

И. И. Лепешко

К ВОПРОСУ О СТАБИЛИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС АВТОМОБИЛЯ

Рост скоростей движения и увеличение грузоподъемности автомобилей и автопоездов предъявляют высокие требования к обеспечению безопасности движения.

Узловым вопросом безопасности является управляемость и устойчивость. Управляемость и устойчивость в значительной степени определяются способностью управляемых колес возвращаться в нейтральное или заданное водителем направление после прекращения действия возмущения.

Всю совокупность возмущений, вызывающих изменение положения управляемых колес, можно разделить на две группы: 1) возмущения, поступающие от водителя, вызванные коррекцией режима движения или совершением маневра в зависимости от дорожных условий; 2) возмущения, идущие от неровностей дороги и других внешних сил.

Возмущения, поступающие от водителя, носят детерминированный характер, обусловленный заданной траекторией (профиль дороги в плане построен по определенным зависимостям), а также случайный, вызванный необходимостью коррекции траектории.

Возмущения, поступающие со стороны дорожного полотна, носят случайный характер с частотой, зависящей от скорости движения.

В зависимости от действующих возмущений к стабилизации управляемых колес предъявляются различные требования:

во-первых, после прекращения действия возмущения (водитель отпустил рулевое колесо) управляемые колеса должны возвращаться в нейтральное положение по определенному закону;

во-вторых, управляемые колеса не должны отклоняться от заданного направления или иметь отклонения, не влияющие на режим движения, т. е. не требующие коррекции со стороны водителя.

В современных конструкциях перечисленные противоречивые требования к стабилизации обеспечиваются выбором усилителей, установочных углов, стабилизирующих устройств, к. п. д. системы,

характеристиками шин и подвески. Оптимальный выбор соотношения и величин перечисленных параметров автомобиля и его систем требует всестороннего теоретического и экспериментального исследований и выработки объективных критериев оценки.

Движение управляемых колес состоит из переносного (движение остова автомобиля) и относительного (относительно рамы). Вследствие соизмеримых величин переносного и относительного движений система отсчета, автомобиль, является неинерциальной.

Если исключить из рассмотрения неинерциальную систему отсчета, как принято в работах [1, 2], то это приведет к ошибочным результатам. Так, в работе [2] утверждается, что управляемые колеса при выходе из поворота разгоняются стабилизирующим моментом, в действительности же на выходе они гасят эту скорость, т. е. тормозятся.

Рассмотрим движение управляемых колес автомобиля обычной компоновки (с передними управляемыми колесами). В общем случае процесс поворота состоит из трех этапов: входа в поворот, кругового движения на повороте и выхода из поворота.

Для упрощения выводов предположим, что скорости передних и задних колес равны между собой и постоянны, тогда для входа в поворот

$$\dot{\alpha}_{\text{вх}} = -\frac{v}{L} \sin \gamma + \dot{\gamma}, \quad (1)$$

где α — курсовой угол управляемых колес; $\lambda = \int_0^t \frac{v}{L} \sin \gamma$ — курсовой угол продольной оси автомобиля; γ — относительный угол поворота управляемых колес; v — скорость движения автомобиля; L — база автомобиля.

Выход из поворота характеризуется различными знаками угловых скоростей переносного и относительного движений, т. е.

$$\dot{\alpha}_{\text{вых}} = \frac{v}{L} \sin (\gamma_0 - \gamma) - \dot{\gamma}. \quad (2)$$

При исследовании автоматического выхода из поворота предполагается, что водитель из положения установившегося кругового движения отпускает рулевое колесо, при этом возможны три случая движения (рис. 1):

- а) $\dot{\alpha}_{\text{вых}} > 0$ при $\dot{\lambda} > \dot{\gamma}$ — выход из поворота невозможен;
- б) $\dot{\alpha}_{\text{вых}} < 0$ при $\dot{\lambda} < \dot{\gamma}$ — управляемые колеса входят в противоположный поворот, а рама автомобиля выходит из поворота;

в) $\dot{\alpha}_{\text{вых}} = 0$ при $\dot{\lambda} = \dot{\gamma}$ — управляемые колеса катятся прямолинейно.

В первых двух случаях при автоматическом выходе из поворота на заданное направление необходима дополнительная коррекция со стороны водителя. Случай «в» является оптимальным.

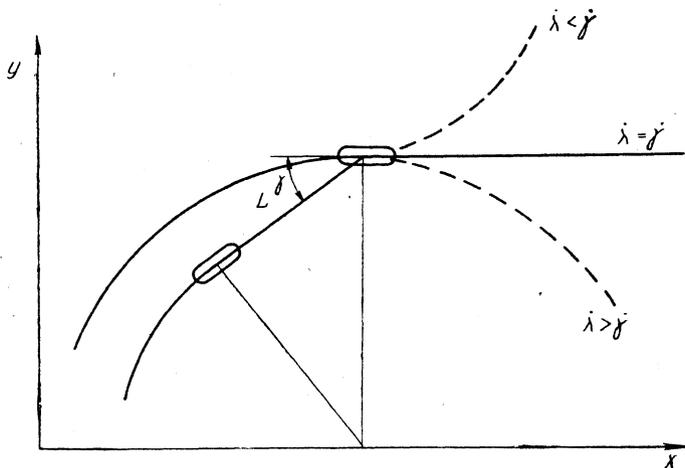


Рис. 1. Схема движения автомобиля при автоматическом выходе из поворота.

Разделив переменные и интегрируя уравнение (2) для случая «в», получим закон изменения угла поворота в относительном движении:

$$\gamma_{\text{вых}} = \gamma_0 - 2 \arctg \left(e^{-\frac{t}{\tau}} \operatorname{tg} \frac{\gamma_0}{2} \right); \quad (3)$$

при движении с малыми углами поворота:

$$\gamma_{\text{вых}} = \gamma_0 (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}). \quad (4)$$

Для уравнений (3), (4) величина τ — постоянная времени:

$$\tau = \frac{L}{v}. \quad (5)$$

Согласно формулам (3), (4), угол поворота $\gamma_{\text{вых}}$ приближается к значению γ_0 асимптотически, т. е. $\gamma = \gamma_0$ только при $t = \infty$, однако практически за время $t = 3\tau$ процесс возврата оканчивается.

Постоянная времени (5) зависит от базы автомобиля и скорости поступательного движения, тем самым определяет опти-

мальные динамические качества автомобиля на выходе из поворота.

Рекомендуемые в методике [3] испытания «стабилизация» не позволяют объективно оценить способности автомобиля к выходу из поворота. Субъективны также рекомендации об увеличении скорости возврата управляемых колес при автоматическом выходе из поворота и ограничении скорости рулевого колеса, «неудобной водителю» и в работе [4].

Полученные зависимости и критерий оценки (постоянная времени выхода из поворота) для автоматического выхода из пово-

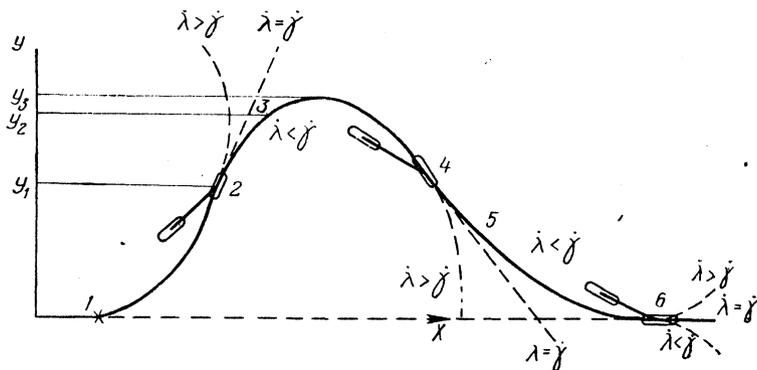


Рис. 2. Схема прямолинейного движения автомобиля с единичным отклонением. Заданное направление совпадает с осью X.

рота позволяют проводить анализ управляемости и для системы «водитель — автомобиль».

Результаты исследований автомобиля МАЗ-504 показывают, что водитель обеспечивает оптимальный выход из поворота на заданное направление при скоростях 8—10 км/ч.

С ростом скорости движения водитель управляет автомобилем на выходе из поворота с соблюдением условия $\dot{\lambda} > \dot{\gamma}$, что приводит при выходе на заданное направление к дополнительному повороту управляемых колес в противоположную сторону.

Рассмотрим процесс возврата управляемых колес при случайном отклонении от прямолинейного направления движения. Предположим, что после прекращения действия возмущения управляемые колеса возвращаются в положение заданного прямолинейного направления без колебания (рис. 2), т. е. без перехода через заданную прямолинейную траекторию.

Весь процесс стабилизации от начала действия возмущения до возврата на исходное направление можно разделить на четыре основных участка.

В результате действия возмущающего импульса управляемые колеса поворачиваются, например, влево (участок 1—2), вызывая

поворот автомобиля (вход в поворот). На этом участке поворот описывается уравнением (1).

В точке 2 после остановки управляемых колес в относительном движении начинается возврат колес в нейтральное положение.

Как видно из рис. 2, возврат колес должен проходить при выполнении условия $\dot{\psi} > \dot{\lambda}$. В точке 3 участка 2—4 управляемые колеса переходят через нейтральное положение и переводят автомобиль в противоположный поворот, вправо.

Процесс выхода из поворота описывается уравнением (2) с соблюдения условия «б», а вход в правый поворот описывается уравнением (1).

В точке 4 вход в правый поворот оканчивается, и из этой точки выход из поворота должен осуществляться с выполнением условия $\dot{\psi} > \dot{\lambda}$. На участке 4—6 управляемые колеса в точке 5 проходят через нейтральное положение и переводят автомобиль в противоположный поворот.

При этом поворот должен осуществляться со скоростью, обеспечивающей выход управляемых колес в точку 6 на заданной траектории.

Из точки 6 выход из поворота должен происходить с соблюдением условия $\dot{\psi} = \dot{\lambda}$.

Из рис. 2 следует, что максимальное отклонение от заданного направления состоит из трех величин: y_1 — отклонение на входе в поворот; y_2 — отклонение на выходе из поворота; y_3 — отклонение на входе в противоположный поворот.

Суммарный угол поворота управляемых колес при максимальном отклонении от заданной траектории равен нулю.

По уравнению (1) в предположении малых углов и отсутствия участка с круговым движением, что справедливо при анализе устойчивости прямолинейного движения, абсолютный угол поворота управляемых колес на входе в поворот

$$\alpha_{\text{вх}} = \frac{v}{L} \int_0^t \dot{\psi}(t) dt + \int_0^t \dot{\psi}(t) dt; \quad (6)$$

учитывая, что

$$y_1 = \int_0^t v \sin \alpha_{\text{вх}}(t) dt;$$

$$x_1 = \int_0^t v \cos \alpha_{\text{ох}}(t) dt,$$

получим

$$y_1 = v \int_0^t \sin \left[\frac{v}{L} \int_0^t \int_0^t \dot{\gamma}(t) dt dt + \int_0^t \dot{\gamma}(t) dt \right] dt. \quad (7)$$

Анализ полученных уравнений показывает, что величина отклонения зависит от времени действия возмущения, угловой скорости относительного движения, базы автомобиля и его поступательной скорости.

Для уменьшения отклонения наиболее целесообразным следует считать уменьшение скорости относительного поворота управляемых колес.

На участке 2—3 с учетом условия «б»

$$\alpha_{\text{вых}} = \alpha_{\text{овх}} + \frac{v}{L} \int_0^t \left[\gamma_0 - \int_0^t \dot{\gamma}(t) dt \right] dt - \int_0^t \dot{\gamma}(t) dt, \quad (8)$$

величина отклонения

$$y_2 = y_1 + v \int_0^t \sin \left\{ \alpha_{\text{овх}} + \frac{v}{L} \left[\gamma_0 - \int_0^t \dot{\gamma}(t) dt \right] dt - \int_0^t \dot{\gamma}(t) dt \right\} dt. \quad (9)$$

На участке 3—4 изменение угла аналогично уравнению (6).

Из уравнений (8), (9) следует, что для уменьшения отклонения от заданной траектории необходимо уменьшать скорость отклонения управляемых колес при действии возмущения и максимально увеличивать скорость возврата и перехода через нейтральное положение после прекращения действия возмущения.

Таким образом, с одной стороны, для автоматического выхода из поворота необходимо соблюдать условия равенства по модулю относительной и переносной скоростей, с другой — для стабилизации прямолинейного движения требуется сложный закон изменения угла поворота управляемых колес.

Учитывая, что при прямолинейном движении частотный спектр возмущений высок, возможно путем введения специальных стабилизирующих устройств, действующих независимо от положения рулевого колеса, обеспечить хорошую стабилизацию управляемым колесам.

Л и т е р а т у р а

[1] Фортунков Д. Ф. Исследование стабилизации управляемых колес легковых автомобилей. — «Автомобильная промышленность», 1967, № 4. [2] Чайковский И. П. Исследование процесса стабилизации управляемых колес с применением аналоговой ЭВМ. — «Автомобильная промышленность», 1967, № 6. [3] Отраслевая нормаль автомобилестроения. Автомобили. Оценка параметров управляемости. Методы определения. ОН 025—319—68. М., 1969. [4] Гинцбург Л. Л., Носенков М. А. Методы оценки управляемости автомобиля на поворотах. — «Автомобильная промышленность», 1971, № 2.