

**Гурвич Юрий Абрамович (Gurvich Yuriy Abramovich):** Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский Национальный Технический Университет, кандидат технических наук, доцент кафедры “Теоретическая механика”, доцент

**Бойко Борис Сергеевич (Boyko Boris Sergeevich):** Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский Национальный Технический Университет, кафедра “Теоретическая механика”

**Макаревич Андрей Петрович (Makarevich Andrey Petrovich):** Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский Национальный Технический Университет, кафедра “Теоретическая механика”

## **Методика определения зоны и запаса устойчивого скольжения ползуна кузнечно-прессового оборудования**

boykoboris@mail.ru  
andropm@yandex.ru

УДК 531.36

Задача определения значений параметров пар скольжения («ползун-направляющие», «поршень-цилиндр», «втулка-вал» и т.д.), а также величины зоны и запаса скольжения, в которых обеспечивается гарантированное скольжение одного тела по другому, является актуальной.

В данной работе сделана попытка разработать методику расчёта значений параметров, величины зоны и запаса гарантированного скольжения различных пар скольжения, в частности, пары скольжения: «ползун-направляющие».

Эта методика подходит как для «медленных» прессов, ползун которых движется с маленькой величиной ускорения – статика, так и для «быстрых» прессов (штамповочные и чеканные прессы, ползун которых движется с большим ускорением – динамика). При этом в качестве основы для расчётов параметров различных пар скольжения использована простейшая механико-математическая модель скольжения втулки по валу.

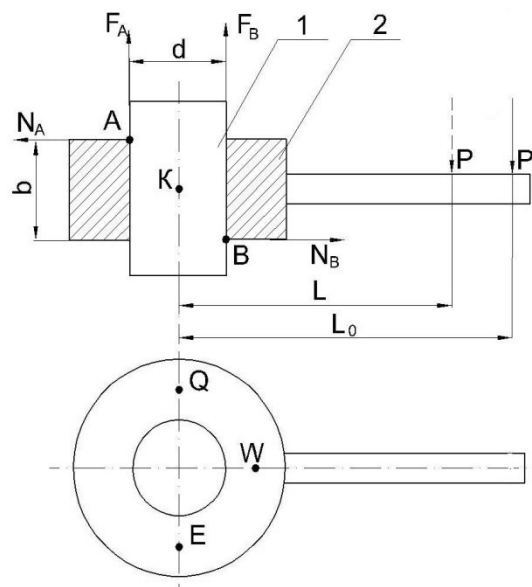
Постановка задачи. Рассмотрим равновесие невесомой втулки шириной  $b$ , жестко скрепленной с невесомым рычагом, к которому на расстоянии  $L_0$  приложена сила  $P$  (рис.1). Конструкция позволяет

перемещать силу  $P$  вдоль рычага. Коэффициент трения между втулкой и валом  $f$ . Требуется найти зависимость между параметрами пары скольжения «втулка-вал»:  $L_0$ ,  $b$ ,  $f$ ,  $P$ .

Из трёх линейно независимых уравнений равновесия получим:

$$L_0 = \frac{b}{2f} . \quad (1)$$

Знак равенства в (1) соответствует состоянию предельного равновесия втулки на валу или – границе устойчивости-неустойчивости равновесия втулки на валу (или скольжения втулки по валу). Малейшее изменение значения любого из параметров может привести к заклиниванию втулки на валу или, наоборот, к скольжению



ее по валу.

Рис. 1. Пара скольжения – «втулка – вал»: 1 – вал; 2 – невесомая втулка, которая жестко скреплена с невесомым рычагом.

Условием гарантированного скольжения втулки по валу является неравенство:

$$L < \frac{b}{2f} . \quad (2)$$

Неравенство (2) и есть то необходимое условие скольжения втулки по валу. Однако это условие не является достаточным. Для определения условия достаточности проведём исследование неравенства, изменяя значения параметров. Поочерёдно давая приращение величине каждого из параметров, проследим изменение величины левой и правой частей неравенства (2), а также и изменение величины запаса устойчивого скольжения.

Исследование условий достаточности выполним двумя способами (рис. 2).

1) При первом способе сила  $P$  в случаях А, Б, В, Г прикладывается в одном и том же месте рычага  $L = \text{const}$ , изменяются только параметры системы  $b, f$ .

2) При втором способе (случаи Д, Е) параметры системы  $b, f$  – постоянны, изменяется только расстояние  $L$ .

Величина запаса гарантированного скольжения  $W$  имеет вид:

$$W = \frac{L_0 - L}{L_0} \cdot 100\% . \quad (3)$$

Рассмотрим первый способ исследования достаточных условий.

А) Втулке шириной  $b$  дадим приращение  $+\Delta b$ , получим:

$$L_1 < (b + \Delta b) / 2f \Rightarrow L_1 < (b / 2f) + (\Delta b / 2f).$$

Зона скольжения увеличивается на  $\Delta b / 2f$ , за счёт смещения границы скольжения вправо, которой соответствует  $L_1 = (b / 2f) + (\Delta b / 2f)$ . Запас скольжения увеличивается.

Б) Втулке шириной  $b$  дадим приращение  $-\Delta b$ , получим:

$$L_2 < (b - \Delta b) / 2f \Rightarrow L_2 < (b / 2f) - (\Delta b / 2f).$$

Зона скольжения уменьшается на  $\Delta b / 2f$ , за счёт смещения границы скольжения влево, которой соответствует  $L_2 = (b / 2f) - (\Delta b / 2f)$ . Запас скольжения уменьшается.

В) Коэффициенту трения  $f$  дадим приращение  $+\Delta f$ .

При этом начальное положение, соответствует границе устойчивости-неустойчивости скольжения  $b / 2f$ , а конечное положение – новой границе скольжения  $b / 2(f + \Delta f)$ . Так как все параметры положительные, то разность между конечным и начальным положением – отрицательная:

$$\frac{b}{2(f + \Delta f)} - \frac{b}{2f} = - \frac{b \Delta f}{2f(f + \Delta f)}.$$

Поэтому зона скольжения уменьшится на  $b \Delta f / 2f(f + \Delta f)$ . Соответственно уменьшится и запас гарантированного скольжения.

Г) Рассмотрим разность конечного и начального положений при приращении  $-\Delta f$ .

$$\frac{b}{2(f - \Delta f)} - \frac{b}{2f} = \frac{b \Delta f}{2f(f - \Delta f)}.$$

Так как все параметры положительные, то разность между конечным и начальным положениями – положительная, т.е. зона скольжения увеличится на  $b \Delta f / 2f(f - \Delta f)$ . Соответственно увеличится и запас гарантированного скольжения.

Рассмотрим второй способ исследования достаточных условий.

Д) Расстоянию  $L$  от оси втулки до новой точки приложения силы  $P$  (которая на рис.1 изображена штриховой линией) дадим приращение  $-\Delta L$ , получим  $L - \Delta L < b / 2f$ .

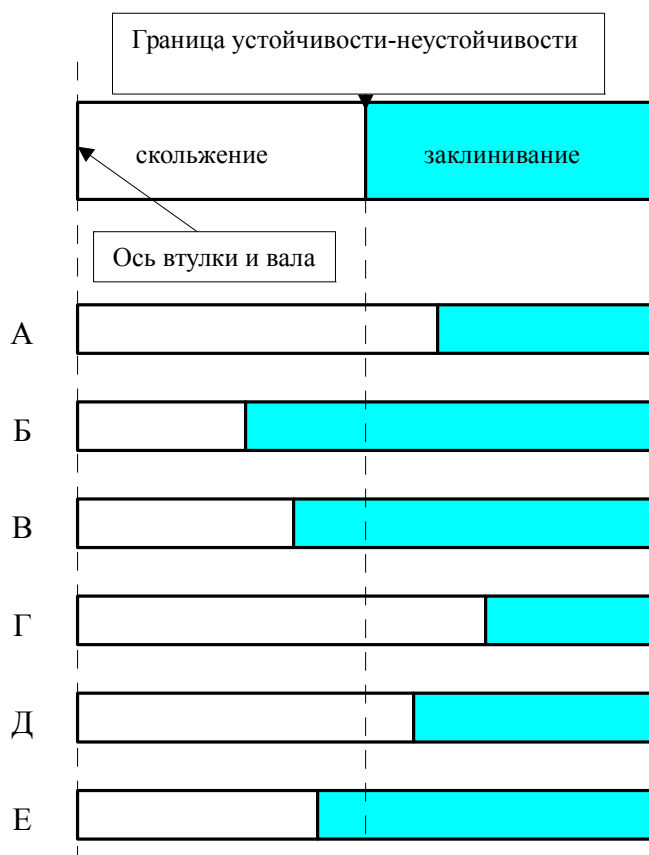


Рис. 2. Качественный анализ размеров зон устойчивости: при первом способе – случаи А, Б, В, Г; при втором способе – случаи Д, Е.

В этом случае разность  $L_0 - L$  увеличится. Следовательно, увеличится и величина запаса скольжения.

При  $L < b/2f + \Delta L$  (сила  $P$  не сдвигается со своего прежнего места) граница скольжения сдвинется вправо, что говорит об увеличении величины зоны и запаса гарантированного скольжения.

Е) Расстоянию от оси втулки до точки приложения силы  $P$  дадим приращение  $+\Delta L$ , получим  $L + \Delta L < b/2f$  (по аналогии с пунктом Д)).

При этом разность  $L_0 - L$  уменьшится, поэтому уменьшится и величина запаса скольжения.

При  $L < b/2f - \Delta L$  граница скольжения сдвинется влево. Поэтому уменьшится размер зоны и величина запаса гарантированного скольжения.

Если  $L > L_0$ , то величина запаса скольжения станет отрицательной, что соответствует заклиниванию втулки на валу.

Теперь рассмотрим решение задачи о скольжении ползуна прессы в направляющих.

Постановка задачи. К ползуну прессы в форме параллелепипеда весом  $P$  и шириной  $b$  через невесомую консоль на расстоянии  $C_0$  и  $L_0$  приложена сила  $Q$ , которую можно перемещать по консоли. Коэффициент трения между ползуном и направляющими  $f$  (все

остальные размеры показаны на рис.3). Требуется найти зависимость между параметрами пары скольжения «ползун-направляющие»:  $b$ ,  $d$ ,  $f$ ,  $h$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $C_0$ ,  $L_0$ .

Из шести линейно независимых уравнения равновесия для пространственной произвольной системы сил, приложенной к паре скольжения – «ползун-направляющие», в случае  $f_N = f_M = f$  получим

$$C_0 = \frac{\frac{P}{Q} + \frac{P}{Q}}{2f + \frac{d}{b}}, \quad L_0 = \frac{\frac{P}{Q} + \frac{P}{Q}}{2f + \frac{b}{d}}, \quad (4)$$

Малейшее изменение значения любого из параметров (4) может привести к заклиниванию или к скольжению ползуна.

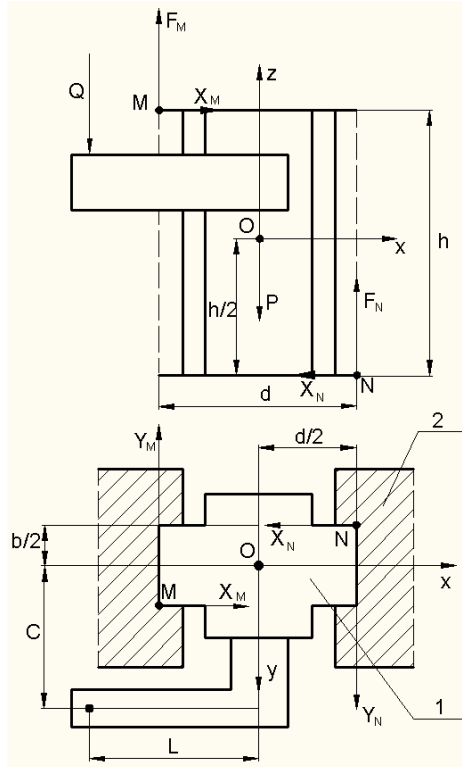


Рис. 3 – Вид спереди и сверху ползуна прессы в на-правляющих пары скольже-ния «ползун-направляющие»: 1 – ползун; 2 – направляющие;  $b$ ,  $d$ ,  $h$  – размеры ползуна;  $P$  – вес ползуна;  $Q$  – нагрузка, приложенная к ползуну, ко-торую можно перемещать по консоли в новые положения с текущими координатами  $C$ ,  $L$ .

Условия скольжения ползуна в направляющих имеют вид:

$$C = \frac{\frac{P}{Q} + \frac{P}{Q}}{2f + \frac{d}{b}}, \quad L = \frac{\frac{P}{Q} + \frac{P}{Q}}{2f + \frac{b}{d}}, \quad (5)$$

Для расчёта величины зоны (используются формулы (4) и запаса гарантированного скольжения ползуна пресса в направляющих в функции значений параметров  $b, d, h, f, P, Q, C, L$  необходимо использовать следующие формулы :

$$W_c = \frac{C \left( f + \frac{d}{b} \right)}{h + \frac{P}{Q}} \cdot 100\% \quad (6)$$

$$W_L = \frac{L \left( f + \frac{b}{d} \right)}{h + \frac{P}{Q}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Для определения условий равнопеременного скольжения ползуна пресса массой  $m$  в направляющих в динамике используем принцип Даламбера.

В результате получим формулы для замедленного (знак «+») и для ускоренного (знак «-») движений ползуна пресса в направляющих:

$$C < \frac{\left( f + \frac{P}{Q} \right) \frac{ma}{Q}}{2f + \frac{d}{b}}, \quad L < \frac{\left( f + \frac{P}{Q} \right) \frac{ma}{Q}}{2f + \frac{b}{d}} \quad (8)$$

Для ускоренного движения ползуна граница скольжения сместится влево, зона и запас гарантированного скольжения уменьшатся. Для замедленного движения ползуна всё наоборот – граница скольжения сместится вправо, зона и запас гарантированного скольжения увеличатся.

Проектирование ползуна пресса в динамике необходимо осуществлять по формулам (8) с учётом знака «-», т.е. по наиболее опасному варианту.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крагельский И.В. Трение и износ. М., «Машиностроение», 1968, – 415с.
2. Крагельский И.В., Щедров В.С., Развитие науки о трении. М., Изд-во АН СССР, 1956, – 280с.
3. Решетов Д.Н., Детали машин. М., 1961, – 489с.
4. Артоболевский И.И., Теория механизмов и машин. М., Изд-во «Наука», 1988, - 639с.
5. Анурьев И.В. Справочник конструктора-машиностроителя. М., «Машиностроение», 1979, – 730с.

