

Гурвич Ю.А.

**Многокритериальная оптимизация параметров рулевой трапеции
семейства автомобилей при переменном значении
шкворневой колеи и базы**

ГУО «Институт пограничной службы Республики Беларусь»

Минск, Беларусь

В статье для многокритериальной оптимизации параметров несимметричной шестизвенной рулевой трапеции семейства автомобилей, обладающих разными значениями шкворневой колеи и базы, разработаны механико-математическая модель, методика и программный пакет «Траpezia».

Методику, программный пакет и результаты многокритериальной оптимизации необходимо внедрить в учебный процесс технических вузов.

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

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

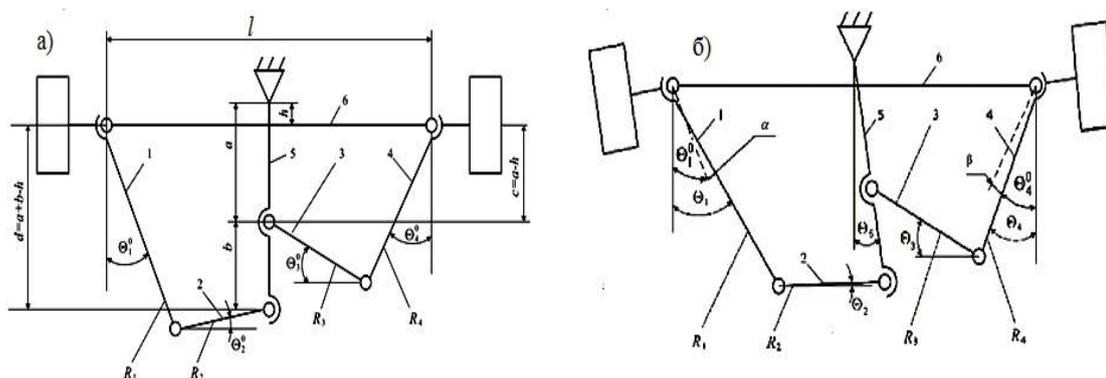


Рис. 1 – Схема рулевой трапеции автомобиля «МАЗ»: а) колеса автомобиля находятся в нейтральном положении; б) внутреннее колесо автомобиля, совершающего левый поворот, повернуто на угол α , наружное колесо – на угол β

При оптимизации параметров несимметричной шестизвенной рулевой трапеции (рис.1) используется зависимость угла поворота наружного колеса β от угла поворота внутреннего колеса α и других конструктивных параметров (1):

$$\beta = \Theta_4^0 - \arcsin \frac{l^2 + a^2 + R_4^2 + h^2 - R_3^2 - 2ah \cos \Theta_5 + 2al \sin \Theta_5}{2R_4 \sqrt{(a \cos \Theta_5 - h)^2 + (a \sin \Theta_5 + l)^2}} + \operatorname{arctg} \frac{a \cos \Theta_5 - h}{a \sin \Theta_5 + l}, \quad (1)$$

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

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

$$\Theta_5 = \arctg \frac{R_1 \cos(\Theta_1^0 + \alpha) + h}{l - R_1(\Theta_1^0 + \alpha)} -$$

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

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

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

где $\lambda'_{1}, \dots, \lambda'_{\mu}$ - 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 $\lambda_1, \dots, \lambda_j$. Затем из набора совокупностей значений параметров выбирается такая совокупность параметров ($\lambda_1, \lambda_j; g_1, g_m$), 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 $a \leq t \leq b$ 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:

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

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

Из восьми параметров в (1): $l, R_1, R_2, R_3, h, \Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ - независимых шесть, так как имеет место четыре связи.

Постановка задачи оптимизации. Варьируя шестью независимыми параметрами в различных сочетаниях, реализовать - гильбертовскую норму со среднеквадратичной сходимостью, при переменных значениях шкворневой колеи l_k и баз M_q машин (где k и q - значения шкворневой колеи и базы семейства машин).

Выбор оптимальных параметров рулевой трапеции по критерию износа шин (который формализован в виде нормы Гильберта) при одновременном варьировании k и q – значения шкворневой колеи и базы семейства машин реализация (4) осуществляется методами многокритериальной оптимизации. Это резко усложняет решение задачи по сравнению с вычислениями при постоянных величинах шкворневой колеи l и базы машины M (каждое новое сочетание колея-база добавляет еще один новый критерий): при этом количество вычислительных процедур возрастает в $k \cdot q$ раз.

Параметры оптимизации:

$R1$ – продольный рычаг рулевой трапеции;

$R2$ – поперечный рычаг рулевой трапеции;

$R3$ – поперечный рычаг рулевой трапеции;

$\Theta1$ – угол наклона $R1$ к продольной оси машины;

$\Theta2$ – угол наклона $R2$ к поперечной оси машины;

$\Theta3$ – угол наклона $R3$ к поперечной оси машины;

l_k – колеи машин;

M_q – базы машин.

Параметрические ограничения:

$R1_{\min} \leq R1 \leq R1_{\max}$;

$R2_{\min} \leq R2 \leq R2_{\max}$;

$R3_{\min} \leq R3 \leq R3_{\max}$;

$\Theta1_{\min} \leq \Theta1 \leq \Theta1_{\max}$;

$\Theta2_{\min} \leq \Theta2 \leq \Theta2_{\max}$;

$\Theta3_{\min} \leq \Theta3 \leq \Theta3_{\max}$;

$l_{\min} \leq l \leq l_{\max}$;

$M_{\min} \leq M \leq M_{\max}$.

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

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

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

сократить сроки проектирования машин и повысить их качество.

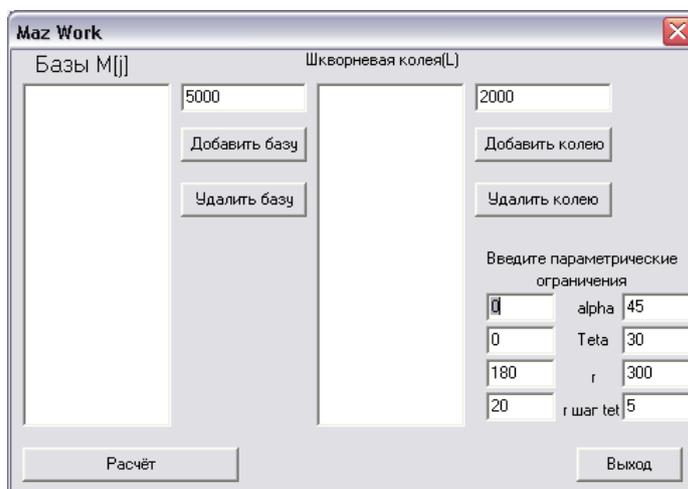


Рис. 2 – Главное окно программного пакета оптимизации «Тrapezia» для четырехзвенных трапеций

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

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

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

Для несимметричной шестизвенной рулевой трапеции помимо значений баз и колеи из соответствующих полей $M_{min} \leq M \leq M_{max}$, $l_{min} \leq l \leq l_{max}$ в поля в столбцах «Min» и «Max» рис. 3 вводятся нижняя и верхняя границы интервалов значений параметров, которые задаются пользователем: $R1_{min}$, $R1_{max}$, $R2_{min}$, $R2_{max}$, $R3_{min}$, $R3_{max}$, $\Theta1_{min}$, $\Theta1_{max}$, $\Theta2_{min}$, $\Theta2_{max}$, $\Theta3_{min}$, $\Theta3_{max}$.

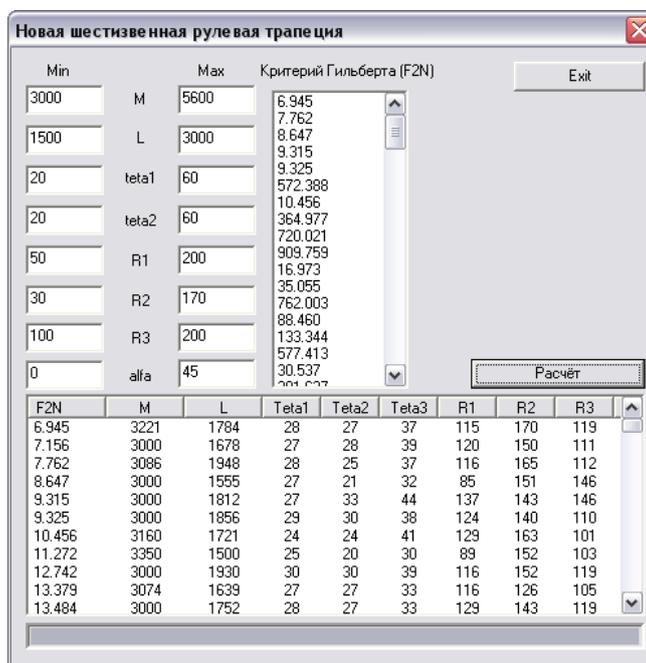


Рис. 3 – Окно с результатами оптимизации несимметричной шестизвенной рулевой трапеции с переменной колеей и базой семейства машин

Резюме. Разработан комплекс программ многокритериальной оптимизации параметров четырехзвенных и 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.

Методику, программный пакет и результаты многокритериальной оптимизации параметров шестизвенных рулевых трапеций необходимо внедрить в учебный процесс технических вузов по дисциплинам «Теория мобильных машин», «Конструирование и расчет деталей автомобилей», «Методы одно – и многокритериальной оптимизации параметров машин».