

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
им. Т. Ф. Горбачёва»

Кафедра прикладной механики

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ДИАГРАММЫ (графический метод)

Методические указания к практической работе по механике
для студентов направлений 280700.62, 140100.62,
специальности 130101.65 и по прикладной механике
для студентов специальности 130400.65

Составитель В. Н. Ермак

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 10 от 30.04.2013

Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 130400.65

Протокол № 14 от 28.06.2013

Электронная копия хранится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2013

Цель и задачи работы

Цель работы – освоить построение и использование кинематических диаграмм.

С этой целью для предложенного рычажного механизма строятся диаграммы функции положения и двух её производных. Для заданного положения и движения входного звена механизма по диаграммам определяется скорость и ускорение выходного звена.

Инструменты и принадлежности

Для выполнения работы необходимо иметь при себе циркуль, линейку, треугольник, транспортир, карандаш и калькулятор.

Сведения из теории

Схемы механизмов, используемых в данной работе, показаны на рис. 1. Входным звеном в этих механизмах считается кривошип 1, выходным – звено 3.

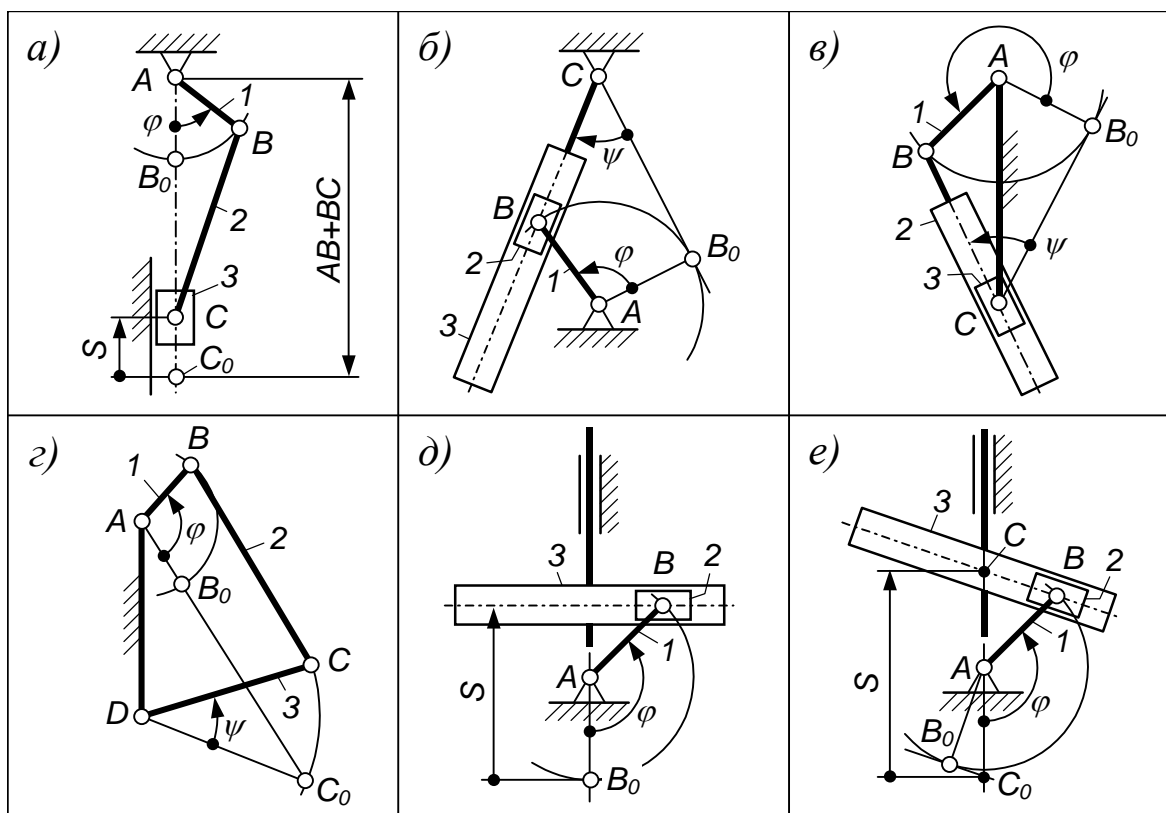


Рис. 1

Функцией положения механизма называется зависимость координаты выходного звена от координаты входного. В обозначении

ях, принятых на рисунке, это зависимость $S(\varphi)$ или $\psi(\varphi)$. Как видно по рисунку, координаты отсчитываются от одного из крайних положений механизма. В этом положении подвижные шарниры имеют индекс 0 (ноль). Отсчёт от крайнего положения выгоден тем, что координата выходного звена получается всегда положительной. Функция положения строится на основе планов положений механизма.

Планы положений – это картина положений подвижных звеньев механизма при разных значениях координаты φ входного звена. В данной работе этой координате придают значения в диапазоне от 0 до 360° с шагом 30°. При таком шаге получается 12 планов положений.

Исходя из задач работы, на планах положений показывают только то, что необходимо для снятия координат. В частности, не изображают ползуны и кулисные камни, кулису представляют только её продольной осью. Чтобы схема механизма хорошо читалась на фоне множества его положений, одно из них строится со всеми подробностями и выделяется жирными линиями (см. образцы отчёта – с. 6, 7).

При графических методах анализа каждое построение выполняется в определённом масштабе. В ТММ масштаб некоторой величины x , изображаемой отрезком $\langle x \rangle$, характеризуется масштабным коэффициентом

$$\mu_x = \frac{x}{\langle x \rangle}, \quad (1)$$

где x выражается в единицах системы СИ – метр, килограмм, секунда, радиан и т. д., $\langle x \rangle$ – в миллиметрах. Из формулы (1) следует, что масштабный коэффициент – это «цена» одного миллиметра чертежа.

Переход от истинного значения изображаемой величины к её графическому (масштабному) значению и обратно производится по следующим, вытекающим из (1), формулам:

$$\begin{aligned} \text{графическое значение} \quad \langle x \rangle &= x / \mu_x; \\ \text{истинное значение} \quad x &= \mu_x \langle x \rangle. \end{aligned}$$

Кинематические диаграммы располагаются строго одна под другой. Расстояние от максимума до минимума диаграммы назы-

вается её размахом. Размах диаграмм должен быть примерно одинаковым. Исходя из этого, на каждую диаграмму отводят примерно $1/3$ листа по высоте. Диаграммы располагают, прижимаясь к правой стороне листа, чтобы осталось место для графического дифференцирования.

Графическое дифференцирование

Дифференцирование выполняют методом касательных. Метод поясним на примере определения производных от S по φ в точках m и n (рис. 2).

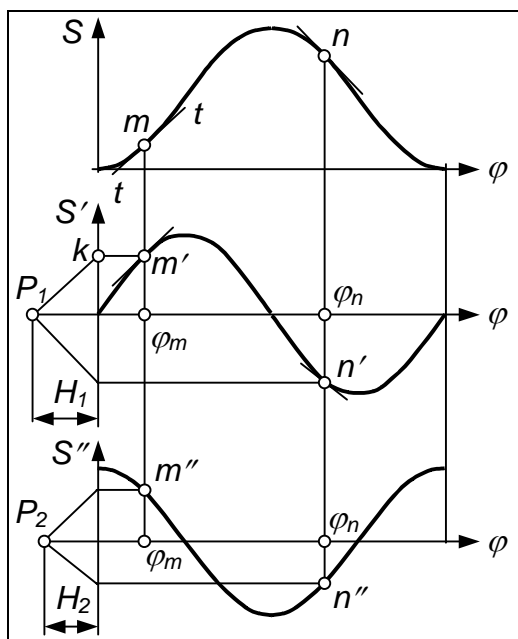


Рис. 2

Чтобы получить производную в точке m , через эту точку проводят касательную $t-t$ к кривой $S(\varphi)$. Из полюса P_1 , расположенного на произвольно выбранном расстоянии H_1 от начала координат, проводят луч P_1k , параллельный касательной. Точку пересечения k луча с осью S' проецируют на вертикаль, проходящую через точку m . В результате проецирования получают точку m' . Отрезок $\varphi_m m'$ представляет собой графическое значение производной в точке m . Аналогично определяют графическое

значение производной в точке n . Его изображает отрезок $\varphi_n n'$. Соединяя плавной кривой точки m' , n' и им подобные, получают график $S'(\varphi)$.

Чтобы удачно выбрать полюсное расстояние H_1 , сначала проводят касательные в точках, где дифференцируемая кривая имеет наибольшую крутизну. Параллельным переносом этих касательных в полюс P_1 сразу находят масштабные значения максимума и минимума производной. Если они не устраивают, то положение полюса меняют. Определившись с полюсом, проводят касательные в остальных точках.

Чтобы получить вторые производные, проводят касательные к кривой $S'(\varphi)$, на рисунке они проведены в точках m' и n' . Далее всё делают, как при первом дифференцировании.

Масштабные коэффициенты по осям производных, а также скорость и ускорение выходного звена определяют по формулам, приведённым ниже в таблице.

Вид движения выходного звена	
поступательное	вращательное
$\mu_{S'} = \frac{\mu_S}{\mu_\varphi \langle H_1 \rangle}, \quad \mu_{S''} = \frac{\mu_{S'}}{\mu_\varphi \langle H_2 \rangle}$	$\mu_{\psi'} = \frac{\mu_\psi}{\mu_\varphi \langle H_1 \rangle}, \quad \mu_{\psi''} = \frac{\mu_{\psi'}}{\mu_\varphi \langle H_2 \rangle}$
$v_{\text{ВЫХ}} = S' \omega_{\text{ВХ}},$ $a_{\text{ВЫХ}} = S'' \omega_{\text{ВХ}}^2 + S' \varepsilon_{\text{ВХ}}$	$\omega_{\text{ВЫХ}} = \psi' \omega_{\text{ВХ}},$ $\varepsilon_{\text{ВЫХ}} = \psi'' \omega_{\text{ВХ}}^2 + \psi' \varepsilon_{\text{ВХ}}$

Как следует из формул, при постоянной скорости входного звена ($\omega_{\text{ВХ}} = \text{const}, \varepsilon_{\text{ВХ}} = 0$) скорость и ускорение выходного звена пропорциональны первой и второй производной от функции положения, поэтому производные называют аналогом скорости и аналогом ускорения выходного звена.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет по работе выполняется на листах формата **A4** и должен содержать:

1. Значения измеренных размеров звеньев предложенного механизма.
2. Определение масштабного коэффициента μ_l схемы механизма. При этом исходить из масштаба 1:2 для механизмов *a)* и *г)* – рис. 1 и из масштаба 1:1 для остальных.
3. Схему начального положения механизма, отмеченного на рис. 1 индексом 0 (ноль). Ползуны и кулисные камни, если таковые есть, не показывать.
4. Траекторию точки *B* разбить на 12 равных частей, начиная от положения B_0 . Точки разбивки пронумеровать в сторону возрастания угла φ .

5. Схемы всех прочих положений механизма. Одно из положений, не крайнее, изобразить полностью и выделить жирными линиями.
6. Положение осей кинематических диаграмм, прижимаясь к правой стороне листа. Расстояние между точками разбивки оси φ принять равным 10 мм.
7. Определение масштабного коэффициента координаты выходного звена. С планов положений снять максимальное значение координаты выходного звена i , задаться длиной изображающего отрезка.
8. График функции положения, а также первой и второй производной функции положения.
9. Расчет масштабных коэффициентов по осям всех графиков.
10. Определение скорости и ускорение выходного звена для $\varphi = 60^\circ$, полагая, что скорость входного звена $\omega_{вх} = 100 \text{ с}^{-1}$, ускорение $\varepsilon_{вх} = 10 \text{ с}^{-2}$.

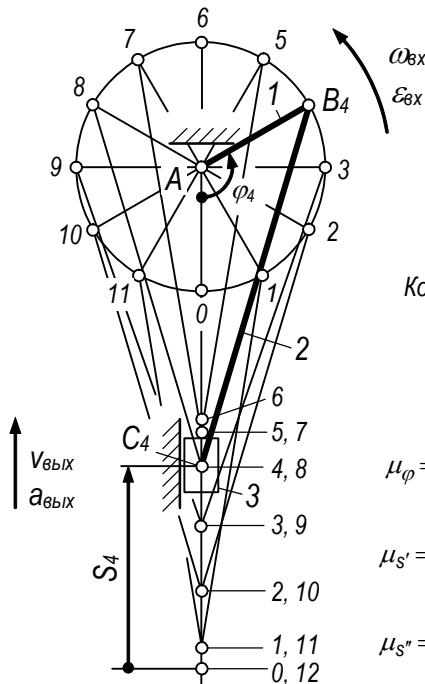
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Теория механизмов и машин (краткий курс) [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Н. Ермак; ФГБОУ ВПО "Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева" - Кемерово, 2011 –164 с. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90546&type=utchposob:common>
2. Артоболевский, И. И. Теория машин и механизмов / И. И. Артоболевский, Москва: Альянс, 2008. – 640 с.
3. Ермак В.Н. Лекции по теории механизмов и машин: Учеб. пособие / Ермак В.Н. / Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1999. – 218 с.

Образец отчёта для механизма с поступательным движением выходного звена

Лаб. раб. Кинематические диаграммы (графический метод)

Планы положений
 $\mu = 2 \cdot 10^{-3}$ м/мм



Размеры звеньев: $l_{AB} = 0.04$; $l_{BC} = 0.12$ м.

Пусть $\langle l_{AB} \rangle = 20$ мм, тогда

$$\mu_1 = \frac{l_{AB}}{\langle l_{AB} \rangle} = \frac{0.04}{20} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м/мм.}$$

$$\langle l_{BC} \rangle = \frac{l_{BC}}{\mu_1} = \frac{0.12}{2 \cdot 10^{-3}} = 60 \text{ мм.}$$

Масштабные коэффициенты по осям кинематических диаграмм

Координату S будем переносить на диаграмму без изменения, при этом получим:

$$\mu_S = \mu_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м/мм.}$$

Пусть $\langle \varphi_{12} \rangle = 120$ мм, тогда

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_{12}}{\langle \varphi_{12} \rangle} = \frac{360}{120} = 3 \text{ град./мм или } 52,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/мм.}$$

$$\mu_{S'} = \frac{\mu_S}{\mu_\varphi H_1} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{52,3 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 1,91 \cdot 10^{-3} \text{ м/мм.}$$

$$\mu_{S''} = \frac{\mu_{S'}}{\mu_\varphi H_2} = \frac{1,91 \cdot 10^{-3}}{52,3 \cdot 10^{-3} \cdot 15} = 2,44 \cdot 10^{-3} \text{ м/мм.}$$

При $\varphi = 60^\circ$ по диаграммам находим:

$$S' = \mu_{S'} \langle S' \rangle = 1,91 \cdot 10^{-3} \cdot 23 = 44 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

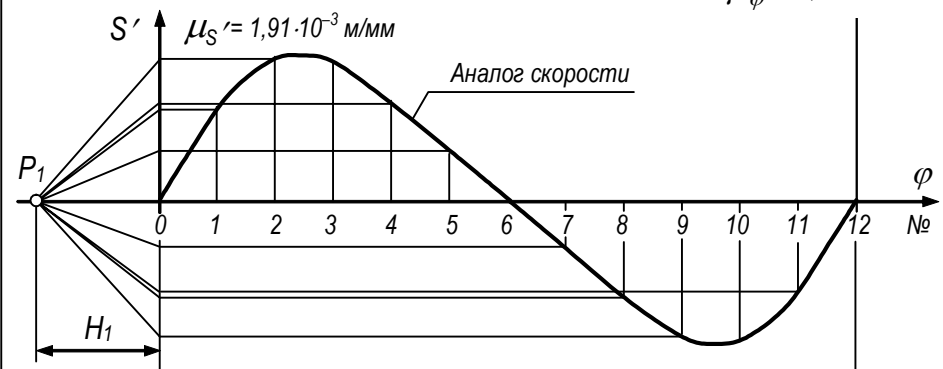
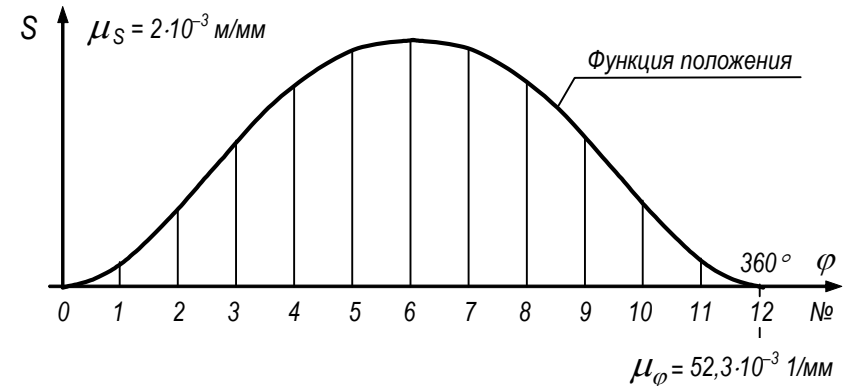
$$S'' = \mu_{S''} \langle S'' \rangle = 2,44 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 12,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

По заданию: $\omega_{вх} = 100 \text{ с}^{-1}$, $\varepsilon_{вх} = 10 \text{ с}^{-2}$. При этом:

$$V_{вых} = S' \omega_{вх} = 44 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 4,4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1};$$

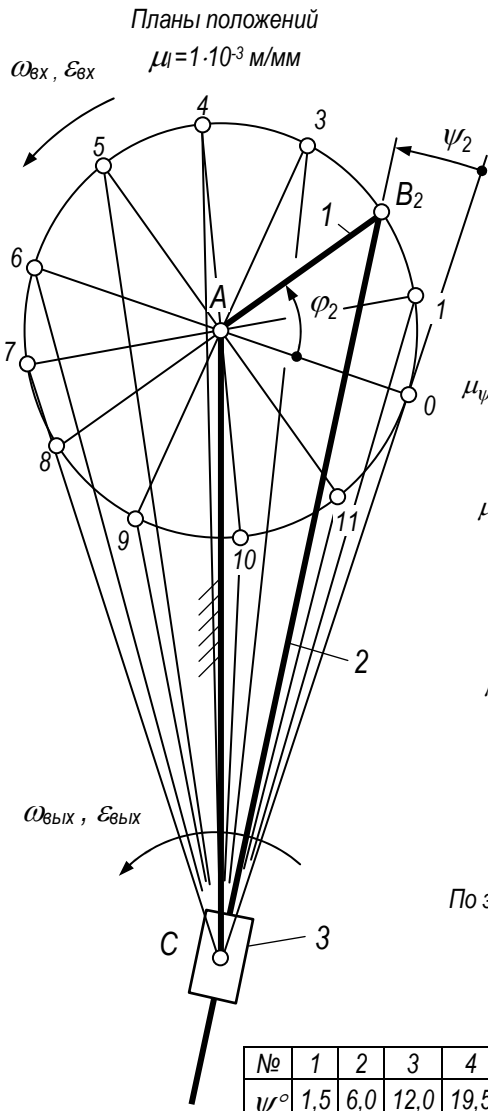
$$a_{вых} = S'' \omega_{вх}^2 + S' \varepsilon_{вх} = 12,2 \cdot 10^{-3} \cdot 100^2 + 44 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 122,4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}.$$

Кинематические диаграммы звена 3



Образец отчёта для механизма с вращательным движением выходного звена

Лаб. раб. Кинематические диаграммы (графический метод)



Размеры звеньев: $l_{AB}=0,04$ м; $l_{AC}=0,12$ м.

Пусть $\langle l_{AB} \rangle = 40$ мм, тогда

$$\mu_l = \frac{l_{AB}}{\langle l_{AB} \rangle} = \frac{0,04}{40} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м/мм.}$$

$$\langle l_{AC} \rangle = \frac{l_{AC}}{\mu_l} = \frac{0,12}{1 \cdot 10^{-3}} = 120 \text{ мм.}$$

Масштабные коэффициенты по осям кинематических диаграмм

Пусть $\langle \psi_{max} \rangle = 36.2 \cdot 2 = 72.4$ мм, тогда

$$\mu_\psi = \frac{\psi_{max}}{\langle \psi_{max} \rangle} = \frac{36,2}{72,4} = 0,5 \text{ град./мм} = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ 1/мм.}$$

Пусть $\langle \varphi_{12} \rangle = 120$ мм, тогда

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_{12}}{\langle \varphi_{12} \rangle} = \frac{360}{120} = 3 \text{ град./мм} = 52,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/мм.}$$

$$\mu_{\psi'} = \frac{\mu_\psi}{\mu_\varphi H_1} = \frac{8,7 \cdot 10^{-3}}{52,3 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/мм}$$

$$\mu_{\psi''} = \frac{\mu_{\psi'}}{\mu_\varphi H_2} = \frac{8,3 \cdot 10^{-3}}{52,3 \cdot 10^{-3} \cdot 15} = 10,6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/мм.}$$

При $\varphi = 60^\circ$ по диаграммам находим:

$$\psi' = \mu_{\psi'} \langle \psi' \rangle = 8,3 \cdot 10^{-3} \cdot 15 = 0,124;$$

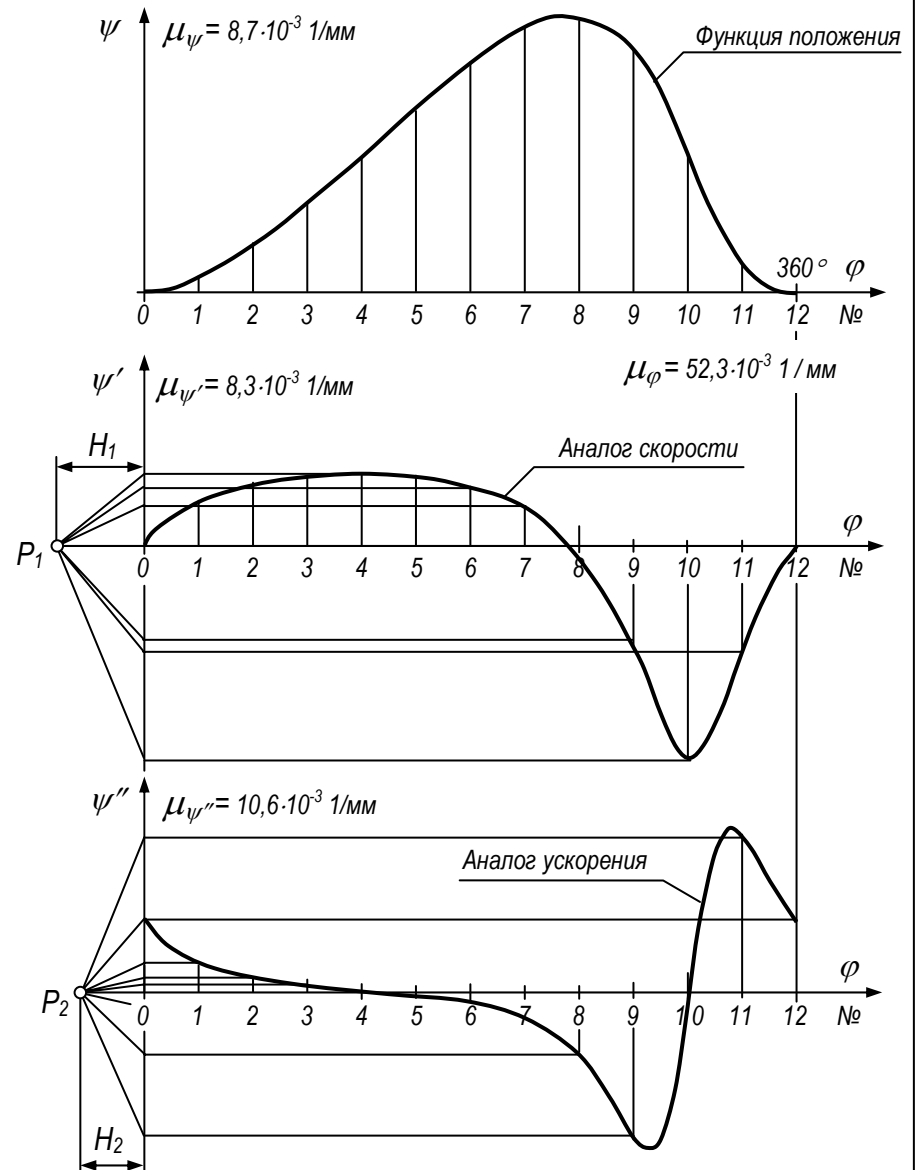
$$\psi'' = \mu_{\psi''} \langle \psi'' \rangle = 10,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 0,032.$$

По заданию: $\omega_{вх} = 100 \text{ с}^{-1}$, $\epsilon_{вх} = 10 \text{ с}^{-2}$. При этом

$$\omega_{вых} = \psi' \omega_{вх} = 0,124 \cdot 100 = 12,4 \text{ с}^{-1},$$

$$\epsilon_{вых} = \psi'' \omega_{вх}^2 + \psi' \epsilon_{вх} = 0,032 \cdot 100^2 + 0,124 \cdot 10 = 320 \text{ с}^{-2}.$$

Кинематические диаграммы звена 3



Составитель
Ермак Владимир Николаевич

Кинематические диаграммы
(графический метод)

Методические указания к практической работе по механике
для студентов направлений 280700.62, 140100.62,
специальности 130101.65 и по прикладной механике
для студентов специальности 130400.65

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 27.06.2013. Формат 60×84/16
Бумага белая офсетная. Отпечатано на ризографе
Уч.-изд. л. 0,5. Тираж 101 экз. Заказ _____

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Типография КузГТУ. 650000, Кемерово ул. Д. Бедного, 4а