

РЕГУЛИРОВАНИЕ СХОЖДЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЁС АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПРИ ДВИЖЕНИИ НАКАТОМ

Приведены выражения, учитывающие инерционность элементов системы непрерывного регулирования схождения управляемых колёс автотранспортного средства в процессе движения, использование которых при настройке системы позволяет повысить точность регулирования при движении накатом.

Ключевые слова: автотранспортное средство, схождение управляемых колёс, система регулирования, инерционность, движение накатом.

Движение автотранспортного средства (АТС) включает следующие режимы: разгон, равномерное движение, накат, торможение. При эксплуатации АТС на загородных дорогах, как правило, оно большую часть времени движется равномерно. При эксплуатации же АТС в городских условиях около 40% составляет разгон, около 20% – равномерное движение и около 40% – торможение и накат. Накат, как правило, является неотъемлемой частью движения АТС.

При движении АТС под действием различных факторов из-за зазоров и деформаций в элементах управляемого моста и рулевого управления постоянно происходят неконтролируемые изменения развала и схождения управляемых колёс. Нарушение угла схождения управляемых колёс приводит к повышению сопротивления движению, износа шин и расхода топлива.

В этой связи авторами разработана и запатентована система автоматического регулирования схождения управляемых колёс АТС в процессе движения [1]–[8].

Предложенная система является механической системой, следовательно, она обладает инерцией. Поэтому, если произошло нарушение схождения управляемых колёс АТС и необходимо его восстановить силой действия исполнительного механизма этой системы, действие этой силы нужно прекратить раньше, чем управляемые колёса АТС достигнут правильного положения, а далее правильного их положения колёса достигнут за счёт инерции системы. При прекращении же действия силы исполнительного механизма системы регулирования схождения в момент достижения управляемыми колёсами правильного положения, приведёт к перерегулированию, так как после прекращения действия силы исполнительного механизма за

счёт их инерции и инерции системы они повернутся ещё на некоторый угол. Это вызовет необходимость корректировки схождения управляемых колёс АТС вновь, но в обратную сторону. И этот процесс будет повторяться.

При движении АТС шины колёс соприкасаются с поверхностью дороги множеством точек, образуя зоны контакта колёс с дорогой. В зоне контакта шины с дорогой возникают элементарные реакции дороги на шину, которые, суммируясь, составляют равнодействующую реакцию дороги на колесо.

Полагая, что поверхность дороги является плоскостью, равнодействующая реакция дороги на колесо может быть разложена на три составляющих: нормальную, касательную и боковую. Боковая и касательная реакции дороги на колесо лежат в плоскости дороги, нормальная реакция – перпендикулярна плоскости дороги. Боковая реакция дороги на колесо перпендикулярна средней плоскости колеса. Касательная реакция дороги на колесо расположена в средней плоскости колеса.

За критерий оценки правильности схождения управляемых колёс АТС принята боковая реакция дороги на управляемые колёса АТС. Если они близки к нулю, то схождение управляемых колёс АТС – правильное.

В статьях [9]–[11] рассмотрены три случая движения автомобиля – равномерное, при разгоне и при торможении. Рассмотрим четвёртый случай – движение накатом.

При движении АТС с системой автоматического регулирования схождения управляемых колёс по горизонтальной дороге накатом и отклонением схождения управляемых колёс от правильного значения на каждое управляемое колесо действуют следующие нагрузки (рис. 1):

R – реакции дороги на колесо, лежащая в плоскости дороги;

Z – нормальная реакции дороги на колесо;

G_k – вес управляемого колеса в сборе;

$P_{ин}$ – сила инерции колеса с осью;

P – сила действия исполнительного механизма системы автоматического регулирования схождения управляемых колёс АТС в процессе движения, параллельная плоскости дороги и управляемой оси АТС, прилагаемая через поперечную тягу к боковому рычагу рулевой трапеции;

$M_{тр}$ – момент трения в шкворневом узле управляемого моста;

$M_{ст}$ – стабилизирующий момент;

$M_{ин}$ – инерционный момент управляемого колеса с осью и поворотным кулаком в сборе относительно центра поворота O_1 .

На схеме также приняты следующие обозначения:

δ – угол отклонения схождения управляемого колеса АТС от правильного;

$\delta'_{ин}$ – угол перерегулирования схождения управляемых колёс АТС за счёт инерции элементов системы автоматического регулирования схождения управляемых колёс АТС в движении;

δ_c – угол силового восстановления (за счёт действия исполнительного механизма системы) правильного угла схождения управляемых колёс АТС;

$\delta_{ин}$ – угол инерционного восстановления правильного угла схождения управляемых колёс АТС за счёт инерции элементов системы автоматического регулирования схождения управляемых колёс АТС в процессе движения;

a – расстояние от средней плоскости управляемого колеса до центра поворота O_1 ;

b – расстояние от оси поперечной тяги рулевой трапеции до оси управляемого моста.

Реакция дороги на управляемое колесо, лежащая в плоскости дороги, может быть разложена на две составляющих:

P_f – сила сопротивления качению, лежащая в плоскости дороги и средней плоскости управляемого колеса, являющаяся касательной реакцией дороги на управляемое колесо;

U – боковая реакция на управляемое колесо, лежащая в плоскости дороги.

Нормальная реакции дороги на управляемое колесо АТС в движении определяется по уравнению:

$$Z = [G b_1 - P_{кач} r_k + (P_b - P'_{ин}) h_{ц} - I_{ка} j / r_k] / 2L, \quad (1)$$

где G – вес АТС; b_1 – расстояние (на горизонтальной проекции АТС) от центра тяжести АТС до задней его оси; L – база АТС; $P_{кач}$ – сила сопротивления качению АТС; r_k – радиус качения колёс АТС; P_b – сила сопротивления воздуха движению АТС; $P'_{ин}$ – сила инерции поступательно движущихся масс АТС; $h_{ц}$ – высота центра тяжести АТС; $I_{ка}$ – момент инерции всех колёс АТС; j – ускорение АТС.

Сила сопротивления качению АТС находится по выражению:

$$P_{кач} = G \psi,$$

где ψ – коэффициент суммарного дорожного сопротивления, в данном случае:

$$\psi = f,$$

где f – коэффициент сопротивления качению.

Коэффициент сопротивления качению может быть определен по зависимости:

$$f = f_0 (1 + V^2 / 2 \cdot 10^4),$$

где f_0 – коэффициент, характеризующий тип дорожного покрытия; V – скорость движения АТС.

С учётом этого:

$$P_{кач} = G f_0 (1 + V^2 / 2 \cdot 10^4). \quad (2)$$

Радиус качения колеса АТС определяется по выражению:

$$r_k = 0,0127 (d'' + 1,7 B''), \quad (3)$$

где d'' – посадочный диаметр обода колеса; B'' – ширина профиля шины.

Сила сопротивления воздуха движению АТС находится по зависимости:

$$P_b = K F V^2 / 13, \quad (4)$$

где K – коэффициент обтекаемости АТС; F – лобовая площадь АТС.

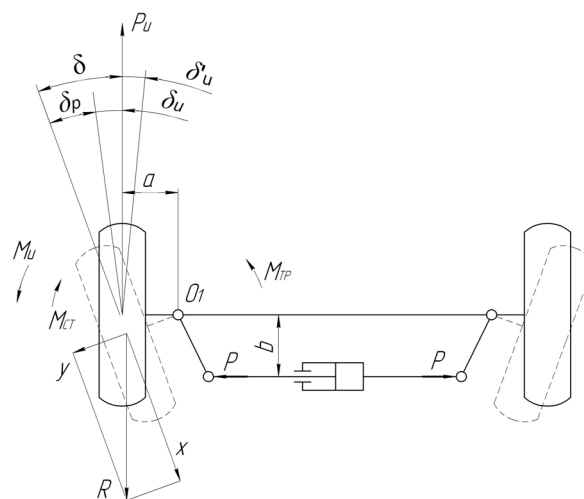


Рисунок 1. Схема к расчету инерционности системы непрерывного регулирования схождения управляемых колёс АТС при движении накатом

Сила инерции поступательно движущихся масс АТС равна:

$$P_{\text{и}}^* = G j / g, \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения.

Сила сопротивления качению управляемого колеса АТС определяется аналогично:

$$P_f = Z f. \quad (6)$$

Сила инерции управляемого колеса АТС в сборе с осью равна:

$$P_{\text{и}} = G_{\text{к}} j. \quad (7)$$

При этом принимаем допущение, что центр тяжести управляемого колеса с осью в сборе находится на его оси в средней плоскости управляемого колеса.

Сила, создаваемая исполнительным механизмом и действующая на боковой рычаг рулевой трапеции по оси поперечной тяги АТС, определяется параметрами исполнительного механизма и системы автоматического регулирования схождения управляемых колёс АТС в движении. При использовании гидроцилиндра:

$$P = 0,785 p d_{\text{ц}}^2, \quad (8)$$

где $d_{\text{ц}}$ – рабочий диаметр гидроцилиндра исполнительного механизма; p – давление рабочей жидкости в системе.

Момент трения в шкворневом узле управляемого моста АТС определяется по выражению:

$$M_{\text{тр}} = M_{\text{р}} K_{\text{п}},$$

где $M_{\text{р}}$ – момент, создаваемый силой действия исполнительного механизма системы; $K_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий потери в шкворневом соединении:

$$M_{\text{р}} = P b, \\ K_{\text{п}} = (1 - \eta_{\text{рм}}),$$

где $\eta_{\text{рм}}$ – коэффициент полезного действия шкворневого узла.

С учётом этого:

$$M_{\text{тр}} = P b (1 - \eta_{\text{рм}}). \quad (9)$$

Учитывая небольшие значения углов отклонения схождения управляемых колёс АТС от правильных, величина стабилизирующего момента, действующего на управляемые колёса АТС, незначительна и её можно не учитывать.

Инерционный момент управляемого колеса АТС в сборе с осью и поворотным кулаком может быть определен по выражению:

$$M_{\text{и}} = I_{\text{к}} \cdot \epsilon_1,$$

где $I_{\text{к}}$ – момент инерции управляемого колеса АТС с осью и поворотным кулаком в сборе; ϵ_1 – угловое ускорение управляемого колеса с осью и поворотным кулаком относительно

центра поворота O_1 в первой (силовой) фазе восстановления правильного угла схождения.

Момент инерции управляемого колеса с осью и поворотным кулаком находится по зависимости:

$$I_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot a^2,$$

где $m_{\text{к}}$ – масса управляемого колеса АТС в сборе с осью и поворотным кулаком.

С учетом этого:

$$M_{\text{и}} = m_{\text{к}} \cdot a^2 \cdot \epsilon_1. \quad (10)$$

При этом принято допущение, что масса управляемого колеса в сборе с осью сосредоточена в средней плоскости колеса.

Для определения параметров рабочего процесса системы автоматического регулирования схождения управляемых колёс АТС в движении в первой (силовой) фазе восстановления правильного угла схождения, учитывающих инерционность этой системы при восстановлении правильного схождения управляемых колёс в случае его отклонения, составим уравнение моментов всех действующих на управляемое колесо с осью и поворотным кулаком АТС сил и моментов относительно центра поворота O_1 :

$$-P_{\text{и}} a + P_f a - P b - M_{\text{ст}} + M_{\text{и}} + M_{\text{тр}} = 0. \quad (11)$$

С учётом допущений данное уравнение будет иметь вид:

$$(-P_{\text{и}} + P_f) a - P b + M_{\text{тр}} + M_{\text{и}} = 0.$$

Определим из него инерционный момент:

$$M_{\text{и}} = (P_{\text{и}} - P_f) a + P b - M_{\text{тр}}.$$

Подставив вместо инерционного момента управляемого колеса АТС с осью и поворотным кулаком его выражение (10), а вместо момента трения в шкворневом соединении – выражение (9) и решив его относительно углового ускорения управляемого колеса в сборе с осью и поворотным кулаком относительно центра их поворота O_1 в первой фазе силового восстановления автоматической системой правильного угла схождения управляемых колёс АТС, получим:

$$m_{\text{к}} \cdot a^2 \cdot \epsilon_1 = (P_{\text{и}} - P_f) a + P b - P b (1 - \eta_{\text{рм}}).$$

Отсюда:

$$\epsilon_1 = [(P_{\text{и}} - P_f) a + P b \eta_{\text{рм}}] / m_{\text{к}} \cdot a^2. \quad (12)$$

Угол, на который в первой (силовой) фазе восстановления системой правильного угла схождения управляемых колёс АТС повернется управляемое колесо в сборе с осью и поворотным кулаком относительно центра поворота O_1 будет равен:

$$\delta_1 = 0,5 \epsilon_1 t_1^2,$$

где t_1 – продолжительность времени первой фазы восстановления правильного угла схождения управляемых колёс.

Угловая скорость управляемого колеса с осью и поворотным кулаком относительно центра поворота O_1 в момент окончания первой фазы и начала второй (инерционной) фазы восстановления системой правильного угла схождения управляемых колёс АТС определяется как:

$$\omega_{12} = \varepsilon_1 t_1.$$

С учётом этого выражения, время первой (силовой) фазы восстановления правильного угла схождения управляемых колёс составит:

$$t_1 = \omega_{12} / \varepsilon_1, \quad (13)$$

а угол, на который за это время повернется управляемое колесо с осью и поворотным кулаком относительно центра поворота O_1 , будет равен:

$$d_1 = 0,5 \cdot \omega_{12}^2 / \varepsilon_1. \quad (14)$$

Во второй фазе (инерционного дорегулирования) восстановление правильного угла схождения управляемых колёс АТС при отклонении его от оптимального значения на управляемое колесо в сборе действуют следующие нагрузки:

- сила сопротивления качению;
- сила инерции управляемого колеса АТС в сборе;
- момент трения в шкворневом соединении управляемого моста;
- инерционный момент управляемого колеса в сборе с осью и поворотным кулаком.

Составим уравнение моментов, действующих в этой фазе на управляемое колесо в сборе с осью и поворотным кулаком АТС относительно центра его поворота O_1 :

$$P_f a - P_n a + M_{тр} - M_n = 0. \quad (15)$$

Преобразуя его, найдём из него инерционный момент:

$$M_n = (P_f - P_n) a + M_{тр}.$$

В полученное выражение вместо инерционного момента управляемого колеса АТС в сборе с осью и поворотным кулаком и момента трения в шкворневом соединении управляемого моста подставим их выражения (10) и (9):

$$m_k \cdot a^2 \cdot \varepsilon_2 = (P_f - P_n) a + P b (1 - \eta_{pm}).$$

Из данного уравнения определим угловое ускорение управляемого колеса АТС с осью и поворотным кулаком относительно центра поворота O_1 во второй фазе силового восстановления правильного угла схождения управляемых колёс АТС при его отклонении системой

автоматического регулирования схождения управляемых колёс в движении:

$$\varepsilon_2 = [(P_f - P_n) a + P b (1 - \eta_{pm})] / m_k \cdot a^2. \quad (16)$$

Угловая скорость управляемого колеса АТС с осью и поворотным кулаком относительно центра поворота O_1 в момент окончания фазы инерционного дорегулирования угла схождения управляемых колёс АТС до правильного значения должна стать равной нулю. Исходя из этого, время второй фазы – инерционного дорегулирования правильного схождения управляемых колёс – составит:

$$t_2 = \omega_{12} / \varepsilon_2, \quad (17)$$

а угол, на который поворачивается управляемого колесо с осью и поворотным кулаком относительно центра поворота O_1 во второй фазе (инерционного дорегулирования) будет равен:

$$d_2 = 0,5 \cdot \omega_{12}^2 / \varepsilon_1. \quad (18)$$

Угол отклонения схождения управляемых колёс АТС от правильного будет равен сумме углов силового восстановления и инерционного дорегулирования:

$$d = 0,5 \cdot (\omega_{12}^2 / \varepsilon_1 + \omega_{12}^2 / \varepsilon_2). \quad (19)$$

Из этого выражения определяется угловая скорость управляемого колеса с осью и поворотным кулаком относительно центра поворота O_1 момента окончания фазы силового восстановления и начала фазы инерционного дорегулирования угла схождения управляемых колёс АТС:

$$\omega_{12} = [2\delta \varepsilon_1 \varepsilon_2 / (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)]^{1/2}. \quad (20)$$

Подставим выражения угловых ускорений управляемого колеса с осью и поворотным кулаком в силовой и инерционной фазах восстановления правильного угла схождения управляемых колёс АТС в это выражение:

$$\begin{aligned} \omega_{12} &= \{2\delta [(P_n a - P_f a + P b \eta_{pm}) / m_k \cdot a^2] \times \\ &\times [(P_f a - P_n a + P b - P b \eta_{pm}) / m_k \cdot a^2] / \\ &[(P_n a - P_f a + P b \eta_{pm}) / (m_k \cdot a^2) + \\ &+ (P_f a - P_n a + P b - P b \eta_{pm}) / (m_k \cdot a^2)]\}^{1/2} = \\ &= \{2\delta (P_n a - P_f a + P b \eta_{pm}) \cdot [P_f a - P_n a + \\ &+ P b (1 - \eta_{pm})] / \\ &[(P_n a - P_f a + P b \eta_{pm} + P_f a - P_n a + \\ &+ P b - P b \eta_{pm}) \cdot m_k \cdot a^2]\}^{1/2} = \\ &= \{2\delta (P_n a - P_f a + P b \eta_{pm}) \cdot [P_f a - P_n a + \\ &+ P b (1 - \eta_{pm})] / P b \cdot m_k \cdot a^2\}^{1/2}. \quad (21) \end{aligned}$$

Имея угловую скорость управляемого колеса АТС с осью и поворотным кулаком в сборе относительно центра его поворота O_1 можно определить время инерционного дорегулирования предлагаемой системой при восстановле-

нии правильного схождения управляемых колёс при его отклонении:

$$t_2 = \{2\delta(P_n a - P_f a + P b \eta_{pm}) \times [P_f a - P_n a + P b (1 - \eta_{pm})] / P b \cdot m_k \cdot a^2\}^{1/2} / [(P_f a - P_n a + P b - P b \eta_{pm}) / m_k \cdot a^2] = \{2\delta(P_n a - P_f a + P b \eta_{pm}) \times [P_f a - P_n a + P b (1 - \eta_{pm})] m_k \cdot a^2 / P b [P_f a - P_n a + P b (1 - \eta_{pm})]^2\}^{1/2} = \{2 \delta(P_n a - P_f a + P b \eta_{pm}) \times m_k \cdot a^2 / P b [P_f a - P_n a + P b (1 - \eta_{pm})]\}^{1/2}. \quad (22)$$

Уголинерционного дорегулирования при восстановлении данной системой правильного угла схождения управляемых колёс АТС будет равен:

$$\delta_2 = \delta(P_n a - P_f a + P b \eta_{pm}) \times [P_f a - P_n a + P b (1 - \eta_{pm})] / P b \cdot m_k \cdot a^2 / P b [(P_f a - P_n a + P b - P b \eta_{pm}) / m_k \cdot a^2] = \delta(P_n a - P_f a + P b \eta_{pm}) / P b. \quad (23)$$

Проведённый анализ и полученные результаты теоретических исследований позволяют выбрать рациональные параметры системы автоматического регулирования схождения управляемых колёс АТС в движении, обеспечить точность восстановления правильного угла их схождения с учётом инерционности этой системы и снизить сопротивление движению, износ шин и расход топлива.

22.08.2014

Список литературы:

1. Рассоха, В.И. Устройство контроля и регулирования схождения управляемых колёс АТС в процессе движения [Текст] / В.И. Рассоха, В.Т. Исайчев, Е.В. Бондаренко // Автомобильная промышленность. – 2009. – №5. – С. 21–23.
2. Рассоха, В.И. Ресурсосбережение автомобильных шин за счет регулирования схождения управляемых колёс в процессе движения [Текст] / В.И. Рассоха // Техника и технология в XXI веке: современное состояние и перспективы развития: монография. Кн. 4. – Новосибирск: Центр развития научного сотрудничества, 2009. – 286 с. – С. 143–154.
3. Рассоха, В.И. Проектирование системы активного регулирования схождения управляемых колёс автомобиля в процессе движения [Текст] / В.И. Рассоха // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2010. – №1. – С. 215–220.
4. Патент 2333470 Россия МПК G 01 M 17/06. Способ автоматической установки схождения управляемых колёс в процессе движения / Е.В. Бондаренко, В.А. Бондаренко, В.И. Рассоха, В.Т. Исайчев, А.С. Килов. – №2006105921; заявл. 26.02.2006; опубл. 10.09.2008, Бюл. №25.
5. Патент 2423273 Россия МПК В 62 D 6/04; G 01 M 17/06. Устройство для непрерывного автоматического регулирования схождения управляемых колёс автотранспортного средства в движении / В.И. Рассоха, В.Т. Исайчев. – №2010107808; заявл. 03.03.2010; опубл. 10.07.2011, Бюл. №19.
6. Патент 2424147 Россия МПК В 62 D 6/04; G 01 M 17/06. Устройство для непрерывного автоматического регулирования схождения управляемых колёс автомобиля в движении / В.И. Рассоха, В.Т. Исайчев. – №2010107811; заявл. 03.03.2010; опубл. 20.07.2011, Бюл. №20.
7. Патент 2432287 Россия МПК В 62 D 6/04; G 01 M 17/06. Устройство для непрерывного автоматического регулирования схождения управляемых колёс автотранспортного средства в движении / В.И. Рассоха, В.Т. Исайчев. – №2010117549; заявл. 30.04.2010; опубл. 27.10.2011, Бюл. №30.
8. Патент 2432291 Российская Федерация, МПК В 62 D 6/04; G 01 M 17/06. Устройство для автоматического регулирования схождения управляемых колёс автомобиля в процессе движения / В.И. Рассоха, В.Т. Исайчев. – №2010117554; заявл. 30.04.2010; опубл. 27.10.2011, Бюл. №30.
9. Рассоха, В.И. Повышение точности работы системы регулирования схождения управляемых колёс автотранспортных средств в движении / В.И. Рассоха, В.Т. Исайчев [Текст] // Вестник Северо-Восточного государственного университета. Вып. 16. – 2011. – С. 136–139.
10. Рассоха, В.И. Повышение точности работы системы регулирования схождения управляемых колёс автотранспортных средств в движении / В.И. Рассоха, В.Т. Исайчев, И.А. Якубович [Текст] // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2012. – №2. – С. 7–10.
11. Рассоха, В.И. К вопросу повышения точности работы системы автоматического регулирования схождения управляемых колёс автомобиля в движении на тормозных режимах / В.И. Рассоха, В.Т. Исайчев // Вестник СибАДИ. – 2014. – №2. – С. 37–42.

Сведения об авторах:

Рассоха Владимир Иванович, декан транспортного факультета
Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, доцент,
e-mail: cabin2012@yandex.ru

Исайчев Владимир Тимофеевич, доцент кафедры автомобилей и безопасности движения
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент,
e-mail: aibd@mail.osu.ru

460000, г. Оренбург, пр-т Победы, 149, ауд. 10204, тел. (3532) 912225