

**ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА**  
**ВИНТОВОЕ УСТРОЙСТВО.**  
**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Методические указания к самостоятельной работе  
для студентов всех направлений подготовки бакалавриата  
и специальностей*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**2019**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра механики

**ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА**  
**ВИНТОВОЕ УСТРОЙСТВО.**  
**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Методические указания к самостоятельной работе  
для студентов всех направлений подготовки бакалавриата  
и специальностей*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019

УДК 621.81 (073)

**ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА. Винтовое устройство. Расчет и проектирование:** Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.В. Большунов, А.Ю. Кузькин*. СПб, 2019. 44 с.

Даны цель и задачи работы, рассмотрена методика расчета и проектирования передачи винт-гайка в силовых устройствах, приведены индивидуальные задания для самостоятельной работы студентов.

Методические указания предназначены для студентов всех направлений подготовки бакалавриата и специальностей, а также для самостоятельной работы студентов, изучающих дисциплины «Механика», «Техническая механика», «Теоретическая и прикладная механика».

Научный редактор проф. *В.Л. Трушко*

Рецензент проф. *А.А. Тихонов* (Санкт-Петербургский государственный университет)

## **ВВЕДЕНИЕ**

Целью работы «Винтовое устройство. Расчет и проектирование» является закрепление на практике теоретических знаний, полученных на лекциях, и приобретение навыков и умений в области конструирования деталей машин.

При выполнении этой работы студенты учатся анализировать процесс работы механизма, понимать взаимодействие его частей. Представляя себе как конструкцию механизма в целом, так и силовое взаимодействие его отдельных деталей, студент учится переходить от реального механизма к его расчётной схеме. При этом он приобретает навыки выполнения проектных и проверочных расчётов по различным критериям работоспособности и умения пользоваться справочной литературой и оформлять конструкторскую документацию.

Навыки и умения, полученные при выполнении работы, в дальнейшем способствуют успешному решению студентами различных инженерно-технических задач.

### **1. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ**

Работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка включает в себя титульный лист, задание на выполнение работы с изображением структурной схемы устройства, оглавление, введение, текстовую часть и список использованных источников.

Текст пояснительной записки содержит расчёты основных элементов устройства: грузового винта, гайки, рукоятки, корпуса.

Все технические решения и расчёты должны быть обоснованы соответствующими расчётными схемами.

Графическая часть работы включает:

1. Сборочный чертёж винтового устройства (формат А2).
2. Спецификация к сборочному чертежу (формат А4).

Пояснительная записка и графическая часть работы должны быть оформлены в соответствии с требованиями ЕСКД и требованиями СПГУ к оформлению курсовых проектов и расчётно-графических работ.

## **2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ**

Последовательность выполнения расчётно-графической работы следующая:

- детальное ознакомление по справочникам конструктора, атласам деталей машин с устройством механизмов, подобных тому, который предстоит проектировать. Процесс ознакомления включает изучение принципа работы и устройства как всей конструкции, так и её отдельных деталей;

- на основании анализа рассмотренных конструкций решается вопрос об устройстве проектируемого механизма и выполняется его эскиз, на котором проставляются буквенные обозначения всех размеров, подлежащих определению в процессе конструирования;

- выполняются проектные и проверочные расчёты передачи, основанные на критериях её работоспособности;

- разрабатывается сборочный чертёж изделия с выполнением по мере необходимости проектных и проверочных расчётов различных деталей и их элементов. Любые расчёты сопровождаются составлением необходимых расчётных схем и эскизов;

- по сборочному чертежу составляется спецификация изделия;

- оформляется пояснительная записка.

## **3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕРЕДАЧЕ**

Передача винт-гайка, благодаря своим свойствам – малым габаритам и весу, простоте конструкции и изготовления, большому выигрышу в силе, надёжности в работе – нашла применение в различных типах машин. Примерами могут служить винтовые прессы, домкраты, съёмники, стяжки, струбины, устройства, где необходимо преобразование вращательного движения в поступательное и наоборот. Недостатком передачи является низкий к.п.д.

В силовых передачах винт-гайка применяется при одностороннем нагружении винта – упорная резьба (табл. П1), а при реверсивном, двустороннем нагружении – трапецеидальная (табл. П2). Эти резьбы позволяют создавать механизмы с большим к.п.д. чем метрическая резьба.

Метрическую резьбу (табл. ПЗ) применяют для передач, у которых к.п.д. не имеет существенного значения, а также для особо точных передач приборов.

Параметры всех названных резьб стандартизированы.

Кроме этого, при единичном или мелкосерийном производстве в передаче винт-гайка может применяться резьба с прямоугольным профилем. Её параметры не стандартизированы.

Винт и гайка прежде всего должны отвечать критериям прочности и износостойкости. Для понижения потерь на трение и улучшения прирабатываемости для кинематической пары винт-гайка применяют сочетание материалов, представляющих собой антифрикционную пару. Винты, не подвергаемые термообработке, рекомендуется выполнять из сталей Ст4, Ст5, 40, 45, 50, а винты закалённые - из сталей 65Г, 40Х и других. Для изготовления гаек при малых скоростях скольжения в передаче применяют без- или малооловянистые бронзы, а также антифрикционные чугуны. При больших скоростях скольжения – оловянистые бронзы.

#### **4. КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПЕРЕДАЧИ**

Критериями работоспособности передачи являются:

1. Износ (главная причина выхода из строя).
2. Выполнение условия самоторможения в резьбе.
3. Прочность тела винта и гайки.
4. Устойчивости винта (для винтов, работающих на сжатие).

В связи с этим порядок расчёта передачи следующий:

1. Из условия износостойкости определяют параметры резьбы передачи.
2. Для выбранной резьбы проверяют выполнение условия самоторможения.
3. Проверяют прочность тела винта и гайки.
4. Для длинных винтов, работающих на сжатие, проводят проверку на устойчивость.

## 5. ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЁТ ПЕРЕДАЧИ ИЗ УСЛОВИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Условие обеспечения достаточной износостойкости записывается в виде:

$$q \leq [q] . \quad (1)$$

где  $q$  - давление (напряжение смятия) на рабочей поверхности витков резьбы;  $[q]$  – допускаемое давление на рабочей поверхности витков резьбы (табл. 1).

Таблица 1

Значения допускаемого давления  $[q]$  в резьбе передачи винт-гайка

| Материалы винта и гайки  | $[q]$ , МПа |
|--|-------------|
| Сталь закалённая – бронза оловянистая                                | 10...13     |
| Сталь незакалённая – бронза оловянистая                              | 8...10      |
| Сталь закалённая – бронза безоловянистая или антифрикционный чугун   | 7...9       |
| Сталь незакалённая – бронза безоловянистая или антифрикционный чугун | 6...7       |
| Сталь незакалённая – серый чугун                                     | 4...5       |
| Сталь – сталь  | 14...16     |

Если пренебречь углом наклона рабочей стороны резьбы и предположить, что давление распределяется равномерно по виткам, предельное условие износостойкости резьбы запишется следующим образом:

$$q = \frac{F}{\pi \cdot z \cdot H_1 \cdot d_2} \leq [q] , \quad (2)$$

где  $F$  – осевая сила, действующая на передачу, Н;  $z$  – число витков резьбы гайки;  $H_1$  – рабочая высота витка резьбы, мм;  $d_2$  – средний диаметр резьбы, мм.

Три параметра в знаменателе этого выражения, а именно,  $z$ ,  $H_1$  и  $d_2$ , являются неизвестными. Они находятся следующим образом. Задаются коэффициентом высоты гайки -  $\psi_H = H_1/d_2$ , где  $H_1$  – высота гайки, и коэффициентом высоты резьбы  $\xi_{H1} = H_1/P$ , где  $P$  – шаг

резьбы. Число витков резьбы выражают через высоту гайки и шаг резьбы  $z = H_{\Gamma}/P$ .

Подставляя полученные уравнения в (2), находят зависимость для среднего диаметра резьбы:

$$d_2' \geq \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \xi_{H_1} \cdot \psi_H \cdot [q]}} \quad (3)$$

Значения коэффициента высоты резьбы  $\xi_{H_1}$  приведены в таблице 2.

Коэффициент высоты гайки для неразъемных гаек принимают  $\psi_H = 1,2 \dots 2,5$ , для разъемных –  $\psi_H = 2,5 \dots 3,5$ , большие значения – для резьб меньшего диаметра.

Таблица 2

Значения коэффициента высоты резьбы и угла наклона рабочей стороны профиля резьбы

| Тип резьбы      | Коэффициент высоты резьбы $\xi_{H_1}$ | Угол наклона рабочей стороны резьбы $\alpha$ , градусы |
|-----------------|---------------------------------------|--|
| Упорная         | 0,75                                  | 3  |
| Трапецеидальная | 0,5                                   | 15   |
| Метрическая     | 0,54                                  | 30   |

Полученное при расчёте значение  $d_2'$  округляют до стандартного для соответствующего типа резьбы по таблицам П1, П2, П3. По этим же таблицам находят остальные параметры принятой резьбы.

Определяют высоту гайки:

$$H_{\Gamma} = \psi_H \cdot d_2' \quad (4)$$

и округляют полученную величину до значения из ряда Ra40 (табл. П5).

Определяют число витков резьбы на гайке и проверяют условие:

$$z = \frac{H_{\Gamma}}{P} \leq [z] \quad (5)$$



где  $[z] = 10 \dots 12$  – предельно допустимое число витков, обусловленное неравномерностью распределения нагрузки по виткам гайки.

Если условие  $z \leq [z]$  не выполняется, пересматривают ранее принятые основные параметры резьбовой пары с целью выполнения условия износостойкости.

## 6. ПРОВЕРКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСЛОВИЯ САМОТОРМОЖЕНИЯ В РЕЗЬБЕ

Проверка выполнения условия самоторможения в резьбе сводится к проверке выполнения неравенства:

$$\rho' > \gamma \quad (6)$$

где  $\rho'$  - приведённый угол трения в резьбе:

$$\rho' = \arctg \frac{f}{\cos \alpha}, \quad (7)$$

$\alpha$  - угол наклона рабочей стороны резьбы (табл. 2);  $f$  – коэффициент трения в резьбе (табл. 3);  $\gamma$  - угол подъёма винтовой линии по среднему диаметру:

$$\gamma = \arctg \frac{P}{\pi d_2}. \quad (8)$$

Таблица 3

Значения коэффициента трения  $f$  в элементах проектируемого механизма

| Материалы пары трения | Значение коэффициента трения |              |                         |
|-----------------------|------------------------------|--------------|-------------------------|
|                       | Винтовая пара                | Плоская пята | Упорный шарикоподшипник |
| Сталь – бронза        | 0,15...0,17                  | 0,20...0,22  | 0,01                    |
| Сталь – чугун         | 0,17...0,20                  | 0,22...0,25  |                         |
| Сталь - сталь         | 0,20...0,25                  | 0,30...0,35  |                         |

## 7. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ВИНТА

Принятые размеры винта должны обеспечивать его прочность и устойчивость (при действии сжимающего осевого усилия). При ручном приводе, когда число циклов перемен напряжений за весь срок службы не велико, можно ограничиться проверкой статической прочности винта. Схема нагружения винта и гайки показана на рисунке 1.

Проверка прочности винта начинается с составления расчётной схемы и построения эпюр осевых сил и крутящих моментов, действующих в поперечных сечениях винта.

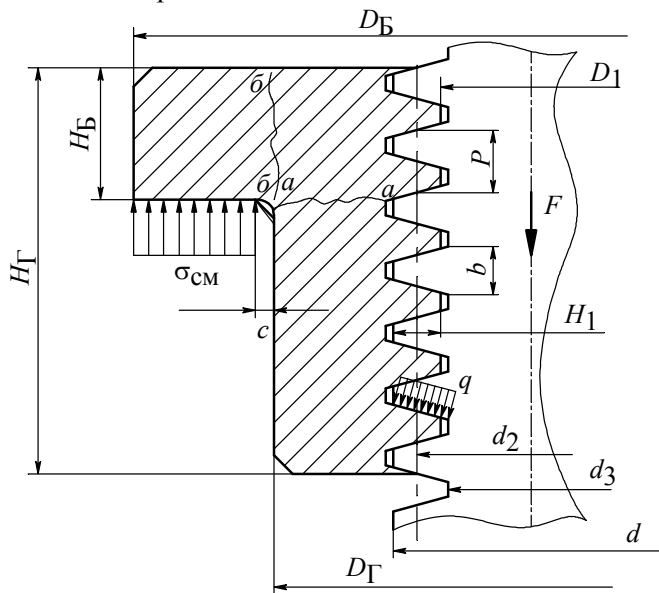


Рис. 1. Схема нагружения винта и гайки

Стержень винта нагружен осевой силой и вращающим моментом. На рисунке 2 для примера показаны расчётные схемы и эпюры распределения внутренних усилий по поперечным сечениям винта для домкрата и прессы. Там же отмечены опасные сечения винтов (сечение А-А).

Кроме внешней осевой силы  $F$ , указанной в задании, и вращающего момента, создаваемого рабочим, на винт действуют моменты трения в резьбе и моменты трения на рабочих торцах винта.

Момент трения в резьбе:

$$T_p = F \cdot \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\gamma + \rho'). \quad (9)$$

Момент трения на торце винта зависит от конструкции торцевой опоры и находится по формулам, представленным в таблице 4.

Условие прочности винта с использованием четвёртой теории прочности имеет вид:

$$\sigma_{\text{эKB}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma_p] \quad (10)$$

где  $[\sigma_p]$  - допускаемое напряжение растяжения,  $[\sigma_p] = \sigma_T/3$ .

Предел текучести материала винта  $\sigma_T$  принимают по таблице 5.

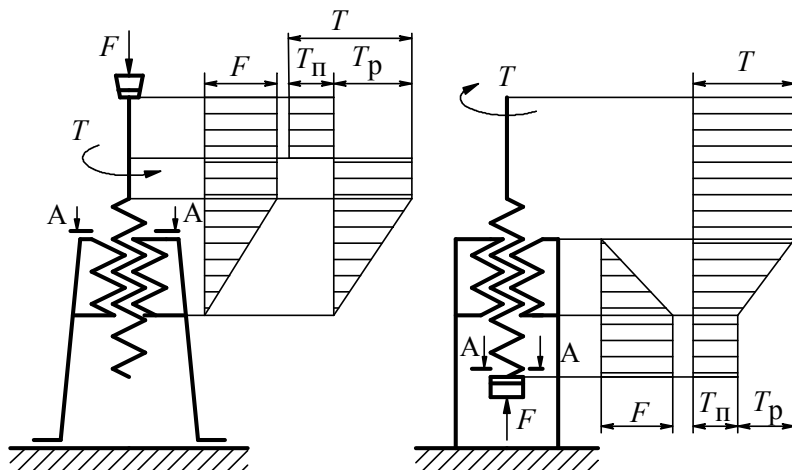


Рис. 2. Расчётные схемы и эпюры продольных сил и крутящих моментов для винтов домкрата и прессы

Таблица 4

Формулы для определения момента трения на торце винта  
в зависимости от конструкции опоры

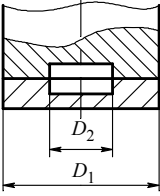
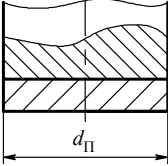
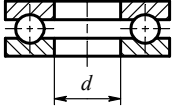
| На кольцевой пяте   | На сплошной пяте  | В упорном шарикоподшипнике  |
|---|---|---|
|  |  |  |
| $T_{\Pi} = \frac{1}{3} F \cdot f \cdot \frac{D_1^3 + D_2^3}{D_1^2 - D_2^2}$       | $T_{\Pi} = \frac{1}{3} F \cdot f_{\Pi} \cdot d_{\Pi}$                             | $T_{\Pi} = \frac{1}{2} F \cdot f_{\Pi} \cdot d$                                   |

Таблица 5

Материалы и их механические свойства

| Материал  | Термообработка или состояние | Предел текучести $\sigma_T$ , МПа | Предел прочности $\sigma_B$ , МПа | Модуль упругости $E$ , МПа | Твёрдость, не менее |        |
|-----------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|--------|
| АЛ 4      | Отливка в песчаную форму     | 100                               | 150                               | $0,75 \cdot 10^5$          | 50 НВ               |        |
| СЧ 15     | -                            | -                                 | 320                               | $1 \cdot 10^5$             | 165 НВ              |        |
| СЧ 18     | -                            | -                                 | 360                               |                            | 170 НВ              |        |
| СЧ 28     | -                            | -                                 | 480                               |                            | 170 НВ              |        |
| ЛАЖМЦ     | Отливка в песчаную форму     | 240                               | 650                               | $0,9 \cdot 10^5$           | 160 НВ              |        |
| Бр ОЦС    |                              | 90                                | 165                               | $0,75 \cdot 10^5$          | 70 НВ               |        |
| Бр А9ЖЗЛ  |                              | 200                               | 400                               | $0,9 \cdot 10^5$           | 100 НВ              |        |
| Бр О10Ф1  |                              | 140                               | 220                               | $1,1 \cdot 10^5$           | 80 НВ               |        |
| Сталь 35Л | Нормализация                 | 280                               | 500                               | $2,1 \cdot 10^5$           | -                   |        |
| Сталь 50Л |                              | 340                               | 580                               |                            | -                   |        |
| Сталь Ст3 | Горячекатаная                | 220                               | 380                               |                            | -                   |        |
| Сталь Ст6 |                              | 300                               | 600                               |                            | -                   |        |
| Сталь 35  |                              | 320                               | 540                               |                            | 207 НВ              |        |
| Сталь 45  |                              | 360                               | 610                               |                            | 220 НВ              |        |
| Сталь 45  |                              | Улучшенная                        | 650                               |                            | 890                 | 270 НВ |
| Сталь 45  |                              | Закалённая                        | 800                               |                            | 1000                | 45 HRC |
| Сталь 40Х | Улучшенная                   | 750                               | 900                               |                            | 270 НВ              |        |
| Сталь 40Х | Закалённая                   | 1300                              | 1500                              |                            | 45 HRC              |        |

Нормальное  $\sigma$  и касательное  $\tau$  напряжения определяются с учётом диаметра винта в опасном сечении, диаметр  $d_{\text{оп}}$  которого принимается равным для винта домкрата и винта пресса без канавки  $d_{\text{оп}} = d_{\text{п}}$  (рис. 3 и 4); для винта пресса с канавкой  $d_{\text{оп}} = d_0 = d_3 - 5$  мм (рис. 3), где  $d_3$  – внутренний диаметр резьбы винта. Размеры пяты принимаются конструктивно.

Если чашка домкрата выполнена по рисунку 4а, то  $D_{\text{ч}} = 1,8d$  и  $D_{\text{п}} = 0,6d$ , а если по рисунку 4б, то  $d_{\text{оп}} = d_0$ ; для винта пресса (рис. 3)  $d_{\text{п}} = d_3$ . Размеры упорного шарикоподшипника принимают по ГОСТ 6874-89 с учётом его статической грузоподъёмности  $C_0$ . При этом должно соблюдаться условие:

$$C_0 \geq F. \quad (11)$$

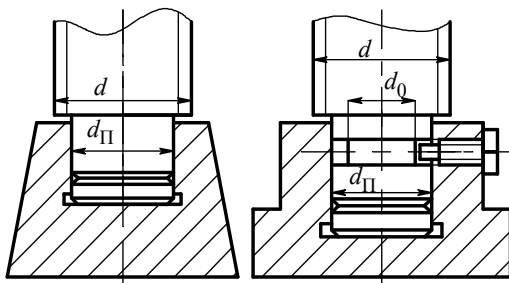


Рис. 3. Конструктивные разновидности концевой части винта пресса

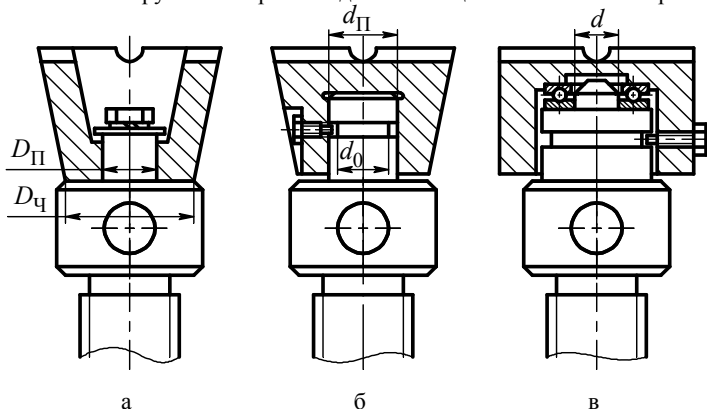


Рис. 4. Конструктивные разновидности чашек домкрата

## 8. ПРОВЕРКА ВИНТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Сжатые винты проверяют на устойчивость. Проверку необходимо проводить при гибкости винта:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot L}{i} \geq \lambda_2, \quad (12)$$

где  $\lambda_2$  – критическая гибкость сжатого стержня, принимается по таблице 6;  $\mu$  – коэффициент приведения длины, значения коэффициента для различных сочетаний опор приведены на рисунке 5;  $L$  – расчётная длина сжатого участка винта:

$$L = l_{\max} + \frac{H_{\Gamma}}{2}, \quad (13)$$

$l_{\max}$  – максимальная рабочая длина винта (слагаемое  $H_{\Gamma}/2$  вводится для учёта зазоров в резьбе);  $i$  – радиус инерции поперечного сечения винта, для круглого сечения винта (без учёта ужесточающего действия витков резьбы):

$$i = \frac{d_3}{4}. \quad (14)$$

Таблица 6  
Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  в формуле Ясинского и критические гибкости  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  сжатого стержня в зависимости от материала винта

| Материал винта | $a$ , МПа | $b$ , МПа | $\lambda_1$ | $\lambda_2$ |
|----------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Сталь Ст3      | 310       | 1,14      | 100         | 70          |
| Сталь Ст4      | 328       | 1,11      | 96          | 69          |
| Сталь Ст5      | 350       | 1,15      | 92          | 61          |
| Сталь 45       | 450       | 1,67      | 85          | 54          |
| Сталь 50       | 470       | 1,87      | 82          | 48          |

Одна из опор винта – гайка. Гайку считают шарнирной опорой при  $\psi_H = \frac{H_{\Gamma}}{d_2} \leq 2$  и заделкой при  $\psi_H > 2$ .

При работе домкрата в условиях, когда невозможно предотвратить смещение точки контакта его с объектом в плоскости, перпендикулярной оси домкрата, рекомендуется принимать  $\psi_H > 2$ . Схема закрепления концов домкрата, соответствующая этому случаю, показана на рисунке 5в.

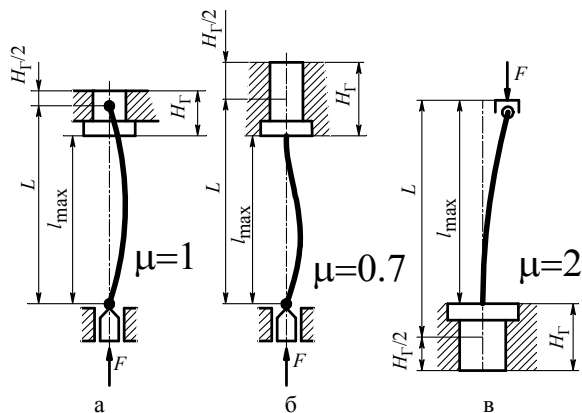


Рис. 5. Коэффициенты приведения длины  $\mu$  для различных сочетаний опор

При выполнении неравенства:

$$\lambda \geq \lambda_2 \quad (15)$$

проверку винта на устойчивость проводят по условию:

$$s_y = \frac{F_{\text{крит}}}{F} \geq [s_y], \quad (16)$$

где  $s_y$  – коэффициент запаса устойчивости;  $F_{\text{крит}}$  – критическая сила;  $[s_y]$  – минимально допустимый коэффициент запаса устойчивости,  $[s_y] = 3 \dots 5$  (меньшие значения при высокой точности определения действующих нагрузок и достоверности расчётной схемы, большие значения, когда возможно внецентренное приложение осевой нагрузки или появление сил, перпендикулярных оси винта).

Если  $\lambda \geq \lambda_1$  (табл. 6), то критическая сила находится по формуле Эйлера:

$$F_{\text{крит}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu \cdot L)^2}. \quad (17)$$

где  $E$  – модуль упругости материала винта (табл. 5);  $I$  – момент инерции сечения, для круга  $I = \frac{\pi \cdot d_3^4}{64}$ .

Если  $\lambda_1 > \lambda > \lambda_2$  (табл. 6), то расчёт критической силы выполняется по формуле Ясинского:

$$F_{\text{крит}} = (a - b \cdot \lambda) \frac{\pi d_3^2}{4}. \quad (18)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты по таблице 6.

## 9. РАСЧЁТ ГАЙКИ НА ПРОЧНОСТЬ

Высота гайки определена по результатам расчёта резьбы на износостойкость, формула (4). Диаметр  $D_\Gamma$  тела гайки определяется из условия прочности на растяжение в сечении  $a-a$  (рис. 1):

$$\sigma_p = \frac{1.3 \cdot F}{\pi/4 \cdot (D_\Gamma^2 - D_4^2)} \leq [\sigma_p], \quad (19)$$

откуда:

$$D_\Gamma^* \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1,33 \cdot F}{\pi \cdot [\sigma_p]} + D_4^2} \quad (20)$$

где  $[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение растяжения (сжатия, если гайка сжимается), МПа, определяется как отношение предела текучести материала гайки (табл. 5) к коэффициенту безопасности, который берётся равным для бронз 2...3, для чугунов 4...5;  $D_4$  – внутренний диаметр резьбы гайки, мм.



Полученное значение  $D_{\Gamma}^*$  согласуют с ГОСТ 6636-69 (табл. П5), при этом толщина стенки не должна быть меньше 6 мм.

Диаметр бурта  $D_{\text{Б}}$  определяется из условия прочности на смятие опорной кольцевой поверхности:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{A_{\text{см}}} \leq [\sigma_{\text{см}}] \quad (21)$$

Площадь  $A_{\text{см}}$  опорной поверхности следует находить с учётом фаски  $c$  (рис. 1). Допускаемое напряжение на смятие  $[\sigma_{\text{см}}]$  выбирается по менее прочному материалу (гайки или сопряжённой детали), при этом для бронзы  $[\sigma_{\text{см}}] = (0,6 \dots 0,8)\sigma_{\text{T}}$ , для чугуна  $[\sigma_{\text{см}}] = 0,4\sigma_{\text{в}}$ .

Высота бурта гайки принимается  $H_{\text{Б}} = (0,25 \dots 0,35)H_{\text{T}}$  и проверяется на срез по сечению  $b-b$  (рис. 1):

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{\pi \cdot D_{\Gamma} \cdot H_{\Gamma}} \leq [\tau_{\text{ср}}] \quad (22)$$

Допускаемое напряжение на срез для бронзы  $[\tau_{\text{ср}}] = \tau_{\text{T}}/(2 \dots 3)$ , для чугуна  $[\tau_{\text{ср}}] = \tau_{\text{в}}/(4 \dots 5)$ , причём  $\tau_{\text{T}} = (0,6 \dots 0,7)\sigma_{\text{T}}$  и  $\tau_{\text{в}} = (1,2 \dots 1,4)\sigma_{\text{в}}$  (табл. 5).

Резьба гайки проверяется на прочность. При этом виток резьбы рассматривается как консольная балка с заделкой. Поскольку балка короткая, то расчёт на изгиб не производят, а ограничиваются расчётом на срез по условию прочности:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot z \cdot b} \leq [\tau_{\text{ср}}] \quad (23)$$

где  $b$  – толщина витка у основания (рис. 1), для трапециидальной резьбы  $b = 0,65P$ , для упорной  $b = 0,75P$ , для метрической  $b = 0,85P$ , для прямоугольной  $b = 0,5P$ .

## 10. РАСЧЁТ РУКОЯТКИ И МАХОВИКА

В домашних заданиях для передач с ручным приводом усилие одного рабочего при длительной работе принимают равным  $F_{\text{раб}} = 100 \dots 160 \text{ Н}$ , а при кратковременной работе  $F_{\text{раб}} = 250 \dots 300 \text{ Н}$ . Длину рукоятки или диаметр маховика определяют, приравнявая момент, создаваемый рабочим, моменту сопротивления вращения.

Диаметр рукоятки рассчитывают из условия прочности на изгиб в наиболее опасном сечении, полагая, что рабочий может кратковременно развить усилие  $F_{\text{раб}} = 300 \text{ Н}$ .

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{и}}}{\pi \cdot d_{\text{рук}}^3 / 16} \leq [\sigma_{\text{и}}] \quad (24)$$

откуда

$$d_{\text{рук}}^3 = 3 \sqrt{\frac{16 \cdot M_{\text{и}}}{\pi \cdot [\sigma_{\text{и}}]}} \leq 30 \dots 40 \text{ мм} . \quad (25)$$

Рассчитанный диаметр округляют до целого значения по ГОСТ6636-69.

Схема нагружения рукоятки и эпюра изгибающего момента для него показаны на рисунке 7 в приведённом далее примере расчёта. Коэффициент запаса текучести для рукоятки можно принять  $s_{\text{T}} = 1,3$ . Если длина рукоятки превышает 1200 мм увеличивают количество рабочих, вращающих винт.

## 11. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

В винтовых силовых устройствах, помимо рассмотренных, существует целый ряд других деталей (корпус, траверса, стойка, коронка, скоба и т.д.), методические основы расчёта которых аналогичны вышеприведённым. В зависимости от конкретного типа проектируемого устройства эти расчёты должны быть произведены самостоятельно.

По результатам расчётов заполняется таблица 7.

На основе проведённых расчётов выполняют сборочный чертёж винтового устройства с простановкой необходимых габаритных, присоединительных и сопряжённых размеров, составляют спецификацию.

На сборочном чертеже приводят фрагмент резьбовой пары в пределах двух-трёх витков в масштабе не менее 5:1 с обозначением основных размеров резьбы по соответствующему стандарту.

Индивидуальные задания на расчётно-графическую работу приведены в приложении 2.

Таблица 7

Результаты расчёта

| Наименование                         | Обозначение | Величина |
|--------------------------------------|-------------|----------|
| Тип резьбы                           |             |          |
| Диаметр резьбы, мм                   | $d$         |          |
| Шаг резьбы, мм                       | $P$         |          |
| Момент трения в резьбе, Нм           | $T_P$       |          |
| Момент трения на пяте, Нм            | $T_{II}$    |          |
| Момент трения в чашке, Нм            | $T_{II}$    |          |
| Момент на рукоятке, Нм               | $T$         |          |
| Высота гайки, мм                     | $H_G$       |          |
| Наружный диаметр тела гайки, мм      | $D_G$       |          |
| Диаметр бурта гайки, мм              | $D_B$       |          |
| Высота бурта гайки, мм               | $H_B$       |          |
| Напряжение среза в резьбе гайки, МПа | $\tau_{ср}$ |          |
| Длина нарезанной части винта, мм     |             |          |
| Запас устойчивости винта             | $s_y$       |          |
| Запас прочности винта                |             |          |
| Размеры пяты, мм                     |             |          |
| Подшипник упорный шариковый, №       |             |          |
| Длина рукоятки, мм                   |             |          |
| Диаметр рукоятки, мм                 |             |          |
| Число рабочих                        |             |          |

Перечень стандартов, используемых в работе, указан в таблице П4.

## 12. ПРИМЕР РАСЧЁТА ПЕРЕДАЧИ ВИНТ – ГАЙКА

Для скрепления пакета листов силой  $F = 16000 \text{ Н}$  используют струбцину (рис. 6), винт которой имеет метрическую резьбу с крупным шагом.

Скоба струбцины выполнена из стали Ст3. Максимальная длина винта  $l_{\text{max}} = 300 \text{ мм}$ . Диаметр головки рукоятки  $D_{\text{Г}} = 2d_2$ ; диаметр торца винта  $d_{\text{П}} < (d_1 - 0,144P)$ .

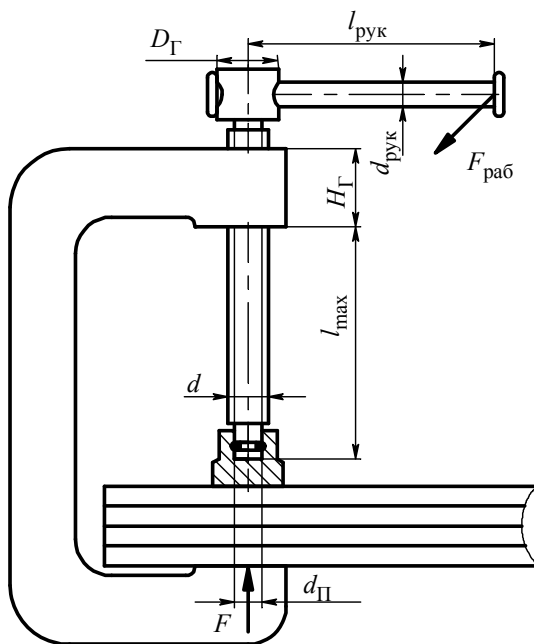


Рис. 6. Струбцина

Требуется:

- определить размеры винта, высоту гайки, размеры рукоятки;
- построить эпюры нормальной силы и крутящего момента для винта.

## Решение

1. Передача относится к числу редко работающих, поэтому гайку выполняем за одно целое со скобой из стали Ст3, винт - из горячекатаной стали 45, для которой предел текучести  $\sigma_T = 360$  МПа (см. табл. 5).

2. Допускаемое удельное давление в витках резьбы  $[q] = 16$  МПа (см. табл. 1).

3. Коэффициент высоты метрической резьбы  $\xi_{H_1} = 0,54$ , угол наклона рабочей стороны профиля  $\gamma = 30^\circ$  (см. табл. 2).

4. Принимаем коэффициент высоты гайки  $\psi_H = 1,6$  (рекомендуется  $\psi_H = 1,2 \dots 2,5$ ).

5. Средний диаметр резьбы из условия обеспечения износостойкости по формуле (3):

$$d_2' \geq \sqrt{\frac{16000}{3,14 \cdot 0,54 \cdot 1,6 \cdot 16}} = 19,2 \text{ мм}.$$

6. В соответствии с ГОСТ 24705-81 (по табл. П3) принимаем резьбу М24 ( $d = 24$  мм) с крупным шагом. Остальные параметры резьбы: шаг  $P = 3$  мм, средний диаметр  $d_2 = 22,051$  мм, внутренний диаметр резьбы гайки  $D_1 = 20,752$  мм, угол подъема резьбы  $\rho = 2^\circ 29'$ , диаметр впадин резьбы винта  $d_3 = 20,752$  мм.

7. Проверяем выполнение условия самоторможения по формуле (6). Принимаем коэффициент трения в резьбе  $f = 0,2$  (табл. 3), тогда приведённый угол трения равен:

$$\rho' = \arctg \frac{0,2}{\cos 30^\circ} = 13,004^\circ$$

условие самоторможения  $13,004^\circ > 2,483^\circ$  выполняется. Запас достаточный.

8. Высота гайки  $H_\Gamma = \psi_H \cdot d_2 = 1,6 \cdot 22,051 = 35,28$  мм. Принимаем  $H_\Gamma = 36$  мм (табл. П5).

9. Диаметр головки рукоятки  $D_\Gamma = 2 d_2 = 2 \cdot 22,051 = 44,102$  мм. Принимаем  $D_\Gamma = 45$  мм (табл. П5).

10. Диаметр торца винта

$$d_{\Gamma 1} < (d_3 - 0,144P) = 20,752 - 0,144 \cdot 3 = 20,32 \text{ мм}.$$

Принимаем  $d_{\Gamma 1} = 20$  мм (табл. П5).

11. Так как  $\psi_H < 2$ , то считаем гайку шарнирной опорой. Нижняя опора винта также шарнирная. Расчётная длина сжатого участка винта  $L = l_{\max} + H_{\Gamma}/2 = 300 + 36 / 2 = 318$  мм. Радиус инерции  $i = d_3 / 4 = 20,752/4 = 5,12$  мм. Гибкость винта  $\lambda = \mu L/i = 1 \cdot 318/5,12 = 62,1$ . Гибкость больше 54 по таблице 6, поэтому необходима проверка на устойчивость.

12. Величину критической силы находим по формуле Ясинского, так как значение  $\lambda = 62,1$  согласно таблице 6 находится между значениями  $\lambda_1 = 85$  и  $\lambda_2 = 54$ , по той же таблице выбираем коэффициенты  $a = 450$  и  $b = 1,67$ :

$$F_{\text{крит}} = (450 - 1,67 \cdot 62,1) \cdot \frac{\pi \cdot 20,752^3}{4} = 2430600H$$

Коэффициент запаса устойчивости по формуле (16) равен:

$$s_y = \frac{2430600}{16000} = 152,$$

запас по устойчивости достаточный.

13. Момент в резьбе по формуле (9):

$$T_p = 16000 \cdot \frac{22,051}{2} \text{tg}(2,483^\circ + 13,004^\circ) = 48880H \cdot \text{мм}$$

14. Момент трения на торце винта по формуле из таблицы 4 при коэффициенте трения на торце  $f_{\Pi} = 0,3$  (табл. 3):

$$T_{\Pi} = \frac{1}{3} \cdot 16000 \cdot 0,3 \cdot 20 = 32000H \cdot \text{мм}$$

15. Момент завинчивания:

$$T = T_p + T_{\Pi} = 48880 + 32000 = 80880H \cdot \text{мм}$$

16. Эпюры нормальных сил и крутящих моментов, действующих на винт, приведены на рисунке 7.

17. Находим длину рукоятки  $l_{\text{рук}}$ . Принимаем при кратковременной работе  $F_{\text{раб}} = 300H$ . Тогда:

$$l_{\text{рук}} = \frac{T}{F_{\text{раб}}} = \frac{80880}{300} = 269,6 \text{ мм}$$

Принимаем  $l_{\text{рук}} = 300$  мм .

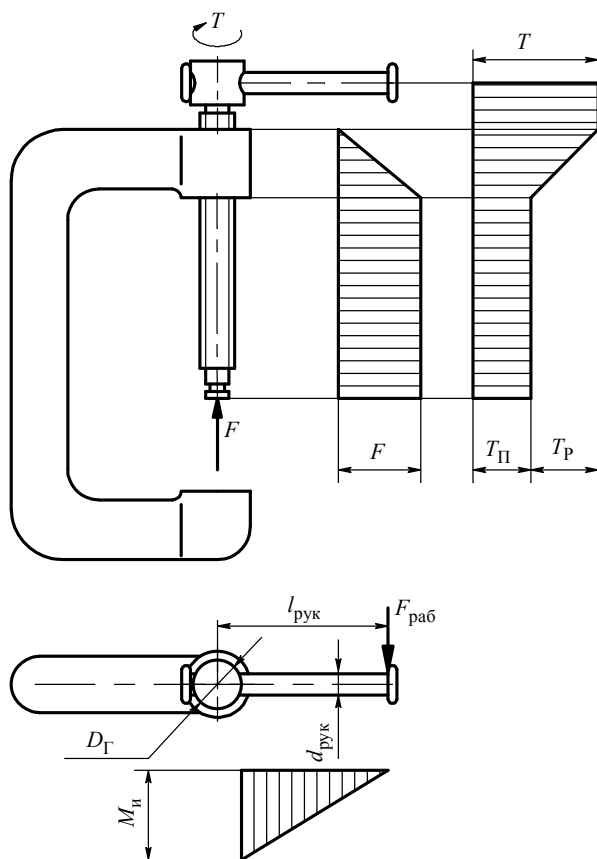


Рис. 7. Эпюры усилий и моментов для винта и изгибающего момента для рукоятки

18. Диаметр рукоятки находим из условия его прочности при изгибе. Принимаем, что кратковременно рабочий может приложить максимальное усилие  $F_{\text{раб}} = 300 \text{ Н}$ . Рукоятка изготовлена из стали 45 с пределом текучести  $\sigma_T = 360 \text{ МПа}$ . Допускаемое напряжение при изгибе  $[\sigma_{\text{и}}] = \sigma_T/1,3 = 360/3 = 277 \text{ МПа}$ . При постоянном диаметре рукоятки опасным будет сечение, в котором действует максимальный изгибающий момент (см. эпюру на рис. 7). Для этого сечения:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{и}}}{W} = \frac{F_{\text{раб}} \left( l_{\text{рук}} - \frac{D_{\Gamma}}{2} \right)}{0,1d_{\text{рук}}^3} \leq [\sigma_{\text{и}}]$$

откуда:

$$d_{\text{рук}} \geq \sqrt[3]{\frac{10F_{\text{раб}} \left( l_{\text{рук}} - \frac{D_{\Gamma}}{2} \right)}{[\sigma_{\text{и}}]}} = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 300 \cdot \left( 300 - \frac{45}{2} \right)}{277}} = 14,43 \text{ мм}$$

Окончательно принимаем  $d_{\text{рук}} = 15$  мм (таблица П5).

Расчёт к.п.д. винтового устройства студент выполняет самостоятельно.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тюняев, А.В. Детали машин [Электронный ресурс]: учебник / А.В. Тюняев, В.П. Звездаков, В.А. Вагнер. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 736 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5109>.

2. Гулиа, Н.В. Детали машин [Электронный ресурс]: учебник / Н.В. Гулиа, В.Г. Клоков, С.А. Юрков. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 416 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5705>.

3. Остяков, Ю.А. Проектирование деталей и узлов конкурентоспособных машин [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.А. Остяков, И.В. Шевченко. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 336 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/30428>.

4. Справочник конструктора: Учебно-практическое пособие: В 2 книгах Книга 1. Машины и механизмы / Фещенко В.Н., – 2-е изд., переб. и доп. - М.:Инфра-Инженерия, 2017. – 400 с.: 60x84 1/8 (Переплёт) ISBN 978-5-9729-0084-8 – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/906490>

5. Справочник конструктора: Учебно-практическое пособие: В 2 книгах Книга 2. Машины и механизмы / Фещенко В.Н., – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Инфра-Инженерия, 2017. – 400 с.: 60x84 1/8 (Переплёт) ISBN 978-5-9729-0085-5 – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/906491>

Справочные материалы

Таблица III  
Упорная резьба по ГОСТ 10177-82. Размеры, мм

| <i>d</i>   | <i>P</i> | <i>D</i> <sub>4</sub> | <i>d</i> <sub>2</sub> | <i>d</i> <sub>3</sub> | <i>d</i>   | <i>P</i> | <i>D</i> <sub>4</sub> | <i>d</i> <sub>2</sub> | <i>d</i> <sub>3</sub> |
|------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 10         | 2        | 7,0                   | 8,5                   | 6,53                  | 44         | 7        | 33,5                  | 38,75                 | 31,85                 |
| 12, 14     | 2        | 9,0                   | 10,5                  | 8,53                  | 12         | 12       | 26,0                  | 35,00                 | 23,17                 |
|            | 3        | 7,5                   | 9,75                  | 6,79                  | 48, 46, 50 | 3        | 43,5                  | 45,75                 | 42,79                 |
| 16, 18     | 2        | 13,0                  | 14,5                  | 12,53                 | 8          | 8        | 36,0                  | 42,00                 | 34,12                 |
|            | 4        | 10,0                  | 13,0                  | 9,06                  | 12         | 12       | 30,0                  | 39,00                 | 27,17                 |
| 20         | 2        | 17,0                  | 18,5                  | 16,53                 | 52         | 3        | 47,5                  | 49,75                 | 46,79                 |
|            | 4        | 14,0                  | 17,0                  | 13,06                 | 8          | 8        | 40,0                  | 46,00                 | 38,12                 |
| 24, 22, 26 | 3        | 19,5                  | 21,75                 | 18,79                 | 12         | 12       | 34,0                  | 43,00                 | 31,17                 |
|            | 5        | 16,5                  | 20,25                 | 15,32                 | 60, 55     | 3        | 55,5                  | 57,75                 | 54,79                 |
|            | 8        | 12,0                  | 18,00                 | 10,12                 | 9          | 9        | 46,5                  | 53,25                 | 44,38                 |
| 28         | 3        | 23,5                  | 25,75                 | 22,79                 | 14         | 14       | 39,0                  | 49,50                 | 35,70                 |
|            | 5        | 20,5                  | 24,25                 | 19,32                 | 70, 65     | 4        | 64,0                  | 67,00                 | 63,06                 |
|            | 8        | 16,0                  | 22,00                 | 14,12                 | 10         | 10       | 55,0                  | 62,50                 | 52,65                 |
| 32, 30     | 3        | 27,5                  | 29,75                 | 26,79                 | 16         | 16       | 46,0                  | 58,00                 | 42,23                 |
|            | 6        | 23,0                  | 27,50                 | 21,59                 | 80, 75     | 4        | 74,0                  | 77,00                 | 73,06                 |
|            | 10       | 17,0                  | 24,50                 | 14,65                 | 10         | 10       | 65,0                  | 72,50                 | 62,65                 |
| 36, 34     | 3        | 31,5                  | 33,75                 | 30,79                 | 16         | 16       | 56,0                  | 68,00                 | 52,23                 |
|            | 6        | 27,0                  | 31,50                 | 25,59                 | 90, 85     | 4        | 84,0                  | 87,00                 | 83,06                 |
|            | 10       | 21,0                  | 28,50                 | 18,65                 | 12         | 12       | 72,0                  | 81,00                 | 69,17                 |
| 40, 38, 42 | 3        | 35,5                  | 37,75                 | 34,79                 | 18         | 18       | 63,0                  | 76,50                 | 58,76                 |
|            | 7        | 29,5                  | 34,75                 | 27,85                 | 20         | 20       | 60,0                  | 75,00                 | 55,29                 |
|            | 10       | 25,0                  | 32,50                 | 22,65                 | 100, 95    | 4        | 94,0                  | 97,00                 | 93,06                 |
| 44         | 3        | 39,5                  | 41,75                 | 38,79                 | 12         | 12       | 82,0                  | 91,00                 | 79,17                 |
|            |          |                       |                       |                       | 20         | 20       | 70,0                  | 85,00                 | 65,29                 |

Таблица П2

Трапецидальная однозаходная резьба по ГОСТ 9484-81.

Размеры, мм

| $d$        | $P$ | $D_4$ | $d_2$ | $d_3$ | $d$        | $P$ | $D_4$ | $d_2$ | $d_3$ |
|------------|-----|-------|-------|-------|------------|-----|-------|-------|-------|
| 10         | 1,5 | 10,3  | 9,25  | 8,2   | 44         | 3   | 44,5  | 42,5  | 40,5  |
|            | 2   | 10,5  | 9,00  | 7,5   |            | 7   | 45,0  | 40,0  | 36,0  |
| 12, 11, 14 | 2   | 12,5  | 11,0  | 9,5   | 48, 46     | 12  | 45,0  | 38,0  | 31,0  |
|            | 3   | 12,5  | 10,5  | 8,5   |            | 3   | 48,5  | 46,5  | 44,5  |
| 16, 18     | 2   | 16,5  | 15,0  | 13,5  | 52, 52     | 8   | 49,0  | 44,0  | 39,0  |
|            | 4   | 16,5  | 14,0  | 11,5  |            | 12  | 49,0  | 42,0  | 35,0  |
| 20         | 2   | 20,5  | 19,0  | 17,5  | 60, 55     | 3   | 52,5  | 50,5  | 48,5  |
|            | 4   | 20,5  | 18,0  | 15,5  |            | 8   | 53,0  | 48,0  | 43,0  |
| 24, 22, 26 | 3   | 24,5  | 22,5  | 20,5  | 70, 65     | 12  | 53,0  | 46,0  | 39,0  |
|            | 5   | 24,5  | 21,5  | 18,5  |            | 3   | 60,5  | 58,5  | 56,5  |
|            | 8   | 25    | 20,0  | 15,0  |            | 9   | 61,0  | 55,5  | 50,0  |
| 28         | 3   | 28,5  | 26,5  | 24,5  | 80, 75     | 14  | 62,0  | 53,0  | 44,0  |
|            | 5   | 28,5  | 25,5  | 22,5  |            | 4   | 70,5  | 68,0  | 65,5  |
|            | 8   | 29,0  | 24,0  | 19,0  |            | 10  | 71,0  | 65,0  | 59,0  |
| 32, 30, 34 | 3   | 32,5  | 30,5  | 28,5  | 90, 85, 95 | 16  | 72,0  | 62,0  | 52,0  |
|            | 6   | 33,0  | 29,0  | 25,0  |            | 4   | 80,5  | 78,0  | 75,5  |
|            | 10  | 33,0  | 27,0  | 21,0  |            | 10  | 81,0  | 75,0  | 69,0  |
| 36         | 3   | 36,5  | 34,5  | 32,0  | 100        | 16  | 82,0  | 72,0  | 62,0  |
|            | 6   | 37,0  | 33,0  | 29,0  |            | 4   | 90,5  | 88,0  | 85,0  |
|            | 10  | 37,0  | 31,0  | 25,0  |            | 12  | 91,0  | 84,0  | 77,0  |
| 40, 38, 42 | 3   | 40,5  | 38,5  | 36,5  |            | 18  | 92,0  | 81,0  | 70,0  |
|            | 7   | 41,0  | 36,5  | 32,0  |            | 4   | 100,5 | 98,0  | 95,5  |
|            | 10  | 41,0  | 35,0  | 29,0  |            | 12  | 101,0 | 94,0  | 87,0  |
|            |     |       |       |       |            | 20  | 102,0 | 90,0  | 78,0  |

Таблица ПЗ

## Метрическая резьба по ГОСТ 24705-81. Размеры, мм

| $d$ | $d_2$  | $d_3$  | $P$  | $d$ | $d_2$  | $d_3$  | $P$ |
|-----|--------|--------|------|-----|--------|--------|-----|
| 8   | 7,188  | 6,647  | 1,25 | 30  | 27,727 | 26,211 | 3,5 |
| 9   | 8,188  | 7,647  | 1,25 | 33  | 30,727 | 29,211 | 3,5 |
| 10  | 9,026  | 8,376  | 1,5  | 36  | 33,402 | 31,670 | 4   |
| 11  | 10,026 | 9,376  | 1,5  | 39  | 36,402 | 34,670 | 4   |
| 12  | 10,863 | 10,106 | 1,75 | 42  | 39,077 | 37,129 | 4,5 |
| 14  | 12,701 | 11,835 | 2    | 45  | 42,077 | 40,129 | 4,5 |
| 16  | 14,701 | 13,835 | 2    | 48  | 44,752 | 42,587 | 5   |
| 18  | 16,376 | 15,294 | 2,5  | 52  | 48,752 | 46,587 | 5   |
| 20  | 18,376 | 17,294 | 2,5  | 56  | 52,428 | 50,046 | 5,5 |
| 22  | 20,376 | 19,294 | 2,5  | 60  | 56,428 | 54,046 | 5,5 |
| 24  | 22,051 | 20,752 | 3    | 64  | 60,103 | 57,505 | 6   |
| 27  | 25,051 | 23,752 | 3    | 68  | 64,103 | 61,505 | 6   |

Таблица П4

## Стандарты, используемые в работе

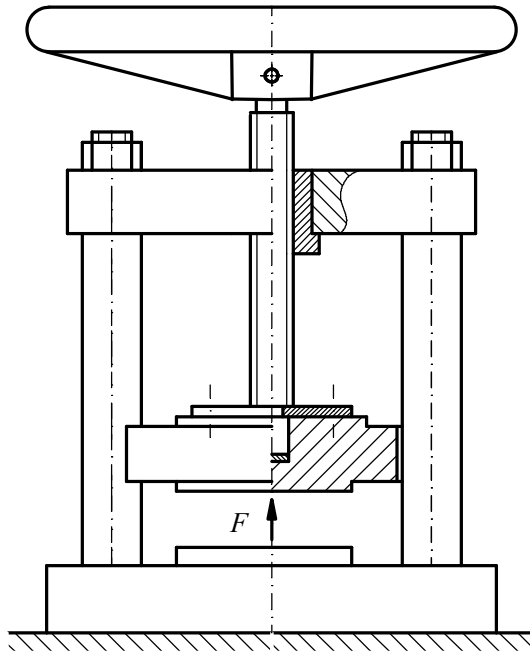
| ГОСТ       | Содержание стандарта   |
|------------|--|
| 380-88     | Сталь углеродистая обыкновенного качества                        |
| 493-79     | Бронзы безоловянистые литейные                                   |
| 613-79     | Бронзы оловянистые литейные                                      |
| 1050-88    | Сталь углеродистая качественная конструкционная                  |
| 1412-85    | Отливки из серого чугуна   |
| 1476-93    | Винты установочные с коническим концом                           |
| 1478-93    | Винты установочные с цилиндрическим концом                       |
| 1482-84    | Винты установочные с квадратной головкой и цилиндрическим концом |
| 1585-85    | Антифрикционные чугуны   |
| 6636-69    | Нормальные литейные размеры                                      |
| 6874-89    | Подшипники шариковые упорные однорядные                          |
| 24705-81   | Резьба метрическая   |
| 9484-81    | Резьба трапецидальная одноходовая                                |
| 10177-82   | Резьба упорная   |
| 2.104-2006 | ЕСКД. Основные надписи   |
| 2.105-95   | ЕСКД. Общие требования к текстовым документам                    |
| 2.108-68   | ЕСКД. Спецификация   |

Таблица П5

## Нормальные линейные размеры по ГОСТ 6636-69

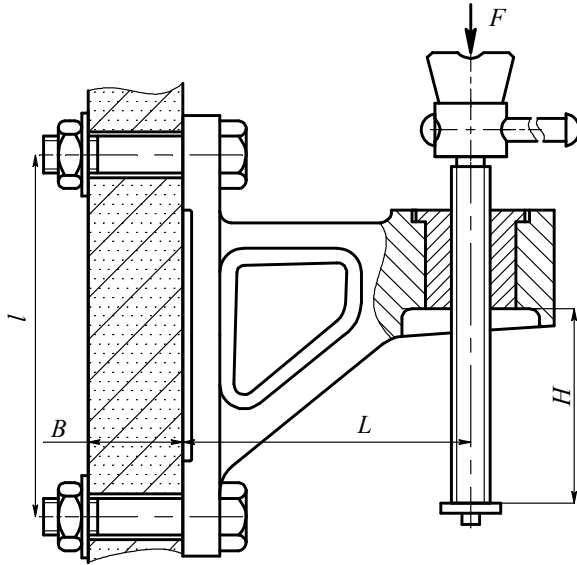
| Ряды |      |      |      | Доп.<br>раз-<br>меры | Ряды |      |      |      | Доп.<br>раз-<br>меры |
|------|------|------|------|----------------------|------|------|------|------|----------------------|
| Ra5  | Ra10 | Ra20 | Ra40 |                      | Ra5  | Ra10 | Ra20 | Ra40 |                      |
| 10   | 10   | 10   | 10   | 10,2                 | 63   | 63   | 56   | 56   | 52                   |
|      |      |      | 10,5 | 10,8                 |      |      | 60   | 60   | 55                   |
| 12   | 12   | 12   | 11   | 11,2                 | 100  | 100  | 63   | 63   | 58                   |
|      |      |      | 11,5 | 11,8                 |      |      | 67   | 67   | 62                   |
|      |      |      | 12   | 12,5                 |      |      | 71   | 71   | 65                   |
|      |      |      | 13   | 13,5                 |      |      | 75   | 75   | 70                   |
| 16   | 16   | 16   | 14   | 14,5;                | 160  | 160  | 80   | 80   | 73                   |
|      |      |      | 15   | 15,5                 |      |      | 85   | 85   | 78                   |
|      |      |      | 16   | 16,5                 |      |      | 90   | 90   | 82                   |
|      |      |      | 17   | 17,5                 |      |      | 95   | 95   | 88                   |
|      |      |      | 18   | 18,5                 |      |      | 100  | 100  | 92                   |
|      |      |      | 19   | 19,5                 |      |      | 105  | 105  | 98                   |
| 25   | 25   | 25   | 20   | 20,5                 | 200  | 200  | 110  | 110  | 102                  |
|      |      |      | 21   | 21,5                 |      |      | 108  | 108  | 108                  |
|      |      |      | 22   | 23                   |      |      | 112  | 112  | 112                  |
|      |      |      | 24   | 27                   |      |      | 115  | 115  | 115                  |
|      |      |      | 26   | 29                   |      |      | 120  | 120  | 118                  |
|      |      |      | 28   | 31                   |      |      | 125  | 125  | 135                  |
|      |      |      | 30   | 33                   |      |      | 140  | 140  | 145                  |
|      |      |      | 32   | 32                   |      |      | 150  | 150  | 155                  |
| 40   | 40   | 40   | 34   | 35                   | 200  | 200  | 160  | 160  | 165                  |
|      |      |      | 36   | 37                   |      |      | 170  | 170  | 175                  |
|      |      |      | 38   | 39                   |      |      | 180  | 180  | 185                  |
|      |      |      | 40   | 41                   |      |      | 190  | 190  | 195                  |
|      |      |      | 42   | 44                   |      |      | 200  | 200  | 205                  |
|      |      |      | 45   | 46                   |      |      | 210  | 210  | 215                  |
| 50   | 50   | 50   | 48   | 49                   | 200  | 200  | 220  | 220  | 230                  |
|      |      |      | 50   | 53                   |      |      | 240  | 240  | 240                  |

ЗАДАНИЕ № 1



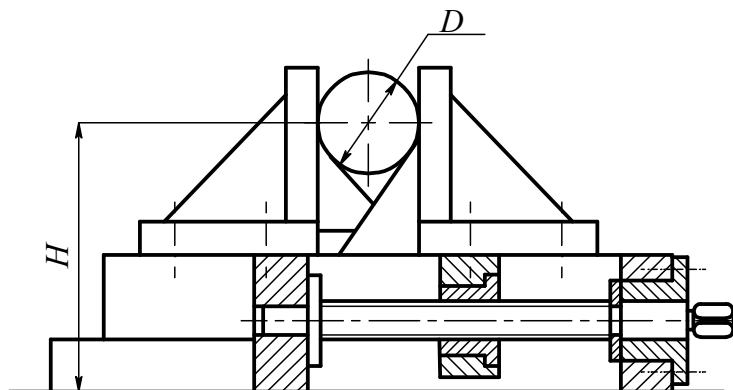
| Наименование                            | Вариант                 |                        |                     |                      |                      |
|---|-------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|   | 1                       | 2                      | 3                   | 4                    | 5                    |
| Усилие прессования $F$ , кН             | 17                      | 32                     | 48                  | 64                   | 80                   |
| Наибольшее осевое перемещение винта, мм | 300                     | 350                    | 400                 | 450                  | 500                  |
| Тип резьбы                              | упорная                 | трапец.                | упорная             | трапец.              | прямоугольная        |
| Материал и термообработка винта         | Сталь Ст3 горячекатаная | Сталь 35 горячекатаная | Сталь 45 улучшенная | Сталь 40X улучшенная | Сталь 40X закалённая |
| Материал гайки                          | СЧ 15                   | СЧ 18                  | СЧ 28               | ЛАЖМС                | БрОЦС                |

## ЗАДАНИЕ № 2



| Наименование                      | Вариант                   |                       |                        |                      |                      |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
|                                   | 1                         | 2                     | 3                      | 4                    | 5                    |
| Наибольшая нагрузка $F$ , кН      | 25                        | 18                    | 22                     | 30                   | 40                   |
| Высота подъёма $H$ , мм           | 300                       | 400                   | 350                    | 550                  | 500                  |
| Вылет $L$ , мм                    | 400                       | 450                   | 500                    | 600                  | 700                  |
| Расстояние между болтами $l$ , мм | 450                       | 400                   | 450                    | 600                  | 650                  |
| Толщина стены $B$ , мм            | 400                       | 500                   | 600                    | 500                  | 300                  |
| Материал стены                    | бетон                     | кирпич                | бетон                  | кирпич               | бетон                |
| Тип резьбы                        | упорная                   | трапец.               | упорная                | трапец.              | прямоугольная        |
| Материал и термообработка винта   | Сталь 35Л нормализованная | Сталь 3 горячекатаная | Сталь 35 горячекатаная | Сталь 40Х улучшенная | Сталь 40Х закалённая |
| Материал гайки                    | АЛ 4                      | СЧ 28                 | БрОЦС                  | СЧ 15                | Бр О10Ф1             |

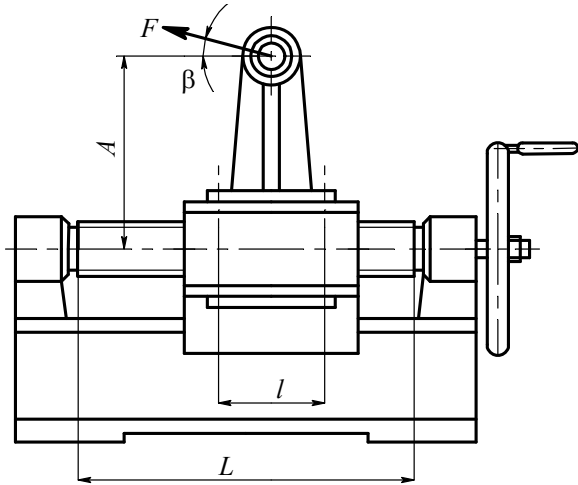
### ЗАДАНИЕ № 3



| Наименование                            | Вариант                   |                       |                         |                      |                     |
|---|---------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|
|   | 1                         | 2                     | 3                       | 4                    | 5                   |
| Усилие зажима $F$ , кН                  | 1,5                       | 2,5                   | 1,0                     | 2,0                  | 3,0                 |
| Максимальный диаметр заготовки $D$ , мм | 200                       | 300                   | 150                     | 250                  | 350                 |
| Минимальный диаметр заготовки $d$ , мм  | 20                        | 20                    | 30                      | 50                   | 40                  |
| Высота оси заготовки $H$ , мм           | 300                       | 450                   | 350                     | 380                  | 450                 |
| Тип резьбы                              | упорная                   | трапец.               | метрич.                 | трапец.              | прямоугольная       |
| Материал и термообработка винта         | Сталь 50Л нормализованная | Сталь 3 горячекатаная | Сталь Ст6 горячекатаная | Сталь 40Х улучшенная | Сталь 45 улучшенная |
| Материал гайки                          | АЛ 4                      | СЧ 28                 | БрА9ЖЗЛ                 | СЧ 15                | Бр О10Ф1            |

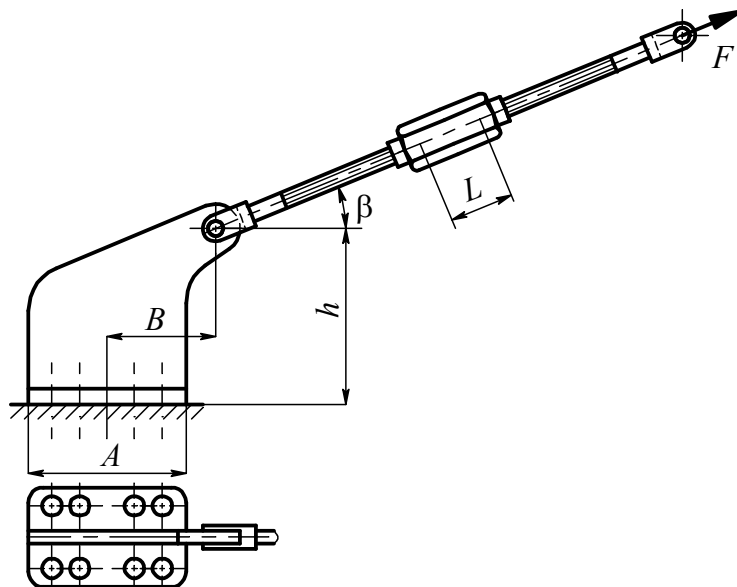


### ЗАДАНИЕ № 4



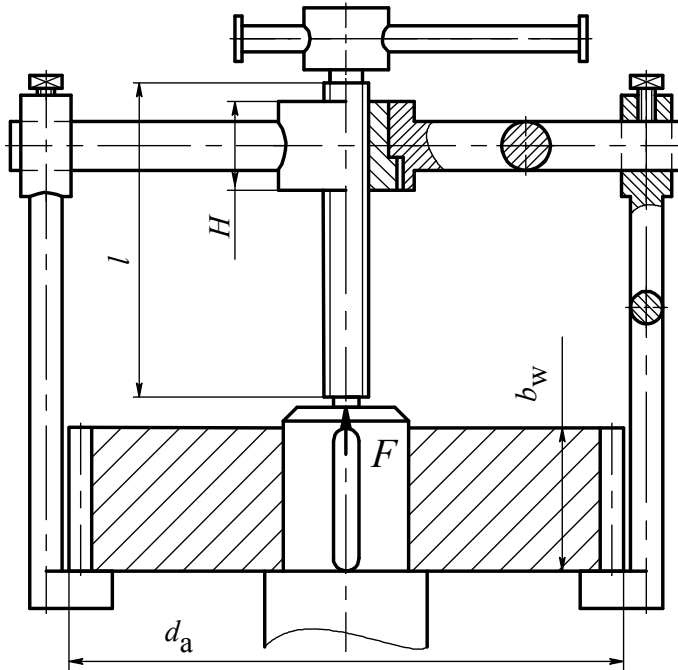
| Наименование  | Вариант                   |                       |                         |                      |                     |
|---|---------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|
|   | 1                         | 2                     | 3                       | 4                    | 5                   |
| Наибольшая нагрузка $F$ , кН                              | 10                        | 40                    | 35                      | 25                   | 60                  |
| Угол наклона $\beta$ , градус                             | 15                        | 45                    | 30                      | 60                   | 75                  |
| Длина винта $L$ , мм                                      | 500                       | 450                   | 250                     | 400                  | 560                 |
| Расстояние между болтами $l$ , мм                         | 100                       | 150                   | 100                     | 150                  | 140                 |
| Тип резьбы  | упорная                   | трапец.               | метрич.                 | трапец.              | прямоугольная       |
| Материал и термообработка винта                           | Сталь 50Л нормализованная | Сталь 3 горячекатаная | Сталь Ст6 горячекатаная | Сталь 40Х улучшенная | Сталь 45 улучшенная |
| Материал гайки  | АЛ 4                      | СЧ 28                 | БрА9ЖЗЛ                 | СЧ 15                | Бр О10Ф1            |
| Расстояние от оси винта до точки приложения силы $A$ , мм | 150                       | 200                   | 250                     | 300                  | 350                 |

### ЗАДАНИЕ № 5



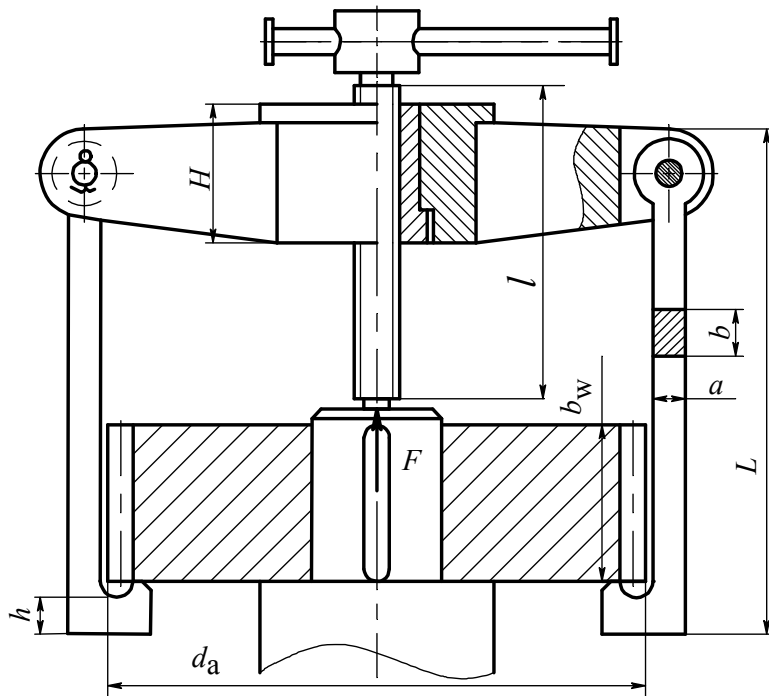
| Наименование                  | Вариант |     |     |     |     |
|-------------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|
|                               | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   |
| Действующее усилие $F$ , кН   | 10      | 18  | 26  | 32  | 40  |
| Высота $h$ , мм               | 200     | 250 | 300 | 400 | 450 |
| Расстояние $B$ , мм           | 100     | 150 | 200 | 200 | 300 |
| Длина основания $A$ , мм      | 300     | 400 | 250 | 200 | 400 |
| Угол наклона $\beta$ , градус | 30      | 15  | 45  | 60  | 75  |
| Длина стяжки $L$ , мм         | 100     | 150 | 200 | 250 | 300 |

### ЗАДАНИЕ № 6



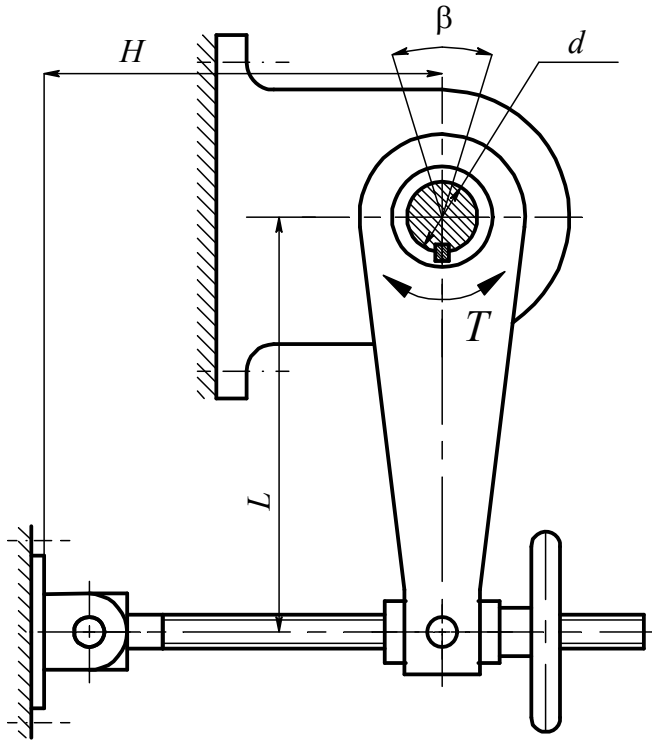
| Наименование                              | Вариант                 |                        |                     |                      |                      |
|---|-------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|   | 1                       | 2                      | 3                   | 4                    | 5                    |
| Наибольшее усилие $F$ , кН                | 20                      | 30                     | 40                  | 50                   | 60                   |
| Диаметр колеса $d_a$ , мм                 | 300                     | 350                    | 450                 | 550                  | 250                  |
| Максимальное осевое перемещение винта, мм | 100                     | 140                    | 200                 | 180                  | 120                  |
| Материал и термообработка винта           | Сталь Ст3 горячекатаная | Сталь 35 горячекатаная | Сталь 45 закалённая | Сталь 40X улучшенная | Сталь 40X закалённая |
| Материал гайки                            | АЛ 4                    | СЧ 15                  | СЧ 18               | СЧ28                 | Бр А9Ж3Л             |

### ЗАДАНИЕ № 7



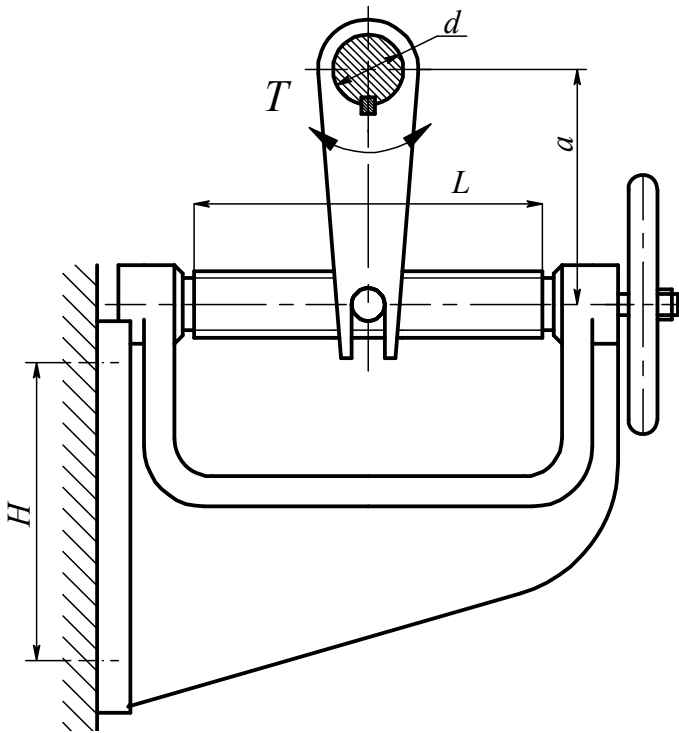
| Наименование                              | Вариант                 |                        |                     |                      |                      |
|---|-------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|   | 1                       | 2                      | 3                   | 4                    | 5                    |
| Наибольшее усилие $F$ , кН                | 15                      | 35                     | 45                  | 50                   | 55                   |
| Диаметр колеса $d_a$ , мм                 | 560                     | 450                    | 350                 | 200                  | 250                  |
| Максимальное осевое перемещение винта, мм | 200                     | 175                    | 125                 | 100                  | 250                  |
| Материал и термообработка винта           | Сталь Ст3 горячекатаная | Сталь 35 горячекатаная | Сталь 45 закалённая | Сталь 40X улучшенная | Сталь 40X закалённая |
| Материал гайки                            | БрОЦС                   | СЧ 15                  | СЧ 18               | СЧ28                 | Бр А9ЖЗЛ             |

### ЗАДАНИЕ № 8



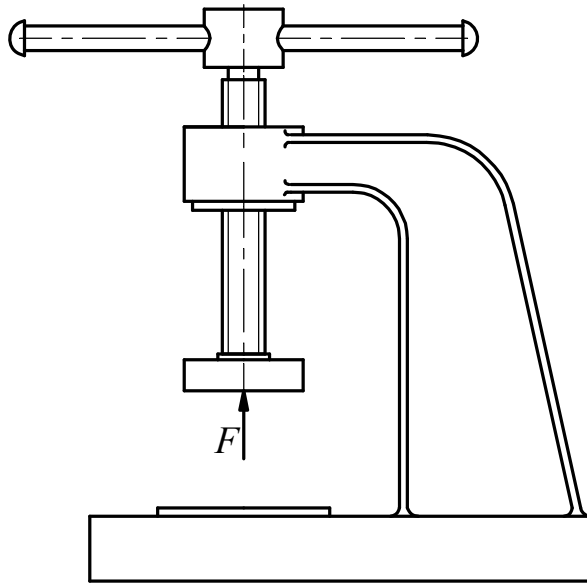
| Наименование                               | Вариант        |      |      |      |      |
|--|----------------|------|------|------|------|
|  | 1              | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Крутящий момент на приводном валу $T$ , Нм | 1000           | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 |
| Угол поворота вала $\beta$ , градусы       | 10             | 20   | 30   | 15   | 18   |
| Длина винта $H$ , мм                       | конструктивная |      |      |      |      |
| Плечо рычага $L$ , мм                      | 1000           | 800  | 600  | 400  | 700  |
| Диаметр вала $d$ , мм                      | 40             | 45   | 50   | 55   | 60   |

### ЗАДАНИЕ № 9



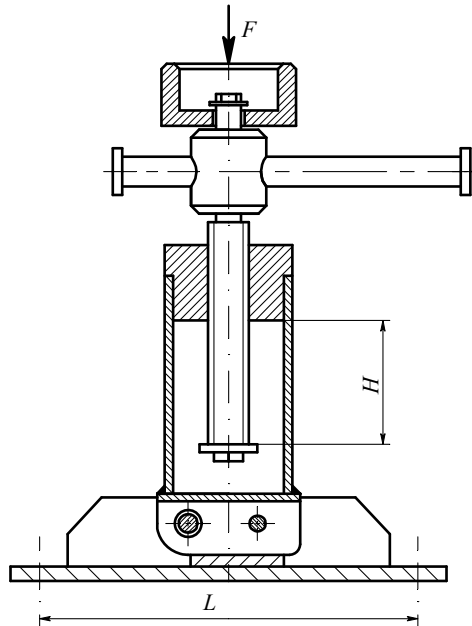
| Наименование                                 | Вариант        |      |      |      |      |
|--|----------------|------|------|------|------|
|  | 1              | 2    | 3    | 4    | 5    |
| Крутящий момент на приводном валу $T$ , Нм   | 1500           | 2000 | 2500 | 3000 | 4000 |
| Межосевое расстояние $a$ , мм                | 800            | 600  | 1000 | 1200 | 900  |
| Длина винта $L$ , мм                         | конструктивная |      |      |      |      |
| Расстояние между крепёжными болтами $H$ , мм | 200            | 250  | 300  | 350  | 400  |
| Диаметр вала $d$ , мм                        | 40             | 45   | 50   | 55   | 60   |

### ЗАДАНИЕ № 10



| Наименование                            | Вариант                 |                        |                     |                      |                      |
|---|-------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|   | 1                       | 2                      | 3                   | 4                    | 5                    |
| Наибольшая сила прессования $F$ , кН    | 30                      | 17                     | 39                  | 23                   | 34                   |
| Наибольшее осевое перемещение винта, мм | 200                     | 300                    | 400                 | 350                  | 450                  |
| Тип резьбы                              | трапец.                 | метрич.                | упорная             | трапец.              | прямоугольная        |
| Материал и термообработка винта         | Сталь Ст6 горячекатаная | Сталь 35 горячекатаная | Сталь 45 закалённая | Сталь 40Х улучшенная | Сталь 40Х закалённая |
| Материал гайки                          | БрОЦС                   | СЧ 15                  | ЛАЖМЦ               | СЧ28                 | Бр А9ЖЗЛ             |

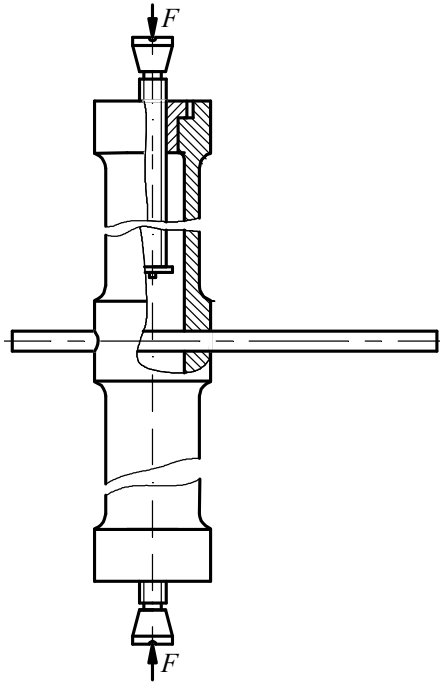
### ЗАДАНИЕ № 11



| Наименование                                 | Вариант                 |                        |                     |                      |                      |
|--|-------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|  | 1                       | 2                      | 3                   | 4                    | 5                    |
| Грузоподъёмность $F$ , кН                    | 100                     | 45                     | 120                 | 75                   | 50                   |
| Высота подъёма $H$ , мм                      | 500                     | 400                    | 300                 | 450                  | 600                  |
| Расстояние между крепёжными болтами $L$ , мм | 200                     | 250                    | 300                 | 350                  | 400                  |
| Тип резьбы                                   | упорная                 | метрич.                | упорная             | трапец.              | прямоугольная        |
| Материал и термообработка винта              | Сталь Ст6 горячекатаная | Сталь 35 горячекатаная | Сталь 45 закалённая | Сталь 40X улучшенная | Сталь 40X закалённая |
| Материал гайки                               | СЧ 18                   | СЧ 15                  | ЛАЖМЦ               | БрОЦС                | Бр А9ЖЗЛ             |

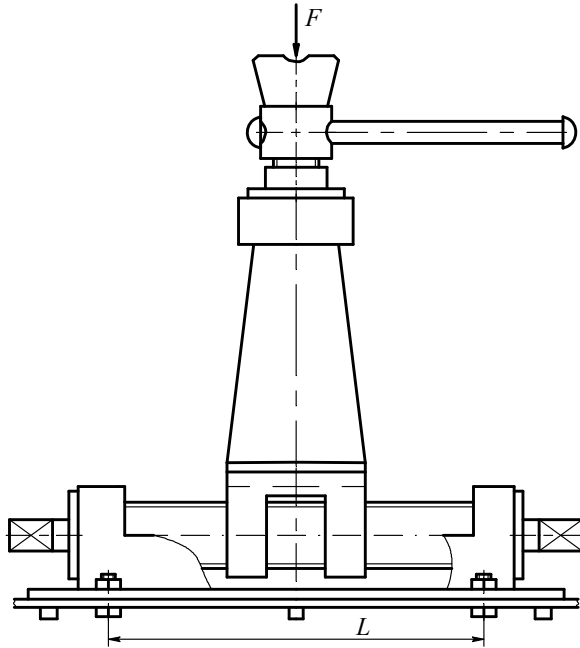


## ЗАДАНИЕ № 12



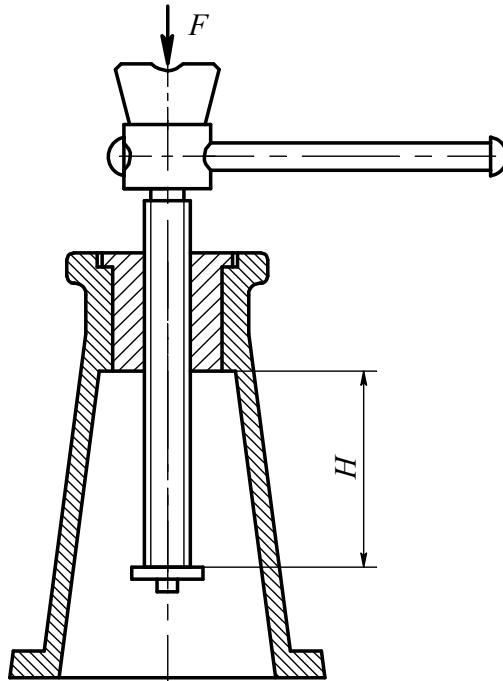
| Наименование                                   | Вариант                |                        |                     |                     |                      |
|--|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
|  | 1                      | 2                      | 3                   | 4                   | 5                    |
| Наибольшая сила распора $F$ , кН               | 50                     | 40                     | 60                  | 20                  | 30                   |
| Наибольшее осевое перемещение одного винта, мм | 200                    | 300                    | 400                 | 500                 | 450                  |
| Тип резьбы                                     | упорная                | трапец.                | упорная             | трапец.             | прямоугольная        |
| Материал и термообработка винта                | Сталь 45 горячекатаная | Сталь 35 горячекатаная | Сталь 45 закалённая | Сталь 45 улучшенная | Сталь 40X закалённая |
| Материал гайки                                 | СЧ 28                  | ЛАЖМЦ                  | БрОЦС               | Бр А9ЖЗЛ            | БрО10Ф1              |

### ЗАДАНИЕ № 13



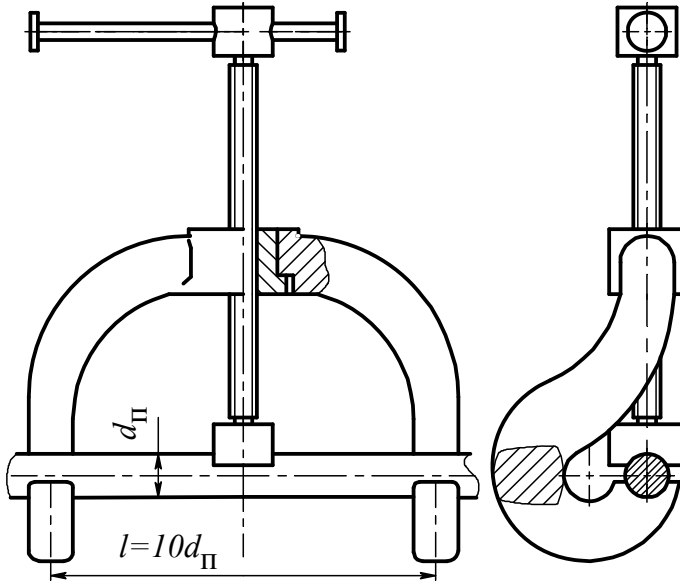
| Наименование                                    | Вариант |         |         |          |               |
|---|---------|---------|---------|----------|---------------|
|   | 1       | 2       | 3       | 4        | 5             |
| Грузоподъёмность $F$ , кН                       | 50      | 42      | 30      | 45       | 36            |
| Высота подъёма $H$ , мм                         | 200     | 400     | 300     | 450      | 350           |
| Горизонтальный ход домкрата, мм                 | 200     | 300     | 350     | 400      | 500           |
| Расстояние между фундаментными болтами $L$ , мм | 250     | 350     | 400     | 450      | 550           |
| Тип резьбы грузового винта                      | упорная | трапец. | упорная | трапец.  | прямоугольная |
| Материал гайки грузового винта                  | СЧ 28   | ЛАЖМЦ   | БрОЦС   | Бр А9ЖЗЛ | СЧ 18         |

### ЗАДАНИЕ № 14



| Наименование               | Вариант                     |                   |                   |                             |                   |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
|                            | 1                           | 2                 | 3                 | 4                           | 5                 |
| Грузоподъёмность $F$ , кН  | 50                          | 35                | 20                | 80                          | 28                |
| Высота подъёма $H$ , мм    | 400                         | 450               | 300               | 350                         | 500               |
| Тип резьбы                 | упорная                     | трапец.           | метрич.           | прямоугольная               | упорная           |
| Материал гайки             | СЧ 15                       | СЧ 18             | Бр А9ЖЗЛ          | СЧ 28                       | ЛАЖМЦ             |
| Конструкция чашки домкрата | на упорном шарикоподшипнике | со сплошной пятой | с кольцевой пятой | на упорном шарикоподшипнике | со сплошной пятой |

### ЗАДАНИЕ № 15



| Наименование                          | Вариант                           |                                   |                                     |                                |                            |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
|                                       | 1                                 | 2                                 | 3                                   | 4                              | 5                          |
| Диаметр прутка<br>$d_{\text{п}}$ , мм | 22                                | 32                                | 18                                  | 36                             | 40                         |
| Материал прутка                       | Сталь<br>Ст6                      | Сталь 20                          | Сталь 45                            | Сталь<br>40Х                   | Сталь 50                   |
| Материал винта                        | Сталь<br>Ст3<br>горячекат<br>аная | Сталь<br>Ст6<br>горячекат<br>аная | Сталь<br>50Л<br>нормализ<br>ованная | Сталь<br>40Х<br>улучшен<br>ная | Сталь 45<br>закалённ<br>ая |
| Материал гайки                        | СЧ 15                             | СЧ 18                             | Бр<br>А9ЖЗЛ                         | БрО10Ф1                        | ЛАЖМЦ                      |
| Материал скобы                        | СЧ 15                             | СЧ 18                             | СЧ 21                               | СЧ 18                          | СЧ 21                      |
| Тип резьбы                            | упорная                           | трапец.                           | метрич.                             | прямоуго<br>льная              | трапец.                    |

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Введение  | 3  |
| 1. Требования к оформлению и содержанию                 | 3  |
| 2. Последовательность выполнения                        | 4  |
| 3. Общие сведения о передаче                            | 4  |
| 4. Критерии работоспособности передачи                  | 5  |
| 5. Проектный расчёт передачи из условия износостойкости | 6  |
| 6. Проверка обеспечения условия самоторможения в резьбе | 8  |
| 7. Проверка прочности винта                             | 9  |
| 8. Проверка винта на устойчивость                       | 13 |
| 9. Расчёт гайки на прочность                            | 15 |
| 10. Расчёт рукоятки и маховика                          | 17 |
| 11. Результаты расчётов и оформление работы             | 17 |
| 12. Пример расчёта передачи винт-гайка                  | 19 |
| Библиографический список                                | 24 |
| Приложение 1  | 25 |
| Приложение 2  | 29 |

**ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА**  
**ВИНТОВОЕ УСТРОЙСТВО.**  
**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Методические указания к самостоятельной работе  
для студентов всех направлений подготовки бакалавриата  
и специальностей*

Сост.: *А.В. Большунов, А.Ю. Кузькин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
механики

Ответственный за выпуск *А.В. Большунов*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 28.06.2019. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 2,6. Усл.кр.-отт. 2,6. Уч.-изд.л. 2,0. Тираж 75 экз. Заказ 637. С 235.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2