



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
(РИИ АлтГТУ)

**А.А. КУТУМОВ
А.Н. КОРНЕЕВ**

ГРУЗОПОДЪЁМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ: РАСЧЁТ ВИНТОВОГО ДОМКРАТА

Методические указания к практическим занятиям по курсу «Средства механизации строительства» для студентов направления «Строительство» всех форм обучения

Рубцовск 2019

УДК 621.86

Кутумов А.А., Корнеев А.Н. Грузоподъемные механизмы: расчет винтового домкрата: методические указания к практическим занятиям по курсу «Средства механизации строительства» для студентов направления «Строительство» всех форм обучения/ А.Н. Корнеев, А.А. Кутумов, - Рубцовский индустриальный институт, 2019.- 18 с. [ЭР].

Данные методические указания содержат методику расчета параметров винтового домкрата и дополнительные материалы, необходимые для выполнения задания. Могут быть рекомендованы студентам направления подготовки «Строительство» всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на
заседании кафедры СиМ
Протокол № 2 от 04.02.2019г.

Рецензент:
к.т.н.

Маршалов Э.С.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	5
2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВИНТОВЫХ ДОМКРАТАХ	5
3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВИНТОВОГО ДОМКРАТА	8
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	13
ЛИТЕРАТУРА.....	14
ПРИЛОЖЕНИЕ	15

ВВЕДЕНИЕ

Практическая работа выполняется в течение семестра, когда проводятся аудиторские занятия по данной дисциплине. Наряду с лекциями и выполнением практических работ написание работы способствует углублению знаний студентов по изучаемой дисциплине.

Следовательно, целью практической работы является приобретение студентами следующих навыков: применение теоретических знаний, полученных на лекциях и практических занятиях.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Порядок выполнения работы

После ознакомления с устройством винтового домкрата определяются его основные параметры.

На практическую работу отводится 4 часа аудиторного времени. Отчет по выполненной работе должен содержать основные сведения о винтовых передачах и их расчете, и должен быть защищен у преподавателя, ведущего занятия.

Постановка задачи

По исходным данным, приведенным в приложении (табл. П1), рассчитать конструктивные параметры винтового домкрата: диаметры d , d_1 и d_2 винтового стержня, диаметр D и высоту H_{Γ} гайки, диаметр $D_{\text{оп}}$ и высоту h_6 опорного бурта, длину рукоятки $l_{\text{рук}}$ и КПД винтового домкрата.

2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВИНТОВЫХ ДОМКРАТАХ

Область применения

Винтовой домкрат относится к группе простых грузоподъемных механизмов и предназначен для подъема различных грузов на высоту не более 1 метра при производстве строительных, монтажных и ремонтных работ [1; 2; 3].

Устройство винтового домкрата

Конструкция домкрата (рис. 1) включает корпус 1, гайку 2, винт 3, грузовую головку 4 и рукоятку 5.

Гайка соединена с корпусом жестко, а грузовая головка укреплена на верхнем конце винта с возможностью вращения. Для передачи крутящего момента рукоятка может быть соединена с винтом посредством трещотки или пропущена через отверстие в головке винта.

За счет усилия $P_{\text{рук}}$, приложенного к рукоятке, винт вращается и совершает поступательное движение, взаимодействует с грузом через грузовую головку и перемещает его вдоль своей оси. За полный поворот винта груз перемещается на величину S (на шаг резьбы).

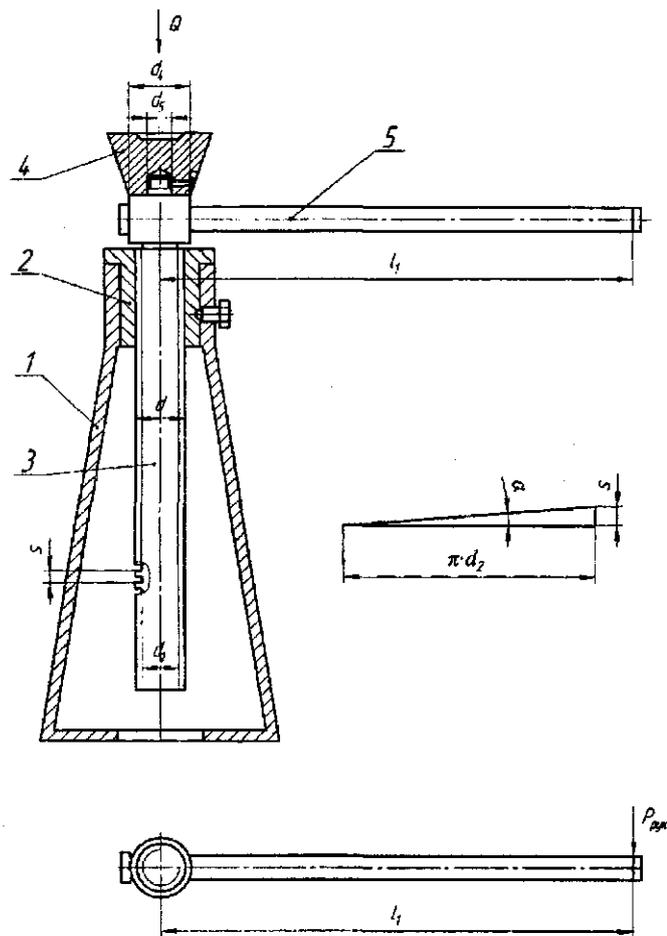


Рис.1. Схема для расчета винтового домкрата

Критерии работоспособности винтового домкрата

Основными критериями работоспособности винтового домкрата являются: износостойкость винтовой пары, прочность винта, устойчивость винтового стержня [1].

Расчет по первому критерию сводится к ограничению давления между поверхностями резьбы винта и гайки. Иногда этот расчет называют расчетом на не выдавливание смазки.

Расчет по второму критерию направлен на определение эквивалентных напряжений в поперечном сечении винта, работающего на сжатие и кручение. Напряжения, возникающие в поперечном сечении винта домкрата, характеризуется сравнительно небольшим числом циклов за весь срок службы, что дает основание вести расчет таких винтов на статическую прочность.

Расчет по третьему критерию сводится к определению коэффициента запасов устойчивости сжатых винтовых стержней и сопоставлению его с допусаемым коэффициентом запаса.

Типы резьбы в винтовых передачах

В передачах винт-гайка в основном применяют *трапецеидальную и упорную резьбу*, вторую - при передаче больших односторонних усилий. Параметры этой резьбы приведены в приложении (табл. П5, П6). Применяемая иногда прямоугольная резьба обеспечивает несколько больший выигрыш в силе и более высокий КПД, чем упомянутые выше, но ее нельзя обрабатывать фрезерованием и шлифованием и прочность ее витков ниже, чем у трапецеидальной резьбы. Кроме того у прямоугольной резьбы при износе получается неустраняемый «мертвый ход», у трапецеидальной резьбы его можно устранить разрезными стяжными гайками.

Круглая резьба имеет повышенную прочность при ударных и переменных нагрузках; она меньше, чем другие резьбы чувствительна к загрязнению, но из-за трудностей изготовления и низкого КПД применяется редко.

Материалы винтов и гаек в конструкциях винтовых домкратов

Винты изготавливают из среднеуглеродистых сталей марок: Ст4, Ст5, Ст45, Ст50, легированных 40Х, 40ХН, 65Г и промышленных сталей типа У10 и др.

Для гаек в передачах, подверженных повышенному износу, применяется бронза марок Бр. ОФ10 Бр. ОСЦ 6-6-3, Бр. АХ 9-4. При работе с большими перерывами и умеренных нагрузках используют антифрикционный чугун марок АСЧ, АБЧ и серый чугун марок СЧ 12-28, СЧ 21-40.

Величины допускаемых напряжений для указанных выше материалов при статической нагрузке приведены в приложении (табл. П3).

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВИНТОВОГО ДОМКРАТА

3.1. Определение параметров резьбы винта.

Из расчета на ограничение давления в резьбе определяется средний диаметр винта:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{Q \cdot 10^3}{\pi \cdot \psi_r \cdot \xi \cdot [P]}}$$

где d_2 - делительный диаметр винта, мм;

Q - грузоподъемность домкрата, кН;

ψ_r - коэффициент высоты гайки:

$$\psi_r = H_r/d_2;$$

ξ - отношение высоты рабочего профиля резьбы (h) к ее шагу (S - шаг резьбы):

$$\xi = h/S.$$

Для трапецидальной и прямоугольной резьбы $\xi = 0,5$, для упорной резьбы $\xi = 0,75$;

$[P]$ - допускаемое давление в резьбе (табл. П4).

Коэффициент высоты гайки принимается в пределах:

$\psi_r = 1,2 \dots 2,5$ для цельных гаек и

$\psi_r = 2,5 \dots 3,5$ для разрезных гаек.

3.2. По найденной из расчета величине (d_2) определяется (S) шаг резьбы:

$$d_2 = 4,5 \cdot S,$$

где S – шаг.

Шаг выбирается в соответствии с ГОСТ по (см. табл. П5, П6), по выбранному по ГОСТ шагу корректируются значения d_2 , d_1 и d по формулам:

$$d_2 = 4,5 \cdot S;$$

$$d_1 = 4 \cdot S;$$

$$d = 5 \cdot S.$$

3.3. Определение высоты гайки

Высота гайки определяется по формуле:

$$H_r = \psi_r \cdot d_2,$$

где H_r – высота гайки, мм.

3.4. Расчет количества витков резьбы в гайке

Количество витков резьбы в гайке находится из формулы:

$$Z_r = \frac{H_r}{S} < 10,$$

где Z_r – количество витков гайки.

При $Z_r > 10$ следует увеличить диаметр d_2 или шаг S .

Необходимость этого решения вызвана неравномерностью распределения осевой нагрузки по виткам гайки.

3.5. Проверка винта на устойчивость

Коэффициент устойчивости винта определяется по формуле:

$$n_y = \frac{Q_{кр}}{Q} \geq [n_y]$$

где n_y – коэффициент устойчивости;

$Q_{кр}$ – критическая сила, кН;

$[n_y]$ – коэффициент запаса устойчивости = 2...4.

3.6. Критическая сила определяется:

1) при гибкости $\lambda = \lambda_{пред} > 90$ по формуле Эйлера:

$$Q_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{пр}}{(\mu \cdot l)^2},$$

где $Q_{кр}$ – критическая сила, кН;

$E = 2,1 \cdot 10^5$, Н/мм² – модуль упругости для сталей;

$I_{пр}$ – приведенный момент инерции сечения винта (мм⁴) с учетом повышения жесткости винта по сравнению с жесткостью гладкого стержня диаметром d_1 :

$$I_{пр} = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} \cdot \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{d}{d_1} \right);$$

μ – коэффициент приведения длины:

$\mu = 2$ для стержня с одним жестко заделанным и другим свободным концом;

$\mu = 1$ для стержня с шарнирно опертыми концами;

2) при гибкости $\lambda = 55...90$ по формуле Тетмайера-Ясинского:

$$Q_{кр} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot (a - b \cdot \lambda),$$

где a и b – эмпирические коэффициенты (табл. П7);

λ – расчетная гибкость винта.

3) при гибкости $\lambda < 55$ расчет на устойчивость не производится.

3.7. Расчетная гибкость винта определяется с учетом площади сечения по внутреннему диаметру резьбы по формуле:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i},$$

где λ - расчетная гибкость винта;
 i - радиус инерции, мм:

$$i = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{np}}{\pi \cdot d_1^2}}.$$

3.8. Проверочный расчет на прочность винта

Условие прочности составляется исходя из гипотезы энергии формоизменения:

$$\sigma_{экр} = \sqrt{\sigma_{сж}^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq [\sigma]_p,$$

где $\sigma_{экр}$ - эквивалентное напряжение в опасном сечении винта, Н/мм²;
 $\sigma_{сж}$ - напряжение сжатия винта продольной опорой Q , Н/мм²:

$$\sigma_{сж} = \frac{Q}{F} = \frac{4 \cdot Q \cdot 10^3}{\pi \cdot d_1^2}.$$

Напряжение кручения в опасном сечении определяется по формуле:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W} = \frac{M_{кр} \cdot 16}{\pi \cdot d_1^3},$$

где $M_{кр}$ - крутящий момент в опасном сечении, Н·мм:

$$M_{кр} = Q \cdot 10^3 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi),$$

где α – угол подъема резьбы, град.:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{S}{\pi \cdot d_2}\right),$$

где φ – угол трения винтовой пары, град.:

$$\varphi = \operatorname{arctg}(f),$$

где f – коэффициент трения винтовой пары ($f = 0,1 \dots 0,12$).

Разность $\varphi - \alpha > 1^\circ$.

Для достижения большего выигрыша в силе необходимо брать по возможности малое значение угла α , чтобы обеспечить условие самоторможения, при котором $\alpha \leq \varphi$. Это условие является весьма выгодным в том отношении, что позволяет не применять каких-либо специальных стопорных устройств для удержания груза в поднятом состоянии. КПД самотормозящего винта характеризуется соотношением $\eta < 0,5$.

3.9. Наружный диаметр тела гайки определяется из ее расчета на растяжение с учетом кручения

$$D \geq \sqrt{\frac{5,2 \cdot Q \cdot 10^3}{\pi \cdot [\sigma]_p} + d^2},$$

где D – наружный диаметр тела гайки (увеличивается до ближайшего стандартного размера (табл. П2), мм;

$[\sigma]_p$ - допускаемое напряжение для материала гаек (см. табл. П3), Н/мм².

3.10. Диаметр опорного бурта гайки определяется из расчета на смятие кольцевой поверхности:

$$D_{оп} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot Q \cdot 10^3}{\pi \cdot [\sigma]_{см}} + D^2},$$

где $D_{оп}$ - диаметр опорного бурта гайки (увеличивается до ближайшего стандартного размера (см. табл. П2), мм;

$[\sigma]_{см}$ - допускаемое напряжение на смятие для материала гаек (см. табл. П3), Н/мм².

Напряжение среза определяется из формулы:

$$\tau_{ср} = \frac{Q \cdot 10^3}{\pi \cdot D \cdot h_6} \leq [\tau]_{ср},$$

где h_6 - высота опорного бурта гайки (8... 12 мм), мм;

$[\tau]_{ср}$ - допускаемое напряжение на срез для материала гайки (см. табл. П3).

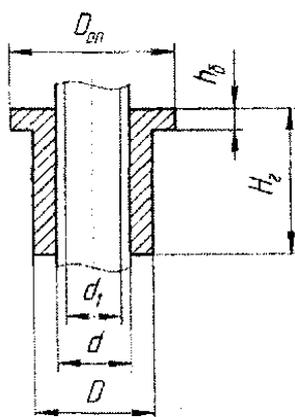


Рис. 2. Гайка винтового домкрата

3.11. Определение крутящего момента

Момент от усилия рабочего на рукоятке, обеспечивающий подъем груза, суммируется из момента, необходимого для преодоления сопротивления (трения) в резьбе и момента, необходимого для преодоления сопротивления (трения) на опорной кольцевой площадке. Поскольку моменты в резьбе и на опорной площадке могут меняться от многих факторов (недостаточная смазка, заедание, задиры в резьбе и др.), то практически принимается:

$$M_{рук} = 0,14 \cdot Q \cdot 10^3 \cdot d_2 = P_{рук} \cdot l_{рук},$$

где $P_{рук}$ - усилие рабочего на рукоятке, Н;

$$P_{рук} = \frac{M_{рук}}{l_{рук}} \leq [P]_{рук},$$

где $l_{рук}$ - длина рукоятки, мм;

$[P]_{рук} = 150...300$ - допускаемое усилие рабочего на рукоятке, Н.

Если расчетная величина $P_{рук} > [P]_{рук}$, то увеличивается длина рукоятки или допускается работа двух человек, при этом неудобстве работы суммарное усилие на рукоятке не удваивается, а принимается равным $(1,8...1,9) [P]_{рук}$.

3.12. Диаметр рукоятки определяется по формуле:

$$d_{рук} = \sqrt[3]{\frac{P_{рук} \cdot l_{рук}}{0,1 \cdot [\sigma]_{из}}},$$

где $[\sigma]_{из}$ - допускаемое напряжение на изгиб для материала рукоятки (см. табл. ПЗ).

3.13. Общий коэффициент полезного действия винтового домкрата определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q \cdot 10^3 \cdot S}{2 \cdot M_{рук} \cdot \pi}.$$

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и классификация.
2. Вспомогательные грузоподъемные машины (реечные, винтовые и гидравлические домкраты).
3. Виды резьб.
4. Достоинства и недостатки резьб.
5. Устройство винтового домкрата.
6. Первый критерий расчета винтового домкрата.
7. Второй критерий расчета винтового домкрата.
8. Третий критерий расчета винтового домкрата.
9. Материал для изготовления винта.
10. Материал для изготовления гайки.
11. Определяемые параметры винта.
12. Условие на устойчивость винта.
13. Способы определения критической силы для винта.
14. Условие прочности винта.
15. Условие самоторможения домкрата.
16. Условие для расчета количества витков гайки.
17. Определяемые параметры гайки.
18. Условие определения на срез в гайке.
19. Определяемые параметры рукоятки.
20. КПД винтового домкрата.
21. Область применения винтового домкрата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернин И. М. Расчет деталей машин / И. М. Чернин, А. В. Кузьмин, Г. М. Ицкович. - Минск : Высшая школа, 1978. - 278 с.
2. Боков В. Н. Детали машин / В. Н. Боков. - М. : Высш. шк., 1960. - 310с.
3. Решетов Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов. - М. : Машиностроение, / 974. - 326 с.
4. Горский А. И. Допускаемые напряжения при расчете на прочность в машиностроении / А. И. Горский, Л. Ф. Пискумович, Е. Б. Иванов-Эмин. - М. : ГОСИНТИ, 1962. - 210 с.

Варианты задания к расчету домкрата

№ п/п	Грузоподъемность Q, кН	Высота подъема груза l , м	Наименование резьбы	Конструкция и материал гайки
1	20	0,2	Прямоугольная	Цельная из бронзы
2	20	0,3		
3	25	0,4		
4	25	0,5		
5	30	0,2		
6	30	0,3		
7	35	0,4		
8	35	0,5		
9	35	0,2		
10	40	0,3	Трапецеидальная	
11	40	0,4		
12	40	0,5		
13	45	0,2		
14	45	0,3		
15	45	0,4		
16	50	0,5		
17	50	0,2		
18	50	0,3		
19	60	0,4	Упорная	
20	60	0,5		
21	50	0,2		
22	70	0,3		
23	70	0,4		
24	70	0,5		
25	80	0,2		
26	80	0,3		
27	90	0,4		
28	90	0,5		
29	100	0,4		

Линейные размеры (мм), выписка из ГОСТ

10; 10,5; 11; 11,5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 10; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 53; 56; 60; 63; 67; 71; 75; 80; 85; 90; 95
100; 195; 110; 120; 125; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200; 210; 220; 240; 250; 260; 280; 300; 320; 340; 360; 380; 400

Таблица П3

Величины допускаемых напряжений при статической нагрузке для материалов винта и гайки

Материал винта	Допускаемые напряжения (Мпа) при			
	растяжении [σ] _р	изгибе [σ] _{из}	срезе [τ] _{ср}	смятии [σ] _{см}
Марки стали				
Ст3	135	160	80	200
Ст4	155	185	95	230
Ст5	170	200	100	250
45	190	230	115	280
45	300	360	180	450
50	200	245	120	310
40Х	370	450	220	560
40ХН	410	490	240	610
Материал гайки				
Бронза	50...60		30...50	70...80
Чугун	30...49		30...50	60...80

Таблица П4

Допускаемое давление в винтовых парах

Материал винтовой пары	[P], Мпа
Закаленная сталь - бронза	12...13
Незакаленная сталь - бронза	8...10
Закаленная сталь - чугун АВЧ-1, АКЧ-1	7...9
Незакаленная сталь - чугун АВЧ-2, АКЧ-2	6...7
Незакаленная сталь - чугун СЧ19-36, СЧ21-40	5

Таблица П5

Диаметры и шаги трапецеидальной
и прямоугольной резьбы (ГОСТ), мм

Диаметр d , мм			Шаг резьбы S , мм		
1 ряд	2 ряд	3 ряд	1 ряд	2 ряд	3 ряд
10; 12	14	—	—	3	2
16; 20	18	—	—	4	2
26	22; 28	24	8	5	2
32; 40	36	30; 34; 38; 42	10	6	3
50; 60	44; 48; 52	46	12	8	3
80	70	65; 75	16	10	4
100	90; 100	85; 95	20	12	5
120	140	130; 150	24	16	6

Таблица П6

Диаметры и шаги упорной резьбы (ГОСТ), мм

Диаметр d , мм			Шаг резьбы S , мм		
1 ряд	2 ряд	3 ряд	1 ряд	2 ряд	3 ряд
10; 12 16; 20	14; 18	—	—	—	2
26	22; 28	24	8	5	2
32; 40	36	30; 34; 38; 42	10	6	3
50; 60	44; 56	46; 48; 52	12	8	3
80	70	65; 76	16	10	4
100	90; 110	86; 95	20	12	5
120	140	130; 150	24	16	6

Примечания:

1. При выборе диаметра резьбы следует предпочитать первый ряд второму, а второй - третьему.
2. Предпочтительны шаги резьбы, напечатанные во второй колонке.

Значение коэффициентов a и b

Марка стали	a , Мпа	b , Мпа
Ст4	328	1,11
Ст5	350	1,15
45	450	1,67
50	473	1,87