

4. Изменяя одно или несколько значений параметров дифференциальных уравнений движения управляемых колес, получим новые графические зависимости фазовых переменных.

УДК 531.2.3.114:371.3

ОБУЧАЮЩИЙ И КОНТРОЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС ПРОГРАММ НА «MATHCAD 2000 PRO» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РУЛЕВЫХ ТРАПЕЦИЙ НА ИЗНОС ШИН

Ю. А. Гурвич

Постановка задачи. Для ряда автомобилей МАЗ и автобусов АМАЗ, имеющих разную базу M_j (размер M_j в мм, а j — число баз машин) 3300, 3550, 3600, 3950, 4100, 4800, 4900, 5010, 5400 и т. д. используется только одна рулевая трапеция (причём параметры её не являются оптимальными, хотя бы для одной из баз M_j машины), что наверняка вызывает повышенный износ шин у некоторых машин из этого ряда. Точно такая картина наблюдается, практически, на всех

заводах, которые специализируются на выпуске различных конструкций пневмоколёсных машин. На пример, некоторые конструкции тракторов МТЗ помимо разных величин базы M_j имеют ещё и регулируемую величину шкворневой колеи L_k [3].

В связи с этим в рамках Государственной научно-технической программы «Белавтотракторостроение» на 2001–2005 гг. была поставлена задача разработать новую методику многокритериальной оптимизации значений параметров такой рулевой трапеции, которая будет оптимальной для целого ряда машин, имеющих разные базы. Сразу подчеркнём, что задача определения оптимальных параметров рулевой трапеции по критерию износа шин из однокритериальной задачи нелинейного программирования (при постоянных величинах шкворневой колеи L и базы машины M) переходит в многокритериальную задачу с числом критериев на число j большим, чем у однокритериальной задачи. Это резко усложняет решение задачи. Потребуется новый математический аппарат, в котором будет использовано множество Парето и т. д.

Для реализации этой задачи необходимо выполнить:

1. Обосновать точность и область применимости каждого из допущений и исходных данных для многокритериальной оптимизации параметров рулевой трапеции. Потому что никакая оптимизация не поможет получить точный результат при неточных исходных данных.

2. Разработать механико-математическую модель рулевой трапеции для машин с различными базами. Обосновать новый критерий оптимальности.

3. Разработать методики, алгоритм и комплекс программ многокритериальной оптимизации параметров оптимальной рулевой трапеции для ряда машин с различными базами M_j .

4. Выполнить многокритериальную оптимизацию параметров рулевой трапеции и выполнить анализ результатов.

В результате конструктору предлагается одна из точек Парето. Причем, каждой точке Парето соответствует своя совокупность геометрических (управляемых) параметров каждой из конструкций рулевых трапеций (четырёхзвенных, различных видов шестизвенных и т. д.).

Отметим, что реализация последнего пункта представляет собой математически сложный и трудоемкий вычислительный процесс, весь ход которого практически скрыт от глаз конструктора, труден для понимания из-за недостатка знаний в области многокритериального синтеза и т. д., что не позволяет ему достаточно полно и быстро анализировать результаты вычислений.

Для устранения этих недостатков, а так же с целью адаптации и обучения конструкторов и студентов работе с этим и другими сложными комплексами программ создан обучающий и контролирующий комплекс программ для ЭВМ с использованием «MathCAD 2000 Pro».

При составлении комплекса программ на «MathCAD 2000 Pro» необходимо выполнить следующее:

1. Составить механико-математическую модель рулевых трапеций автомобилей, автобусов и других самоходных машин.

1.1. Влияние конструктивных параметров рулевых трапеций и углов установки колеса на износ шин.

Как известно, износ шин управляемых колес при движении транспортного средства зависит от значений ряда конструктивных параметров управляемой оси (моста), от углов установки колеса, от свойств шины, от условий эксплуатации и т.д. (рис. 1.)

$$U = U(\epsilon) + U(\alpha) + U(\beta) + U(\gamma) + U(\text{ГПРТ}) + U(c_2, n_2) + \sum_{i=1}^n U_i, \quad (1)$$

где U — износ шин управляемых колес; $U(\epsilon)$ — износ шин в функции угла схождения; $U(\alpha)$ — износ шин в функции угла развала; $U(\beta)$ — износ шин в функции угла поперечного наклона шкворня; $U(\gamma)$ — износ шин в функции угла продольного наклона шкворня; $U(\text{ГПРТ})$ — износ шин в функции геометрических параметров рулевых трапеций различных конструкций (ГПРТ — аббревиатура слов геометрические параметры рулевой трапеции); $U(c_2, n_2)$ — износ шин в функции коэффициентов жесткости (c_2) и демпфирования (n_2) рулевой трапеции; $\sum_{i=1}^n U_i$ — суммарный износ шин, зависящий от свойств шины, от условий эксплуатации и т.д.

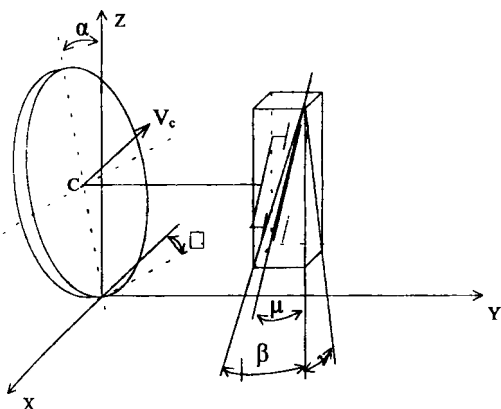


Рис. 1. Углы установки колеса

Необходимо подчеркнуть, что различные конструкции рулевых трапеций имеют разное число геометрических параметров.

Для установления степени влияния значений параметров на износ шин неоднократно ставились соответствующие исследования рабочих процессов рулевого привода.

Теоретических и экспериментальных работ, в которых выполнены исследования по определению рациональной формы рулевой трапеции, ее расположения, влияния параметров на износ шин достаточно много. Анализ этих работ позволил установить следующее: [5].

1.1.1. Параметры передних осей влияют на износ шин следующим образом:

- угол схождения ϵ показывает среднее по интенсивности влияние на износ шин;
- угол развала α оказывает среднее по интенсивности влияние на износ шин;
- угол поперечного наклона шкворня β оказывает слабое влияние на износ шин;
- угол продольного наклона шкворня γ оказывает определённое влияние на износ шин;
- коэффициенты жесткости и демпфирования рулевой трапеции оказывают весьма слабое влияние на износ шин;
- длина рычага рулевой трапеции r и угол Θ его наклона к продольной оси машины (геометрические параметры рулевой трапеции) оказывают сильное влияние на износ шин.

1.1.2. Выходные характеристики машин зависят от соотношения между значениями всех параметров моста и рулевой трапеции, т.е. от совокупности значений параметров.

1.1.3. В литературе отсутствуют достаточно точные для практики математические описания износа шин (зависимости износа шин в функции различных параметров — углов установки колеса, наклона шкворней, длины цапфы, свойств шин и т. д.).

1.1.4. В связи с тем, что колеса 80–90% времени катятся по криволинейным траекториям, необходимо обеспечить умеренный износ шин во всем диапазоне углов поворота управляемых колес.

1.2. Механико-математические модели различных конструкций рулевых трапеций

Отметим, что в литературе приведено большое число различных конструкций рулевых трапеций, которые используются в машинах на колесном ходу. Соответственно приведены и схемы этих рулевых трапеций.

Теперь поясним, что мы понимаем под словами «механико-математическая модель рулевой трапеции». Для этого рассмотрим схему самой простой четырехзвенной неразрезной рулевой трапеции, показанной на рис. 2.

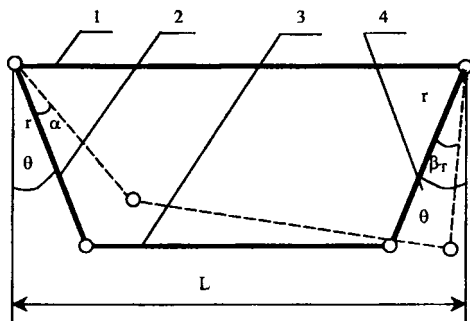


Рис. 2. Схема четырехзвенной рулевой трапеции:

1 — управляемая ось; 2, 4 — продольные рычаги; 3 — поперечная тяга; θ — угол наклона рычагов к продольной оси машины; r — длина рычага; α , β_T — углы поворота внутреннего и наружного колес машины, совершающий левый поворот, L — шкворневая колея

Под механико-математической моделью понимается совокупность схемы рулевой трапеции и формализованной связи (математического описания) $\beta_T = \beta_T(\alpha, \theta, r, L)$ — угла поворота наружного колеса машины в функции угла поворота внутреннего колеса и совокупности конструктивных параметров θ, r, L (рис. 3). Причём для каждой новой конструкции рулевой трапеции будет своя совокупность конструктивных параметров и соответственно β_T^j , где $j=4, 6, 8, \dots$ — число звеньев рулевой трапеции.

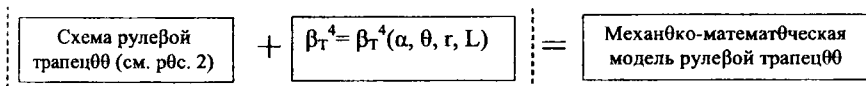


Рис. 3. Механико-математическая модель четырехзвенной рулевой трапеции

Из многочисленной литературы известно только одна механико-математическая модель — модель четырехзвенной неразрезной рулевой трапеции, впервые полученная академиком Е. А. Чудаковым [1]. Для всех остальных конструкций рулевых трапеций в литературе приведены только схемы, а математические описания $\beta_T^j = \beta_T^j(\alpha, \dots, L)$ отсутствуют. Правда, автор этой статьи, по всей видимости, впервые получил зависимости $\beta_T^j = \beta_T^j(\alpha, \dots, L)$ для шести-звенных рулевых трапеций различных конструкций — с сошкой (применяемой на МТЗ [2-4]) и типа «CARRARO» (типа реечного механизма).

2. Методика расчета параметров рулевых трапеций.

В связи с наличием в литературе пяти различных гипотез выбора геометрии рулевых трапеций ($N=1,5$), каждая из которых справедлива только для какого-то одного из режимов движения машины, поставим задачу: разработать универсальную методику автоматизации проектирования рулевых трапеций различных типов.

Предположим, что движение пневмоколесной машины по криволинейной траектории без бокового скольжения колес (или с минимальным боковым скольжением колес) описывается уравнением

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

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.

Уравнение (2) при ($N = 1,4$) отображает каждую из четырех гипотез выбора геометрии рулевой трапеции (Чудакова, Фиалы, Гауха и Ширера, Хасельгрубера), а при $N = 5$ это уравнение представляет собой уравнение котангенсов (3).

$$\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{ctg} \alpha = L / M. \quad (3)$$

В общем виде уравнение рулевой трапеции имеет вид

$$\beta_T = \Phi(\alpha, \lambda_1, \dots, \lambda_j, g_1, \dots, g_m), \quad (4)$$

где β_T — угол поворота внешнего управляемого колеса машины (рис 4.); $\lambda_1, \dots, \lambda_j$ — управляемые параметры; j — количество управляемых параметров; g_1, \dots, g_m — неуправляемые параметры; m — количество неуправляемых параметров; $\mu = j + m$.

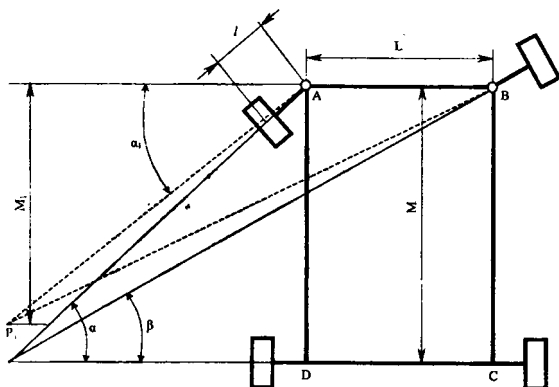


Рис. 4. Поворот машины, центр масс которой совершает криволинейное движение, где поворот машины без учета боковой эластичности шин (точка P_2 соответствует идеальному повороту машины, а точка P_1 — повороту машины, осуществленному четырехзвенной или шестизвенной трапецией).

Чтобы движение машины с рулевой трапецией наилучшим образом (но тем не менее приближенно) отобразило зависимость (2), необходимо варьировать все значения управляемых параметров $\lambda_j, \lambda_{j'}$. Затем из набора совокупностей значений параметров выбирается такая совокупность параметров ($\lambda_j, \lambda_{j'}, g_j, g_{m'}$), которая соответствует максимальному приближению (близости) зависимости (4) к зависимости (2) или (3). При этом возникают вопросы, что принять за меру близости двух зависимостей и как выразить математическую степень близости зависимостей β_T и β_N друг к другу?

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 β_T и β_N чебышевскую и гильбертову нормы. Тогда в качестве наилучшего приближения зависимости (4) к (2) предлагаются критерии F_{1N} и F_{2N} . Предварительно введем число точек (i) на кривых (2) и (4), отображающих зависимости β_T и β_N . Тем самым непрерывный процесс аппроксимируем дискретным. Критерии F_{1N} и F_{2N} в этом случае имеют вид

$$F_{1N} = \max_{1 \leq i \leq N_1} |\beta_{Ni} - \beta_{Ti}| F \quad I = 1, N_1, \quad (5)$$

$$F_{2N} = \sum_{i=1}^{N_1} (\beta_{Ni} - \beta_{Ti})^2 \quad (6)$$

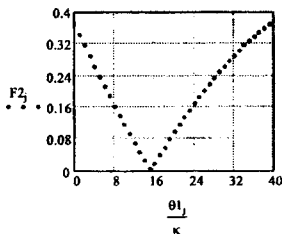
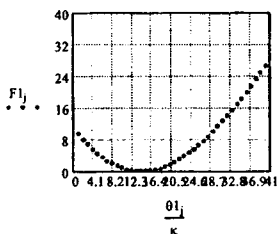
3. Выбор управляемых параметров и пределов их изменений.

3.1. Для четырехзвенной трапеции (см. рис. 2) управляемыми параметрами являются параметры Θ и g .

3.2. Для шестизвенной трапеции типа «CARRARO» (симметричной и несимметричной) может быть несколько наборов сочетаний управляемых и независимых параметров и т.д.

4. Пример расчета критериев (5) и (6) для симметричной рулевой трапеции приведен на графиках.

$$F_{1j} := \sum_i (\beta_i - \beta_{Tj,i})^2 \quad F_{2j} := \max(|\beta_i - \beta_{Tj,i}|)$$



5. Изменяя одно или несколько значений параметров рулевых трапеций различных конструкций, получим новые графические зависимости для критериев (5) и (6).

Литература

1. Чудаков Е.А. Теория автомобиля. — М.: Изд. АН СССР, 1961. — 462с.
2. Гурвич Ю.А., Корытко Л.С., Ковалева И.Л. Автоматизация проектирования рулевых трапеций колесных машин. — В кн.: Совершенствование средств и методов расчета изделий машиностроения. Волгоград, 1990, С.99-100.
3. Гурвич Ю.А. Оптимизация параметров шестизвенной рулевой трапеции трактора МТЗ-80 во всем диапазоне длин колеи / Материалы международной 51-й НТК БГПА. — Минск, 1995. — Ч.2. — С. 106.
4. Гурвич Ю.А. Проектирование рулевых трапеций различных конструкций транспортных средств. — Материалы 50-й НТК БГПА. — Минск, БГПА. — Ч. 1. 1994. — С. 56.
5. Выполнить анализ результатов многокритериальной оптимизации параметров системы рулевого привода управляемой оси: Отчет о НИР (заключительный) / БГПА; Руководитель Ю. А. Гурвич. — № ГР 19992721/13.08.99; инв. № ГНТП И-05808729.68 — 2000 — Минск, 2000. — 47с.

УДК 531.8

РАЗРАБОТКА КУРСА ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ ДЛЯ МЕХАНИКОВ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. Б. Немцов, А. В. Кондратенко

На кафедре теоретической механики БГТУ в соответствии с учебным планом подготовки инженеров-механиков для полиграфической промышленности после двухсеместрового курса теоретической механики читается курс электромеханики.

Цель курса состоит в разработке основ для расчета электромеханических систем, используемых в указанной отрасли, так, чтобы их механическая и электромагнитная части рассматривались как единое целое. Одной из задач курса является расчет механизмов, снабженных электроприводом.

Подобные курсы читаются в Московских полиграфическом и энергетическом институтах и в других вузах. Все эти курсы носят не общий теоретичес-