

пульты управления, что улучшает процесс контроля дозирования и впрыска топлива в камеру сгорания, повышая эффективность работы ДВС в целом;

- Применение ЭГ-насоса также позволяет значительно снизить металлоемкость конструкции и стоимость топливной системы ДВС, а также упростить ее техническое обслуживание.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что приведенные результаты научно-исследовательских работ, направленных на создание топливного насоса нового поколения, свидетельствуют (в рамках реализованных теоретических и экспериментальных исследований) о возможности эффективного использования разработанного ЭГ-насоса высокого давления в топливных системах современных дизелей, причем область его применения не ограничивается только двигателестроением, а имеет потенциал в других областях промышленности.

Литература

1. Грехов Л.В. Аккумуляторные топливные системы двигателей внутреннего сгорания типа Common Rail: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ, 2000, 64 с.
2. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением: Учебно-практическое пособие. М.: «Легион-Автодата», 2003, 176 с.
3. Заяц Ю.А., Голубев Д.С., Строков П.И. Состав системы топливоподачи дизеля с использованием электрогидравлического эффекта // Известия МГТУ «МАМИ», № 2(8), 2009, с. 93-102.
4. Патент РФ на изобретение №2270356 Способ создания высокого давления топлива, впрыскиваемого в камеры сгорания дизелей, и система топливоподачи для его осуществления. Оpubл. 20.02.2006.
5. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, ленингр. отд., 1986, 253 с. ил.

Моментная теория клина

д.т.н. проф. Мартынов В.К., Зверев А.И.
Университет машиностроения
8(495)223-05-23 zverev13@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены различные виды нагружения клина в процессе работы, рассмотрены силы, действующие на клин при различных видах нагружений, и предложена методика учета возникающих нагрузок.

Ключевые слова: клин, сила трения, приведенный коэффициент трения, скольжение, деформация, расчетная модель, эксцентриситет.

В технологическом оборудовании, станках, механизмах имеется целый ряд узлов, перемещаемых при работе по клиновым направляющим скольжения. Для их привода необходима информация по определению сил сопротивления перемещению, влиянию параметров клиновой пары.

В работе [1], названной пространственной теорией клина, по существу решалась лишь частная краевая задача на примере нагружения короткого клина. Не исследовалось расположение сдвигающей нагруженный клин силы для случая, продолжительного по длине контакта, пренебрегалось эксцентриситетом действия этой силы по отношению к силам трения, неправомерно оценивалось действие нормальных сил как результата изменения только контактных деформаций, излишне упрощенной была принята расчетная модель. Однако решение поставленной задачи имело большое прикладное значение, поэтому целесообразно продолжить начатое исследование и внести уточнения с тем, чтобы в общем случае рассмотреть действительную пространственную теорию нагружения клина, помещенного в клиновую канавку основания (рисунок 1а). При этом возможны два случая: первый – основание неподвижно, под действием осевой силы F сдвигается клин (рисунок 1б), второй – клин неподвижен, под действием осевой силы F сдвигается основание (рисунок 1в).

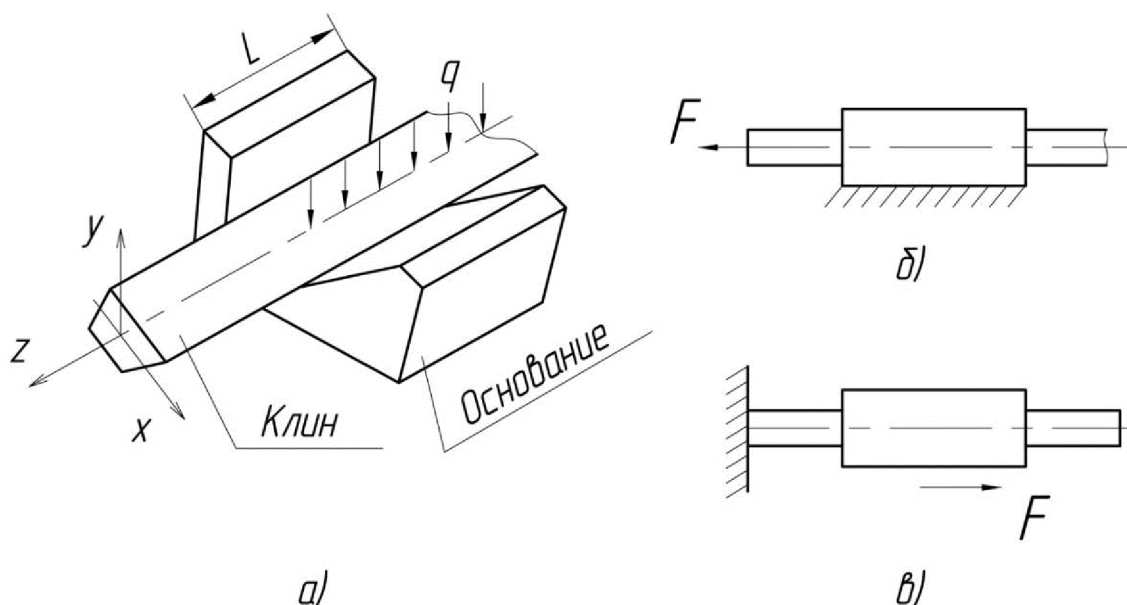


Рисунок 1 – Схемы работы клиновой пары

Рассмотрим предельный случай – полное осевое скольжение клина в канавке основания. При этом предполагаем клин как однородное тело, материал которого подчиняется закону Гука. Действие силы F рассматриваем со стороны реакции клина.

В поперечном сечении, т.е. плоскости XU , предполагаем, что точкой приложения равнодействующей сдвигающих сил является центр тяжести площади плоской фигуры (точка C_1 на рисунке 2).

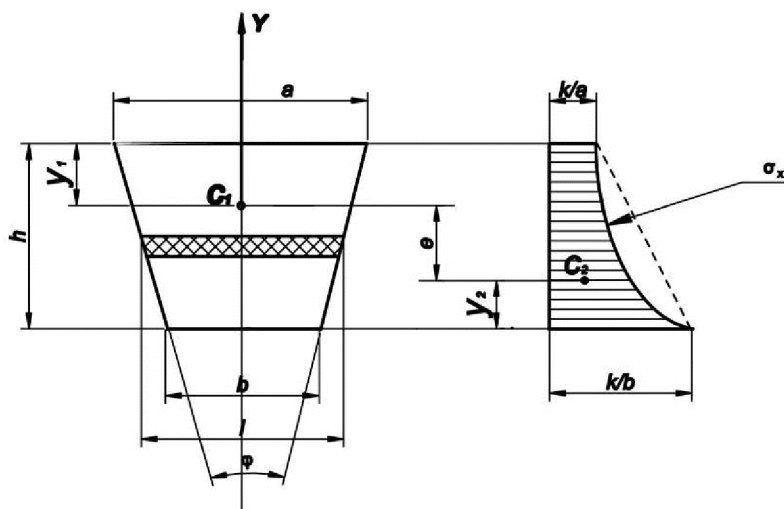


Рисунок 2- Расчетная схема

Учтем размеры сечения клина, указанные на рисунке 2. К ним, определяющим форму симметричной трапеции, относят длину любого промежуточного слоя l на расстоянии y от верхнего основания a

$$l = a - y \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \quad (1)$$

координату точки C_1 , отсчитываемую от верхнего основания a ,

$$y_1 = \frac{h}{3} \cdot \frac{(2 \cdot b + a)}{(a + b)}. \quad (2)$$

Под действием сил q (рисунок 1а), вдавливающих клин в канавку основания, происходит поперечное сжатие его слоев. Предположим, что форма клина при этом сохранится и аб-

сolutная деформация сжатия Δl слоев будет одинаковой по всей высоте сечения h . В результате напряжения сжатия σ_x при постоянстве модуля упругости E_x для клина как анизотропного тела могут быть определены следующим образом:

$$\Delta l = \frac{\sigma_x}{E_x} \cdot l, \quad (3)$$

тогда

$$\sigma_x \cdot l = \Delta l \cdot E_x = k = const, \quad (4)$$

т.е. имеем гиперболический закон изменения σ_x , показанный на рисунке 2 пунктирной линией:

$$\sigma_x = \frac{k}{a - 2 \cdot y \cdot \tan \frac{\varphi}{2}} \quad (5)$$

при $y = 0$; $\sigma_x = \frac{k}{a}$, а при $y = h$; $\sigma_x = \frac{k}{b}$.

Для упрощения дальнейших расчетов удобнее гиперболический закон линеаризовать (показан на рисунке 2 пунктиром), а в полученной трапеции определять координату центра тяжести y_2 , т.е. центр давления (точка C_2), от нижнего основания (рисунок 2) в аналогичном (1) виде:

$$y_2 = \frac{h}{3} \cdot \frac{2 \cdot \frac{k}{a} + \frac{k}{b}}{\frac{k}{a} + \frac{k}{b}}, \quad (6)$$

или после упрощения:

$$y_2 = \frac{h}{3} \cdot \frac{(2 \cdot b + a)}{(a + b)}. \quad (7)$$

Окончательно эксцентриситет e (рисунок 2) точек приложения равнодействующих сил составит:

$$e = h - y_1 - y_2 = \frac{h}{3} \cdot \frac{(a - b)}{(a + b)}. \quad (8)$$

Если учесть, что равнодействующая сил отпора материала клина сжатию F_x приложена в точке C_2 (рисунок 2), то она с учетом коэффициента трения определит и силу трения $F_{тр}$, препятствующую продольному сдвигу клина в канавке основания, причем направление этой силы всегда противоположно направлению скольжения.

Наличие эксцентриситета e создает пару сил или момент, изменяющий вдавливание клина от начального действия q (рисунок 1).

Для рисунка 1б, когда клин скользит в канавке неподвижного основания, сила трения $F_{тр}$ направлена против его скольжения (рисунок 3а), и создаваемый момент пары сил стремится дополнительно вдавить клин в канавку.

В противоположном случае (рисунок 1в), когда клин неподвижен, а скользит основание, направление сил меняется (рисунок 3б), и создаваемый момент стремится выдвинуть клин из канавки. Таким образом, действие момента искажает процесс начального вдавливания клина в канавку основания и требует отдельного изучения.

Выделим из клина элемент dz (рисунок 3). Проведем силовой анализ для случая полного скольжения клина в канавке основания (рисунок 4).

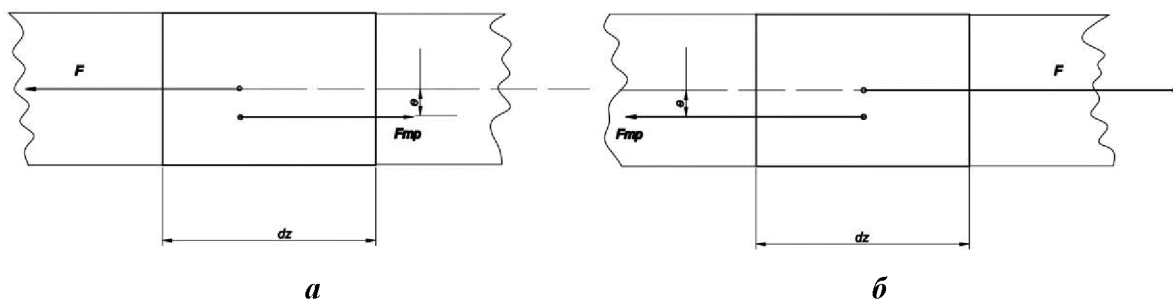


Рисунок 3-Схема действия пары сил

пл. XY

пл. YZ

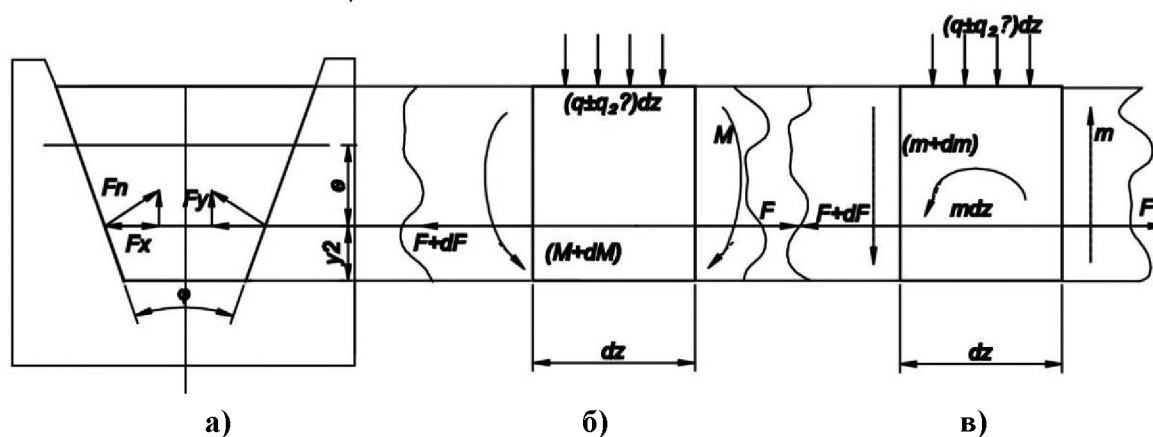


Рисунок 4 – Силовой анализ

На рисунке 4а показана схема действия сил на каждом из контактов клина. Из нее следует, что суммарная сила трения на элементе dz – $F_{тр}$ составит:

$$dF = dF_{тр} = 2 \cdot dF_n \cdot f = \frac{2 \cdot dF_y \cdot f}{\sin \frac{\varphi}{2}} = (q \pm q_m) \cdot dz \cdot f^*, \quad (9)$$

где: $f^* = \frac{f}{\sin \frac{\varphi}{2}}$ – приведенный коэффициент трения; (10)

q_m – интенсивность силы от действующего момента $dM = dF e$ (рисунок 4б).

Естественно, что в рассматриваемом случае суммарная в двух контактах сила трения равна сдвигающей клин силе F .

Для нахождения q_m используем преобразование Кельвина [2], дающего статически эквивалентную замену действия момента (рис. 4в), согласно которому $dM = -m \cdot dz$, где: m – фиктивная перерезывающая сила.

В результате:

$$q_m = -\frac{dm}{dz} = -\frac{d^2M}{dz^2} = \frac{d^2F}{d^2} \cdot e = 0. \quad (11)$$

Аналогичная зависимость приводится и в [3].

Возвращаясь к уравнению (9), с учетом (11) получаем исходное дифференциальное уравнение:

$$q \cdot f^* - \frac{d^2F}{dz^2} \cdot e \cdot f^* - \frac{dF}{dz} = 0. \quad (12)$$

Решение уравнения (12) проводим следующим образом: обозначим $\frac{dF}{dz} = v$ и подставим v в (12), тогда:

$$\pm \frac{dv}{dz} \cdot e \cdot f^* - v + q \cdot f^* = 0$$

или

$$\frac{d \frac{v}{q \cdot f^*}}{\frac{v}{q \cdot f^*} - 1} = -\frac{1}{e \cdot f^*} \cdot dz, \quad (13)$$

что после интегрирования приводит к уравнению:

$$\ln\left(\frac{v}{q \cdot f^*} - 1\right) - \ln C_1 = -\frac{z}{e \cdot f^*}, \quad (1)$$

где: $\ln C_1$ – константа интегрирования.

Проведя потенцирование, получаем:

$$C_1 \cdot \exp^{-\frac{z}{e \cdot f^*}} = \frac{v}{q \cdot f^*} - 1. \quad (14)$$

В начале контакта клина с основанием, т.е. при $z = 0$, сила F равна суммарной силе сопротивления движению F_1 . В то же время можно положить при $z = 0$ и $\frac{dF}{dz} = v = 0$. В итоге из (14) следует, что $C_1 = -1$, и тогда окончательно имеем:

$$v = q \cdot f^* \cdot \left(1 - \frac{1}{\exp^{\frac{z}{e \cdot f^*}}} \right) = \frac{dF}{dz}.$$

Интегрирование этого уравнения приводит к результату:

$$F_1 = q \cdot f^* \cdot \left[L + e \cdot f^* \cdot \left(1 - \exp^{-\frac{L}{e \cdot f^*}} \right) \right]. \quad (15)$$

Отсюда следует, что при $e = 0$ имеем $F_1 = q \cdot f^* \cdot L$.

Дополнительная роль момента при $e \neq 0$ оценивается прибавкой к F составляющей в скобках формулы (15), т.е. к увеличению силы сопротивления движению клина, характерному для исполнения, приведенного на рисунке 1б. В случае исполнения, приведенного на рисунке 1в, эта составляющая уменьшает силу сопротивления движению клина.

В настоящее время ведется подготовка эксперимента для практического подтверждения предложенной теории.

Литература

1. Вирабов Р.В. Пространственная теория клина и ее применение к коническим муфтам и фрикционным передачам. «Труды семинары по теории машин и механизмов». М: АН СССР, 1953 г., вып. 53, с. 20-46.
2. Пановко Я.Г. Механика деформируемого твердого тела. М. «Наука», 1985г., с. 287.
3. Тимошенко С.П., Гере Дж. Механика материалов. М. Изд. «Мир», 1976г., с. 670.