РОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

Одобрено кафедрой
«Теоретическая и прикладная
механика»

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Методические указания к выполнению контрольной работы №1 для студентов-специалистов 2 курса специальности: «Эксплуатация железных дорог»

специализации: «Магистральный транспорт», «Пассажирский комплекс железнодорожного транспорта», «Грузовая и коммерческая работа», «Безопасность движения и эксплуатация железнодорожного транспорта»

Москва – 2012

Составители:
Капранов И.В., проф., канд. техн. наук,
Дубровин В.С., доц., канд. техн. наук,
Шумейко Г.С., доц., канд. техн. наук.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Целью контрольной работы **является формирование** у обучающихся **профессиональных компетенций и приобретение** обучающимися:

умений применения математических методов, физических законов и вычислительной техники для решения практических задач;

навыков владения основными законами и методами механики.

Задание на контрольную работу по дисциплине «Теоретическая механика» включает в себя 3 раздела: статика, кинематика, динамика.

В контрольной работе студент должен:

Раздел. СТАТИКА

- построить исходный рисунок и записать числовые значения величин;
- освободить конструкцию от связей, заменить их реакциями связей;
- составить уравнения равновесия и решить их;
- проанализировать результат.

Раздел. КИНЕМАТИКА

- построить механизм в масштабе;
- вычислить и построить скорость точки.

Раздел. ДИНАМИКА

- выбрать метод решения задачи;
- сделать рисунок и показать все силы действующие на тело;
- показать известные скорости и ускорения точек тела;
- составить уравнение теоремы или принципа и решить.

Контрольную работу следует оформлять в соответствии с требованиями ЕСКД. Текстовая часть курсовой работы выполняется с использованием ЭВМ, и только рисунки можно делать карандашом. Работа должна содержать оглавление, текст самой работы и список используемой литературы. Текст работы должен начинаться с задания, сопровождаемого исходными данными в соответствии с выбранным вариантом, а затем последовательно излагается расчетная часть.

Решение каждой задачи должно сопровождаться краткими пояснениями. Следует указать, какие теоремы, принципы и формулы использованы для решения задачи. Все промежуточные преобразования, расчеты должны быть показаны в решении и сопровождены необходимыми пояснениями. Все уравнения и формулы следует записывать сначала в общем виде, а затем подставлять вместо буквенных обозначений их числовые значения. Вычисления должны быть доведены до получения окончательного результата. В конце решения необходимо привести ответы. Обязательно указывать размерность искомых величин.

В настоящих заданиях приводится 20 вариантов для каждой задачи.

Номер варианта для всех задач курсовой работы выбирается студентом по двум последним цифрам его учебного шифра (табл. 1).

Таблица 1

Предпоследняя	Последняя	Номер варианта	Предпоследняя	Последняя	Номер варианта
цифра шифра			цифра шифра		

0;1;2;3;4	0	1	5;6;7;8;9	0	11
	1	2		1	12
	2	3		2	13
	3	4		3	14
	4	5		4	15
	5	6		5	16
	6	7		6	17
	7	8		7	18
	8	9		8	19
	9	10		9	20

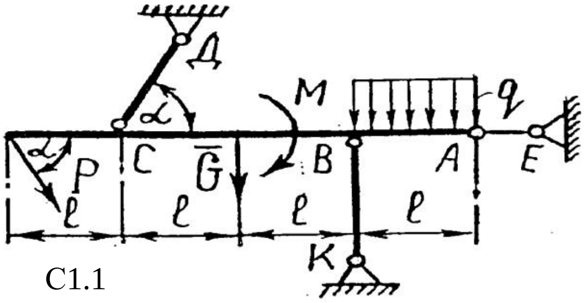
Например, шифрам с последними цифрами 51, 41, и 77 соответствуют варианты 12,2 и 18.

ЗАДАЧА С1
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ СВЯЗЕЙ ПЛОСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

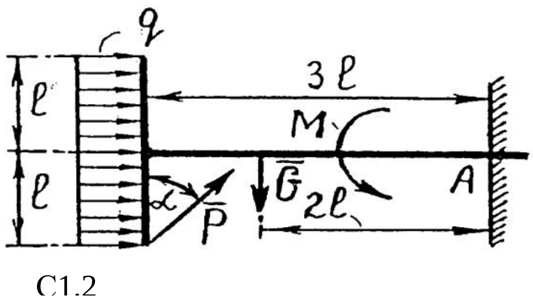
Определить реакции связей заданной плоской конструкции. Схемы конструкций указаны на рисунках С1.1 - С1.20, исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

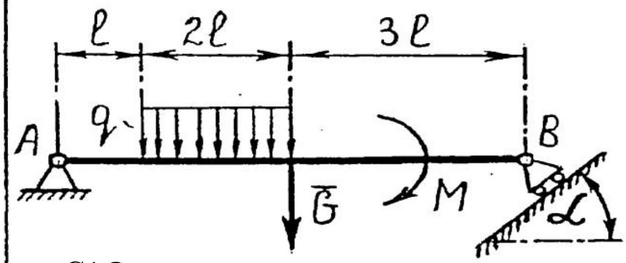
Номер варианта	**P,кН**	**G,кН**	**M,кНм**	**q,кН/м**	**l,м**	**α,град.**
С1.1	4	12	4	3	1	60^o
С1.2	10	6	5	2	1,5	45^o
С1.3	-	10	4	3	1	45^o
С1.4	15	-	3	4	1	45^o
С1.5	10	8	5	2	2	30^o
С1.6	6	9	3	5	2	60^o
С1.7	20	14	4	-	1	30^o
С1.8	14	-	6	2	1	30^o
С1.9	10	15	6	-	1	30^o
С1.10	16	-	10	3	1	60^o
С1.11	10	8	6	2	2	30^o
С1.12	15	12	8	1	1,5	60^o
С1.13	8	-	3	6	1	60^o
С1.14	10	-	4	2	1	45^o
С1.15	20	12	3	4	1	60^o
С1.16	15	5	2	3	1	30^o
С1.17	12	6	8	3	2	30^o
С1.18	8	-	3	2	1	45^o
С1.19	20	-	4	6	1	30^o
С1.20	15	10	5	-	1	30^o



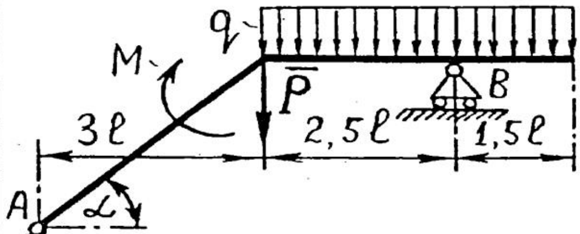
C1.1



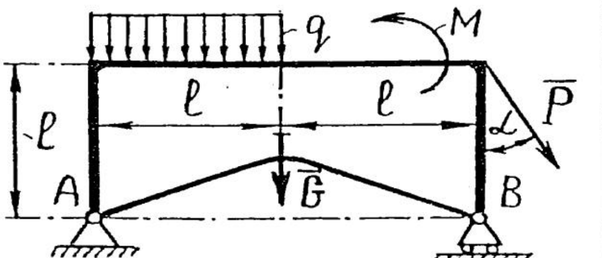
C1.2



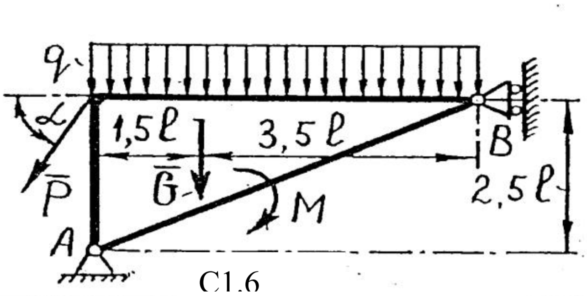
C1.3



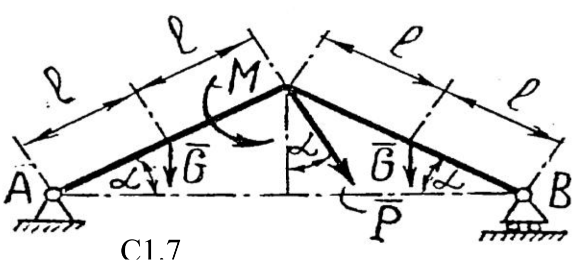
C1.4



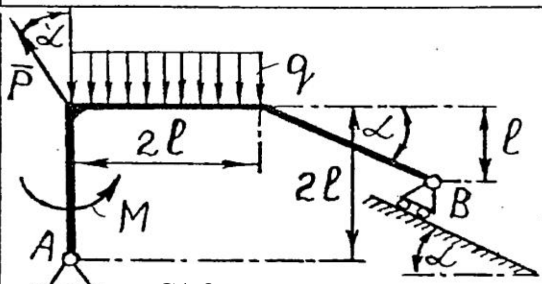
C1.5



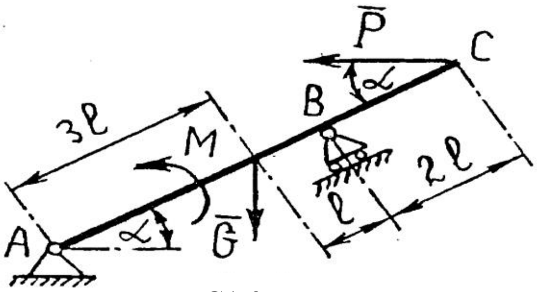
C1.6



C1.7

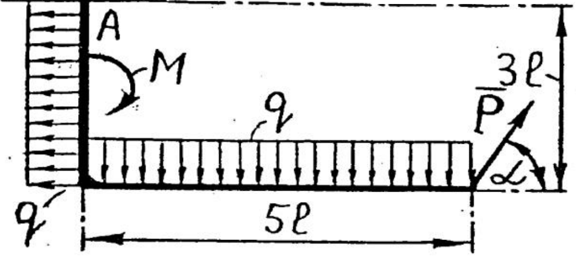


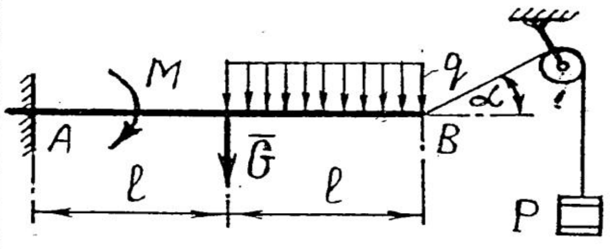
C1.8



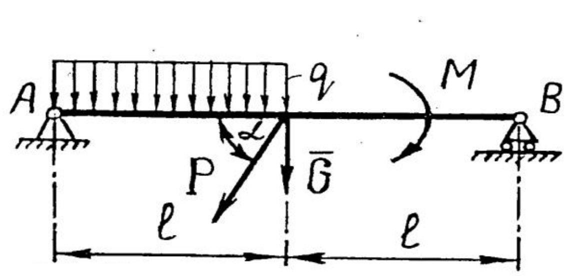
C1.9

C1.10



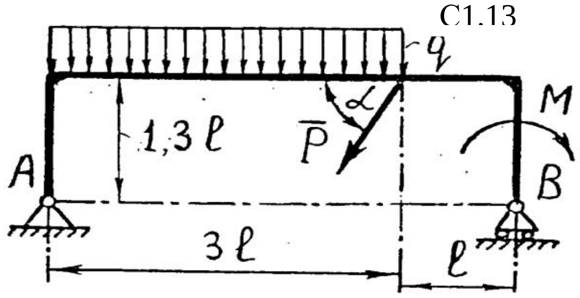


C1.11

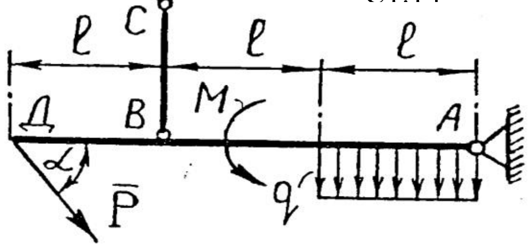


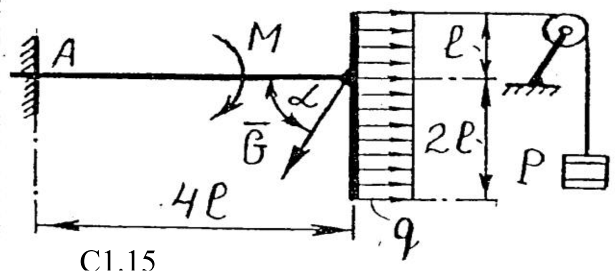
C1.12

C1.13

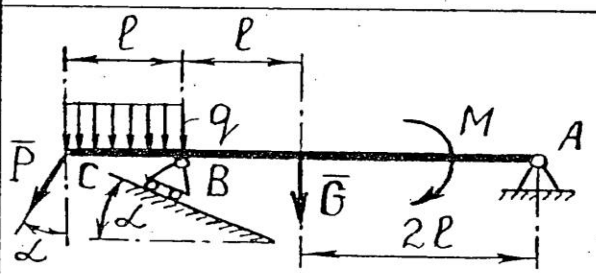


C1.14

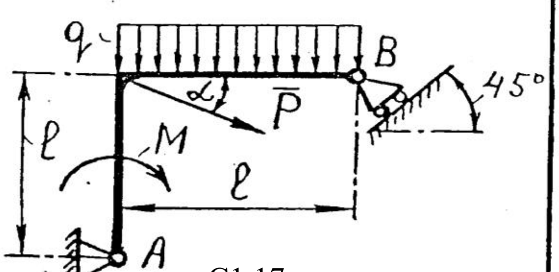




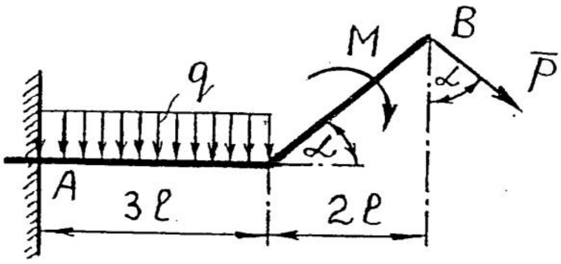
C1.15



C1.16

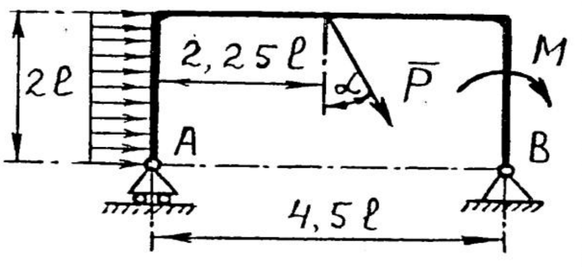


C1.17

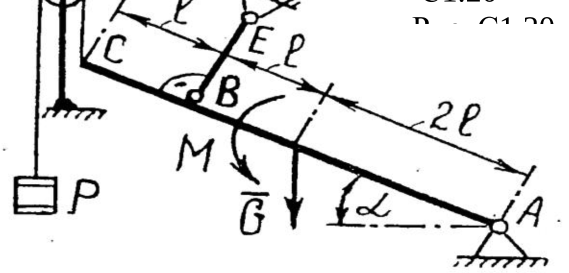


C1.18

C1.19



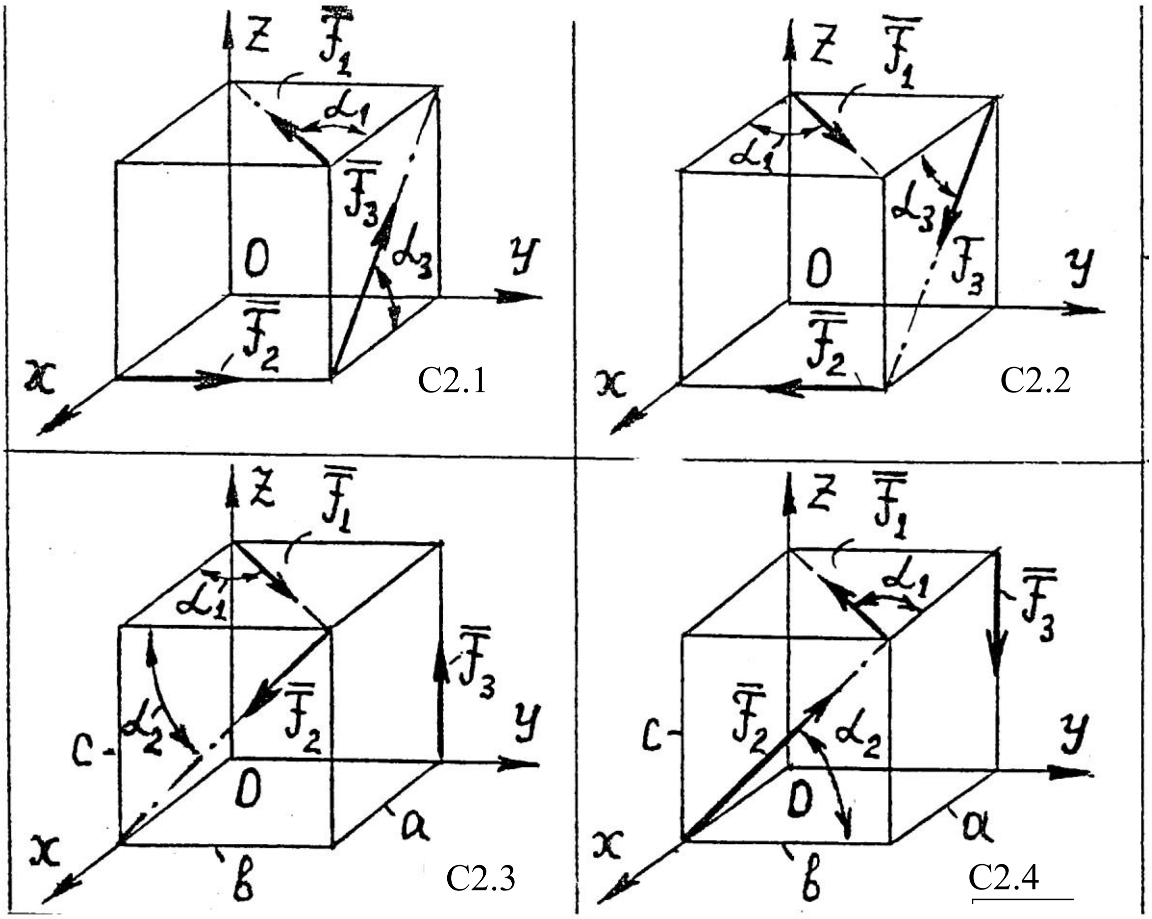
C1.20

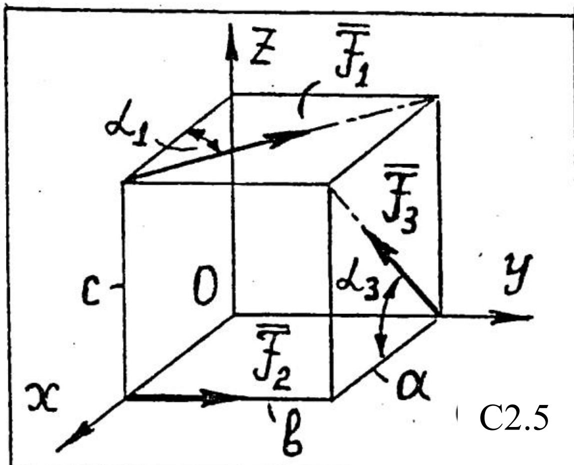


ЗАДАЧА С2

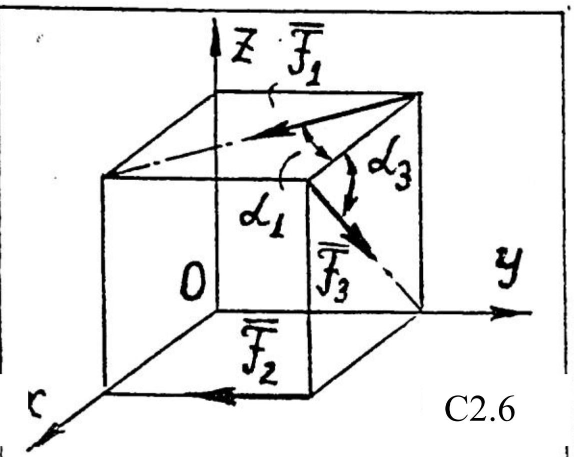
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕЙСТВИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ СИЛ

Определить модули главного вектора и главного момента относительно центра О пространственной системы сил (**F_1**, **F_2**, **F_3**). Силы приложены к вершинам прямоугольного параллепипеда с ребрами а = 1 м, в = с = 3м, причем F_1 = 2кН, F_2 = 3кН, F_3= 5кН.

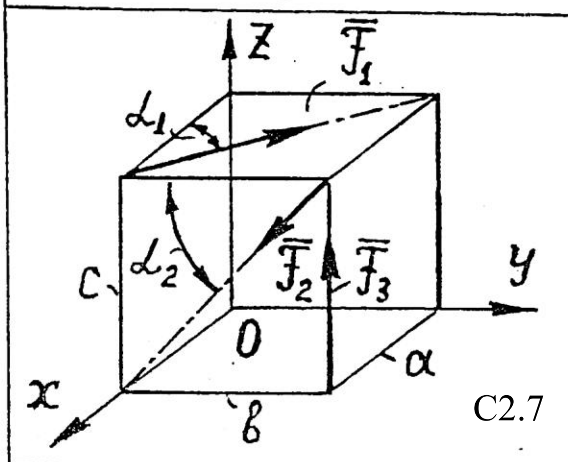




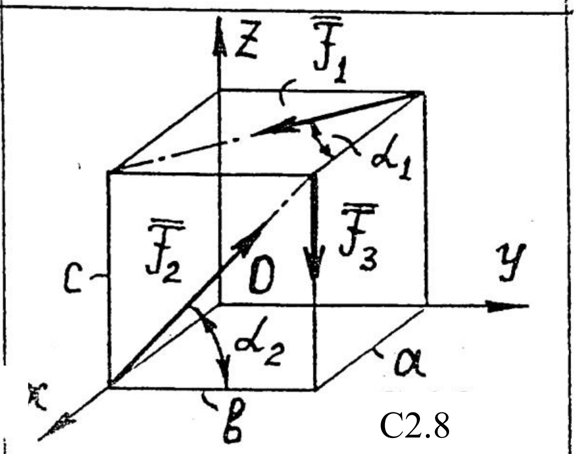
C2.5



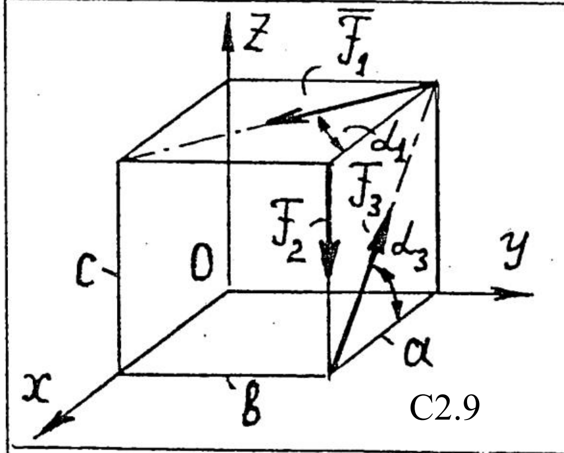
C2.6



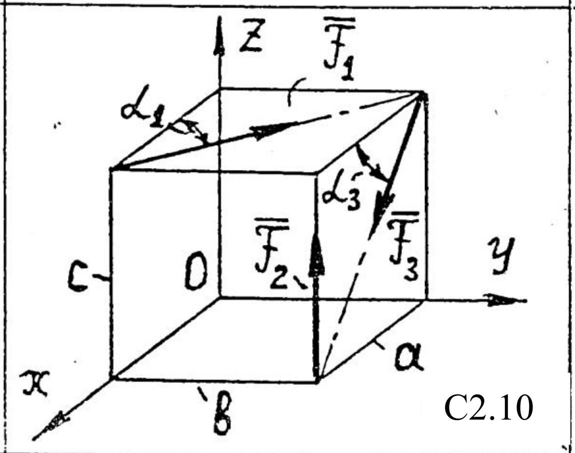
C2.7



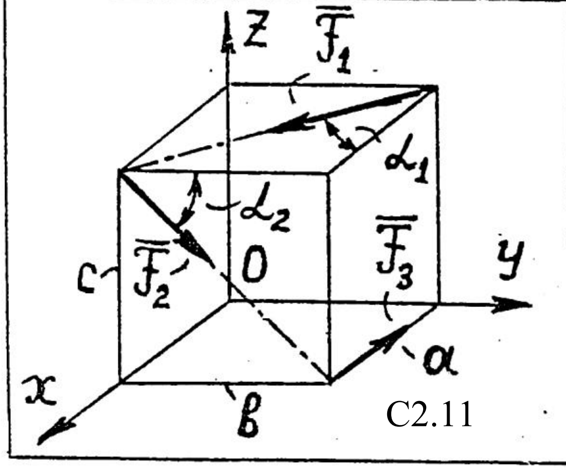
C2.8



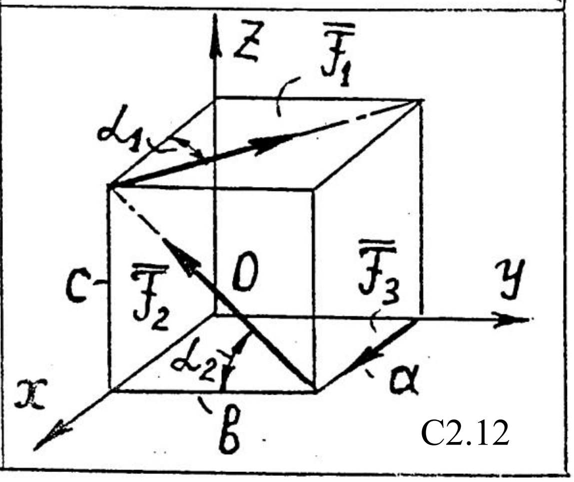
C2.9



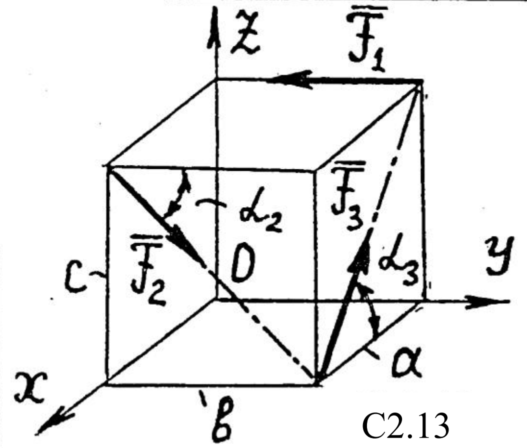
C2.10



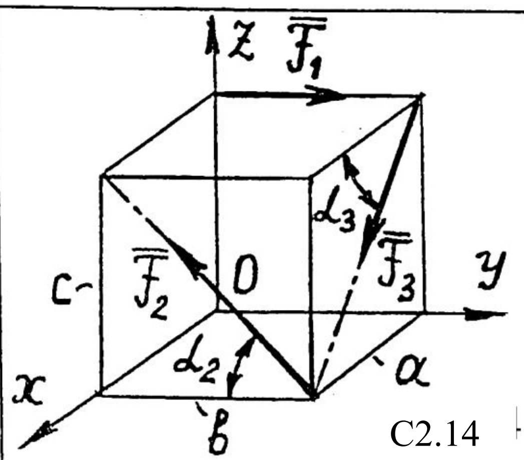
C2.11



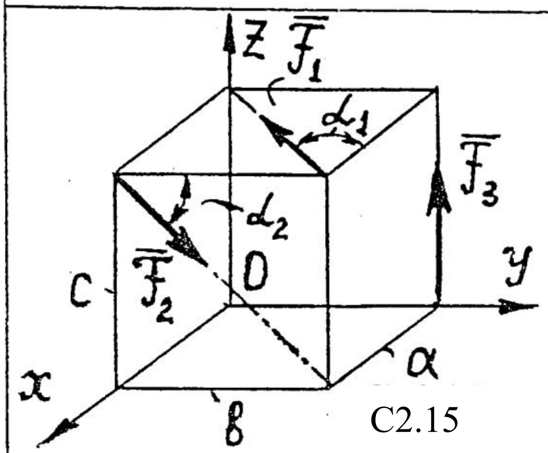
C2.12



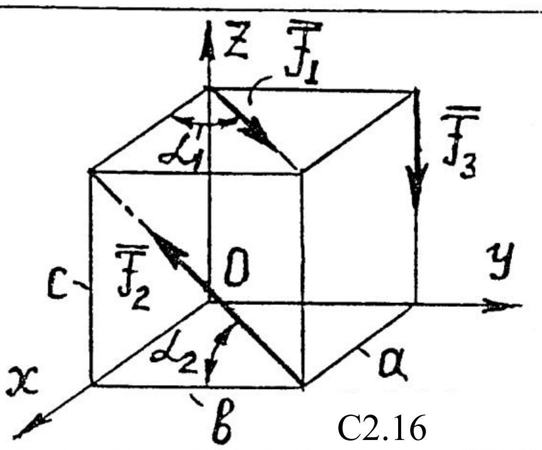
C2.13



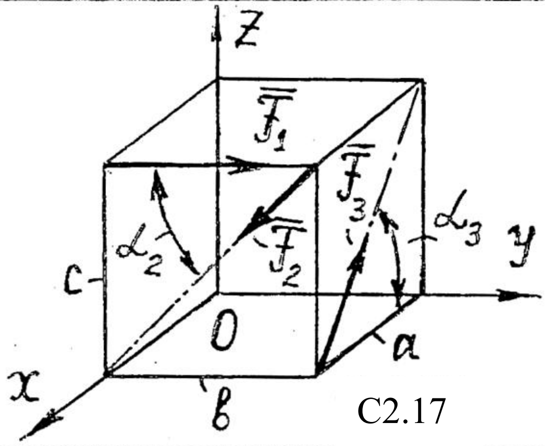
C2.14



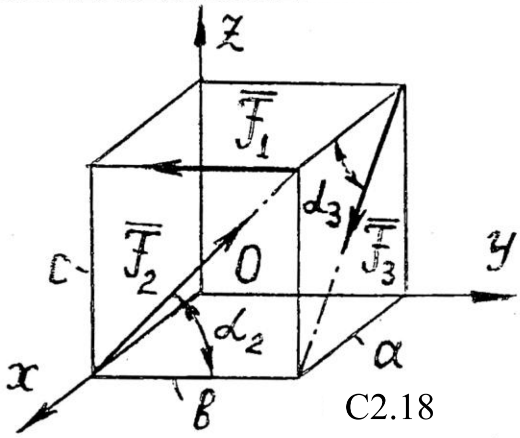
C2.15



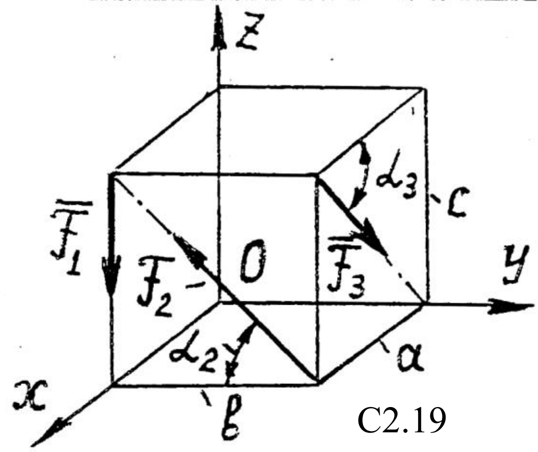
C2.16



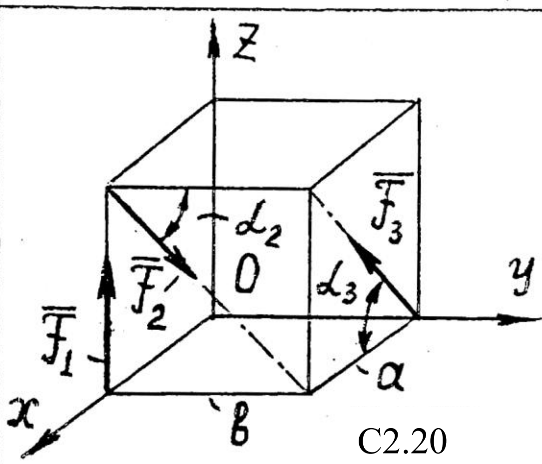
C2.17



C2.18



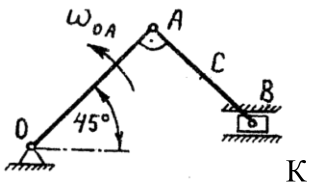
C2.19



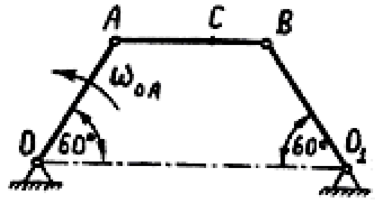
C2.20

ЗАДАЧА К1
ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЁРДОГО ТЕЛА

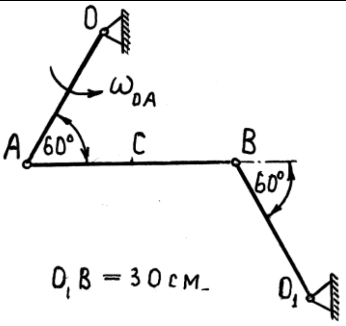
Для заданного положения механизма найти скорости точек B и C, а также угловую скорость звена, которому принадлежат эти точки. Схемы механизмов и необходимые для расчета данные показаны на рис. К6.1-К6.20.

<table>
<tr>
<td>


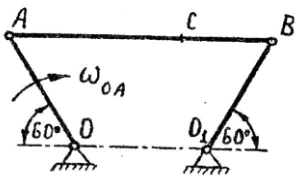
К1.1.

OA=40см, AB=30см,AC=15см, $\omega_{OA}=2c^{-1}$.
</td>
<td>


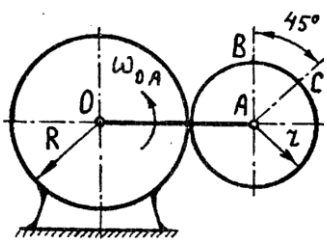
К1.2.

OA=30см, AB=30см,AC=20см, $\omega_{OA}=4c^{-1}$.
</td>
</tr>
<tr>
<td>


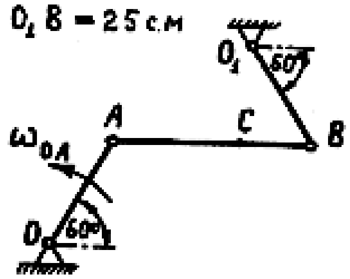
К1.3.

OA=30см, AB=40см, AC=20см, $\omega_{OA}=2c^{-1}$.
</td>
<td>


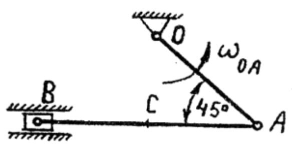
К1.4.

OA=30см, AB=60см, AC=40см, $\omega_{OA}=2c^{-1}$.
</td>
</tr>
<tr>
<td>


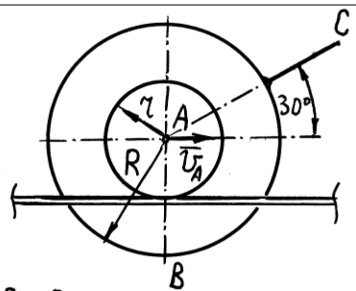
К1.5.

OA=35см, AB=15см, AC=15см, $\omega_{OA}=3c^{-1}$.
</td>
<td>


К1.6.

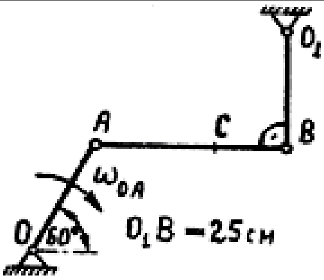
OA=25см, AB=40см, AC=25см, $\omega_{OA}=3c^{-1}$.
</td>
</tr>
<tr>
<td>


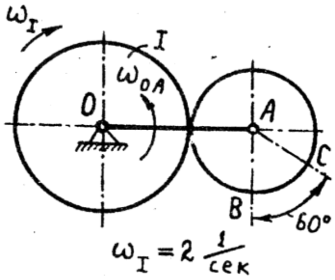
К1.7.

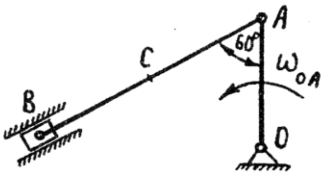
OA=30см, AB=50см, AC=25см, $\omega_{OA}=3c^{-1}$.
</td>
<td>


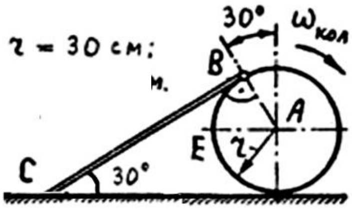
AB = R = 20см; AC = 35см. К1.8.

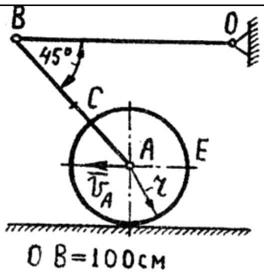
r=10см , V_A=45см/с.
</td>
</tr>
</table>

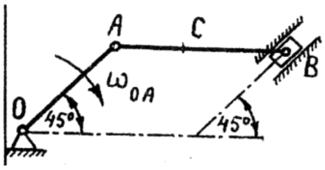
<table>
<tr>
<td>


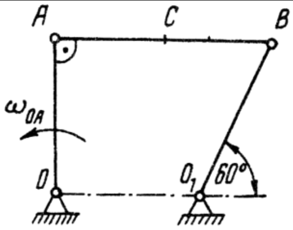
К1.9.
OA=25см, AB=40см, AC=25см, ω_{OA}=5c^{-1} .
</td>
<td>


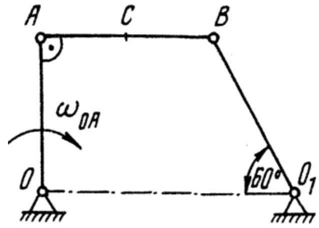
К1.10.
OA=35см, AB=15см, AC=15см, ω_{OA}=6c^{-1} .
</td>
</tr>
<tr>
<td>


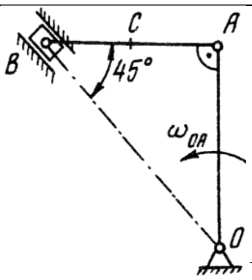
К1.11.
OA=30см, AB=60см, AC=30см, ω_{OA}=6c^{-1} .
</td>
<td>


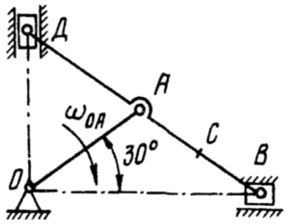
К1.12.
$\omega_{кол}$=3c^{-1} .
</td>
</tr>
<tr>
<td>


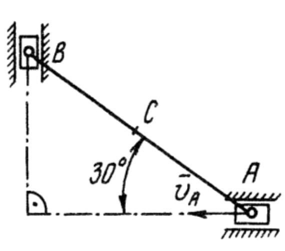
К1.13.
AB=80см, AC=40см, r=25см , V_A=100см/с.
</td>
<td>


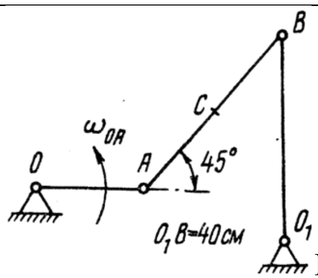
К1.14.
OA=30см, AB=40см, AC=15см, ω_{OA}=4c^{-1} .
</td>
</tr>
<tr>
<td>


К1.15.
OA=30см, AB=50см, AC=25см, ω_{OA}=3c^{-1} .
</td>
<td>


К1.16.
OA=30см, AB=40см, AC=20см, ω_{OA}=2c^{-1} .
</td>
</tr>
<tr>
<td>


К1.17.
OA=40см, AB=40см, AC=20см, ω_{OA}=5c^{-1} .
</td>
<td>


К1.18.
OA=30см, AB=30см, AC=15см, ω_{OA}=4c^{-1} .
</td>
</tr>
<tr>
<td>


К1.19.
AB=70см, AC=35см, V_A=35см/с.
</td>
<td>


К1.20.
OA=25см, AB=45см, AC=22.5см, ω_{OA}=3c^{-1} .
</td>
</tr>
</table>

ЗАДАЧА Д1
ПЕРВАЯ ЗАДАЧА ДИНАМИКИ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Д1.1. Гиря массы $m = 0{,}2$ *кг* подвешена к нити длиной $l = 1$ *м,* вследствие толчка гиря получила горизонтальную скорость $V = 3$ *м/с.* Определить натяжение нити непосредственно после толчка.	**Д1.2.** Груз, привязанный к нити длиной l, движется по окружности в вертикальной плоскости. Какую минимальную скорость в наивысшем положении должен иметь груз, чтобы нить оставалась натянутой?
Д1.3. Определить модуль равнодействующей сил, действующих на материальную точку массой m=**3кг** в момент времени t = **6 с**, если она движется по оси Ох согласно уравнению $x= 0.4t^3+21t$.	**Д1.4**. Вагон массой $m=9000$ *кг* скатывается с горки. Какой угол к горизонту должна иметь горка, для того чтобы вагон двигался с ускорением $a = 3$ *м/с*^{2}? Угол выразить в градусах.
Д1.5. Точка массой $m = 4$ *кг* движется по горизонтальной прямой с ускорением $a = 0{,}3t$. Определить модуль силы, действующей на точку в направлении ее движения в момент времени $t = 3$ *с*.	**Д1.6**. Груз массы $m = 0{,}1$ *кг,* подвешенный на нити длиной $l = 0{,}4$*м* в неподвижной точке О, представляет собой конический маятник, то есть описывает окружность в горизонтальной плоскости, причём нить составляет с вертикалью угол $\alpha= 30°$. Определить скорость груза и натяжение нити.
Д1.7. Автомобиль массы $m = 1500$ *кг* движется по вогнутому, участку дороги со скоростью $V = 10$ *м/с.* Радиус кривизны в нижней точке дороги $\rho = 60$ *м*. Определить силу давления автомобиля на дорогу в момент прохождения этого участка дороги.	**Д1.8**. Локомотив, двигаясь с ускорением $a = 1$ *м/с*^{2} по горизонтальному участку пути, перемещает вагоны массой 60000 кг. Определить силу в автосцепке, если сила сопротивления движению состава равна $F_c = 0.002mg$.
Д1.9. Тело массой $m = 4$ *кг* движется по горизонтальной прямой со скоростью $V = 0{,}9t^2+2t$. Определить модуль силы, действующей на точку в направлении ее движения в момент времени t = 3 с.	**Д1.10**. Искусственный спутник Земли описывает круговую орбиту радиуса R на небольшой высоте над поверхностью Земли (изменением силы тяжести на этой высоте по сравнению с силой тяжести на поверхности Земли можно пренебречь). Определить скорость движения спутника по орбите и время одного оборота спутника. Радиус Земли $R= 6380$ *км*.
Д1.11. Материальная точка массой m=2 кг движется по окружности радиуса R = 0,6 м согласно уравнению $S= 2{,}4t^2$. Определить модуль равнодействующей сил, приложенных к материальной точке.	**Д1.12**. Материальная точка массой $m=100$*кг* движется в плоскости Oxy согласно уравнениям $x = at^2$, $y = bt$, где $a=10$ *и* $b=100$ - постоянные. Определить модуль равнодействующей сил, приложенных к точке.
Д1.13. Груз массы m = 100 кг, подвешенный к концу намотанного на барабан троса, движется с ускорением $a = 0{,}2\,g$.. Определить натяжение троса при	**Д1.14**. Материальная точка массой $m = 16$ *кг* движется по окружности радиуса $R = 9$ *м* со скоростью $V=3$ *м/с*. Определить проекцию равнодействующей сил, приложенных к точке, на

подъёме и опускании груза.	главную нормаль к траектории.
Д1.15. Материальная точка массой *m*= 9 кг движется в горизонтальной плоскости *Oxy* с ускорением $a = 4\bar{i} + 3\bar{j}$. Определить модуль силы, действующей на нее в плоскости движения.	**Д1.16** .Движение материальной точки массой ***m = 8 кг*** происходит в горизонтальной плоскости ***Oxy*** согласно уравнениям $x = 5t$ и $y = t^3$. Определить модуль равнодействующей приложенных к точке сил в момент времени t = 4 с.
Д1.17. Автомобиль массы ***m = 1500 кг*** движется по выпуклому участку дороги со скоростью **V =** ***10 м/с***. Радиус кривизны в верхней точке дороги ρ **=** ***60 м***. Определить силу давления автомобиля на дорогу в момент прохождения этого участка дороги.	**Д1.18**. Решето рудообогатительного грохота совершает вертикальные гармонические колебания с амплитудой ***b=5 см***. Найти наименьшую частоту ***k*** колебаний решета, при котором куски руды, лежащие на нём, отделяются от него и подбрасываются вверх.
Д1.19. Материальная точка массы т движется в плоскости согласно уравнениям $x = a\cos\omega t$; $y = b\sin\omega t$. Найти силу, действующую на точку.	**Д1.20**. Определить давление человека массой m = 80 кг на площадку лифта в начале подъёма и перед остановкой; ускорение (замедление) лифта a = 0,2g.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №1

ЗАДАЧА 1

Найти реакции связей изогнутой балки ABC, находящейся под действием плоской системы сил. Вычисление реакций выполнить при *a = 1,2 м, b = 2,4 м, l = 1,8 м,* $\alpha = 30^o$, $P_1 = 8$ *кН*, $P_1 = 6$ *кН*, *M = 8 кНм*.

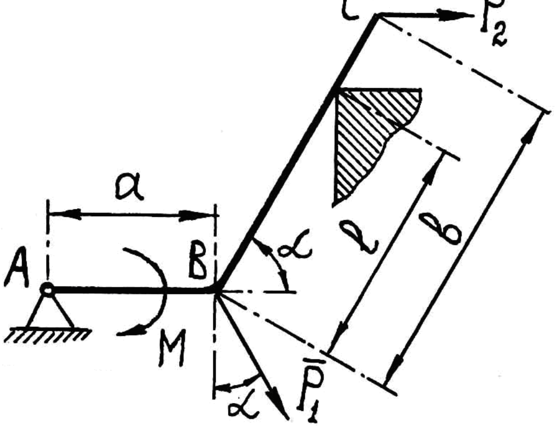


Рис. 1

Решение

Освободим балку от связей и приложим к ней реакции связей. На рис. 2 $\vec{R}_{Ax}$, $\vec{R}_{Ay}$ – составляющие реакции шарнира А. $\vec{R}_Д$ – реакция выступа стены ($\vec{R}_Д \perp BC$).

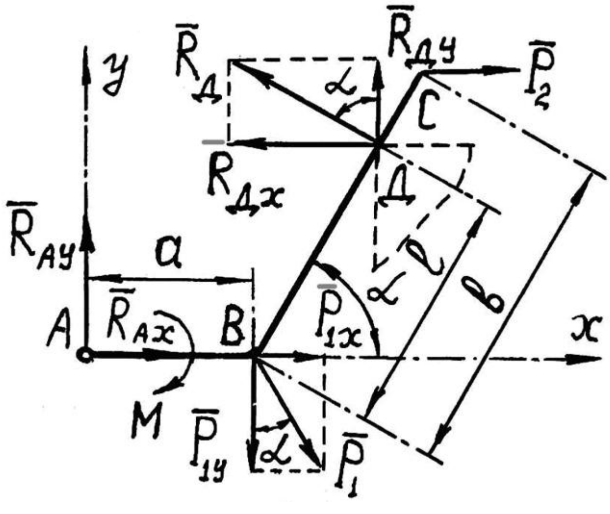


Рис. 2

Разложим силы $\vec{P}_1$ и $\vec{R}_Д$ на составляющие вдоль осей координат

$$\vec{P}_1 = \vec{P}_{1x} + \vec{P}_{1y}; \qquad \vec{R}_Д = \vec{R}_{Дx} + \vec{R}_{Дy}.$$

Условия равновесия балки имеют вид

$$\sum F_{kx} = 0; \qquad R_{Ax} + P_1 \sin\alpha - R_Д \sin 2\alpha + P_2 = 0;$$

$$\sum F_{ky} = 0; \qquad R_{Ay} - P_1 \cos\alpha + R_Д \cos 2\alpha = 0;$$

$$\sum m_A(F_k)=0; \qquad -P_2 b\sin 2\alpha+(R_Д \sin 2\alpha)l\sin 2\alpha+(R_Д \cos 2\alpha)(a+l\cos 2\alpha)-$$
$$-(P_1\cos\alpha)a-M=0$$

После решения составленной системы уравнений получаем

$$R_{Ax}=-1{,}04кH, \qquad R_{Ay}=1{,}27кH, \qquad R_Д=10{,}34кH \, .$$

ЗАДАЧА 2

Определить реакции изогнутой балки АВС, находящейся под действием плоской системы сил. Вычисление реакций выполнить при l = 1 м, α = 60°, P = 20 кН, M = 25 кНм (момент пары сил), q = 3 кН/м (интенсивность равномерно распределенной нагрузки).

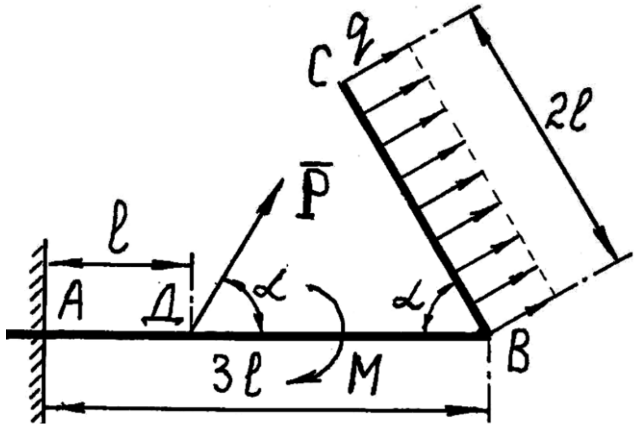


Рис. 3

Решение

Освободим балку от связей и приложим к ней реакции связей. На рис. 4 $\vec{R}_{Ax}$ и $\vec{R}_{Ay}$ – составляющие реакции заделки вдоль осей координат, m_A – момент заделки (момент пары сил).

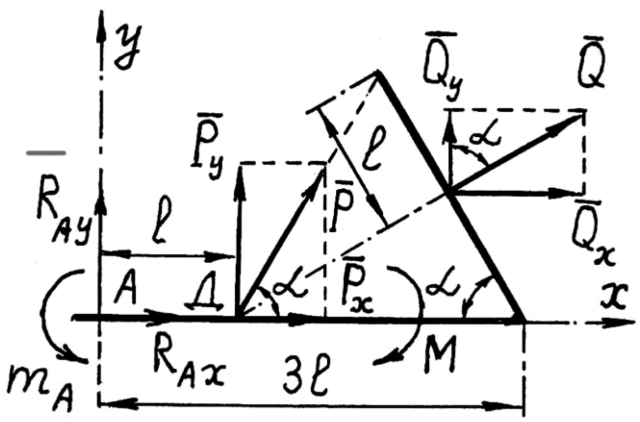


Рис. 4

Заменим равномерно-распределенную нагрузку на участке ВС равнодействующей силой $\vec{Q}$, причем $Q = q\times 2l = 6кН$.

Разложим силы $\vec{P}$ и $\vec{Q}$ на составляющие вдоль осей координат

$$\vec{Q} = \vec{Q}_x + \vec{Q}_y; \qquad \vec{P} = \vec{P}_x + \vec{P}_y.$$

Составим уравнения равновесия балки

$$\sum F_{kx} = 0; \qquad R_{Ax} + P\cos\alpha + Q\sin\alpha = 0;$$

$$\sum F_{ky} = 0; \qquad R_{Ay} + P\sin\alpha + Q\cos\alpha = 0;$$

$$\sum m_Д(F_k) = 0; \qquad m_A - M - R_{Ay}l = 0.$$

Из этой системы уравнений находим:

$$R_{Ax} = 15{,}2кН, \qquad R_{Ay} = -20{,}32кН, \qquad m_A = 4{,}68кНм.$$

ЗАДАЧА 3

К изогнутой балке АВСД приложены силы P_1 = 5 кН, P_2 = 4 кН и пара сил с моментом M = 8 кНм . Размеры *а = 1,5 м, в = 1,8 м, h = 1,2 м, α = 30°*. Определить реакции балки.

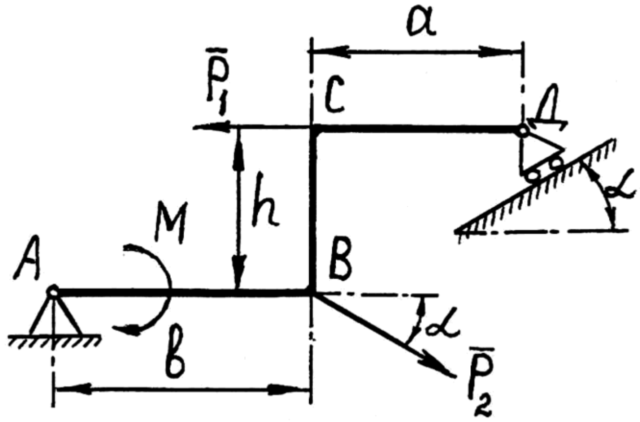


Рис. 5

Решение

Освободим балку от связей, приложим к ней реакции связей. На рис. 6 $\vec{R}_{Ax}$, $\vec{R}_{Ay}$ – составляющие реакции шарнира А, $\vec{R}_Д$ – реакция подвижного шарнира Д. Заметим, что реакция $\vec{R}_Д$ направлена перпендикулярно плоскости, по которой могут перемещаться катки тележки шарнира Д.

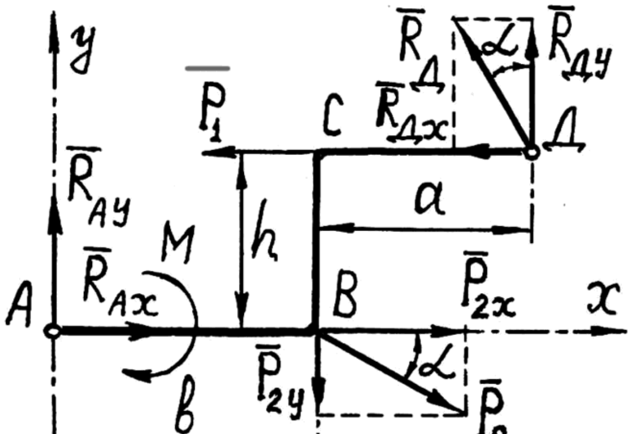


Рис. 6

Разложим силы $\vec{P}_1$ и $\vec{R}_Д$ на составляющие вдоль осей координат:

$$\vec{P}_1 = \vec{P}_{1x} + \vec{P}_{1y}; \qquad \vec{R}_Д = \vec{R}_{Дx} + \vec{R}_{Дy}.$$

Составим уравнения равновесия балки:

$$\sum F_{kx} = 0; \qquad R_{Ax} - P_1 + P_2\cos\alpha - R_Д \sin\alpha = 0;$$

$$\sum F_{ky} = 0; \qquad R_{Ay} - P_2\sin\alpha + R_Д\cos\alpha = 0;$$

$$\sum m_A(F_k) = 0; \qquad (R_Д\cos\alpha)(a+b) + (R_Д\sin\alpha)h - (P_2\sin\alpha)b + P_1 h - M = 0.$$

Решаем эту систему уравнений и находим неизвестные величины:

$$R_{Ax} = 2{,}34кН, \qquad R_{Ay} = 0{,}6кН, \qquad R_Д = 1{,}62кН.$$

ЗАДАЧА 4

Определить реакции связей плиты АВСД, находящейся под действием плоской системы сил. Невесомый стержень СЕ образует угол α с горизонталью. Вычисление реакций выполнить при заданных размерах *a = 1,6 м, b = 1,2 м, h = 1,2 м,* $\alpha = 60^o$, $P_1 = 15$ *кН*, $P_2 = 10$ *кН*, *M = 8кНм..*

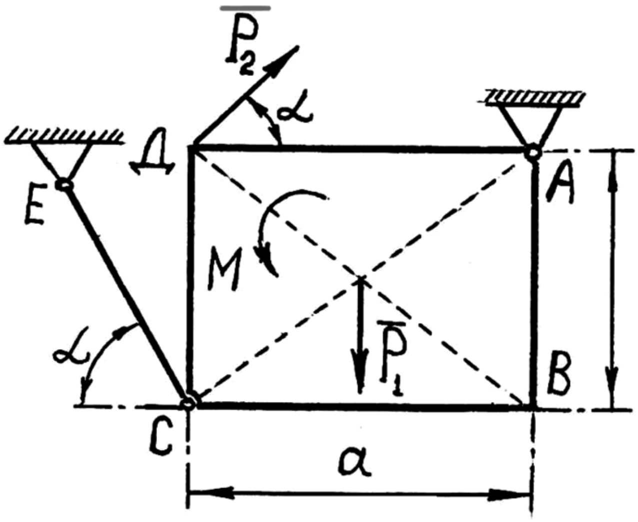


Рис. 7

Решение

Освободим плиту от связей, приложим к ней реакции связей. На схеме показаны: $\vec{R}_{Ax}$, $\vec{R}_{Ay}$ – составляющие реакции шарнира А, $\vec{R}_C$ – реакция подвижного шарнира С, направленная вдоль стержня СЕ. Силу $\vec{P}_2$ разложим на составляющие

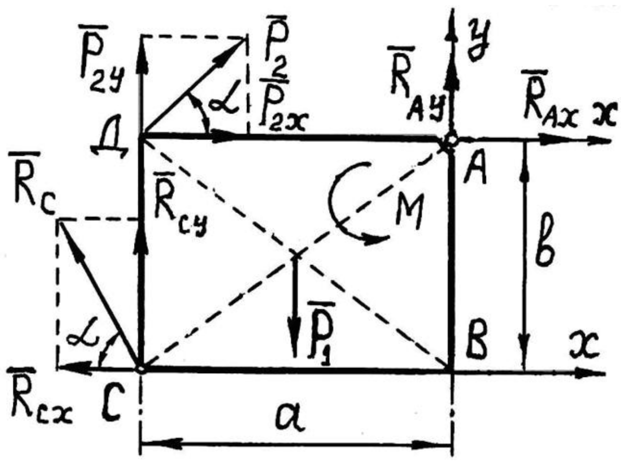


Рис. 8

$$\vec{P}_2 = \vec{P}_{2x} + \vec{P}_{2y}.$$

Уравнения равновесия плиты имеют вид

$$\sum F_{kx} = 0; \qquad R_{Ax} + P_2 \cos 45^o - R_C \cos 60^o = 0;$$

$$\sum F_{ky} = 0; \qquad R_{Ay} + P_2 \sin 45^o + R_C \sin 60^o = 0;$$

$$\sum m_A(F_k) = 0; \qquad -(R_C \sin 60^o)a - (R_C \cos 60^o)b - (P_2 \sin 45^o)a + P_1 a/2 + M = 0$$

Из решения этой системы уравнений находим

$$R_{Ax} = -0{,}6 кН, \qquad R_{Ay} = -18{,}26 кН, \qquad R_Д = 12{,}92 кН.$$

ЗАДАЧА 5

Определить модули главного вектора и главного момента системы сил, изображенной на рисунке, если F_1 = 6 кН, F_2 = 4 кН, F_3 =3 кН. Силы приложены в вершинах прямоугольного параллелепипеда со сторонами 5, 3 и 4 м.

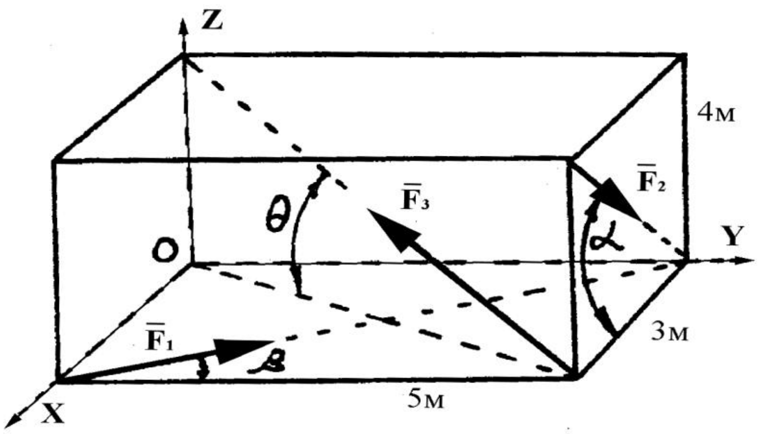


Рис. 9

Обозначим углы α, β, θ, как показано на рис. 9. В ходе решения понадобятся значения синусов и косинусов этих углов, которые определим ниже.

$$\sin\alpha = \frac{4}{\sqrt{4^2+3^2}} \quad ,\cos\alpha = \frac{4}{\sqrt{4^2+3^2}},$$

$$\sin\beta = \frac{3}{\sqrt{5^2+3^2}} \quad ,\cos\beta = \frac{3}{\sqrt{5^2+3^2}},$$

$$\sin\theta = \frac{4}{\sqrt{4^2+3^2+5^2}} \quad ,\cos\theta = \frac{\sqrt{5^2+3^2}}{\sqrt{4^2+3^2+5^2}}.$$

Находим проекции главного вектора на оси координат

$$R_x = \sum F_{kx}; \qquad R_x = -F_1\sin\beta - F_3\cos\theta\sin\beta - F_2\cos\alpha;$$

$$R_y = \sum F_{ky}; \qquad R_y = F_1\cos\beta - F_3\cos\theta\cos\beta;$$

$$R_z = \sum F_{kz}; \qquad R_z = F_3\sin\theta - F_2\sin\alpha.$$

Определяем значения проекций главного вектора:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}.$$

Подставляем численные значения величин в эти уравнения и определяем числовые значения проекций главного вектора, которые равны: R_x = -6.8 кН; R_y = 3 кН; R_z = -1.5 кН; R = 7.6кН.

Вычислим проекции главного момента M_0 на оси координат рис. 10.

Моментом силы относительно оси называется скалярная величина, равная моменту проекции этой силы на перпендикулярную оси плоскость, относительно точки пересечения оси и плоскости. Момент будет равен нулю, если линия действия силы параллельна оси или линия действия силы пересекает ось.

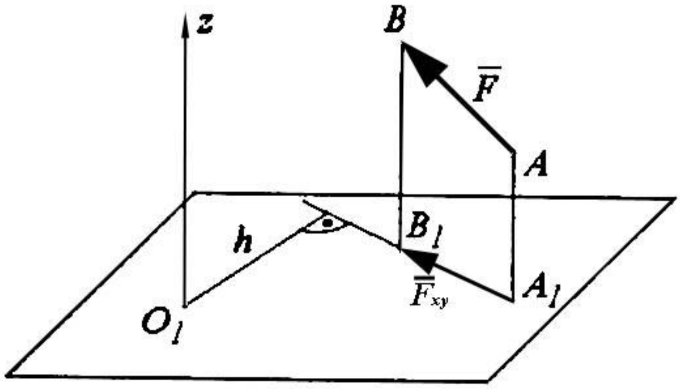


Рис. 10

Момент силы относительно оси будет иметь знак плюс, когда с положительного конца оси поворот, который стремится совершить сила F, виден происходящим против хода часовой стрелки, и знак минус - по ходу часовой стрелки.

Проекции главного момента M_0 на оси координат и величина этого момента определяются по формулам

$$M_x = \sum m_{kx}; \qquad M_x = 5\cdot F_3\sin\theta - 5\cdot F_2\sin\alpha;$$

$$M_y = \sum m_{ky}; \qquad M_y = -3\cdot F_3\sin\theta;$$

$$M_z = \sum m_{kz}; \qquad M_z = 3 \cdot F_1 \cos\beta + 5 \cdot F_2 \cos\alpha.$$

$$M_0 = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}.$$

После подстановки численных значений, получим M_x = -7.5 кНм; M_y = -5.1 кНм; M_z = 27.4 кНм; M_0 = 28.9 кНм.

ЗАДАЧА 6

Колесо радиуса R = 0,6 [м] катится без скольжения по прямолинейному участку пути; скорость его центра С постоянна и равна V_C = 12 [м/с].

Найти угловую скорость колеса и скорости концов M_1, M_2, M_3, M_4 вертикального и горизонтального диаметров колеса.

Решение

Колесо совершает плоско – параллельное движение. Мгновенный центр скоростей колеса находится в точке M_1 контакта горизонтальной плоскости, то есть

$V_{M1} = 0$.

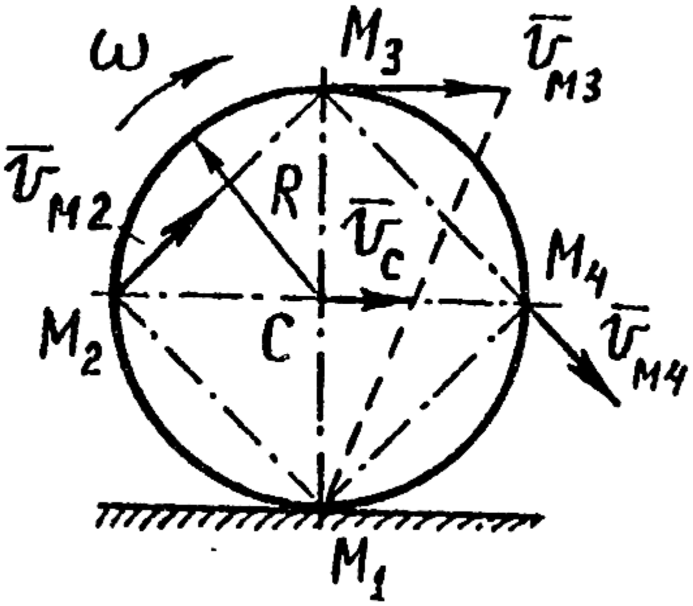


Рис. 11

Угловая скорость колеса

$$\omega = \frac{V_C}{CM_1} = \frac{V_C}{R} = \frac{12}{0,6} = 20 \quad [1/\text{с}].$$

Находим скорости точек M_2 , M_3 и M_4

$$V_{M2} = \omega \cdot M_2 M_1 = \frac{V_C}{R} R\sqrt{2} = V_C\sqrt{2} = 16,92 \quad [\text{м/с}]$$

$$V_{M3} = \omega \cdot M_3 M_1 = \frac{V_C}{R} 2r = 2V_C = 24 \quad [\text{м/с}]$$

$V_{M4} = \omega \cdot M_4 M_1 = \frac{V_C}{R} R\sqrt{2} = V_C \sqrt{2} = 16{,}92$ [м/с]

$\bar{V}_{M2} \perp M_2 M_1$; $\bar{V}_{M3} \perp M_3 M_1$; $\bar{V}_{M4} \perp M_4 M_1$.

ЗАДАЧА 7

Ведущее колесо автомобиля радиуса R = 0,5 [м] катится со скольжением (с буксованием) по прямолинейному участку шоссе; скорость его центра С постоянна и равна V_C = 4 [м/с]. Мгновенный центр скоростей колеса находится в точке Р на расстоянии h = 0,3 [м] от плоскости качения. Найти угловую скорость колеса и скорости точек А и В его вертикального диаметра.

Решение (рис. 12)

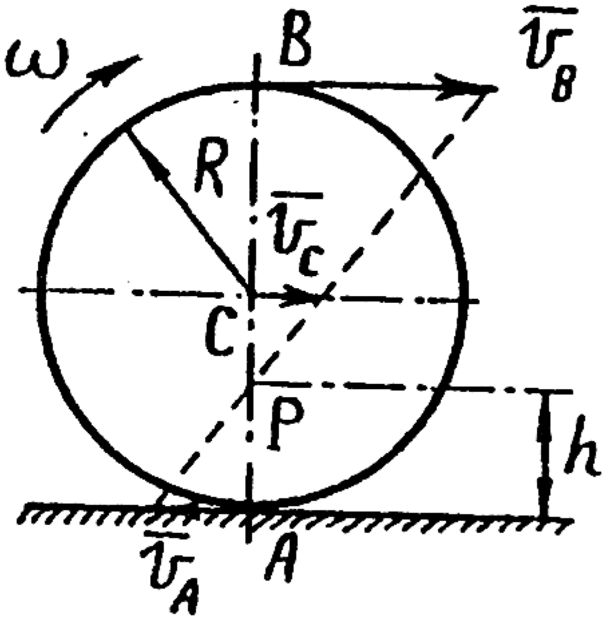


Рис. 12

Угловая скорость колеса

$\omega = \frac{V_C}{CP} = \frac{V_C}{R-h} = \frac{4}{0{,}5-0{,}3} = 20$ [1/с]

Находим скорости точек А и В

$V_A = \omega \cdot AP = \omega \cdot h = 20 \cdot 0{,}3 = 6$ [м/с]

$V_B = \omega \cdot BP = \omega \cdot (2R-h) = 20 \cdot 0{,}7 = 14$ [м/с];

$\bar{V}_A \perp AP$; $\bar{V}_B \perp BP$.

ЗАДАЧА 8

Ведомое колесо автомобиля радиуса R = 0,5[м] катится со скольжением (с юзом) по прямолинейному участку шоссе; скорость его центра С постоянна и равна V_C = 9 [м/с]. Мгновенный центр скоростей колеса находится в точке Р на расстоянии h = 0,4 [м] от плоскости качения. Найти угловую скорость колеса и скорости точек A и B его вертикального диаметра.

Решение

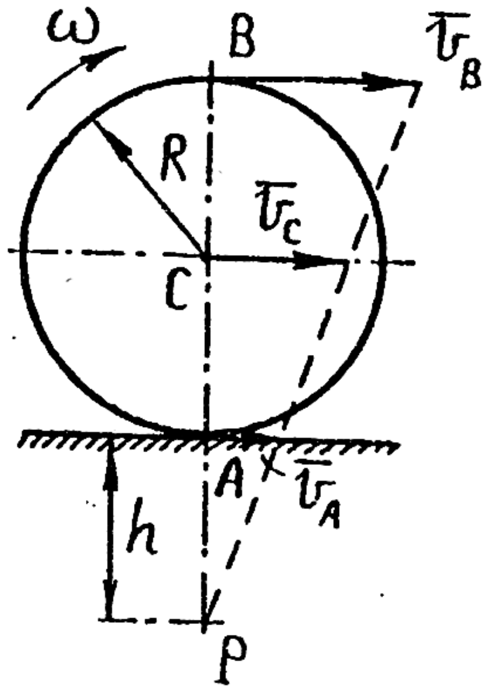


Рис. 13

Угловая скорость колеса

$$\omega = \frac{V_C}{CP} = \frac{V_C}{R+h} = \frac{9}{0{,}5+0{,}4} = 10 \quad [1/с]$$

Находим скорости точек A и B

$$V_A = \omega \cdot AP = \omega \cdot h = 10 \cdot 0{,}4 = 4 \quad [м/с]$$

$$V_B = \omega \cdot BP = \omega \cdot (R+h) = 10 \cdot 1{,}4 = 14 \quad [м/с];$$

$$\bar{V}_A \perp AP; \quad \bar{V}_B \perp BP.$$

ЗАДАЧА 9

Для заданного положения механизма, найти скорости точек A, B, C, Д и угловые скорости звена AB и колеса с ребордой, катящегося без скольжения. Дана угловая скорость кривошипа OA и размеры: $\omega_{OA} = 2$ с$^{-1}$, OA = 0,3 м, AB = 0,4 м, R = 0,15 м, r = 0,1 м.

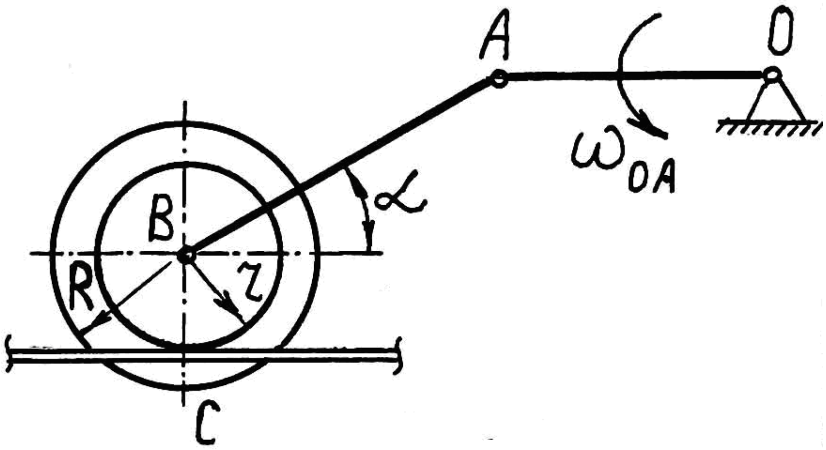


Рис. 14

Решение

Кривошип ОА совершает вращательное движение, звено АВ и колесо – плоскопараллельное движение.

Находим скорости точки А звена ОА $v_A = \omega_{OA}OA = 2 \times 0{,}3 = 0{,}6 мс^{-1}$.

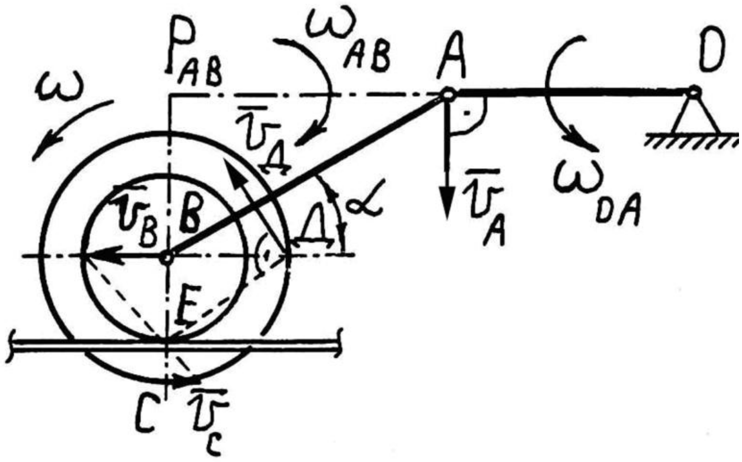


Рис. 15

Зная направление скоростей точек А и В звена АВ, определяем положение его мгновенного центра скоростей – точку P_{AB}. ($\vec{v}_A \perp OA$; вектор $\vec{v}_B$ направлен по горизонтали).

$$\omega_{AB} = \frac{v_A}{AP_{AB}} = \frac{v_{AB}}{AP_{AB}\cos 30^o} = \frac{0{,}6}{0{,}4 \times 0{,}866} = 1{,}732 c^{-1},$$

$$v_B = \omega_{AB} BP_{AB} = \omega_{AB}(AB \sin 30^o) = 1{,}732(0{,}4 \times 0{,}5) = 0{,}346 мс^{-1}.$$

Мгновенный центр скоростей колеса находится в точке Р.

Угловая скорость колеса и скорости точек С и Д:

$$\omega = \frac{v_B}{BP} = \frac{v_B}{r} = \frac{0{,}346}{0{,}1} = 3{,}46 c^{-1};$$

$$v_C = \omega CP = \omega(R - r) = 3{,}46(0{,}15 - 0{,}1) = 0{,}173 мс^{-1};$$

$$v_Д = \omega ДP = \omega\sqrt{R^2 + r^2} = 3{,}46\sqrt{0{,}15^2 + 0{,}1^2} = 0{,}634 мс^{-1}.$$

ЗАДАЧА 10

Две параллельные рейки движутся в одну сторону со скоростями V_1 = 1,8 [м/с] и V_2 = 0,6 [м/с]. Между рейками зажат диск радиуса r = 0,3 [м], катящийся по рейкам без скольжения. Найти угловую скорость диска и скорость его центра С.

Решение

Скорости точек А и В диска (этими точками диск касается реек) $V_A = V_1$; $V_B = V_2$

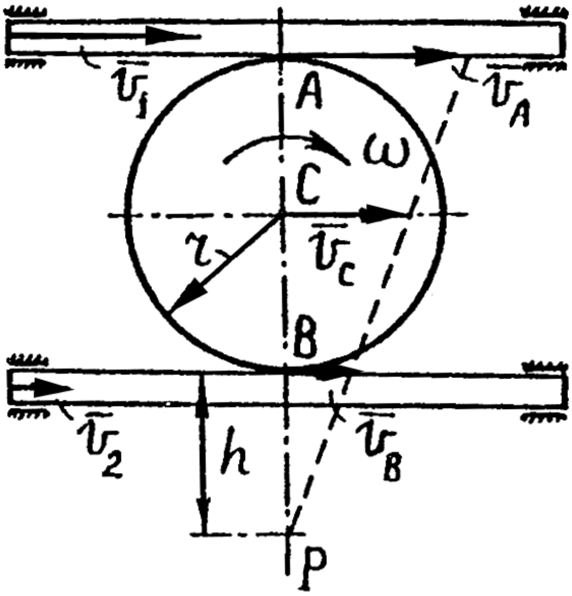


Рис. 16

Мгновенный центр скоростей диска лежит на прямой АВ в некоторой точке Р, причем

$$\frac{V_A}{AP} = \frac{V_B}{BP} \text{ или } \frac{V_A}{2r + h} = \frac{V_B}{h}.$$

Отсюда находим

$$h = BP = \frac{V_B \cdot 2r}{V_A - V_B} = \frac{0{,}6 \cdot 0{,}6}{1{,}8 - 0{,}6} = 0{,}3 \text{ [м]}$$

Угловая скорость диска и скорость его центра

$$\omega = \frac{V_B}{BP} = \frac{V_B}{h} = \frac{0{,}6}{0{,}3} = 2 \text{ [1/с]}$$

$$V_C = \omega \cdot CP = \omega(r + h) = 2 \cdot 0{,}6 = 1{,}2 \text{ [м/с]}$$

ЗАДАЧА 11

Найти угловую скорость шатуна АВ и скорости точек В и С кривошипно-шатунного механизма. Дана угловая скорость кривошипа ОА и размеры: ω_{OA} = 2 с$^{-1}$, ОА = АВ = 0,35 м, АС = 0,18 м.

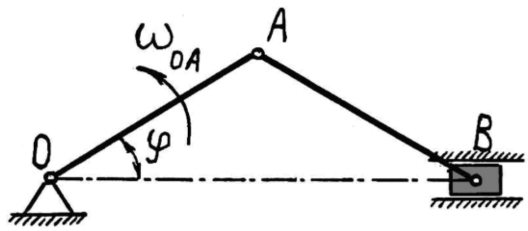


Рис. 17

Решение

Кривошип OA совершает вращательное движение, шатун AB – плоско-параллельное движение.

Находим скорость точки A звена OA :

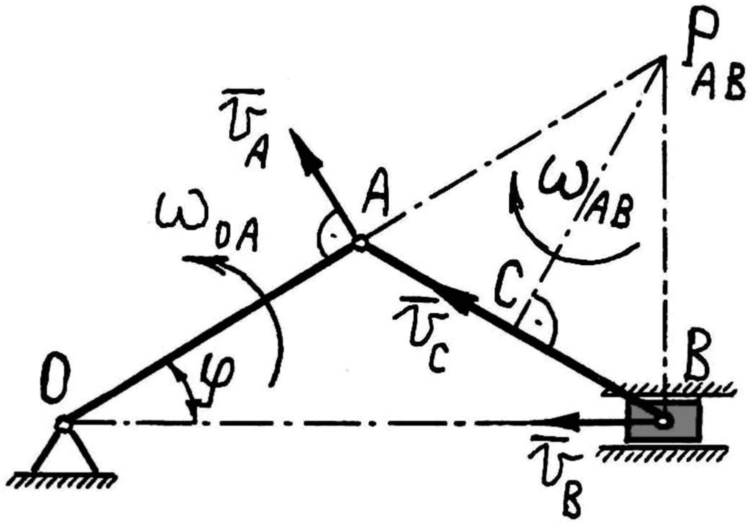


Рис. 18

$v_A = \omega_{OA} OA = 2 \times 0{,}36 = 0{,}72 мс^{-1}$, $\vec{v}_A \perp OA$.

Скорость точки B направлена по горизонтали. Зная направление скоростей точек A и B шатуна AB, определяем положение его мгновенного центра скоростей – точку P_{AB}.

$\omega_{AB} = \dfrac{v_A}{AP_{AB}} = \dfrac{0{,}72}{0{,}36} = 2c^{-1}$, $AP_{AB} = AB$.

$v_B = \omega_{AB} BP_{AB} = 2 \times 0{,}36) = 0{,}72 мс^{-1}$, $BP_{AB} = AB$.

$v_C = \omega_{AB} CP_{AB} = \omega_{AB}(BP_{AB} \sin 60^o) = 2(0{,}36 \times 0{,}866) = 0{,}52 мс^{-1}$,

$\vec{v}_C \perp CP_{AB}$.

ЗАДАЧА 12

В шарнирном четырехзвеннике OABC ведущий кривошип OA = $10\sqrt{3}$ [см] равномерно вращается вокруг оси O с угловой скоростью ω = 4 [сек $^{-1}$] и при помощи шатуна AB = 20 [см] приводит во вращательное движение кривошип ВС вокруг оси С. Определить скорости точек А и В, а также угловые скорости шатуна АВ и кривошипа ВС.

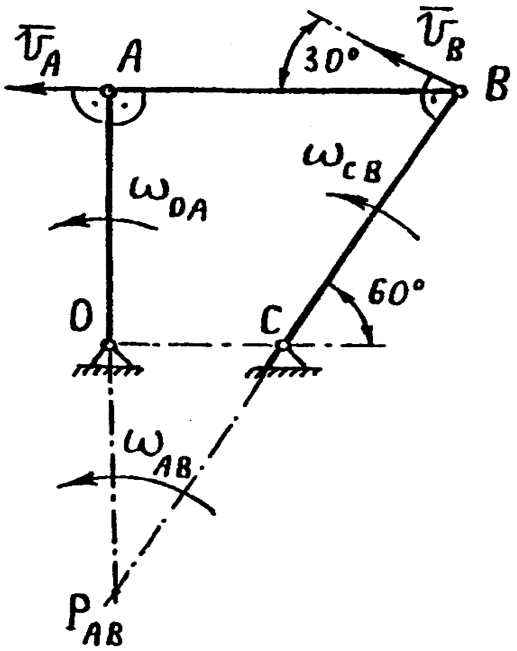


Рис. 19

Решение

Скорость точки А кривошипа ОА

$V_A = \omega_{OA} OA = 4 \cdot 10\sqrt{3} = 69{,}2$ [см/с]; $\bar{V}_A \perp OA$

Взяв точку А за полюс, составим векторное уравнение

$\bar{V}_B = \bar{V}_A + \bar{V}_{BA}$,

где $\bar{V}_B \perp CB$ и $\bar{V}_{BA} \perp BA$.

Графическое решение этого уравнения дано на рис.20 (план скоростей).

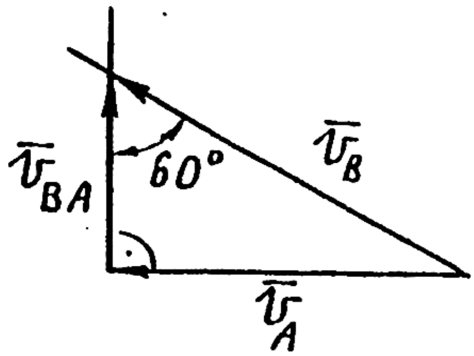


Рис. 20

С помощью плана скоростей получаем

$V_B = \dfrac{V_A}{\cos 30°} = 80$ [см/с]; $V_{BA} = V_B \sin 30° = 40$ [см/с].

Угловая скорость шатуна АВ

$$\omega_{AB} = \frac{V_{BA}}{BA} = 2 \quad [\text{с}^{-1}].$$

Скорость точки В можно найти с помощью теоремы о проекциях скоростей двух точек тела на соединяющую их прямую

$$Пр_{AB}\overline{V}_B = Пр_{AB}\overline{V}_A; \quad V_B = \frac{V_A}{\cos 30^\circ} = 80 \quad [\text{см/с}].$$

В заключении найдем скорость точки В с помощью мгновенного центра скоростей P_{AB} шатуна АВ. Зная направления скоростей точек А и В ($\overline{V}_A \perp OA$ и $\overline{V}_B \perp CB$) находим положение точки P_{AB}.

Угловая скорость шатуна АВ $\omega_{AB} = \dfrac{V_A}{AP} = \dfrac{V_A}{AB \cdot tg 60^\circ} = 2$ $[\text{с}^{-1}]$.

Скорость точки В и угловая скорость кривошипа СВ

$$V_B = \omega_{AB} BP_{AB} = \omega_{AB}\frac{AB}{\sin 30^\circ} = 80 \quad [\text{см/с}]; \quad \omega_{CB} = \frac{V_B}{CB} = \frac{V_B \sin 60^\circ}{OA} = 4 \quad [\text{с}^{-1}].$$

ЗАДАЧА 13

Точка массы m движется в плоскости Оху согласно уравнениям:

$$x = a\sin\omega t; \qquad y = b\cos\omega t.$$

Найти силу, действующую на точку.

Решение

Найдем траекторию точки. Исключив время t из уравнений ее движения. Получим

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Траекторией точки М является эллипс с полуосями a и b .

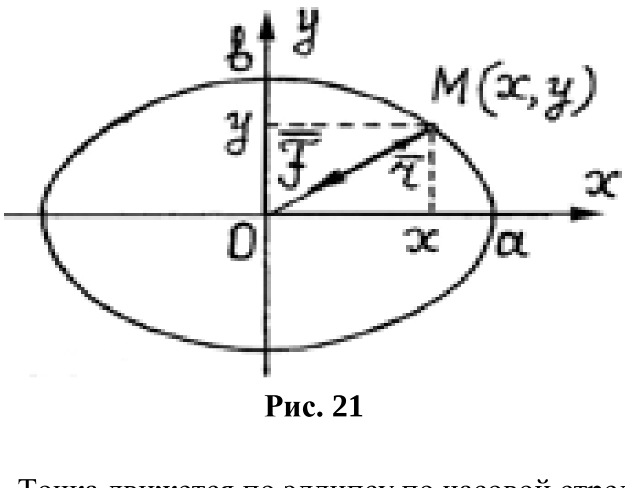


Рис. 21

При t=0 $x_0 = 0$ и $y_0 = b$. Точка движется по эллипсу по часовой стрелке.

Проекции приложенной к точке силы $\vec{F}$ на оси координат:

$$F_x = m\ddot{x} = -ma\omega^2 \sin\omega t = -m\omega^2 x;$$

$$F_y = m\ddot{y} = -mb\omega^2 \cos\omega t = -m\omega^2 y.$$

Проекции радиус-вектора $\vec{r}$ точки M на оси координат и длина этого вектора равны:

$$r_x = x; \qquad r_y = y; \qquad \vec{r} = \vec{r}(x, y);$$

$$r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

Далее получаем:

$$F_x = -m\omega^2 r_x; \qquad F_y = -m\omega^2 r_y; \qquad F = m\omega^2 r;$$

$$\vec{F} = -m\omega^2 \vec{r}.$$

Сила $\vec{F}$ направлена к точке O и её величина пропорциональна расстоянию от начала координат до точки приложения этой силы.

ЗАДАЧА14

Груз M массы m = 0,102 кг, подвешенный на нити длиной OM= l = 0,3 м в точке O, представляет собой конический маятник, то есть описывает окружность в горизонтальной плоскости, причем нить составляет с вертикалью угол α = 60°.

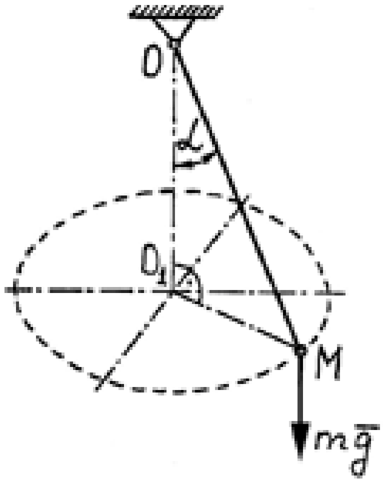


Рис. 22

Определить скорость v груза и натяжение T нити.

Решение

Будем считать груз материальной точкой. Приложим к точке M силу тяжести $m\vec{g}$ и натяжение нити $\vec{T}$.

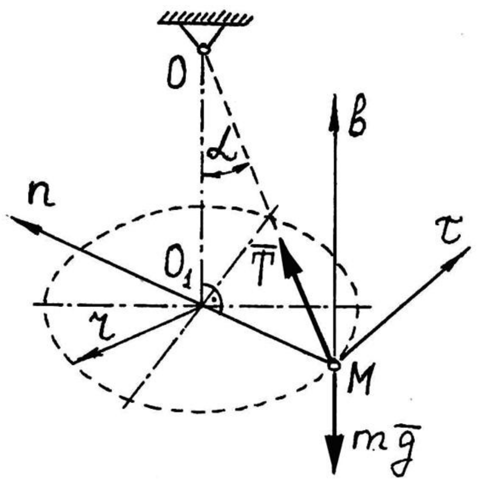


Рис. 23

Построим подвижную естественную систему координат Mτnb.

Суммы проекций приложенных к точке сил на указанные оси:

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}; \qquad a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{v^2}{l\sin\alpha}; \qquad a_b = 0.$$

Составим дифференциальные уравнения движения точки в подвижной естественной системе координат:

$$m\frac{dv}{dt} = 0; \qquad m\frac{v^2}{l\sin\alpha} = T\sin\alpha; \qquad 0 = T\cos\alpha - mg.$$

Из системы уравнений находим:

$$v = const; \qquad T = \frac{mg}{\cos\alpha}; \qquad v = \sqrt{gl\frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha}}.$$

С учетом исходных данных получаем:

$$T = 2H; \qquad v = 2{,}1 мс^{-1}.$$

ЗАДАЧА 15

Тело спускается по наклонной плоскости, расположенной под углом α к горизонту. В начальный момент тело имело скорость $\mathbf{V}_0$. Найти уравнение движения тела, если коэффициент трения равен $\mathbf{f}$.

Решение

Примем тело за материальную точку **M**. Начало координат поместим в начальное положение материальной точки. Ось X направим вдоль наклонной плоскости в сторону движения точки, а ось Y – перпендикулярно плоскости.

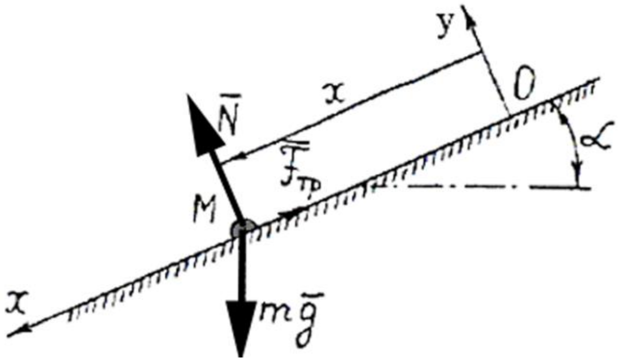


Рис. 24

Приложим к точке силу тяжести mg, нормальную реакцию плоскости N и силу трения $F_{тр}$. Составляем уравнения движения точки

$$m\ddot{x} = mg\,sin\alpha - F_{тр}$$

$$m\ddot{y} = N - mg\,cos\,\alpha$$

Поскольку движение точки происходит только вдоль оси X, то $\ddot{y} = 0$ и из второго уравнения следует, что $N = mg\,cos\,\alpha$.

Сила трения не обеспечивает точке состояние покоя (точка движется), сила трения имеет предельное значение $F_{тр} = fN = fmg\,cos\,\alpha$.

Итак, уравнение движения точки имеет вид

$$m \cdot \ddot{x} = mg\,sin\alpha - fmg\,cos\alpha = mg(sin\alpha - f\,cos\alpha)$$

Правая часть уравнения движения является постоянной величиной, учитывая, что $F_0 = mg(sin\alpha - f\,cos\alpha)$ и $x_0 = 0$, после интегрирования получим

$$x = \frac{g(sin\alpha - f\,cos\alpha)}{2}t^2 + V_0 t.$$

ЗАДАЧА 16

Материальная точка массой $\boldsymbol{m}$ движется прямолинейно под действием силы $\boldsymbol{F = F_0\,cos\omega t}$ ($\boldsymbol{F}_0$ и $\boldsymbol{\omega}$ - постоянные величины). Пренебрегая весом, определить скорость и положение точки в момент времени $\boldsymbol{t_1 = \dfrac{\pi}{2\omega}}$, если она в начальный момент находилась в начале координат и ее скорость была равна $\boldsymbol{V}_0$.

Решение

Точка движется прямолинейно, поэтому достаточно одной оси координат. Направим ось X вдоль траектории точки. Изобразим точку в промежуточном положении на ее траектории. Приложим к точке силу F (вес точки и реакции связей отсутствуют).

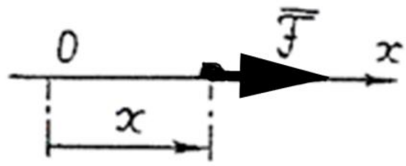


Рис. 25

Составим уравнение движения точки

$$m\ddot{x} = F_0 \cos\omega t$$

Скорость точки :

$$V = \dot{x} = \frac{1}{m}\int F_0 \cos\omega t dt = \frac{F_0}{m\omega}\sin\omega t + C_1.$$

Подставляя начальные условия $t = 0$; $V = V_0$ с учетом того, что $sin0 = 0$, получим $C_1 = V_0$.

Закон движения точки:

$$x = \int V(t)dt = \int\left(\frac{F_0}{m\omega}\sin\omega t + V_0\right)dt = -\frac{F_0}{m\omega^2}\cos\omega t + V_0 t + C_2.$$

Подставляя начальные условия $t = 0$; $x = 0$ с учетом того, что $cos 0 = 1$, получим $C_2 = \frac{F_0}{m\omega^2}$.

Находим для момента времени $t_1 = \frac{\pi}{2\omega}$

- $V = \frac{F_0}{m\omega}\sin\omega\frac{\pi}{2\omega} + V_0 = \frac{F_0}{m\omega}\sin\frac{\pi}{2} + V_0 = \frac{F_0}{m\omega} + V_0$;
- $x = -\frac{F_0}{m\omega^2}\cos\omega\frac{\pi}{2\omega} + V_0\frac{\pi}{2\omega} + \frac{F_0}{m\omega^2} = V_0\frac{\pi}{2\omega} + \frac{F_0}{m\omega^2}$.

ЗАДАЧА 17

Груз массы m подвешен на нити длиной l. В начальный момент времени груз отклонили в сторону (нить натянута) и сообщили ему горизонтальную скорость, перпендикулярную нити. Найти величину скорости груза и натяжение нити, если нить составляет с вертикалью постоянный угол α.

Решение

Будем считать груз материальной точкой. Приложим к грузу силу тяжести mg и натяжение нити N.

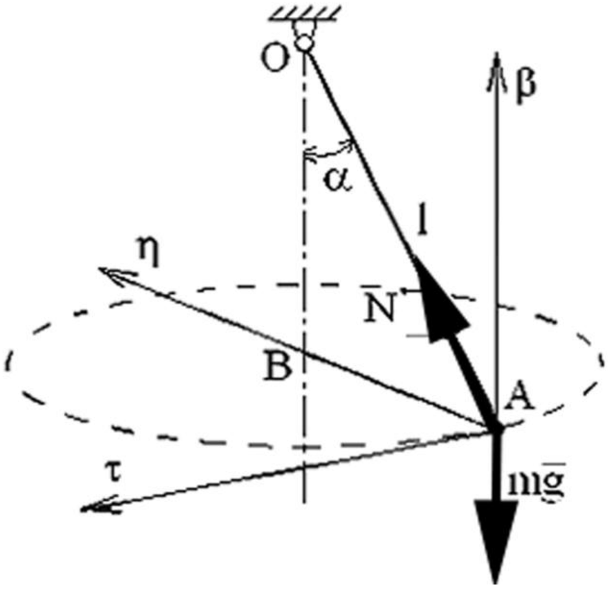


Рис. 26

Как следует из условия задачи, при движении груза нить описывает коническую поверхность, траекторией груза является окружность с центром в точке B и радиусом AB=$l\,sin\alpha$. Если известна траектория, воспользуемся естественной системой координат (τ, η, β) и уравнениями движения в естественной форме

$$\begin{cases} m\dot{V} = 0 \\ m \cdot \dfrac{V^2}{l\,sin\alpha} = N\,sin\alpha \\ 0 = N\,cos\,\alpha - mg \end{cases}$$

Из первой формулы следует, что скорость движения груза будет постоянной по величине, т.е. будет сохранять начальное значение. Из третьей формулы можем выразить натяжение нити

$$N = \frac{mg}{cos\,\alpha}$$

Подставив полученное выражение силы натяжения во вторую формулу, получим

$$m \cdot \frac{V^2}{l \sin\alpha} = \frac{mg}{\cos\alpha}\sin\alpha,$$

Откуда скорость $V = \sqrt{\dfrac{lg\,sin^2\,\alpha}{cos\,\alpha}}$.

ЗАДАЧА 18

При движении поезда массы $\mathbf{m}$ по участку пути однородного профиля сила сопротивления движению изменяется по закону $\mathbf{R} = \mathbf{R}_0 + \mathbf{aV}$, где $\mathbf{R}_0$ и $\mathbf{a}$ - постоянные величины; $\mathbf{V}$ - переменная скорость поезда. Сила тяги локомотива изменяется по закону

$\mathbf{T} = \mathbf{F}_0 - \mathbf{bV}$, где $\mathbf{F}_0$ и $\mathbf{b}$ - постоянные величины ($\mathbf{F}_0 > \mathbf{R}_0$). Определить закон изменения скорости и закон движения поезда.

Решение

Примем поезд за материальную точку. Направим координату Х по направлению движения Начало координат совпадает с начальным положением поезда.

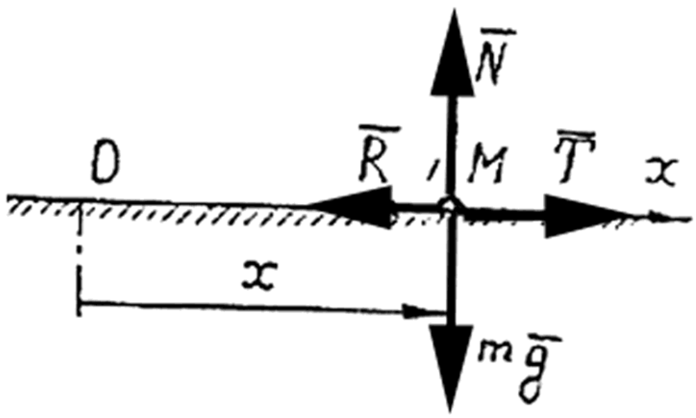


Рис. 27

Изобразим точку в промежуточный момент времени на ее траектории. К точке приложены сила тяжести mg, движущая сила T, сила сопротивления R и нормальная реакция плоскости N.

Дифференциальное уравнение движения точки имеет вид

$$m\frac{dV}{dt} = (F_0 - bV) - (R_0 + aV).$$

Перегруппировав слагаемые, получим

$$m\frac{dV}{dt} = -\frac{(b+a)V}{m} - \frac{F_0 - R_0}{m}.$$

решение этого уравнения имеет вид

$$V = C_1 e^{-qt} + \frac{p}{q}, где$$

$$q = \frac{a+b}{m}, p = \frac{F_0 - R_0}{m}$$

Постоянная интегрирования C_1 определяется из начальных условий: при $t = 0$; $V = 0$, $C_1 = \frac{F_0 - R_0}{b+a}$.

Закон изменения скорости $$V = \frac{p}{q}(1 - e^{-qt}) = \frac{F_0 - R_0}{b+a}\left(1 - e^{-(\frac{a+b}{m})t}\right)$$

Установившееся значение скорости (значение скорости через достаточно большой промежуток времени) $V = \lim_{t \to \infty} V = \frac{p}{q} = \frac{F_0 - R_0}{b + a}$.

Подставляя зависимости *V=dx/dt* , получим дифференциальное уравнение

$$dx = \frac{p}{q}(1 - e^{-qt})dt.$$

После интегрирования которого, с учетом начального условия ($t = 0$; $x = x_0 = 0$), находим закон движения точки:

$$x = \frac{p}{q}\left(t - \frac{1}{q}(1 - e^{-qt})\right)$$