

Гурвич Ю.А.

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ И ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ РУЛЕВЫХ ТРАПЕЦИЙ СЕМЕЙСТВА
ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

ГУО «Институт пограничной службы Республики Беларусь»

Минск, Беларусь

В данной статье приведено обоснование каждого элемента автомобиля используемого методикой и программным продуктом многокритериальной оптимизации параметров различных конструкций рулевых трапеций семейства грузовых автомобилей.

Обоснование, методика и программный продукт необходимо использовать в учебном процессе вузов.

В четырех статьях сборника отражена небольшая часть научных исследований по многокритериальной идентификации и оптимизации параметров мобильных колесных транспортных средств во всем скоростном диапазоне движения машин, которая осуществлялась под научным руководством автора статьи отдельными темами в государственных программах: ГНТП «Машиностроение и машиностроительные технологии», подпрограмма «Машиностроение», разделы «Белавтотракторостроение» (2001-2005гг.), «Карьерная техника» (2006-2007гг.), «Тракторостроение» (2008-2010гг. и 2011-2013гг.); ГКПНИ «Механика» (2006-2010гг.); ГПНИ «Механика, техническая диагностика и металлургия», подпрограмма «Механика» (2011-2015гг.). Результаты исследований внедрены: в конструкторские бюро «МТЗ», «БелАЗ», «МАЗ» и в образовательный процесс. В частности разработаны учебные и рабочие программы двух новых курсов: «Устойчивость и процессы управления», «Теория мобильных машин» и внедрены в учебный процесс студентов пятого курса БНТУ. В 2014 и в 2015 году дважды прочитан 52 часовой курс лекций «Теория мобильных машин» ведущим инженерам автомобильных заводов Ирана, преподавателям и научным работникам Иранского научного и технологического института (ИНТИ); была оказана помощь (проведены новые расчеты) конструкторам и инженерам двух автомобильных заводов в модернизации и проектировании двух- и четырехосных колесных машин.

Статья состоит из двух частей. В первой части впервые приводится обоснование каждого элемента методики расчета параметров плоских конструкций рулевых трапеций, исходя из минимума износа шин колесных машин, совершающих плоскопараллельное движение. Во второй части кратко описана программа, использующая новую методику расчета параметров плоских конструкций рулевых трапеций с применением множества Парето, и результаты многокритериальной оптимизации параметров пяти конструкций рулевых трапеций семейства автомобилей с разными базами и колеями.

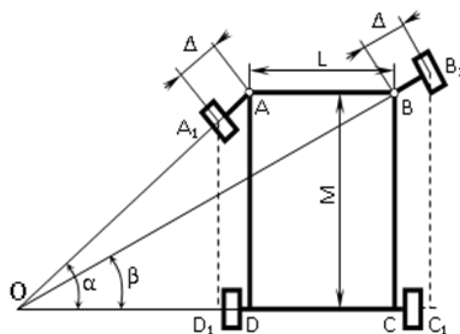


Рис. 1. Схема поворота ашины, колеса которой движутся без скольжения

Первая часть статьи. А) Точность и область применимости уравнения котангенсов. Постановка задачи. Используя данные L – шкворневая колея, M – база машины, Δ – длина цапфы колеса (рис. 1), вывести математическую зависимость, отображающую условие отсутствия скольжения колёс при плоском движении машины. Принятые допущения: центр масс машины должен двигаться по криволинейной траектории с нормальным ускорением $a_n \leq 4 \text{ м/с}^2$, тогда колёса с шинами можно рассматривать как твёрдые тела и не учитывать их увод; углами наклона шкворня пренебрегаем, т. к. рассматривается плоская модель машины.

$$\text{ctg}\beta - \text{ctg}\alpha = \frac{OD + L + \Delta \cos \beta}{M + \Delta \sin \beta} - \frac{OD - \Delta \cos \alpha}{M - \Delta \sin \alpha} = \frac{L}{M}.$$

В результате несложных преобразований, в которых учтены L , M и Δ , получено известное в литературе уравнение котангенсов или уравнение идеального поворота машины, колеса которой движутся без скольжения: $\text{ctg}\beta - \text{ctg}\alpha = \frac{L}{M}$.

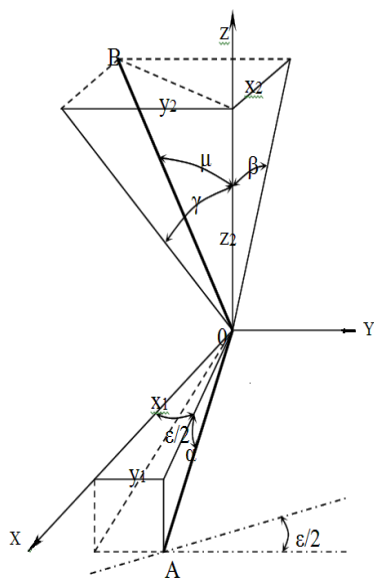


Рис. 2. Углы установки правого колеса

Б) Установление геометрической связи углов установки колеса, рычагов рулевой трапеции и углов наклона шкворня. На рис. 2 показаны углы установки колеса в осях координат с началом в центре шкворня и координатные плоскости xOy , xOz и yOz , которые параллельны поверхности дороги, продольной и поперечной плоскости машины. Центр шкворня – точка пересечения оси поворотной цапфы колеса с осью шкворня. Обозначим: длину оси поворотной цапфы $OA - l_1$, координаты точки $A - x_1, y_1, z_1$; длину верхней части оси шкворня $OB - l_2$, координаты точки $B - x_2, y_2, z_2$. Определим зависимость тригонометрических функций рассматриваемых углов установки колеса от координат точек A и B . В результате преобразований получим зависимость между углами установки шкворня: $tg^2 \mu = tg^2 \beta + tg^2 \gamma$.

Постановка задачи. Исследуем влияние изменения углов поперечного β и продольного γ наклона шкворня на остальные углы установки правого колеса (рис. 3). Для этого сначала повернем шкворень на угол φ (рис.3, а), а затем на угол ψ (рис.3,б) в сторону положительного отсчета углов наклона шкворня.

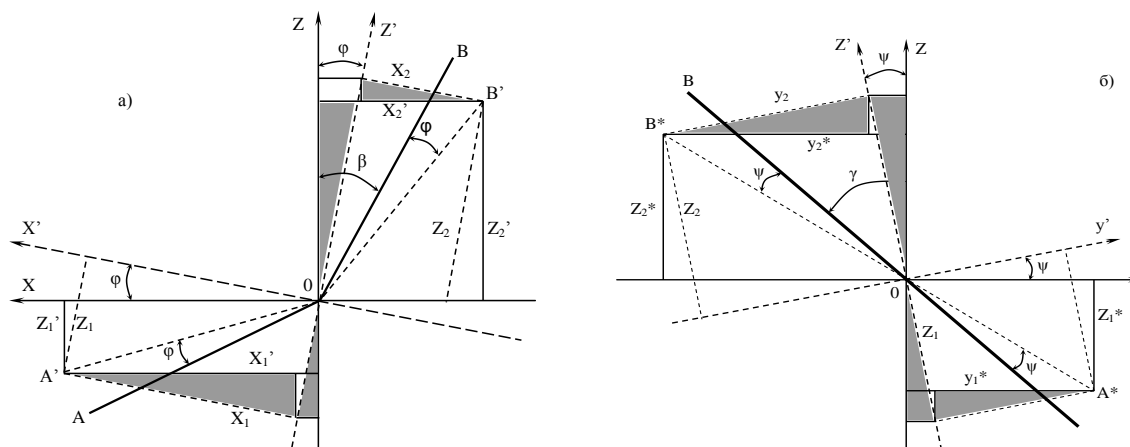


Рис. 3. Влияние изменений в углах поперечного β и продольного γ наклона шкворня на остальные углы установки правого колеса и углы рычагов рулевой трапеции:

а – φ – изменение поперечного угла; б – ψ – изменение продольного угла

В преобразованиях использованы те тригонометрические функции малых углов установки колеса, которые не содержат квадратных корней, косинусы этих углов равны единице, а синусы и тангенсы равны самим углам в радианах. Пренебрегая величинами второго порядка малости, получим следующие выражения для новых углов установки колеса при изменении углов поперечного и продольного наклона шкворня:

$$\text{Поперечный} - \alpha' = \alpha - \varphi, \quad \varepsilon' = \varepsilon, \quad \mu' = \mu, \quad \beta' = \beta + \varphi, \quad \gamma' = \gamma,$$

$$\text{Продольный} - \alpha^* = \alpha, \quad \varepsilon^* = \varepsilon, \quad \mu^* = \mu, \quad \beta^* = \beta, \quad \gamma^* = \gamma + \psi.$$

Значения новых углов установки отличаются от значений, определенных по точным формулам, которые здесь не приводятся, менее чем на 1%. Этот вывод в равной мере относится и к углам наклона рычагов рулевой трапеции. Следовательно, при определении параметров рулевой трапеции нет необходимости учитывать поперечный и продольный углы наклона шкворня: необходимо использовать плоскую модель машины с вертикально расположенными шкворнями.

В) Нахождение определяющей точки с помощью кинематики сложения вращений колеса вокруг пересекающихся осей без учета угла поворота управляемой оси ζ .

Колесо совершает сложное движение (рис. 4):

- относительное вращение – вращение вокруг собственной оси с угловой скоростью $\vec{\omega}_r$;
- переносное вращение – вращение колеса вместе с цапфой вокруг оси шкворня при повороте машины влево или вправо с угловой скоростью $\vec{\omega}_e$.

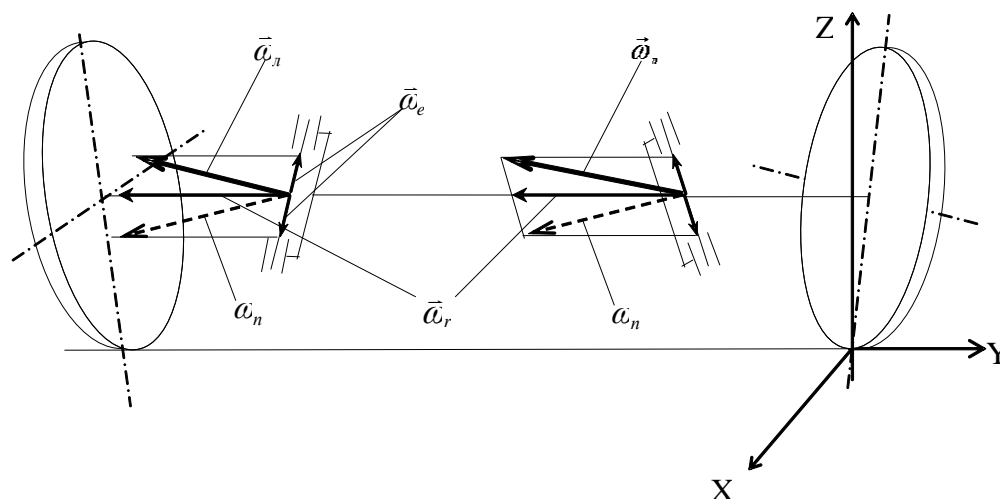


Рис 4. Кинематика сложного движения колеса при левом повороте машины

Из теоретической механики известно, что вектор угловой скорости абсолютного вращения колеса вокруг пересекающихся осей равен геометрической сумме составляющих векторов: $\vec{\omega} = \vec{\omega}_r + \vec{\omega}_e$. Причем все три вектора проходят через точки пересечения осей цапф левого и правого колеса с осями шкворней, поэтому эти точки являются определяющими точками.

При повороте машины влево, вектор абсолютной угловой скорости левого колеса будет меньше аналогичного вектора правого колеса $\omega_l < \omega_n$, при повороте вправо, наоборот $\omega_l > \omega_n$.

Г) Нахождение определяющей точки с помощью кинематики сложения вращений колеса вокруг пересекающихся осей с учетом угла поворота управляемой оси ζ . При повороте балки управляемой оси на угол ζ (рис. 5) величиной AA_2 можно пренебречь и за определяющую точку нужно считать точку пересечения оси цапфы с осью шкворня. Если за определяющую точку ошибочно принять точку K , то величиной KK_1 уже пренебречь нельзя.

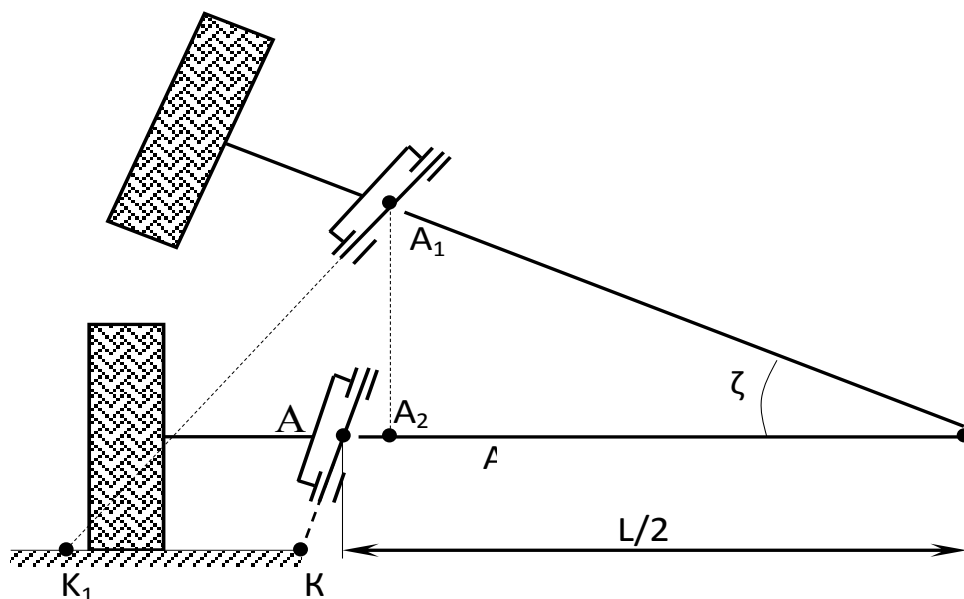


Рис. 5. Влияние угла наклона управляемой оси на шкворневую колею

$$AA_2 = \frac{L}{2} - \frac{L}{2} \cos \zeta, \quad AA_2 < KK_1$$

Д) *Выбор шкворневой колеи.* Сначала уточним, какие расчеты рулевой трапеции выполняются на стадии проектирования машин: силовой расчет звеньев рулевой трапеции и шкворневого узла; геометрический расчет рулевой трапеции. Для этих целей используются плоские и пространственные модели машин.

Плоская модель. В плоской модели шкворни расположены вертикально и вопроса о том, что выбирать в качестве истинных значений L и M не возникает.

Пространственная модель. Из теоретической механики известно, что все силы реакции, действующие на колесо машины со стороны дороги, могут быть приведены к силе – главному вектору $P(P_x, P_y, P_z)$ и паре сил с моментом M_{O1} в точке $O1$, равным главному моменту системы сил $M_{O1}(M_x, M_y, M_z)$.

Поменяем центр приведения с точки $O1$ на точку A – центр шкворня. Приведем P и M_{O1} к точке A . В результате получим главный вектор P и главный момент M_0 . Разложим $M_0(M_{шк}, M_I)$ на $M_{шк}$, направленный по оси шкворня и M_I , линия действия которого перпендикулярна оси шкворня. Главный вектор $P(P_{шк}, P_I)$ разложим на две составляющие: $P_{шк}$ и P_I . Вектор $P_{шк}$ направлен вдоль оси шкворня, он сжимает (растягивает) шкворень, а вектор P_I вызывает изгиб шкворня. Точно такое же действие на шкворень оказывает и составляющая главного момента M_I . Вектор $M_{шк}$ – реактивный момент, который препятствует повороту колеса с цапфой вокруг оси шкворня (рис. 6,а).

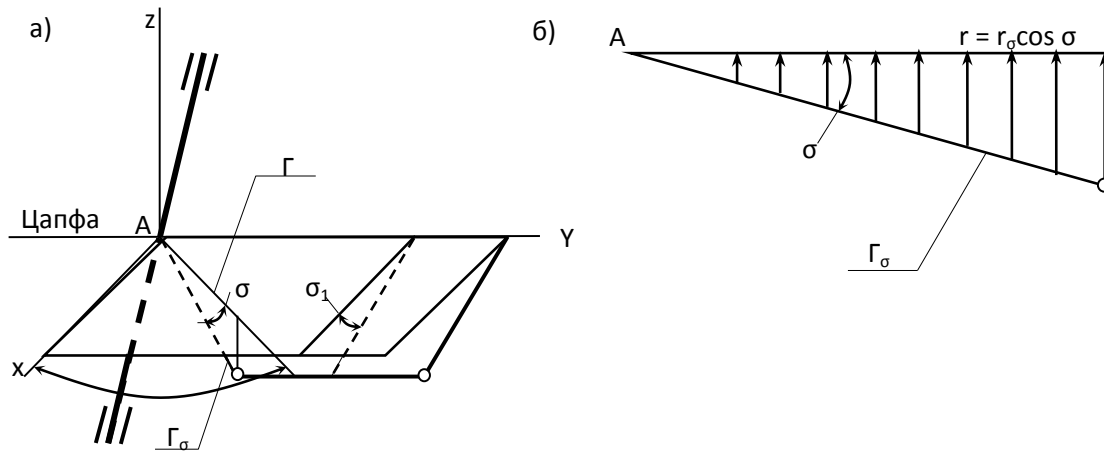


Рис 6. Определение длины рычага рулевой трапеции и угла его наклона к оси x :
 a – определение $r\sigma$; b – определение r

Чтобы осуществить поворот колеса с цапфой вокруг оси шкворня, необходимо со стороны поперечной рулевой тяги к шаровому пальцу приложить силу F . Причем

$$F \cdot h \geq M_{шк}, \text{ где } h \text{ – плечо силы } F.$$

Если плоскость рулевой трапеции совпадает с горизонтальной плоскостью, проходящей через точку A , то у силы F до оси шкворня будет самая большая величина плеча силы – h_{max} (плечо силы h – это кратчайшее расстояние от точки пересечения оси шкворня с плоскостью перпендикулярной к этой оси, проведенной через центр шарового пальца, до проекции силы F на перпендикулярную плоскость – F_n), т.е.

$M_{шк} = F_{min} \cdot h_{max}$. Если плоскость трапеции проходит через точку A и наклонена под углом $\sigma 1$ к горизонтальной плоскости, то $h \rightarrow h_{min}$, а $F \rightarrow F_{max}$. При F_{max} потребуются более мощные шаровые пальцы.

По всей видимости, у некоторых исследователей по аналогии с этими соображениями, описанными выше, возникло ошибочное предложение – измерять расстояние L по горизонтали между точками пересечения плоскостей, перпендикулярных осям шкворней, проведенных через центры шаровых пальцев.

Если плоскость рулевой трапеции проходит через точку A и наклонена под углом $\sigma 1$ к горизонтальной плоскости, то за длину рычага рулевой трапеции r необходимо брать проекцию расстояния $r\sigma$ на горизонтальную плоскость. Иначе $r = r\sigma \cdot \cos \sigma$ (рис.6,б). За угол наклона рычага рулевой трапеции необходимо принимать угол между осью X и проекцией рычага $r\sigma$ на плоскость XAY (рис. 6,б).

Следовательно, при выполнении силовых расчетов на пространственной модели необходимо учитывать угол наклона плоскости трапеции к горизонтальной плоскости.

При выполнении кинематических расчетов рулевой трапеции определяющими точками являются точки пересечения осей цапф колес с осями шкворней, поэтому расстояние L необходимо измерять между этими определяющими точками.

При выполнении кинематических расчетов (плоская или пространственная модели) можно пренебречь углом наклона плоскости рулевой трапеции к горизонтальной плоскости, когда: обе плоскости проходят через точку A , угол $\sigma 1 \leq 12^\circ$.

Е) Зависимость величин $L1$ и $L2$ от углов поперечного β и продольного наклона шкворня. Рассматриваются различные положения рулевой трапеции в параллельных плоскостях (рис. 7): при изменении величин L , $l1$ и L , $l2$ все остальные геометрические параметры таких квазирулевых трапеций остаются неизменными.

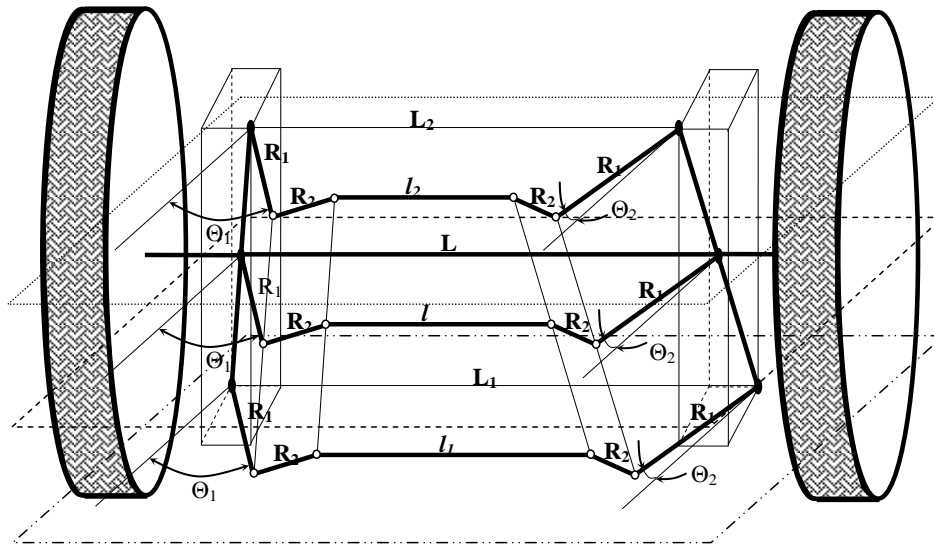


Рис. 7. Изменение параметров шестизвенной рулевой трапеции в зависимости от углов наклона шкворня

Программа устанавливает численную связь значений $L1$ и $L2$ от величины углов наклона шкворня по сравнению с истинной величиной L . Данные примера: $L=2$ м, $0 \leq \beta \leq 5^0$ и $0 \leq \gamma \leq 5^0$ с шагом $0,5^0$

Интерфейс программы представлен в следующем виде:

Обозначения: L - шкворневая колея, м;

$L1$ – значение условной шкворневой колеи ниже L , м;

$L2$ – значение условной шкворневой колеи выше L , м;

$S1$ – длина отрезка шкворня ниже L , м;

$S2$ – длина отрезка шкворня выше L , м;

β, γ – углы поперечного и продольного наклона шкворня, градусов;

$\Delta\beta, \Delta\gamma$ – шаги изменения углов, градусов;

$n1, n2$ – количество шагов по β, γ .

Исходные данные для расчета $L1$ и $L2$:

$L:=2$ $S1:=1$ $S2:=0.8$

$n1:=10$

Шаг $\Delta\beta := 0.5$

$n2:=10$

Шаг $\Delta\gamma := 0.5$

$\beta =$	0	0	$L1 =$	$\gamma^T =$	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	1	0.5			0	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	
	2	1			0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	1.5			2.017	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017
	4	2			2.035	2.035	2.035	2.035	2.035	2.035	2.035	2.035	2.035	2.035	2.035	2.035
	5	2.5			2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052	2.052
	6	3			2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
	7	3.5			2.087	2.087	2.087	2.087	2.087	2.087	2.087	2.087	2.087	2.087	2.087	2.087
	8	4			2.105	2.105	2.105	2.105	2.105	2.105	2.105	2.105	2.104	2.104	2.104	2.104
	9	4.5			2.122	2.122	2.122	2.122	2.122	2.122	2.122	2.122	2.122	2.122	2.122	2.122
	10	5			2.14	2.14	2.139	2.139	2.139	2.139	2.139	2.139	2.139	2.139	2.139	2.139
$\beta =$	0	0	$L2 =$	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	1	0.5		1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	
	2	1		1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	
	3	1.5		1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	1.958	
	4	2		1.944	1.944	1.944	1.944	1.944	1.944	1.944	1.944	1.944	1.944	1.944	1.944	
	5	2.5		1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	
	6	3		1.916	1.916	1.916	1.916	1.916	1.916	1.916	1.916	1.916	1.916	1.916	1.917	
	7	3.5		1.902	1.902	1.902	1.902	1.902	1.902	1.902	1.902	1.903	1.903	1.903	1.903	
	8	4		1.888	1.888	1.888	1.888	1.888	1.888	1.888	1.889	1.889	1.889	1.889	1.889	
	9	4.5		1.874	1.874	1.874	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	
	10	5		1.861	1.861	1.861	1.861	1.861	1.861	1.861	1.861	1.861	1.861	1.861	1.861	

Ж) Что делать с коэффициентами жесткости c_2 и демпфирования n_2 рулевой трапеции? Так как коэффициенты c_2 и n_2 практически не влияют на износ шин, но очень сильно влияют на критерий устойчивости движения и на другие важные критерии, необходимо эти коэффициенты использовать в расчетах динамики транспортного средства.

З) Выводы по пунктам (А – Ж). Для расчетов оптимальных параметров различных конструкций рулевых трапеций по критерию – износ шин управляемых колес необходимо использовать: плоскую модель автомобиля с вертикально расположенными шкворнями; шкворневую колею – расстояние между точками пересечения осей цапф управляемых колес с осями шкворней; базу машины – расстояние между осями передних и задних колес. Плоскость рулевой трапеции должна располагаться в плоскости параллельной плоскости дороги и проходить через точки пересечения осей цапф с осями шкворней.

И) Новая методика оптимизации параметров рулевой трапеции по критерию – износ шин управляемых колес. Математическое описание рулевой трапеции $\beta T = \beta T(\alpha, \lambda_1, \dots, \lambda_j, g_1, \dots, g_m)$, где βT – 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. Примем за меры близости двух зависимостей: идеальной β , полученной из уравнения котангенсов, и теоретической βT , – норму Гильберта F (где i –

число точек на кривых), которую используем в качестве показателя, оценивающего от-

$$\text{носительный износ шин: } F = \sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_{\dot{O}_i})^2 \rightarrow \min.$$

Вторая часть статьи. Результаты многокритериальной оптимизации параметров передних и задних четырех различных конструкций рулевых трапеций семейства автомобилей с разными базами и колеями (каждое новое сочетание база-колея, по сравнению с однокритериальной оптимизацией параметров рулевой трапеции при постоянном значении базы и колеи, добавляет еще один новый критерий).

1) Механико-математическая модель задней четырехзвенной рулевой трапеции академика Е.А. Чудакова [1].

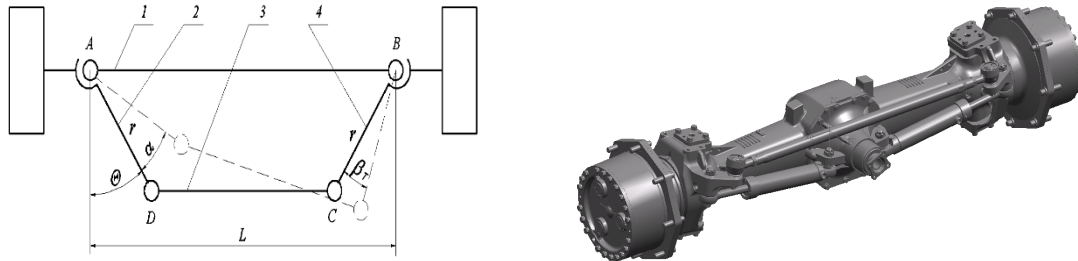


Рис. 8. Схема симметричной четырехзвенной рулевой трапеции и управляемый мост трактора «МТЗ»: 1 – управляемая ось; 2, 4 – продольные рычаги; 3 – поперечная тяга длиной l ; θ – угол наклона рычагов к продольной оси машины; r – длина рычага; α и β_T – углы поворота внутреннего и наружного колес машины, совершающий левый поворот, L – шкворневая колея

Постановка задачи. Известны размеры четырехзвенника и углы в симметричном положении. При повороте AD на угол α BC повернется на угол β_T . Определить $\beta_T = \beta_T(\alpha, \lambda_1, \dots, \lambda_j, g_1, \dots, g_m)$.

$$\beta_T = \Theta - \arctg\left(\frac{r \cdot \cos(\Theta + \alpha)}{L - r \cdot \sin(\Theta + \alpha)}\right) - \arcsin\left(\frac{r + 2L \cdot \sin(\Theta) - 2r \sin^2(\Theta) - L \cdot \sin(\Theta + \alpha)}{\sqrt{L^2 + r^2 - 2Lr \cdot \sin(\Theta + \alpha)}}\right). \quad (1)$$

Замечание. Из четырех параметров L, l, r, Θ независимых – три – L, r, Θ , так как имеет место одна связь.

2) Механико-математическая модель передней рулевой трапеции.

Передняя четырехзвенная трапеция может быть двух видов:

первый – рис. 9,а (ABC^1D^1); второй – рис. 9,б ($ABC^{11}D^{11}$).

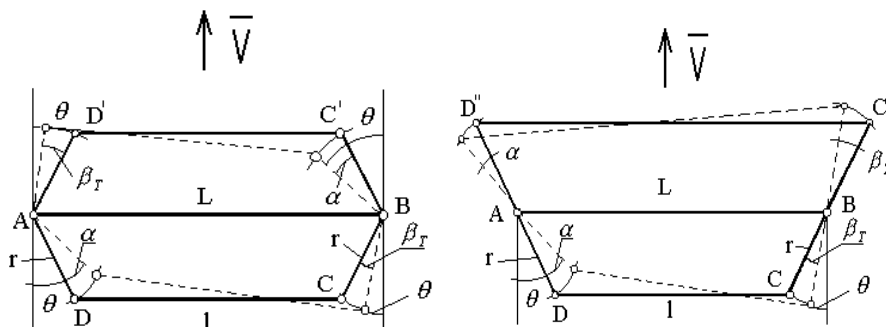


Рис. 9. Два вида передней рулевой трапеции: а – ABC^1D^1 ; б – $ABC^{11}D^{11}$

Возникает вопрос: «Какая из двух трапеций обеспечит поворот управляемых колес с минимальным износом шин?»

Из анализа рис. 9 следует, что: передняя трапеция, изображенная на (рис. 9, а), не может обеспечить поворот машины с минимальным износом шин, потому что угол поворота внутреннего колеса α должен быть больше угла поворота внешнего колеса β_T , а не наоборот; передняя трапеция, изображенная на (рис. 9, б), может обеспечить поворот машины с минимальным износом шин, потому что у нее $\alpha > \beta_T$.

Постановка задачи. Известны размеры четырехзвенника и углы в симметричном положении. При повороте AD^{11} на угол α BC^{11} повернется на угол β_T . Определить $\beta_T = \beta_T(\alpha, \lambda_1, \dots, \lambda_j, g_1, \dots, g_m)$ или определить $\beta_T^{11}(\alpha, L, \Theta, r)$.

$$\beta_T^{11} = \beta_T^{11}(\alpha, L, \Theta, r).$$

Замечание. Из четырех параметров L, l, r, Θ независимых – три – L, r, Θ , так как имеет место одна связь.

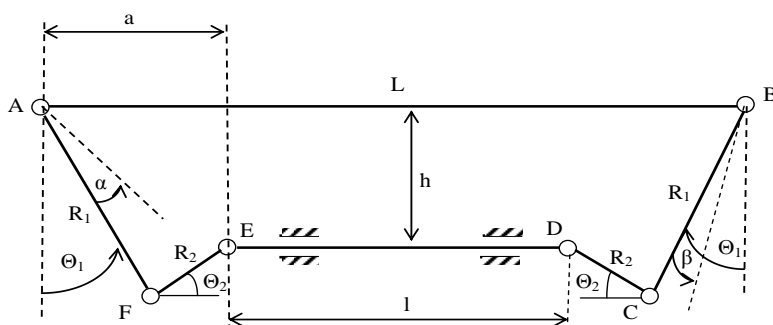


Рис. 10. Схема симметричной шестизвенной рулевой трапеции

3) *Механико-математическая модель симметричной шестизвенной рулевой трапеции.*

Постановка задачи. Известны размеры шестизвенника и углы в симметричном положении. При повороте AF на угол α BC повернется на угол β_T . Определить $\beta_T = \beta_T(\alpha, \lambda_1, \dots, \lambda_j, g_1, \dots, g_m)$.

$$\beta_T^C = \Theta_1 - \arcsin\left(\frac{S \cdot p}{p^2 + h^2} - \sqrt{\frac{S^2 \cdot p^2}{(p^2 + h^2)^2} - \frac{S^2 - h^2}{p^2 + h^2}}\right),$$

где $p = p(\alpha, L, l, \Theta_1, R_1, R_2, h)$; $s = s(p, R_1, R_2, h)$. (2)

Замечание. Из семи параметров $L, l, R_1, R_2, h, \Theta_1, \Theta_2$ независимых пять, так как имеет место две связи. В результате за независимые параметры можно, например, выбрать $L, R_1, R_2, \Theta_1, \Theta_2$

4) *Механико-математическая модель несимметричной шестизвенной рулевой трапеции.*

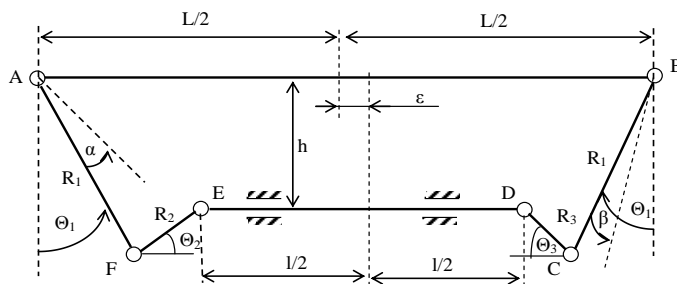


Рис. 11. Схема несимметричной шестизвенной рулевой трапеции

Постановка задачи. Известны размеры шестизвенника и углы в несимметричном положении. При повороте AF на угол α BC повернется на угол β_T . Определить $\beta_T = \beta_T(\alpha, \lambda_1, \dots, \lambda_j, g_1, \dots, g_m)$.

$$\beta_T^I = \Theta_1 - \arcsin\left(\frac{S \cdot p}{p^2 + h^2} - \sqrt{\frac{S^2 \cdot p^2}{(p^2 + h^2)^2} - \frac{S^2 - h^2}{p^2 + h^2}}\right),$$

где $p = p(\alpha, L, l, \Theta_1, R_1, R_2, h)$; $s = s(p, R_1, R_2, R_3, h)$. (3)

Замечание. Из десяти параметров $L, l, R_1, R_2, R_3, h, \Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ независимых шесть, так как имеет место четыре связи. В результате за независимые параметры можно, например, выбрать $L, R_1, R_2, R_3, \Theta_1, \Theta_2$

5) *Механико-математическая модель симметричной шестизвенной рулевой трапеции с сошкой.*

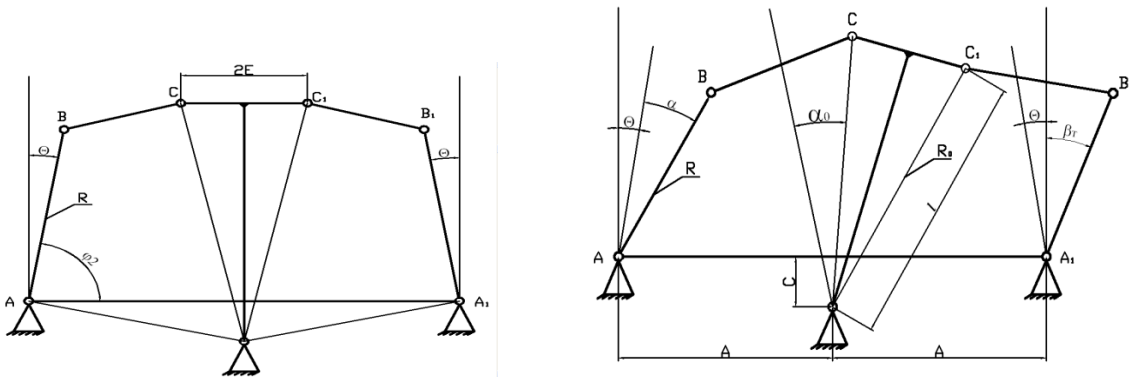


Рис.12. Схема симметричной шестизвенной рулевой трапеции с сошкой, повернутой на угол α

Постановка задачи. Известны размеры шестизвенника и углы в несимметричном положении. При повороте AF на угол α BC повернется на угол β_T . Определить $\beta_T = \beta_T(\alpha, \lambda_1, \dots, \lambda_j, g_1, \dots, g_m)$.

$$\beta_T^C = \Theta + \operatorname{arctg}\left(\frac{R_0 \cdot \cos(\gamma + \alpha_0)}{A - R_0 \cdot \sin(\gamma + \alpha_0)}\right) - \arcsin\left(\frac{d^2 + R_0^2 - 2d \cdot R_0 \cdot \sin(\alpha_0 + \lambda + \varepsilon) + R^2 - L^2}{2R_0 \sqrt{d^2 + R_0^2 - 2dR_0 \sin(\alpha_0 + \lambda + \varepsilon)}}\right),$$

где $R_0 = \sqrt{l^2 + E^2}$; $d = \sqrt{A^2 + C^2}$; $\gamma = \operatorname{arctg}(E/l)$; $\alpha_0 = \alpha_0(\gamma, R_0, \alpha, \varepsilon, \lambda, R, L)$. (4)

6) *Краткое описание программного продукта. Результаты оптимизации.*

Программной реализацией многокритериальной оптимизации параметров рулевых трапеций различных конструкций является комплекс программ «MTZRT-5», представляющий собой исполняемый файл «MTZRT-5.exe». Комплекс программ реализован на языке программирования «VisualC++6.0» и предназначен для сокращения сроков и улучшения качества проектирования пяти различных конструкций рулевых трапеций с помощью методов многокритериальной оптимизации по критерию — износ шин:

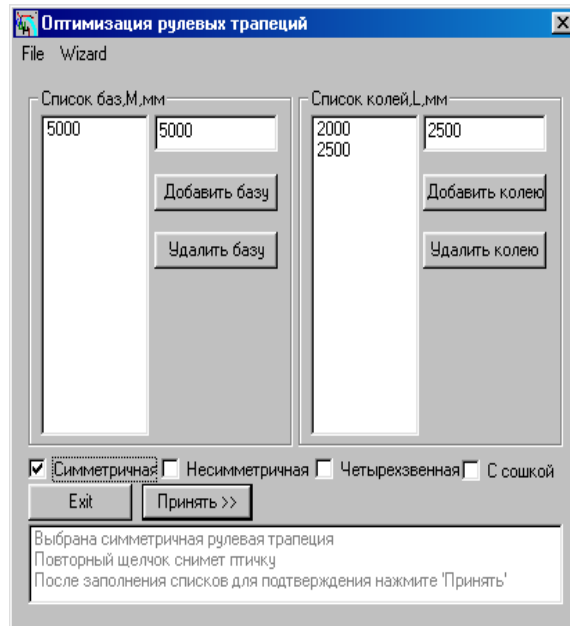


Рис.13. Главное окно с заполненными списками «М» и «L» и симметричной рулевой трапецией

6.1 Оптимизация параметров симметричных шестизвенных рулевых трапеций. Эта программа позволяет решить задачу многокритериальной оптимизации параметров рулевой трапеции (где параметры: $R1$ - продольный рычаг рулевой трапеции; $R2$ – поперечный рычаг рулевой трапеции; Θ_1 - угол наклона $R1$ к продольной оси машины; Θ_2 - угол наклона $R2$ к поперечной оси машины) при заданных значениях баз M_i и колеи L_j (количество вариантов база-колея, равно $i*j \leq 100$ критериям): вычислить значения критерия Гильберта, выделить множество Парето и получить на выходе таблицу отсортированных значений параметров по мере удаления критериев Гильберта, использующих формулу (2), от идеальной точки с координатами соответствующими наилучшим значениям по каждому из критериев в N -мерном пространстве критериев.

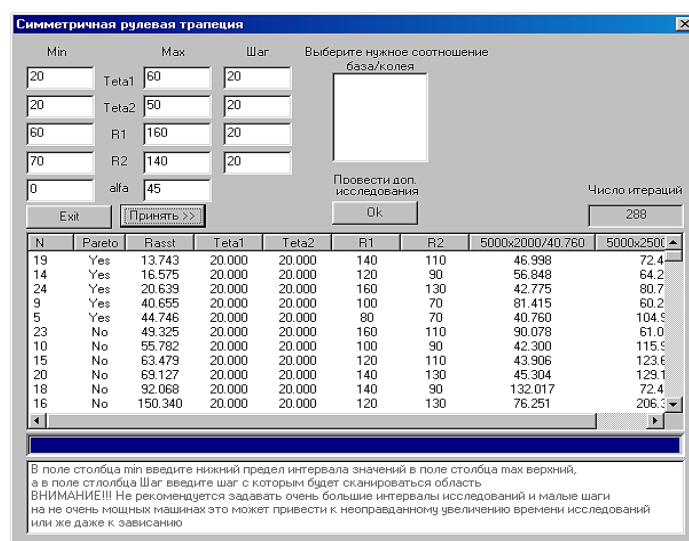


Рис. 14. Окно многокритериальной оптимизации параметров симметричной шестизвенной рулевой трапеции

6.2 *Оптимизация параметров несимметричных шестизвенных рулевых трапеций.*
 Эта программа позволяет решить задачу многокритериальной оптимизации (где параметры: $R1$ - продольный рычаг рулевой трапеции, $R2$ – поперечный рычаг рулевой трапеции, $R3$ – поперечный рычаг рулевой трапеции, Θ_1 - угол наклона $R1$ к продольной оси машины, Θ_2 - угол наклона $R2$ к поперечной оси машины, Θ_3 - угол наклона $R3$ к поперечной оси машины) при заданных значениях баз M_i и колея L_j (количество вариантов база-колея, равно $i*j \leq 100$ критериям): вычислить значения критерия Гильберта, выделить множество Парето и получить на выходе таблицу отсортированных значений параметров по мере удаления критериев Гильберта, использующих формулу (3), от идеальной точки (рис. 15).

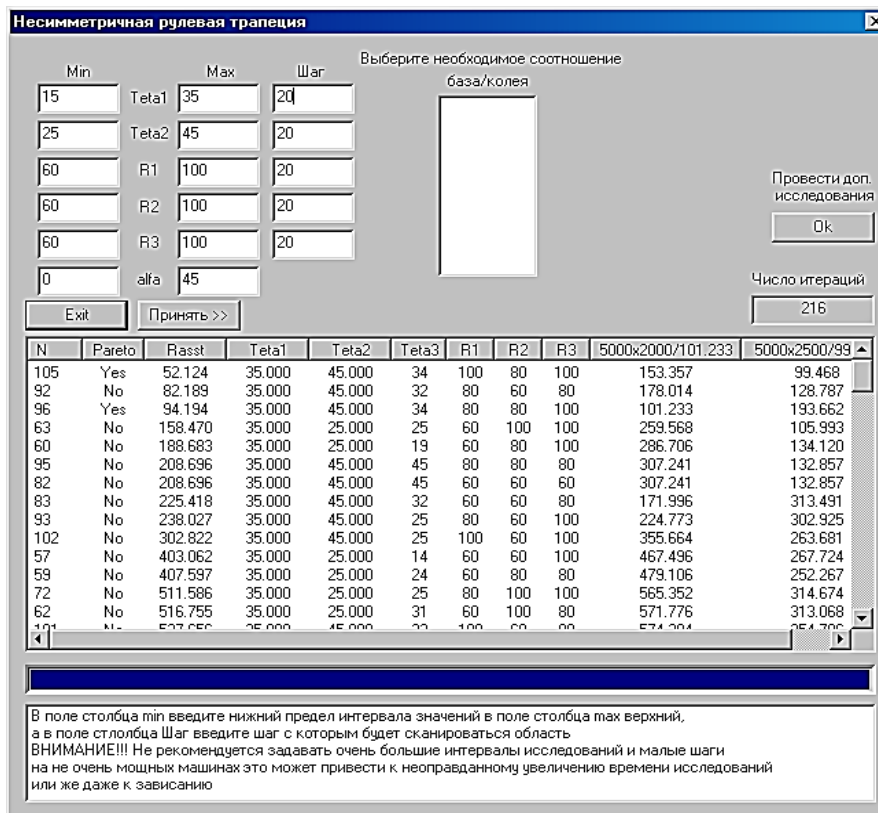


Рис. 15. Окно оптимизации параметров несимметричной шестизвенной рулевой трапеции

6.3 *Оптимизация параметров задней и передней четырехзвенной рулевой трапеции.*

Эта программа позволяет решить задачу многокритериальной оптимизации (где параметры: R - продольный рычаг рулевой трапеции, Θ - угол наклона R к продольной оси машины) при заданных значениях баз M_i и колея L_j (количество вариантов база-колея, равно $i*j \leq 100$ критериям): вычислить значения критерия Гильберта, выделить множество Парето и получить на выходе таблицу отсортированных значений параметров по мере удаления критериев Гильберта, использующих формулу (1), от идеальной точки (рис. 16).

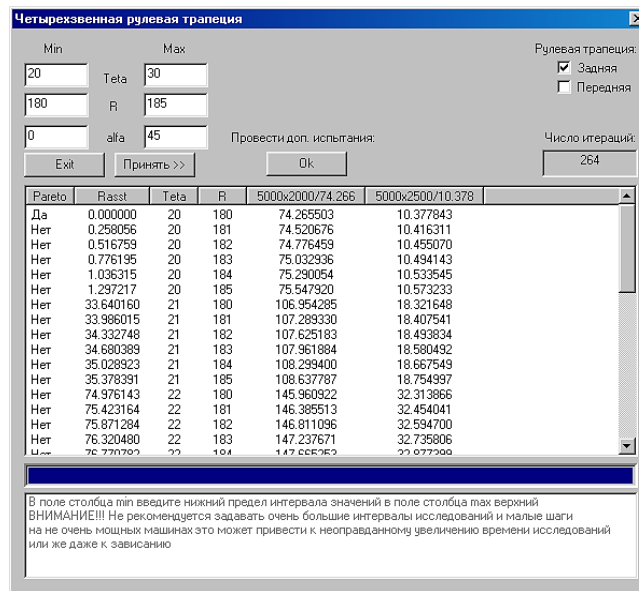


Рис. 16. Окно оптимизации четырехзвенной задней рулевой трапеции

6.4 Оптимизация параметров шестизвенной рулевой трапеции с сошкой.

Эта программа позволяет решить задачу многокритериальной оптимизации (где параметры: R1 - продольный рычаг рулевой трапеции, Θ - угол наклона R1 к продольной оси машины, E – полвеличины полки сошки (полрасстояния между шаровыми шарнирами сошки), l - длина рулевой сошки, c – смещение вала рулевой сошки относительно оси моста) при заданных значениях баз M_i и колея L_j (количество вариантов база-колея, равное $i*j \leq 100$ критериям): вычислить значения критерия Гильберта, выделить множество Парето и получить на выходе таблицу отсортированных значений параметров по мере удаления критериев Гильберта, использующих формулу (4), от идеальной точки.

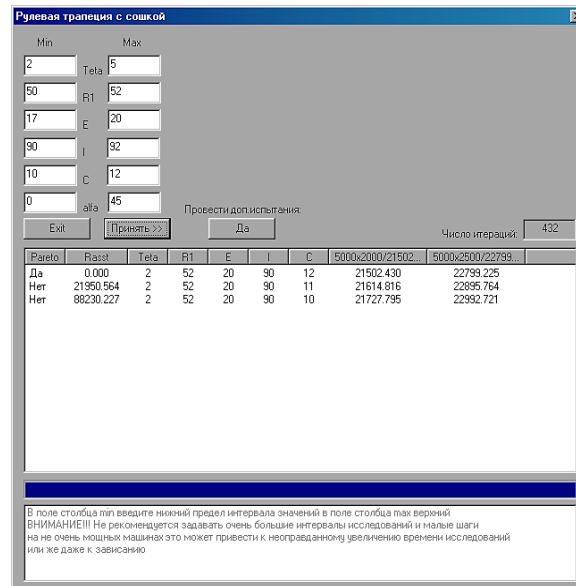


Рис. 17. Окно оптимизации шестизвенной рулевой трапеции с сошкой

Выводы. Доказано, что для многокритериальной оптимизации параметров различных конструкций рулевых трапеций по критерию – относительный износ шин управляемых колес семейства автомобилей с разными базами и колеями необходимо

использовать: плоскую модель автомобиля с вертикально расположенными шкворнями, расстояние между центрами которых – шкворневая колея; новую методику расчета параметров рулевой трапеции с применением множества Парето; программный продукт «MTZRT-5», созданный впервые для оптимизации параметров различных конструкций рулевых трапеций – шестизвенной симметричной, шестизвенной несимметричной, четырехзвенной симметричной передней и задней рулевой трапеции, шестизвенной симметричной рулевой трапеции с сошкой.

Обоснование методики, методику, программный продукт «MTZRT-5» и результаты многокритериальной оптимизации параметров различных конструкций 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».

ЛИТЕРАТУРА

1. Чудаков, Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков // – М.: Изд. АН СССР, 1961. – 462 с.

УДК 621.91.04

Данилов В.А.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Рассмотрены универсальные пути рационального построения кинематики формообразующих систем станочного оборудования для обработки сложных поверхностей на этапе его функционального проектирования с учетом взаимосвязи компонентов способа обработки. Дана характеристика уровней функционального проектирования, показана значимость соответствующих им решений при разработке формообразующей системы станка. Отражены пути интенсификации процессов обработки, реализуемые при проектировании станка. Представлена последовательность синтеза его кинематической схемы, основанная на результатах концептуального и системно-структурного проектирования.

Введение. Сложные поверхности широко применяются в конструкциях деталей машин и приборов, режущих инструментов. Основным методом обеспечения требуемой их точности является формообразование резанием. Техничко-экономические показатели способов обработки изделий со сложными поверхностями обычно ниже, чем деталей простой геометрической формы, поэтому актуальной является проблема интенсификации процессов обработки сложных поверхностей. Из возможных направлений ее решения важная роль принадлежит функциональному проектированию, определяющему технический уровень станочного оборудования, его соответствие современным требованиям.