

ПОНЯТИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ

д.т.н. Бекетов С.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

bekprof@mail.ru

Данная статья посвящена решению актуальной задачи – определению понятия управляемого движения гусеничных машин. Неопределенность в понятии управляемого движения не дает возможности решения практических задач, связанных с управляемостью гусеничных машин. В публикации управляемое движение рассматривается как переходной процесс от одного установившегося состояния к другому. Только исследование установившегося режима движения позволит определить закономерности между силовыми и кинематическими показателями управляемого криволинейного движения и управляемыми параметрами гусеничной машины. Определяется, что управляемым будем считать такое движение, при котором водитель, воздействуя на органы управления, может изменять режим движения гусеничной машины в нужном в данный момент времени направлении. В случае, если же движение гусеничной машины осуществляется независимо от управляющих воздействий водителя или реакция машины на управляющее воздействие неопределенная, то такое движение является неуправляемым. Представлен анализ переходных процессов от прямолинейного движения гусеничной машины к криволинейному. Показано, что при криволинейном движении уравновешивание центробежной силы поперечной реакцией грунта осуществляется за счет смещения проекции мгновенного центра поворота на продольную ось машины. Определен физический смысл этого смещения. При управляемом криволинейном движении центр масс гусеничной машины движется по касательной к траектории движения, а продольная ось будет поворачиваться вокруг центра масс на дополнительный угол относительно касательной к траектории движения в направлении мгновенного центра поворота. Выявлен показатель, определяющий управляемое, ограниченно управляемое и неуправляемое движение – смещение мгновенного центра поворота на продольную ось гусеничной машины на уровень и за переднюю границу опорных поверхностей гусениц. Таким образом, проведенные исследования управляемого криволинейного движения гусеничных машин позволяют дать определение управляемости и выделить следующие виды движения: гарантированно управляемое, ограниченно управляемое и неуправляемое движение.

Ключевые слова: управляемое движение, гусеничная машина, продольное смещение проекции мгновенного центра поворота.

Введение

Отсутствие в теории движения гусеничных машин общепринятого определения управляемого движения, а следовательно, подробного анализа управляемости, существенно затрудняют решение практических задач обеспечения управляемого движения по заданному пути на высоких скоростях. В теории движения гусеничных машин принято рассматривать два основных вида движения: управляемое движение и занос. При этом занос рассматривается авторами по-разному: занос первого и второго рода, управляемый и неуправляемый занос и т.д. Неопределенность в понятии управляемого движения и применения термина «занос» вызывает неопределенность и при решении практических задач, связанных с управляемостью гусеничных машин.

Цель исследования

Определить понятие управляемого движения гусеничных машин.

Обсуждение проблемы

Результат управления – это перевод системы из одного состояния в другое. Если рассматривать переход от прямолинейного движения к криволинейному или от одной кривизны траектории к другой, то конечным состоянием должен быть режим установившегося движения, ибо он соответствует состоянию равновесия системы. При этом переходный процесс будет определяться скоростью движения центра масс гусеничной машины и выбранным радиусом поворота. Если же исходные параметры движения будут отличаться от требуемых, определяемых взаимодействием гусеничной машины с грунтом, то установив-

шегося движения не будет и определенному управляющему воздействию не будет соответствовать определенная реакция машины, т.е. движение станет неуправляемым. Реально установившегося режима движения может и не быть. Но при этом только исследование установившегося режима движения позволит определить закономерности между силовыми и кинематическими показателями управляемого криволинейного движения и управляемыми параметрами, а также установить влияния на них конструктивных параметров гусеничной машины, характеристик грунта и режимов движения.

Полагаем, что более правильно с точки зрения терминологии пользоваться понятиями управляемое и неуправляемое движение. При этом управляемым будем считать такое движение, при котором водитель, воздействуя на органы управления, может изменять режим движения гусеничной машины в нужный в данный момент времени направлении. Если же движение гусеничной машины осуществляется независимо от управляющих воздействий водителя или реакция машины на управляющее воздействие неопределенная, то такое движение является неуправляемым.

В соответствии с вышесказанным свойство гусеничной машины, определяющее ее способность в любой момент времени подчиняться управляющему воздействию со стороны механика-водителя, направленному на сохранение или изменение режима движения машины в требуемом направлении, назовем управляемостью.

Переход от прямолинейного движения гусеничной машины к криволинейному осуществляется за счет создаваемого на гусеницах механизмом поворота поворачивающего момента M_n . При этом появляется центробежная сила $F^{цб}$, с которой гусеничная машина будет действовать на грунт. Поворачивающий момент и центробежная сила вызовут реакции грунта, распределенные по длине опорных поверхностей гусениц, которые будут стремиться их уравновесить. При равенстве указанных сил и моментов будет осуществляться равномерный управляемый поворот гусеничной машины. Следовательно, условие равномерного управляемого поворота гусеничной машины может быть записано в виде:

$$\begin{cases} M_n = M_c; \\ F^{цб} = S, \end{cases}$$

где M_c – момент сопротивления повороту, S – равнодействующая поперечных реакций грунта.

Из результатов экспериментальных исследований [1, 2] известно, что при криволинейном движении гусеничной машины мгновенный центр поворота смещается в продольном (относительно продольной оси гусеничной машины) направлении на величину χ , что является результатом взаимодействия гусениц с грунтом. Рассмотрим физическую сущность этого смещения. Предположим, что эпюра поперечных реакций равномерная. Тогда, если продольного смещения мгновенного центра поворота не будет (рис. 1), то эпюры поперечных сил реакций будут симметричны и их равнодействующая станет равна нулю, и, следовательно, гусеничная машина должна беспрепятственно двигаться в направлении действия центробежной силы.

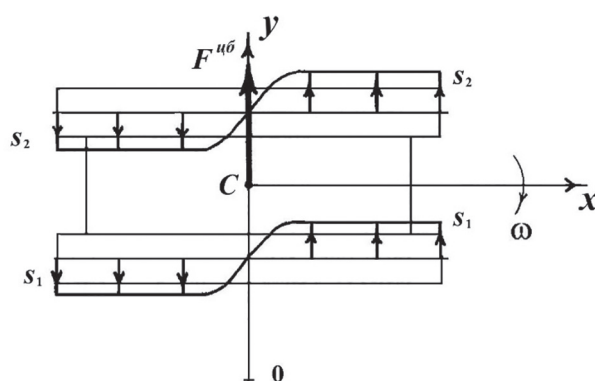


Рис. 1. Симметричная эпюра элементарных поперечных сил реакций

Здесь s_2 , s_1 – элементарные поперечные силы, действующие на опорные поверхности забегающей и отстающей гусениц соответственно; ω – угловая скорость поворота гусеничной машины.

В действительности этого не происходит. Уравновешивание центробежной силы поперечной реакцией грунта осуществляется за счет смещения мгновенного центра поворота в продольном направлении (рис. 2).

При этом смещение мгновенного центра поворота будет происходить за счет поворота продольной оси гусеничной машины относительно касательной к траектории движения [3]. Очевидно, что смещение существенно зависит от закона распределения поперечных реакций по длине опорных поверхностей гусениц, но

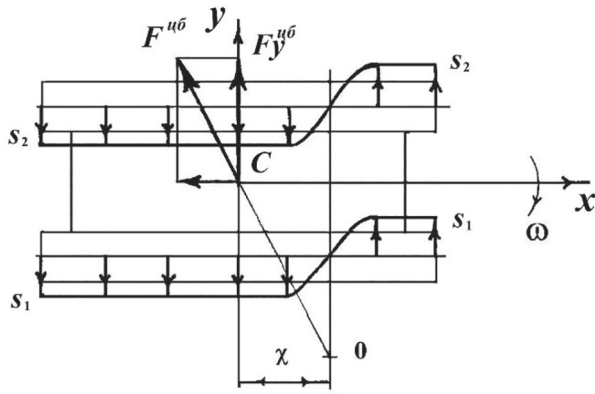


Рис. 2. Продольное смещение мгновенного центра поворота

при этом физическая сущность возникновения угла β будет соответствовать рассмотренному выше.

Следовательно, при управляемом криволинейном движении центр масс гусеничной машины будет двигаться по касательной к траектории движения, а продольная ось будет поворачиваться вокруг центра масс на дополнительный угол β относительно касательной к траектории движения в направлении мгновенного центра поворота (рис. 3) [1].

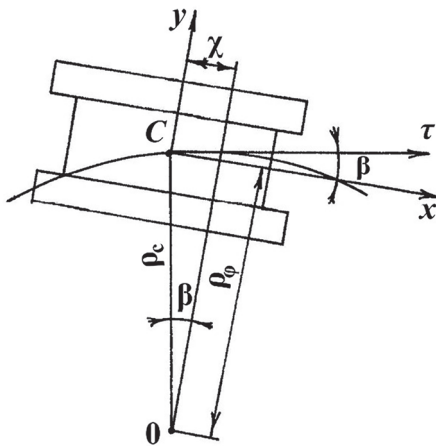


Рис. 3. Физический смысл продольного смещения проекции мгновенного центра поворота при криволинейном движении гусеничной машины

Здесь ρ_c – радиус траектории центра масс машины, ρ_ϕ – фактический радиус поворота.

Увеличение скорости движения гусеничной машины при неизменном теоретическом радиусе поворота приведет к смещению ее центра масс с требуемой траектории движения. Это можно предотвратить изменением теоретического радиуса поворота, что приведет к увеличению угла β . В зависимости от режима движе-

ния и дорожно-грунтовых условий возможно новое уравнивание центробежной силы и поворачивающего момента.

При определенном значении угла β проекция мгновенного центра поворота на продольную ось гусеничной машины смещается за переднюю границу опорных поверхностей гусениц, но момент сопротивления повороту останется большим нуля, и движение при этом остается управляемым. В этом случае даже при установившемся движении будет происходить боковое скольжение опорной поверхности гусениц относительно продольной оси гусеничной машины. Данное движение принято называть сносом.

Вследствие неопределенности движения гусеничной машины при сносе отслеживание заданного пути представляет определенные трудности. Движение со сносом при ограниченной ширине дороги может привести к выходу гусеничной машины за пределы дороги. Кроме того, анализ движения гусеничной машины по пути, включающему участки со

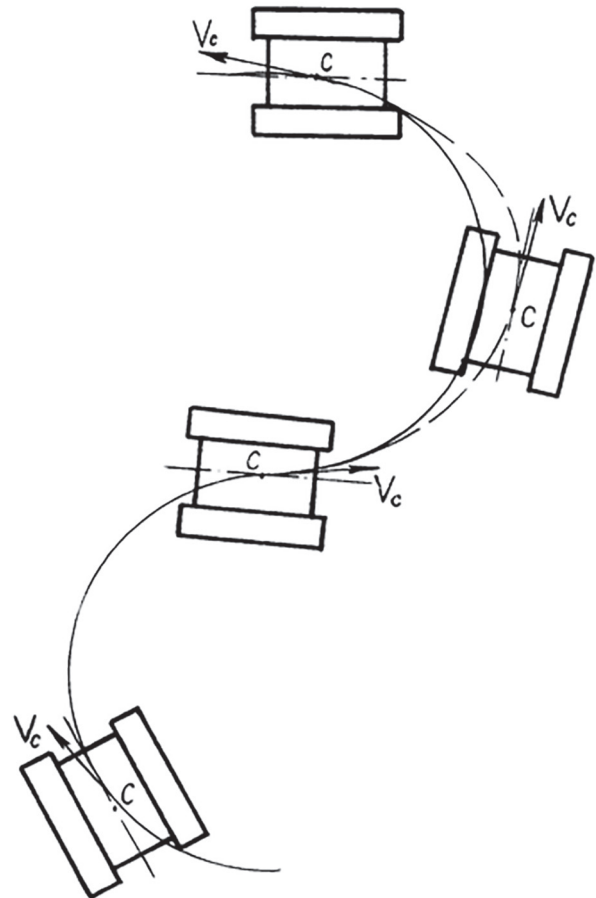


Рис. 4. Движение гусеничной машины по траектории с переменным знаком кривизны

сменой знака кривизны на противоположный, показал, что действие инерционного момента не позволяет мгновенно отслеживать изменение кривизны пути и продольная ось машины не успевает развернуться на требуемый угол по отношению к касательной к траектории движения ее центра масс и гусеничная машина не вписывается в заданный криволинейный путь (рис. 4). При движении по дорогам и ограниченным проходам это может привести к нежелательной ситуации. Поэтому движение гусеничной машины со сносом можно называть ограниченно управляемым движением.

При смещении же проекции мгновенного центра поворота на продольную ось гусеничной машины в пределах передней границы опорных поверхностей гусениц движение осуществляется без сноса и является полностью управляемым. Такое движение будем называть гарантированно управляемым движением гусеничной машины.

Вывод

Свойство гусеничной машины, определяющее ее способность в любой момент времени подчиняться управляющему воздействию со стороны механика-водителя, направленного на сохранение или изменение режима движения машины в требуемом направлении, назовем управляемостью. Можно принять движение гусеничной машины гарантированно управляемым, если проекция мгновенного центра поворота на продольную ось машины не выходит за пределы опорных поверхностей гусениц; движение ограниченно управляемое, если проекция мгновенного центра поворота на продольную ось гусеничной машины вышла за переднюю границу опорных поверхностей гусениц, но при этом движение машины управляемо (снос гусеничной машины); и наконец неуправляемое дви-

жение, когда гусеничная машина перестает определенно реагировать на управляющее воздействие от органов управления.

Литература

1. Кондратенко С.А. Пути повышения средней скорости танка за счет совершенствования его поворотливости: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1983. 190 с.
2. Сперанский Н.Г. Теоретическое обоснование параметров и разработка бесступенчатого механизма поворота гусеничной машины: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1978. 213 с.
3. Метелицын И.И. Движение танка по горизонтальной плоскости. Труды ВАММ. М., 1940, юб. сб. С. 329–352.
4. Бекетов С.А. Теория управляемого движения гусеничных машин. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 126 с.

References

1. Kondratenko S.A. *Puti povysheniya srednej sklosti tanka za schet sovershenstvovaniya ego povorotlivosti*: diss. ... kand. tekhn. nauk [Ways to increase the average speed of the tank by improving its agility: Dissertation for degree of Doctor of Technical Sciences]. Moscow, 1983. 190 p.
2. Speranskij N.G. *Teoreticheskoe obosnovanie parametrov i razrabotka besstupenchatogo mekhanizma povorota gusenichnoj mashiny*: diss. ... kand. tekhn. nauk [Theoretical substantiation of parameters and development of a variable-speed mechanism for turning a tracked vehicle]. Moscow, 1978. 213 p.
3. Metelicyn I.I. The movement of the tank on a horizontal plane. *Trudy VAMM*. Moscow, 1940, yub. sb., pp. 329-352 (in Russ.).
4. Beketov S.A. *Teoriya upravlyaemogo dvizheniya gusenichnyh mashin* [The theory of controlled motion of tracked vehicles]. Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N.E.H. Bauman Publ., 2017. 126 p.

THE CONCEPT OF THE CONTROLLED MOVEMENT OF THE TRACKED VEHICLE

DSc in Engineering **S.A. Beketov**
Bauman MSTU, Moscow, Russia
bekprof@mail.ru

This article is devoted to solving the actual problem - to define the concept of controlled movement of tracked vehicles. Uncertainty in the concept of controlled movement does not allow to solve practical problems related to the controllability of tracked vehicles. In the publication, controlled motion is considered as a transition from one steady state to another. Just a study of the steady-state motion regime will make it possible to determine the patterns between the force and kinematic parameters of controlled curvilinear motion and controlled parameters of a tracked vehicle. It is determined that controlled movement is such a movement in which the driver, acting on the controls, can change the mode of movement of the tracked vehicle in the right direction at the given time. If the movement of the tracked vehicle is carried out independently of the control actions of the driver or the reaction of the machine to the control action is uncertain, then such movement is uncontrollable. The analysis of transients from the rectilinear movement of the tracked vehicle to the curvilinear one is presented. It is shown that with curvilinear motion, the centrifugal force is balanced by the transverse reaction of the soil due to the displacement of the projection of the instantaneous center of rotation onto the longitudinal axis of the machine. The physical meaning of this bias is determined. During controlled curvilinear movement the center of mass of the tracked vehicle moves tangentially to the trajectory of movement, and the longitudinal axis will rotate around the center of mass by an additional angle relative to the tangent to the trajectory of movement in the direction of the instantaneous center of rotation. The indicator identifies a controlled, limitedly controlled and uncontrolled movement - the displacement of the instantaneous center of rotation on the longitudinal axis of the tracked vehicle to the level and beyond the front border of the supporting surfaces of the tracks. Thus, the conducted studies of the controlled curvilinear movement of tracked vehicles allow us to define the controllability and to identify the following types of movement: guaranteed controlled, limited controlled and uncontrolled movement.

Keywords: *controlled motion, tracked vehicle, longitudinal projection of the instantaneous center of rotation.*