

Г.Г. ШЕКЯН, А.А. МЕЛКОНЯН

ЭФФЕКТИВНАЯ ЖЕСТКОСТЬ ТЕНЗОДИНАМОГРАФИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Для регистрации и исследования изменения силовых характеристик при выполнении тяжелоатлетических упражнений обычно используют тензодинамографические помосты, которые включают в себя упругие элементы с приклеенными на них тензодатчиками. Предлагается метод определения оптимальной жесткости упругих элементов на основе решения дифференциального уравнения движения платформы и оптимизации усилий штангиста по отношению к поднимаемому весу.

Ключевые слова: тензодинамографическая платформа, тяжелоатлетические упражнения, оптимальная жесткость.

Техника тяжелоатлетических упражнений давно стала объектом исследования специалистов. Для изучения техники упражнений использовались различные методы, в частности, широкое применение получили динамографические, а позже метрические методы.

Для регистрации силовых характеристик выполняемых упражнений в платформу вводятся чувствительные элементы – стальные упругие кольца, изменения деформаций которых эквивалентны изменениям усилий, прилагаемых на платформу. Соответствие регистрируемых параметров на экспериментируемом помосте с действительными параметрами упражнений, проводимых на реальных помостах, зависит от правильного подбора жесткости стальных упругих колец. Однако в существующей литературе отсутствует методика выбора оптимальных параметров чувствительных элементов.

В настоящей работе предлагается методика определения жесткости упругих элементов колец тензодинамографической платформы в случае использования ее для регистрации вертикальной составляющей опорных реакций при выполнении тяжелоатлетических упражнений. Рассмотрим случай, когда тяжелоатлет выполняет рывок.

В рывке одной из основных фаз является срыв от платформы. Поскольку длительность основной фазы рывка достаточно короткая, то процесс рассматривается как ударный. Воздействие импульса ускорений во время основной фазы рывка на платформу имеет колебательный характер. Из экспериментальных исследований следует, что на основание платформы действует импульс силы (или ускорение) синусоидальной формы, который можно описать выражением [1]

$$\ddot{Z}_1 = j_k \sin pt, \quad 0 < t < t_u = \pi/p,$$

где p – условная частота импульса, равная $p = \pi/t_u$; j_k – максимальное ускорение платформы; t_u – длительность основной фазы.

Дифференциальное уравнение движения платформы можно представить в виде [3]

$$m\ddot{Z} + cZ = cZ_1, \quad (1)$$

где Z - смещение платформы относительно неподвижной оси; Z_1 - смещение штанги относительно этой же оси; m - суммарная масса атлета, штанги и платформы; c - жесткость тензодинамографической платформы.

Продифференцировав дважды выражение (1) по времени, получим

$$m\ddot{\ddot{Z}} + c\ddot{Z} = c\ddot{Z}_1. \quad (2)$$

Подставляя в (1) значения $\ddot{Z} = \ddot{j}$, $\dot{Z} = \dot{j}$, где j - ускорение платформы, получим

$$m\ddot{j} + cj = c\ddot{Z}_1. \quad (3)$$

Если подставить в (1) вместо $\ddot{Z}_1$ его выражение $\ddot{Z}_1 = j_k \sin pt$, то найденное решение будет действительно только для моментов времени, находящихся в пределах длительности импульса, т.е. для $0 < t < t_u$. Но так как нас интересует также движение платформы в последующем за моменты времени t_u , то $\ddot{Z}_1$ необходимо выразить в виде такой функции времени, в которой аргумент может изменяться от 0 до ∞ . Такую возможность обеспечивает

операторный метод. Уменьшение функции на оператор сдвига $e^{\frac{-\pi s}{p}}$, как известно [2], вызывает смещение графика функции на длину π/p в положительном направлении оси времени. Если сложить несмещенную функцию со смещенной, то получится функция, удовлетворяющая поставленным требованиям и имеющая вид одиночного импульса для $0 < t < \infty$.

Подставляя полученную функцию вместо $\ddot{Z}_1$ в (3), получим уравнение движения массы платформы с тяжелоатлетом для любого момента времени при подъеме (рывке) штанги:

$$m\ddot{j} + cj = c \left(1 + e^{\frac{-\pi s}{p}} \right) j_k \sin pt. \quad (4)$$

Учитывая начальные условия $\ddot{j}(0) = 0$; $\dot{j}(0) = 0$, уравнение (4) в изображениях можно представить в виде [4]

$$ms^2 j + cj = cj_k \left(1 + e^{\frac{-\pi s}{p}} \right) \sin pt, \quad (5)$$

где s - оператор Лапласа.

Из (5) имеем

$$j = \frac{c j_k p \left(1 + e^{\frac{-\pi s}{p}} \right)}{(s^2 + p^2)(ms^2 + c)} = \frac{j_k \omega^2 p \left(1 + e^{\frac{-\pi s}{p}} \right)}{(s^2 + p^2)(s^2 + \omega^2)}, \quad (6)$$

где $\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}$ – собственная частота колебания платформы на упругих кольцах.

Учитывая, что

$$\begin{aligned} \frac{j_k \omega^2 p}{(s^2 + p^2)(s^2 + \omega^2)} &\rightarrow j_k \omega \frac{p \sin \omega t - \omega \sin p t}{p^2 - \omega^2}, \\ \frac{j \omega^2 p e^{\frac{-\pi s}{p}}}{(s^2 + p^2)(s^2 + \omega^2)} &\rightarrow j_k \omega \left[\frac{p \sin \left(1 - \frac{\pi}{p} \right) - \omega \sin \left(t - \frac{\pi}{p} \right)}{p^2 - \omega^2} \right] = \\ &= j_k \omega \left[\frac{(1 + \cos \omega t_u) \sin \omega t - \sin \omega t_u \cos \omega t}{p^2 - \omega^2} \right] = \\ &= j_k \omega \left(\frac{p \sin \omega t \cos \omega t_u - p \cos \omega t \sin \omega t_u - \omega \sin p t}{p^2 - \omega^2} \right), \end{aligned}$$

получим в оригиналах

$$j = \frac{j_k \omega p}{p^2 - \omega^2 \sqrt{2(1 + \cos \omega t_u)}} \sin \left(\omega t - \frac{\omega t_u}{2} \right), \quad (7)$$

так как $\operatorname{tg} \theta = \frac{\sin \omega t_u}{1 + \cos \omega t_u} = \operatorname{tg} \left(-\frac{\omega t_u}{2} \right)$, $\theta = -\frac{\omega t_u}{2}$.

Из (7) следует, что максимальное ускорение штанги будет

$$j_{\max} = \frac{j_k \omega p}{p^2 - \omega^2} \sqrt{2(1 + \cos \omega t_u)} \text{ при } t_{\max} = \frac{\pi}{2\omega} + \frac{t_u}{2}.$$

Коэффициент динамичности, который в процентах эквивалентен проценту усилий штангиста от поднимаемого веса в основной фазе, можно выразить соотношением

$$\eta = \frac{j_{\max}}{j_k} = \frac{\omega p}{p^2 - \omega^2} \sqrt{2(1 - \cos \omega t_u)}.$$

Из выражения (6) видно, что η принимает свое максимальное значение при $p/\omega \leq 1$. Это решение говорит о том, что чем выше собственная частота, а в силу этого и жесткость тензодинамографического помоста, тем меньше будет искажение контролируемых параметров.

Однако введение дополнительных элементов, необходимых для контроля исследуемых процессов, безусловно, уменьшает жесткость системы.

Из выражения (8) видно, что при значении ω выше 80 Гц коэффициент динамичности η незначительно отличается от своего максимума.

В качестве примера для экспериментируемой тензодинамографической платформы выбрана суммарная эффективная жесткость чувствительных элементов (кольцевых пружин) порядка $c = 5,6 \cdot 10^8$ Н/м, что соответствует собственной частоте 80...90 Гц.

Собственная частота экспериментируемой тензодинамографической платформы определялась на вибростенде ВЭДС-1500 с двумя вибродатчиками типа КД-13, прикрепленными один на столе вибростенда, другой – на платформе. При совпадении частоты вибростенда с собственной частотой платформы эллипс, полученный лучом на экране осциллоскопа, поворачивался на 90°. Экспериментально определенная собственная частота тензодинамографической платформы незначительно отличается от расчетной и равняется 90 Гц.

При весе тензодинамографической платформы 140 кг (что имеем в нашем случае), весе штангиста 80 кг, штанги 120 кг, длительности подрыва t_u и суммарной жесткости чувствительных элементов $c = 5,6 \cdot 10^8$ Н/м процент усилия от поднимаемого веса (коэффициент динамичности в процентах), рассчитанный по предлагаемой методике, составляет 195%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. -М.-Л., 1973. - 376 с.
2. Микусинский Я. Операторные исчисления. -М.: ИЛ, 1986. – 226 с.
3. Крендель С. Случайные колебания. -М.: Мир, 1967. - 346 с.
4. Шекян Г.Г. К вопросу о выборе оптимальной жесткости упругих опор и их расчет // Материалы IV н/т конф. -Ереван, 1971. - С.27-35.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 15.06.2004.

Հ.Հ. ՇԵԿՅԱՆ, Ա.Ա. ՄԵԼԿՈՆՅԱՆ ՏԵՆԶՈԴԻՆԱՄՈԳՐԱՖԻԿԱԿԱՆ ՀԱՐԺԱԿԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԿՈՇՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Վարժություններ կատարելիս ծանրամարտիկներն ուժի փոփոխության բնութագրերի գրառման համար սովորաբար օգտագործում են տենզոսովիչներով առաձգական էլեմենտներ պարունակող տենզոդինամոգրաֆիկական հարթակ: Առաջարկված է առաձգական էլեմենտների կոշտությունների լավարկված որոշման եղանակ, որը հիմնված է հարթակի շարժման դիֆերենցիալ հավասարման լուծման և բարձրացվող բեռի նկատմամբ մարզիկի ուժի լավարկման վրա:

G.G. SHEKYAN, A.A. MELKONYAN EFFECTIVE RIGIDITY OF STRAIN DYNAMO MICROGRAPHY PLATFORM

To register and study variations of force characteristics in doing weight lifting exercises, strain dynamo micrography platforms containing elastic elements with bonded to them strain gauges are used. A method for defining optimal rigidity of elastic elements based on differential equation of platform motion and optimization of weightlifter efforts towards lifting the weight is proposed.