Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА имени адмирала С. О. МАКАРОВА

Институт ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Кафедра основ инженерного проектирования

А. И. Бакасов
С. А. Завгородний
Е. В. Матвеева

КИНЕМАТИКА ТОЧКИ

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательской комиссией ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

Санкт-Петербург
Издательство ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова
2023

УДК 22.212.2
ББК 551.511.2
Б19

Рецензент

Юганов В. С., канд. техн. наук, доц.
(ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»)

Б19 **Бакасов, А. И.**
Кинематика точки : учеб.-метод. пособие / А. И. Бакасов, С. А. Завгородний, Е. В. Матвеева. — СПб. : Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2023. — 36 с.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования и рабочей программе дисциплины «Теоретическая механика».

Приведены примеры решения типовых задач кинематики точки с необходимыми методическими указаниями и рекомендациями для самостоятельной работы студентов, варианты расчетно-графических работ.

Предназначено для студентов 1-го и 2-го курсов, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.03.01«Технология транспортных процессов», 26.03.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры».

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательской комиссией ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. Протокол № 2 от 30.01.2023 года.

УДК 22.212.2
ББК 551.511.2

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ.

1.1. Работы оформляется на стандартных листах писчей бумаги формата А4 и содержит перечень исходных данных и расчетную часть с необходимыми краткими пояснениями, рисунками, графиками, схемами.

1.2. Задание сшивается в тетрадь с титульным листом, образцы которых приведены в приложении.

2. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА К-1. КИНЕМАТИКА ТОЧКИ В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА.

Тема: Способы задания движения точки. Траектория, скорость и ускорение точки.

2.1. Вопросы для самоконтроля

2.1.1. Что понимают в кинематике под системой отсчета?

2.1.2. Что называется траекторией движения точки?

2.1.3. Какие существуют способы задания движения точки?

2.1.4. В чем состоит векторный способ задания движения точки?

2.1.5. Как определяется скорость и ускорение точки при векторном способе задания движения?

2.1.6. В чем состоит координатный способ задания движения точки?

2.1.7. Как определяется траектория движения точки при координатном способе задания движения?

2.1.8. Как определяется скорость и ускорение точки при координатном способе задания движения?

2.1.9. В чем состоит естественный способ задания движения точки?

2.1.10. Что называется естественным трехгранником и естественными осями координат?

2.1.11. Как определяется скорость и ускорение точки при естественном способе задания движения?

2.1.12. С какими изменениями в векторе скорости точки связано касательное ускорение?

2.1.13. В каких случаях движения точки касательное ускорение равняется нулю?

2.1.14. С какими изменениями в векторе скорости точки связано нормальное ускорение?

2.1.15. В каких случаях движения точки нормальное ускорение точки равняется нулю?

2.2. Содержание задания

По заданным уравнениям движения точки M определить и построить траекторию ее движения. Для заданного момента времени t найти положение точки на траектории, ее скорость, касательное, нормальное и полное ускорение точки, а также радиус кривизны траектории этой точке.

Уравнения движения точки для вариантов заданий приведены в таблице 1. Момент времени t =1 сек.

2.3. План решения

2.3.1. Найти уравнение траектории движения точки.

2.3.2. Вычертить в масштабе траекторию движения точки, определяемую уравнением.

2.3.3. Определить и указать на траектории положение точки M в заданный момент времени.

2.3.4. Вычислить для заданного момента времени проекции вектора скорости точки на оси координат, а затем определить его модуль и направление.

2.3.5. Вычислить для заданного момента времени проекции вектора ускорения точки на оси координат, а затем определить его модуль и направление.

2.3.6. Определить величину касательного ускорения точки.

2.3.7. Определить величину нормального ускорения точки.

2.3.8. Определить величину радиуса кривизны траектории движения точки в заданный момент времени.

2.4. Пример выполнения задания К-1

Исходные данные:

Уравнения движения точки: $x = 2t$ см;
$y = t^2$ см;
момент времени $t = 1$ с.

Определить:

v, a, a_τ, a_n, ρ - ?

Решение

2.4.1. Определение траектории движения точки.

Закон движения точки задан координатным способом. Чтобы определить в этом случае траекторию движения точки, необходимо из уравнений движения исключить время *t*. Для этого выразим время *t* через *x*, используя первое из уравнений движения

$$t = \frac{x}{2},$$

и подставим во второе уравнение для

$$y = \frac{x^2}{4}.$$

В результате получим уравнение траектории движения точки в координатной форме. Кривая, по которой движется точка, представляет собой параболу с вершиной в центре координат *Oxy* и ветвями, направленными вверх. Траектория движения точки представлена на рис. 2.1.

Обозначим положение точки на траектории в заданный момент времени $t = 1$ с — $M(x_1, y_1)$.

Вычислим координаты точки в этот момент времени

$$x_1 = 2t\big|_{t=1c} = 2\cdot 1 = 2 \text{ , см }, \quad y_1 = t^2\big|_{t=1c} = 1^2 = 1 \text{ , см.}$$

2.4.2. Определение скорости и ускорения точки.

При координатном способе задания движения скорость точки определяется через ее проекции на оси выбранной системы координат, в данном случае v_x и v_y, значения которых в заданный момент времени вычисляем по формулам

$$v_x = \frac{dx}{dt} = (2t)'\big|_{t=1c} = 2 \text{ , см/с,}$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = (t^2)' = 2t\big|_{t=1c} = 2 \text{ , см/с.}$$

Находим значение модуля скорости v

$$v = \sqrt{(v_x^2 + v_y^2)} = \sqrt{(2^2 + (2t)^2)} = 2\sqrt{(1+t^2)}\big|_{t=1c} = 2\sqrt{(1+1^2)} = 2\sqrt{2} \text{ см/с.}$$

Угол α_v между направлениями вектора скорости $\vec{v}$ и координатный осью Ox в заданный момент времени определяем через значение направляющего косинуса

$$\cos\alpha_v = \cos(x,\vec{v}) = \frac{v_x}{v} = \frac{2}{2\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2},$$

откуда следует, что угол $\alpha_v = 45^\circ$.

Угол β_v между направлениями вектора скорости $\vec{v}$ и координатный осью Oy в заданный момент времени определяем через значение направляющего косинуса

$$\cos\beta_v = \cos(y,\vec{v}) = \frac{v_y}{v} = \frac{2}{2\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2},$$

откуда следует, что угол $\beta_v = 45^\circ$.

Это означает, что вектор скорости точки M направлен под углом 45° к положительному направлению как оси Ox, так и оси Oy.

Ускорение точки $\vec{a}$ также определяем через проекции ускорения на координатные оси Ox и Oy, значения которых вычисляем по формулам

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = (2)' = 0, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = (2t)'\big|_{t=1c} = 2 \ \text{, см/с}^2$$

Находим модуль ускорения точки

$$a = \sqrt{(a_x^2 + a_y^2)} = \sqrt{(0 + 2^2)} = 2 \ \text{, см/с}^2$$

Определим угол αa, который образует направление вектора ускорения $\vec{a}$ с направлением оси *Ox*, вычисляя значение соответствующего направляющего косинуса

$$\cos\alpha_a = \cos(x, \vec{a}) = \frac{a_x}{a} = \frac{0}{2} = 0,$$

откуда следует, что $\alpha_a = 90^\circ$.

Соответственно угол β_a, который образует направление вектора ускорения $\vec{a}$ с направлением оси *Oy*, определим через значение направляющего косинуса

$$\cos\beta_a = \cos(y, \vec{a}) = \frac{a_y}{a} = \frac{2}{2} = 1,$$

откуда следует, что $\beta_a = 0^\circ$.

Таким образом вектор ускорения точки *M* направлен параллельно оси *Oy* вверх.

2.4.3. Определение радиуса кривизны.

Для того чтобы вычислить радиус кривизны ρ траектории движения точки необходимо воспользоваться формулами для определения ускорения точки при естественном способе задания движения.

В этом случае модуль полного ускорения точки определяется по формуле

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2},$$

где a_τ — касательное ускорение;

a_n — нормальное ускорение точки.

Вычислим модуль касательного ускорения точки при t = 1 с

$$a_\tau = \frac{dv_\tau}{dt} = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(\sqrt{v_x^2 + v_y^2}) = \frac{v_x a_x + v_y a_y}{v}\Big|_{t=1c} = \frac{2\cdot 0 + 2\cdot 2}{2\sqrt{2}} = \sqrt{2} \text{, см/с}^2.$$

Значение нормального ускорения точки в этот момент времени определим по формуле

$$a_n = \sqrt{a^2 - a_\tau^2} = \sqrt{2^2 - (\sqrt{2})^2} = \sqrt{2} \text{, см/с}^2.$$

Модуль нормального ускорения определяется по формуле

$$a_n = \frac{v^2}{\rho},$$

откуда

$$\rho = \frac{v^2}{a_n}\Big|_{t=1c} = \frac{(2\sqrt{2})^2}{\sqrt{2}} = 4\sqrt{2} \text{, см.}$$

По результатам расчетов строим направление вектора скорости $\vec{v}$ и вектора ускорения $\vec{a}$ точки M на графике ее траектории движения.

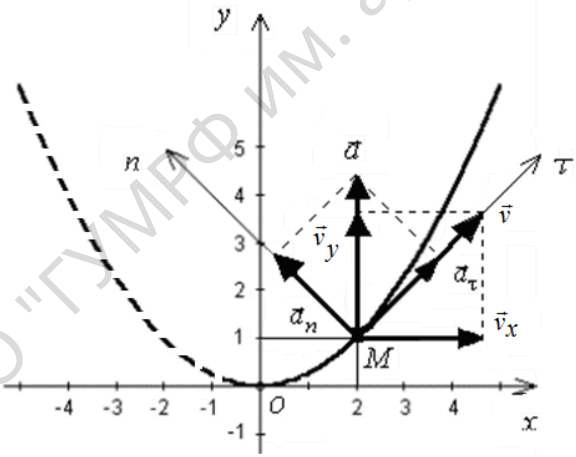


Рис. 2.1

Построение траектории движения точки с указанием ее кинематических характеристик

Ответ: v =2 $\sqrt{2}$ см/с, a =2 см/с^2, $a_\tau = \sqrt{2}$ см/с^2, $a_n = \sqrt{2}$ см/с^2,

ρ = 4 $\sqrt{2}$ см.

Таблица 1

Исходные данные к заданию К-1

№ Варианта	Уравнения движения	
	$x = x(t)$ см	$y = y(t)$ см
1	$2t + 4$	$4{,}9t^2 – 5$
2	$2\sin\frac{\pi}{2}t$	$4\cos\frac{\pi}{2}t$
3	$2\sin^2\frac{\pi}{2}t$	$2\cos^2\frac{\pi}{2}t$
4	$2t^2$	$–1 + 3$
5	$2\sin2\pi t$	$2\cos2\pi t$
6	$-\frac{3}{t+2}$	$3t + 6$
7	$2\sin\frac{\pi}{2}t$	$2\sin\frac{\pi}{2}t$
8	$2\sin\frac{\pi}{2}t$	$2\cos\frac{\pi}{2}t$
9	$4t – 2t^2$	$1{,}5t^2 – 3t$
10	$20t$	$245 – 40t^2$
11	$4\sin\frac{\pi}{2}t$	$6\cos\frac{\pi}{2}t$
12	$250t$	$430t – 490t^2$
13	$2 + \cos\frac{\pi}{4}t^2$	$3 - \sin\frac{\pi}{4}t^2$
14	$3t^2 + 2$	$–4t$

Окончание табл. 1

№ Варианта	Уравнения движения	
	$x = x(t)$ см	$y = y(t)$ см
15	$\sin 20\pi t$	$\cos 20\pi t$
16	$7t^2 - 4$	$4t$
17	$3t$	$4{,}9t^2 - 3$
18	$5\sin\frac{\pi}{2}t$	$5\cos\frac{\pi}{2}t$
19	$t^2 - 6t$	$25t$
20	$2 - \sin^2\frac{\pi}{4}t$	$3 + \cos^2\frac{\pi}{4}t$
21	$5 + 3\cos\frac{\pi}{2}t$	$4\sin\frac{\pi}{2}t$
22	$1 + \cos\frac{\pi}{12}t^3$	$2 - \sin\frac{\pi}{12}t^3$
23	$2 + \cos^2\pi t$	$3 - \sin^2\pi t$
24	$5\cos 2\pi t$	$3 - 5\sin 2\pi t$
25	$4t - 2t^2$	$3t - 1{,}5t^2$
26	$5 + 3\cos\frac{\pi}{2}t$	$4\sin\frac{\pi}{2}t$
27	$4t^2$	$3t$
28	$5\cos\pi t$	$3 - 5\sin\pi t$
29	$5\cos\frac{5\pi}{4}t^2$	$5\sin\frac{5\pi}{4}t^2$
30	$4 - 2\sin\frac{\pi}{2}t$	$2 + 3\cos\frac{\pi}{2}t$

Образец титульного листа

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова

Кафедра основ инженерного проектирования

Расчетно-графическая работа

ЗАДАЧА НА ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ
В НЕПОДВИЖНОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА

Пояснительная записка

Вариант 12

Студент гр. Иванов И.И.

доц. к.т.н. Петров А.И.

Санкт-Петербург

2023

3.РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА К-2 ЗАДАЧА НА СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТОЧКИ

Тема: Сложное движение точки

Проверьте по вопросам самоконтроля насколько хорошо. Вы усвоили проработанный материал.

3.1. Вопросы для самоконтроля

3.1.1. Что называется относительным, переносным и абсолютнымдвижением точки?

3.1.2. Что называется относительной, переносной и абсолютной скоростью точки?

3.1.3. Как формулируются теоремы о скоростях и ускорениях точки в сложном движении?

3.1.4. По какой формуле вычисляется кориолисово ускорение?

3.1.5. Как определяется направление кориолисова ускорения (правило Н. Е. Жуковского)?

3.1.6. В каких случаях кориолисово ускорение равно нулю?

3.2. Содержание задания

По заданному уравнению движения $\varphi(t)$ плоской пластины, по поверхности которой движется точка M (траектория точки в относительном движении указана на рисунке), и закону относительного движения этой точки $S(t)=OM$ определить абсолютную скорость и абсолютное ускорение точки M в заданный момент времени t.

Уравнения движения, численные данные приведены в таблице 1.

Схемы вариантов задания приведены на рис. Д.1-Д.30.

3.3. План решения

3.3.1. Вычертить схему механизма, показать положительное направление угла поворота φ и направление движения точки M.

3.3.2. Вычислить расстояние, пройденное точкой M в относительном движении к заданному моменту времени, и показать соответствующее положение точки M на рисунке. Показать траекторию той точки пластины, с которой совпала движущаяся точка в заданный момент времени.

3.3.3. Определить угловую скорость и угловое ускорение пластины и показать их направление на рисунке.

3.3.4. Показать на рисунке вектор угловой скорости пластины, а также вектора относительной и переносной скоростей точки.

3.3.5. Вычислить модули относительной, переносной и абсолютной скоростей точки.

3.3.6. Вычислить модули всех составляющих ускорения точки M.

3.3.7. Показать на рисунке все составляющие ускорения точки M.

3.3.8. Вычислить проекции абсолютного ускорения на координатные оси.

3.3.9. Вычислить модуль абсолютного ускорения точки в заданный момент времени.

3.4. Пример выполнения задания

Исходные данные:

1) Схема механизма (рис. 3.1), $R = 4$ см.

2) Уравнение вращения пластины $\phi = t^2 - 8t$ (φ — в радианах, t — в секундах).

3) Закон относительного движения точки по заданной траектории на поверхности пластины $S = 2t^2$ (S — в см, t — в секундах).

4) Заданный момент времени $t = 3$с.

Решение:

1.4.1. Вычертим схему механизма, покажем направление отсчета угла поворота пластины φ и направление движения точки M.

1.4.2. Вычислим расстояние, пройденное точкой M в относительном движении, по заданной траектории к заданному моменту времени.

$$S = 2t^2 = 2 \cdot 3^2 = 18\text{, см.}$$

1.4.3. Вычислим длину участков заданной траектории, по которым движется точка до заданного момента времени:

$$l_1 = R\sqrt{5} = 8,95 \text{ , см;} \quad l_2 = l_3 = R = 4 \text{ , см;}$$

$$l_4 = \frac{2\pi R}{4} = 6,28 \text{ , см.}$$

Таким образом, в заданный момент времени точка прошла по четвертому участку относительной траектории расстояние

$$l = S - (l_1 + l_2 + l_3) = 18 - (8,95 + 4 + 4) = 1,05 \text{ , см.}$$

Обозначим центр кривизны четвертого участка траектории буквой O_1 и вычислим угол, образованный отрезком MO_1 и осью z_1

$$\beta = l\frac{360^0}{2\pi R} = \frac{1,05 \cdot 360^0}{2 \cdot 3,14 \cdot 4} = 15^0 .$$

Покажем угол β и положение точки M на рис. 3.1.

Расстояние от точки M до оси вращения пластины

$$h = R\cos 15^0 = 4 \cdot 0,97 = 3,88 \text{ , см.}$$

1.4.4. Определим угловую скорость и угловое ускорение пластины:

$$\omega_e = \frac{d\phi}{dt} = (2t - 8) \text{ , } \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ ,}$$

$$\varepsilon_e = \frac{d\omega_e}{dt} = 2 \text{ , } \frac{\text{рад}}{\text{с}^2} .$$

При $t = 3$ с

$$\omega_e = 2 \cdot 3 - 8 = -2 \text{ , } \frac{\text{рад}}{\text{с}} .$$

Покажем на схеме (рис 3.1) направления ω_e , ε_e и вектор угловой скорости $\vec{\omega}_e$.

1.4.5. Абсолютная скорость точки M равна геометрической сумме переносной и относительной скоростей:

$$\vec{v} = \vec{v}_e + \vec{v}_r \quad .$$

Вычислим модули переносной и относительной скоростей

$$v_e = h\omega_e = 3{,}88 \cdot 2 = 7{,}76\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}},$$

$$v_r = \frac{dS}{dt} = 4t\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

При $t = 3$ с

$$v_r = 4 \cdot 3 = 12\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Выберем систему координат XYZ с началом в точке M (оси Y и Z в плоскости рисунка, ось X направлена на нас) и покажем направление векторов $\vec{v}_e$ и $\vec{v}_r$ на рис. 3.1.

Так как вектора $\vec{v}_e$ и $\vec{v}_r$ взаимно перпендикулярны, то модуль абсолютной скорости точки M равен

$$v = \sqrt{v_e^2 + v_r^2} = \sqrt{7{,}76^2 + 12^2} = 14{,}3,\ \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

1.4.6. Абсолютное ускорение точки равно геометрической сумме переносного, относительного и кориолисова ускорений, в развернутом виде запишем в следующем виде:

$$\vec{a} = \vec{a}_e^{\text{вр}} + \vec{a}_e^{\text{ц}} + \vec{a}_r^{\tau} + \vec{a}_r^{n} + \vec{a}_c.$$

Вычислим значения составляющих ускорений

$$a_e^{\text{ц}} = \omega_e^2 h = 2^2 \cdot 3{,}88 = 15{,}52\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2};$$

$$a_e^{\text{вр}} = \varepsilon_e h = 2 \cdot 3{,}88 = 7{,}76\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2};$$

$$a_r^n = \frac{v_r^2}{R} = \frac{12^2}{4} = 36\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2};$$

$$a_r^{\tau} = \frac{dS}{dt} = 4\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2};$$

$$a_c = 2\omega_e v_r \sin(\vec{\omega}_e, \vec{v}_r) = 2 \cdot 2 \cdot 12 \cdot \sin 15^0 = 13\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2}.$$

Покажем векторы составляющих ускорений точки M на рисунке 3.1.

Переносное центростремительное ускорение $a_e^{\text{ц}}$ направлено по оси Z в сторону оси вращения пластины. Переносное вращательное ускорение $a_e^{\text{вр}}$ — по оси X в соответствии с направлением углового ускорения ε_e.

Относительное нормальное ускорение a_r^n — в плоскости YZ направлено к центру дуги, по которой движется точка M.

Относительное касательное ускорение a_r^τ также лежит в плоскости YZ и направлено по касательной к траектории в сторону положительного отсчета дуговой координаты S.

Направление кориолисова ускорения $\vec{a}_c$ определяем по правилу Жуковского: проекцию вектора относительной скорости $\vec{v}_r$ на плоскость, перпендикулярную вектору $\vec{\omega}_e$, поворачиваем в этой плоскости на угол 90^0 в сторону вращения пластины, т. е. по направлению угловой скорости ω_e.

Вычислим проекции абсолютного ускорения на координатные оси как суммы проекций составляющих ускорений:

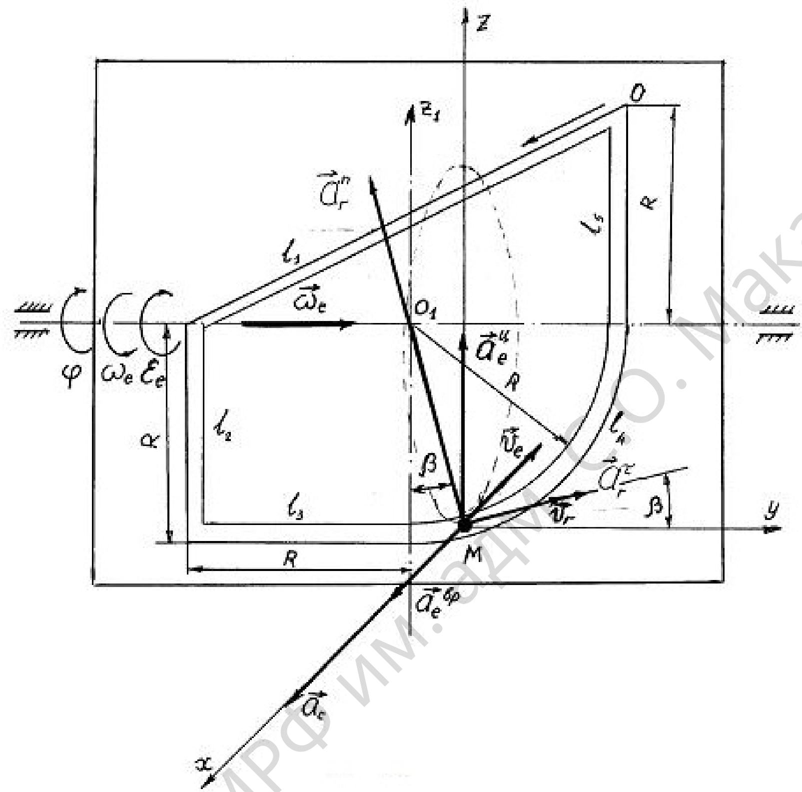
$$a_x = a_e^{\text{вр}} + a_c = 7,76 + 13 = 20,8\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2};$$

$$a_y = a_r^\tau \cos 15^0 - a_r^n \sin 15^0 = 4 \cdot 0,97 - 36 \cdot 0,26 = -5,48\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2};$$

$$a_z = a_r^\tau \sin 15^0 + a_r^n \cos 15^0 + a_e^{\text{ц}} = 4 \cdot 0,26 + 36 \cdot 0,97 + 15,52 = 51,2\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$$

Модуль абсолютного ускорения точки M в расчетный момент времени

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{20,8^2 + 5,48^2 + 51,5^2} = 55,8\ ,\ \frac{\text{см}}{\text{с}^2}.$$



z
z_1
O
$\vec{a}_r^n$
l_1
l_5
R
$\vec{\omega}_e$
O_1
$\vec{a}_e^ц$
φ
ω_e
ε_e
R
l_2
α
l_4
$\vec{v}_e$
β
$\vec{a}_r^\tau$
l_3
$\vec{v}_r$
β
y
M
R
$\vec{a}_e^{вр}$
$\vec{a}_c$
x

Рис. 3.1.

Образец титульного листа

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С. О. Макарова

Кафедра основ инженерного проектирования

Расчетно-графическая работа

ЗАДАЧА НА СЛОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ
ТОЧКИ

Пояснительная записка

Вариант 12

Студент гр. Иванов И.И.

доц. к.т.н. Петров А.И.

Санкт-Петербург
2023

Таблица 1

Исходные данные к заданию К-2

№ варианта	Уравнение вращения тела $\phi(t)$, рад.	Уравнение относительного движения точки $OM=S(t)$, см	t, с	R, см
1	$4t^2+t$	$2t^2$	1	5
2	$2t^2–5t$	$9t^2$	2	4
3	$2t^2+t$	$3t^2$	2	4
4	$0{,}5t^2+t$	$0{,}7t^2$	4	4
5	$4t^2+2t$	$4t^2$	1	3
6	$2t^2-3t$	$8t^2$	2	4
7	t^2+2t	$3t^2$	3	6
8	$0{,}5t^2–3t$	$0{,}8t^2$	5	5
9	$2t^2+0{,}5t$	$0{,}6t^2$	3	7
10	t^2+3t	$0{,}4t^2$	3	3
11	$0{,}5t^2+2t$	$0{,}5t^2$	4	4
12	$t^2–4t$	$0{,}5t^2$	3	6
13	$2t^2+t$	$2t^2$	1	5
14	$t^2–4t$	$2t^2$	3	7
15	$0{,}2t^2+t$	$2t^2$	3	3
16	$2t^2+t$	$2t^2$	2	4
17	$t^2–3t$	$2t^2$	1	5
18	$2t^2+2t$	$0{,}8t^2$	3	6
19	$2t^2–0{,}5t$	$2{,}4t^2$	3	7
20	$4t^2+t$	$2t^2$	2	3
21	$0{,}2t^2–4t$	$0{,}5t^2$	5	4
22	$2t^2+3t$	$3t^2$	3	6

Окончание табл. 1

23	t^2+2t	$0{,}5t^2$	4	7
24	$0{,}5t^2+t$	$0{,}4t^2$	4	5
25	$2t^2+2t$	$3t^2$	2	3
26	$0{,}2t^2–5t$	$0{,}6t^2$	5	4
27	$0{,}6t^2+2t$	$0{,}5t^2$	3	6
28	$0{,}8t^2+t$	$4t^2$	3	7
29	$0{,}5t^2–4t$	$2t^2$	3	4
30	$0{,}5t^2–3t$	$0{,}6t^2$	5	5

Схемы механизмов индивидуальных заданий приведены на рис. Д. 1-30

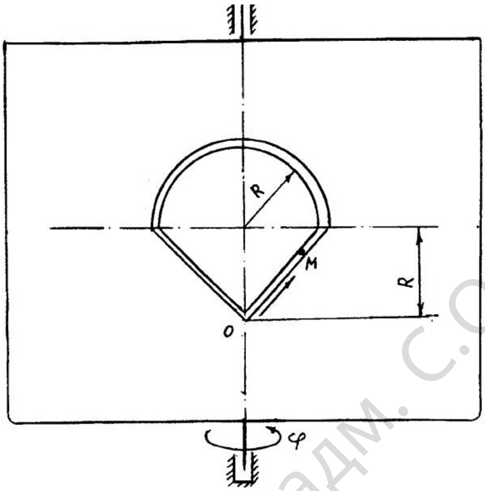


Рис. Д.1

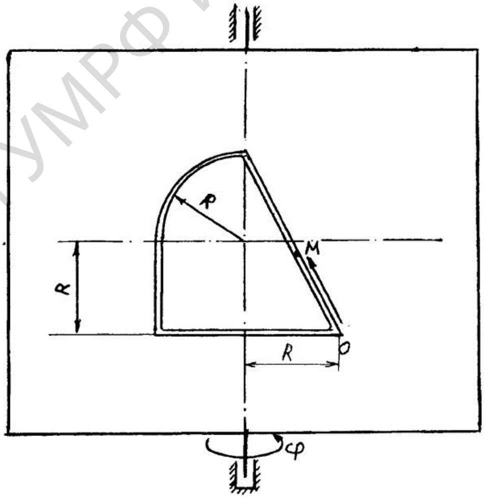


Рис. Д.2

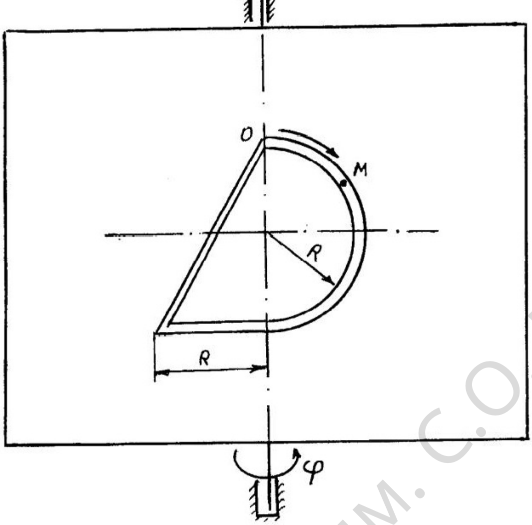


Рис. Д.3

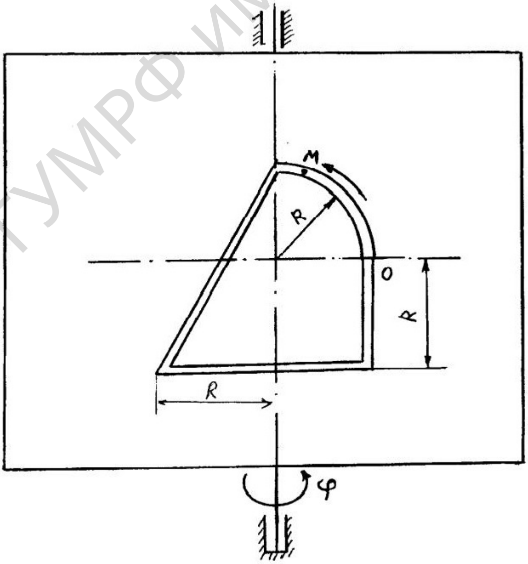


Рис. Д.4

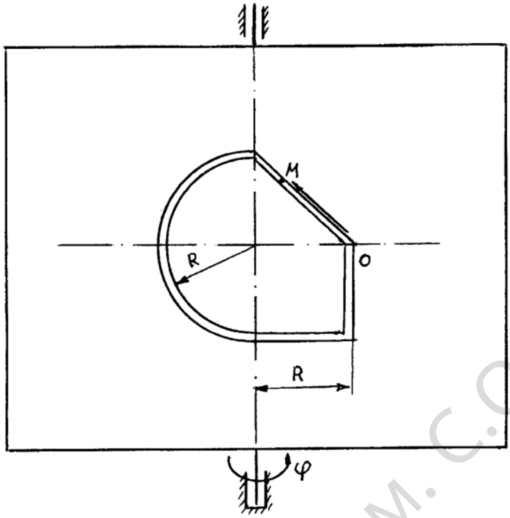


Рис. Д.5

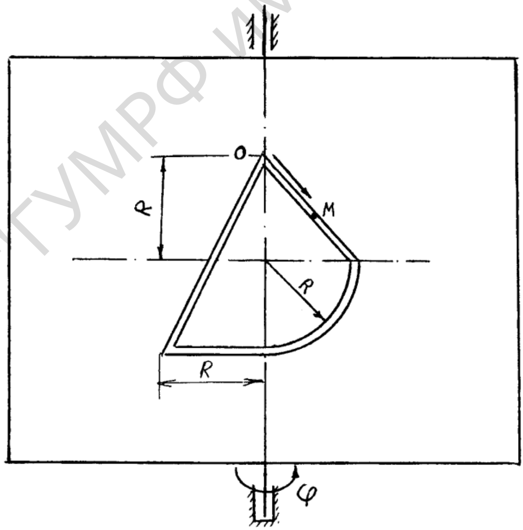


Рис. Д.6

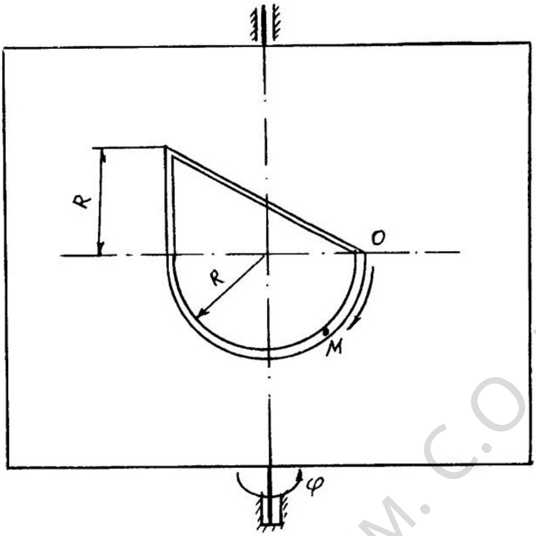


Рис. Д.7

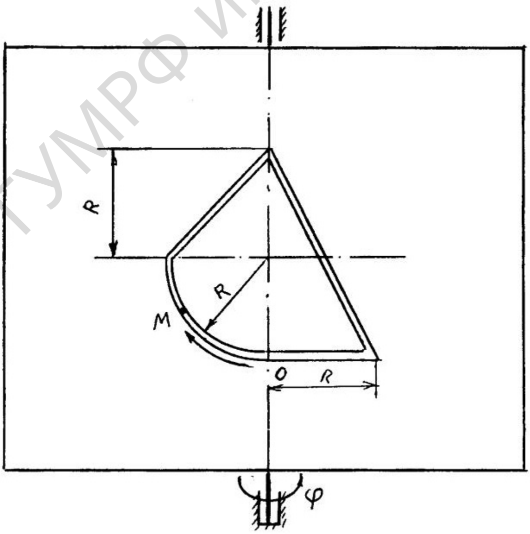


Рис. Д.8

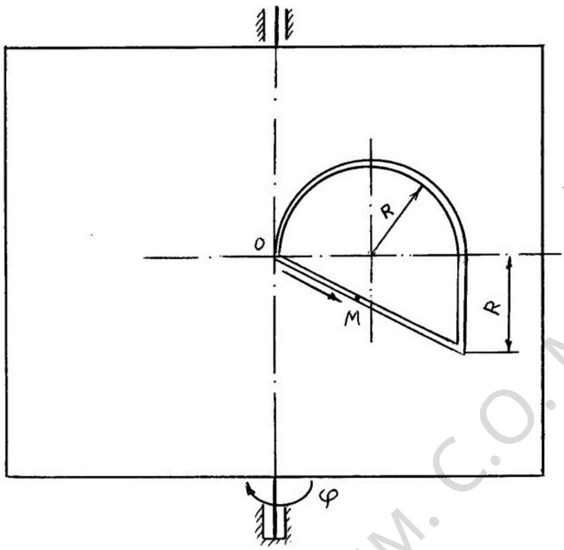


Рис. Д.9

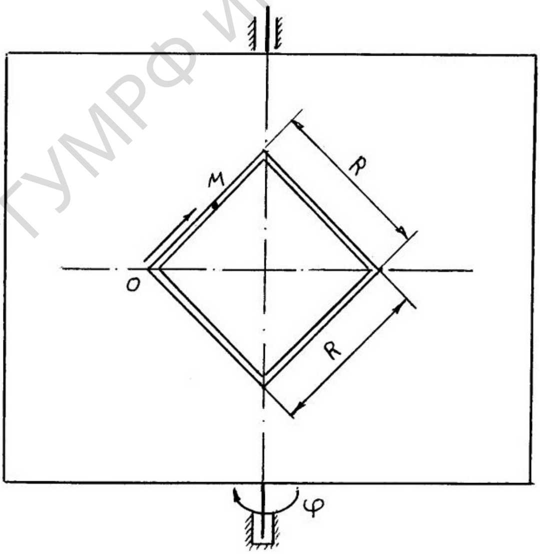


Рис. Д.10

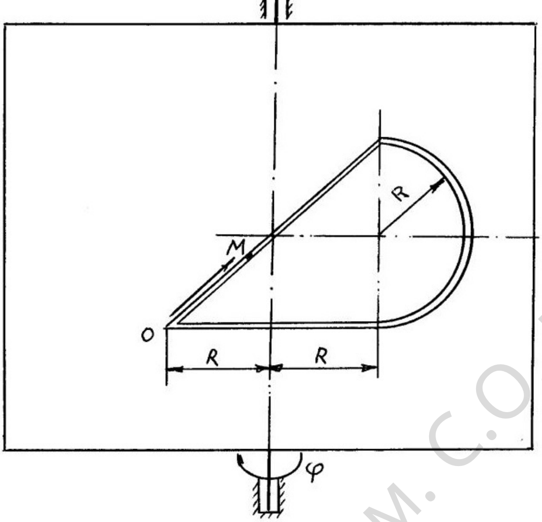


Рис. Д.11

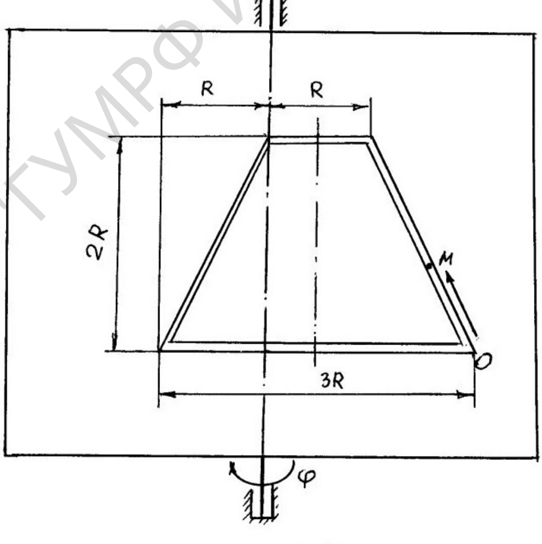


Рис. Д.12

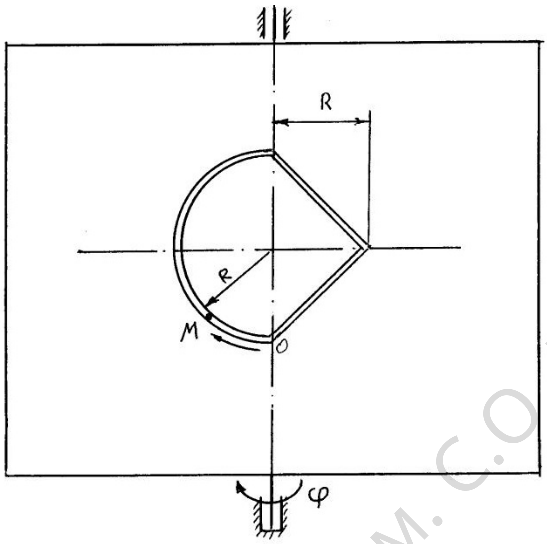


Рис. Д.13

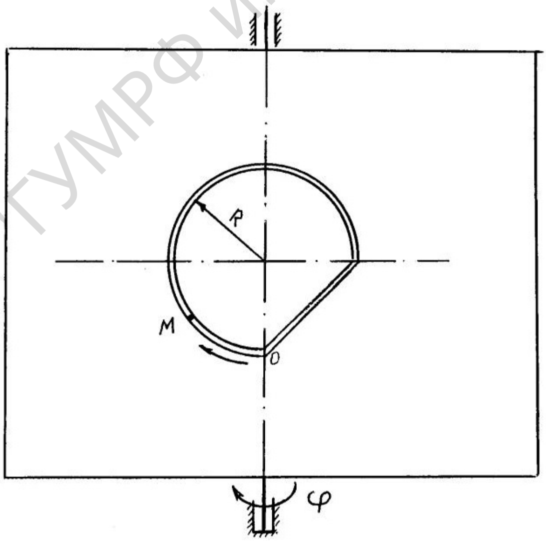


Рис. Д.14

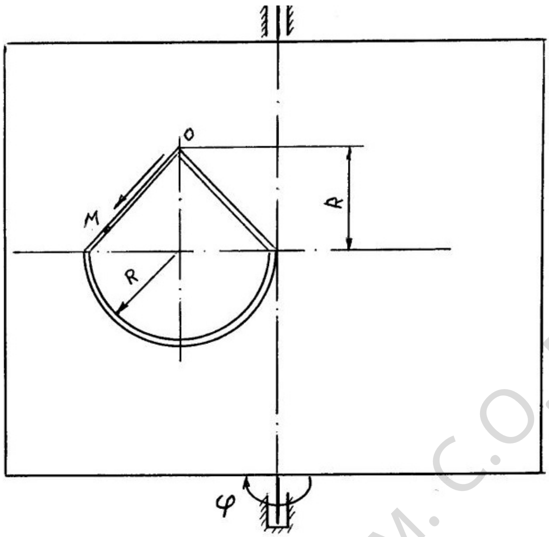


Рис. Д.15

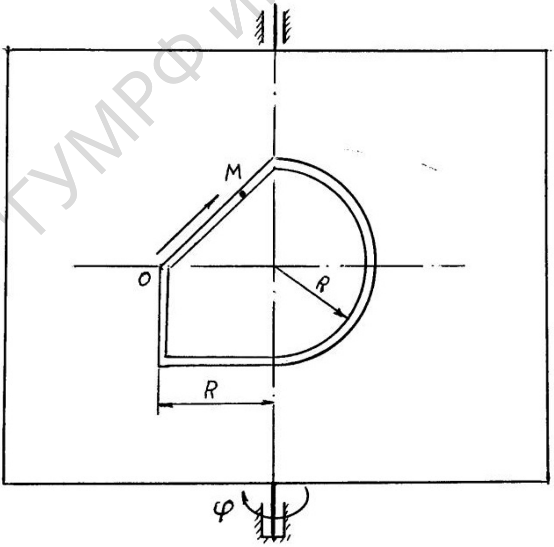


Рис. Д.16

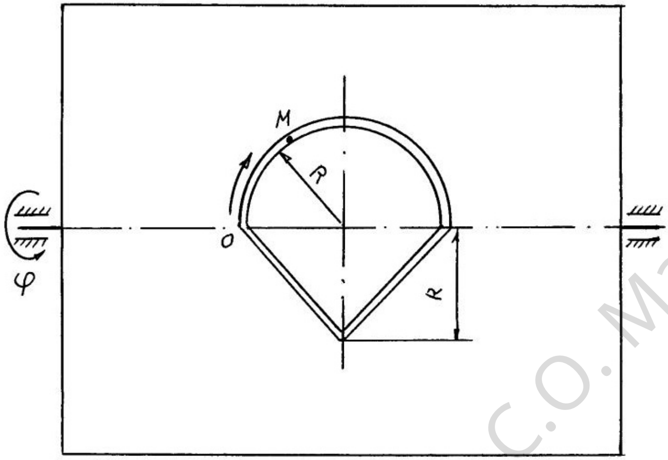


Рис. Д.17

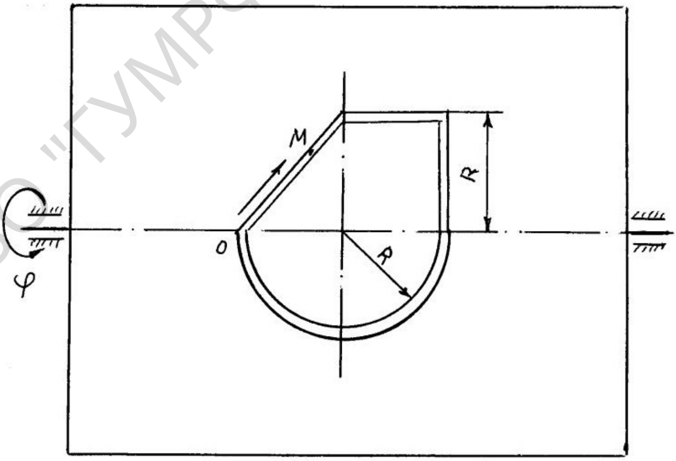


Рис. Д.18

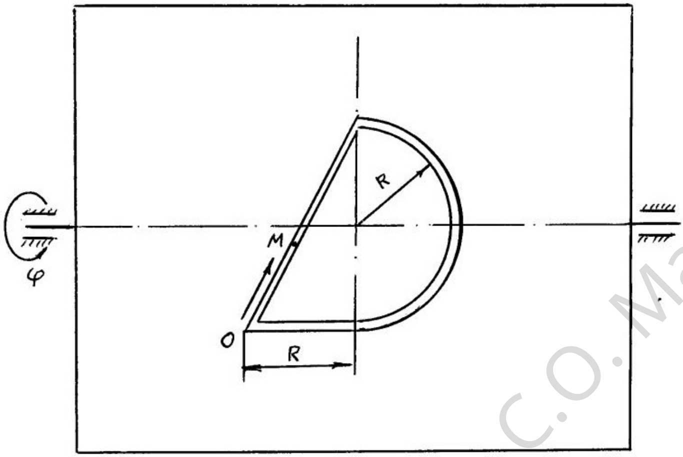


Рис. Д.19

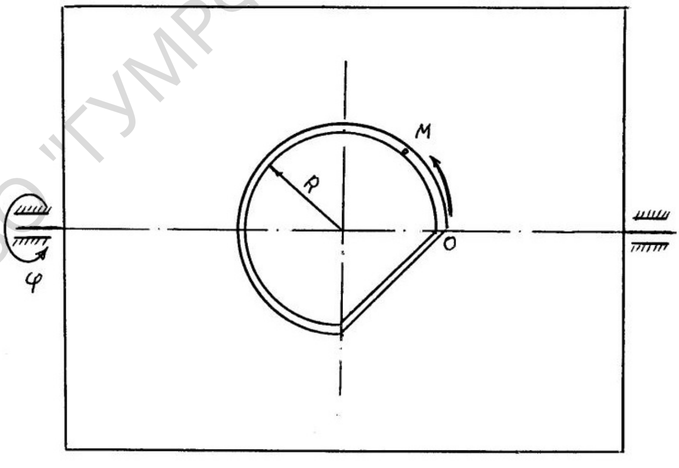


Рис. Д.20

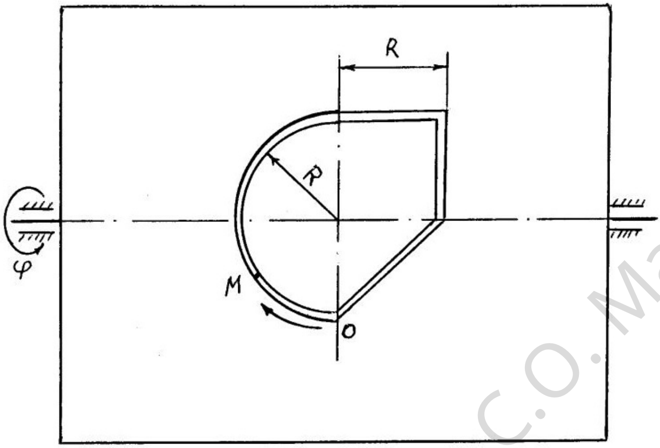


Рис. Д.21

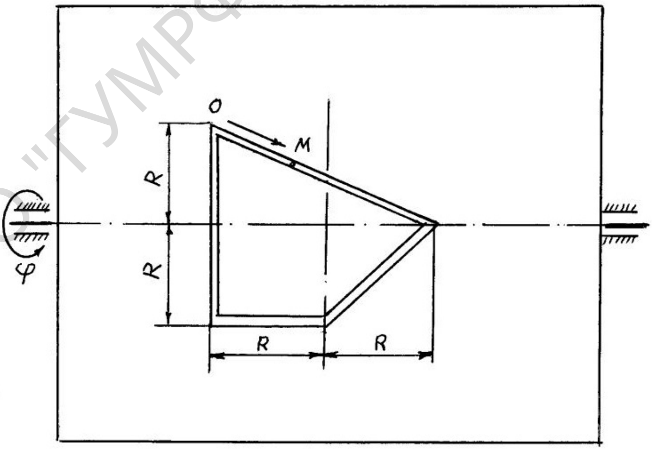


Рис. Д.22

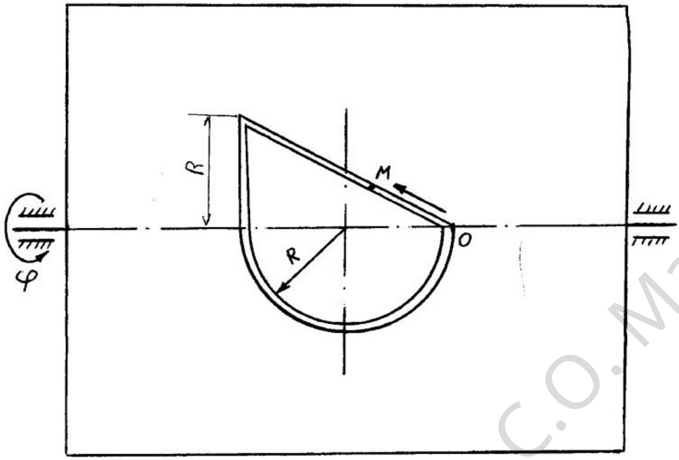


Рис. Д.23

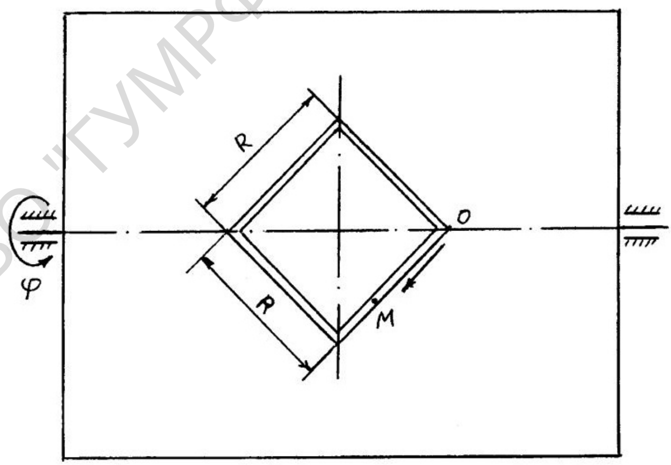


Рис. Д.24

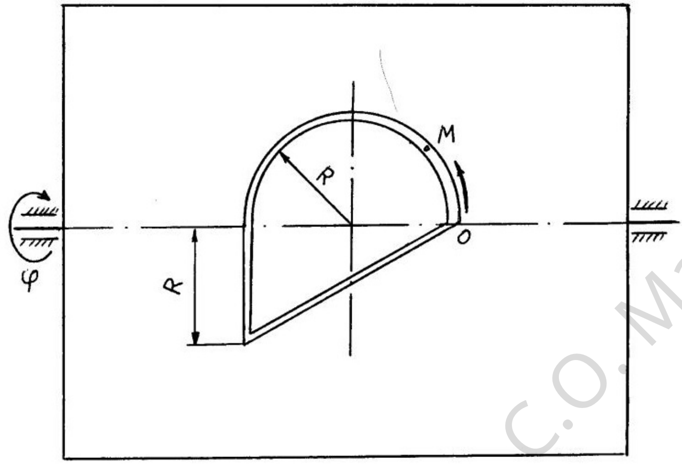


Рис. Д.25

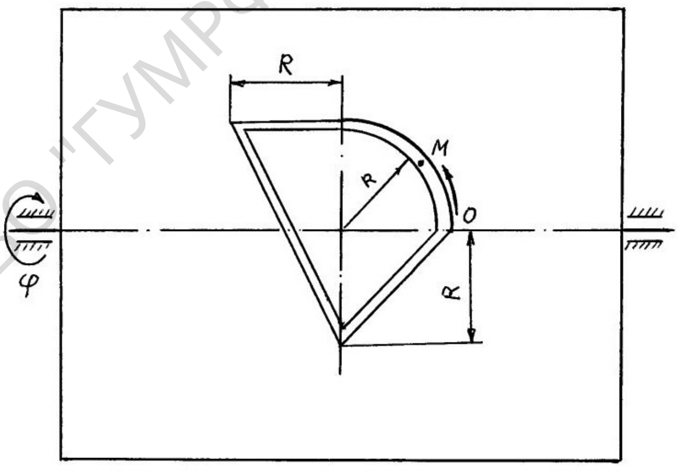


Рис. Д.26

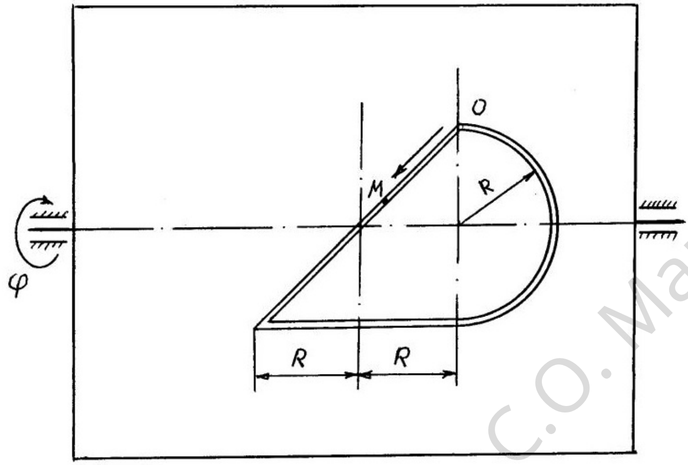


Рис. Д.27

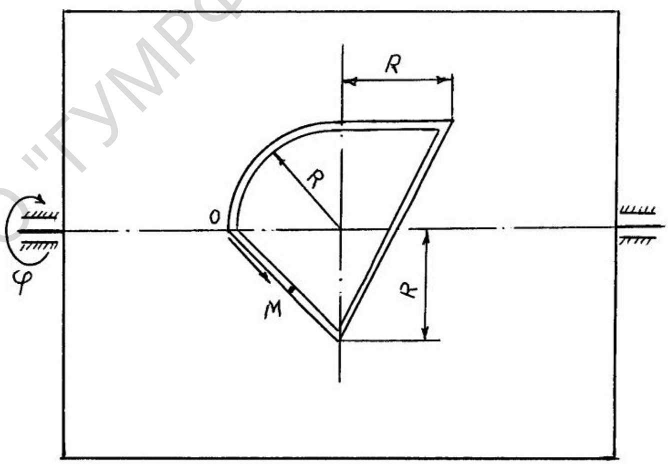


Рис. Д.28

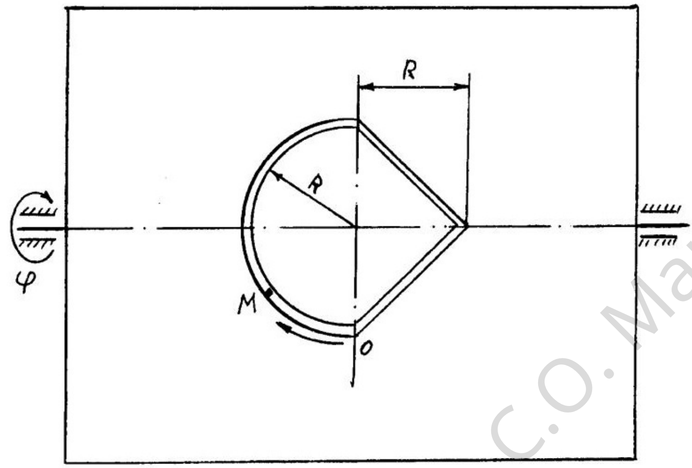


Рис. Д.29

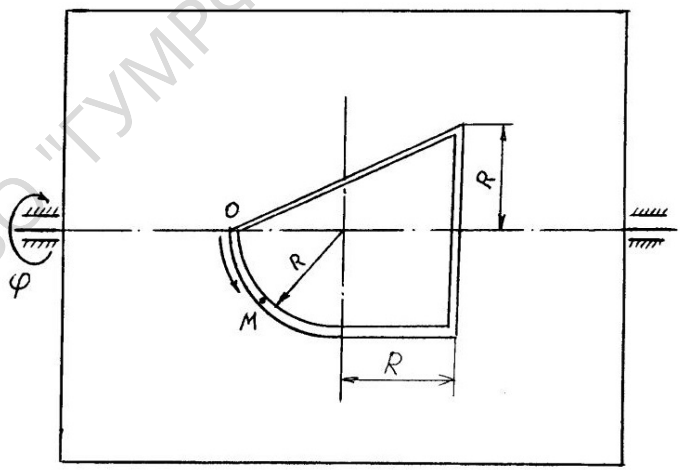


Рис. Д.30

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бутенин Н. В.* Курс теоретической механики / Бутенин Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р. // — СПб. : Лань, 2009. — 736 с.

2. *Мещерский И. В*. Задачи по теоретической механики// — СПб. : Лань, 2006. — 448 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Учебное издание

Бакасов Александр Иванович, канд. техн. наук, доц.
Завгородний Сергей Александрович, канд. техн. наук, доц.
Матвеева Елена Владимировна, канд. техн. наук, доц.

Кинематика точки

Учебно-методическое пособие

Издательство
ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова

198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2
Тел.: (812) 748-97-19, 748-97-23
E-mail: izdat@gumrf.ru

Публикуется в авторской редакции

Ответственный за выпуск *М. Н. Евсюткина*
Техническая редактура и оригинал-макет *Т. Н. Степанова*

Подписано в печать 17.02.2023
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman
Усл. печ. л. 2,25. Тираж 100 (первый завод — 50) экз. Заказ № 53/23