Поддевалин В.М., Буторева В.С., к.т.н. Гурвич Ю.А.
ГУО «Институт пограничной службы Республики Беларусь»

Многокритериальная оптимизация параметров рулевой трапеции автобуса «МАЗ» при переменном значении шкворневой колеи и базы машин

В данной статье описывается алгоритм и комплекс программ, который позволяет: на стадии проектирования колесных машин создать шестизвенную рулевую трапецию для целого семейства автобусов и автомобилей с разными базами и колеями.

Под механико-математической моделью рулевой трапеции понимается совокупность схемы (рисунок 1) и формализованной связи − математического описания $\beta = \beta(\alpha,\lambda_1,..,\lambda_j,g_1,..,g_m)$, где β – угол поворота внешнего управляемого колеса машины; α - угол поворота внутреннего колеса; $\lambda_1,\ldots,\lambda_j$ – управляемые параметры; j – количество управляемых параметров; $g_1,\ldots,g_m$ – неуправляемые параметры; m- количество неуправляемых параметров.

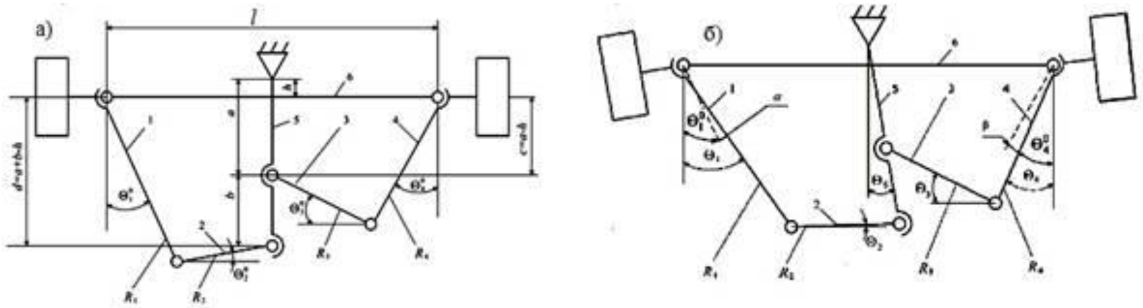

Рисунок 1 − Схема рулевой трапеции автобуса «МАЗ»: а) колеса автобуса находятся в нейтральном положении; б) внутреннее колесо автобуса, совершающего левый поворот, повернуто на угол α, наружное колесо − на угол β

При синтезе параметров шестизвенной рулевой трапеции используется зависимость угла поворота наружного колеса β от угла поворота внутреннего колеса α и других конструктивных параметров:

$$\beta = \Theta_4^0 - \arcsin\frac{l^2 + a^2 + R_4^2 + h^2 - R_3^2 - 2ah\cos\Theta_5 + 2al\sin\Theta_5}{2R_4\sqrt{(a\cos\Theta_5 - h)^2 + (a\sin\Theta_5 + l)^2}} + arctg\frac{a\cos\Theta_5 - h}{a\sin\Theta_5 + l}$$

, (1)

$$\Theta_4^0 = arctg\frac{l^2 + R_4^2 + c^2 - R_3^2}{2R_4\sqrt{l^2 + c^2}} - arctg\frac{c}{l}$$

где

$$\Theta_1^0 = \arcsin\frac{l^2 + R_1^2 + d^2 - R_2^2}{2R_1\sqrt{l^2 + d^2}} - arctg\frac{d}{l}$$

, ,

$$\Theta_5 = \operatorname{arctg}\frac{R_1\cos(\Theta_1^0+\alpha)+h}{l-R_1(\Theta_1^0+\alpha)} -$$
$$-\arcsin\frac{l^2+(a+b)^2+R_1^2+h^2-R_2^2-2lR_1\sin(\Theta_1^0+\alpha)+2hR_1\cos(\Theta_1^0+\alpha)}{2(a+b)\sqrt{(R_1\cos(\Theta_1^0+\alpha)+h)^2+(l-R_1\sin(\Theta_1^0+\alpha))^2}}.$$

В общем виде движение пневмоколесной машины без рулевой трапеции по криволинейной траектории без бокового скольжения колес описывается зависимостью:

$$\beta_N=\beta_N(\alpha,\lambda'_{1N},\ldots,\lambda'_{\mu N}), \quad (2)$$

где $\lambda'_1,\ldots,\lambda'_\mu$ - различные параметры машины (геометрические, инерционные и т. д.); μ - количество параметров; β_N – угол поворота внешнего управляемого колеса машины.

В литературе (2) известно как уравнение котангенсов (или как уравнение идеального поворота машины):

$$ctg\beta_N - ctg\alpha = L/M, \quad (3)$$

где L – шкворневая колея машины (в формуле (1) l=L); M– база машины.

Чтобы движение машины с рулевой трапецией наилучшим образом (тем не менее, − приближенно) отобразило зависимость (3), необходимо варьировать все значения управляемых параметров $\lambda 1,\ldots,\lambda j$. Затем из набора совокупностей значений параметров выбирается такая совокупность параметров (λ_1, λ_j; g_1, g_m), которая соответствует максимальному приближению (или близости) (1) к (3). При этом возникают вопросы, что принять за меру близости двух зависимостей и как выразить математически степень близости зависимостей β и β_N друг к другу?

Из функционального анализа известно, что в пространстве функций x(t), определенных и непрерывных при $a \le t \le b$ существуют различные нормы: чебышевская с равномерной сходимостью по ней и гильбертовская со среднеквадратичной сходимостью.

Примем за меры близости двух зависимостей: теоретической β_i и идеальной β_{Ni} – норму Гильберта F (где i – число точек на кривых), которую используем в качестве критерия оптимальности − показателя, оценивающего износ шин и качество проектирования технической системы:

$$F = \sum_{i=1}^{n}(\beta_{Ni}-\beta_i)^2 \to \min . \quad (4)$$

Известны размеры и углы несимметричной шестизвенной рулевой трапеции (рисунок 1,а). При повороте стержня 1 на угол α стержень 4 повернется на угол β (рисунок 1,б).

Из восьми параметров в (1): l, R1, R2, R3, h, Θ1, Θ2, Θ3 − независимых шесть, так как имеет место четыре связи.

Постановка задачи синтеза. Варьируя шестью независимыми параметрами в различных сочетаниях, реализовать − гильбертовскую норму со среднеквадратичной сходимостью, при переменных значениях шкворневой колеи l и баз M машин.

Выбор оптимальных параметров рулевой трапеции по критерию износа шин (который формализован в виде нормы Гильберта) при постоянных величинах шкворневой колеи l и базы машины M осуществляется методами нелинейного программирования. При одновременном варьировании k – значениями шкворневой колеи и q – значениями базы машин реализация (4) осуществляется методами многокритериальной оптимизации. Это резко усложняет решение задачи: количество вычислительных процедур возрастает в $k*q$ раз.

Параметры оптимизации:
R1 – продольный рычаг рулевой трапеции;
R2 – поперечный рычаг рулевой трапеции;
R3 – поперечный рычаг рулевой трапеции;
$\Theta 1$ – угол наклона R1 к продольной оси машины;
$\Theta 2$ – угол наклона R2 к поперечной оси машины;
$\Theta 3$ – угол наклона R3 к поперечной оси машины;
l_k – колеи машин;
M_q – базы машин.

Параметрические ограничения:
$R1min \le R1 \le R1max$;
$R2min \le R2 \le R2max$;
$R3min \le R3 \le R3max$;
$\Theta 1min \le \Theta 1 \le \Theta 1max$;
$\Theta 2min \le \Theta 2 \le \Theta 2max$;
$\Theta 3min \le \Theta 3 \le \Theta 3max$;
$lmin \le l \le lmax$;
$Mmin \le M \le Mmax$.

Алгоритм многокритериальной оптимизации параметров шестизвенных рулевых трапеций различных конструкций реализован в виде программного пакета «Trapezia», который позволяет:

впервые решить задачу однокритериальной (критерий – износ шин) оптимизации параметров несимметричных шестизвенных рулевых трапеций при постоянных значениях базы M и колеи l машины;

создать оптимальную шестизвенную рулевую трапецию при переменных сочетаниях баз M_q и шкворневой колеи l_k машин;

сократить сроки проектирования машин и повысить их качество.

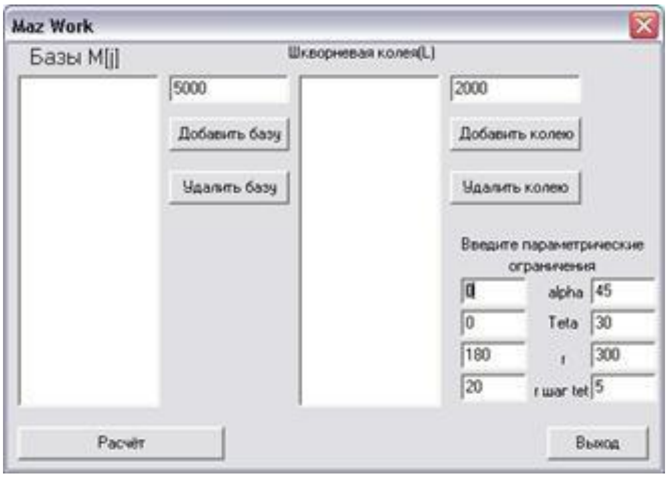

Рисунок 2 – Главное окно комплекса программ оптимизации параметров шестизвенных рулевых трапеций с переменной колеей и базой машин

В главном окне рисунка 2 находятся два списка «Список баз M,мм» и «Список колей L,мм (в нашем случае l)» куда заносятся значения размеров баз и колеи, посредствам кнопок «Добавить базу» и «Добавить колею».

В случае постоянных значений базы и шкворневой колеи машины в главное окно рисунка 2 заносится по одному значению l и M.

В случае переменных значений базы и шкворневой колеи машины в главное окно рисунка 2 заносится значения размеров баз и колеи из соответствующих полей $M_{min} \leq M \leq M_{max}$, $l_{min} \leq l \leq l_{max}$.

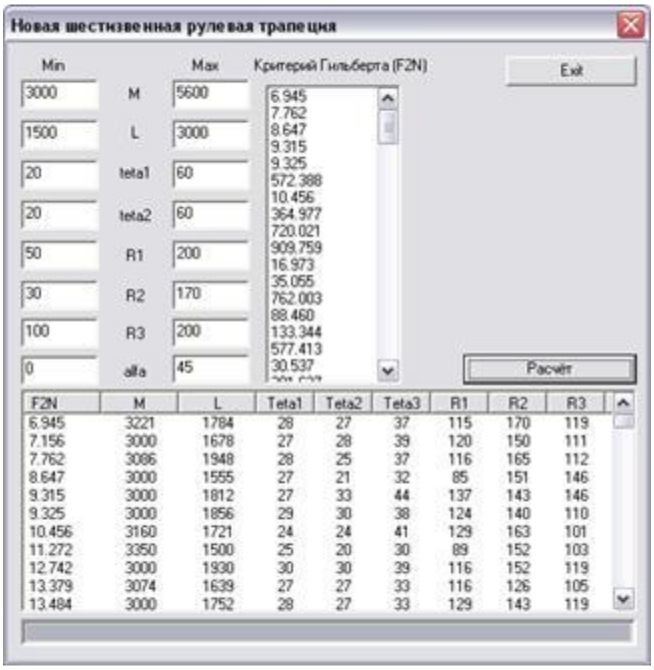

Рисунок 3 – Окно с результатами оптимизации несимметричной шестизвенной рулевой трапеции с переменной колеей и базой машин

В поля в столбцах «Min» и «Max» вводятся нижняя и верхняя границы интервалов значений параметров, которые задаются пользователем: R1min, R1max, R2min, R2max, R3min, R3max, $\Theta_1$min, Θ_1 max, Θ_2 min, Θ_2 max, Θ_3 min, Θ_3 max.

Резюме. Разработан комплекс программ многокритериальной оптимизации параметров шестизвенных рулевых трапеций различных конструкций (симметричных и несимметричных) при постоянных значениях базы M и колеи l машины и при переменных сочетаниях баз M_q и шкворневой колеи l_k машин.

Комплекс программ позволяет: на стадии проектирования колесных машин создать оптимальную рулевую трапецию для целого семейства автобусов и автомобилей (с разными базами и колеями); сравнивать существующие конструкции рулевых трапеций колесных транспортных средств с оптимальными и наметить пути их улучшения.