

XI OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA TEORII MASZYN
I MECHANIZMÓW11th POLISH CONFERENCE ON THE THEORY OF MACHINES
AND MECHANISMS

27—30. 04. 1987 ZAKOPANE

Dragan Golubović

Technički fakultet, 32000 Čačak
Borisa Kidriča bb, JugoslavijaОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЯ ПО КРИТЕРИЮ
УСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЕНИЯ

Резюме. В статье используя устойчивость управления, показывается способ оптимизации параметров автомобиля. При этом, под устойчивостью управления автомобиля подразумевается его способность, чтобы при управлении под действием разных возмущений, его начальные амплитуды колебания от курса движения быстро уменьшались стремясь к своему заданному-стабильному положению движения. На подходящей механической модели движения автомобиля, охватывающей его существенные характеристики, качественная оценка устойчивости управления сделана через условия устойчивости, время отклика на возмущения и поворачиваемость автомобиля.

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.

- $\{x\}$ - параметры движений,
 A - матрица системы,
 λ - угол возвращаения передних колёс,
 S_y - боковое возмущение,
 M - момент возмущения на рулевом колесе,
 $\{b\}, \{u\}, \{r\}$ - матрицы возмущения
 δ_1, δ_2 - боковой увод переднего и заднего мостов,
 θ - угол плавности автомобиля,
 M - масса автомобиля
 a - расстояние от передней оси и центра тяжести,
 R - радиус траектории,

- $\mathcal{K} = 1/R$ - кривизна траектории,
 \mathcal{K}_s - статическая кривизна,
 \mathcal{K}_0 - начальная кривизна,
 $\bar{\mathcal{K}}$ - статическая чувствительность кривизной,
 t - время,
 t_p - время отклика,
 v_T - скорость центра тяжести,
 $v_{kT} = v_{kz}$ - критическая скорость устойчивости и поворачиваемости,
 $j = dv/dt$ - ускорение касательное центра тяжести,
 ω - угловая скорость около вертикальной оси,
 $\dot{\omega}$ - угловое ускорение около вертикальной оси,
 $Y_i = k_i \delta_i$ - боковые силы,
 k_1, k_2 - нестационарные коэффициенты, бокового увода колеса автомобиля,
 $(v_{kR})_{opt}$ - критическая скорость устойчивости оптимального автомобиля,
 $(t_p)_{opt}$ - оптимальное время отклика автомобиля,
 $(\Delta \bar{\mathcal{K}})_{opt}$ - оптимальная разница статической чувствительности кривизны автомобиля,
 S_x - продольная возмущающая сила,
 Z_i - радиальная нормальная реакция опоры,
 X_i - тангенциальная продольная сила,
 G - совокупная тяжесть автомобиля,
 h_T - высота центра тяжести T от горизонтальной начальной поверхности.

Введение

Существует большое число трудов, в которых исследуется, частично, устойчивость и управляемость автомобиля. Автор этого труда использовал для оптимизации параметров автомобиля устойчивость управления, т.е. функцию критерия, который содержит в себе устойчивость и поворачиваемость управляемость. При этом началось от трудов (1) - (7), в которых определяются направляющая устойчивость, устойчивость против заносения, устойчивость курса управления подвешенной массы и тому подобное. Ближайшее определение устойчивости управления (Stability and Control, Vehicle Directional Control Stability, Handling), дано U.J. Miliken и L.-Jutkom-(8).

Автор для критерия оптимизации использовал УСТОЙЧИВОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ, которая представляет способность движущегося автомобиля, который находится под влиянием сил возмущения начальной амплитуды колебания от плоскости его продольной симметрии - курса движения, быстро уменьшается, стремясь к своему референтному стабильному положению движения, включая боковую эластичность и другие характеристики автомобиля, (9, 10).

Исходя из основных характеристик системы внешняя среда - автомобиль - водитель (S-A-V) и требования водителю легко управлять, определены нужные условия о желаемом поведении автомобиля. Сделано моделирование движения автомобиля и качественная оценка устойчивости управления, (11)-(13).

Пользуясь определёнными параметрами для качественной оценки устойчивости управления и нужные требования о поведении оптимального автомобиля (14), определены критерии для оптимальной устойчивости управления.

Основные характеристики системы внешняя среда - автомобиль-водитель (S-A-V)

Из анализа системы S-A-V можно сделать вывод о нужном поведении автомобиля, а которое состоит в следующем (рис. 1).

- нужно при любом возмущении автомобиль УСПОКОИТЬ,
- нужно чтобы успокаивание происходило достаточно БЫСТРО как бы водитель мог следить за возмущениями (но не слишком быстро), т.е. чтобы водитель реагировал по закрытой обратной связи и
- нужно чтобы, после успокаивания автомобиль был чем ближе ЖЕЛАЕМОЙ ТРАЕКТОРИИ.

Лишь таковым автомобилем водитель может без, большого напряжения, вести автомобиль желаемому коридору. Все три желаемые свойства охвачены устойчивостью управления автомобилем.

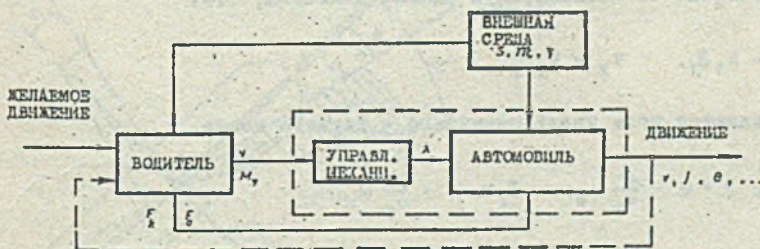


Рис. 1

В случае случайных внешних возмущений на автомобиле, нужно чтобы, отзыв автомобиля t_a был меньше от реакции водителя t_v ($t_a < t_v$), т.е. чтобы был в определённых оптимальных рамках.

По (17) оптимальная реакция водителя бывает в интервале:

- для трудных условий движения $t_v = (0,3-1) \text{ s}$,
- для лёгких условий движения $t_v = (1-3) \text{ s}$.

Моделирование движения автомобиля анализа устойчивости управления

Для анализа устойчивости управления автомобилем использовались разнообразные более простые и более сложные модели за три, четыре, пять, шесть и семь ступеней свободы движения.

Автор развернул нестационарную модель автомобиля на основе которой можно эффективно анализировать влияния ряда параметров автомобиля на устойчивость управления.

В уравнениях движения использована кривая \mathcal{K} (радиус кривой R), которая обеспечивала интегральный анализ устойчивости и управляемости (поворачиваемости) автомобиля, т.е. устойчивости управления.

На рисунке 2 показана механическая модель которая использована при формировании дифференциальных уравнений, которых форма:

$$\{\dot{x}\} = A\{x\} + \{b\}\lambda + \{u\}S_y + \{r\}\pi \quad (1)$$

где знаки показаны в таблице.

Плоская модель в обозначении $[v_T, \mathcal{K}, \theta, \lambda]$ (Рис. 2б), который анализируется в статье, является характерным в следующем:

- параметрами движения являются скорость тяжести v_T , кривизна траектории тяжести $\mathcal{K} = 1/R$ и угол плавности автомобиля θ , а λ - угол возвращения передних колёс является возмущением; возмущением могут явиться и боковая сила S_y и возмущающий момент π ;
- боковые силы на передних и задних колёсах, вследствие боковой эластичности, зависят от пневматики и режима движения, т.е.

$$Y_1 = k_1 \delta_1, \quad Y_2 = k_2 \delta_2,$$

где появляются углы увода переднего и заднего моста,

$$\delta_1 \approx \lambda + \theta - \frac{a}{v_T} \omega_z, \quad \delta_2 \approx \theta + \frac{b}{v_T} \omega_z,$$

а коэффициенты увода зависят от пневматики и ускорения перераспределения силы на колёсах (Z_1 и Z_2):

$$k_1 = \frac{Z_1}{\alpha_1 + \beta_1 Z_1}, \quad k_2 = \frac{Z_2}{\alpha_2 + \beta_2 Z_2},$$

$$Z_1 = G[b/1 - h_T(1-j/g)/l], \quad Z_2 = G[a/l + h_T(1+j/l)/l];$$

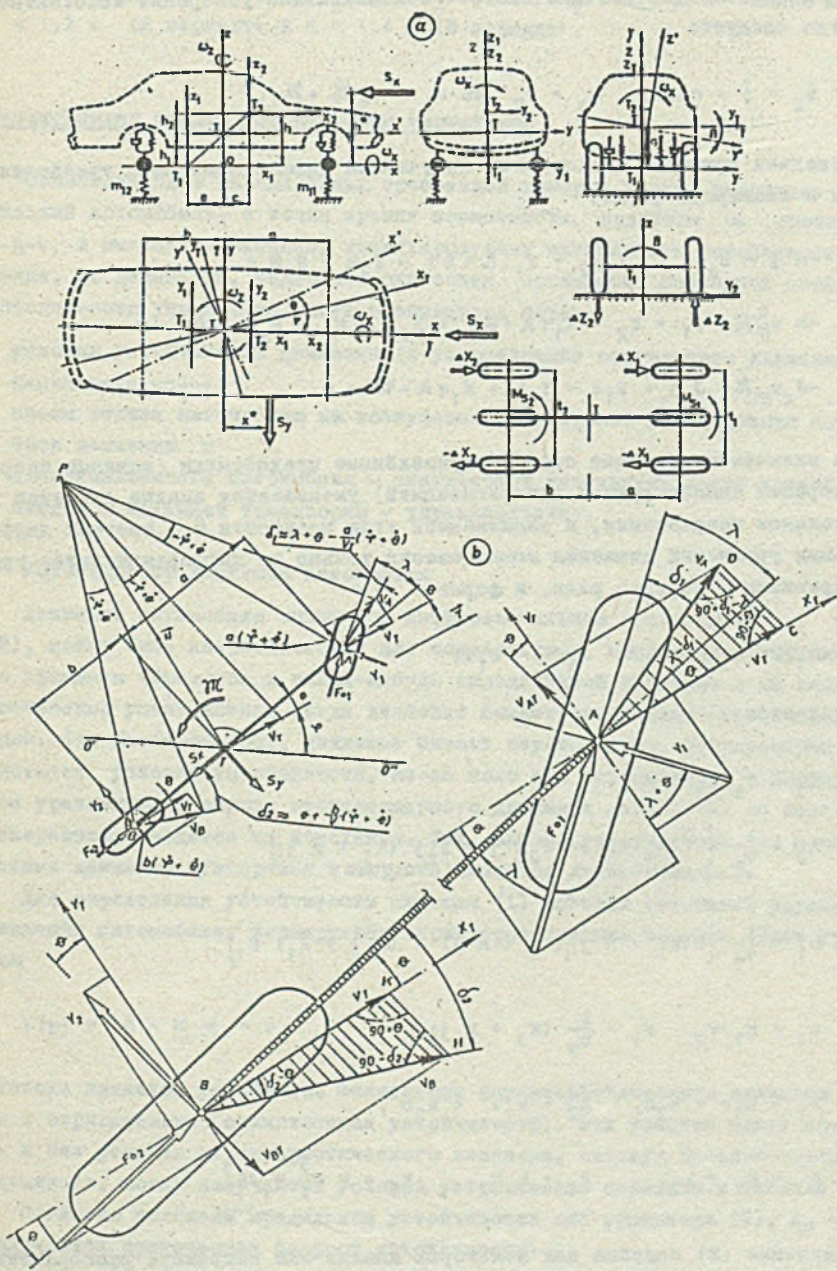


Рис. 2

- величины λ , θ , δ_1 и δ_2 - маленькие величины - сделана линеаризация;
- для дискретизации расчёта взято что касательное ускорение константно, когда следует:

$$\dot{v}_T = j = \text{const}, \quad \omega_z = v_T \cdot \mathcal{H}, \quad \dot{\omega}_z = v_T \dot{\mathcal{H}} + \mathcal{H} j.$$

Применением принципа D'Alambert получаются дифференциальные уравнения движения в линейной форме:

$$\begin{aligned} -m j - S_x + X_1 + X_2 - Y_1(\lambda + \theta) - Y_2\theta + S_y\theta &= 0 \\ -m v_T^2 \mathcal{H} + Y_1 + Y_2 + X_1(\lambda + \theta) + X_2\theta - S_y - S_x\theta &= 0 \\ -J_z v_T \dot{\mathcal{H}} - J_z j + Y_1 a - Y_2 b + X_1 a \lambda + m \pi &= 0. \end{aligned} \quad (2a)$$

Когда включаются боковые силы уз приведённые предпосылки (влияние скорости и ускорения анализируются дискретизацией) уменьшается анализ движения в касательном направлении, и элиминацией угла плавности θ , система дифференциальных уравнений движения можно свести только на дифференциальное уравнение кривизны - первого ряда, в форме

$$A_1 \dot{\mathcal{H}} + A_2 \mathcal{H} = b_1 \lambda + c_1 S_y + r_1 \pi \quad (2)$$

где является:

$$A_1 = J_z (K_3 + m j)$$

$$A_2 = \frac{1}{v_T} [l^2 (K_4 - K_5) + K_2 m j + J_z j (K_3 + m j)]$$

$$b_1 = \frac{1}{v_T} [a(k_1 + m j)(K_3 + m j) - (m j + k_1) K_1]$$

$$c_1 = K_1 / v_T \quad r_1 = \frac{1}{v_T} (K_3 + m j)$$

$$K_1 = k_1 a - k_2 b, \quad K_2 = k_1 a^2 + k_2 b^2,$$

$$K_3 = k_1 + k_2, \quad K_4 = k_1 k_2, \quad K_5 = m v_T^2 K_1 / l^2.$$

Уравнение (2) подобна для некоторых анализ как например: распоряжения масс, вид пневматика, влияние бокового ветра, вид привода (торможения), управляемого механизма, подвешивания, режима движения и др.

Основные данные автомобиля который анализируется в статье: $G = 10\ 000\ \text{N}$; $M = 1\ 019\ \text{kg}$; $l = 2,4\ \text{m}$; $J_z = 1\ 000\ \text{kg}\ \text{cm}^2$; $h_T = 0,6\ \text{m}$; $a = 1\ \text{m}$ (1 вариант); $a = 1,2\ \text{m}$ (2 вариант) и $a = 1,4\ \text{m}$ (3 вариант).

Качественная оценка устойчивости управления

Сопоставлением определенных требований которые должен выполнить оптимальный автомобиль, с точки зрения возможности водителя в системе S-A-V, и названных свойств, характеризующих оптимальную устойчивость управления, по дефиниции, видно что они совсем совпадают. Названные свойства устойчивости управления могут оцениваться через:

- условия устойчивости движения (о успокаивании нарушенного движения по Routh-Hurwitz-u),
- время отъезда автомобиля на возмущения о скорости успокаивания параметров движения и
- поворачиваемости автомобиля - статической чувствительности кривой (о наблюдении заданной траектории - управляемости).

Устойчивость движения автомобиля

Движение автомобиля описанное дифференциальным уравнением (1), т.е. (2), может быть аperiodическим или осцилляторным. Если параметры движения со временем стремятся к какой-нибудь определенной величине и их амплитуды постепенно уменьшаются, тогда движение бывает стабильным (устойчивым), (рис. 4). Наоборот тому, движение бывает неустойчивым. Использованы Routh-Hurwitz условия устойчивости, из-за того что коэффициенты в дифференциальном уравнении, в случае нестационарного движения автомобиля со постоянным ускорением, сводятся на константы. Так, анализ устойчивости при изменении режима движения (ускорения и скорости) выполнен дискретизацией.

Для определения устойчивости системы (1) которая описывает управляемое движение автомобиля, формируется характеристическим полином через уравнение

$$f(p) = |A - E p| = 0 \quad (3)$$

Система является устойчивой если корни характеристического полинома реальные и отрицательны (асимптотическая устойчивость). Эти условия могут определяться и без решения характеристического полинома, пользуясь Routh-Hurwitz детерминант, когда получаются условия устойчивости показаны в таблице 1.

Согласно условиям предельной устойчивости для уравнения (2), $A_2 = 0$, получается критическая окорост устойчивости:

$$A_2 = 0, \quad v_{KR} = \sqrt{\frac{l^2 K_4}{M R_1} + \frac{K_2 j}{K_1} + \frac{J_z j (K_3 + M j)}{M K_1}} \quad (4)$$

Таблица 1

RAUTH-HURWITZ КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

Ном.	Характерный полином	Условия устойчивости	Граница опериодическ устойчивости	Граница осцилляторной устойчивости
1.	$\lambda_1 p^2 + \lambda_2 = 0$	$\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0$	$\lambda_2 = 0$	
2.	$\lambda_1 p^3 + \lambda_2 p + \lambda_3 = 0$	$\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0, \lambda_3 > 0$	$\lambda_3 = 0$	
3.	$\lambda_1 p^3 + \lambda_2 p^2 + \lambda_3 p + \lambda_4 = 0$	$\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0, \lambda_4 > 0$ $\lambda_2 \lambda_3 - \lambda_1 \lambda_4 > 0$	$\lambda_4 = 0$	$\lambda_2 \lambda_3 -$ $-\lambda_1 \lambda_4 = 0$
4.	$\lambda_1 p^4 + \lambda_2 p^3 + \lambda_3 p^2 +$ $+ \lambda_4 p + \lambda_5 = 0$	$\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0, \lambda_3 > 0, \lambda_4 > 0,$ $\lambda_5 > 0, \lambda_4(\lambda_2 \lambda_3 - \lambda_1 \lambda_4) - \lambda_5 \lambda_2^2 > 0$	$\lambda_5 = 0$	$\lambda_4(\lambda_2 \lambda_3 - \lambda_1 \lambda_4) -$ $-\lambda_5 \lambda_2^2 = 0$
n.	$\lambda_1 p^n + \lambda_2 p^{n-1} + \dots + \lambda_n = 0$ $\begin{bmatrix} \lambda_2 & \lambda_4 & \lambda_6 & \dots & 0 & 0 \\ \lambda_1 & \lambda_3 & \lambda_5 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \lambda_4 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \lambda_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_{n-2} & \lambda_n \end{bmatrix}$	$\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0, \dots, \lambda_n > 0$ $\Delta_1 = \lambda_2 > 0$ $\Delta_2 = \begin{vmatrix} \lambda_2 & \lambda_4 \\ \lambda_1 & \lambda_3 \end{vmatrix} > 0$ $\Delta_3 = \begin{vmatrix} \lambda_2 & \lambda_4 & \lambda_6 \\ \lambda_1 & \lambda_3 & \lambda_5 \\ 0 & \lambda_2 & \lambda_4 \end{vmatrix} > 0$ \dots	$\lambda_n = 0$	$\Delta_{n-1} = 0$

Время отклика автомобиля

Время отклика автомобиля величиной характеризующей скорость успокоивания нарушенного движения автомобиля, т.е. продолжительностью переходного процесса, является время отклика автомобиля на нарушении t_p . Эта величина независимая от вида возмущения, рис. 4, но от параметров автомобиля.

Учитывая время отклика для случая достижения $1 \pm 1/e \approx 1,33$ (133%) стационарной величины характеристики движения и уравнения (2), при нарушениях на пример λ , добивается время отклика следующим способом:

Решение дифференциального уравнения является в форме

$$\mathcal{K} = \frac{b_1}{\lambda_2} \left(\lambda + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) (1 - e^{-\lambda_2 t / \lambda_1}), \quad (5)$$

чьё стационарное значение кривизны

$$\mathcal{K}_s = \lim_{t \rightarrow \infty} \mathcal{K} = \frac{b_1}{\lambda_2} \left(\lambda + \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \quad (6)$$

показана на рис. 5.

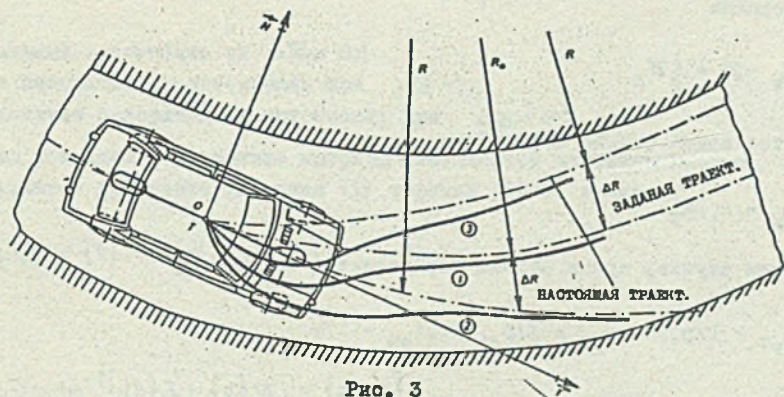


Рис. 3

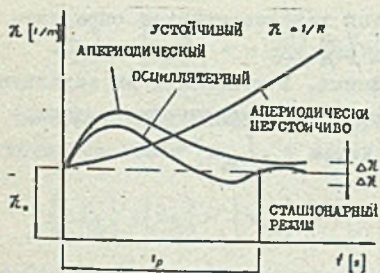


Рис. 4

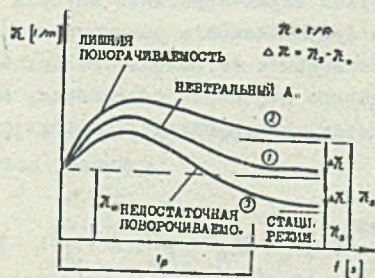


Рис. 5

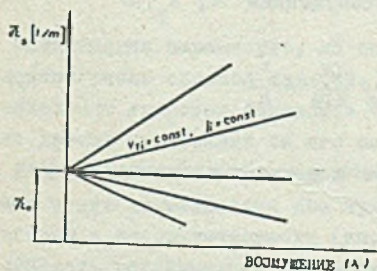


Рис. 6

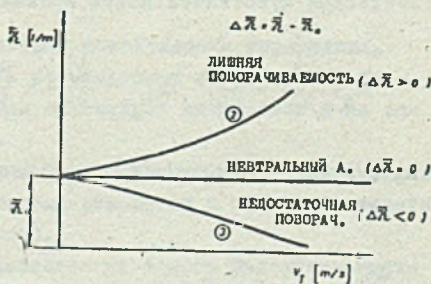


Рис. 7

Из термина

$$\mathcal{K}_s - \mathcal{K} = \frac{1}{\epsilon} \mathcal{K}_s$$

добывается время отзвва автомобиля

$$t_p = A_1/A_2 \quad (7)$$

В общем случае, время отзвва определяется по термину

$$t_{p1} = 1/p_1, \quad t_{p2} = 1/p_2, \dots, t_{pn} = 1/p_n \quad (8)$$

где p_1, p_2, \dots, p_n представляют собой решения характеристичного полинома.

Поворачиваемость автомобиля

Третьей характеристикой которая определяет устойчивость управления автомобилем (управляемость выключая в дителья). Этой характеристикой определяется отклонение автомобиля от заданного курса, рис. 3.

Конечное положение автомобиля, после возмущения, в отношении на заданную траекторию, можно определить пользуясь разницей (для криволинейного движения).

$$\Delta \mathcal{K} = \mathcal{K}_s - \mathcal{K}_0 = \frac{a_1}{\lambda_2} \left(\lambda + \frac{A_1}{\lambda_2} \right) - \mathcal{K}_0,$$

где: \mathcal{K}_0 - кривизна в начале движения, при $t = 0$. Очевидно что эта характеристика не удобна как параметр оценки.

Автор в труде (13), дал дефиницию отдельной статической чувствительности кривизны при различных возмущениях, и это:

- статическая чувствительность кривизны при возмущениях λ, s_y, π

$$\bar{\mathcal{K}}_\lambda = \frac{\partial \mathcal{K}_s}{\partial \lambda} = \frac{b_1}{A_2}, \quad \bar{\mathcal{K}}_{s_y} = \frac{\partial \mathcal{K}_s}{\partial s_y} = \frac{u_1}{A_2}, \quad \bar{\mathcal{K}}_\pi = \frac{\partial \mathcal{K}_s}{\partial \pi} = \frac{r_1}{A_2} \quad (9)$$

Для оценки состояния автомобиля удобно пользоваться разницу статической чувствительности

$$\Delta \bar{\mathcal{K}}_1 = \bar{\mathcal{K}}_1 - \bar{\mathcal{K}}_{10} \quad (10)$$

где нулевая статическая чувствительность определена при скорости центра тяжести $v_T = 0$

$$\bar{\mathcal{K}}_{10} = \bar{\mathcal{K}}_1 (v_T = 0).$$

По рисунку 7, получаются новые дефиниции состояния поворачиваемости автомобиля:

1. Нейтральный автомобиль за $\Delta\% = 0;$
2. Лишнее повороченный автомобиль при $\Delta\% > 0;$
3. Недостаточно повороченный автомобиль при $\Delta\% < 0;$

Наконец приведём и уравнение матрицы статической чувствительности. Сменой в матричное уравнение движения (1) термина $\{\dot{x}\}=0$ получаем

$$A \{x_s\} + \{b\} \lambda + \{u\} S_y + \{r\} \pi = 0,$$

откуда

$$\{x_s\} = -A^{-1} [\{b\} \lambda + \{u\} S_y + \{r\} \pi],$$

Дальше, дифференцированием, получаем статические чувствительности, на пример, λ возбуждения

$$\{\bar{x}_\lambda\} = \left\{ \frac{\partial x_s}{\partial \lambda} \right\} = - \frac{\text{adj } A}{\det A} \{b\} \quad (11)$$

Сменой в уравнении (11) скорости $v_T = 0$, получаем нулевые статические чувствительности $\{x_{\lambda 0}\}$, и могут формироваться разницы:

$$\{\Delta \bar{x}_\lambda\} = \{\bar{x}_\lambda\} - \{x_{\lambda 0}\} \quad (12)$$

которые могут стать параметрами оценки состояния поворачиваемости автомобиля.

Критерия для выбора оптимальных параметров устойчивости управления автомобилем

Оптимизация параметров, на основе критерия устойчивости управления, является очень сложной задачей. Сложность повышается и из-за этого что необходимым является согласить оптимизации параметров автомобиля и на основе других требований за его поведения.

Для оптимизации параметров автомобиля с точки зрения устойчивости управления будут пользоваться два критерия: первый относится к устойчивости, а второй к поворачиваемости (управляемости).

Область устойчивости автомобиля определяется на основе положительности коэффициентов характеристического полинома и их отношений, к уравнению (4). На рисунке 9 показано что речь идёт о поверхностях и что у некоторых определённых величин скорость и ускорения для конкретного автомобиля появляется критическое состояние, т.е. теряется устойчивость (критическая и плоскость — оскорость).

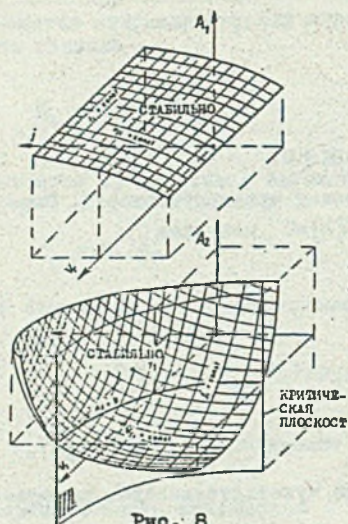


Рис. 8

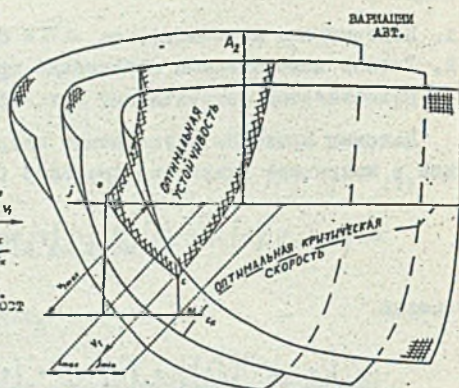
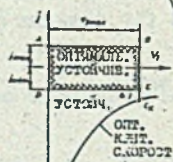


Рис. 9

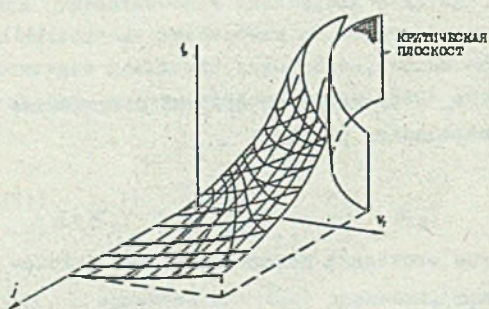


Рис. 10

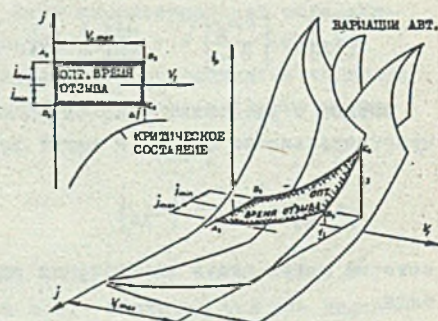


Рис. 11

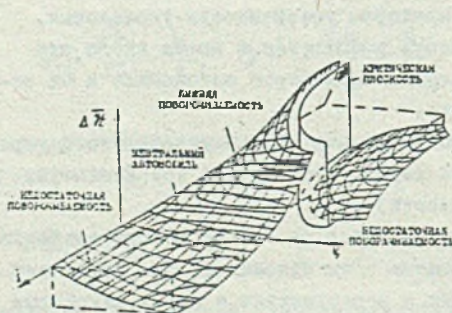


Рис. 12

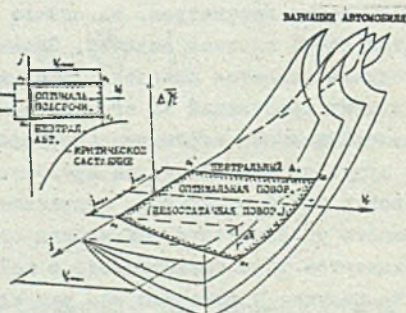


Рис. 13

Потому что при оптимизации рассматривается больше вариаций автомобиля, то получается семейство кривизн поверхностей, т.е. критических плоскостей. Оптимальный автомобиль должен иметь такие параметры, чтобы его рабочая область $[v_T \in (0, v_{Tmax}), j \in (j_{min}, j_{max})]$ находилась в зоне устойчивости со некаким нужным запасом для скорости, т.е. ускорения Δj . Эти запасы, просто, предохраняют автомобиль чтобы они и в самом неблагоприятном рабочем режиме на пример, мгновенное торможение при предельной скорости находился достаточно далеко от критического состояния. На основе этого можно определить критичную скорость (критичное состояние) оптимального автомобиля (точка C_K , рис. 9) следующим выражением:

$$(v_{KR})_{opt} = v_{KR}(j_{min} + \Delta j) > v_{max} \tag{13}$$

Между тем, этот участок не определяет в сущности, оптимальный автомобиль с точки зрения устойчивости но только указывает на положение критической поверхности оптимального автомобиля со предложенным запасом Δj .

Вторая качественная величина - отзыв автомобиля i_p , определена уравнением (8), определяет окорость стабилизации. На рис. 10 время отзыва автомобиля показывается поверхностью, при чьм критическое значение отзыва ($t_p \rightarrow \infty$) получается за критическую плоскость устойчивости. Для различных вариантов автомобиля получается семейство поверхности отзыва, рис. 11. Смотря на возможности реакции водителя автор оптимальную область $A_S B_S C_S D_S$ (показано штриховано) определил на основе следующего критерия: чтобы водитель легко вёл автомобиль при максимальной скорости, т.е. чтобы отзыв автомобиля при максимальной скорости был в интервале $t_a = (1-3)$ с. Из этого условия имплицитно ограничтения за время отзыва для точек $B_S C_S$ в форме:

$$(t_p)_{opt} = t_p(v_{Tmax}, j_{max}) > 1 \tag{14}$$

$$(t_p)_{opt} = t_p(v_{Tmax}, j_{min}) < 3$$

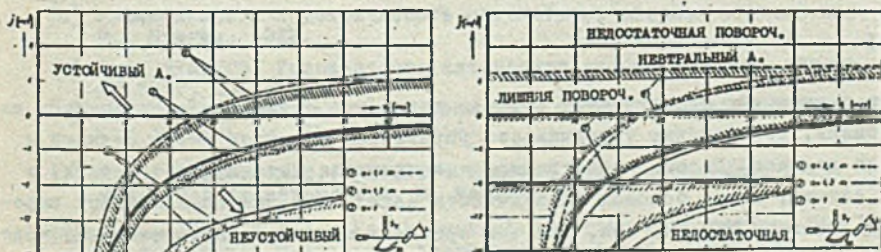


Рис. 14

Выполнение условий данных неравенствами (14) определяют условия которые должен удовлетворить автомобиль, и тогда устойчивость движения будет оптимальной.

Между тем, на основе до сих пор сделанного анализа, можно сделать вывод что автомобиль ещё не обладает оптимальной управляемостью.

Состояние поворачиваемости автомобиля можно, удобнее всего, определить на основе разницы статической чувствительности определённых уравнениями (10), рис. 12. И в этом случае появляется плоскость критического состояния поворачиваемости, которая совпадает со плоскостью критической устойчивости автомобиля.

Для различных вариантов автомобиля можно формировать семейства поверхности разницы статической чувствительности $\Delta \bar{\mathcal{H}}$, рис. 13, на которых линией для нейтрального автомобиля (при $j = \text{const}$), разграничиваются области недостаточной и лишней поворачиваемости. Оптимальной поворачиваемостью можно считать недостаточную поворачиваемость, которая является близкой нейтральному автомобилю $A_z B_z C_z D_z$ (штрихованная поверхность на рисунке 13) в рабочей области автомобиля $[v_T \in (0, v_{T\max}); j \in (j_{\min}, j_{\max})]$. Именно, при минимальных ускорениях (торможении) состояние автомобиля надо быть нейтральным. Чуть при больших замедлениях $j < j_{\min}$ (близ проскальзывания), автомобиль становится чрезмерно поворачиваемым.

При нормальных режимах движения он является недостаточно поворачиваемым, т.е. стремится к прямолинейному движению. Из этого условия, наблюдая критические точки B_z и C_z оптимальные области,

$$(\Delta \bar{\mathcal{H}})_{\text{opt}} = \Delta \bar{\mathcal{H}}(v_{T\max}, j_{\max}) \geq - \bar{\mathcal{H}}_0 \quad (15)$$

$$(\Delta \bar{\mathcal{H}})_{\text{opt}} = \Delta \bar{\mathcal{H}}(v_{T\max}, j_{\min}) \leq 0$$

Надо, также, иметь в виду что уравнения (15), для оптимального автомобиля, должны быть выполнены для различных возмущений.

На рис. 14 показан пример вариантов распределения масс, критической скорости устойчивости и поворачиваемости.

Вывод

Из показанных исследований в труде видно что оптимизация параметров автомобилей, по критерию устойчивости управления является очень сложной и важной задачей. Своебодное качественное значение для движения автомобиля, в этом случае, имеет боковая эластичность колёс, которая обеспечивает переносить больших боковых сил, при чём происходит боковое поворачивание колеса, как и до опоздывания компенсационной реакции автомобиля. Из этих причин автор ввёл боковое поворачивание колёс для случая нестационарного движения автомобиля, через коэффициент увода колёса.

Из-за качественной оценки устойчивости управления автомобилем автор предлагает следующие условия:

- условия устойчивости по неравности (4),
- время отклика автомобиля по неравности (8) и
- поворачиваемость управляемости автомобиля, определённая на основе статической чувствительности кривизной - (10).

Исходя от характеристик системы S-A-V определены критерии для оптимального автомобиля с точки зрения устойчивости управления. И так, чтобы автомобиль был оптимально устойчивым при управлении, нужно удовлетворение следующих условий:

- для удовлетворения условий устойчивости нужно чтобы эксплуатационные скорости были меньше от критических по условию устойчивости, т.е. необходимым является выполнение усл. (13);
- время отклика автомобиля должно быть таковым чтобы водитель мог реагировать по закрытой обратной связи, т.е. рамках данных условий (14);
- что касается поворачиваемости управляемости, нужно чтобы автомобиль был в нейтральной поворачиваемости в самом плохом режиме движения (при максимальной скорости v_{Tmax} и минимальному ускорению j_{min}), чтобы в рабочем режиме был недостаточно поворачиваем, а лишь непосредственно близ проскальзывания колёс (при стремительном замедлении) стал чрезмерно поворачиваем; это описано условиями (15).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] W. KAMM, L., HUBER und O. DIETZ: Die Seitenführungskraft des Gummireifen Rades bei Antrieb und Bremsung, "Deutsche Kraftfahrtforschung", Zwischenbericht N 100, 1941.
- [2] W. KAMM und W. KOENECKE; Zusammenstellung von greifbaren unterlag über Bedeutung des Reifenluftdruckes und Reifenkonstruktion für die Stassenschohung und Wirtschaftlichkeit des Verkehrs, "Deutsche Kraftfahrtforschung", N. 137, 1960.
- [3] Я. ТАБОРЕК: Механика автомобиля, пер. с англ. М., Машгиз, 1960.
- [4] Управляемость и устойчивость автомобиля, сборник статей пер. с англ. Н., Машгиз, 1963.
- [5] Е.А. ЧУДАКОВ; Устойчивость автомобиля против бокового заноса, Известия АН СССР, N. 1, 1946.
- [6] Terminology for vehicle directional control and tire characteristics, SAE Journal, v. 72, N 2, 1964.
- [7] Я.М. ПЕВЗNER, А.М. ГИНЗБУРГ; Боковой кран автомобиля, В сб. Исследование устойчивости автомобиля, М. Машгиз, 1953.
- [8] Research in Automobile on Control and Tire Performance, The Institution of Mechanical Engineers, Automobile Division, 1954-1957.
- [9] D. SIMIĆ: Dinamika motornih vozila - stabilnost upravljanja, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1974.

- [10] D., GOLUBOVIĆ: Prilog optimizaciji stabilnosti upravljanja automobila, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1980.
- [11] D. SIMIĆ, D. GOLUBOVIĆ: Stabilnost upravljanja automobila pri kretanju sa konstantnim ubrzanjem, Kongres Nauka i motorna vozila '79, Bled, 1970.
- [12] D. SIMIĆ, D. GOLUBOVIĆ: Staticka osetljivost automobila, Simpozijum motorna vozila i motori '79, MVM br. 26, Kragujevac, 1979.
- [13] D. SIMIĆ, D. GOLUBOVIĆ: Analiza zaokretljivosti automobila, Simpozijum motorna vozila i motori '79, MVM br. 27, Kragujevac, 1979.
- [14] D. GOLUBOVIĆ: Kriterijumi za izbor optimalne stabilnosti upravljanja automobila, XV Jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike, Kupari, 1981.
- [15] D. GOLUBOVIĆ: Uticaj upravljačkog sistema na stabilnost upravljanja automobila, Medjunarodni naučno stručni skup "Nauka i motorna vozila '81", Kragujevac, 1981.
- [16] D. GOLUBOVIĆ: Uticaj pogonskih - kočionih sila na stabilnost upravljanja utomobila, Medjunarodni naučno stručni skup "Nauka i motorna vozila '81", Kragujevac, 1981.
- [17] А.А. ХАЧАТУРОВ и др.: Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель, Машиностроение, Москва, 1976.
- [18] Daimler - Benz, Untersteuern - Übersteuern, Motor - Rendschau Heft 2, S. 55, 1955.
- [19] P. LUGNER: Horizontal Motion of Automobiles, CISM Courses and Lectures No 274, Dynamics of Highspeed Vehicles, edited by W.O. Schiehlen, Springer Vsl., Wien - New York, 1982.
- [20] ISO Road Vehicles-Braking in Turn-Open Loop Test Procedure, Dragt Int. Standart ISO/DIS 7975, 1985,

OPTIMALIZACJA PARAMETRÓW SAMOCHODU
W OPACIU O KRYTERIUM STABILNOŚCI KIEROWANIA

S t r e s z c z e n i e

W pracy, wykorzystując stabilność kierowania, przedstawiony jest sposób optymalizacji parametrów samochodu. Przy tym pod stabilnością kierowania samochodem rozumie się jego zdolność do tego, by przy kierowaniu w warunkach różnych zakłóceń jego początkowe amplitudy odchyłeń od kursu szybko zmniejszały się, dążąc do swojego zadanego - stabilnego stanu. Na odpowiednim mechanicznym modelu ruchu samochodu, obejmującym jego istotne charakterystyki, jakościowa ocena stabilności kierowania przeprowadzona w oparciu o: warunki stabilności, czas reakcji na zakłócenia i zwrotność samochodu.

THE OPTIMIZATION OF AUTOMOBILE PARAMETERS ACCORDING
TO THE CRITERION OF CONTROL STABILITY

S u m m a r y

Using the control stability, we give the way of the optimization of automobile parameters. The control stability is considered to be the automobile's property tending to decrease its initial oscillating amplitudes that appeared under various disturbances. They quickly tend to achieve their assigned - stable position of motion. A qualitative estimation of control stability is performed through stability conditions, the time of reaction on disturbances and the automobile turning about it is done on a suitable mechanical model of automobile motion, which involves its essential characteristics.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Adam Kleczkowski

Wpłynęło do redakcji 14.XI.1986 r.