

МАШИНОСТРОЕНИЕ

В. Г. ДОЧКИН, Э. Б. ЗАХАРЯН, Р. В. СИРЕКАНЯН, М. М. ХАРЛАП,
 Р. В. ШАХБАЗЯН

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ ПРИ РАБОТЕ НА СКЛОНАХ

В эксплуатационных условиях работы гусеничная машина находится под воздействием непрерывно меняющихся нагрузок [1], обусловленных многочисленными факторами, к числу которых относятся: микропрофиль дороги, неоднородность физико-механических свойств почвы, изменение скорости движения машины от наезда на неровности почвы и др. При движении машины по склону к указанным факторам, прибавляются перераспределение масс и силы, действующие вдоль склона.

Рассмотрим динамику движения гусеничной машины на склоне и, учитывая подрессоривание последней, исследуем особенности колебательного процесса. Для примера рассмотрим трактор Т-54 „В“ и примем, что движущийся по склону трактор не имеет поступательного движения, но совершает колебания по тому закону и интенсивности, если бы наблюдалось его поступательное движение поперек склона. Как известно [2], схема подрессоривания у Т-54 „В“ симметрична и может быть приведена к опертной на три точки массе (рис. 1) с балан-

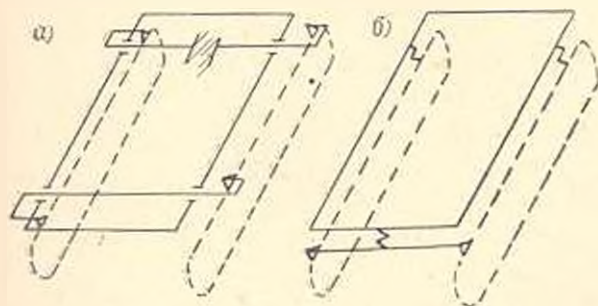


Рис. 1. а—схема подрессоривания трактора Т-54 „В“, б—приведенная схема подрессоривания.

сирной схемой подвеса. Однако, находясь на склоне, трактор меняет схему подрессоривания (рис. 2) и в целом подвеска становится асимметричной, причем, асимметричность увеличивается с увеличением склона.

Учитывая, что при движении остова машины в основном соверша-

ет линейно-вертикальные, поперечно-угловые и продольно-угловые колебания (рис. 3), соответственно выбираем обобщенными координатами: z — вертикально-линейные смещения, ψ — продольно-угловые смещения,

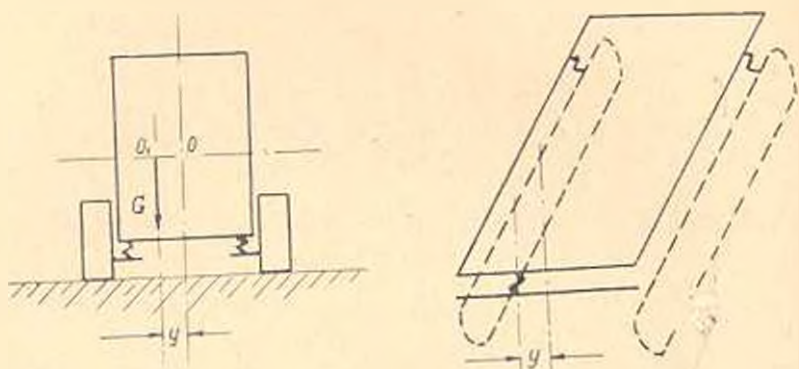


Рис. 2. Схема подвески, меняющаяся при движении машины по склону (асимметричность $y = h \operatorname{tg} \gamma$).

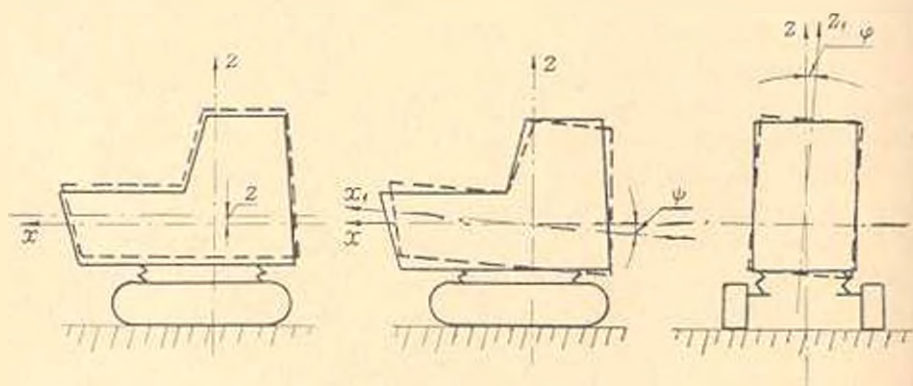


Рис. 3.

φ — поперечно-угловые смещения. Примем также, что ходовая часть (тележки) испытывает вертикальные смещения z_1 и z_2 (левая и правая сторона) и поворот относительно их центров тяжести на угол ψ_1 и ψ_2 . Рассматривая малые смещения тележек, можно составить схему сил, действующих в целом на трактор (рис. 4). На остоп действуют: силы инерции $m\ddot{z}$, $I_x\ddot{\psi}$, $I_y\ddot{\varphi}$, упругие силы рессор F_i и силы сопротивления Q_i . На тележку действует та же сила упругости F_i , силы сопротивлений Q_i , составляющая от веса $G \sin \gamma$, реакция почвы N_i , силы, создающие сползание машины, $m_{\text{тр}}x$, реакция почвы на составляющую от веса $N_i \cos \gamma$ и силы трения, препятствующие этому сползанию, fN_i (где f и ε_i — соответственно коэффициент трения и коэффициент сцепления, принимаемые постоянными). Проектируя силы, действующие на остоп, на ось z и составляя уравнение моментов от-

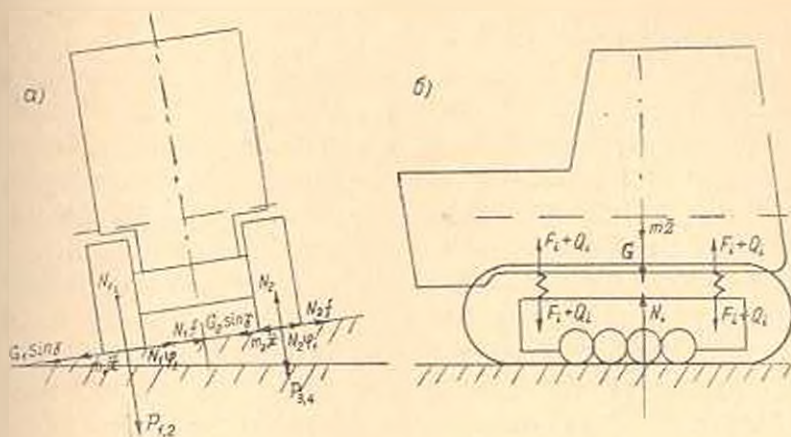


Рис. 4.

носительно продольной и поперечной осей, проходящих через центр тяжести остова, получим дифференциальное уравнение колебаний машины при движении по склону с углом γ в виде:

$$\begin{aligned}
 a_{1,0}z + a_{1,1}z + a_{1,2}z - b_{1,1}\dot{\psi} + b_{1,2}\dot{\psi} + c_{1,1}\ddot{\varphi} + c_{1,2}\ddot{\varphi} = T_{1,0}z_2 + \\
 + T_{1,01}z_1 + T_{1,1}z_1 + T_{1,10}z_2 - L_{1,0}\dot{\psi}_1 + L_{1,1}\dot{\psi}_2 - L_{1,1}\dot{\psi}_1 + L_{1,10}\dot{\psi}_2; \\
 b_{2,0}\dot{\psi} + b_{2,1}\dot{\psi} + b_{2,2}\dot{\psi} - a_{2,1}z + a_{2,2}z - c_{2,1}\ddot{\varphi} - c_{2,2}\ddot{\varphi} = T_{2,0}z_1 + \\
 + T_{2,01}z_2 + T_{2,1}z_1 + T_{2,10}z_2 + L_{2,0}\dot{\psi}_1 - L_{2,01}\dot{\psi}_2 - L_{2,1}\dot{\psi}_1 - L_{2,10}\dot{\psi}_2; \\
 c_{3,0}\ddot{\varphi} + c_{3,1}\ddot{\varphi} + c_{3,2}\ddot{\varphi} + a_{3,1}z + a_{3,2}z - b_{3,1}\dot{\psi} - b_{3,2}\dot{\psi} = T_{3,0}z_1 - \\
 - T_{3,01}z_2 + T_{3,1}z_1 - T_{3,10}z_2 - L_{3,1}\dot{\psi}_1 - L_{3,01}\dot{\psi}_2 - L_{3,1}\dot{\psi}_1 - L_{3,10}\dot{\psi}_2,
 \end{aligned} \quad (1)$$

где $a_{1,0}$, $a_{1,1}$, ..., $L_{3,10}$, $L_{3,1}$ — квазиупругие и инерционные коэффициенты.

Как видно из полученной системы, все виды колебаний взаимосвязаны и при симметричной подвеске ($a_{2,1} - a_{2,2} = b_{1,1} - b_{1,2} = 0$) связь линейно-вертикальных и продольно-угловых колебаний исчезает. Рассматривая уравнения при движении машины на ровной местности ($\gamma = 0$), система распадается на три автономных уравнения, описывающих каждый из видов колебательного процесса. Исследуя полученную систему уравнений на устойчивость по Гурвицу, можно видеть, что с увеличением угла склона γ система в целом теряет устойчивость, а каждый из видов колебательного процесса меняется: продольно-угловые колебания имеют тенденцию к уменьшению, а вертикально-линейные и поперечно-угловые возрастают, причем, поперечные колебания возрастают в квадратичной зависимости. При $\gamma > 10^\circ$ основной вид колебаний — поперечно-угловые, так что при расчетах на плавность хода машины этот факт необходимо учитывать и наряду с оценкой плавности по вертикально-линейным колебаниям [2] оценивать также и по поперечно-угловым колебаниям. При эксплуатации трактора (разно-

образные сельскохозяйственные работы, тяга на крюке и пр.) в целом уравнения своего вида не теряют, меняются лишь значения коэффициентов, куда входят величины силы тяги, дополнительные массы (от навеса сельскохозяйственных орудий) и др. Изменение скорости движения трактора ведет к увеличению амплитуды и частоты входных величин и к соответственному изменению колебаний трактора. Влияние склона в этом случае довольно ощутимо; к примеру, при движении на склоне в 12° при скорости движения $8-10$ км/час наблюдаются частые пробивания подвески ($8-10$ раз на 50 метров гога), а при склоне 6° на той же скорости число пробиваний в $2,5-3$ раза уменьшается. Анализ корреляционных функций и спектральных плотностей вертикальных ускорений центра тяжести остова при движении в транспортном режиме на разных склонах показывает, что с увеличением склона в спектрах колебаний возникают новые частоты ($8-10$ ц), в то время, как при движении на ровной местности, с той же скоростью, основной спектр лежит в области нижних частот ($5-6$ ц). С изменением схемы поддрессоривания (от воздействия склона) меняются парциальные частоты и нижняя (нагруженная сторона) становится высокочастотным фильтром, а верхняя к склону сторона (разгруженный борт) — низкочастотным фильтром, что сказывается на максимальном значении амплитуд.

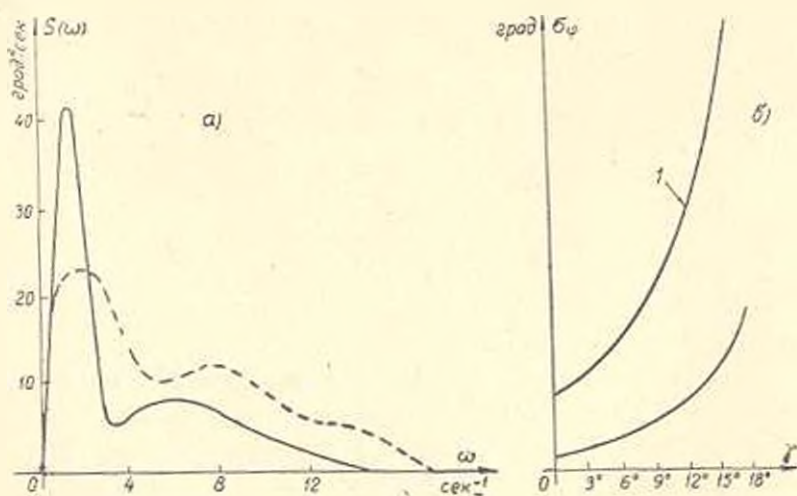


Рис. 5.

На рис. 5 показана спектральная плотность поперечно-угловых колебаний при движении трактора по склону $7-9^\circ$ и ровной местности. При скорости движения $2,5$ м/сек кривые спектральных плоскостей являются двухвершинными, где одна вершина обусловлена максимальным значением спектра воздействия, а вторая — максимальным значением амплитудно-частотной характеристики. Из рис. 5 видно, что при движении по склону спектральная плотность амплитуд резко возрастает, причем этот рост обусловлен изменением амплитудно-частотной харак-

теристики системы. При дальнейшем возрастании скорости (до 4,5 м/сек) и склона ($\gamma = 15^\circ$) увеличение амплитуды спектральной плотности может до 30 раз превышать амплитуды спектральной плотности поперечных колебаний при движении на ровной местности. Поскольку площадь под кривой $S(\omega)$ всегда равна дисперсии $D(\varphi)$, то можно видеть (рис. 5, а), что при движении по склону дисперсия поперечно-угловых колебаний возрастает, и при одной и той же скорости (2,5 м/сек) с увеличением склона зависимость дисперсии от склона принимает вид параболы. На рис. 5, б приведена зависимость средне-квадратичного отклонения σ от склона γ . Зависимость дисперсии от склона имеет более крутой вид (кривая 1), поскольку $\sigma^2 = D(\varphi)$.

Поддрессоренный кузов гусеничной машины можно рассматривать как линейную динамическую систему автоматического регулирования, находящуюся под воздействием стационарного случайного возмущения $[z_1(t); z_2(t); \dot{\varphi}_1(t); \dot{\varphi}_2(t)]$, где представили их в виде спектра, состоящего из бесконечно большого числа гармоник, можно, используя известное свойство передаточной функции $S_{\text{вых}}(\omega) = |W(i\omega)|^2 S_{\text{вх}}(\omega)$, определять значение выходных возмущающих воздействий.

Рассмотрим схему сил, действующих на ходовую часть, и спроектируем их на ось x . Вводя обозначения и преобразуя, получим дифференциальное уравнение, описывающее процесс сползания и функции от колебаний машины:

$$K_0 \ddot{x} = a_0 \ddot{x} + a_{0,1} \ddot{z} - b_0 \dot{\varphi} - b_{0,1} \dot{\varphi} - c_0 \varphi - c_{0,1} \varphi - T_{1,0} \dot{z}_1 - T_{1,0} \dot{z}_2 - T_{1,1} \dot{z}_1 - T_{1,1} \dot{z}_2 + L_{1,0} \ddot{\varphi}_1 - L_{1,0} \ddot{\varphi}_2 + L_{1,1} \ddot{\varphi}_1 - L_{1,1} \ddot{\varphi}_2, \quad (2)$$

здесь значения коэффициентов имеют следующий смысл:

$$K_0 = \frac{m_1}{(f + \varphi) \cos \gamma}; \quad a_0 = \beta_1 + 2\beta_2; \quad a_{0,1} = c_1 + 2c_2; \quad b_0 = 2\beta_2 l_2 - \beta_1 l_1$$

$$b_{0,1} = 2c_2 l_2 - c_1 l_1; \quad c_0 = 2\beta_2 h \operatorname{tg} \gamma; \quad c_{0,1} = 2c_2 h \operatorname{tg} \gamma; \quad T_{1,0} = \frac{2\beta_2 + \beta_1(1-k)}{2};$$

$$T_{1,1} = \frac{2\beta_2 - \beta_1(1-k)}{2}; \quad T_{1,2} = \frac{2c_2 - c_1(1-k)}{2};$$

$$T_{1,3} = \frac{2c_2 - c_1(1-k)}{2};$$

$$L_{1,0} = \frac{2\beta_2 l_2 - \beta_1 l_1(1-k)}{2}; \quad L_{1,1} = \frac{2\beta_2 l_2 - \beta_1 l_1(1-k)}{2};$$

$$L_{1,2} = \frac{2c_2 l_2 - c_1 l_1(1-k)}{2}; \quad L_{1,3} = \frac{2c_2 l_2 - c_1 l_1(1-k)}{2}.$$

где $K = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma_{\text{ст}}}$; γ — текущий угол склона; $\gamma_{\text{ст}}$ — статический угол

опрокидывания машины;

$c_1, c_2, \bar{r}_1, \bar{r}_2$ — приведенные к оси крепления рессор с остомом жесткости и коэффициенты демпфирования подвески трактора;

l_1, l_2, l_1', l_2' — координаты центров тяжести остова и тележек относительно креплений рессор;

h, m — высота центра тяжести и масса трактора.

Как видно из полученного уравнения, колебательный процесс по-разному действует на сползание. Это можно заметить, если предположить, что возмущающие функции меняются по гармоническому закону. В этом случае из системы (1) можно получить, что вынужденные колебания представляют собой также гармоническую функцию той же частоты, но сдвинутую по фазе на угол φ . Поскольку в натурных условиях при движении машины по склону спектр частот растянут до 10 Гц, то фазовый угол для данной колебательной системы может достигать до 20° , что способствует сползанию. Учитывая, что с увеличением склона поперечно-угловые колебания возрастают, рассмотрим влияние поперечно-угловых колебаний на процесс сползания. Для этого примем, что остальные возмущения равны нулю. Примем также, что закон изменения поперечно-угловых колебаний — гармонический. Записывая уравнение (2) в операторном виде, имеем:

$$(K_0 P^2) x(t) = (P c_0 + c_{0.1}) \varphi(t). \quad (3)$$

При гармоническом воздействии $\varphi(t) = H e^{-i\omega t}$ частным решением будет:

$$x(t) = H W_c(i\omega) e^{i\omega t}.$$

Подставляя в выражение (3) и преобразуя, определим амплитудно-фазочастотную характеристику (рис. 6):

$$W_c(i\omega) = - \frac{2c_0 h \operatorname{tg} \gamma}{\omega^2 K_0} - i \frac{2\bar{r}_1 h \operatorname{tg} \gamma}{\omega K_0}, \quad (4)$$

где $U_c(\omega) = - \frac{2c_0 h \operatorname{tg} \gamma}{\omega^2 K_0}$ — вещественная частотная характеристика;

$$V_c(\omega) = - \frac{2\bar{r}_1 h \operatorname{tg} \gamma}{\omega K_0} i — \text{мнимая частотная характеристика.}$$

Из выражения (4) видно, что с увеличением угла склона $|W_c(i\omega)|$ возрастает. Поскольку модуль фазочастотной характеристики есть относительная амплитуда вынужденных колебаний, а при увеличении склона последняя возрастает, то влияние поперечных колебаний на процесс сползания очевидно.

Особенно интенсивно происходит сползание машин со склона, когда колебательный процесс близок к резонансной зоне; при этом для

трактора Т-54В (0.9—1,1и) скорость сползания достигает до 0.02м/сек. Необходимо указать, что при парциальном резонансе для кормы и носа трактора, в зависимости от того, где наблюдается возникновение резонанса (нос или корма), эта сторона испытывает более сильное



Рис. 6.

сползание. Кроме указанных в работе особенностей динамики гусеничной машины, при работе на склоне необходимо также указать на устойчивость фактор, имеющий первостепенное значение, исследование которого представляет собой отдельную работу.

Приведенные выше результаты получены, как уже говорилось, для трактора Т-54В, однако могут быть применимы к любому мощному транспорту, работающему на склоне.

ЮНИИС-НАГИ

Поступило 6.V.1970.

Վ. Գ. ԳՐԻԳՈՐԻ, Է. Ռ. ԶԱՐԱՐՅԱՆ, Ռ. Վ. ՍԻՐԻԿԱՆՅԱՆ, Մ. Մ. ԿԱՐԷԱԳ,
Ռ. Վ. ՇԱՀՈԱԶՅԱՆ

ԹՐԻՈՒՐԱՎՈՐ ՄԵԿԵՆԱՅԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՈՐՈՇ ԱՌԱՋՆԱՀԱՏԿՈՒ-
ԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԸՆԴՋԻ ՎՐԱ ԱՇԽԱՏՆԻՍ

Ա մ փ ո փ ո ռ ը

Հոգիածում քննարկվում են թրթուրավոր մեքենայի դինամիկայի որոշ ա-
ռանձնահատկությունները թեք լանջի վրա աշխատելիս: Հիմնական տարրերիչ
առանձնահատկությունն է հնթադասպանավորման սխեմայի փոփոխությունը և
մեքենայի սողման առաջ դալրո: Ստատիստիկված է մեքենայի առատանումների
առանձնահատկությունների ամպլիտուդայի սպեկտրը և բաղաձայնված է առատա-
նումների ինտենսիվության փոփոխման կախումը լանջի բեքությունից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Силова А. А. Спектральная теория поддресорирования транспортных машин, М., 1963.
2. Дочкин В. Г., Сафронов А. И. и др. Устройства и эксплуатация тракторов Т-50В и Т-54В. М., 1963.