

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ РФ
Государственный университет аэрокосмического приборостроения

Кафедра: «Высшей математики и механики»

**ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим занятиям**

по дисциплине:
«ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»
для студентов всех форм обучения

Составил: доцент, к.т.н. Ершов Д.Ю.

Санкт-Петербург
2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ «СТАТИКА» И «КИНЕМАТИКА».....	5
СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ.....	9
Методические указания к контрольным заданиям	9
Задача С-1 (Равновесие одного тела)	10
Задача С-2 (Равновесие двух тел)	13
Задача С-3 (Равновесие пространственной системы сил).....	17
Задача С-4 (Центр тяжести тела)	20
Вопросы для самопроверки по статике	22
Задача К-1 (Кинематика точки).....	25
Задача К-2 (Простейшие движения тела).....	28
Задача К-3.1 (Плоское движение тела).....	30
Задача К-3.2.....	32
Задача К-4 (Сложное движение точки)	33
Вопросы для самопроверки по кинематике	37
СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ «ДИНАМИКА» И «АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА».....	40
Динамика точки	40
Общие теоремы динамики.....	41
Задача Д-1 (Динамика материальной точки)	44
Задача Д-2 (Относительное движение точки)	47
Задача Д-3 (Общие теоремы динамики системы)	49
Задача Д-4 (Динамика механической системы)	60
Задача Д-5 (Принцип Д'Аламбера).....	62
Вопросы для самопроверки по динамике	65
Задача Д-6 (Принцип возможных перемещений)	68
Задача Д-7 (Общее уравнение динамики).....	96
Задача Д-8 (Уравнения Лагранжа второго рода).....	98
Вопросы для самопроверки по аналитической механике	103
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	104

ВВЕДЕНИЕ

В курсе теоретической механики студенты изучают три ее раздела: статику, кинематику, динамику и аналитическую механику.

Методические указания, рабочая программа и контрольные задания изложены в разделах: статика, кинематика (8 заданий), динамика, аналитическая механика (принципы механики) (8 заданий).

Для изучения курса необходимо иметь соответствующую математическую подготовку. Во всех разделах курса, начиная со статики, широко используется векторная алгебра. Необходимо уметь вычислять проекции векторов на координатные оси, находить геометрически (построением векторного треугольника или многоугольника) и аналитически (по проекциям на координатные оси) сумму векторов, вычислять скалярное и векторное произведения двух векторов и знать свойства этих произведений.

Надо также уметь свободно пользоваться системой прямоугольных декартовых координат на плоскости и в пространстве, знать, что такое единичные векторы (орты) этих осей и как выражаются составляющие вектора по координатным осям с помощью ортов.

Для изучения кинематики надо уметь вычислять производные функций одной переменной, строить графики функций, иметь понятие о кривизне и радиусе кривизны кривой. В кинематике, как и статике, также широко используется векторная алгебра.

При изучении материала курса по учебнику нужно, прежде всего, уяснить существо каждого излагаемого там вопроса. Главное – это понять изложенное в учебнике, а не «заучить». Изучать материал рекомендуется по темам (пунктам приводимой ниже программы) или по главам (параграфам) учебника.

При изучении курса особое внимание следует уделить приобретению навыков решения задач. Для этого, изучив материал прорабатываемой темы, надо сначала обязательно разобраться в решениях соответствующих задач, которые приводятся в учебнике, обратив особое внимание на методические указания по их решению. Затем нужно решить самостоятельно несколько

аналогичных задач из сборников задач [2] и [8], после этого решить соответствующую задачу из контрольного задания.

Закончив изучение темы, ответьте на вопросы самопроверки.

Указания по выполнению контрольных заданий приводятся ниже (после рабочей программы). Их надо прочитать обязательно и ими руководствоваться. Кроме того, к каждой задаче даются конкретные методические указания по ее решению.

СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ «СТАТИКА» И «КИНЕМАТИКА»

Введение. Механическое движение как одна из форм движения материи. Предмет механики. Теоретическая механика и ее место среди естественных и технических наук.

Статика твердого тела

Основные понятия и аксиомы статики. Предмет статики. Основные понятия статики; абсолютно твердое тело, сила, эквивалентные системы сил, равнодействующая, уравновешенная система сил, силы внешние и внутренние. Аксиомы статики. Связи и реакции связей. Основные виды связей: гладкие поверхности, гибкая нить, цилиндрический шарнир (подшипник), сферический шарнир, подпятник, невесомый стержень, защемление (заделка). Реакции этих связей.

Система сходящихся сил. Геометрический и аналитический способы сложения сил. Сходящиеся силы. Равнодействующая сходящихся сил. Геометрическое условие равновесия системы сходящихся сил. Аналитические условия равновесия пространственной и плоской систем сходящихся сил.

Теория пар сил. Момент силы относительно точки (центра) как вектор. Пара сил. Момент пары сил как вектор. Теорема о сумме моментов сил, образующих пару, относительно любого центра. Теоремы об эквивалентности пар. Сложение пар. Условия равновесия системы пар.

Приведение произвольной системы сил к данному центру. Теорема о параллельном переносе силы. Основная теорема статики о приведении системы сил к данному центру. Главный вектор и главный момент системы сил.

Система сил, произвольно расположенных на плоскости (плоская система сил). Алгебраическая величина момента силы. Вычисление главного вектора и главного момента плоской системы сил. Частные случаи приведения плоской системы сил: приведение к паре сил, к равнодействующей и случай равновесия. Аналитические условия равновесия плоской системы сил. Три вида условий равновесия. Условия равновесия плоской системы параллельных сил.

Теорема Вариньона о моменте равнодействующей.

Сосредоточенные и распределенные силы. Силы, равномерно распределенные по отрезку прямой, и их равнодействующая. Реакция жесткой заделки. Равновесие системы тел. Статически определимые и статически неопределимые системы. Равновесие при наличии сил трения. Коэффициент трения. Предельная сила трения. Угол и конус трения.

Система сил, произвольно расположенных в пространстве (пространственная система сил). Момент силы относительно оси и его вычисление. Зависимость между моментами силы относительно центра и относительно оси, проходящей через этот центр. Аналитические формулы для вычисления моментов силы относительно координатных осей. Вычисление главного вектора и главного момента пространственной системы сил. Частные случаи приведения пространственной системы сил: приведение к паре сил, к равнодействующей, к силовому винту и случай равновесия. Аналитические условия равновесия произвольной пространственной системы сил. Условия равновесия пространственной системы параллельных сил.

Центр параллельных сил и центр тяжести. Центр параллельных сил. Формулы для определения координат центра параллельных сил. Центр тяжести твердого тела; формулы для определения его координат. Координаты центров тяжести однородных тел (центры тяжести объема, площади и линии). Способы определения положения центров тяжести тел. Центры тяжести треугольника, дуги окружности, и кругового сектора.

Введение в кинематику. Предмет кинематики. Пространство и время в классической механике. Относительность механического движения. Система отсчета. Задачи кинематики.

Кинематика точки

Векторный способ задания движения точки. Траектория точки. Скорость точки как производная ее радиуса-вектора по времени. Ускорение точки как производная ее вектора скорости по времени.

Координатный способ задания движения точки (в прямоугольных

декартовых координатах). Определение траектории точки. Определение скорости и ускорения точки по их проекциям на координатные оси.

Естественный способ задания движения точки. Естественный трехгранник. Алгебраическая величина скорости точки. Определение ускорения точки по его проекциям на оси естественного трехгранника; касательное и нормальное ускорения точки. Равномерное и равнопеременное криволинейные движения точки; законы этих движений.

Кинематика твердого тела

Поступательное движение. Поступательное движение твердого тела. Теорема о траекториях, скоростях и ускорениях точек твердого тела при поступательном движении.

Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси (вращательное движение). Уравнение (или закон) вращательного движения твердого тела. Угловая скорость и угловое ускорение твердого тела. Законы равномерного и равнопеременного вращений. Скорость и ускорение точки твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Векторы угловой скорости и углового ускорения тела. Выражение скорости точки вращающегося тела и ее касательного и нормального ускорений в виде векторных произведений.

Плоскопараллельное (плоское) движение твердого тела. Плоское движение твердого тела и движение плоской фигуры в ее плоскости. Уравнения движения плоской фигуры. Разложение движения плоской фигуры на поступательное вместе с полюсом и вращательное вокруг полюса. Независимость угловой скорости и углового ускорения фигуры от выбора полюса. Определение скорости любой точки плоской фигуры как геометрической суммы скорости полюса и скорости этой точки при вращении фигуры вокруг полюса. Теорема о проекциях скоростей двух точек фигуры (тела). Мгновенный центр скоростей. Определение скоростей точек плоской фигуры с помощью мгновенного центра скоростей. Определение ускорения любой точки плоской фигуры как геометрической суммы ускорения полюса и ускорения этой точки при вращении фигуры вокруг полюса.

Сложное движение точки. Абсолютное и относительное движения точки; переносное движение. Относительная, переносная и абсолютная скорости и относительное, переносное и абсолютное ускорения точки. Теорема о сложении скоростей. Теорема Кориолиса о сложении ускорений. Модуль и направление кориолисова ускорения. Случай поступательного переносного движения.

СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Методические указания к контрольным заданиям

К каждой задаче дается 10 рисунков и таблица (с тем же номером, что и задача), содержащая дополнительные к тексту задачи условия. Нумерация рисунков двойная, при этом номером рисунка является цифра, стоящая после точки. Например, рис. С-1.4 это рис. 4 к задаче С-1 и т. д. (в тексте задачи при повторных ссылках на рисунок пишется просто рис. 4 и т. д.). Номера условий от 0 до 9 проставлены в первом столбце (или в первой строке) таблицы.

Студент во всех задачах выбирает номер рисунка по последней цифре шифра, а номер условия в таблице – по предпоследней; например, если шифр оканчивается числом 46, то берутся рис. 6 и условия № 4 из таблицы.

Все задания выполняются в тетради (ученической), страницы которой нумеруются. На обложке указываются: название дисциплины, номер задания, фамилия и инициалы студента, учебный шифр, институт, специальность и адрес. На первой странице тетради записываются: номер работы, номера решаемых задач и год издания контрольных заданий.

Чертеж выполняется с учетом условий решаемого варианта задачи; на нем все углы, действующие силы, число тел и их расположение на чертеже должны соответствовать этим условиям.

Чертеж должен быть аккуратным и наглядным, а его размеры должны позволять ясно показать все силы; показывать все эти векторы и координатные оси на чертеже, а также указывать единицы получаемых величин *нужно обязательно*. Решение задач необходимо сопровождать краткими пояснениями (какие формулы или теоремы применяются, откуда получаются те или иные результаты и т. п.) и *подробно излагать весь ход расчетов*. На каждой странице следует оставлять поля для замечаний рецензента.

Работы, не отвечающие перечисленным требованиям, будут возвращаться для переделки.

К работе, высылаемой на повторную проверку (если она выполнена в другой тетради), должна обязательно прилагаться незачтенная работа.

На экзамене (зачете) необходимо представить зачтенные по данному разделу курса работы, в которых все отмеченные рецензентом погрешности должны быть исправлены.

При чтении текста каждой задачи учесть следующее. Большинство рисунков дано без соблюдения масштаба. На рисунках к задачам С1–С4 все линии, параллельные строкам, считаются горизонтальными, а перпендикулярные строкам – вертикальными, и это в тексте задач специально не оговаривается. Также без оговорок считается, что все нити (веревки, тросы) являются нерастяжимыми и невесомыми; нити, перекинутые через блок, по блоку не скользят.

Следует также иметь в виду, что некоторые из заданных в условиях задачи величин (размеров) при решении каких-нибудь вариантов могут не понадобиться, они нужны для решения других вариантов задачи.

Из всех пояснений в тексте задачи обращайтесь внимание только на относящиеся к вашему варианту, т. е. номеру вашего рисунка или вашего условия в таблице.

Методические указания по решению задач, входящих в контрольные задания, даются для каждой задачи под рубрикой «Указания». *При выполнении задания все преобразования и числовые расчеты должны быть обязательно последовательно проделаны с необходимыми пояснениями;* в конце должны быть даны ответы.

Задача С-1 (Равновесие одного тела)

Жесткая рама (рис. С-1.0–С-1.9 [16], табл. С-1) закреплена в точке А шарнирно, а в точке В прикреплена или к невесомому стержню с шарнирами на концах, или к шарнирной опоре на катках.

В точке С к раме привязан трос, перекинутый через блок и несущий на конце груз весом $P = 10$ кН. На раму действует пара сил с моментом $M = 6$ кН·м

и две силы, модули, направления и точки приложения которых указаны в таблице (например, в условиях № 1 на раму действуют сила \vec{F}_2 под углом 15° к горизонтальной оси, приложенная в точке D, и сила \vec{F}_3 под углом 60° к горизонтальной оси, приложенная в точке E, и т. д.).

Определить реакции связей в точках A, B, вызываемые действующими нагрузками. При окончательных расчетах принять, $a = 0,5$ м.

Указания. Задача С1 – на равновесие тела под действием произвольной плоской системы сил. При ее решении учесть, что натяжения обеих ветвей нити, перекинутой через блок, когда трением пренебрегают, будут одинаковыми. Уравнение моментов будет более простым (содержать меньше неизвестных), если брать моменты относительно точки, где пересекаются линии действия двух реакций связей. При вычислении момента силы \vec{F} часто удобно разложить ее на составляющие \vec{F}' и \vec{F}'' , для которых плечи легко определяются, и воспользоваться теоремой Вариньона; тогда $M_o(\vec{F}) = M_o(\vec{F}') + M_o(\vec{F}'')$.

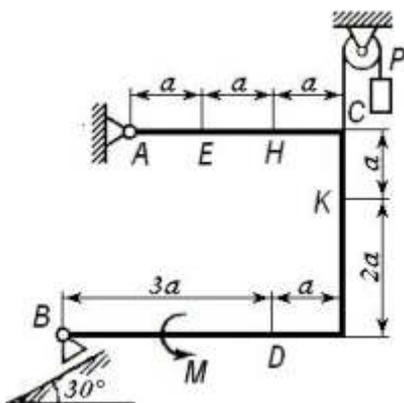


Рис. С-1.0

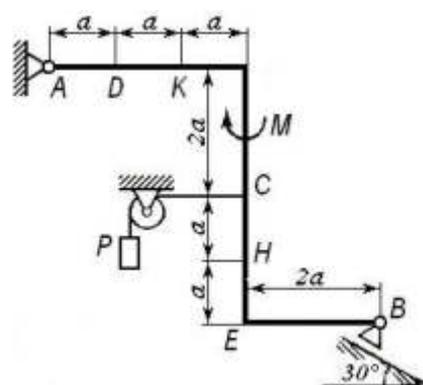


Рис. С-1.1

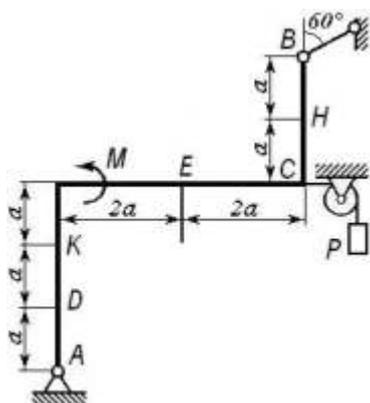


Рис.С-1.2

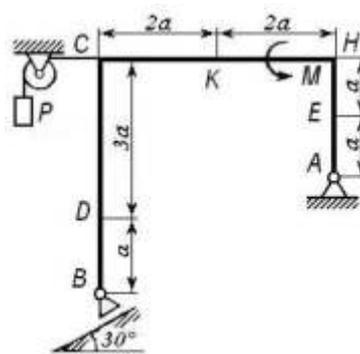


Рис.С-1.3

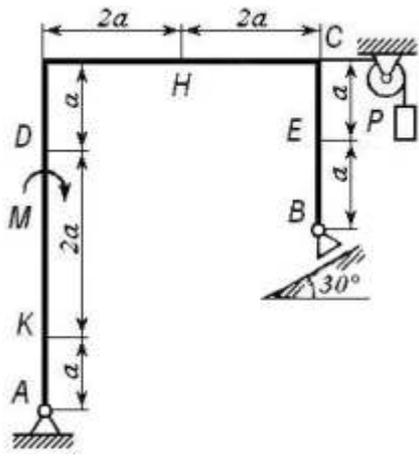


Рис. С-1.4

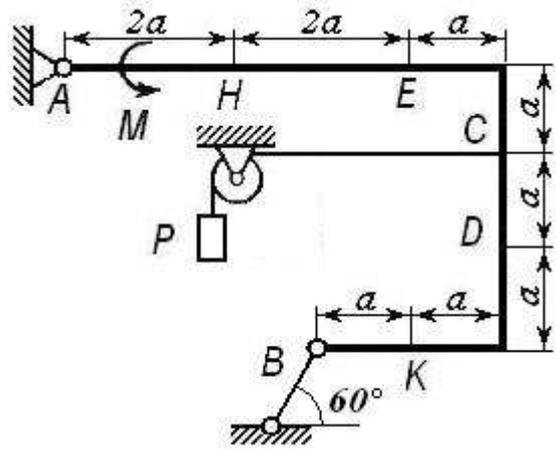


Рис. С-1.5

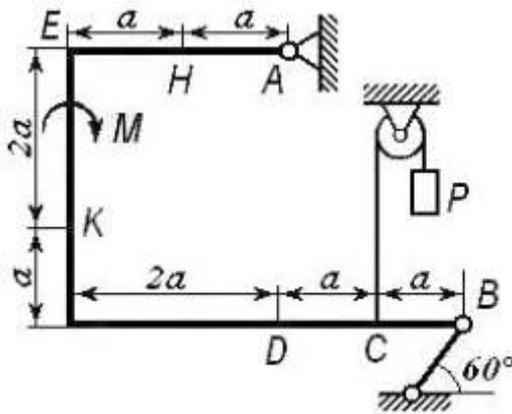


Рис. С-1.6

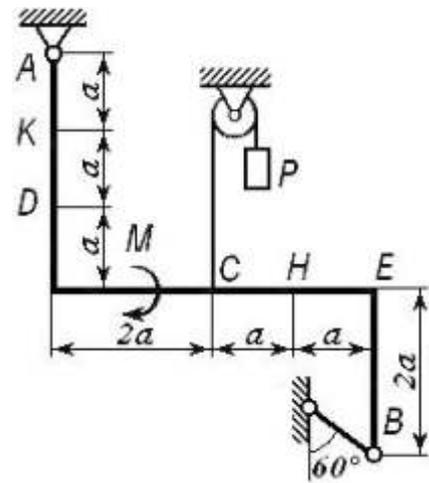


Рис. С-1.7

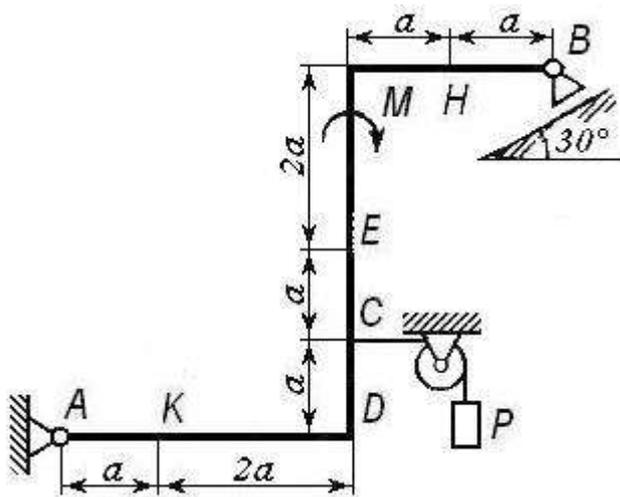


Рис. С-1.8

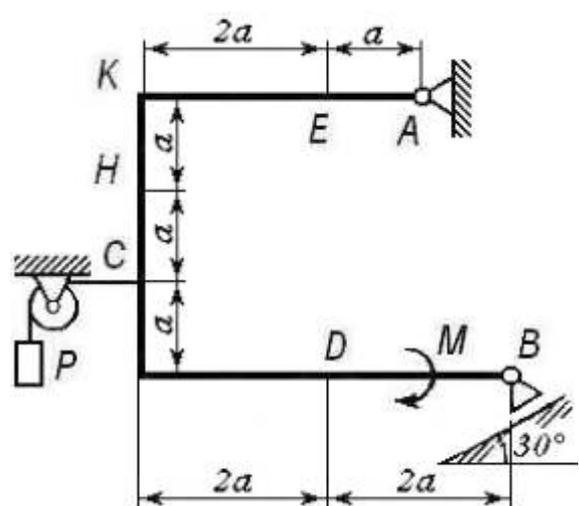
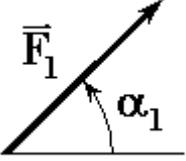
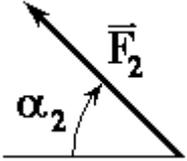
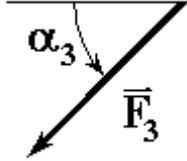
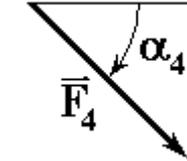
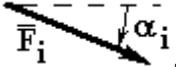


Рис. С-1.9

Модули, направления и точки приложения сил

Силы								
	$F_1 = 10 \text{ кН}$		$F_2 = 15 \text{ кН}$		$F_3 = 12 \text{ кН}$		$F_4 = 20 \text{ кН}$	
Номер условия	Точка приложения	α_1 , град	Точка приложения	α_2 , град	Точка приложения	α_3 , град	Точка приложения	α_4 , град
	0	Н	30	–	–	–	–	К
1	–	–	Д	15	Е	60	–	–
2	К	75	–	–	–	–	Е	30
3	–	–	К	60	Н	30	–	–
4	Д	30	–	–	–	–	Е	60
5	–	–	Н	30	–	–	Д	75
6	Е	60	–	–	К	15	–	–
7	–	–	Д	60	–	–	Н	15
8	Н	60	–	–	Д	30	–	–
9	–	–	Е	75	К	30	–	–

а) Силы \vec{F}_i следует откладывать от горизонтальной прямой, отсчитывая

угол по ходу часовой стрелки, а именно, .

б) В случае, если сила, действующая на узел, окажется внутри внешнего контура фермы, ее следует вынести по линии действия за контур фермы.

Задача С-2 (Равновесие двух тел)

Конструкция состоит из жесткого угольника и стержня, которые в точке С или соединены друг с другом шарнирно (рис. С-2.0–С-2.5[16]) или свободно опираются друг о друга (рис. С-2.6–С-2.9[16]). Внешними связями, наложенными на конструкцию, являются в точке А или шарнир, или жесткая заделка; в точке В – или невесомый стержень BB' (рис. 0 и 1), или гладкая

плоскость (рис. 2 и 3[16]), или шарнир (рис. 4–9[16]); в точке D или невесомый стержень DD' (рис. 1, 2, 7), или шарнирная опора на катках (рис. 9).

На каждую конструкцию действуют следующие нагрузки: пара сил с моментом $M = 8 \text{ кН}\cdot\text{м}$, равномерно распределенная нагрузка интенсивности $q = 4 \text{ кН/м}$ и еще две сосредоточенные силы. Эти силы, их направления и точки приложения указаны в табл. С-3; там же в столбце «Участок» указано, на каком участке действует распределенная нагрузка (например, в условиях № 1 на конструкцию действуют сила \bar{F}_2 под углом 60° к горизонтальной оси, приложенная в точке L , сила \bar{F}_4 под углом 30° к горизонтальной оси, приложенная в точке E , и нагрузка, распределенная на участке CK).

Определить реакции связей в точках A, B, C (для рис. 1, 2, 7, 9 еще и в точке D), вызванные заданными нагрузками. При окончательных расчетах следует принять $a = 0,2 \text{ м}$. Направление распределенной нагрузки на различных по расположению участках указано в табл. С-2а.

Указания. Задача С-2 на равновесие системы тел, находящихся под действием плоской системы сил. При ее решении можно или рассмотреть сначала равновесие всей системы в целом, а затем равновесие одного из тел системы, изобразив его отдельно, или же сразу расчленить систему и рассмотреть равновесие каждого из тел в отдельности, учтя при этом закон о равенстве действия и противодействия. В задачах, где имеется жесткая заделка, учесть, что ее реакция представляется силой, модуль и направление которой до решения уравнений равновесия неизвестны, и парой сил, момент которой тоже неизвестен.

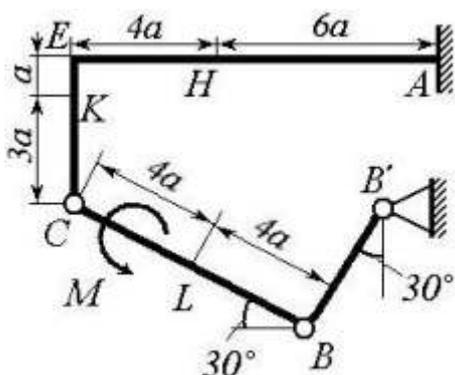


Рис. С-2.0

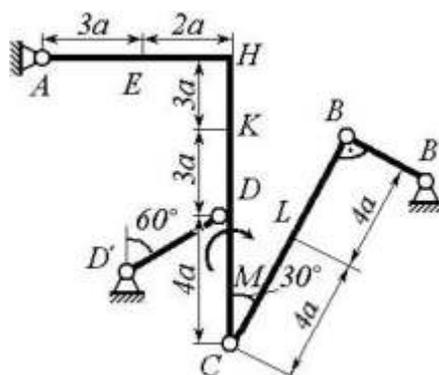


Рис. С-2.1

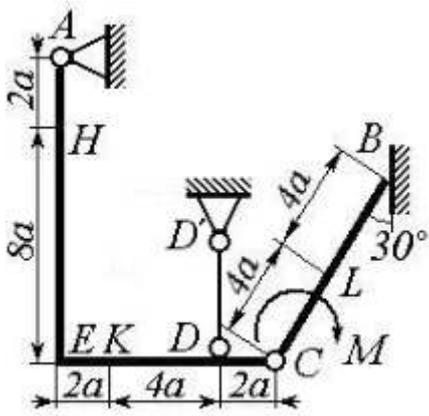


Рис. С-2.2

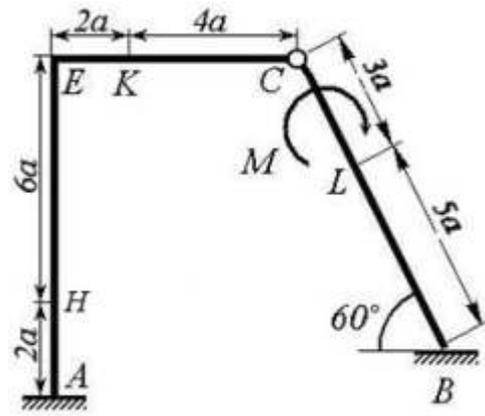


Рис. С-2.3

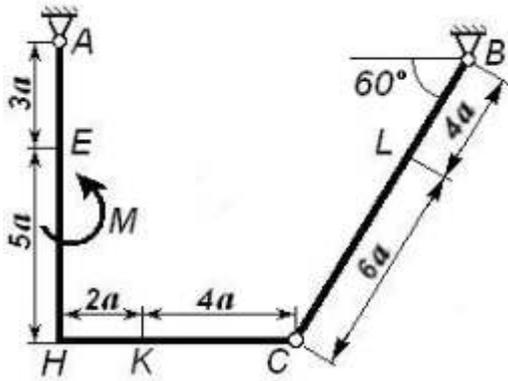


Рис. С-2.4

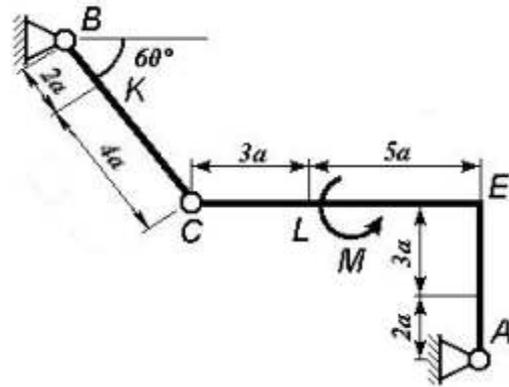


Рис. С-2.5

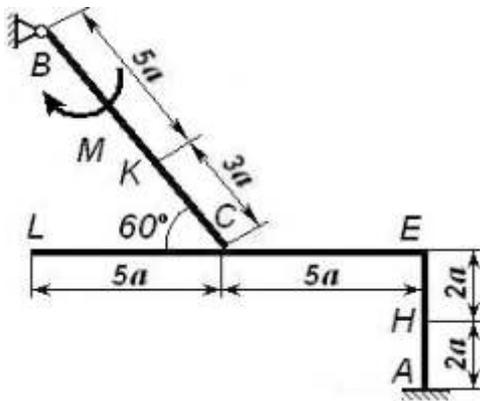


Рис. С-2.6

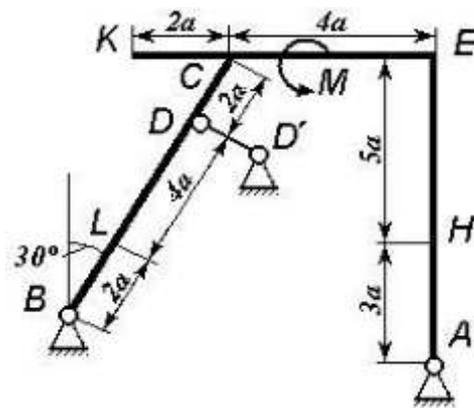


Рис. С-2.7

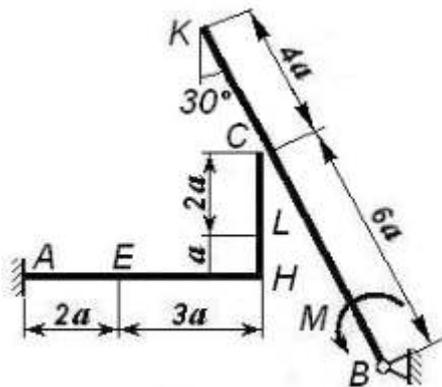


Рис. С-2.8

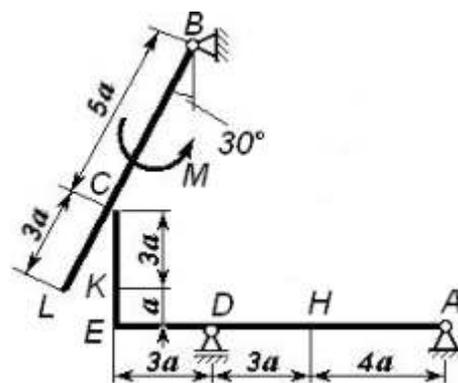


Рис. С-2.9

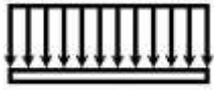
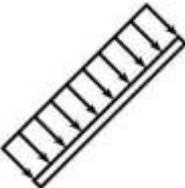
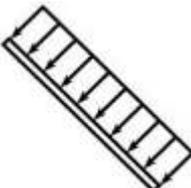
Таблица С-2

Модули, направления и точки приложения сил

Сила	\vec{F}_1		\vec{F}_2		\vec{F}_3		\vec{F}_4		Участок
	$F_1 = 2 \text{ кН}$		$F_2 = 6 \text{ кН}$		$F_3 = 5 \text{ кН}$		$F_4 = 8 \text{ кН}$		
Номер условия	Точка приложения	α_1 , град	Точка приложения	α_2 , град	Точка приложения	α_3 , град	Точка приложения	α_4 , град	
0	К	60	-	-	Н	30	-	-	CL
1	-	-	L	60	-	-	Е	30	СК
2	L	15	-	-	К	60	-	-	АЕ
3	-	-	К	30	-	-	Н	60	CL
4	L	30	-	-	Е	60	-	-	СК
5	-	-	L	75	-	-	К	30	АЕ
6	Е	60	-	-	К	75	-	-	CL
7	-	-	Н	60	L	30	-	-	СК
8	-	-	К	30	-	-	Е	15	CL
9	Н	30	-	-	-	-	L	60	СК

Таблица С-2а

Расположение распределенной нагрузки

Участок на угольнике		Участок на стержне	
горизонтальный	вертикальный	рис. 1, 2, 4, 7, 9	рис. 0, 3, 5, 6, 8
			

Задача С-3 (Равновесие пространственной системы сил)

Две прямоугольные тонкие плиты жестко соединены (сварены) под прямым углом друг к другу и закреплены сферическим шарниром (или подпятником) в точке A , цилиндрическим шарниром (подшипником) в точке B и невесомым стержнем 1 (рис. 0–7[16]) или же двумя подшипниками в точках A и B и двумя невесомыми стержнями 1 и 2 (рис. 8, 9[16]); все стержни прикреплены к плитам и неподвижным опорам шарнирами.

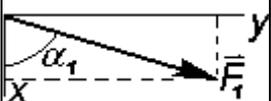
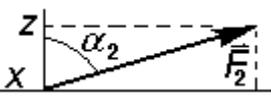
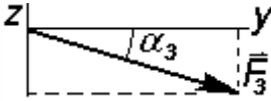
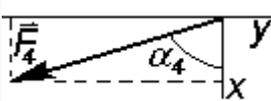
Размеры плит указаны на рисунках; вес большой плиты $G_1 = 5$ кН, вес меньшей плиты $G_2 = 3$ кН. Каждая из плит расположена параллельно одной из координатных плоскостей (плоскость xu горизонтальная).

На плиты действует пара сил с моментом $M = 2$ кН·м, лежащая в плоскости одной из плит, и две силы. Значения этих сил, их направление и точки приложения указаны в табл. С-3; при этом силы \bar{F}_1 и \bar{F}_4 лежат в плоскостях, параллельных плоскости xu , сила \bar{F}_2 – в плоскости, параллельной xz , и сила \bar{F}_3 в плоскости, параллельной yz . Точки приложения сил (D , E , H , K) находятся в углах или в серединах сторон плит.

Определить реакции связей в точках A и B и реакцию стержня (стержней). При подсчетах принять $a = 1$ м.

Таблица С-3

Модули, направления и точки приложения сил

Силы								
	$F_1 = 6$ кН		$F_2 = 8$ кН		$F_3 = 10$ кН		$F_4 = 12$ кН	
Номер условия	Точка приложения	α_1 , град	Точка приложения	α_2 , град	Точка приложения	α_3 , град	Точка приложения	α_4 , град
0	E	60	H	30	–	–	–	–
1	–	–	D	60	E	30	–	–
2	–	–	–	–	K	60	E	90
3	K	30	–	–	D	0	–	–

4	–	–	<i>E</i>	30	–	–	<i>D</i>	60
5	<i>H</i>	0	<i>K</i>	60	–	–	–	–
6	–	–	<i>H</i>	90	<i>D</i>	30	–	–
7	–	–	–	–	<i>H</i>	60	<i>K</i>	90
8	<i>D</i>	30	–	–	<i>K</i>	0	–	–
9	–	–	<i>D</i>	90	–	–	<i>H</i>	30

Указания. Задача С-3 на равновесие тела под действием произвольной пространственной системы сил. При ее решении учесть, что реакция сферического шарнира (подпятника) имеет три составляющие (по всем трем координатным осям), а реакция цилиндрического шарнира (подшипника) – две составляющие, лежащие в плоскости, перпендикулярной оси шарнира (подшипника). При вычислении момента силы \bar{F} часто удобно разложить ее на две составляющие \bar{F}' и \bar{F}'' , параллельные координатным осям (или на три), тогда, по теореме Вариньона, $M_z(\bar{F}) = M_z(\bar{F}') + M_z(\bar{F}'')$ и т. д.

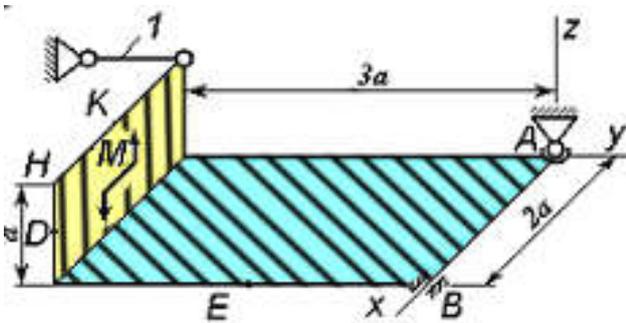


Рис. С-3.0

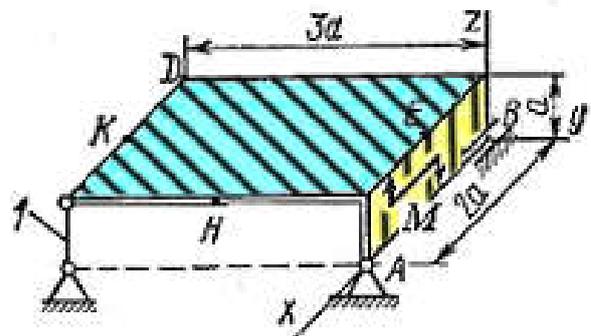


Рис. С-3.1

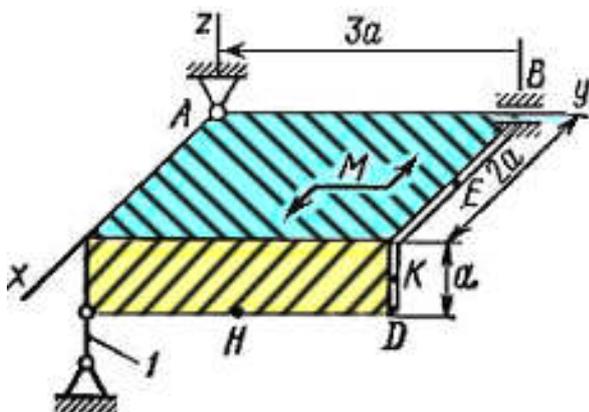


Рис. С-3.2

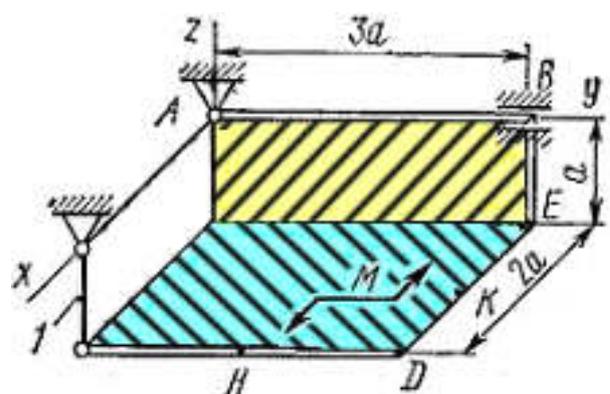


Рис. С-3.3

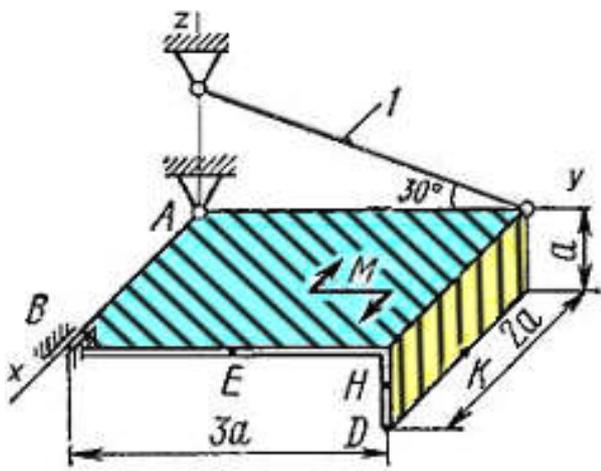


Рис. С-3.4

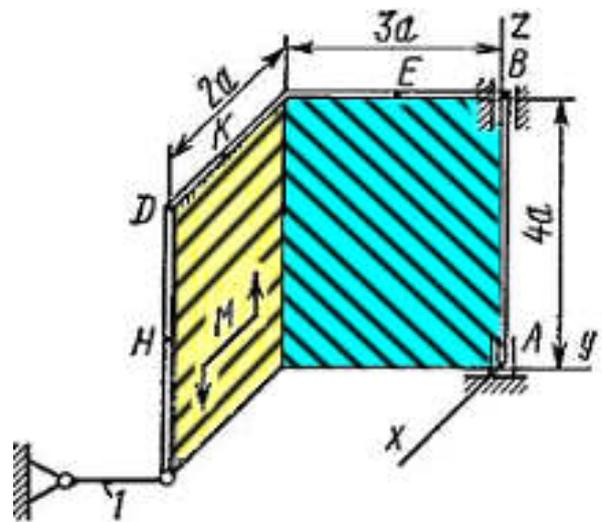


Рис. С-3.5

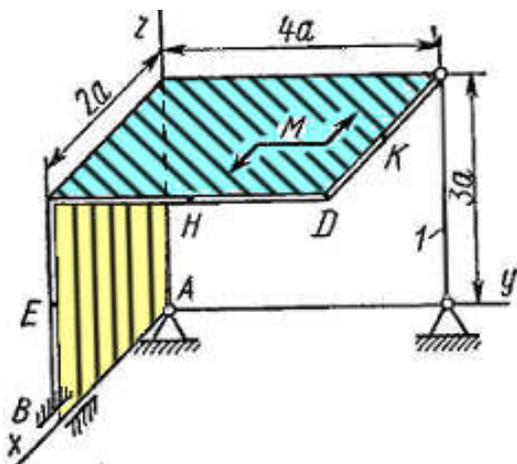


Рис. С-3.6

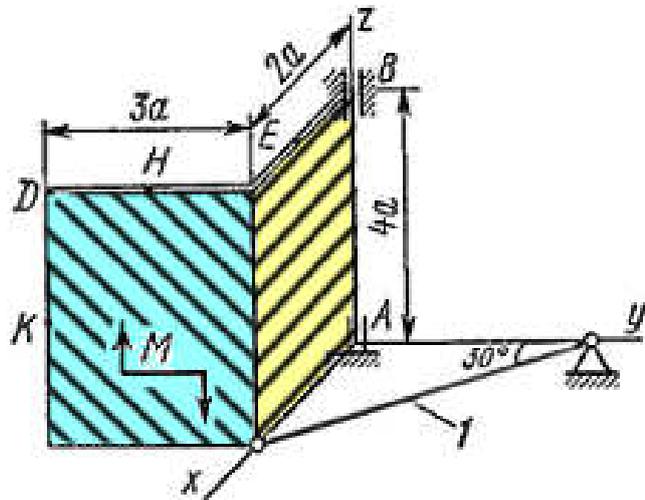


Рис. С-3.7

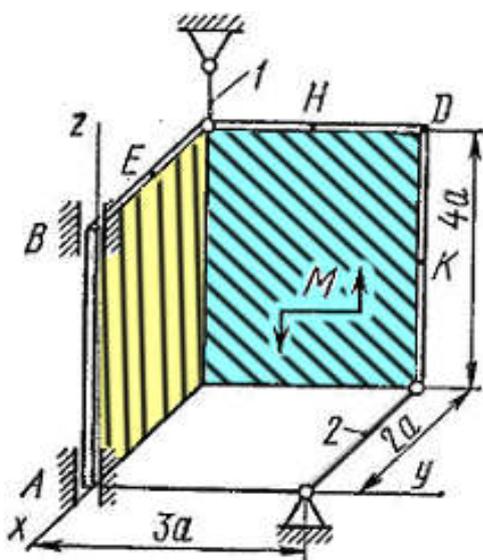


Рис. С-3.8

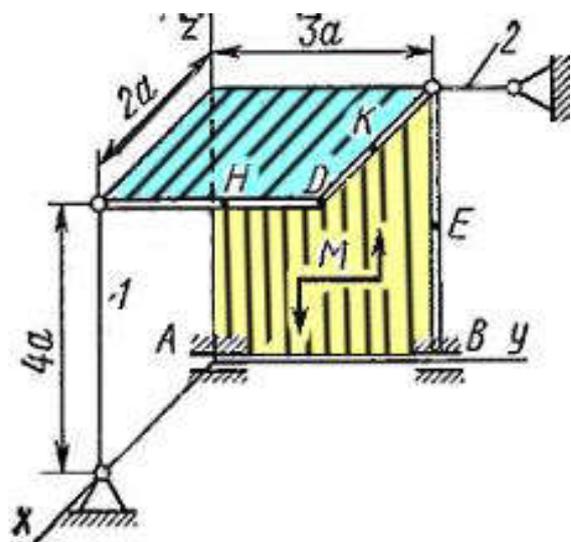


Рис. С-3.9

Задача С-4 (Центр тяжести тела)

Из однородного плоского листа вырезана фигура, которую можно рассматривать составленной из прямоугольника, треугольника и части (или целого) круга радиусом R . Общий вид фигуры представлен на рис. С-4. (0–9)[16], где указаны через радиус сектора R размеры, кроме координаты y_A , значение которой приведено в табл. С-6. Для всех вариантов $R = 1$ м.

Таблица С-4

Координата точки А

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
y_A	0	$0,1R$	$0,2R$	$0,3R$	$0,4R$	$0,5R$	$0,6R$	$0,7R$	$0,8R$	$0,9R$

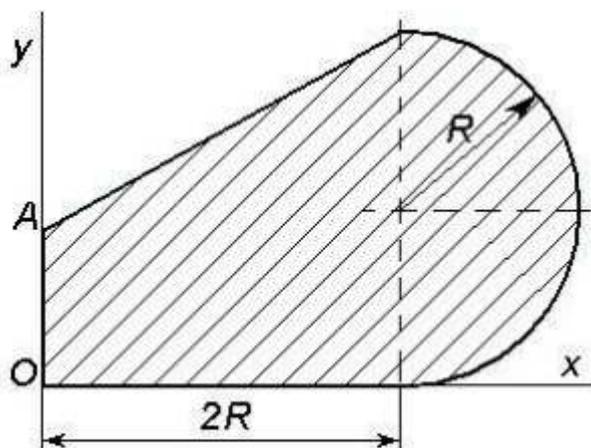


Рис. С-4.0

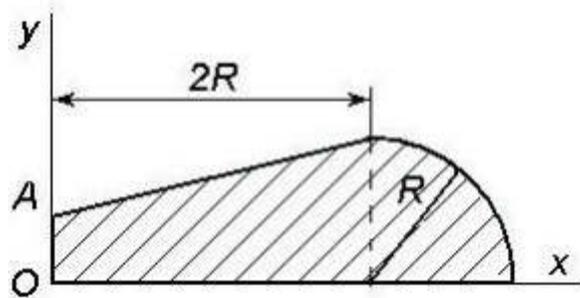


Рис. С-4.1

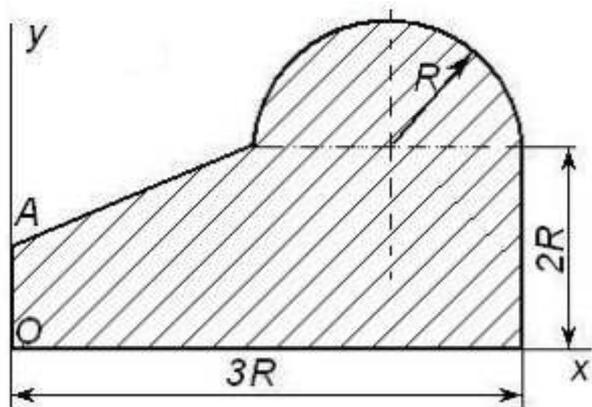


Рис. С-4.2

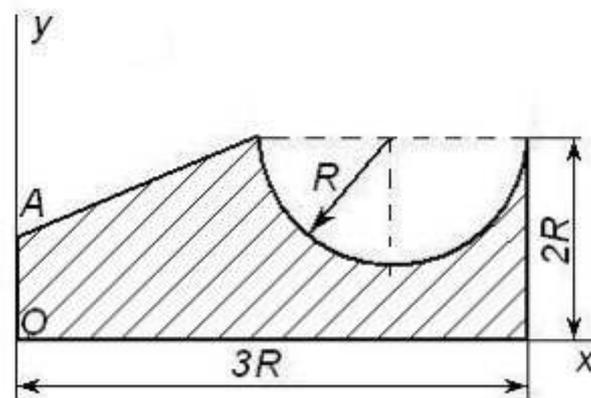


Рис. С-4.3

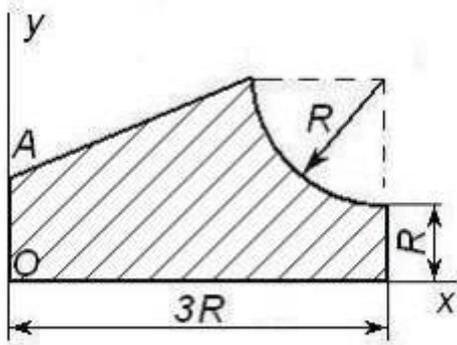


Рис. С-4.4

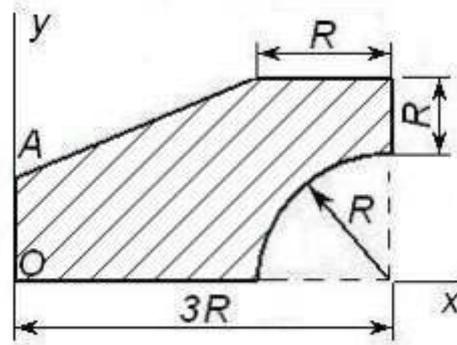


Рис. С-4.5

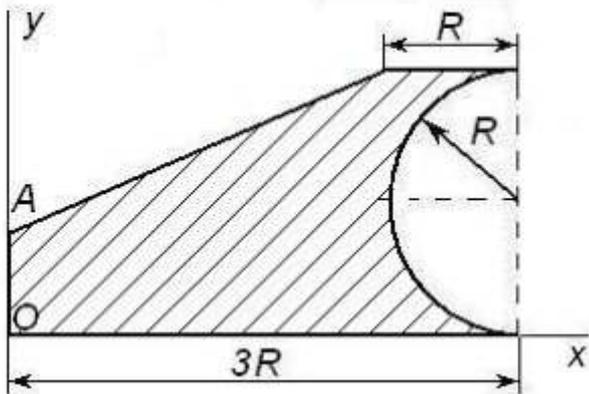


Рис. С-4.6

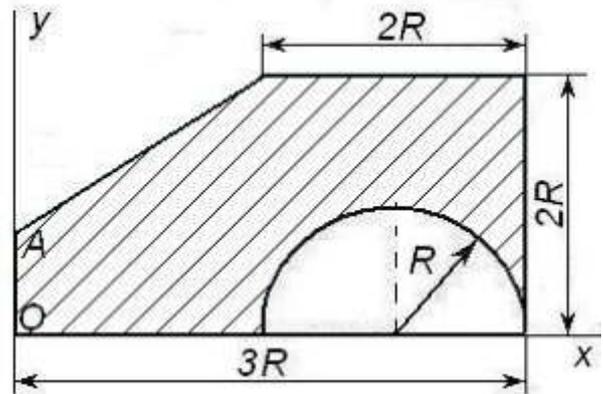


Рис. С-4.7

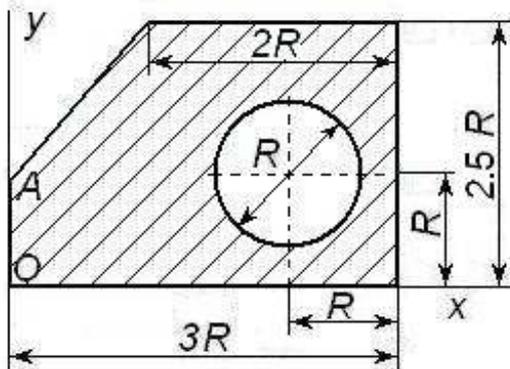


Рис. С-4.8

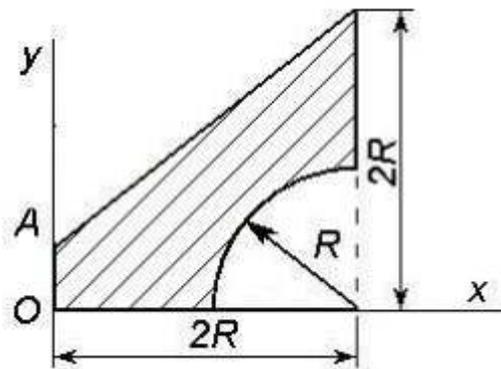


Рис. С-4.9

Указания. Задача С-4 – на определение центра тяжести плоской однородной фигуры. Координаты центра тяжести плоской фигуры следует определять по формулам:

$$x_C = \frac{\sum x_i F_i}{\sum F_i}; \quad y_C = \frac{\sum y_i F_i}{\sum F_i}. \quad (1)$$

Здесь x_i , y_i – координаты центра тяжести i – й простейшей части, на которую разбивается заданная плоская фигура, а F_i – площадь этой части.

Положение центра тяжести для однородных фигур прямоугольной, треугольной формы, а также сектора круга определяются известными формулами. Формулы для вычисления площади таких фигур также известны. Остается вычислить координаты этих точек в указанной системе координатных осей. Все вычисления удобно оформить, например, в виде таблицы (табл. С-4а).

Таблица С-4а

Рекомендуемая таблица для оформления вычислений

i	x_i , см	y_i , см	F_i , см	$F_i x_i$, см ²	$F_i y_i$, см ²
1	10	11	20	200	220
2	12	0	30	360	0
3	0	22	40	0	880
Σ	-	-	90	560	1100

Результаты, полученные в нижней строке таблицы, следует подставить в формулы (1).

Вопросы для самопроверки по статике

1. Какое тело называется абсолютно твердым?
2. Какая сила называется равнодействующей?
3. К какому простейшему виду может быть приведена система сходящихся сил?
4. Как можно охарактеризовать силу?
5. Какое тело называется свободным? Что называется связями?
6. Может ли пространственная система трех сходящихся сил быть уравновешенной?
7. Сколько независимых уравнений равновесия можно составить в задаче о равновесии твердого тела под действием плоской системы сил?
8. Если изменяемая система находится в равновесии под действием некоторой системы сил, будут ли эти силы удовлетворять условиям равновесия

абсолютно твердого тела?

9. В чем состоит геометрическое условие равновесия системы сил (о многоугольнике сил)?

10. Как аналитически найти равнодействующую сил, приложенных в одной точке?

11. К какому простейшему виду приводится система сходящихся сил? Условие равновесия такой системы сил.

12. Если сумма проекций всех сил, приложенных к телу, на какую-либо ось равна нулю, что можно сказать о направлении равнодействующей такой системы сил?

13. В чем суть теоремы о трех силах?

14. Что называется парой сил?

15. Чем характеризуется действие пары сил на тело?

16. Дайте определение векторного момента пары. Как он направлен? Что можете сказать о точке приложения векторного момента пары?

17. Каково условие эквивалентности пар?

18. Могут ли быть эквиваленты пары, лежащие в пересекающихся плоскостях?

19. Сформулируйте теорему о сложении пар.

20. В каком случае (случаях) момент силы относительно оси равен нулю?

21. Можно ли упростить систему пар?

22. Что называется векторным моментом силы относительно центра?

23. Дайте определение момента силы относительно оси?

24. Можно ли переносить силу по линии ее действия?

25. Что называется главным вектором системы сил относительно центра?

26. Что называется главным моментом системы сил относительно центра?

27. В чем состоит теорема Вариньона?

28. Как формулируются условия и каковы уравнения равновесия плоской системы сил?

29. Как формулируются условия и уравнения равновесия пространст-

венной системы сил?

30. Изменяются ли главный вектор и главный момент системы сил при перемене центра приведения?

31. В чем заключается метод решения задач о равновесии системы, состоящей из нескольких тел?

32. Каковы приближенные законы трения скольжения?

33. Что называется углом трения?

34. Какая зависимость существует между углом трения и коэффициентом трения скольжения?

35. Какова размерность коэффициента трения качения?

36. Какая ферма называется фермой с лишними стержнями?

37. Какая зависимость существует между числом узлов и числом стержней для плоской фермы, не имеющей лишних стержней?

38. В чем сущность метода вырезания узлов для расчета ферм?

39. В чем сущность метода сечений для расчета ферм?

40. Какова зависимость между вектором- моментом силы относительно точки и моментом этой же силы относительно оси, проходящей через точку?

41. Если вектор-момент относительно начала координат лежит в плоскости xOy , то чему равен момент этой силы относительно оси Oz ?

42. Как вычисляют главный вектор системы сил?

43. Что называется динамическим винтом?

44. Что является векторным инвариантом статики?

45. Каковы условия приведения системы сил к равнодействующей?

46. В каком случае система сил приводится к паре сил?

47. Сколько уравнений равновесия (независимых) можно составить для пространственной системы параллельных сил?

48. Что называется центром параллельных сил системы?

49. Каковы координаты центра параллельных сил?

50. Что называется центром тяжести тела?

51. Где лежит центр тяжести треугольника?

52. Какие способы определения центра тяжести однородных тел Вы знаете?

53. Каков скалярный инвариант статики?

Задача К-1 (Кинематика точки)

Под номером К-1 помещены две задачи: К-1а и К-1б – на координатный и естественный способы задания движения. Их обе нужно решить.

Задача К-1а

Точка движется в плоскости Oxy . Закон движения точки в координатной форме задан уравнениями: $x = f_1(t)$, $y = f_2(t)$, где x и y выражены в сантиметрах, t – в секундах. *Определить и построить в масштабе траекторию точки. Найти скорость и ускорение точки, вычислить их в указанный момент времени t_1 . Для этого же момента времени вычислить радиус кривизны траектории. Построить на рисунке в соответствующей точке траектории векторы скорости и ускорения.*

Значения координаты x приведены в табл. К-1, вариант выбирают по последней цифре шифра. Координата y выбирается из табл. К1а по предпоследней цифре шифра и, одновременно, в зависимости от координаты x , выбранной ранее.

Таблица К-1

Номер варианта	$x = f_1(t)$
0	$2 - 3\cos\left(\frac{\pi}{6}t\right)$
1	$6\cos\left(\frac{\pi}{6}t\right) - 3$
2	$4\cos\left(\frac{\pi}{6}t\right)$
3	$12\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$
4	$4 - 6\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$

5	$8\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$
6	$2 - t$
7	$2t$
8	$t - 4$
9	$4 - 2t$

Таблица К-1а

Номер условия	$y = f_2(t)$			t_1, c	$S = f(t), m$
	Варианты 0–2	Варианты 3–6	Варианты 7–9		
0	$12\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	$2t^2 + 2$	$4\cos\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	1	$4\cos\left(\frac{\pi}{6}t\right)$
1	$-6\cos\left(\frac{\pi}{3}t\right)$	$8\sin\left(\frac{\pi}{4}t\right)$	$16\cos^2\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	2	$2\sin\left(\frac{\pi}{3}t\right)$
2	$-3\sin^2\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	$(2 + t)^2$	$4\cos\left(\frac{\pi}{3}t\right)$	1	$6t - 2t^2$
3	$9\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	$2t^3$	$-10\cos\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	1	$-2\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$
4	$3\cos\left(\frac{\pi}{3}t\right)$	$2\cos\left(\frac{\pi}{4}t\right)$	$-4\cos^2\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	2	$4\cos\left(\frac{\pi}{3}t\right)$
5	$-10\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	$2 - 3t^2$	$12\cos\left(\frac{\pi}{3}t\right)$	1	$-3\sin\left(\frac{\pi}{3}t\right)$
6	$6\sin^2\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	$2\sin\left(\frac{\pi}{4}t\right)$	$3\cos\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	2	$3t^2 - 10t$
7	$2\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	$(t + 1)^2$	$8\cos\left(\frac{\pi}{3}t\right)$	1	$-2\cos\left(\frac{\pi}{3}t\right)$
8	$9\cos\left(\frac{\pi}{3}t\right)$	$2 - t^3$	$9\cos\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	1	$3\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$
9	$8\sin\left(\frac{\pi}{6}t\right)$	$4\cos\left(\frac{\pi}{4}t\right)$	$-6\cos\left(\frac{\pi}{3}t\right)$	2	$-2\cos\left(\frac{\pi}{6}t\right)$

Задача К-1б

Точка движется по дуге окружности радиусом $R = 2$ м по закону $s = f(t)$, заданному в табл. К-1а в столбце б (s – в метрах, t – в секундах), где $s = \cup AM$ – расстояние точки M от некоторой точки (A), измеренное вдоль дуги окружности.

Определить ускорение точки в момент времени $t_1 = 1$ с. Изобразить на рисунке векторы \vec{V} и \vec{a} для этого момента времени.

Указания. Задача К-1 относится к кинематике точки и решается с помощью формул, по которым определяются скорость и ускорение точки в декартовых координатах (координатный способ задания движения К-1а), а также формул, по которым определяются скорость, касательное и нормальное ускорения при естественном способе задания движения (К-1б).

Для определения уравнения траектории точки следует исключить время t из заданных уравнений движения. При этом в некоторых вариантах нужно учесть известные из тригонометрии формулы:

$$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1, \cos 2\alpha = 1 - 2\sin^2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1.$$

Для определения радиуса кривизны потребуется найти нормальное ускорение точки, а его можно вычислить по величине полного и касательного ускорений:

$$a_n = \sqrt{a^2 - a_\tau^2}.$$

Касательное ускорение точки следует найти, дифференцируя по времени равенство $V^2 = V_x^2 + V_y^2$.

$$2V \frac{dV}{dt} = 2V_x \frac{dV_x}{dt} + 2V_y \frac{dV_y}{dt}.$$

Откуда

$$a_\tau = \frac{dV}{dt} = \frac{V_x a_x + V_y a_y}{V}.$$

Все расчеты искомых величин нужно проводить только для заданного момента времени $t = t_1$.

Задача К-2 (Простейшие движения тела)

Механизм состоит из ступенчатых колес 1–3, находящихся в зацеплении или связанных ременной передачей, зубчатой рейки 4 и груза 5, привязанного к концу нити, намотанной на одно из колес. Схемы механизмов представлены на рис. К-2.0–2.9[16], их выбирают по последней цифре шрифта. Радиусы колес у ступенчатых блоков обозначаются малыми и большими буквами r и R ; r – для меньшего размера, R – для большего. У колеса 1 $r_1 = 2$ см, $R_1 = 4$ см, у второго колеса $r_2 = 6$ см, $R_2 = 8$ см, у третьего колеса $r_3 = 12$ см, $R_3 = 16$ см. Точки A, B, C находятся на ободах соответствующих колес.

В табл. К-2 заданы законы движения или скорости рейки, груза или зубчатого колеса (углы выражаются в радианах, перемещения в см). Положительные направления вращения для φ и ω принять «против хода часовой стрелки», перемещения для s_4, s_5, V_4 и V_5 – вниз.

Определить в момент времени $t_1 = 2$ с указанные в табл. К-2 в столбцах «Найти» угловые скорость и ускорение тел, линейные скорости и ускорения точек тел, изобразить на рисунке векторы скорости и ускорения.

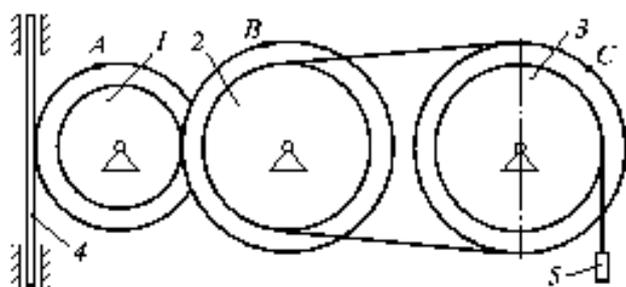


Рис. К-2.0

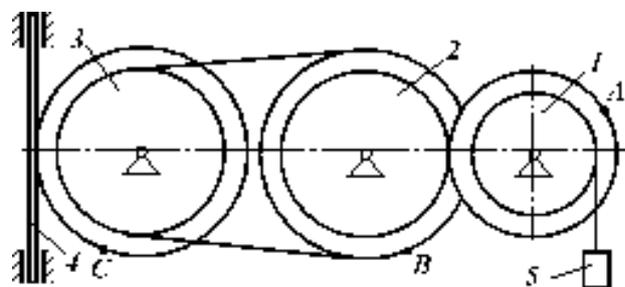


Рис. К-2.1

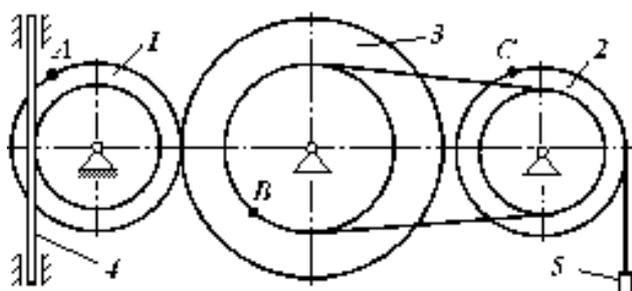


Рис. К-2.2

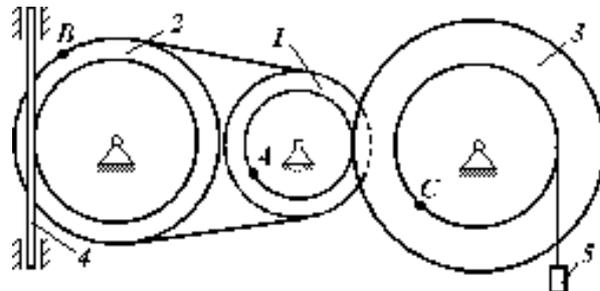


Рис. К-2.3

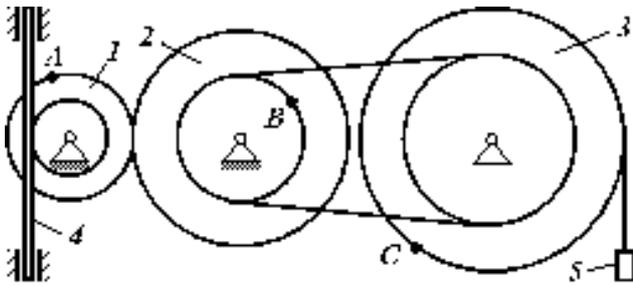


Рис. К-2.4

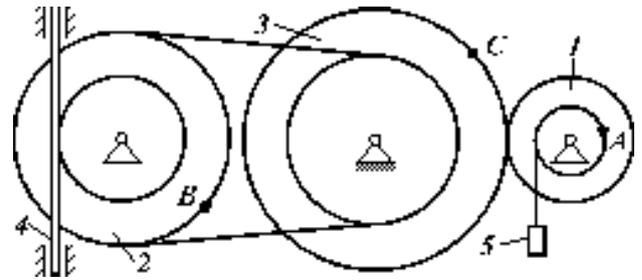


Рис. К-2.5

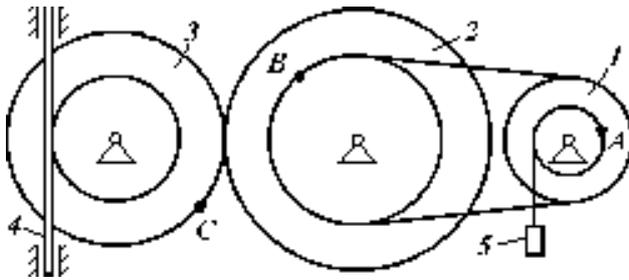


Рис. К-2.6

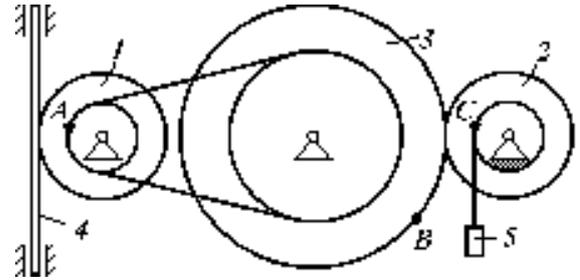


Рис. К-2.7

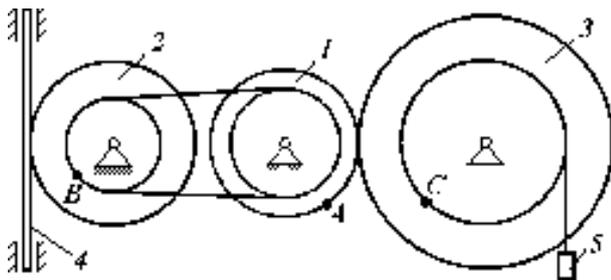


Рис. К-2.8

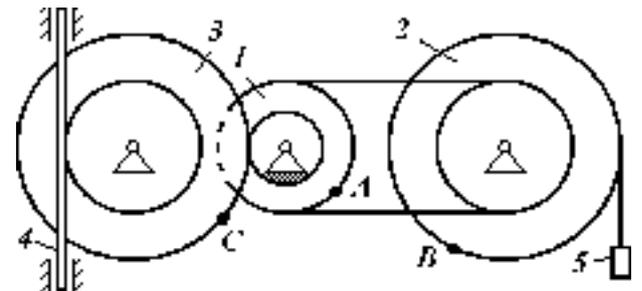


Рис. К-2.9

Таблица К-2

Номер условия	Дано	Найти	
		скорости	ускорения
0	$s_4 = 2(5t - t^2)$ см	V_B, V_C	ε_2, a_A, a_B
1	$V_5 = 4(t^2 + 2)$ см/с	V_A, V_C	ε_2, a_B, a_4
2	$\varphi_1 = 2(t^2 + 1)$ рад	V_4, ω_2	ε_2, a_5, a_C
3	$\omega_2 = 3t - 2t^2$ рад/с	V_5, ω_3	ε_2, a_5, a_A
4	$\varphi_3 = 3t - t^2$ рад	V_4, ω_1	ε_1, a_5, a_B
5	$\omega_1 = 5t - 2t^2$ рад/с	V_5, V_B	ε_2, a_4, a_C
6	$\varphi_2 = 2(t^2 + 3t)$ рад	V_4, ω_1	ε_1, a_5, a_C

7	$V_4 = 3t^2 + 6$ см/с	V_A, ω_2	ε_2, a_5, a_B
8	$S_5 = 2t^2 - 5t$ см	V_4, ω_2	ε_1, a_4, a_C
9	$\omega_3 = 2t - 3t^2$ рад/с	V_5, V_B	ε_2, a_A, a_4

Указание. Задача К-2 на исследование простейших движений твердого тела: поступательного и вращательного вокруг неподвижной оси. При решении задачи учесть, что когда два колеса находятся в зацеплении, скорость точки зацепления каждого колеса одна и та же, а когда два колеса связаны ремнем (или цепью), то скорости всех точек ремня (цепи) и, следовательно, точек, лежащих на ободе каждого из этих колес, в данный момент времени численно одинаковы; при этом считается, что ремень по ободу колеса не скользит.

Задача К-3.1 (Плоское движение тела)

Скорость \vec{V}_A и ускорение \vec{a}_A точки А ступенчатого колеса, катящегося по неподвижной поверхности, известны. В заданиях 1–10 по заданным скорости и ускорению точки А определить скорость и ускорение точки В, угловую скорость и угловое ускорение колеса.

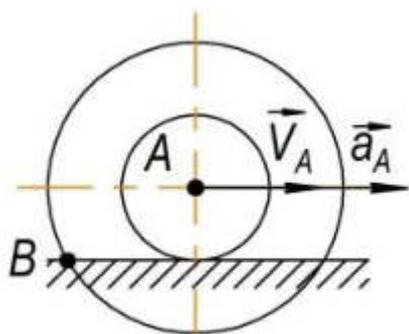


Рис. К-3.1.0

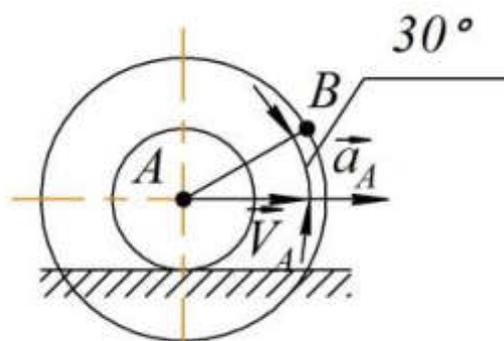


Рис. К-3.1.1

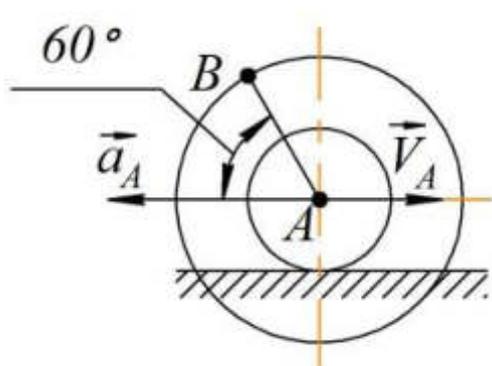


Рис. К-3.1.2

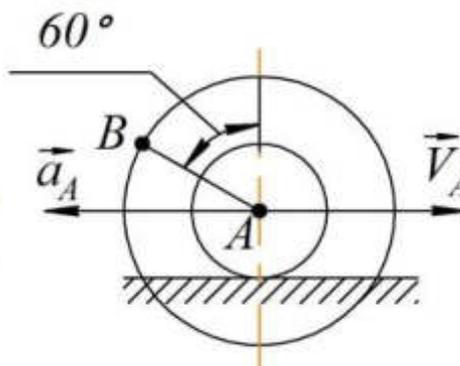


Рис. К-3.1.3

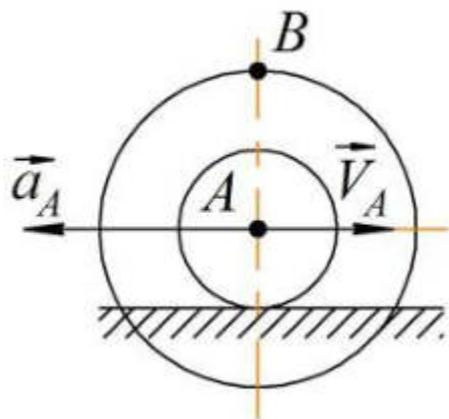


Рис. К-3.1.4

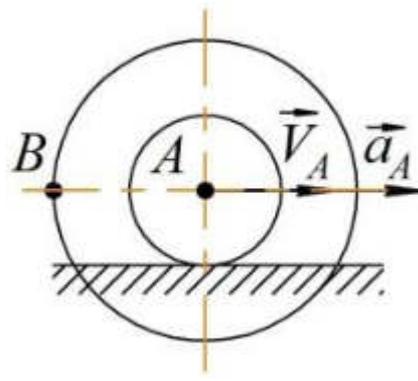


Рис. К-3.1.5

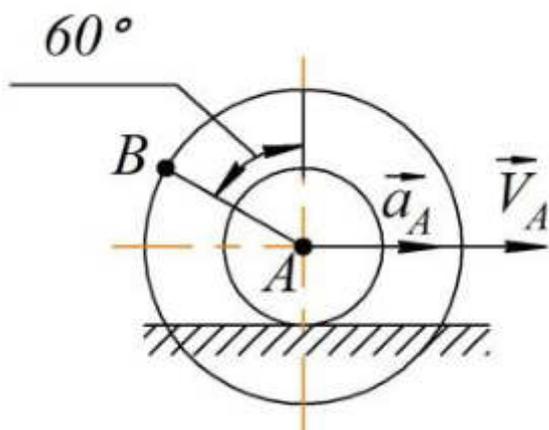


Рис. К-3.1.6

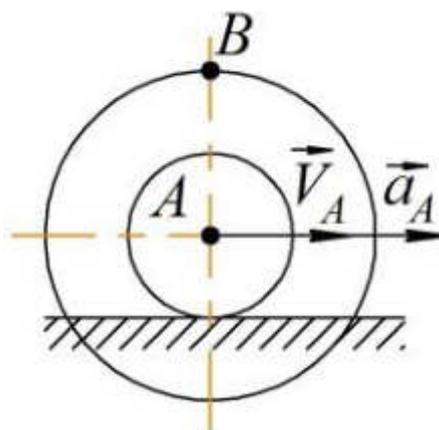


Рис. К-3.1.7

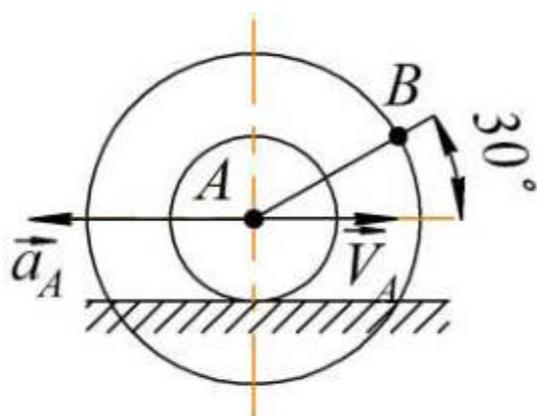


Рис. К-3.1.8

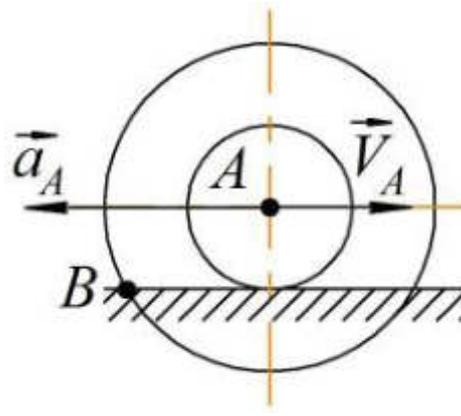


Рис. К-3.1.9

Примечания. Во всех задачах скольжение между колесом и неподвижной поверхностью отсутствует.

Обозначения: V_A , a_A – скорость и ускорение точки A, R , r – большой и малый радиусы колеса; $R/r = 2$. Данные для решения задачи приведены в таблице К-3.1

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V_A , м/с	1	1	0,75	0,5	2	1	0,7	3	2	1
a_A , м/с ²	2	0,5	0,5	1	1	2	1	1	0,5	2
R , м	0,5	1	0,5	1,5	0,5	1	1	0,5	1,5	1

Задача К-3.2

Четырехзвенный рычажный механизм состоит из кривошипа OA , шатуна AB , ползуна B и стойки. Стержень OA вращается вокруг оси, проходящей через точку O , перпендикулярной плоскости чертежа, с постоянной угловой скоростью ($\omega = \text{const}$). Используя данные, приведенные в таблице К-3.2, определить скорость и ускорение точек A и B , угловую скорость (ω) и угловое ускорение (ε) стержня AB .

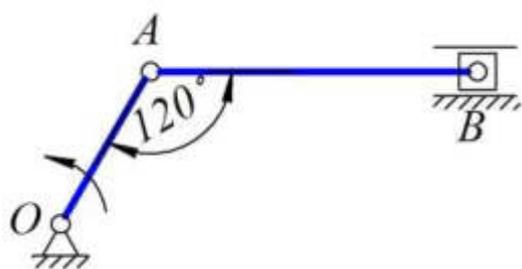


Рис. К-3.2.0

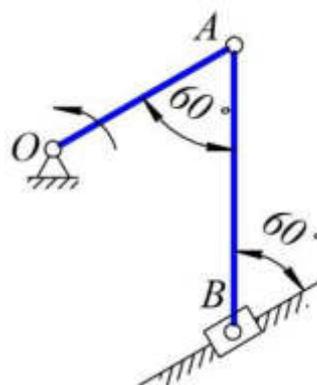


Рис. К-3.2.1

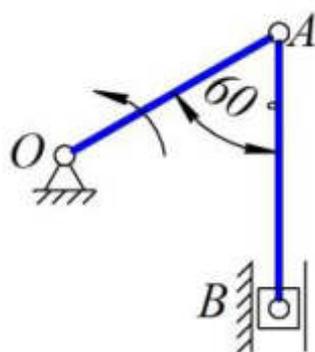


Рис. К-3.2.2

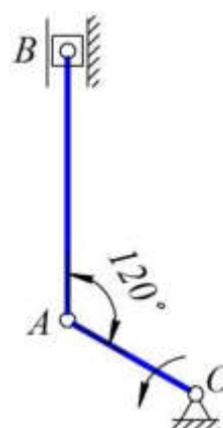


Рис. К-3.3

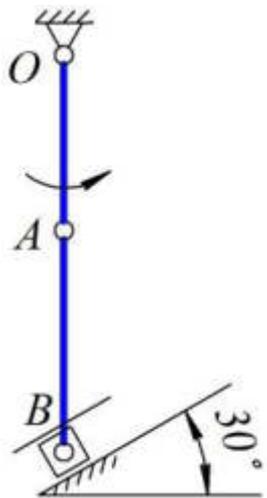


Рис. К-3.2.4

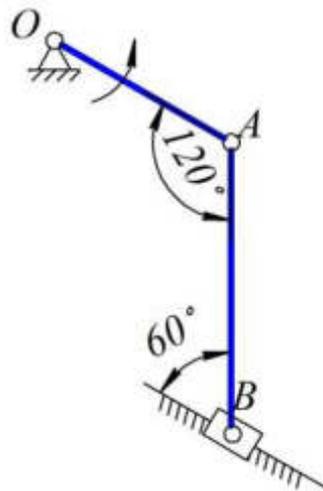


Рис. К-3.2.5

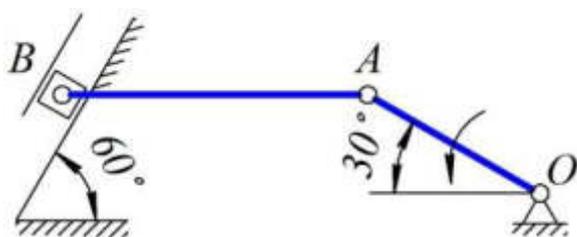


Рис. К-3.2.6

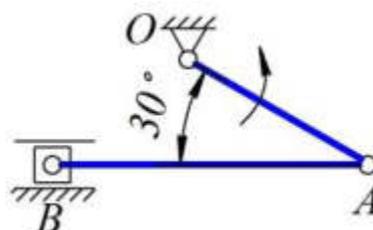


Рис. К-3.2.7

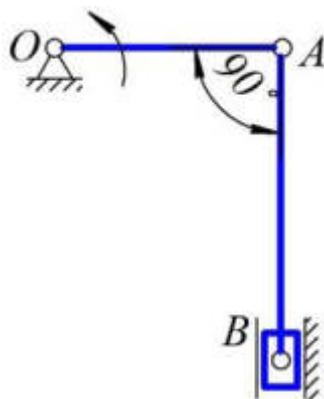


Рис. К-3.2.8

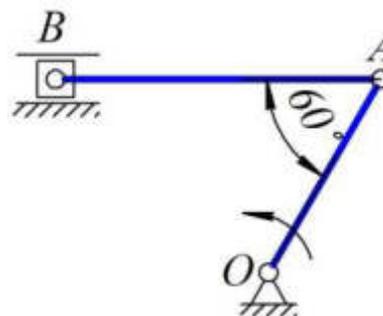


Рис. К-3.2.9

Таблица К-3.2

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ω_{OA} (рад\с)	4	2	3	2	4	2	2	6	2	3
OA(м)	$0,5\sqrt{3}$	0,2	0,4	0,3	0,5	0,3	0,75	$0,5\sqrt{3}$	0,8	0,5
AB(м)	$\sqrt{3}$	0,4	0,8	0,8	1	0,8	1,5	$\sqrt{3}$	1,6	1

Задача К-4 (Сложное движение точки)

Задачи К-4.0–К-4.4. Диск (кольцо, рамка, полуокружность) вращается вокруг вертикальной оси по закону $\varphi = \varphi(t)$ (рад). По окружности радиуса R

движется точка M по закону $S = OM = f(t)$ (см).

Задачи К-4.5–К-4.7. Диск радиуса R (см) вращается вокруг оси, проходящей через точку O и перпендикулярной плоскости диска, по закону $\varphi = \varphi(t)$ (рад). По ободу диска движется точка M по закону $S = OM = f(t)$ (см).

Задачи К-4.8–К-4.9. Трубка AB вращается вокруг оси O , перпендикулярной плоскости чертежа, по закону $\varphi = \varphi(t)$ (рад). Внутри трубки движется точка M по закону $S = OM = f(t)$ (см).

В задаче К-4.1 принять $NO = 10$ см. В задаче К-4.7 принять $AB = 20$ см.

Определить скорость и ускорение точки M в момент времени $t = t_1$.

Данные для выполнения задания К-4.0–К-4.7 приведены в таблице 4.1, для выполнения задания К-4.8 и К-4.9 – в таблице 4.2.

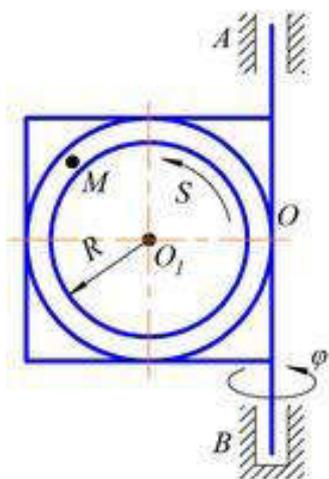


Рис. К-4.0

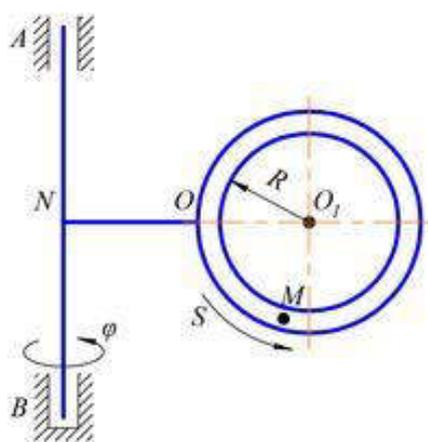


Рис. К-4.1

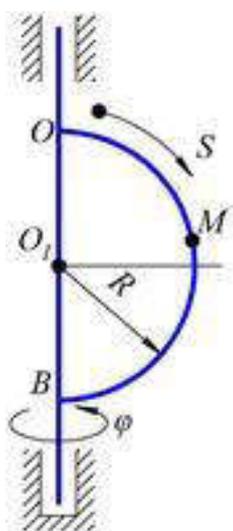


Рис. К-4.2

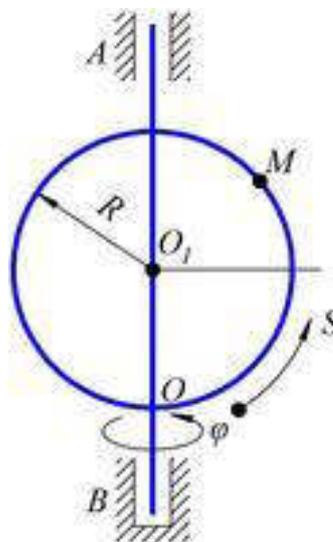


Рис. К-4.3

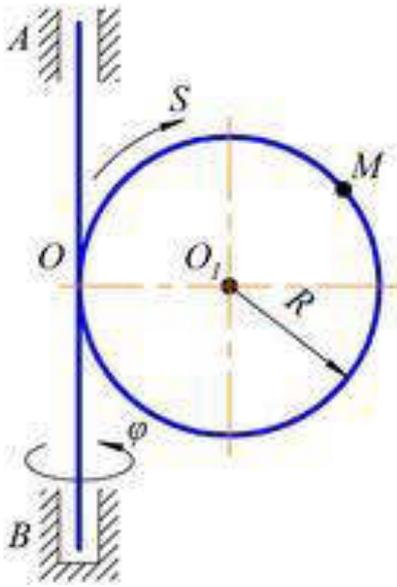


Рис. К-4.4

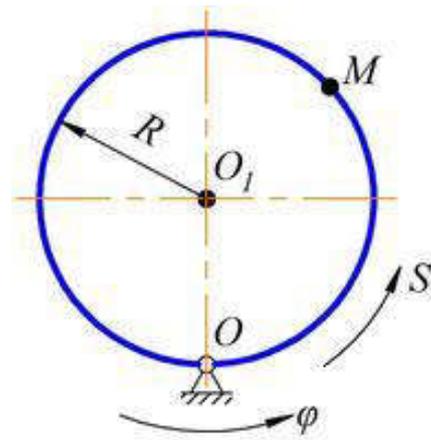


Рис. К-4.5

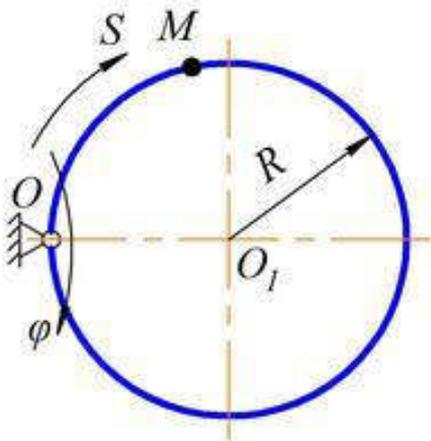


Рис. К-4.6

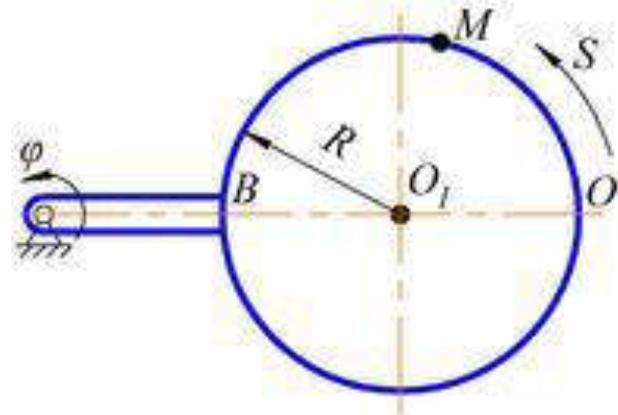


Рис. К-4.7

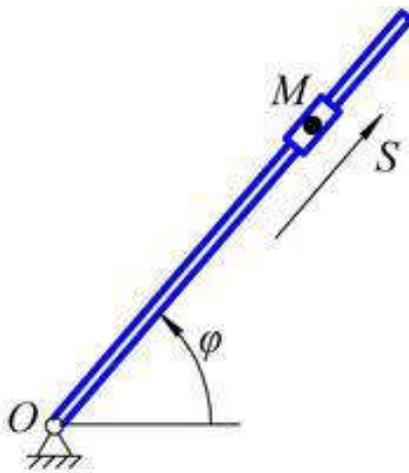


Рис. К-4.8

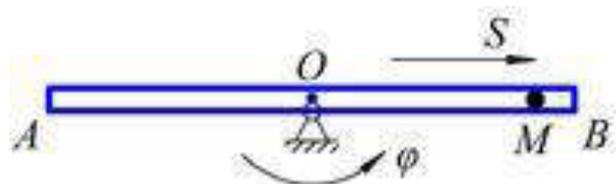


Рис. К-4.9

Таблица 4.1

№	φ , рад	S , см	R , см	t_1 , с
0	$6t - 2t^2$	πt^2	30	5
1	$8t^2$	$5\pi(t^2 + 2)$	30	1
2	$4t - t^2$	$10\pi t^2$	60	2
3	$2t - 4t^2$	$15\pi(3 - t^2)$	40	1
4	$t^3 - 5t$	$15\pi t^3/8$	45	2
5	$4t^2 + 2t$	$30\pi \sin \frac{\pi t}{3}$	30	1/2
6	$2t - t^3$	$10\pi t^2$	30	1
7	$3t^2 - t$	$10\pi \sin \frac{\pi t}{4}$	20	2/3
8	$2t(1 - 4t^2)$	$10\pi \sin \frac{\pi t}{2}$	15	1
9	$t(t - 3)$	$10\pi(1 - t^2)$	10	1/2

Таблица 4.2

№	φ , рад	S , см	t_1 , с
0	$2t(3 - t)$	$4(t^2 - 2t) + 8$	1
1	$18t^2$	$3 + 12\cos \pi t$	1/3
2	$4t^2 - 5t$	$6t + 0,4t^3$	2
3	$8 - 0,5t^2 + 4t$	$2,5t^2$	3
4	$10(1 + \sin 2\pi t)$	$6t + 1,6t^2$	1/8
5	$0,75\pi t^2$	$20\sin \pi t$	5/3
6	$3\pi t^2$	$10\cos \pi t$	1/6
7	$t - 3t^2$	$5\sin \frac{\pi t}{3}$	2
8	$2\pi t^3$	$20\cos 2\pi t$	3/8
9	$t^2 + t$	$10 - 0,5t^2$	2

Указание. Прежде, чем приступить к определению искомым величин необходимо найти положение движущейся точки в подвижной системе отсчета в заданный момент времени и изобразить ее в этом положении.

Вопросы для самопроверки по кинематике

1. Что называется законом движения точки по траектории?
2. Какие три способа задания движения точки применяются в кинематике?
3. Как направлена скорость точки в данный момент времени?
4. Как определяются скорость и ускорение точки при векторном способе задания движения?
5. Как определяются скорость и ускорение точки при естественном способе задания движения?
6. Как определяются скорость и ускорение точки при координатном способе задания движения?
7. Какая зависимость между радиус-вектором точки и вектором ее скорости?
8. Что называется скоростью точки?
9. Что называется ускорением точки?
10. Какие оси координат называются естественными?
11. Чему равны проекции ускорения на декартовы оси координат?
12. Чему равны проекции ускорения на естественные оси координат?
13. В каком движении равно нулю нормальное ускорение?
14. Как называется движение точки, при котором постоянно равно нулю касательное ускорение?
15. При каком движении точки векторы касательного и нормального ускорений постоянно взаимно перпендикулярны?
16. Какое движение тела называется поступательным?
17. В чем состоит теорема о движении точек твердого тела при поступательном движении?

18. Сколько степеней свободы имеет тело при поступательном движении?
19. Как задается вращательное движение твердого тела?
20. Каковы характеристики вращательного движения тела?
21. Какое вращение тела называется равномерным, равнопеременным?
22. Какая зависимость между угловой скоростью в рад/с и об/мин?
23. Как изображается вектор угловой скорости вращающегося твердого тела?
24. Какова зависимость между линейной скоростью какой-либо точки и угловой скоростью тела?
25. Как выражается модуль касательного ускорения точки вращающегося тела?
26. Как выражается модуль нормального ускорения точки вращающегося тела?
27. Какое движение твердого тела называется плоским (плоскопараллельным)?
28. Запишите уравнения плоского движения тела.
29. На какие два движения можно разложить плоское движение?
30. Зависит ли угловая скорость плоской фигуры от выбора полюса?
31. Какая точка называется мгновенным центром скоростей плоской фигуры?
32. Как можно графически найти положение мгновенного центра скоростей плоской фигуры по известным скоростям двух точек тела?
33. Где находится мгновенный центр скоростей точек катка при качении без скольжения по неподвижной поверхности?
34. Как определяется ускорение точки при плоском движении тела?
35. Как формулируется теорема о проекциях скоростей двух точек тела на прямую, их соединяющую?
36. Какое движение точки называют абсолютным?
37. Какое движение точки называется относительным?

38. Какое движение называется переносным?
39. Что называется переносной скоростью точки?
40. В чем состоит теорема о сложении скоростей при сложном движении?
41. Каков физический смысл ускорения Кориолиса?
42. Как определяется направление ускорения Кориолиса?
43. В каких случаях ускорение Кориолиса равно нулю?
44. Как определяется абсолютное ускорение точки при поступательном переносном движении?
45. Как определяется абсолютное ускорение точки при вращательном переносном движении?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Митюшов, Е.А.** Теоретическая механика: учебник для студентов вузов, обучающихся по машиностроительным направлениям и специальностям / Е. А. Митюшов, С. А. Берестова. - М.: Academia, 2006. – 320 с.
2. **Теоретическая механика в примерах и задачах.** Под ред. Е.А. Митюшова. М.: Academia, 2012. - 176 ISBN 5-7695-4629-7.
3. **Бутенин Н. В.** Курс теоретической механики / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. Т.1,2. М., 1970, 1971 и последующие издания.
4. **Добронравов В. В.** Курс теоретической механики / В. В. Добронравов, Н. Н. Никитин, А. Л. Дворников. М., 1966 и последующие издания.
5. **Тарг С. М.** Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. М., 1963 и последующие издания.
6. **Яблонский А. А.** Курс теоретической механики / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. Ч. 1. М., 1962 и последующие издания.
7. **Яблонский А. А.** Курс теоретической механики / А. А. Яблонский. Ч. 2. М., 1962 и последующие издания.
8. **Мещерский И. В.** Сборник задач по теоретической механике / И. В. Мещерский М., 1952 и последующие издания.
9. **Бать М. И.** Теоретическая механика в примерах и задачах / М. И. Бать, Г. Ю. Джанелидзе, А. С. Кельзон. Ч. 1, 2. М., 1961 и последующие издания.
10. **Денисов Ю. В.** Статика: уч. пособ. / Ю. В. Денисов, Н. А. Клиньских, В. М. Соколов. Свердловск: УПИ, 1982.
11. **Денисов Ю. В.** Теоретическая механика. Динамика (дополнительные главы): уч. пособ. / Ю. В. Денисов, Н. А. Клиньских, В. М. Соколов. Свердловск: УПИ, 1979.
12. **Денисов Ю. В.** Аналитическая механика: уч. пособ. / Ю. В. Денисов, Н. А. Клиньских. Екатеринбург: УГТУ, 1999.
13. **Соколов В. М.** Статика: уч. пособ., кн. 1,2. / В. М. Соколов.

Свердловск: УПИ, 1981.

14. **Соколов В. М.** Кинематика: уч. пособ. Кн. 1,2 / В. М. Соколов.

Свердловск: УПИ, 1981.

15. **Соколов В. М.** Теоретическая механика. Динамика: уч. пособ.

/В.М.Соколов. Свердловск: УПИ, 1981.

16. **Клинских Н.А.** Теоретическая механика. Контрольные задания по

курсу для студентов заочной формы обучения : учеб. пособие / Н.А. Клинских,
А.А. Мироненко. – Екатеринбург. : Изд. Уральского университета. – 102 с.