

Динамика ударного нагружения рабочего органа в устройствах для укладки бутылок

Создание надежных и прочных машин с минимальной массой связано с использованием достижений теории расчетов. Особенно важно это при проектировании высокопроизводительных машин, к которым относятся создаваемые в настоящее время устройства для укладки бутылок в контейнеры. В соответствии с производительностью линий розлива этот показатель для укладчиков составляет 6000..18000 бутылок в час.

В зависимости от вида перевозимой продукции назначается способ укладки. Например, перевозка минеральной воды осуществляется преимущественно в горизонтальном положении в контейнерах РЗ-ВТС-140, вмещающих по 140 бутылок.

Перевозки пива, продукции предприятий винодельческой, масложировой и др. промышленности осуществляется при вертикальной укладке бутылок.

Особенностью устройств для укладки бутылок в контейнеры является наличие рабочих органов, позволяющих осуществлять многоярусную укладку продукции. Достигается это либо за счет шагового перемещения в вертикальной плоскости контейнера с бутылками после укладки каждого слоя (машины Минского ПКТБ с ОП МТ БССР, Клайпедского филиала ВНИИТоргмаша), либо за счет рабочих органов, осуществляющих перемещение групп бутылок на различные уровни (укладчики Тбилисского КБ по контейнерным и пакетным перевозкам МПП СССР, Киевского технологического института пищевой промышленности (КТИЛИ) и др.). Приводы последней группы укладчиков имеют асинхронные электродвигатели, а перемещение захватных элементов для бутылок осуществляется посредством упругих связей. При этом конструктивное решение укладчиков предусматривает ударное взаимодействие между ведущей и ведомыми массами.

В устройстве для горизонтальной укладки бутылок в контейнеры 03П-18 конструкции КТИПП для уменьшения ударного взаимодействия установлен

противовес, уравнивающий ведомую массу. Выбор динамических параметров, обеспечивающий снижение ударной нагрузки рабочих органов укладчика произведен на основе аналитических исследований. Разработанная аналитическая модель может быть использована и для других случаев, которые могут быть приведены к физической модели привода, показанной на рисунке I.

Масса m_1 представляет собой приведенную массу составных элементов привода, а m_2 - массу укладочной головки. Через блок 3 посредством гибкой связи с жесткостью C_{23} масса m_2 соединяется с массой m_3 противовеса. Приведенная жесткость элементов привода и тяги обозначена C_{12} .

Предполагая, что $C_{23} \gg C_{12}$ ударное взаимодействие можно разбить на этапы.

На первом этапе тяга 1 входила в контакт с захватом 2 и при перемещении массы m_1 происходит нагружение упругого элемента с жесткостью C_{12} до величины, равной разности весов масс m_1 и m_2 . Учитывая жесткую характеристику асинхронного электродвигателя привода полагаем, что ведущая масса m_1 движется со скоростью $Y = const$. Тогда координата перемещения ведущей массы X_1 определяется по выражению:

$$X_1 = vt \quad (1)$$

Окончанию первого этапа соответствует

$$X_1 = \frac{(m_2 - m_3) * g}{C_{12}}, \quad (2)$$

где g - ускорение свободного падения.

На втором этапе начинают движение ведомые массы m_2 и m_3 .

Подбор масс m_2 и m_3 , приведенной жесткости C_{12} и скорости V должен производиться так, чтобы ускорение второй массы X_2 было меньше или равно g . В противном случае на каком-то интервале времени скорость второй массы X_2 станет больше скорости третьей массы X_3 , затем они выравниваются и наконец скорость X_3 станет больше X_2 . После этого произойдет ударное нагружение элемента C_{23} , которое передается массе m_2 .

При выполнении условий $\ddot{X}_2 \approx \ddot{X}_3 \leq g$ уравнение движения второй и третьей масс на второй этапе приводятся к виду:

$$\ddot{X}_2 m_2 = C_{12}(m_1 - m_2) + m_3(g - \ddot{X}_3) - m_2 g \quad (3)$$

$$X_2 = X_3$$

где X_2 и X_3 - координаты перемещения масс m_2 и m_3 .

С учетом уравнения (1) система (3) преобразуется к виду:

$$\ddot{X}_2 + \frac{C_{12}}{m_2+m_3} X_2 = \frac{C_{12}}{m_2+m_3} vt - \frac{m_3-m_2}{m_2+m_3} g \quad (4)$$

При начальных условиях: $t_0=0$; $(X_1)_0 = \frac{(m_2-m_3)}{C_{12}} g$; $(X_2)_0 = 0$; $(\dot{X}_1)_0 = v$; $X_2 = 0$

в результате решения уравнения (4), получим:

$$X_1 - X_2 = v \sqrt{\frac{m_2+m_3}{C_{12}}} * \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t + \frac{m_2-m_3}{C_{12}} g \quad (5)$$

Нагрузка P упругого органа с жесткостью C_{12} определяется по формуле

$$P = C_{12}(m_1 - m_2) = v \sqrt{(m_2 + m_3)C_{12}} * \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t + (m_2 - m_3)g \quad (6)$$

Найдем соотношения m_2, m_3, C_{12}, v , при которых будет выполняться условие

$\ddot{X}_2 \leq g$. Для этого решение уравнения (4) найдено в виде

$$X_2 = \frac{m_2-m_3}{C_{12}} g * \cos \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t - \frac{v}{\sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}}} \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t + vt - \frac{m_2-m_3}{C_{12}} g \quad (7)$$

$$\dot{X}_2 = v - v * \cos \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t - \frac{m_2-m_3}{C_{12}} g \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} * \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t \quad (8)$$

$$\ddot{X}_2 = v \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} * \sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t - \frac{m_2-m_3}{m_3+m_2} g * \cos \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t \quad (9)$$

Максимальное значение \ddot{X}_2 будет достигаться при условии, что

$$\sin \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t = 1 \quad (10)$$

Тогда $\cos \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}} t = 0$ и $g \geq \ddot{X}_2 = v \sqrt{\frac{C_{12}}{m_2+m_3}}$ (11)

Из выражения (11) получим $\frac{C_{12}}{m_2+m_3} \leq \frac{g^2}{v^2}$ (12)

На рисунке 2 приведена зависимость исходного соотношения параметров от скорости движения тяги при $m_2 = 50$ кг и $m_3 = 40$ кг.

Исходя из формулы (12), можно утверждать, что область допускаемых значений соотношения $\frac{C_{12}}{m_2+m_3}$ лежит ниже кривой.

При известных значениях масс m_2 и m_3 величина приведенной жесткости находится по выражению

$$C_{12} \leq \frac{g^2}{v^2} (m_2 + m_3) \quad (13)$$

Для укладчика КТИПП при $v = 0,3$ м/с значение жесткости

$$C_{12} \leq \frac{9,81^2}{0,3^2} (50 + 40) = 96236 \frac{H}{м}$$

Из уравнения (6) видно, что установка противовеса уменьшает статическую составляющую нагрузки и увеличивает динамическую составляющую, максимальное значение которой равно: $v \sqrt{C_{12}(m_2 + m_3)}$.

Найдем соотношение параметров, при которых установка противовеса будет целесообразной. На рис. 3 приведена зависимость между нагрузкой P упругого органа и соотношением масс $\kappa = \frac{m_3}{m_2}$ при m_2 в 50 кг и $V = 0,3$ м/с.

При $\kappa = 1$ когда ($m_2 = m_3$) максимальная нагрузка P равна динамической составляющей $P'_{дин}$

$$P = P'_{дин} = v \sqrt{C_{12}(m_2 + m_3)} = v \sqrt{2C_{12}m_2} \quad (14)$$

а при $\kappa = 0$ когда $m_3 = 0$ максимальная нагрузка

$$P = P_{дин} + P_{ст} = v\sqrt{m_2 C_{12}} + m_2 g \quad (15)$$

Приравняв значение $P'_{дин}$ и $(P_{дин} + P_{ст})$ получим

$$v\sqrt{2C_{12}m_2} = v\sqrt{m_2 C_{12}} + m_2 g \quad (16)$$

$$v\sqrt{\frac{C_{12}}{m_2}} \leq \frac{g}{\sqrt{2}-1} \quad (17)$$

При указанных параметрах m_2 и найдем

$$C_{12} = 306010 \frac{H}{m} \quad (18)$$

Выражение (17), таким образом, позволяет установить соотношение параметров v , C_{12} и m_2 , в котором целесообразна установка противовеса. Для указанного случая при $C_{12}=306010$ Н/м противовес не уменьшит ударную нагрузку. Сравнивая это значение с полученным ранее из условия $\ddot{X}_2 \leq g$ можно видеть, что приведенная жесткость не должна превышать 96236 Н/м.

Выводы

1. Получено решение по описанию ударного взаимодействия между ведущей и ведомой массами, когда ведомая масса частично или полностью уравновешена противовесом.
2. Разработана методика определения соотношения параметров m_2 , m_3 , C_{12} и v , при котором ударное взаимодействие между ведущей и ведомыми массами ограничивается вторым этапом.
3. Разработана методика определения соотношения между указанными параметрами, при которых целесообразна установка противовеса.

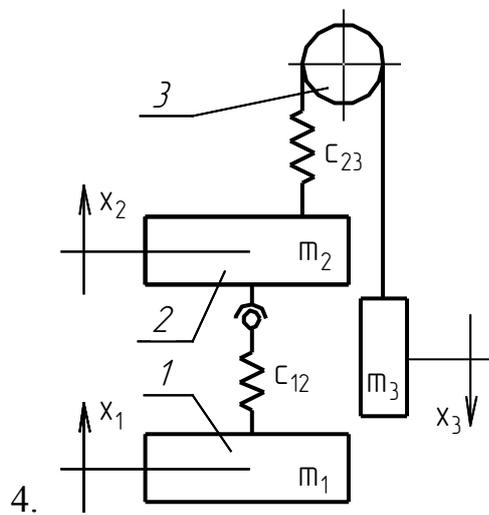


Рис. 1. Физическая модель привода укладчика

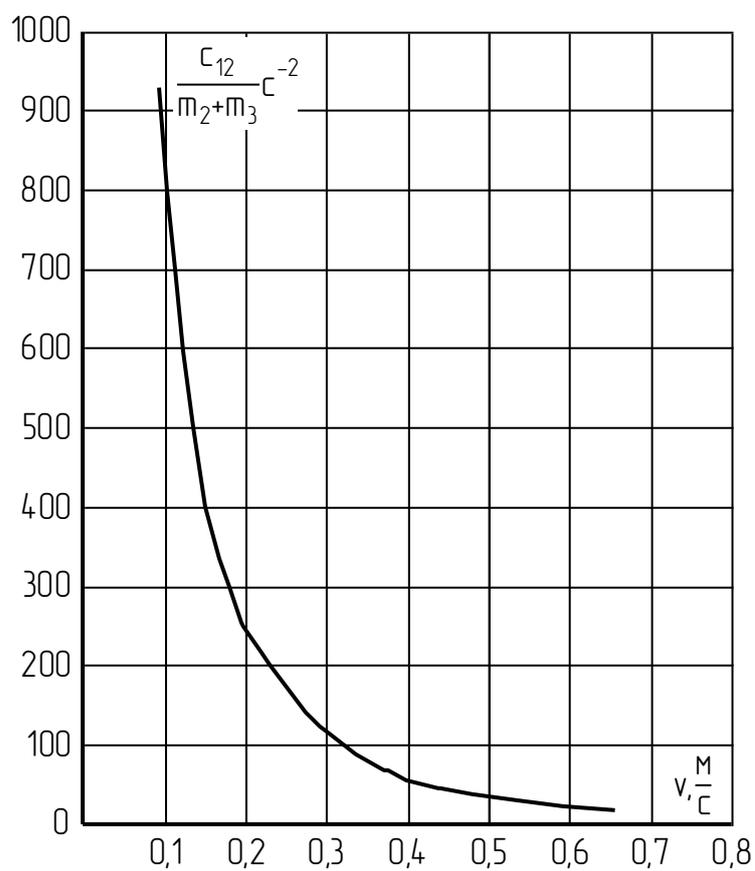


Рис. 2. Зависимость отношения $\frac{C_{12}}{m_2+m_3}$ от скорости v в м/с

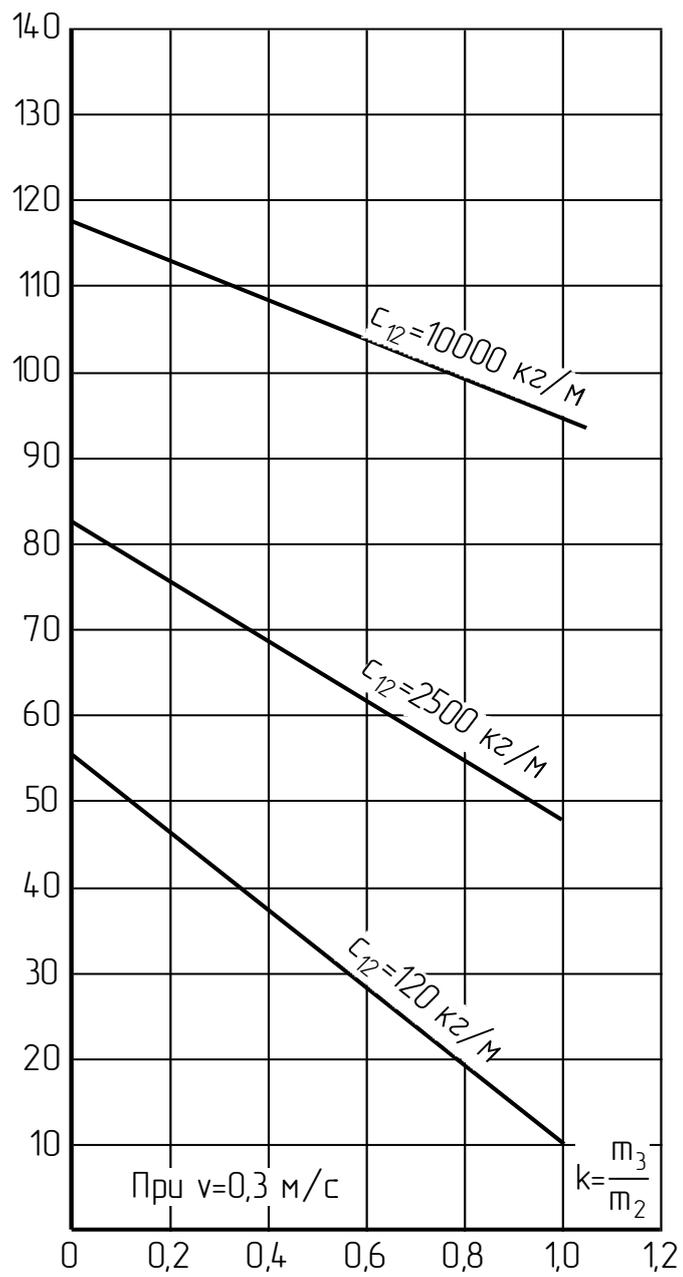


Рис. 3. Зависимость загрузки упругого органа то соотношения масс $k = \frac{m_3}{m_2}$