

Аналитическая зависимость критической по заносу скорости быстроходной гусеничной машины от ее колебаний

© О.А. Наказной

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

В современной теории движения граница управляемого криволинейного движения гусеничной машины определяется без учета ее колебаний. Получена формула скорости, критической по управляемости, с учетом колебаний машины. Действительная граница управляемого движения с учетом колебаний находится значительно ниже и зависит от параметров профиля пути, скорости машины и характеристики системы поддрессоривания.

Ключевые слова: гусеничная машина, управляемое криволинейное движение.

Согласно основным положениям современной теории движения, граница управляемого движения определяется из условия

$$F_y^{цб} \leq S. \quad (1)$$

Здесь $F_y^{цб}$ — поперечная составляющая центробежной силы, действующей на центр масс машины,

$$F_y^{цб} = mv^2/\rho_\phi, \quad (2)$$

где m — масса машины; v — действительная скорость движения машины вдоль ее продольной оси; ρ_ϕ — фактический (действительный) радиус поворота машины.

Результирующая сила элементарных поперечных составляющих реакций грунта ds с опорной поверхностью гусениц

$$S = 2 \int_0^L \mu_y(l) N(l) dl, \quad (3)$$

где $\mu_y(l)$ — коэффициент взаимодействия трака с грунтом в поперечном направлении; $N(l)$ — нормальная удельная реакция грунта на длине L опорной поверхности гусеницы.

Движение является управляемым, если соблюдается условие (1), т. е. суммарная поперечная реакция грунта уравнивает центро-

бежную силу. Однако при этом полюс поворота может выходить за передний край опорной поверхности гусениц:

$$\chi > L/2, \quad (4)$$

и малейшее увеличение скорости или изменение внешних условий движения приводит к наступлению неуправляемого движения, т. е. машину трудно удерживать в этом состоянии. Поэтому в дальнейшем примем, что движение гарантированно управляемое, т. е. полюс поворота не выходит за передний край опорной поверхности.

Тогда с достаточной степенью точности можно считать, что

$$F_y^{цб} \approx F^{цб}, \quad (5)$$

где $F^{цб}$ — центробежная сила, действующая на центр масс машины при повороте.

С учетом выражения (5) условие (1) можно записать в следующем виде:

$$F^{цб} \leq S.$$

В настоящее время при расчете критической скорости принимают, что машина движется по ровной горизонтальной поверхности, поэтому нормальная сила N постоянна и равна весу G машины:

$$N = \text{const} = G = mg, \quad (6)$$

где g — ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

После элементарных преобразований с учетом допущения (6) критическая по управляемости скорость приближенно определится следующим уравнением:

$$v_{кр} = \sqrt{\mu_{y \max} g/k}, \quad (7)$$

где $\mu_{y \max}$ — максимальное значение коэффициента взаимодействия трака с грунтом в поперечном направлении; $k = 1/\rho_{\phi}$ — кривизна пути.

Из практики известно, что фактическая скорость криволинейного движения машин ниже значений, рассчитываемых по формуле (7). Это можно объяснить рядом причин. Одна из них заключается в допущении, не учитывающем переменный во времени характер нормальных нагрузок N по длине опорных поверхностей гусениц, который является следствием колебаний машины, при движении, в том числе по неровному пути:

$$N = N(t). \quad (8)$$

Как видно из выражения (3), нормальные нагрузки непосредственно влияют на силы и моменты, возникающие в плоскости опорных поверхностей гусениц и определяющие управляемость машины. Поэтому можно предположить, что учет переменного характера нормальных нагрузок может внести поправки в значения критической по управляемости скорости криволинейного движения машины.

Современная теория движения не в состоянии имеющимися в ее распоряжении методами ответить на вопрос: «Насколько значительно влияние колебаний машины на границы ее управляемого движения?»

Отчасти ответы на возникающие вопросы дала статистическая теория движения гусеничной машины, основы которой, разработанные проф. А.А. Дмитриевым, определили, что статистически прямолинейное движение гусеничной машины характеризуется зависимостью совокупности внешних условий движения от пути. Однако возникает вопрос о возможности распространения полученных выводов на более общий случай — криволинейное движение гусеничной машины по неровному профилю пути.

Этот вопрос не ставился остро до тех пор, пока средняя скорость машины определялась плавностью хода, а не управляемостью машины. С улучшением качества систем поддрессоривания ограничение средней скорости по плавности хода удалось снять, и вопрос управляемости машины при ее колебаниях стал актуальным.

Рассмотрим снова формулу (3) с учетом расширенного допущения (8).

Общая нормальная нагрузка $N_o(t)$ определяется силами P_j , передающимися от грунта через j -ю подвеску на корпус машины. Вместо распределенных нагрузок

$$N_o = 2 \int_0^L N(l) dl$$

в данном случае допустимо рассмотреть сосредоточенные нагрузки

$$N_o(t) = \sum_{j=1}^{2n} P_j(t). \quad (9)$$

В общем случае

$$P_j(t) = P_{oj} + \Delta P_j(t),$$

где P_{oj} — постоянная составляющая силы $P_j(t)$; $\Delta P_j(t)$ — переменная составляющая силы $P_j(t)$.

При отсутствии колебаний

$$\sum_{j=1}^{2n} \Delta P_j(t) = 0, \quad \sum_{j=1}^{2n} P_{0j} = G$$

справедливо допущение (6) и критическая скорость определяется выражением (7).

При наличии колебаний машины и в случае ее движения по неровному профилю местности результирующая сила S элементарных поперечных реакций грунта, исходя из выражения (3), с учетом допущения (8) также будет переменной:

$$S = S(t).$$

В связи с этим могут возникнуть такие моменты времени, когда условие (1) будет нарушаться. В этом случае критическая граница управляемого движения будет определяться минимальным значением этой силы $S_{\min}(t)$ или, как следует из выражения (3), минимальным значением нормальной нагрузки $N_{\min}(t)$.

Если условие (1) заменить условием

$$F^{\text{II}} \leq S_{\min}(t),$$

или

$$F^{\text{II}} \leq \mu_{y \max} N_{\min}(t), \quad (10)$$

то равновесие не нарушится и движение все время будет управляемым. Тогда из условия (10) с учетом выражения (2) получим уточненную формулу для определения критической скорости:

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{\mu_{y \max} N_{\min}(t) / (km)}.$$

С учетом выражения (9)

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{\mu_{y \max} \min\left(\sum_{j=1}^{2n} P_j\right) / (km)}.$$

Изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что действительная граница управляемого движения гусеничной машины с учетом ее колебаний проходит ниже, чем без учета колебаний, и определяется минимальными нормальными реакциями грунта. При движении по совокупности дорожно-грунтовых условий критическая по управляемости скорость наряду с другими параметрами будет опре-

деляться профилем пути, скоростью движения машины и характеристиками ее системы поддресоривания.

Статья поступила в редакцию 10.07.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Наказной О.А. Аналитическая зависимость критической по заносу скорости быстроходной гусеничной машины от ее колебаний. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 10. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/transport/973.html>

Наказной Олег Алексеевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 70 публикаций в области теории движения многоцелевых гусеничных машин. e-mail: nakaznoi@gmail.com