

Характеристика регулирования реактивного действия рулевого усилителя

08, август 2012

DOI: 10.7463/0812.0431301

Мурог И. А.

УДК.629.33

Россия, ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ)

andreikeller@rambler.ru

Введение

Существующие рулевые управления (РУ) грузовых автомобилей, которые могут эксплуатироваться в различных дорожных условиях, зачастую не обеспечивают «чувства дороги». Неудовлетворительное силовое слежение или затрудняет управление вследствие большого усилия на рулевом колесе (РК), или увеличивает время реакции водителя и повышает его психофизиологические затраты на управление автомобилем и всегда нарушает управляемость [1].

Поэтому для повышения безопасности движения в современных конструкциях усилителей, выпускаемых ведущими зарубежными фирмами, применяются устройства, обеспечивающие переменное реактивное действие РУ. Однако общепризнанного подхода к созданию РУ с переменным реактивным действием до настоящего времени не разработано [2].

1 Выбор исходных данных для определения характеристики регулирования реактивного действия рулевого усилителя

При определении характеристики управления необходимо:

- 1) определить взаимосвязь между требуемой силовой характеристикой РУ и параметром регулирования – максимальным давлением рабочей жидкости;
- 2) для выработки характеристики регулирования найти зависимость между усилием на РК и моментом сопротивления повороту.

Дополнительные условия: в силовом цилиндре должно быть обеспечено максимальное давление (регулируемое) рабочей жидкости; работа, совершаемая усилителем должна быть максимальной. Таким образом, возможен отказ от использования реактивных элементов, что упрощает конструкцию распределителя и расширяет диапазон регулирования реактивного действия. Это особенно важно для распределителей с роторным золотником, где реактивное действие обеспечивается путем выполнения рабочих кромок сложной для изготовления формы. Кроме того, форма рабочих кромок для обеспечения работоспособности усилителя и его реактивного действия определяется, главным образом, опытно-экспериментальным путем и зависит от свойств рабочей жидкости [3].

Исходными данными для расчета принимаем усилие на РК при неработающем усилителе и усилие на РК, выбранное исходя из эргономических требований. Наклон кривой силовой статической характеристики РУ при неработающем усилителе определяется передаточными числами рулевого механизма и рулевого привода.

2 Определение характеристики регулирования реактивного действия рулевого усилителя

Усилие P_{rm} на РК при неработающем усилителе определяется моментом сопротивления повороту M_c . Уменьшение усилия на РК до заданного усилия P_{rg} обеспечивается работой усилителя гидравлического типа (УГТ). Усилитель должен преодолеть часть момента сопротивления повороту:

$$p_{max} \cdot F_{c1} \cdot r_p \cdot u_{rp} \cdot \eta_{rp} = M_c - M, \quad (1)$$

где p_{max} – максимальное давление рабочей жидкости; F_{c1} – левая площадь поршня гидроцилиндра; r_p – длина поворотного рычага управляемого колеса; u_{rp} – передаточное число рулевого привода; η_{rp} – КПД рулевого привода; M_c – момент сопротивления повороту УК при неработающем усилителе; M – момент сопротивления повороту УК при работающем усилителе.

Значения M_c и M определяются из выражений

$$M_c = P_{rg} \cdot k_m, \quad (2)$$

$$M = P_{rm} \cdot k_m = P_{rg} \cdot k_g, \quad (3)$$

где k_m , k_g – коэффициенты, характеризующие углы наклона силовой характеристики УГТ без усилителя и желаемый, соответственно.

Выполнив ряд преобразований из (1-3), получаем уравнение (4) для определения максимального давления в зависимости от требуемого угла наклона силовой характеристики k_g :

$$P_{\max} = \frac{M_c \cdot \left(1 - \frac{k_m}{k_g}\right)}{F_{c1} \cdot r_c \cdot u_{rp} \cdot \eta_{rp}}. \quad (4)$$

Для использования данной зависимости для регулирования усилия на РК необходимо установить взаимосвязь между коэффициентом k_g и параметром регулирования - моментом сопротивления повороту управляемых колес. Кроме того, необходимо провести оценку влияния конструктивных факторов на параметры управления.

На основе априорной информации можно выделить факторы, оказывающие влияние на параметры функционирования рассматриваемой системы: коэффициент сопротивления уводу шины, база автомобиля, масса автомобиля, передаточное число рулевого управления, жесткость рулевого привода, момент инерции управляемых колес, момент инерции РК, силы трения, зазоры в механической части рулевого управления, конструкция распределителя, рабочая площадь силового цилиндра [4].

Оценив значимость факторов, примем к исследованию влияния на силовую характеристику РУ с УГТ следующие факторы: передаточное число рулевого механизма, площадь поршня силового цилиндра, коэффициент сопротивления уводу шины, масса автомобиля.

Для получения необходимой точности управления автомобилем необходимо обеспечить соответствие восприятия боковых ускорений и соответствующих им усилий на РК.

3 Определение коэффициента информативности рулевого усилителя

По данным математического моделирования автомобиля УРАЛ-4320 получены зависимости изменения усилия от бокового ускорения при различных значениях коэффициента сцепления. При малом коэффициенте сцепления при ускорениях выше 2 м/с^2 автомобиль теряет устойчивость. Принято, что дифференциальный порог ощущения усилия составляет 10 % от максимальной величины усилия на рулевом колесе, а ускорения – 20 %. Усилие на РК, вызванное потерями на трение в РУ, не считалось информативным [5].

Для оценки качества силового слежения введем коэффициент информативности K_i , значение которого определяется выражением

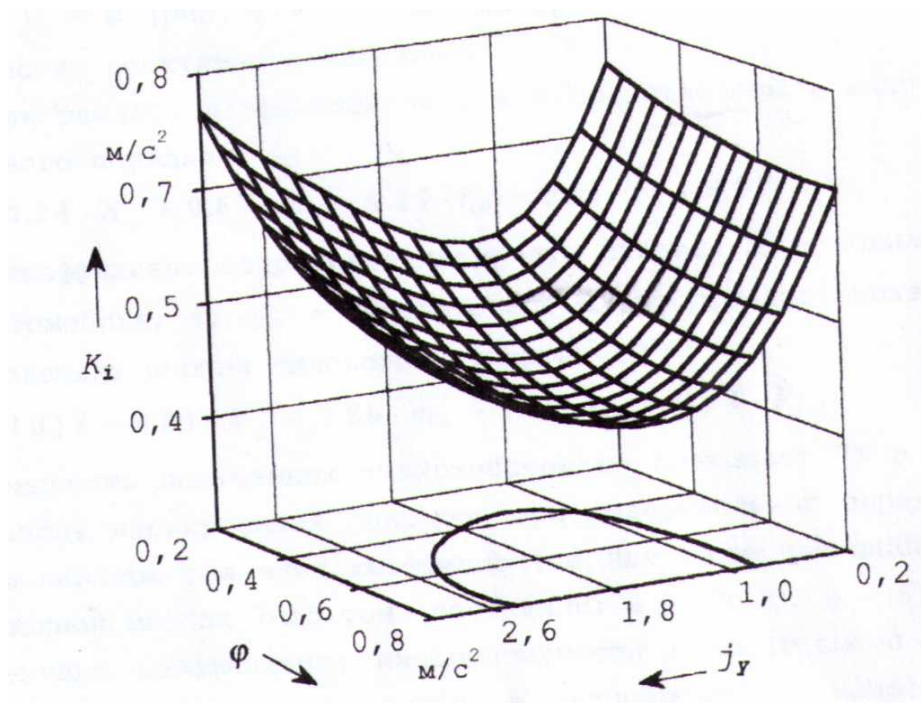
$$K_i = \frac{j_y}{k_p \cdot \frac{P_r - P_{fr}}{P_{rmax}}}, \quad (5)$$

где j_y – боковое ускорение, м/с^2 ; k_p – дифференциальный порог ощущения усилия; P_r – усилие на руле, Н; P_{fr} – силы трения в приводе распределителя, Н; P_{rmax} – максимальное усилие на рулевом колесе при установившемся движении с боковым ускорением j_y .

При изменении бокового ускорения на величину, равную дифференциальному порогу ощущения водителем ускорений, усилие на руле должно изменяться на величину, большую, чем дифференциальный порог ощущения усилий.

Таким образом, необходимое качество управления может быть достигнуто, если величина коэффициента информативности меньше дифференциального порога ощущения боковых ускорений.

По результатам расчета получена зависимость изменения коэффициента информативности РУ в зависимости от бокового ускорения и коэффициента сцепления с опорной поверхностью, которая показана на рисунке 1.



K_i – коэффициент информативности, м/с^2 ; φ – коэффициент сцепления с опорной поверхностью; j_y – боковое ускорение, м/с^2

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента информативности от коэффициента сцепления и бокового ускорения

Анализ полученной зависимости показывает, что величина коэффициента информативности выше дифференциального порога ощущения ускорений при уменьшении коэффициента сцепления, а также при боковых ускорениях в диапазонах до $0,8 \text{ м/с}^2$ и свыше $2,2 \text{ м/с}^2$.

Улучшение «чувства дороги» с ростом бокового ускорения может быть достигнуто путем увеличения усилия на РК. Однако увеличение усилия на РК на дорогах с высоким коэффициентом сцепления нежелательно, так как это может привести к затруднению управления автомобилем из-за повышенного усилия на РК. Поэтому, в первую очередь, необходимо повышение информативности РУ в зоне небольших ускорений и малого коэффициента сцепления. Это может быть обеспечено путем увеличения показателя реактивного действия в зоне малых значений момента сопротивления повороту управляемых колес и снижением потерь на трение в РУ. По результатам моделирования установлено, что зависимость имеет экспоненциальный вид

$$k_g = a \cdot \left(1 - e^{-\frac{M_c}{b}} \right), \quad (6)$$

где a , b – постоянные коэффициенты.

Для использования полученной зависимости при разработке новых РУ автомобилей и модернизации существующих проведен анализ влияния конструктивных факторов на параметры предложенной зависимости (6).

4 Анализ результатов экспериментального исследования

Анализ производился на основе положений теории планирования эксперимента [6]. Для этого составлен план полнофакторного эксперимента. Значения варьируемых факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения варьируемых факторов

Наименование факторов	Минимальное значение	Максимальное значение
передаточное число РМ	16	26
площадь поршня, см^2	20	100
коэффициент сопротивления уводу, кН/рад	80	140
полная масса автомобиля, т	7	15

По данным, полученным на основе моделирования [7], и последующего регрессионного анализа выведены зависимости (7) и (8) для расчета рациональных значений коэффициентов a и b уравнения (6). Критерием рациональности служила максимальная площадь плоскости $j_y - \varphi$ (рисунок 2), ограниченная значением $K_i=0.4$.

Зависимости для расчета коэффициентов a и b представлены в виде полиномов первого порядка

$$a = 0,24 \cdot K + 0,67 \cdot m_a - 0,29 \cdot i_{rm} - 0,11 \cdot F_c + 4,87, \quad (7)$$

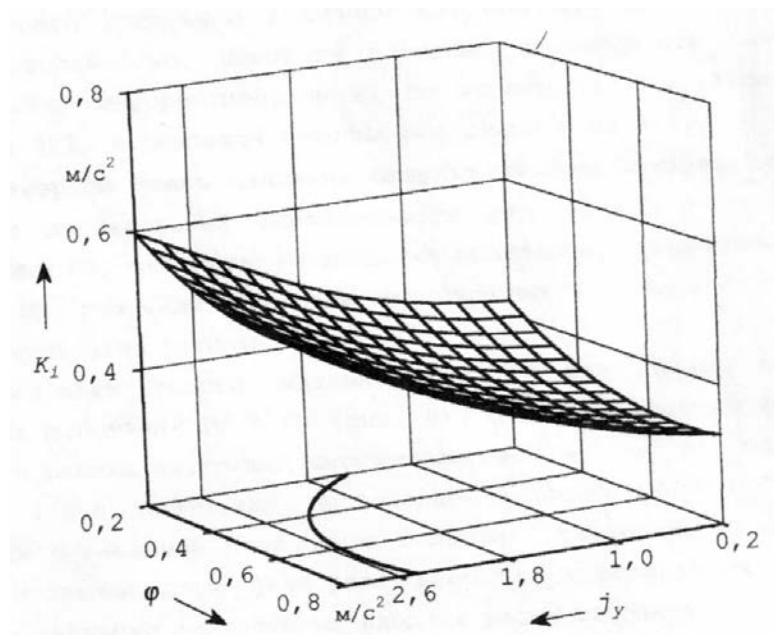
$$b = 1017 - 0,81 \cdot K - 2,86 \cdot m_a - 1,69 \cdot i_{rm} - 0,94 \cdot F_c, \quad (8)$$

где K – коэффициент сопротивления уводу, m_a – масса автомобиля, i_{rm} – передаточное число рулевого управления, F_c – площадь поршня гидроцилиндра.

Погрешность полученных зависимостей не превышает 7% при уровне доверительной вероятности 90%.

Установлены рациональные значения коэффициентов a и b для трехосных полноприводных автомобилей полной массой 7...15 тонн семейства УРАЛ, $a = 18...30$; $b = 670...915$.

Изменение коэффициента информативности предлагаемого РУ для автомобиля УРАЛ - 4320 ($a = 26$, $b = 750$) в зависимости от коэффициента сцепления и бокового ускорения представлено на рисунке 2.



K_i – коэффициент информативности, м/с^2 ; φ – коэффициент сцепления с опорной поверхностью; j_y – боковое ускорение, м/с^2

Рисунок 2 – Зависимость коэффициента информативности предлагаемого РУ для автомобиля УРАЛ - 4320 от коэффициента сцепления и бокового ускорения

РУ с регулированием реактивного действия обеспечивает улучшение информативности РУ по усилию на РК при малых величинах бокового ускорения и низком коэффициенте сцепления шины с опорной поверхностью.

Заключение

Из различных способов регулирования силового следящего действия для грузовых автомобилей наиболее рациональным является регулирование давления нагнетания рабочей жидкости в распределителе.

Анализ с использованием разработанной математической модели РУ с УГТ позволил предложить характеристику управления для устройства обеспечения переменного реактивного действия. При использовании РУ, работающего по предложенной характеристике, диапазон значений коэффициента сцепления, обеспечивающий информативность РУ по усилию на РК, увеличился в среднем на 32 %, а диапазон боковых ускорений в среднем на 48 %.

Список литературы

1. Чайковский И.П., Саломатин П.А. Рулевые управления автомобилей. М.: Машиностроение, 1987. 176 с.
2. Раймпель Й. Шасси автомобиля. Рулевое управление : пер. с нем. М.: Машиностроение, 1987. 232 с.
3. Гинцбург Л.Л. Гидравлические усилители рулевого управления автомобилей. М.: Машиностроение, 1972. 120 с.
4. Лысов М.И. Рулевые управления автомобилей. М.: Машиностроение, 1972. 344 с.
5. Хачатуров А.А., Афанасьев В.Л., Васильев В.Г. Динамика системы «дорога – шина – автомобиль – водитель». М.: Машиностроение, 1976. 534 с.
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
7. Мурог И.А. Математическая модель рулевого управления с усилителем гидравлического типа // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Машиностроение». Вып. 14. 2009. № 33 (166). С. 45-50.

Control characteristic of power steering gear reaction effect

08, August 2012

DOI: 10.7463/0812.0431301

Murog I.A.

Russia, «South Ural State University» (National Research University)

andreikeller@rambler.ru

Designs of power steering gears with a reaction effect are used in off-road trucks. In this article the author investigates a regulating system for reaction effect of hydraulic type power steering gear of a cross-country cargo carrier and justified the characteristic for the regulating system of hydraulic booster reaction effect. The author also introduced a concept of coefficient of informativeness. The mathematical model of steering control and the numerical experiment method were used. The author proposes a regulation method allowing to neglect reactive elements and simplify the design. The results presented in this paper could be used for developing perspective steering systems for trucks which are similar to those discussed and operating under similar conditions.

Publications with keywords: [the steering system](#), [trucks](#), [system of regulation of the reactive action assisted steering](#), [coefficient of informativeness](#)

Publications with words: [the steering system](#), [trucks](#), [system of regulation of the reactive action assisted steering](#), [coefficient of informativeness](#)

References

1. Chaikovskii I.P., Salomatin P.A. *Rulevye upravleniia avtomobilei* [Car steering]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 176 p.
2. Raimpel' I. *Shassi avtomobilia. Rulevoe upravlenie* [Car chassis. Steering]. Transl. from German. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 232 p.
3. Gintsburg L.L. *Gidravlicheskie usiliteli rulevogo upravleniia avtomobilei* [Hydraulic servo steering]. Moscow, Mashinostroenie, 1972. 120 p.
4. Lysov M.I. *Rulevye upravleniia avtomobilei* [Car steering]. Moscow, Mashinostroenie, 1972. 344 p.
5. Khachaturov A.A., Afanas'nev V.L., Vasil'ev V.G. *Dinamika sistemy «doroga – shina – avtomobil' – voditel'»* [Dynamics of the system “road - bus - car – driver”]. Moscow, Mashinostroenie, 1976. 534 p.

6. Adler Iu.P., Markova E.V., Granovskii Iu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovii* [Design of experiments in the search of optimal conditions]. Moscow, Nauka, 1976. 280 p.

7. Murog I.A. Matematicheskaia model' rulevogo upravleniia s usilitelem gidravlicheseskogo tipa [Mathematical model of power steering of hydraulic type]. *Vestnik IuUrGU. Ser. «Mashinostroenie»*. Vyp. 14 [Bulletin of SUSU. Ser. " Mechanical Engineering ". Iss. 14], 2009, no. 33 (166), pp. 45-50.