

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 631.316.4.31/2307

Академик К. В. Александрян

### Определение параметров и режимов работы предохранительных устройств машин при их столкновении с препятствиями

(Представлено 15/V 2001)

Работа сельскохозяйственных, лесомелиоративных и строительно-дорожных машин на каменистых землях сопровождается частыми поломками и выходом из строя рабочих органов и деталей. Для обеспечения их нормальной работы применяются предохранительные устройства различного принципа действия. Однако все эти устройства мало эффективны при резком, мгновенном возрастании сопротивления, например при столкновении рабочих органов с камнями. На каменистых почвах применение предохранителей связано с потерями времени из-за частых отключений и приостановок. Особую актуальность приобретает выбор предохранительных устройств и оснащение ими машин для Армении. На протяжении многих лет в АрмНИИМЕСХ был разработан и внедрен ряд конструкций предохранительных устройств для различных групп машин. В настоящей статье рассматривается конструкция предохранителя для рыхлителей, наиболее часто используемого в перечисленных отраслях (рис.1).

Для предотвращения поломок рабочих органов и деталей машин при встрече с препятствиями и при резком возрастании тягового сопротивления применяются предохранительные устройства различного принципа действия, конструктивно отличающиеся для машин разных групп.

На рис.1 приведены схемы предохранительных устройств для культиваторов и рыхлителей (описание конструкций и работы приведено в [1–4]).

Основными параметрами при выборе предохранительных устройств являются:

– время  $t$  обхода препятствия, зависящее от размеров камней  $a$  и  $b$ , длины поводка  $r$ , высоты стойки  $h$ , расстояния от стойки до конца лапы  $c$  и скорости агрегата  $V_M$ ; угол  $\varphi$  поворота поводка  $CD$  под действием возмущающей силы вокруг  $D$ , величина которого зависит от конструктивных параметров рабочего органа и размеров препятствия;  $\Delta l$  – деформация пружины предохранительного устройства.

Эти параметры определяются из

$$t = \frac{1}{V_M} \left[ c + b - r + \sqrt{h^2 + (r - c)^2 - (h - a)^2} \right], \quad (1)$$

$$\varphi = \arcsin \frac{h \sqrt{h^2 + (r - c)^2 - (h - a)^2} - (h - a)(r - c)}{h^2 + (r - c)^2}, \quad (2)$$

$$\Delta\lambda = 2\sqrt{(r - r_0)^2 + H^2} \sin \frac{\varphi}{2} \cos\left(\alpha + \frac{\varphi}{2} + \frac{H}{r + r_0}\right), \quad (3)$$

где  $H$  - расстояние от оси поворота до верхнего конца пружины,  $r_0$  - расстояние от оси поворота до верхней точки крепления пружины в горизонтальной плоскости.

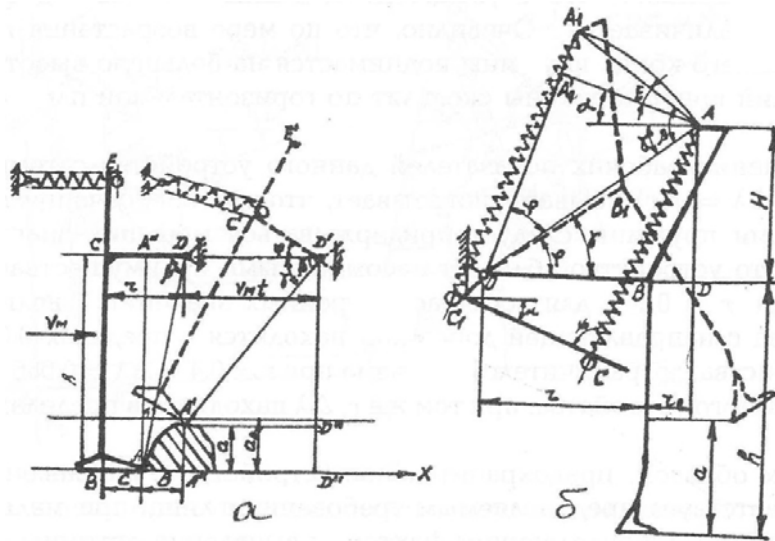


Рис. 1.

Анализ зависимостей  $t = f(r, h, b)$  позволяет установить, что с увеличением  $r$  и  $V_M$  время обхода препятствия уменьшается, а увеличение размеров  $a$  и  $b$  приводит к увеличению  $t$  и, следовательно, к ухудшению процесса обработки почвы. Из графиков зависимости  $\varphi$  от  $r$  (рис.2) видно, что увеличение длины  $r$  поводка способствует уменьшению, а увеличение высоты препятствия - увеличению угла  $\varphi$ . Следовательно, для уменьшения угла поворота поводка при встрече рабочего органа с препятствием необходимо придерживаться больших значений  $r$ .

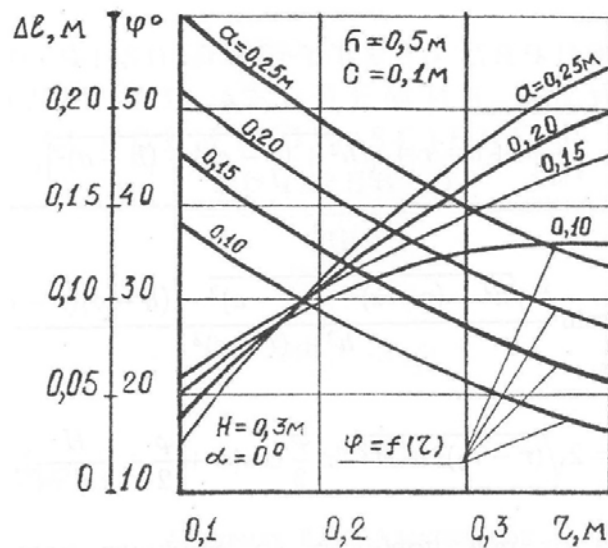


Рис. 2

После совместного решения уравнений (2) и (3) получены зависимости деформации пружины от параметров рабочего органа и препятствия, анализ которых показывает, что с увеличением длины поводка  $r$  деформация  $\Delta l$  пружины увеличивается. Очевидно, что по мере возрастания  $r$  точка крепления верхнего конца пружины поднимается на большую высоту, в то время как нижний конец пружины скользит по горизонтальной плоскости, так как  $\alpha = 0$ .

Сравнение рабочих показателей данного устройства с теми, у которых функция  $\Delta l = f(r)$  убывает, показывает, что для обеспечения минимальной деформации пружины следует придерживаться меньших значений  $r$ , при которых это устройство обладает несомненными преимуществами. Так, например, при  $r = 0.1$  м для всех рассмотренных значений  $\alpha$  величина  $\Delta l$  для устройства с направляющей дорожкой находится в пределах  $0.022 \sim 0.059$  м; для устройства с ограничителем подъема при  $r = 0.4$  м  $\Delta l = 0.066 \sim 0.104$  м, для производимого устройства, при том же  $r$ ,  $\Delta l$  находится в пределах  $0.109 \sim 0.262$  м,

Таким образом, предохранительное устройство с направляющей дорожкой соответствует предъявляемым требованиям лишь при малых значениях длины поводка. Определяющим фактором выявления оптимальных значений  $r$  является угол  $\alpha$  наклона направляющей дорожки. Так, при  $\alpha = 20^\circ$  величина  $\Delta l$  для всех значений  $\alpha$  находится в пределах  $0.068 \sim 0.077$  м, а при  $\alpha = 30^\circ$  этот предел составляет  $0.017 \sim 0.039$  м.

Предохранительное устройство с направляющей дорожкой благодаря как простоте конструкции, так и обеспечению минимальной деформации пружины является более эффективным для обеспечения надежности работы рабочего органа.

Устойчивость движения при обработке земель с каменистыми включениями зависит от условий эксплуатации, вида навески и способа крепления рабочих органов к раме машины. Особо отрицательным фактором является жесткое соединение рабочих органов с рамой, в результате продольных и поперечных колебаний трактора при встрече рабочих органов с камнями приводящее к нарушению глубины обработки по всей ширине захвата машины, а в ряде случаев и полному выглублению рабочих органов. При этом продольная составляющая

тягового сопротивления  $R_x$  смещается относительно продольной оси трактора на расстояние  $\lambda$ . Результирующая сила  $P$  от возникших поворачивающих моментов образует момент  $P_m$ , под действием которого трактор отклоняется от заданного направления движения.

Машинам с жестким креплением рабочих органов присущи и другие недостатки, как поломки и деформация рабочих органов и узлов, снижающие надежность и производительность машины.

Очевидно, что одним из путей повышения устойчивости машин при обработке каменистых земель является оснащение каждого рабочего органа индивидуальным предохранительным устройством, обеспечивающим автоматический обход препятствия.

При этом положение всех точек устройства можно определить только углом  $\varphi$  поворота поводка, в результате чего данное устройство представляет собой систему с одной степенью свободы, а угол  $\varphi$  можно принять за обобщенную координату (рис.3).

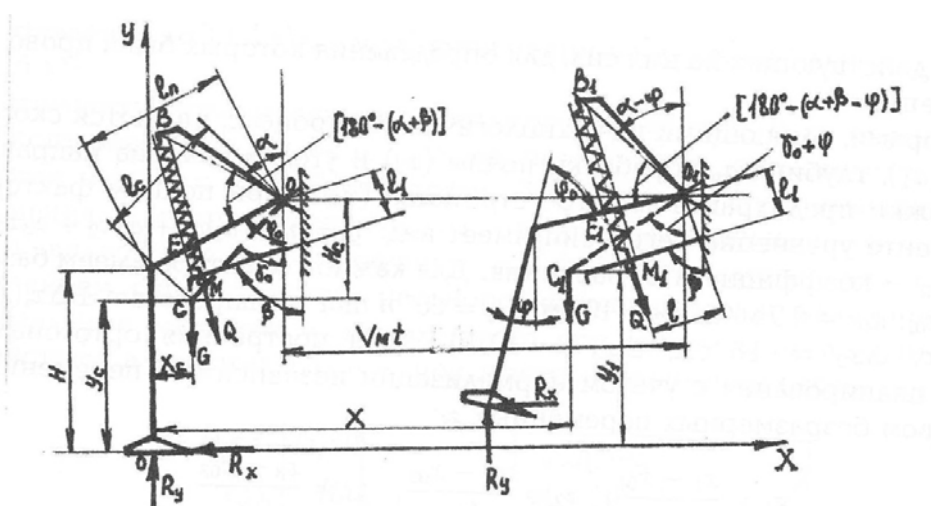


Рис. 3

Определяющими при этом являются координаты центра тяжести устройства в рабочем положении:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \lambda_n \sin \varphi_0 - \lambda_c \sin \gamma_0 \\ y_0 &= H + \lambda_n \cos \varphi_0 - \lambda_c \cos \gamma_0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $\lambda_n$  – длина поводка,  $H$  – высота стойки,  $\lambda_c$  – расстояние от точки прицепа до центра тяжести рабочего органа,  $\varphi_0$  – угол наклона поводка к вертикали в рабочем положении,  $\gamma_0$  – угол наклона линии, соединяющей точку прицепа с центром тяжести рабочего органа, к вертикали.

Суммарный момент приложенных к рабочему органу сил относительно точки крепления его к раме машины определяется из

$$L_k = a_1 \cos \varphi - a_2 \sin \varphi + a_3 \cos 2\varphi - a_4 \sin 2\varphi, \quad (5)$$

где  $\varphi$  – угол перемещения поводка,

$$a_1 = R_x(H + \lambda_n \cos \varphi_0) + R_y \lambda_n \sin \varphi_0 - G \lambda_c \sin \gamma_0 - \frac{1}{2} k \lambda_B^2 \sin^2(\alpha + \beta), \quad (6)$$

$$a_2 = R_x \lambda_n \sin \varphi_0 - R_y (H + \lambda_n \cos \varphi_0) + G \lambda_c \cos \gamma_0 + k \lambda_B^2 \sin^2(\alpha + \beta), \quad (7)$$

$$a_3 = \frac{1}{2}k\lambda_B^2 \sin 2(\alpha + \beta), \quad (8)$$

$$a_4 = \frac{1}{2}k\lambda_B^2 \cos 2(\alpha + \beta), \quad (9)$$

где  $R_x$  и  $R_y$  – горизонтальная и вертикальная составляющие силы сопротивления грунта, действующие на рабочий орган;  $\lambda$  – расстояние от точки поворота до оси пружины;  $\lambda_B$  – длина рычага.

Величина угла  $\varphi$  поворота поводка

$$\varphi = \frac{a_1 + a_3}{a_2 + 2a_4} \left( 1 - \cos \sqrt{\frac{a_2 + 2a_4}{J_4} t} \right), \quad (10)$$

Полученное выражение (10) с учетом (6) - (9) позволяет определить угол отклонения рабочего органа в вертикальной плоскости в зависимости от конструктивных параметров рабочего органа, предохранительного устройства и действующих на них сил, для определения которых были проведены эксперименты.

Факторами, влияющими на технологический процесс, являются скорость агрегата ( $x_1$ ), глубина  $a_p$  обработки почвы ( $x_2$ ) и угол  $\alpha$  наклона направляющей дорожки предохранительного устройства ( $x_3$ ). При полном факторном эксперименте уравнение регрессии имеет вид:  $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$ , где  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты уравнения. Для каждого фактора имеем базовый уровень  $x_{0i}$ :  $x_{01} = 0.9$  м/с;  $x_{02} = 10$  см;  $x_{03} = 20^\circ$  и шаг варьирования  $\pm \Delta x_i$  ( $\Delta x_1 = \pm 0.31$  м/с;  $\Delta x_2 = \pm 5$  см;  $\Delta x_3 = \pm 10^\circ$ ). Для построения ортогональной матрицы планирования с учетом нормализации независимых переменных  $x_i$  посредством безразмерных переменных  $z_i$ :

$$z_1 = \frac{x_1 - x_{01}}{\Delta x_1}, \quad z_2 = \frac{x_2 - x_{02}}{\Delta x_2}, \quad z_3 = \frac{x_3 - x_{03}}{\Delta x_3} \quad (11)$$

Нормализованное уравнение регрессии имеет вид

$$y = b_0 + b_1z_1 + b_2z_2 + b_3z_3,$$

где  $b_0, b_1, b_2$  и  $b_3$  – коэффициенты уравнения.

Коэффициенты  $b_i$  определяются из

$$b_i = \sum_{j=1}^N z_j \bar{y}_j, \quad (12)$$

где  $\bar{y}_j$  – среднеарифметические значения тягового сопротивления для каждого опыта;  $N$  – количество опытов.

Подставив значения коэффициентов  $b_i$  в (11), получим

$$y = 7.9463 + 1.6763z_1 + 3.5088z_2 - 1.3763z_3. \quad (13)$$

С учетом  $z_1, z_2$  и  $z_3$  из (11) и (13) имеем

$$y = -1.1864 + 5.4074x_1 + 0.7018x_2 - 0.1376x_3 \quad (14)$$

или

$$y = -1.1864 + 5.4074V + 0.7018a_p - 0.1376\alpha \quad (15)$$

Анализ уравнения в виде  $P = f(\alpha)$ ,  $P = f(V)$  и  $P = f(a_p)$  показывает, что  $P = f(V)$  и  $P = f(a_p)$  возрастают, а  $P = f(\alpha)$  убывает. Для исследованных случаев наибольшее сопротивление машины составило до 13 кН. При рыхлении снижение сопротивления агрегата с предохранительным устройством наблюдалось при  $V = 0.9$  м/с и угле  $\alpha = 20^\circ$ . Результаты опытов при жестком креплении нижних концов пружин к направляющим дорожкам и жестком креплении стоек  $P = f(a_p)$  приведены на рис. 4. Заметно, что с увеличением  $a_p$   $P$  увеличивается для всех трех случаев. Причем наибольшие его значения имеют место при жестком креплении стоек к раме (линия 3), а наименьшие — к предохранительным устройствам (линия 1). При  $a_p = 15$  см сопротивление рыхлителя с жестко закрепленными стойками составляет 15.5 кН. Крепление стоек с неподвижными нижними концами пружин уменьшает сопротивление до 13.6 кН, а при применении предохранительного устройства до 11.6 кН.

Результаты показывают, что амплитуда колебаний  $P$  от среднеарифметического значения для всех случаев неодинакова, что свидетельствует о различии нагрузок на рабочий орган. Из значений среднеквадратического отклонения  $\sigma_p$  сопротивления и его графических зависимостей от глубины (рис.4) видно, что с увеличением  $a_p$   $\sigma_p$  увеличивается, что связано с увеличением сопротивления, неоднородностью почвы и наличием камней. Минимальные значения  $\sigma_p$  имеют место при работе с предохранительным устройством, а максимальные — при жестком креплении рабочего органа.

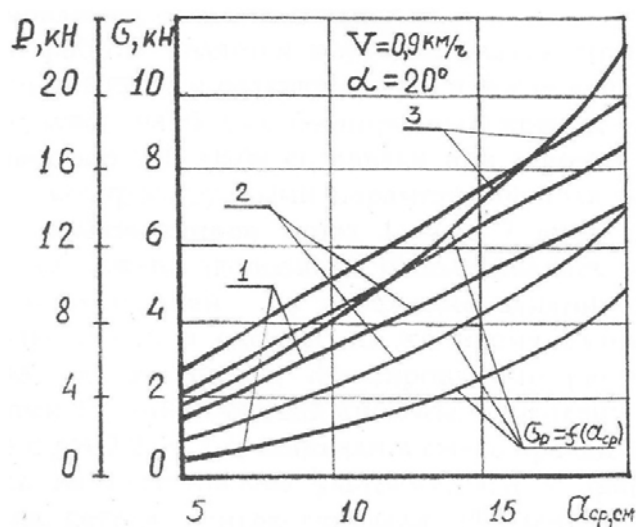


Рис. 4

Таким образом, предохранительное устройство с направляющей дорожкой снижает сопротивление и его среднеквадратическое отклонение и повышает надежность машин.

## **Ակադեմիկոս Կ. Վ. Ալեքսանդրյան**

### **Մեքենաների ապահովիչ սարքերի պարամետրերի և աշխատանքի ռեժիմների որոշումը խոչնդոտների հետ բախման դեպքում**

Դիտարկված են քարքարոտ հողերի պայմաններում աշխատող մեքենաների համար ապահովիչ սարքերի կառուցվածքի հիմնավորման, նրանց հիմնական պարամետրերի հաշվարկման հարցերը խոչնդոտների հետ բախման և հաղթահարման դեպքում:

Բերված են առաջարկված ապահովիչ սարքերի կառուցվածքային սխեմաները և նրանց փորձարկման արդյունքները գրաֆիկների տեսքով:

### **Литература**

1. А. С. СССР N 828997. Предохранительное устройство к рабочим органам для обработки почвы. БИ. 1981, N18.
2. А. С. СССР N 869592 Предохранительное устройство к рабочему органу почвообрабатывающей машины. БИ. 1981. N87.
3. А. С. СССР N 387642 Навесная однокорпусная глубокопахотная машина. БИ. 1973. N28.
4. А. С. СССР N 1752212 Предохранительное устройство к рабочим органам почвообрабатывающей машины БИ. 1992. N29.