



ГБПОУ «Пермский политехнический колледж имени
Н.Г. Славянова»

Методические указания
для обучающихся по выполнению практических занятий
по дисциплине

ОП.02 «Техническая механика»

специальности

15.02.04 Специальные машины и устройства

Рассмотрено на заседании
предметной цикловой комиссии
«Выпускающая студентов на
государственную итоговую
аттестацию»

протокол № 6

«24» января 2024г.

Председатель ЦКК

Вепрева С.В./

Автор:

преподаватель

ГБПОУ «ППК им. Н.Г. Славянова»

Катаева Галина Валентиновна



СОДЕРЖАНИЕ

1	Пояснительная записка	
2	Содержание практических работы	4
	Практическая работа №1 «Определение равнодействующей силы ПССС»	6
	Практическая работа №2 «Определение реакций опор консольных и двухопорных балок»	10
	Практическая работа №3 «Определение реакций опор валов редукторов»	15
	Практическая работа №4 «Построение эпюр продольных сил, нормальных напряжений и деформаций бруса при растяжении и сжатии»	21
	Практическая работа №5 «Механические испытания свойств материалов»	23
	Практическая работа №6 Построение эпюр крутящих моментов, расчет на прочность и жесткость при кручении круглого бруса постоянного сечения»	24
	Практическая работа №7 «Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов при прямом поперечном изгибе двухопорных и консольных балок»	26
	Практическая работа №8 «Расчет круглого бруса на изгиб с кручением»	27
	Практическая работа №9 «Определение критической силы сжатого стержня»	28
	Практическая работа №10 «Кинематический и силовой расчет механического привода»	29
	Практическая работа №11 «Расчет зубчатой передачи»	36
	Практическая работа №12 «Уточненный расчет валов на выносливость»	37
	Практическая работа №13 «Расчет подшипников качения на долговечность»	38
	Практическая работа №14 «Расчет соединений на прочность»	39
3	Список источников и литературы	40

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению практических занятий обучающимися по дисциплине *ОП.02 Техническая механика* предназначены для обучающихся по специальности 15.02.04 «Специальные машины и устройства» (*технический профиль профессионального образования*)

Цель методических указаний: оказание помощи обучающимся в выполнении практических работ по дисциплине *ОП.02 Техническая механика*.

Настоящие методические указания содержат работы, которые позволят обучающимся закрепить теоретические знания, сформировать необходимые умения и навыки деятельности по специальности «Специальные машины и устройства», направлены на формирование следующих компетенций:

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 02. Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности;

ОК 04. Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде;

ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста;

ОК 09. Пользоваться профессиональной документацией.

ПК 5.1. Вести разработку, заполнение, оформление и контроль бумажных и электронных документов в специализированном программном обеспечении.

В результате выполнения практических работ по дисциплине обучающиеся должны:

уметь:

- производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;
- читать кинематические схемы;
- определять напряжения в конструкционных элементах;
- распознавать задачу или проблему в профессиональном и социальном

контексте;

• правильно выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи или проблемы;

знать:

- - основы технической механики;
- виды механизмов, их кинематические и динамические характеристики;
- методику расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации;
- основы расчета механических передач и простейших сборочных единиц общего назначения.

• основные источники информации и ресурсы для решения задач и проблем в профессиональном и социальном контексте;

- методы работы в профессиональной и смежных сферах

.Описание каждой практической работы содержит: раздел, тему, количество часов, цели работы, что должен знать и уметь обучающийся, теоретическую часть, порядок выполнения работы, контрольные вопросы, учебно-методическое и информационное обеспечение.

На выполнение практических работ по дисциплине отводится 28 часов.

Общие правила выполнения практических заданий

1. Каждый обучающийся после выполнения задания должен представить отчет о проделанной работе с анализом полученных результатов и выводом.
2. Отчет о проделанной работе следует оформить в тетради для практических занятий.
3. Таблицы и рисунки следует выполнять с помощью чертежных инструментов.
4. В расчетах обязательно указывать буквенные обозначения величин и единицы измерения.
5. Расчет следует проводить с точностью до двух значащих цифр после запятой.
6. Если обучающийся не выполнил практическое задание. То он может выполнить его во внеурочное время, согласованное с преподавателем.

Содержание практических занятий
Практическая работа № 1
«Определение равнодействующей силы ПССС»

Раздел 1. Техническая механика

Раздел 1: Теоретическая механика.

Тема 1.2: Плоская система сходящихся сил.

Количество часов: 2ч

Цель:

1. Закрепление теоретических знаний по теме.
2. Формирование практических умений и навыков определения равнодействующей системы сходящихся сил аналитическим способом.

Обучающийся должен знать:

- условия равновесия плоской системы сходящихся сил;
- аналитический способ определения равнодействующей силы;
- условия равновесия в аналитической форме.

Обучающийся должен уметь:

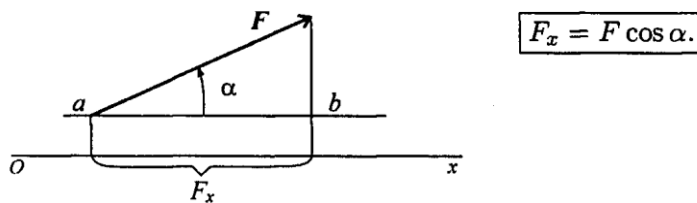
- определять равнодействующую аналитическим способом.

Теоретическая часть:

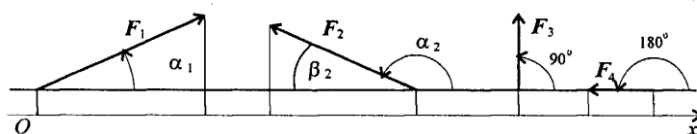
Система сил, линии действия которых пересекаются в одной точке, называется *сходящейся*.

Аналитический способ определения равнодействующей

Проекция силы на ось определяется отрезком оси, отсекаемым перпендикулярами, опущенными на ось из начала и конца вектора.



Величина проекции силы на ось равна произведению модуля силы на косинус угла между вектором силы и положительным направлением оси. Таким образом, проекция имеет знак: *положительный* при одинаковом направлении вектора силы и оси и *отрицательный* при направлении в сторону отрицательной полуоси.

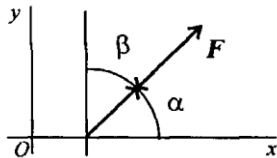


$$F_{1x} = F_1 \cos \alpha_1 > 0; \quad F_{2x} = F_2 \cos \alpha_2 = -F_2 \cos \beta_2;$$

$$\cos \alpha_2 = \cos(180^\circ - \beta_2) = -\cos \beta_2$$

$$F_{3x} = F_3 \cos 90^\circ = 0; \quad F_{4x} = F_4 \cos 180^\circ = -F_4.$$

Проекция силы на две взаимно перпендикулярные оси:

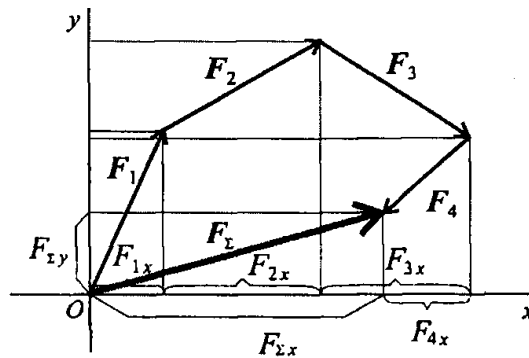
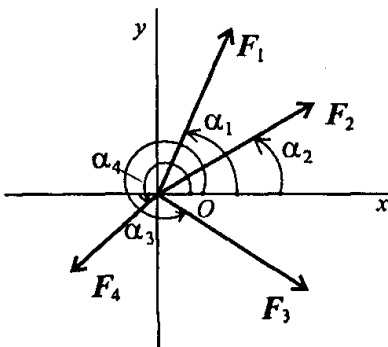


$$F_x = F \cos \alpha > 0;$$

$$F_y = F \cos \beta = F \sin \alpha > 0.$$

Порядок определения равнодействующей:

1. Величина равнодействующей равна векторной (геометрической) сумме векторов системы сил. Определяем равнодействующую геометрическим способом.
2. Выбираем систему координат, определяем проекции всех заданных векторов на оси.
3. Складываем проекции всех векторов на оси x и y .



$$F_{\Sigma x} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x}; \quad F_{\Sigma y} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y};$$

$$F_{\Sigma x} = \sum_0^n F_{kx}; \quad F_{\Sigma y} = \sum_0^n F_{ky}.$$

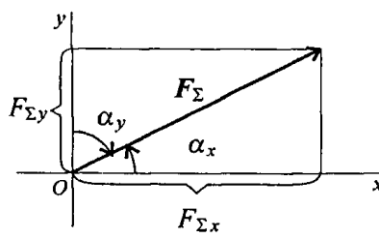
4. Модуль (величину) равнодействующей определяем по известным проекциям:

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}.$$

5. Направление вектора равнодействующей определяем по величинам и знакам косинусов углов, образуемых равнодействующей с осями координат:

$$\cos \alpha_x = \frac{F_{\Sigma x}}{F_{\Sigma}};$$

$$\cos \alpha_y = \frac{F_{\Sigma y}}{F_{\Sigma}}.$$



Условия равновесия плоской системы сходящихся сил в аналитической форме:

Плоская система сходящихся сил находится в равновесии, если алгебраическая сумма проекций всех сил системы на любую ось равна нулю.

$$\begin{cases} \sum_0^n F_{kx} = 0; \\ \sum_0^n F_{ky} = 0. \end{cases}$$

Пример решения задач

Определить равнодействующую плоской системы сходящихся сил аналитическим и геометрическим способами. Дано: $F_1 = 10$ кН; $F_2 = 15$ кН; $F_3 = 12$ кН; $F_4 = 8$ кН; $F_5 = 8$ кН; $\alpha_1 = 30^\circ$; $\alpha_2 = 60^\circ$; $\alpha_3 = 120^\circ$; $\alpha_4 = 180^\circ$; $\alpha_5 = 300^\circ$.

Решение.

1. Определяем равнодействующую аналитическим способом (схема *a*).

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1x} = 10 \cdot \cos 30^\circ = 8,66 \text{ кН}; \\ F_{2x} = 15 \cdot \cos 60^\circ = 7,5 \text{ кН}; \\ F_{3x} = -12 \cdot \cos 60^\circ = -6 \text{ кН}; \\ F_{4x} = -8 \text{ кН}; \\ F_{5x} = 8 \cdot \cos 60^\circ = 4 \text{ кН}; \end{array} \right\} \begin{array}{l} F_{\Sigma x} = \sum F_{kx}; \\ F_{\Sigma x} = 6,16 \text{ кН}. \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{1y} = 10 \cdot \cos 60^\circ = 5 \text{ кН}; \\ F_{2y} = 15 \cdot \cos 30^\circ = 12,99 \text{ кН}; \\ F_{3y} = 12 \cdot \cos 30^\circ = 10,4 \text{ кН}; \\ F_{4y} = 0; \\ F_{5y} = -8 \cdot \cos 30^\circ = -6,9 \text{ кН}; \end{array} \right\} \begin{array}{l} F_{\Sigma y} = \sum F_{ky}; \\ F_{\Sigma y} = 21,49 \text{ кН}. \end{array}$$

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}; \quad F_{\Sigma} = \sqrt{6,16^2 + 21,49^2} = 22,36 \text{ кН};$$

$$\cos \alpha_{\Sigma x} = \frac{F_{\Sigma x}}{F_{\Sigma}}; \quad \cos \alpha_{\Sigma x} = \frac{6,16}{22,36} = 0,2755; \quad \alpha_{\Sigma x} = 74^\circ.$$

Задание: Определить равнодействующую плоской системы сходящихся сил аналитическим и графическим способами, используя схему расположения сил согласно своего варианта

№ варианта	Заданные силы, кН			Углы между силой и осью x, град.		
	F ₁	F ₂	F ₃	α_1	α_2	α_3
1.	4	8	2	45	125	270
2.	1	6	9	60	110	180
3.	3	4	6	110	20	270
4.	9	1	4	20	210	90
5.	8	7	9	60	145	0
6.	4	3	6	45	90	245
7.	2	1	9	150	240	270
8.	3	4	5	60	300	90
9.	1	7	9	120	60	0
10.	7	8	2	150	45	180
11.	2	8	8	120	30	270
12.	3	2	3	135	80	180
13.	1	9	4	140	200	270
14.	7	7	9	20	300	180
15.	2	1	3	45	160	180
16.	3	5	1	180	45	95
17.	4	3	6	210	30	0
18.	5	4	9	80	180	205
19.	8	7	4	75	200	90
20.	7	5	8	60	190	0
21.	6	7	6	40	225	270
22.	5	6	8	20	130	180
23.	4	7	9	45	120	0
24.	3	9	6	135	180	75
25.	2	6	8	300	140	270
26.	8	2	3	270	160	75
27.	1	4	4	90	110	85
28.	3	7	8	30	210	90
29.	4	5	7	145	60	180
30.	5	7	2	120	20	0

31.	3	6	8	60	150	180
------------	----------	----------	----------	-----------	------------	------------

Форма контроля: оценка расчетно-графической работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Определение равнодействующей аналитическим способом	0 - 3
2	Четкость и последовательность изложения решения задачи	0 - 3
3	Соблюдение требований к оформлению работы	0 - 3
Итого		0 - 9

Каждый критерий оценивается от 0 до 3 баллов.

0 – критерий не представлен

1- представлен нечетко и неубедительно;

2 - критерий представлен достаточно убедительно;

3 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 9 баллов):

9 баллов – *отлично*;

7-8 баллов – *хорошо*;

5-6 баллов – *удовлетворительно*;

менее 5 баллов – *неудовлетворительно*.

Практическая работа № 2

«Определение реакций опор консольных и двухопорных балок»

Раздел 1: Теоретическая механика.

Тема 1.4: Плоская система произвольно расположенных сил.

Количество часов: 2ч

Цель:

1. Закрепление теоретических знаний по теме.
2. Формирование практических умений и навыков определения реакций опор балок, работающих под действием сосредоточенных сил, распределенной нагрузки и моментов.

Обучающийся должен знать:

- виды нагрузок, действующих на балки;
- разновидности опор балок;
- условия равновесия произвольной плоской системы сил.

Обучающийся должен уметь:

- определять реакции опор в шарнирах балочных систем из условий равновесия.

Теоретическая часть:

Некоторые типы связей и их реакции

Тело, перемещение которого ограничено в пространстве, называется **несвободным**. Все то, что ограничивает перемещение этого тела, есть **связь**. Сила, с которой данная связь действует на тело, называется **силой реакции** (противодействия) **связи**, или просто **реакцией связи**. Она направлена в сторону, противоположную той, куда связь не дает перемещаться телу.

Шарнирно-подвижная опора

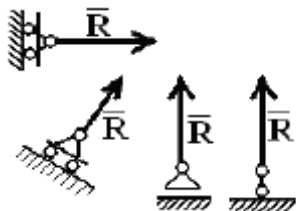


Рис. 1

Реакция такой опоры R всегда перпендикулярна плоскости опирания. На расчетных схемах она изображается, как показано на рис.1.

Цилиндрический шарнир или шарнирно-неподвижная опора

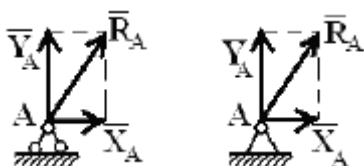


Рис.2

Реакция RA такой опоры может иметь любое направление в плоскости, поэтому ее раскладывают на две составляющие X_A , Y_A (рис. 2).

Уравнения равновесия

Если на твердое тело действует **плоская система сходящихся сил** (линии действия этих сил должны сходиться в одной точке), то условие равновесия можно записать в виде алгебраической суммы проекций всех сил на координатные оси X и Y :

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0 \quad \text{и} \quad \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0.$$

Когда твердое тело находится под действием произвольной плоской системы сил, для его равновесия необходимо и достаточно, чтобы алгебраическая сумма проекций всех сил на координатные оси X и Y равнялась нулю, а также и алгебраическая сумма моментов всех сил относительно произвольной точки равнялась нулю.

Три формы уравнений равновесия:

Три формы уравнений равновесия:

первая форма	вторая форма	третья форма
$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0;$	$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0;$	$\sum_{k=1}^n M_A(\bar{F}_k) = 0;$
$\sum_{k=1}^n F_{ky} = 0;$	$\sum_{k=1}^n M_A(\bar{F}_k) = 0;$	$\sum_{k=1}^n M_B(\bar{F}_k) = 0;$
$\sum_{k=1}^n M_O(\bar{F}_k) = 0;$	$\sum_{k=1}^n M_O(\bar{F}_k) = 0;$	$\sum_{k=1}^n M_O(\bar{F}_k) = 0.$

Для второй формы есть ограничение – ось X не должна быть перпендикулярна линии OA . В третьей форме уравнений равновесия точки A , B и O не должны лежать на одной прямой.

План решения задач по определению опорных реакций

При решении такого типа задач план решения удобнее записать в более детализированном виде:

1. Выделить твердое тело, равновесие которого будем рассматривать для отыскания неизвестных сил (т.е. объект равновесия), выбрав при этом систему координат.
2. Изобразить активные силы.
3. Отбросить связи и приложить к телу соответствующие реакции.
4. Определить, какая система сил действует на тело и убедиться в том, что данная задача является статически определимой, т.е. количество неизвестных опорных реакций не превышает количества независимых уравнений статики, которые могут быть для нее записаны.
5. Для выбранной системы координат выбрать моментные точки и составить уравнения равновесия в одной из форм.
6. Решить полученную систему уравнений, т.е. определить неизвестные реакции связей.
7. Провести проверку полученных результатов и их анализ. При решении стоит стремиться к написанию более простых уравнений с наименьшим числом неизвестных. Для этого следует:

а) оси координат направлять так, чтобы некоторые из неизвестных сил оказывались перпендикулярными к одной из выбранных осей;

б) за моментную точку стоит выбирать ту, в которой пересекаются линии действия нескольких сил. Тогда моменты этих сил относительно данной точки будут равны нулю и не войдут в уравнение моментов;

в) в случае, если сила расположена не перпендикулярно к элементу конструкции, её необходимо раскладывать на две составляющие, параллельные координатным осям.

Стоит всегда помнить, что распределенную нагрузку необходимо заменять её равнодействующей.

Пример 1. Нахождение опорных реакций простых и составных балок при действии заданных сил.

Определить реакции опор балки $ДВ$, находящейся под действием заданной системы сил, если $P = 10 \text{ кН}$, $q = 3 \text{ кН/м}$ и $M = 12 \text{ кН} \times \text{м}$ (рис. 2.8). Необходимые размеры указаны на рисунке.

Дано: $P = 10 \text{ кН}$, $q = 3 \text{ кН/м}$ и $M = 12 \text{ кН} \times \text{м}$.

Определить: реакции опор.

Решение.

1. Будем рассматривать равновесие балки $ДВ$.

Выберем систему координат: ось X – вдоль балки вправо, а ось Y – вверх по вертикали.

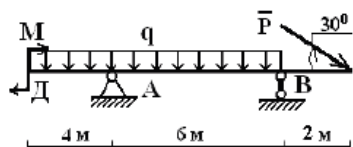


Рис.4

2. На балку действуют следующие активные силы: сосредоточенная сила P , приложенная в точке C под углом 30° к балке, распределенная нагрузка q на участке $ДВ$ и

пара сил с моментом M (рис. 5). Разложим сосредоточенную силу P на две ее составляющие P_x и P_y , где $P_x = P \times \cos 30^\circ$ и $P_y = P \times \sin 30^\circ$.

Распределенную нагрузку заменим ее равнодействующей:

$$R = q \times DB = 3 \times 10 = 30 \text{ кН (рис.5).}$$

3.Применив аксиомы связей, отбросим опоры и компенсируем их действие реакциями.

Шарнирно - неподвижную опору А заменяем двумя взаимно перпендикулярными составляющими X_A и Y_A , а невесомый стержень В – на реакцию R_B , направленную вдоль невесомого стержня (рис.6).

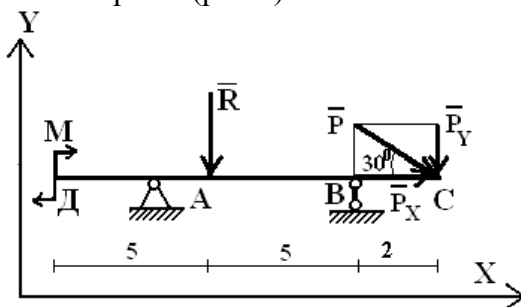


Рис. 5. Балка с приложенными к ней активными силами

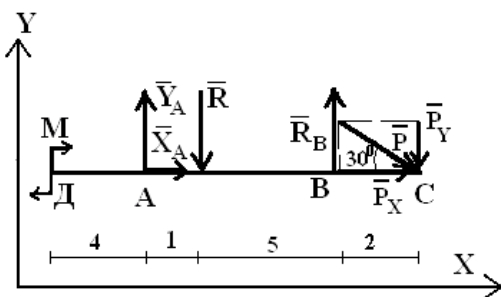


Рис. 6. Свободная балка с приложенными к ней активными силами и реакциями связей

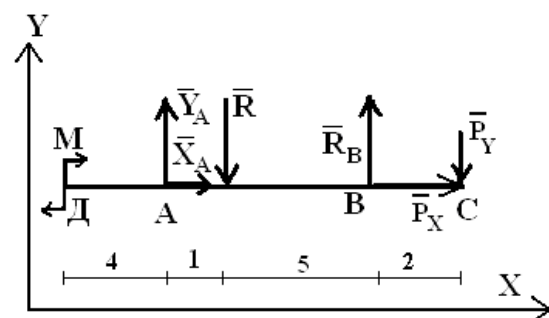


Рис. 7. Расчетная схема

4. Теперь балка свободна и находится в равновесии под действием произвольной плоской системы сил X_A , Y_A , R , R_B , P_x , P_y и пары с моментом M (рис. 7). Неизвестными являются три силы X_A , Y_A , R_B , и три независимых уравнения равновесия можно составить. Следовательно, задача является статически определимой.

5. Составляем уравнения равновесия в проекциях на оси X и Y и уравнение моментов. Выбираем точку А в качестве моментной.

$$\sum_{k=1}^3 F_{kX} = 0 \Rightarrow X_A + P \cdot \cos 30^\circ = 0,$$

$$\sum_{k=1}^4 F_{kY} = 0 \Rightarrow Y_A - R + R_B - P \cdot \cos 60^\circ = 0,$$

$$\sum_{k=1}^4 M_A(\bar{F}_k) = 0 \Rightarrow -M - R \cdot 1 + R_B \cdot 6 - P \cdot \cos 60^\circ \cdot 8 = 0.$$

6. Из уравнений находим:

$$X_A = -P \cdot \cos 30^\circ,$$

$$R_B = \frac{M + R \cdot 1 + P \cdot \cos 60^\circ \cdot 8}{6},$$

$$Y_A = R - R_B + P \cdot \cos 60^\circ.$$

Подставляя значения, получим

$$X_A = -10 \cdot 0.866 = -8.66 \text{ кН},$$

$$R_B = \frac{12 + 30 \cdot 1 + 10 \cdot 0.5 \cdot 8}{6} \approx 13.667 \text{ кН},$$

$$Y_A = 30 - 13.67 + 10 \cdot 0.5 \approx 21.333 \text{ кН}.$$

7. Проведем проверку правильности составленных уравнений, для этого составим уравнение моментов относительно другой моментной точки, например В.

$$\sum_{k=1}^4 M_B(\bar{F}_k) = 0 \Rightarrow -M - Y_A \cdot 6 + R \cdot 5 - P \cdot \sin 30^\circ \cdot 2 = 0,$$

$$-12 - 21.333 \cdot 6 + 30 \cdot 5 - 10 \cdot 0.5 \cdot 2 = 0,$$

$$0.002 \approx 0.$$

Ошибка в $0.002 \text{ кН} \times \text{м}$ – следствие округления результатов. Значит уравнения составлены верно, и реакции опор найдены правильно. Знак «-» у реакции X_A указывает на то, что фактическое направление вектора X_A противоположно направлению, выбранному нами.

Ответ: $X_A = -8.66 \text{ кН}$, $Y_A = 21.333 \text{ кН}$, $R_B = 13.667 \text{ кН}$.

Задание.

.Определить реакции опор двухопорной балки.

Каждому студенту выдается вариант задания для самостоятельного решения. Выбор варианта задания производится в соответствии с номером студента в журнале группы:

Форма контроля: оценка расчетно-графической работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Определение реакций опор двухопорной балки	0 - 3
3	Проверка решений	0 - 3
4	Четкость и последовательность изложения решения задачи	0 - 2
5	Соблюдение требований к оформлению работы	0 - 2
Итого		0 - 10

Каждый критерий оценивается от 0 3 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 10 баллов):

9-10 баллов – *отлично*;

7-8 баллов – *хорошо*;

5-6 баллов – *удовлетворительно*;

менее 5 баллов – *неудовлетворительно*.

Практическая работа № 3 «Определение реакций опор валов редукторов»

Тема 1.5: Пространственной системы сил.

Количество часов: 2ч

Цель:

1. Закрепление теоретических знаний по теме.
2. Формирование практических умений и навыков определения реакций опор валов, работающих под действием сосредоточенных сил и моментов.

Обучающийся должен знать:

- виды нагрузок, действующих на валы;
- условия равновесия пространственной системы произвольно расположенных сил.

Обучающийся должен уметь:

- определять реакции опор валов из условий равновесия.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА РАВНОВЕСИЕ (ПРСРС)

- 1) Выделить тело, равновесие которого надо рассмотреть.
- 2) Указать какие тела являются Связями.
- 3) Освободить тело оси связей, заменив их действие силами реакций.
Не свободное тело (со связями) стало свободным телом (без связей) применили "принцип освобождение™ от связей".
- 4) Выбрать прямоугольную систему координат, обозначить все неизвестные силы реакций» Рациональное расположение осей тогда, когда наибольшее число сил, действующие на тело будет параллельно одной из осей координат. Убедиться что задача статики определяемая, т.е. число неизвестных величин не должно быть более шести уравнений равновесия статики.
- 5) Составить шесть условий и уравнений равновесия статики для свободного абсолютно твердого тела.

Равновесие тела – это покой или равномерного прямолинейного или вращательного движения относительно неподвижных осей координат X, Y, Z .

Решить уравнения равновесия статики и найти неизвестные величины.

Проверить решение. Надо составить уравнения суммы моментов сил относительно новых координатных осей X_1, Y_1

$$(1) \sum M_{x1}=0 \quad (2) \sum M_{x1}=0$$

При подстановки в них новых найденных неизвестных величин получим тождество, значит, реакции найдены верно.

Пример

Ведущий (ведомый) вал цилиндрического редуктора, установленный в опорах (подшипниках качения) передает вращающий момент.

$$\begin{cases} T_1 = \dots \text{ Н-м - вращающий момент на быстроходном (ведущем) валу.} \\ T_2 = 180 \text{ Н-м - вращающий момент на тихоходном (ведомом) валу.} \end{cases}$$

На косозубом колесе возникает в зацеплении три взаимно перпендикулярные силы:

F_t – окружная (полезная) сила, направленная по касательной к делительной окружности колеса.

$F_r = 0,36 F_t$ – радиальная сила, направленная по радиусу к центру колеса.

$F_x = 0,2 F_t$ – осевая сила, направленная параллельно продольной оси вала.

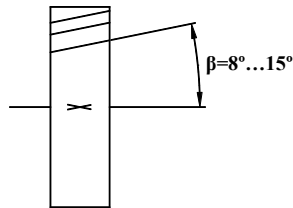
d_1 – ...мм – диаметр делительной окружности шестерни (колесо с меньшим числом зубьев)

$d_f = 210$ мм – диаметр делительной окружности зубчатого колеса.

$l = 82$ мм = 0,082 м – размер.

Определить неизвестную окружную силу F_t к суммарные реакции опор вала.

Формулы окружной, радиальной, осевой силы взяты из деталей "Зубчатые передачи" и из них получены приближенные формулы для упрощения расчетов.

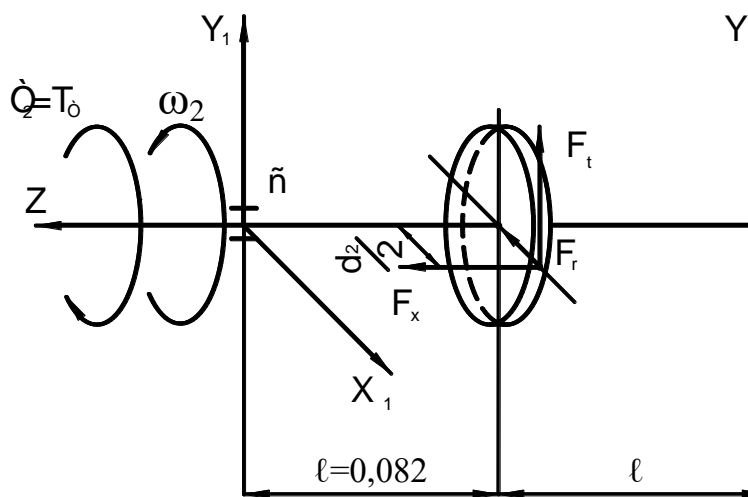


$$F_{t_2} = \frac{T_2}{\frac{d_2}{2}} = \frac{2T}{d_2} \text{ – окружная сила}$$

$$F_{r_2} = F_t \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = F_t \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 10^\circ} = F_t \frac{0,364}{0,985} \approx 0,36 F_t \text{ – радиальная}$$

сила

$$F_{x_2} = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta = F_t \cdot \operatorname{tg} 10^\circ = F_t \cdot 0,176 \approx 0,2 F_t \text{ – осевая сила}$$



Решение

1) Рассматриваем равновесие вала, т.е. вал вращается равномерно,

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \text{Const}$$

2) Выбираем оси координат XYZ, совмещаем начало координат с одной из опор вала,

3) Мысленно освобождаем вал от связей (опор C и D) и заменяем их действием на вал силами реакций: x_d, y_d, x_c, y_c, z_c . Связи вала – это опоры.

Реакция z возникает в той опоре которая воспринимает осевую силу F_x . Реакции обозначают по третьему закону Ньютона: "действие равно противодействию". Расчетная схема вала будет.

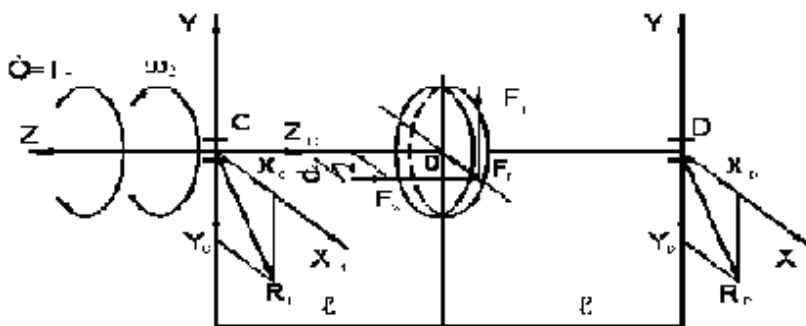


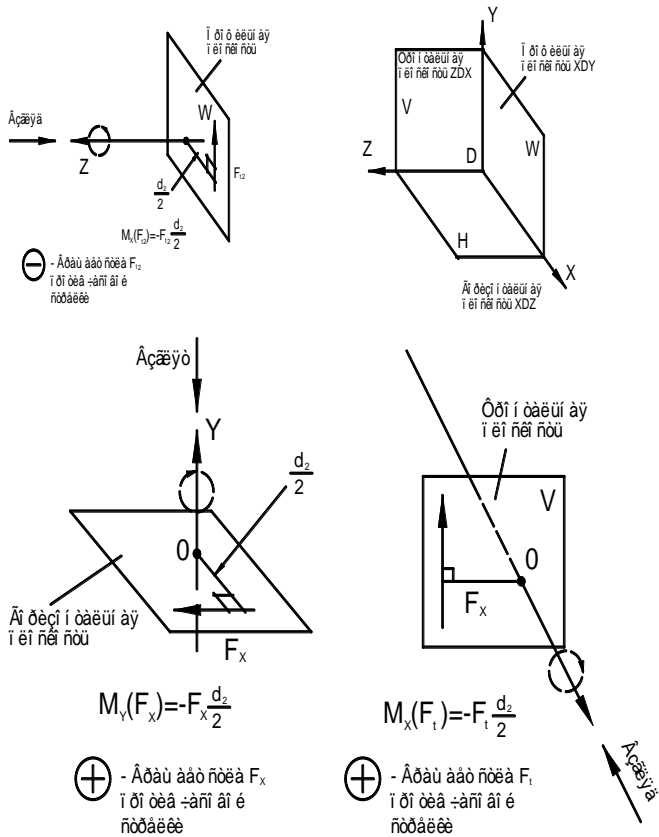
Рис 2.2

Шесть неизвестных величин: $F_{t2}, x_d, y_d, x_c, y_c, z_c$, шесть уравнений равновесия.

Вал статически определимый $n = n_{\text{неизвестных величин}} - n_{\text{число уравнений статики}} = 6 - 6 = 0$

4) Составляем шесть уравнений равновесия статики, рис 2.2. Силы, параллельные оси координат или пересекающие её, не дают моментов сил.

Силы, перпендикулярные оси координат, дают моменты сил, рис 2.3



(1)	$\Sigma M_x = 0$	$F_t l - y_c 2l = 0$
(2)	$\Sigma M_y = 0$	$F_r l + F_x \frac{d_2}{2} - x_c 2l = 0$
(3)	$\Sigma M_z = 0$	$T_2 - F_t \frac{d_2}{2} = 0$
(4)	$\Sigma X = 0$	$x_c - F_r + x_d = 0$
(5)	$\Sigma Y = 0$	$-y_c + F_t - y_d = 0$
(6)	$\Sigma Z = 0$	$F_x - z_c = 0$

Условия равновесия

В первую очередь надо найти окружную силу

$$F_t \text{ Из (3) } F_t = \frac{2T_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 180}{0,21} = 1710 \text{ Н}$$

$$\text{Из (1) } Y_C = \frac{F_t l}{2l} = \frac{F_t}{2} = \frac{1710}{2} = 855 \text{ Н}$$

$$\text{Из (2) } X_C = \frac{F_r l + F_x \frac{d_2}{2}}{2l} = \frac{615 \cdot 0,082 + 342 \frac{0,21}{2}}{2 \cdot 0,082} = \frac{86,3}{0,164} = 523 \text{ Н}$$

где зная окружную силу F_t , можно найти остальные силы в зацеплении

$F_r \approx 0,36F_t = 0,36 \cdot 1710 = 615 \text{ Н}$ – радиальная сила

$F_x \approx 0,2F_t = 0,2 \cdot 1710 = 342 \text{ Н}$ – осевая сила

$$\text{Из (4) } X_D = -X_C + F_r = -526 + 615 = 98 \text{ Н}$$

$$\text{Из (5) } Y_D = -Y_C + Fr = -855 + 1710 = 855\text{H}$$

$$\text{Из (6) } Z_C = Fx = 324\text{H}$$

Проверка решения

$$(1) \Sigma M_x = 0 \quad -Ftl + Y_D \cdot 2l = 0$$

$$(2) \Sigma M_y = 0 \quad Fx \frac{d_2}{2} - Frl + X_D \cdot 2l = 0$$

Подставляем значения величин в проверочное уравнение (1) составленного относительно новых координатных осей

$$-1710 \cdot 0,082 + 855 \cdot 2 \cdot 0,082 = 0$$

$$-141 + 141 = 0 \quad 0 = 0 \text{ тождество}$$

Подставим в уравнение (2)

$$342 \cdot 0,21/2 - 615 \cdot 0,082 + 89 \cdot 2 \cdot 0,082 = 0$$

$$50,5 - 50,4 = 0 \quad 0 = 0 \text{ тождество}$$

Значит, реакции найдены верно.

Если окажется какая – ни будь реакция со знаком "минус", то это означает, что направление её действия выбрано неверно, ошибочно, т.е. в действительности эта реакция направлена в противоположную сторону. Надо изменить на расчетной схеме направление отрицательной реакции на противоположное, пересоставить это уравнение равновесия и повторить заново расчет этого уравнения, т.е. добиться, чтобы реакция была положительной

В теоретической механике можно оставить реакцию с отрицательным знаком и подставить её с "минусом" в проверочное уравнение.

В сопротивлении материалов и деталях машин все силы, силы реакций являются положительными величинами поэтому надо направление отрицательной реакции изменить на противоположное, пересоставить уравнения равновесия и добиться получения положительной реакции.

$$R_D = \sqrt{X_D^2 + Y_D^2} = \sqrt{89^2 + 855^2} = \sqrt{737900} = 855(\text{H})$$

Суммарные реакции опор вала.

$$R_C = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2} = \sqrt{526^2 + 855^2} = \sqrt{1007000} = 1010(\text{H})$$

Опора С является наиболее нагруженной опорой, она, воспринимает все три вида нагрузок: F_t F_r F_x . В деталях машин по наиболее нагруженной опоре производят подбор подшипников качения.

Опору, воспринимающую все три вида нагрузок (окружную, радиальную, осевую: F_t, F_r, F_x) считают неподвижным шарниром.

Опору, воспринимающую два вида нагрузок (окружную, радиальную: F_t, F_r) считают подвижным шарниром.

Задание определить реакции опор вала согласно своему варианту

Форма контроля: оценка результатов решения задачи.

Критерии оценки практической работы:

Шкала оценивания	Критерии оценки
5 (отлично)	Все задания выполнены правильно, возможна одна неточность или описка, не являющаяся следствием незнания или непонимания учебного материала. Работа выполнена самостоятельно. Работа сдана с соблюдением всех сроков. Соблюдены все правила оформления отчета.
4 (хорошо)	Все задания выполнены правильно, но недостаточны обоснования, рассуждения, допущены одна ошибка или два– три недочета. Обучающийся единожды обращается за помощью преподавателя. Работа сдана в срок (либо с опозданием на два - три занятия). Есть некоторые недочеты в оформлении отчета.
3 (удовлетв.)	В заданиях допущены более одной ошибки или более трех недочетов, но обучающийся владеет обязательными умениями по проверяемой теме. Обучающийся многократно обращается за помощью преподавателя. Работа сдана с опозданием более трех занятий. В оформлении отчета есть отклонения и не во всем соответствует предъявляемым требованиям.
2 (неудовл.)	Выполнено меньше половины предложенных заданий, допущены существенные ошибки, показавшие, что обучающийся не владеет обязательными умениями по данной теме в полном объеме. Обучающийся выполняет работу с помощью преподавателя. Работа сдана с нарушением всех сроков. Множественные нарушения правила оформления работы.

Учебно-методическое и информационное обеспечение для практических работ в разделе 1 «Теоретическая механика»:

Основная литература:

- 1.Бабичева, И.В. Техническая механика : учебное пособие / Бабичева И.В. — Москва : Русайнс, 2021. — 101 с. — ISBN 978-5-4365-5348-1. — URL: <https://book.ru/book/>
- 2.Сербин, Е.П. Техническая механика : учебник / Сербин Е.П. — Москва : КноРус, 2020. — 399 с. — ISBN 978-5-406-01476-9. — URL: <https://book.ru/book/936144> (

Дополнительная литература:

1. Вереина Л.И. Основы технической механики: учебное пособие/Л.И. Вереина, М.М. Краснов.- 3-е изд., стер.- М.: Академия, 2013.-80с.; ил.
2. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и текстовых заданий: учебное пособие / В.П. Олофинская. – 3-е изд., испр. - М.:ФОРУМ, 2015. – 352 с.: ил. – (Профессиональное образование).
3. Мовнин М.С., Израелит А.Б., Рубашкин А.Г. Основы технической механики. С-П: ПОЛИТЕХНИКА, 2007.

Раздел 2. Сопротивление материалов

Практическая работа № 4

«Построение эпюр продольных сил, нормальных напряжений и деформаций бруса при растяжении и сжатии»

Раздел 2: Сопротивление материалов

Тема 2.1 Растяжение и сжатие.

Количество часов: 2ч

Цель:

Научиться строить эпюры продольных сил, напряжений и перемещений для ступенчатого бруса, закреплённого одним концом, при осевом растяжении (сжатии).

Формирование общих и профессиональных компетенций: ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09, ПК 3.1.

Обучающийся должен знать:

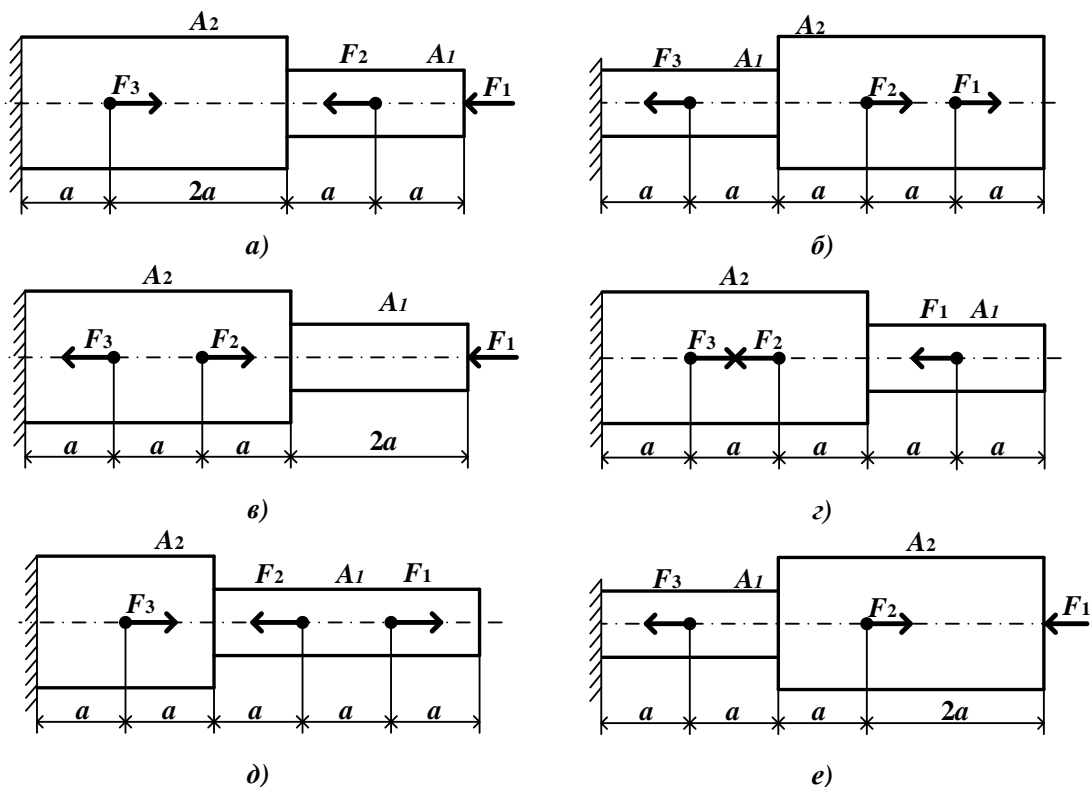
закон Гука; продольные и поперечные деформации при растяжении (сжатии); правила построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений в поперечном сечении бруса; формулы для расчёта напряжений и перемещений;

Обучающийся должен уметь:

строить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и перемещений

Задание: Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Определить перемещение свободного конца бруса. Двухступенчатый стальной брус нагружен силами F_1 , F_2 , F_3 . Площади поперечных сечений A_1 и A_2 . Принять $E=2 \cdot 10^5 \text{Н/мм}^2$

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Схема									
	а	б	в	г	д	е	а	б	в	г
$F_1, \text{кН}$	20	26	20	17	16	10	26	40	14	28
$F_2, \text{кН}$	10	20	8	13	25	12	9	55	16	14
$F_3, \text{кН}$	5	10	4	8	28	13	3	24	10	5
$A_1, \text{см}^2$	1,8	1,6	1,0	2,0	1,2	0,9	1,9	2,8	2,1	1,9
$A_2, \text{см}^2$	3,2	2,4	1,5	2,5	2,8	1,7	2,6	3,4	2,9	2,4
$a, \text{м}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,2	0,5	0,6



Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Определение границ участков	0 - 2
2	Построение эпюры продольных сил	0 - 2
3	Построение эпюры нормальных напряжений	0 - 2
4	Определение опасного сечения	0 - 2
Итого		0 - 8

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 8 баллов):

8 баллов – *отлично*;

6-7 баллов – *хорошо*;

4-5 баллов – *удовлетворительно*;

менее 5 баллов – *неудовлетворительно*.

Практическая работа № 5
«Механические испытания свойств материалов»

Раздел 2: Сопротивление материалов

Тема 2. Растяжение и сжатие.

Количество часов: 2ч

Цель:

Научиться подбирать сечение стержней, работающих на растяжение (сжатие).
 Проверка прочности

Обучающийся должен знать:

- три вида расчёта на прочность, условие прочности по предельному состоянию;

Обучающийся должен уметь:

- определять усилия в стержнях.

Задание: Двух ступенчатый прямой брус жестко защемлен (закреплен) одним концом, а другой конец свободный. Брус нагружен осевыми силами растяжения (сжатия), действующий вдоль продольной оси z.

$F = \dots$ кН - внешняя осевая сила растяжения (сжатия)

$A = \dots$ см² = \dots мм² - площадь поперечного сечения бруса.

$l = \dots$ мм - длина (размер), мм

Материал бруса сталь Ст3 (материал пластичный)

$\sigma_T = 240$ МПа - предел текучести стали (предельное нормальное напряжение)

$[n_T] = 1,8$ - допускаемый (предельный, нормативный коэффициент запаса прочности по пределу текучести).

$E = 2 \cdot 10^5$ МПа - модуль продольной упругости стали.

10^3 - множитель перевода кН в Н.

Для заданного бруса требуется:

1. Построить эпюру продольных сил по длине бруса.
2. Построить эпюру (диаграмму) нормальных напряжений по длине бруса.
3. Определить удлинение (укорочение) свободного конца бруса.
4. Расчет бруса на прочность

Вариант, схему, значение сил - принять по таблице

Вариант	Схема	FкН	A см ²	lмм	Вариант	Схема	FкН	A см ²	lмм
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1.	1.	25	2,5	150	17	1.	16	1,5	220
2.	2.	40	3,5	160	18	2.	47	3	200
3.	3.	28	1,8	170	19	3.	14	2	190
4.	4.	42	4	180	20	4.	56	3,5	180
5.	5.	26	2,6	190	21	5.	17	3	170
6.	6.	45	3	200	22	6.	60	3,5	160
7.	7.	30	2,4	210	23	7.	22	2,3	150
8.	8.	48	3,5	220	24	8.	62	3	225
9.	9.	32	2	155	25	9.	24	2	215
10.	10.	50	3	165	26	10.	66	3,5	205
11.	11.	35	2,5	175	27	11.	29	2,8	195
12.	12.	52	4	185	28	12.	57	3,6	185
13.	13.	36	3,5	195	29	13.	21	2,4	175
14.	14.	55	3,8	205	30	14.	64	4	165
15.	15.	18	2	215	31	15.	23	1,8	155

16.	16.	34	2,8	225	32	16.	68	2,2	150
-----	-----	----	-----	-----	----	-----	----	-----	-----

Схемы для выполнения задания в приложении 1.

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Построить эпюру продольных сил по длине бруса.	0 - 2
2	Построить эпюру нормальных напряжений по длине бруса.	0 - 2
3	Построение эпюры деформаций	0 - 2
4	Определение удлинения свободного конца бруса.	0 - 2
5	Проверка бруса на прочность	0 - 2
6	Вывод	0 - 2
Итого		0 - 12

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 12 баллов):

11-12 баллов – *отлично*;

9-10 баллов – *хорошо*;

7-8 баллов – *удовлетворительно*;

менее 7 баллов – *неудовлетворительно*.

Практическая работа №6

«Построение эпюр крутящих моментов, расчет на прочность и жесткость при кручении круглого бруса постоянного сечения»

Раздел 2: Сопротивление материалов

Тема 2.3 Кручение.

Количество часов: 2ч

Цель:

Освоить навыки построения эпюры крутящих моментов, выполнять проектный расчёт вала по условию прочности и условию жёсткости.

Обучающийся должен знать: условие прочности и условие жёсткости

Обучающийся должен уметь:

Строить эпюры крутящих моментов, рассчитывать вална прочность и жесткость при кручении круглого бруса постоянного сечения

Задание: На двух опорном стальном валу сплошного постоянного поперечного сечения (диаметра) по длине жестко закреплены (насажены) зубчатые колеса (или шкивы). Вал с закрепленными на нем деталями равномерно вращается с постоянной угловой скоростью $n = \text{об/мин}$

От электродвигателя с помощью ремня на вал передается мощность P_1 на ведущий шкив 1, а с ведомых колёс (шкивов) 2, 3, 4 отдается (снимается.) мощность к рабочим машинам $P_2 = \text{кВт}$, $P_3 = \text{кВт}$, $P_4 = \text{кВт}$

Трение в опорах вала не учитывать (потери мощности не превышают 2% от передаваемой мощности).

$G = 8 \cdot 10^4$ МПа- модуль поперечной упругости (модуль сдвига) для стали
 $[\tau_k] = 30$ МПа- допускаемое касательное напряжение для стали 40 (для
 конструкционной углеродистой стали $[\tau_k] — 20 \dots 35$ МПа.

$[\Theta^\circ] = 0,9^\circ = 0,9$ град/м - допускаемый относительный угол закручивания (поворота) одного поперечного сечения относительно другого на длине вала 1 м $\cdot 1000$ мм (угол закручивания на единицу длины т. е. на 1 м длины вала $\Theta^\circ = \varphi/L$ град/м.)

$L = 245$ мм -расстояние (размер).

Требуется:

1. Определить внешние вращающие (скручивающие) моменты, приложенные к валу.
2. Определить крутящие (внутренние) моменты, возникающие в поперечных сечениях вала.
3. Построить эпюру крутящих (внутренних) моментов по длине вала, приняв масштаб $10 \text{ мм} = \dots \text{ Н} \cdot \text{ м}$
4. Установить по эпюре T_k опасное сечение вала (его положение, место).
5. Выполнить расчет вала на прочность и жесткость. Определить из расчетов на прочность и жесткость требуемый диаметр вала d .
6. Определить угол закручивания (поворота) сечений вала.

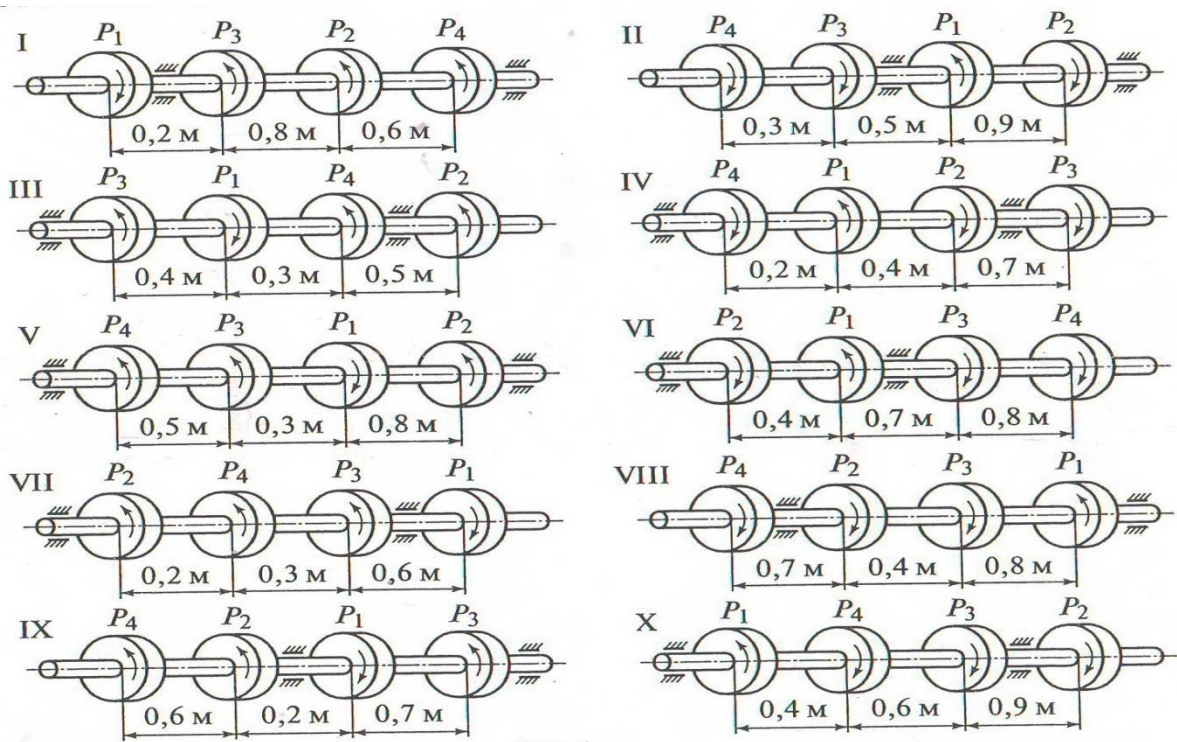


Рис. 1

Таблица 1

Варианты	Схема на рис. 1	ω , рад/с	P_1 , кВт	Варианты	Схема на рис. 1	ω , рад/с	P_1 , кВт
1, 11, 21	I	24	12	6, 16, 26	VI	60	30
2, 12, 22	II	48	18	7, 17, 27	VII	36	22
3, 13, 23	III	30	20	8, 18, 28	VIII	50	26
4, 14, 24	IV	40	14	9, 19, 29	IX	28	10
5, 15, 25	V	25	60	10, 20, 30	X	62	16

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Определение вращающих моментов на шкивах	0 - 2
2	Построение эпюры крутящих моментов	0 - 2
3	Определение диаметров вала, используя условие прочности на кручение.	0 - 2
4	Определение диаметров вала, используя условие жесткости на кручение.	0 - 2
5	Выбор диаметра вала	0 - 2
6	Построение эпюры углов закручивания	0 - 2
Итого		0 - 12

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 12 баллов):

11-12 баллов – *отлично*;

9-10 баллов – *хорошо*;

7-8 баллов – *удовлетворительно*;

менее 7 баллов – *неудовлетворительно*.

Практическая работа № 7

«Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов при прямом поперечном изгибе двухопорных и консольных балок»

Раздел 2: Сопротивление материалов

Тема 2.4 Изгиб

Количество часов: 2ч

Цель: освоить навыки построения эпюры поперечных сил и изгибающих моментов по длине балки
Формирование общих и профессиональных компетенций: ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09, ПК 3.1.

Обучающийся должен знать:

порядок построения эпюр и контроля поперечных сил и изгибающих моментов;

Обучающийся должен уметь:

строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

Задание: построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов по длине балки Схемы для выполнения задания в приложении 1.

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Определение реакций опор	0 - 2
2	Разбиение балки на характерные точки	0 - 2
3	Построение эпюры поперечных сил	0 - 2
4	Построение эпюры изгибающих моментов	0 - 2

5	Определение опасного сечения	0 - 2
6	Определение максимального момента	0 - 2
Итого		0 - 12

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 12 баллов):

11-12 баллов – *отлично*;

9-10 баллов – *хорошо*;

7-8 баллов – *удовлетворительно*;

менее 7 баллов – *неудовлетворительно*.

Практическая работа № 10 **«Расчет круглого бруса на изгиб с кручением»**

Раздел 2: Сопротивление материалов

Тема 2.7 Сочетание основных деформаций

Цель: Формирование общих и профессиональных компетенций: ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09, ПК 3.1.

Обучающийся должен знать:

Основные формулы для расчета вала на прочность по эквивалентным напряжениям с применением гипотез прочности

Обучающийся должен уметь:

выполнять расчет вала на прочность по эквивалентным напряжениям с применением гипотез прочности

Задание: Рассчитать валы на прочность при совместном действии изгиба и кручения.

Схемы для выполнения задания в приложении 1.

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	По заданной мощности P и угловой скорости ω (или <i>л</i> об/мин) определить вращающие моменты, действующие на вал	0 - 2
2	Вычислить силы, приложенные к зубчатому (червячному) колесу.	0 - 2
3	Определить реакции опор вала.	0 - 2
4	Построить эпюры изгибающих и крутящих моментов M_x , M_y , T_k .	0 - 2
5	Определить эквивалентный момент $M_{ЭКВ}$.	0 - 2
6	Выполнить расчет вала на прочность по эквивалентным напряжениям с применением гипотез прочности	0 - 2
Итого		0 - 12

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 12 баллов):

11-12 баллов – *отлично*;

9-10 баллов – *хорошо*;

7-8 баллов – *удовлетворительно*;

менее 7 баллов – *неудовлетворительно*.

Практическая работа № 11

«Определение критической силы сжатого стержня»

Раздел 2: Сопротивление материалов

Тема 2.5 Устойчивость сжатых стержней

Количество часов: 2ч

Цель:

Определить допустимое значение центрально-сжимающей силы

Обучающийся должен знать: условие устойчивости по предельному состоянию

Обучающийся должен уметь:

выполнять расчёты сжатых стержней по формуле Эйлера, эмпирическим формулам, коэффициенту продольного изгиба.

Задание: Определить величину допускаемого значения центрально-сжимающей силы

Схемы для выполнения задания в приложении 1.

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Определить площадь поперечного сечения А стойки.	0 - 2
2	Определить коэффициент продольного изгиба φ	0 - 2
3	Определить моменты инерции сечения	0 - 2
4	Определить т радиусы инерции сечения относительно осей х и у	0 - 2
5	Определить гибкость стержня	0 - 2
6	Определить величину допускаемого значения сжимающей силы	0 - 2
Итого		0 - 12

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 12 баллов):

11-12 баллов – *отлично*;

9-10 баллов – *хорошо*;

7-8 баллов – *удовлетворительно*;

менее 7 баллов – *неудовлетворительно*.

Учебно-методическое и информационное обеспечение для практических работ в разделе 2 «Теоретическая механика»:

Основная литература:

1.Бабичева, И.В. Техническая механика : учебное пособие / Бабичева И.В. — Москва : Русайнс, 2021. — 101 с. — ISBN 978-5-4365-5348-1. — URL: <https://book.ru/book/2.Сербин>,

Е.П. Техническая механика : учебник / Сербин Е.П. — Москва : КноРус, 2020. — 399 с. — ISBN 978-5-406-01476-9. — URL: <https://book.ru/book/936144> (

Дополнительная литература:

2. Вереина Л.И. Основы технической механики: учебное пособие/Л.И. Вереина, М.М. Краснов.- 3-е изд., стер.- М.: Академия, 2013.-80с.; ил.
3. Мовнин М.С., Израелит А.Б., Рубашкин А.Г. Основы технической механики. С-П: ПОЛИТЕХНИКА, 2007.
4. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и текстовых заданий. Учебник для СПО. – М. ФОРУМ 2015;
5. Аркуша А. И. Теоретическая механика и сопромат. Учебник для ССУЗ. – М.В.Ш,2000.
- 6 Аркуша А. И. Руководство к решению задач по теоретической механике. Москва: 1976г
- 7 Вереина Л. И. Техническая механика. Москва. «ПрофОбрИздат». 2002г

Раздел 3. Детали машин

Практическая работа №10

Кинематический и силовой расчет механического привода

Студенты должны знать и уметь объяснить устройство и принцип действия многоступенчатого механического привода

Уметь выполнять следующие расчеты:

- определять мощность электродвигателя на ведомом валу привода и угловую скорость ведомого вала;
- определять механический КПД привода;
- определять угловые скорости валов и вращающие моменты на каждом валу привода.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ЗАДАЧИ РАСЧЕТА

Для расчета задано:

- кинематическая схема привода и его назначение

В данном задании требуется выполнить только кинематический и силовой расчет привода:

- определить общий механический КПД привода;
- определить требуемую мощность электродвигателя;
- определить мощность на всех валах привода;
- определить угловые скорости всех валов привода;
- определить вращающие моменты на каждом валу привода.

$T_{р.м} = F_t \cdot \frac{D}{2}$ - момент сил сопротивления всегда направлен противоположно вращению рабочего вала машины (ведомого вала привода)

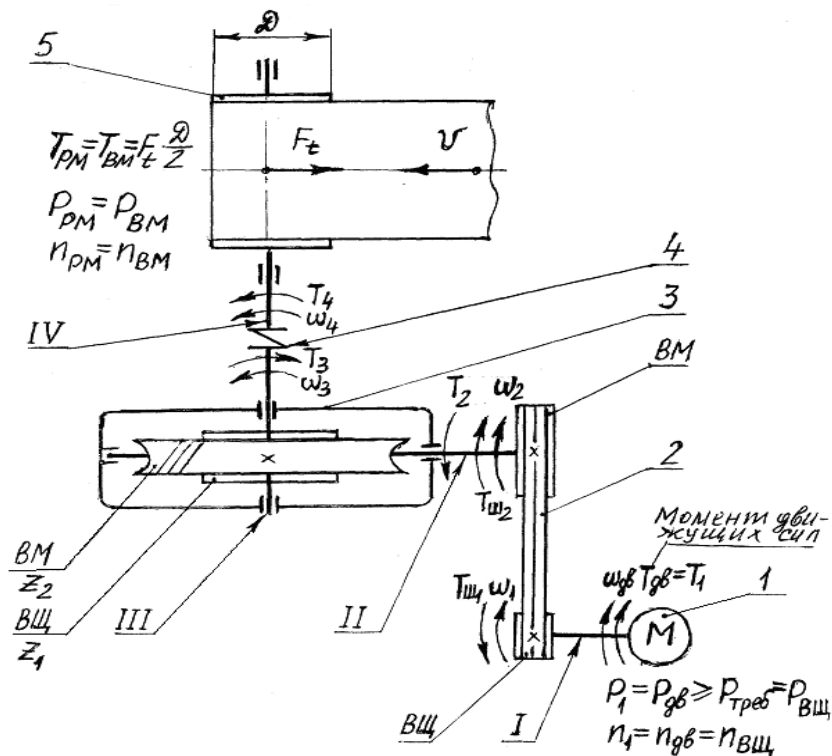


Рисунок 1 - Кинематическая схема

- | | | |
|----|------------------------|-----------------------------|
| 1. | Электродвигатель | ВЩ – ведущий элемент |
| 2. | Передача клиноременная | ВМ – ведомый элемент |
| 3. | Редуктор червячный | РМ – рабочая машина |
| 4. | Муфта упругая | |
| 5. | Барaban конвейера | |
- I - ведущий вал привода – вал электродвигателя;
 II - ведущий вал червячного редуктора;
 III - ведомый вал червячного редуктора.
 IV - рабочий вал машины – ведомый вал привода.

$n_1 = n_{дв} = n_{вщ}$ - частота вращения ведущего вала привода – вала электродвигателя,
 $мин^{-1} \left(\frac{об}{мин} \right)$

$n_4 = n_{рм} = n_{вм}$ - частота вращения ведомого вала привода

$P_1 = P_{дв}$ - мощность электродвигателя, кВт

$P_4 = P_{рм}$ - мощность на рабочем валу, кВт

Кинематическая схема предназначена для показа принципа работы машины, механизма.

3 РАСЧЕТЫ

Передачами называются устройства, предназначенные для передачи механической энергии (мощности) на расстояние с помощью шкивов, колес, звездочек.

3.1 Мощность на валу рабочей машины – ведомом валу привода(валу барабана ленточного конвейера).

$$P_{в.м} = F_t \cdot V = 3460 \cdot 0.9 = 2220 \text{ Вт} = 2,22 \text{ кВт}$$

3.2 Общий механический КПД привода ленточного конвейера. Каждая машина, механический привод может быть разложена на несколько более простых механизмов.

Это реальный механический привод, поэтому учитывают трение в кинематических парах. Происходит частичная потеря мощности вследствие:

- трения в гибкой связи: ременной цепной передаче;
- трения в зацеплении зубчатой, червячной передаче;
- трения в опорах валов привода;
- размешивание и разбрызгивание минерального масла в редуктор

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3^3 = 0.96 \cdot 0.8 \cdot 0.99^3 = 0.742$$

КПД характеризует степень совершенства машины, механизма, механического привода.

$\eta_A = 0.96$ - КПД, учитывающий потери мощности на трение в клиноременной передаче;

$\eta_2 = 0.8$ - КПД, учитывающий потери мощности на трение в зацеплении передачи и редуктора;

$\eta_3 = 0.99$ - КПД, учитывающий потери мощности на трение в опорах вала.

Валов три: два у редуктора и вал барабана конвейера.

Трение уменьшают способами:

- применением антифрикционных материалов;
- уменьшение шероховатостей трущихся деталей;
- применением подшипников качения вместо скольжения;
- применением смазки.

3.3 Выбор электродвигателя

Требуемая расчетная мощность на валу электродвигателя – ведущем валу механического привода.

$$P_{ТРЕБ} = P_{вц} = \frac{P_{вм}}{\eta} = \frac{2,22}{0,742} = 3 \text{ кВт}$$

Выбираем по каталогу электродвигатель по номинальной ближайшей мощности по условию $P_{дв} \geq P_{вц}$

Номинальной мощностью электродвигателя называется полезная механическая мощность на его валу, выраженная в ватах.

Выбран электродвигатель:

$$P_{дв} = P_{вц} = 4 \text{ кВт} - \text{номинальная мощность двигателя.}$$

$n_{\text{дв}} = n_{\text{вц}} = 1500 \text{ мин}^{-1}$ - частота вращения вала.

$S=4.7\%$ - скольжение. Тогда номинальная частота вращения вала электродвигателя будет

$$n_{\text{дв}} = n_c \cdot (1 - S) = 1500 \cdot (1 - 0.047) = 1500 - 0.047 \cdot 1500 = 1500 - 70 = 1430 \text{ мин}^{-1}$$

$\omega_{\text{дв}} = \omega_{\text{вц}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1430}{30} = 150 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$ - угловая скорость вращения вала электродвигателя.

Следует выбирать быстроходный электродвигатель с $n_{\text{дв}} \geq 1000 \text{ мин}^{-1}$, так как при равной мощности тихоходный электродвигатель имеет большую массу и большие габариты, чем быстроходный.

Все большие расчеты механических передач производят по требуемой, а не номинальной мощности электродвигателя, которую он фактически будет развивать при установившемся режиме работы электродвигателя – по $P_{\text{треб}}$.

В качестве величины, характеризующей нагрузку любой передачи, привода, принимают:

- передаваемую мощность P ;
- вращающий момент T или силу F_t

Мощность на валах механического привода.

$P_n = P_1 \cdot \eta_{1...n}$, кВт – на любом валу привода мощность на любом валу передачи, привода равна произведению мощности на ведущем валу на КПД с первого вала по n (энный) вал.

Мощность по мере удаления от ведущего вала электродвигателя всегда уменьшается, так как КПД всегда меньше единицы, т.е. $\eta < 1$ (мощность уменьшается на величину КПД).

$P_{\text{дв}} = P_{\text{вц}} = P = 3 \text{ кВт}$ - на I валу (ведущем валу привода – валу электродвигателя).

$P_2 = P_1 \eta_{1...n} = P_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 3 \cdot 0,96 \cdot 0,99 = 2,85 \text{ кВт}$ на II валу – ведущем валу червячного редуктора (на выходном конце быстроходного вала редуктора).

$P_3 = P_1 \cdot \eta_{1...n} = P_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3^2 = 3 \cdot 0,96 \cdot 0,8 \cdot 0,99^2 = 2,25 \text{ кВт}$ - на III валу – ведомом валу червячного редуктора.

$P_4 = P_{\text{вм}} = P_1 \cdot \eta_{1...n} = P_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3^2 = 3 \cdot 0,96 \cdot 0,8 \cdot 0,99^3 = 2,24 \text{ кВт}$ - на IV валу – на рабочем валу машины.

Кинематический расчет привода

Определяют угловые скорости валов привода

Угловая скорость барабана конвейера

$$V = \frac{\pi D \cdot n}{60}, \quad \text{откуда} \quad n_{в.м} = n_{р.м} = \frac{60 \cdot V}{\pi D} = \frac{60 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 0,4} = 42,8 \text{ мин}^{-1} \quad \text{или}$$

$$\omega_{в.м} = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 42,8}{30} = 4,48 \frac{\text{рад}}{\text{сек}} \quad V = \omega \cdot r = \omega \frac{D}{2}, \quad \text{откуда} \quad \omega_{в.м} = \frac{2V}{D} = \frac{2 \cdot 0,9}{0,4} = 4,48 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$$

ω, n - угловая скорость валов, но только выражена в разных единицах измерения.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n \text{ рад}}{30 \text{ сек}} - \text{угловая скорость любого твердого тела: вала, шкива, колеса.}$$

3.7 Угловые скорости валов привода.

Угловая скорость вращения любого вала передачи, привода равна частному от деления угловой скорости вращения на первом валу на передаточное число с первого вала по n вал.

$$n_n = \frac{n_I}{u_{I...n}} \text{ мин}^{-1} - \text{на любом валу передачи, привода}$$

$I...n$ – с первого вала по n вал.

$$n_1 = n_I = n_{в.ц} = n_{о.в} = 1430 \text{ мин}^{-1} - \text{вала привода (вала электродвигателя) или}$$

$$\omega_1 = \omega_I = \omega_{в.ц} = \omega_{о.в} = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1430}{30} = 150 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$$

$$n_2 = n_{II} = \frac{n_I}{u_{I...n}} = \frac{n_I}{u_1} = \frac{1430}{2} = 715 \text{ мин}^{-1} - \text{II вала привода (ведущего вала червячного редуктора)}$$

$$n_4 = n_{IV} = n_{р.м} = n_{в.м} = n_3 = 42,7 \text{ мин}^{-1} - \text{угловая скорость рабочего вала машины.}$$

$$n_4 = n_3, \text{ так как выходные концы валов соединены напрямую механической муфтой.}$$

Частота вращения ведущих валов меньше частоты ведомых валов, так как передаточное число понижающих передач всегда больше единицы, т.е. $u > 1$

Понижающими передачами называются передачи, уменьшающие частоту вращения ведомых валов по сравнению с ведущими валами.

3.8 Силовой расчет механического привода.

Вращающий момент на любом валу передачи, привода равен произведению момента вращения на первом валу на передаточное число с первого вала по n (энный) вал.

В технике при определении вращающих моментов известными величинами являются мощность $P_{о.в}$ на ведущем валу электродвигателя и частота вращения вала $n_{о.в}$, поэтому расчет всегда ведут от вала электродвигателя в направлении к рабочему валу машины.

При определении вращающего момента T на валах в формулу надо подставлять требуемую мощность $P_{\text{треб}}$, а не мощность электродвигателя, выбранную по каталогу.

$$T_{\text{дв}} = T_1 = 9,56 \frac{P_1 \cdot 10^3}{n_1} \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{ на валу привода – на валу электродвигателя или}$$

$$T_1 = \frac{P_1 \cdot 10^3}{\omega_1} \text{ Н} \cdot \text{м}, \text{ где } P_1 \text{ кВт}, n_1 \text{ мин}^{-1}$$

$$T_n = T_1 \cdot u_{1...n} \cdot \eta_{1...n} \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{ на любом валу привода}$$

$$T_{\text{дв}} = T_I = T_1 \cdot 9,56 \frac{P_1 \cdot 10^3}{n_1} = 9,56 \frac{3 \cdot 10^3}{1430} = 20 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{ на I валу – ведущем валу электродвигателя.}$$

$$T_2 = T_{II} = T_1 \cdot u_1 \cdot \eta_{1...n} = T_1 \cdot u_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_3 = 20 \cdot 2 \cdot 0,96 \cdot 0,99 = 38 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{ на II валу – ведущем валу червячного редуктора (на выходном конце быстроходного вала)}$$

$$T_3 = T_{III} = T_1 \cdot u_{1...n} \cdot \eta_{1...n} = T_1 \cdot u_1 \cdot u_2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3^2 = 20 \cdot 2 \cdot 16,7 \cdot 0,96 \cdot 0,8 \cdot 0,99^2 = 668 \cdot 0,752 = 502 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{ на III валу – ведомом валу червячного редуктора. Этот вал является наиболее нагруженным валом или } T_3 = \frac{P_3 \cdot 10^3}{\omega_3} = \frac{2,25 \cdot 10^3}{4,47} = 503 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$T_4 = T_{IV} = T_{р.м} = T_{в.м} = T_3 \cdot \eta_3 = 502 \cdot 0,99 = 496 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{ на IV валу – валу рабочей машины.}$$

$$T_{р.м} = T_4 = F_t \cdot \frac{D}{2} = 2460 \cdot \frac{0,4}{2} \approx 492 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{ момент сил сопротивления движению всегда действует по направлению противоположно вращению рабочего вала машины.}$$

Вращающие моменты, приложенные к валам, является нагрузкой для валов. По этим моментам определяют окружную силу F_t , на зубчатом колесе, а по ней находят остальные силы в зацеплении передачи – осевую F_x , радиальную силу F_r , необходимые в последующих расчетах.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Какие условные графические обозначения и правила установлены для выполнения кинематических схем механизмов и машин?
2. Укажите ведущие и ведомые звенья передачи привода.
3. С чего начинают читать кинематическую схему?
4. Покажите как передается вращательное движение и мощность, последовательно передвигаясь по контуру передачи силового тока, в направлении от электродвигателя по ступеням передач привода к валу рабочей машины.
5. Что называется мощностью? Единицы измерения мощности.
6. Причины и места потерь мощности в механическом приводе, способы уменьшения потерь мощности.
7. Что называется механическим КПД механизма машины? Какие потери мощности он учитывает и какие характеризует?

11. Что называется передаточным числом любой передачи, многоступенчатой передачи?
12. Как разбивают общие передаточные числа механического привода по отдельным ступеням передач?
13. Как определяется угловая скорость на любом валу передачи, механического привода?
14. Как выражается вращательный момент T через мощность P и угловую скорость n ?
15. Как определяется вращающий момент на любом валу передачи, механического привода?
16. Как изменяется величина мощности, угловой скорости и вращающего момента по мере удаления от вала электродвигателя к рабочему валу машины?

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Определение межосевого расстояния	0 - 2
2	Определение нормативного модуля зацепления	0 - 2
3	Определение делительных диаметров червяка и колеса	0 - 2
4	Определение параметров колес	0 - 2
5	Определение скорости колес	0 - 2
6	Определение КПД редуктора	0 - 2
7	Проверка контактных напряжений	0 - 2
8	Проверка зубьев на изгиб	0 - 2
Итого		0 - 16

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 16 баллов):

14-16 баллов – *отлично*;

11-13 баллов – *хорошо*;

8-10 баллов – *удовлетворительно*;

менее 8 баллов – *неудовлетворительно*.

Практическая работа № 11
«Расчет зубчатой передачи»

Раздел 3: Детали машин

Тема 3.3: Зубчатые передачи

Количество часов: 2ч

Цель: Формирование общих и профессиональных компетенций ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09, ПК 3.1.

Задачи:

1. Закрепление теоретических знаний по теме.
2. Формирование практических умений и навыков расчета червячной передачи.

Обучающийся должен знать:

- основы расчета зубчатой передачи;
- основные нормативные документы.

Обучающийся должен уметь:

- производить расчет геометрических, кинематических, силовых параметров зубчатых передач
- пользоваться нормативной литературой

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Задание: Выполнить расчет цилиндрической зубчатой передачи. Определить геометрические параметры передачи.

Расчет производить в рабочей тетради по дисциплине «Техническая механика» раздел «Детали машин»

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Выбор материала	0 - 2
2	Выбор допускаемых напряжений	0 - 2
3	Определение межосевого расстояния	0 - 2
4	Определение нормативного модуля зацепления	0 - 2
5	Определение делительных диаметров	0 - 2
6	Определение параметров колес	0 - 2
Итого		0 - 12

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 16 баллов):

11-12 баллов – *отлично*;

9-10 баллов – *хорошо*;

7-8 баллов – удовлетворительно;
менее 7 баллов – неудовлетворительно.

Практическая работа № 12 «Уточненный расчет валов на выносливость»

Тема 3.7 Валы и оси
Количество часов: 2ч

Цель: Формирование общих и профессиональных компетенций ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09, ПК 3.1.

. Определить расчетные нормальные и касательные напряжения и коэффициенты запаса прочности в опасном сечении вала и сравнить его с допускаемым.

Задачи:

Закрепление теоретических знаний по теме.

Формирование практических умений и навыков расчета червячной передачи.

Обучающийся должен знать:

- расчетные формулы для выполнения проверочного расчетов валов;
- характер усталостных разрушений;
- факторы, влияющие на сопротивление усталости;
- основные нормативные документы.

Обучающийся должен уметь:

- выполнять проверочный расчет прямых валов;
- пользоваться нормативной литературой.

Задание

Определить расчетные нормальные и касательные напряжения и коэффициенты запаса прочности в опасном сечении вала и сравнить его с допускаемым

Расчет производить в рабочей тетради по дисциплине «Техническая механика» раздел «Детали машин»

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Построение эпюры изгибающих моментов в горизонтальной координатной плоскости	0 - 2
2	Построение эпюры изгибающих моментов в вертикальной координатной плоскости	0 - 2
3	Расчет вала на усталостную прочность в сечение А-А (под колесом)	0 - 2
4	Расчет вала на усталостную прочность в сечение Д-Д (место посадки подшипника)	0 - 2

5	Расчет вала на усталостную прочность в сечении С-С (под муфтой)	0 - 2
6	Расчет вала на усталостную прочность в сечении Б-Б (переход с одной ступени на другую)	0 - 2
Итого		0 - 12

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 12 баллов):

11-12 баллов – *отлично*;

9-10 баллов – *хорошо*;

7-8 баллов – *удовлетворительно*;

менее 7 баллов – *неудовлетворительно*.

Практическая работа № 13

Расчет подшипников качения на долговечность

Раздел 3: Детали машин

Тема 3.7 Опоры валов и осей

Количество часов: 2ч

Цель: Формирование общих и профессиональных компетенций ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 09, ПК 3.1.

Задачи:

Закрепление теоретических знаний по теме.

Формирование практических умений и навыков расчета подшипников качения.

Обучающийся должен знать:

- основные типы подшипников качения, маркировка, способы установки;
- влияние различных факторов на долговечность и порядок расчета;
- основные нормативные документы.

Обучающийся должен уметь:

- подбирать подшипники для осей и валов;
- проводить проверку подшипников качения на долговечность.
- пользоваться нормативной литературой.

Задание

Произвести подбор подшипников качения и определить их долговечность

Расчет производить в рабочей тетради по дисциплине «Техническая механика» раздел «Детали машин»

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№	Критерии	Баллы
----	----------	-------

п/п		
1	Выбор подшипников	0 - 2
2	Определение коэффициентов	0 - 2
3	Определение эквивалентной нагрузки подшипника	0 - 2
4	Определение расчетной долговечности подшипника	0 - 2
Итого		0 - 8

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 8 баллов):

8 баллов – *отлично*;

6-7 баллов – *хорошо*;

5-4 баллов – *удовлетворительно*;

менее 4 баллов – *неудовлетворительно*.

Форма контроля: оценка расчетной работы.

Критерии оценки практической работы:

№№ п/п	Критерии	Баллы
1	Выбор размеров соединения	0 - 2
2	Проверка прочности шпонки на смятие	0 - 2
3	Ответы на вопросы	0 - 2
Итого		0 - 8

Каждый критерий оценивается от 0 до 2 баллов.

0 – критерий не представлен или представлен нечетко и неубедительно;

1 - критерий представлен недостаточно убедительно;

2 - степень представленности критерия высока или очень высока.

Оценивание решения задач (максимально 8 баллов):

8 баллов – *отлично*;

6-7 баллов – *хорошо*;

5-4 баллов – *удовлетворительно*;

менее 4 баллов – *неудовлетворительно*.

Список источников и литературы

Основные источники:

1. Бусыгин, А. М., Основы теоретической механики : учебник / А. М. Бусыгин. — Москва : КноРус, 2023. — 226 с. — ISBN 978-5-406-10996-0. — URL: <https://book.ru/book/947289>. — Текст : электронный.
2. Бабичева, И. В., Техническая механика. : учебное пособие / И. В. Бабичева, Н. В. Закерничная. — Москва : Русайнс, 2023. — 101 с. — ISBN 978-5-466-04284-9. — URL: <https://book.ru/book/951575>. — Текст : электронный.
3. Черноброва, О. Г., Техническая механика (с практикумом) : учебник / О. Г. Черноброва. — Москва : КноРус, 2023. — 217 с. — ISBN 978-5-406-10627-3. — URL: <https://book.ru/book/945820>. — Текст : электронный.
4. Сербин, Е. П., Техническая механика : учебник / Е. П. Сербин. — Москва :КноРус, 2023. — 399 с. — ISBN 978-5-406-11776-7. — URL: <https://book.ru/book/949727>. — Текст : электронный.

Дополнительные источники:

1. Эрдеди, А.А. Теория механизмов и детали машин:учебное пособие / Эрдеди А.А., Эрдеди Н.А. – М.: КноРус, 2020. – 293с. – ISBN 978-5-406-02716-5. – URL: <https://book.ru/book/926889> (дата обращения 10/03/2021). –Текст электронный.
2. Эрдеди, А.А. Теоретическая механика: учебное пособие / Эрдеди А.А., Эрдеди Н.А. – М.: КноРус, 2021. – 203с. – ISBN 978-5-406-08095-5. – URL: <https://book.ru/book/939165> (дата обращения 10/03/2021). –Текст электронный.
3. Эрдеди, Н.А. Сопротивление материалов: учебное пособие / Эрдеди Н.А., Эрдеди А.А. – М.: КноРус, 2020. – 157 с. – ISBN 978-5-406-01775-3. – URL: <https://book.ru/book/933977> (дата обращения 10/03/2021). –Текст электронный.
4. Олофинская В.П. Техническая механика. Курс лекций с вариантами практических и текстовых заданий: учебник для СПО – 3-е изд. – М., Неолит, 2015. – Цифровая книга: https://www.litres.ru/v-p-olofinskaya/tehnicheskaya-mehanika-kurs-lekciy-s-variantami-prakticheskikh-i-testovyh-zadaniy-24856696/#buy_now_noreg/