



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

Практикум по дисциплине

«Анализ предохранитель- ных пружинно-кулачковых муфт»

Авторы
Шишкарёв М.П.,
Гавриленко М.Д.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Для студентов 1 курса очной и заочной формы с нормативным сроком обучения по направлению 15.04.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Рассматриваются устройство и принцип действия предохранительных муфт с профильным замыканием. Приведены математические модели муфт, методика по оптимизации их характеристик, порядок выполнения практической работы и варианты заданий.

Авторы

д-р техн. наук, проф.каф.
«Металлорежущие станки и
инструменты»

Шишкарев М.П.

старший преподаватель каф.
«Металлорежущие станки и
инструменты»

Гавриленко М.Д.



Оглавление

Введение	4
1. Цель и задачи работы	4
2. Устройство и принцип действия предохранительных пружинно-кулачковых муфт.....	4
3. Уточненный расчет ППКМ.....	6
4. Выводы.....	15
5. Порядок выполнения работы.....	16
Контрольные вопросы	17
Литература	17
Приложение 1	18
Приложение 2.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Предохранительные муфты играют важную роль в современном машиностроении. Правильно рассчитанная и выбранная предохранительная муфта обеспечивает надежную защиту узлов и деталей приводов технологического оборудования от поломок, увеличивает ресурс его работы и оптимизирует массогабаритные параметры приводов. Кроме того, предохранительные пружинно-кулачковые муфты (ППКМ) при перегрузке издают характерный звук, сигнализирующий о необходимости своевременной остановки машины.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью практической работы является углубление знаний в области предохранительных муфт и приобретение навыков их анализа и расчета.

Задачи работы:

- ознакомление с принципом действия и устройством ППКМ;
- исследование влияния трения между кулачками ППКМ на стабильность величины предельного вращающего момента;
- исследование влияния параметров ППКМ на точность срабатывания.

2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ПРУЖИННО- КУЛАЧКОВЫХ МУФТ.

ППКМ состоит из двух полумуфт 1 и 2, имеющих на обращенных одна к другой торцевых поверхностях кулачки (рис. 1).

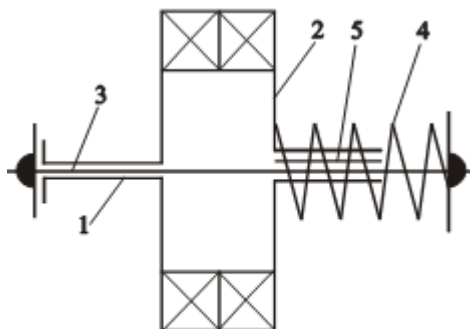


Рис. 1. Принципиальная схема пружинно-кулачковой предохранительной муфты

Геометрическая форма кулачков в плане может быть различной: трапецеидальной (рис. 2, а), треугольной (рис. 2, б). Кулачки одной полумуфты входят во впадины между кулачками другой полумуфты благодаря тому, что полумуфта 2 установлена на валу 3 подвижно в осевом направлении и поджата к другой пружинной 4 (группой пружин).

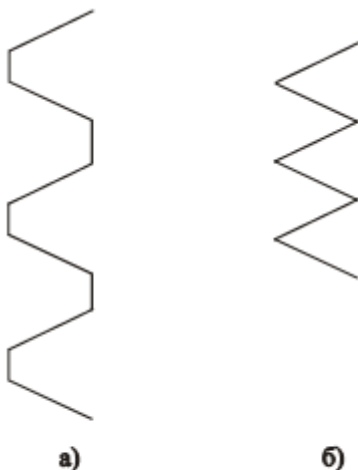


Рис. 2. Формы кулачков предохранительной пружинно-кулачковой муфты

В окружном направлении подвижная полумуфта 2 связана с валом 3 при помощи направляющей шпонки 5 либо шлицевого соединения.

При отсутствии перегрузки в приводе машины осевая сила между кулачками полумуфт 1 и 2 уравнивается силами пружин.

жины 4, силами трения между кулачками и силами трения между полумуфтой 2 и валом 3.

При наступлении перегрузки указанное осевое равновесие полумуфты 2 нарушается вследствие увеличения осевой силы между кулачками, в результате чего полумуфта перемещается вправо (по рис. 1) и кулачки полумуфт выходят из зацепления друг с другом, разъединяя ведущую и ведомую части привода.

3. УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ППКМ

При расчете нагрузочной способности ППКМ в технической и справочной литературе рекомендуется следующее выражение [1–3]:

$$T_{\text{н}} = \frac{F_{\text{п}} D}{2 \left[\text{tg}(\alpha - \varphi) - \frac{D}{d} f_1 \right]}, \quad (1)$$

где $T_{\text{н}}$ – номинальный вращающий момент ППКМ; $F_{\text{п}}$ – сила натяжения замыкающей пружины 4 (группы замыкающих пружин), устанавливаемая при настройке муфты; D – диаметр наружной поверхности кулачков полумуфт; d – диаметр посадочной поверхности подвижной полумуфты 2 на валу; α – угол скоса боковой (рабочей) поверхности кулачка; φ – угол трения между рабочими поверхностями кулачков; f_1 – коэффициент трения между подвижной полумуфтой 2 и направляющей шпонкой 5.

Величина номинального вращающего момента $T_{\text{н}}$ определяется в соответствии с номинальным моментом машины, в составе которой работает муфта [1]. При передаче номинального вращающего момента осевое перемещение подвижной полумуфты отсутствует, т. е. срабатывание муфты не происходит.

При возникновении внутренней или внешней (по отношению к муфте) перегрузки срабатывание муфты сопровождается осевым перемещением подвижной полумуфты и осевой деформацией замыкающей пружины (группы замыкающих пружин), что приводит к увеличению силы ее натяжения [1–3]. Величина вращающего момента, соответствующая выходу кулачков полумуфт из зацепления друг с другом, представляет предельный момент муфты.

К эксплуатационным показателям ППКМ, рассматриваемым ниже, относятся нагрузочная способность (номинальный и предельный вращающие моменты муфты) и точность срабатывания, характеризующая коэффициентом точности [1].

Поскольку величина коэффициента точности предохранительной муфты, в том числе и ППКМ, определяется на основе предельного вращающего момента [1–3], установим зависимость величины предельного вращающего момента ППКМ от ее параметров.

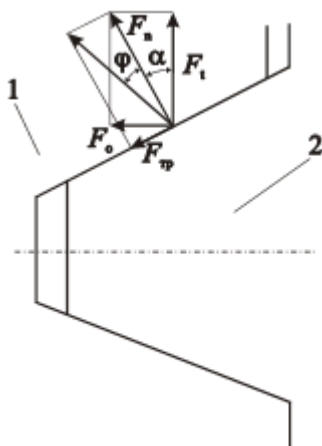


Рис. 3. Схема действия сил в зацеплении кулачков муфты

Рассмотрим рис. 3, на котором показаны в зацеплении друг с другом смежные кулачки полумуфт 1 и 2 и схема сил, действующих между кулачками при передаче номинального вращающего момента.

Приведа все силы, действующие между кулачками полумуфт, к точке, находящейся посередине линии контакта кулачков, запишем выражение для определения окружной (тангенциальной)

силы F_t :

$$F_t = \frac{2T_H}{D} \quad (2)$$

Все обозначения параметров, входящих в формулу (2), приведены выше.

Результирующая сила нормального давления, возникающая между кулачками, равна, с учетом формулы (2):

$$F_n = \frac{F_t}{\cos \alpha} = \frac{2T_H}{D \cos \alpha} \quad (3)$$

Действие силы нормального давления F_n вызывает появление на рабочих поверхностях кулачков силы трения $F_{тр}$, величина которой вычисляется по формуле:

$$F_{тр} = F_n f = \frac{2T_H f}{D \cos \alpha} = \frac{2T_H \operatorname{tg} \varphi}{D \cos \alpha}, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения между рабочими поверхностями кулачков.

При выводе формулы (4) использовано выражение (3), а также известное из работы [4] соотношение:

$$f = \operatorname{tg} \varphi.$$

Проекция силы трения на ось, параллельную оси вращения муфты, равна (см. рис. 3), с учетом формулы (4):

$$F_{тр.п} = F_{тр} \cos \alpha = \frac{2T_H \operatorname{tg} \varphi}{D} \quad (5)$$

Проекция силы нормального давления F_n на указанную ось дает осевую силу F_o , отжимающую в процессе работы ППКМ подвижную полумуфту, которая равна:

$$F_o = F_t \operatorname{tg} \alpha = \frac{2T_H \operatorname{tg} \alpha}{D} \quad (6)$$

Результирующая сила, действующая со стороны полумуфты 1 на полумуфту 2, подвижную в осевом направлении, равна, с учетом соотношений (5) и (6):

$$F = F_o - F_{тр.п} = \frac{2T_H}{D} (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi) \quad (7)$$

При передаче номинального вращающего момента сила F , действующая на подвижную полумуфту 2, уравновешивается си-

лой натяжения $F_{\text{п}}$ замыкающей пружины (группы замыкающих пружин) и силой трения $F_{\text{тр.1}}$ между полумуфтой и направляющей шпонкой, так что можно записать:

$$F = F_{\text{п}} + F_{\text{тр.1}} \quad (8)$$

Сила трения, возникающая между подвижной полумуфтой и направляющей шпонкой, зависит от величины вращающего момента, передаваемого муфтой, и вычисляется по формуле

$$F_{\text{тр.1}} = \frac{2T_{\text{н}}}{D} f_1 \quad (9)$$

Подставив в равенство (8) правые части соотношений (7) и (9) и решив полученное уравнение относительно неизвестного члена $T_{\text{н}}$, найдем:

$$T_{\text{н}} = \frac{F_{\text{п}} D}{2 \left(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi - \frac{D}{d} f_1 \right)}$$

(10)

Сравнительный анализ формул (1) и (10) показывает, что в формуле (1) содержится функция тангенса разности углов α и φ , а в формуле (10) – функция разности тангенсов указанных углов.

Для оценки влияния полученных результатов на величину вращающего момента $T_{\text{н}}$ обратимся к рис. 4, на котором кривые 1 и 2 отражают графики зависимостей (1) и (10). Графики построены по следующим исходным данным: $F_{\text{п}}=800$ Н, $D=0,15$ м, $\varphi=8^\circ$, $d=0,08$ м, $f_1=0,15$.

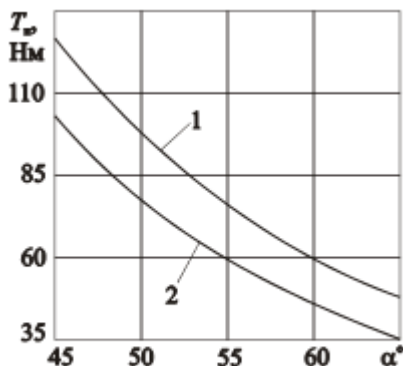


Рис. 4. Зависимость вращающего момента ППКМ от угла скоса кулачков

Графики показывают следующее:

- при всех значениях угла α (в пределах графика) величина вращающего момента T_n , вычисленная по формуле (10), меньше, чем величина T_n , вычисленная по формуле (1);
- с увеличением угла α разность между величинами вращающих моментов T_n , вычисленными по формулам (1) и (10) соответственно, уменьшается;
- как и для величины T_n , вычисленной по формуле (1), величина T_n , вычисленная по формуле (10), уменьшается по мере увеличения угла α .

Коэффициент точности предохранительной муфты, в том числе и ППКМ, определяется на основе предельных значений вращающего момента, которые она может передавать в условиях эксплуатации в зависимости от изменения какого-либо параметра муфты [1–3]. В ППКМ, как и в предохранительных фрикционных муфтах, таким параметром является коэффициент трения между рабочими поверхностями кулачков полумуфт.

Величина коэффициента трения изменяется в процессе эксплуатации муфты случайным образом, подчиняясь закону распределения Гаусса [5, 6]. Соответственно этому происходит изменение величины предельного вращающего момента.

Величина предельного вращающего момента ППКМ соответствует выходу из зацепления друг с другом кулачков полумуфт при срабатывании муфты. Поскольку в процессе расцепления ку-

лачков полумуфт в большинстве конструкций ППКМ происходит увеличение силы натяжения замыкающей пружины (группы замыкающих пружин), величина предельного вращающего момента превышает его номинальную величину.

Установление величины предельного вращающего момента (т. е. максимального) предохранительной муфты любого типа крайне важно с точки зрения получения оценки действующих в приводе машины максимальных перегрузок, вносимых муфтой, и обеспечения корректности при проведении расчетов деталей и узлов на прочность [7].

Зависимость для определения величины предельного вращающего момента ППКМ найдена в работе [1]. Формула для вычисления коэффициента точности муфты имеет следующий вид:

$$K_T = \frac{T_{H.\max} + \frac{zh}{1 - \frac{\operatorname{tg}\varphi_{\max}}{D \cos^2 \alpha} - \frac{f_1}{d}}}{T_{H.\min} + \frac{zh}{1 - \frac{\operatorname{tg}\varphi_{\min}}{D \cos^2 \alpha} - \frac{f_1}{d}}} \quad (11)$$

В формуле (11) $T_{H.\max}$, $T_{H.\min}$ – соответственно максимальная и минимальная величина вращающего момента ППКМ, Z – осевая жесткость замыкающей пружины (суммарная осевая жесткость группы замыкающих пружин), h – высота профиля кулачка, φ_{\max} и φ_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения угла трения, которые он может принимать в реальных условиях эксплуатации пружинно-кулачковой муфты [8].

Поскольку формула (11) получена в работе (4) на основе балансово-энергетического метода, она справедлива и для рассматриваемого случая

Графики зависимости величины коэффициента точности ППКМ от угла α показаны на рис. 5. Здесь кривая 1 отражает упомянутую зависимость для коэффициента точности, вычисленного по формуле (11), величины вращающих моментов $T_{H.\max}$ и

$T_{н.мин}$ в которой определялись по формуле (1). При построении кривой 2 также использовалась формула (11), однако величины $T_{н.мах}$ и $T_{н.мин}$ в ней определялись по формуле (10).

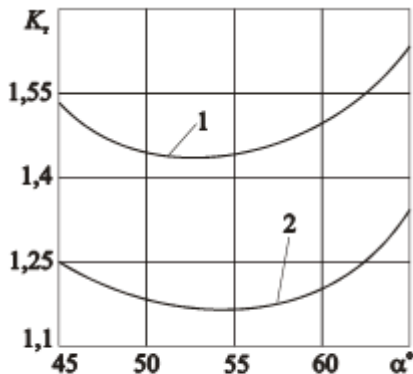


Рис. 5. Зависимость коэффициента точности пружинно-кулачковой муфты от угла скоса кулачков

При построении графиков приняты те же исходные данные, что и при построении кривых на рис. 2. Дополнительные параметры, включенные в формулу (11), имели следующие значения:

$z = 40$ Н/мм, $h = 12$ мм, $\Phi_{max} = 14^\circ$, $\Phi_{min} = 6^\circ$, что соответствовало величинам коэффициента трения $f_{max} \approx 0,25$, $f_{min} = 0,1$.

Указанные величины коэффициента трения соответствуют реальным значениям для пар трения «сталь – сталь» в условиях влияния ряда факторов случайного характера [8].

Графики, приведенные на рис. 5, показывают следующее:

- при всех величинах угла α величина коэффициента точности ППКМ, вычисленная по формуле (11), с учетом соотношения (10), меньше, чем величина коэффициента точности, вычисленная по указанной формуле, с учетом выражения (1);

- кривая 2 имеет (в пределах графика) точку минимума, соответствующую величине угла $\alpha \approx 54^\circ$;

- меньшие значения коэффициент точности муфты имеет при величинах $\alpha < 54^\circ$; при увеличении угла α наблюдается существенный рост величины коэффициента точности;

- минимумы функции (11), вычисленной с учетом формул (1) и (10), не совпадают по аргументу α : область минимума кривой 2 смещена в сторону больших значений угла α по отноше-

нию к области минимума кривой 1.

Исследуем влияние величины отношения D/d на точность срабатывания ППКМ, с учетом полученной новой зависимости между параметрами T_H и D/d .

Как и выше, воспользуемся при исследовании графическим способом. Зададимся при построении графика $K_T(D/d)$ следующими величинами отношения D/d : 0,14/0,07; 0,18/0,072; 0,21/0,07; 0,25/0,071; 0,3/0,075. Принятые отношения соответствуют величинам 2; 2,5; 3; 3,5; 4, которые используются в практике расчета и конструирования ППКМ [1]. Величины остальных параметров приняты при построении графиков теми же, что и выше.

Кривые 1 и 2, изображенные на рис. 6 (соответственно коэффициенты точности ППКМ, вычисленные по формуле (11)) с учетом формул (1) и (10), построены при оптимальных величинах угла α . Согласно рис. 5, это значения $\alpha \approx 52^\circ$ и $\alpha \approx 54^\circ$.

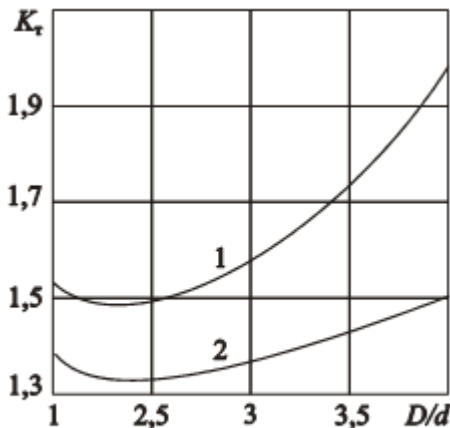


Рис. 6. Зависимость коэффициента точности ППКМ от величины отношения D/d

Графики показывают следующее:

- при всех величинах отношения D/d (в пределах рисунка) величина коэффициента точности ППКМ, вычисленная с учетом формулы (1), больше величины коэффициента точности, вычисленной с использованием формулы (10);

- при увеличении отношения D/d точность срабатывания ППКМ уменьшается.

Сопоставление величин коэффициента точности по графикам, показанным на рис. 5 и на рис. 6, свидетельствует о том, что ППКМ, с точки зрения точности срабатывания, весьма чувствительна к изменениям величины отношения D/d . Увеличение отношения D/d от величины 1,875, что соответствует величине коэффициента точности $K_T=1,37$, до $D/d=3,5$ приводит к росту величины коэффициента точности до $K_T=1,45$. Далее увеличение отношения D/d не приводит к столь значительному росту величины коэффициента точности.

Кроме того, из рис. 6 следует, что кривые 1 и 2 имеют точки минимума, примерно соответствующие значениям отношения D/d , полученным по рис. 5. Следовательно, при определенных конкретных значениях параметров ППКМ (кроме параметров D и d) существует величина отношения D/d , при которой муфта обладает наибольшей точностью срабатывания.

Полученный результат позволяет создать параметрический ряд конструкций ППКМ, с помощью которого можно проектировать муфты, обладающие максимальной точностью срабатывания при различной нагрузочной способности. Для этого следует, варьируя, по мере необходимости, величины параметров D и d , сохранять неизменной величину их отношения, вычисленную исходя из условия минимума величины коэффициента точности ППКМ.

В связи с тем, что в настоящей работе получена зависимость по определению нагрузочной способности ППКМ, необходимо исследовать влияние величины угла α на точность срабатывания муфты в условиях варьирования величины отношения D/d .

Используем принятые выше значения отношения D/d и величины угла α , а также остальные параметры ППКМ для построения серии графиков зависимости $K_T(D/d)$. На рис. 7 показаны графики этой зависимости (кривые 1–5, построенные при значениях угла α , равных соответственно 45°; 50°; 55°; 60°; 65°).

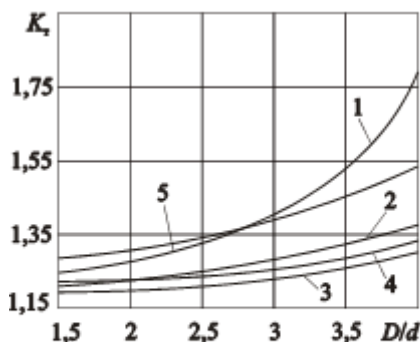


Рис. 7. Зависимости $K_z(D/d)$ при различных углах скоса кулачков пружинно-кулачковой муфты

Графики показывают следующее:

- с увеличением отношения D/d коэффициент точности ППКМ возрастает: это характерно для всех значений угла α , указанных выше;

- с увеличением угла α (примерно до значения $\alpha \approx 55^\circ$) происходит сначала уменьшение величины коэффициента точности, затем – ее рост: это характерно для всех величин отношения D/d , указанных выше;

- при найденном выше оптимальном значении угла α коэффициент точности ППКМ минимален для всех величин отношения D/d (кривая 3).

Следовательно, найденные значения угла α ($\approx 54^\circ$) и отношения D/d ($\approx 1,8$) являются необходимыми и достаточными для обеспечения минимальной величины коэффициента точности ППКМ, что следует учитывать при их расчетах и конструировании.

4. ВЫВОДЫ

1. Уточненная формула для определения величины номинального вращающего момента ППКМ, полученная на основе анализа всех действующих сил, приложенных к подвижной полумуфте, содержит, в отличие от существующей аналогичной формулы, функцию разности тангенсов угла скоса боковой (рабочей) поверхности кулачка полумуфты и угла трения между рабочими поверхностями кулачков полумуфт.

2. С учетом полученной уточненной формулы, величина номинального вращающего момента муфты меньше, чем ве-

личина, вычисленная по существующей формуле, при всех значениях угла скоса боковой поверхности кулачков полумуфт.

3. Точность срабатывания ППКМ, с учетом полученной новой зависимости, выше, чем точность срабатывания, вычисленная на основе существующей зависимости.

4. Существует единственное оптимальное значение угла скоса боковой поверхности кулачков полумуфт, при котором ППКМ обладает наибольшей точностью срабатывания. Указанное оптимальное значение зависит от конкретных конструктивных параметров муфты.

5. Существует единственное оптимальное значение отношения величины внешнего диаметра кулачков полумуфт и величины диаметра центрального посадочного отверстия подвижной полумуфты, при котором точность срабатывания муфты наибольшая, с учетом указанного оптимального значения угла скоса боковой поверхности кулачка полумуфты.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Анализ точности срабатывания ППКМ включает следующие действия.

3.1. По формуле (11), согласно данным варианта задачи (приложение 1), построить графики функции $K_T(\alpha)$. Значения угла α принимать из интервала $40^0 \dots 70^0$, $f_1 = 0,15$.

3.2. Произвести анализ графиков с целью установления варианта ППКМ с наибольшей точностью срабатывания.

3.3. Объяснить причины появления минимума функции $K_T(\alpha)$.

3.4. Выбрав вариант ППКМ, обладающий наибольшей точностью срабатывания, исследовать влияние величин z , h и D на точность срабатывания муфты. Для этого построить графики функций $K_T(z)$, $K_T(h)$ и $K_T(D)$, используя данные варианта задачи (приложение 2).

3.5. Произвести анализ графиков с целью установления характера влияния перечисленных параметров ППКМ на точность срабатывания.

3.6. Изложить в письменной форме результаты анализа и представить работу на защиту, включив в нее выполненные расчеты, графики и выводы по работе.

3.7. Ответить на 1–2 контрольных вопроса из приведенного

ниже списка.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

к лабораторно-практической работе на тему

«Анализ предохранительных пружинно-кулачковых муфт»

1. Что такое точность срабатывания ППКМ? Каким показателем она характеризуется?
2. Какие факторы влияют на точность срабатывания ППКМ?
3. Почему ППКМ применяют на практике при относительно невысоких частотах вращения?
4. Как влияет величина угла α на предельное значение вращающего момента ППКМ, если величина силы F_{Π} постоянная?
5. Перечислите основные недостатки ППКМ.
6. Какие факторы влияют на ограничение величины h снизу и сверху?

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков В.С., Барбаш И.Д, Ряховский О.А. Справочник по муфтам. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1974. – 352 с.
2. Тепинкичиев В.К. Предохранительные устройства от перегрузки станков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 112 с.
3. Дьяченко С.К., Киркач Н.Ф. Предохранительные муфты. – Киев: Гостехиздат УССР, 1962. – 122 с.
4. Бутенин Н.В., Лунц. Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. В 2-х т. Т. 1: Статика и кинематика. – 4-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 240 с.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1977. – 479 с.
6. Добровольский В.А. и др. Детали машин. Учеб. для машиностроит. Вузов / В.А. Добровольский, К.И. Заблонский, С.Л. Мак, А.С. Радчик, Л.Б. Эрлих. – М.: Машиностроение, 1972. – 503 с.
7. Проектирование механических передач / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 558 с.
8. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. –

М.: Машгиз, 1962. – 220 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Вариант	φ_{\min} , град	φ_{\max} , град	z , Н/мм	h , мм	D , м	d , м	F_{Π} , Н
1	6	14	20	8	0,12	0,07	700
2			35	10	0,10	0,08	800
3			40	12	0,16	0,09	700
4			15	9	0,15	0,07	650
5			25	11	0,13	0,05	720
6			20	10	0,14	0,08	770
7			30	12	0,11	0,06	750
8			35	8	0,12	0,07	810
9			40	11	0,15	0,09	600
10			25	10	0,14	0,08	760

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Вариант	z , Н/мм	h , мм	D , м
1	10...50	6...12	0,10...0,15
2	20...70		0,12...0,17
3	15...70		0,11...0,15

4	10...60		0,12...0,18
5	20...80		0,10...0,16
6	10...60		0,10...0,18
7	15...55		0,12...0,18
8	10...45		0,12...0,17
9	20...60		0,10...0,16
10	15...60		0,10...0,15