который приобретает свойство управляемости лишь при включении водителя (или автомата) в структуру управления движением объекта. При отсутствии водителя система теряет способность наблюдать за выходными сигналами, определяющими состояние или положение системы, и по определению становится ненаблюдаемой. В этом случае невозможно сформировать такие управляющие функции, которые могли бы перевести объект из любого начального состояния в любое конечное состояние. Классическое определение наблюдаемости и управляемости предложено Калманом еще в 1961 г. [1] и широко используется в теории управления движением объектов различной природы.



Рисунок 1. Информационная модель чмс «АСВ»

Представить процесс наблюдения за выходными сигналами автомобиля можно с использованием рисунка 1, где изображена информационная модель человеко-машинной системы «Автомобиль-среда-водитель» (чмс «АСВ»).

Получение от средств отображения информации (СОИ) данных о состоянии наблюдаемых параметров автомобиля и среды осуществляется под контролем анализаторов (А): зрительных, слуховых, вестибулярных и тактильных. В центральной нервной системе (ЦНС) водителя (рисунок 2) происходит преобразование полученной информации, которая трансформируется в образы, понятия и признаки. Сформированные в ЦНС управляющие сигналы $\Delta y(t)$ как результат сравнения заданной $y_3(t)$ и действительной $y(t)$ траекторий движения автомобиля подаются на эффекторы – Э (мышцы рук и ног), воздействующие в форме сигнала $z(t)$ через органы управления на параметры состояния и движения объекта управления (ОУ), испытывающего внешние возмущения $h(t)$.

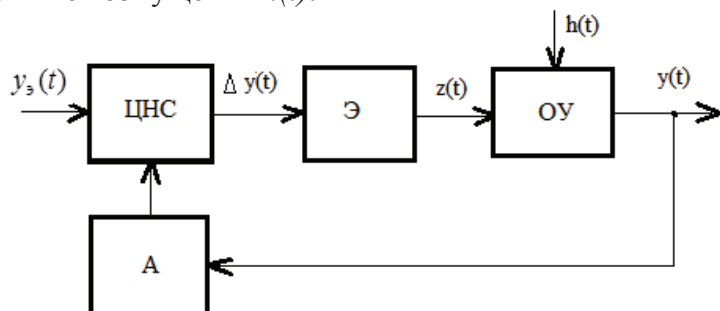


Рисунок 2. Преобразование сигналов в чмс «АСВ»

На рисунках 1 и 2 представлена схема течения информационных потоков в системе слежения за действительной траекторией движения автомобиля, изменяющейся по неизвестному закону. Каждый элемент системы осуществляет функциональные и количественные преобразования, которые могут быть описаны алгоритмической схемой (рисунок 3).

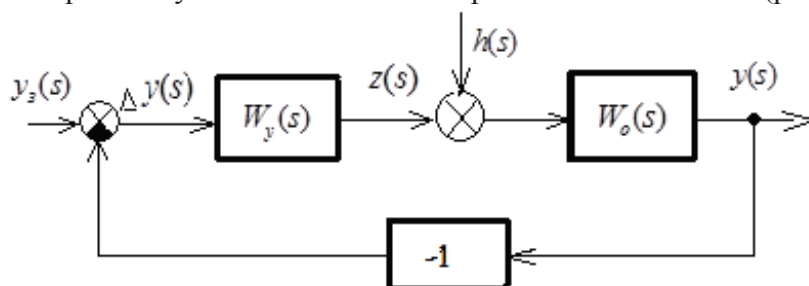


Рисунок 3. Алгоритмическая схема чмс «АСВ»

В соответствие с этой алгоритмической схемой можно записать уравнение

$$y(s) = [(y_3(s) - y(s)) * W_{y_3}(s) + h(s)] * W_o(s), \quad (1)$$

$$W_o(s) = D_z(s) / D_0(s), \quad (2)$$

$$W_{y_3}(s) = D_{y_3}(s) / D_y(s), \quad (3)$$

где: s – оператор Лапласа; $W_o(s)$ – передаточная функция объекта управления; $D_0(s)$ – собственный оператор объекта управления; $D_z(s)$ – оператор по входу $z(s)$; $W_{y_3}(s)$ – передаточная функция по задающему входу $y_3(s)$; $D_{y_3}(s)$ – оператор по задающему входу $y_3(s)$.

После ряда преобразований выражение (1) можно записать в виде:

$$y(s) = W_{Cy}(s) * y_3(s) + W_{Ch}(s) * h(s), \quad (4)$$

$$W_{Cy}(s) = (W_c(s) * W_o(s)) / (1 + W_c(s) * W_o(s)), \quad (5)$$

$$W_{Ch}(s) = W_o(s) / (1 + W_c(s) * W_o(s)), \quad (6)$$

где: $W_{Cy}(s)$ – передаточная функция системы по задающему входу $y_3(s)$; $W_{Ch}(s)$ – передаточная функция системы по нагрузочному входу $h(s)$.

Анализируя передаточные функции человеко-машинной системы «АСВ», отметим следующее. Первое, как следует из выражения (4), формирование действительной траектории движения автомобиля происходит в соответствии с передаточными функциями водителя и объекта управления и каждая из них вносит свою долю в результаты процесса управления объектом. Второе, передаточные функции системы (5) и (6) свойственны замкнутым отрицательной обратной связью структурам, обладающим астатизмом нулевого порядка. Из этого можно сделать следующие выводы. При испытаниях автомобиля, управляемого водителем, вносятся существенные коррективы в результаты исследований. Доля водителя в этих результатах во многом зависит от уровня его профессионализма, что повышает неопределенность в оценке свойств объекта управления. Однако в этом случае реализуется процедура слежения за заданной траекторией движения автомобиля, что оказывается невозможным в случае испытаний «изолированного» движения автомобиля (см. рисунок 4), когда на вход $z(s)$ подается нормированный сигнал в форме ступенчатого, импульсного, или гармонического воздействия.

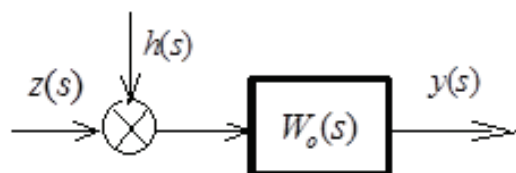


Рисунок 4. Алгоритмическая схема «изолированного» движения автомобиля

«Изолированное» движение автомобиля может быть представлено в соответствии с алгоритмической схемой (рисунок 4) уравнением движения:

$$y(s) = (z(s) + h(s)) * W_o(s). \quad (7)$$

В (7) отсутствует передаточная функция водителя, поэтому результаты испытаний будут связаны только со свойствами объекта исследований и влиянием внешней среды, но из-за отсутствия обратной связи слежение за траекторией движения оказывается невозможным, поскольку сам объект управления не обладает астатизмом нулевого порядка. Поэтому полученные прямые оценки автомобиля при этом типе испытаний не являются самой характеристикой управляемости, которая носит системный характер. Прямые оценки (переходные, импульсные, частотные характеристики) служат для получения информации о показателях качества либо точности процесса.

Для исследования управляемости могут быть использованы интегральные оценки, связанные с испытанием системы. В этом случае регистрируемым параметром (см. рисунок 3) является управляющее воздействие $z(s)$, которое формируется в результате слежения за заданной траекторией движения $y_3(s)$.

В форме оригиналов интегральные оценки $J(z(t))$ примут вид:

$$J(z(t)) = \int_{t_0}^{t_k} (z^2(t) + a_1^2 z^{(1)}(t) + a_2^2 z^{(2)}(t) \dots + a_n^2 z^{(n)}(t)) dt, \quad (8)$$

где: a_i^j – весовые коэффициенты.

Для того чтобы исключить влияние водителя, характеристики которого носят субъективный характер, на оценки управляемости автомобиля, в эксперименте может быть использован автомат слежения за заданной траекторией, например [2,3]. В основу аналитического конструирования оптимальных автоматов слежения за траекторией движения [4,5] может быть положен функционал:

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_n} \sum_{i=1}^n (a_i x_i^2 + u^2) dt \rightarrow \min_{u \in U}, \quad (9)$$

где: x_i – фазовые координаты; u – управление; a_i – весовые коэффициенты.

В качестве интегральной оценки управляемости системы АСВ могут быть использованы различные функционалы, построенные, например, на минимизации энергии, связанной с

процессом управления объектом:

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt \rightarrow \min_{u \in U} . \quad (10)$$

Эти функционалы ложатся в основу различных оптимизационных задач.

Выводы

1. Прямые оценки, построенные на результатах исследования «изолированного» движения автомобиля, из-за отсутствия возможности слежения за заданной траекторией не могут служить системной оценкой управляемости автомобиля, поскольку они противоречат понятию «управляемость относительно заданной траектории».
2. Оценки управляемости типа (8) и (10), во многом из-за наличия водителя в системе управления, носят случайный и субъективный характер, поэтому окончательный результат может быть получен после статистической обработки результатов экспериментов. Однако их основное достоинство состоит в том, что они могут быть использованы в задачах параметрической оптимизации и в задачах оптимизации процессов управления автомобилем.
3. Использование автоматов слежения за заданной траекторией (аналитических и реальных) дает возможность исключить субъективное влияние водителя на системные оценки, но в значительной мере усложняет аналитические и экспериментальные исследования управляемости автомобиля.

Литература

1. Kalman R.E., HO Y.C., Narendra L.S. Controllability of Linear Dynamical Systems, Contributions to Differential Equations; Interscience Publishers Inc. N.Y., 1962, p.p. 189 – 213.
2. Катанаев Н.Т., Вихман В.С., Морозов Б.И., Карелин В.И. Устройство для исследования характеристик управляемости автомобиля в режиме слежения. А.С. № 662841 от 15.05.79. Б.И. №18, 1979.
3. Катанаев Н.Т., Карелин В.И. Устройство для исследования управляемости транспортного средства. А.С. № 887975, Б.И. № 45, 1981.
4. Красовский Н.Н., Летов А.М. Теория аналитического конструирования регуляторов. Автоматика и телемеханика, 1962,23, с.649 – 656.
5. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов. – “Автомат. и телемех.” Т. XX1, № 4,5,6,1960, Т. XX11 № 4, 1961, Т. XX111, № 11, 1962. с. 433 – 434, 561 – 568, 661 – 665.

Компоновочные решения и отказы трансмиссий вездеходов на шинах сверхнизкого давления

д.т.н. проф. Ляшенко М.В.¹, Шеховцов В.В.¹, Мигунов А.И.², Чебаненко А.П.¹
¹ВолгГТУ, ²ЗАО «Нижевожское УТТ»
ts@vstu.ru

Аннотация. В статье проанализированы компоновочные решения трансмиссий транспортных средств на шинах сверхнизкого давления. Показано, что в большинстве случаев их трансмиссии компонуются из готовых узлов серийно выпускаемых в России транспортных средств. Из-за этого усложняется привод колес, снижается ресурс элементов трансмиссий и появляются характерные эксплуатационные поломки. В статье приведены статистические данные по отказам вездеходов ТРЭКОЛ-39041, эксплуатирующихся в Волгоградской области, а также указаны недостатки существующей методики расчета передаточных чисел трансмиссий таких машин.

Ключевые слова: трансмиссия, передаточное число, транспортные средства на шинах сверхнизкого давления, крутящий момент.