

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

Кафедра информационных и автоматизированных
производственных систем

Кинематические диаграммы (графический метод)

Методические указания к лабораторной работе
по теории механизмов и машин для обучающихся направлений
подготовки 15.03.05 Машиностроение, 15.03.01 Конструкционно-
технологическое обеспечение машиностроительных производств,
18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии, 23.03.03 Эксплуата-
ция транспортно-технологических машин и комплексов
всех форм обучения

Составитель В. Н. Ермак

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 10 от 29.05.2018 г.
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 15.03.05
Протокол № 10 от 30.05.2018 г.
Электронная копия хранится
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2018

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, 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.

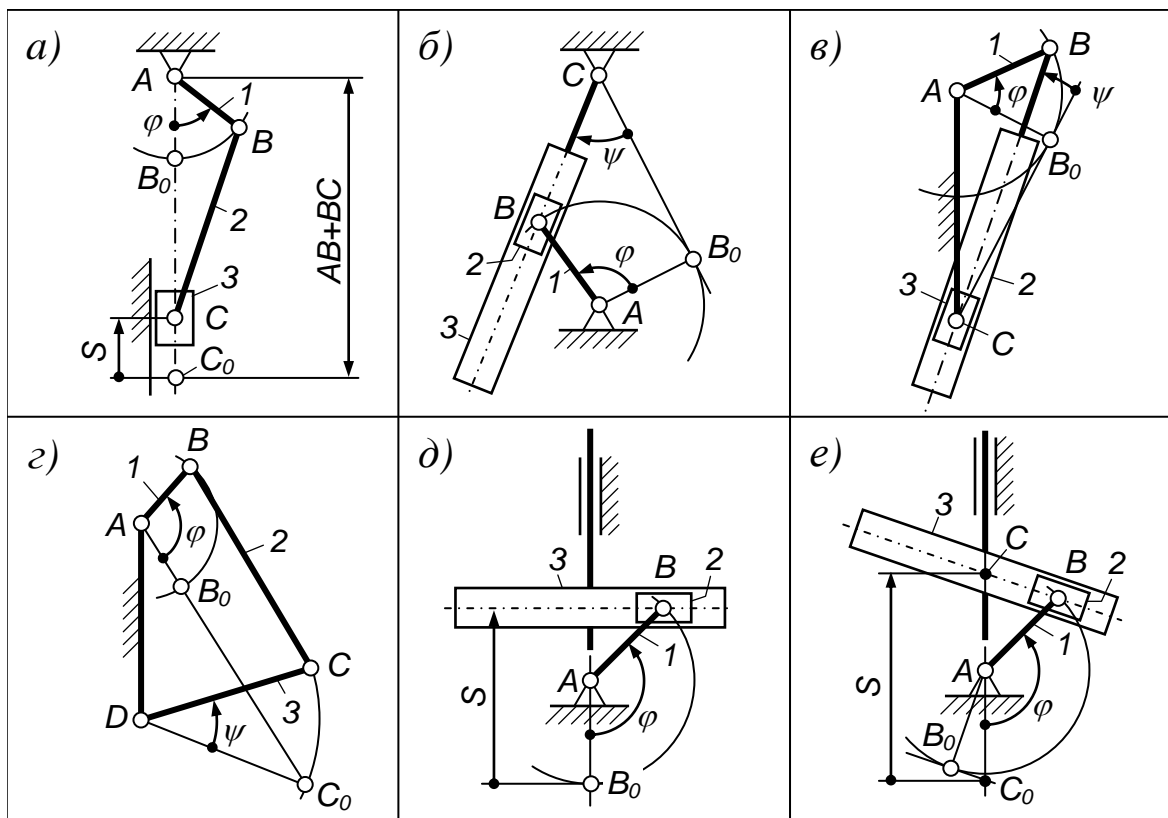


Рис. 1

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

графическое значение $\langle x \rangle = x / \mu_x$;
 истинное значение $x = \mu_x \langle x \rangle$.

Кинематические диаграммы располагаются строго одна под другой. Расстояние от максимума до минимума диаграммы называется 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).

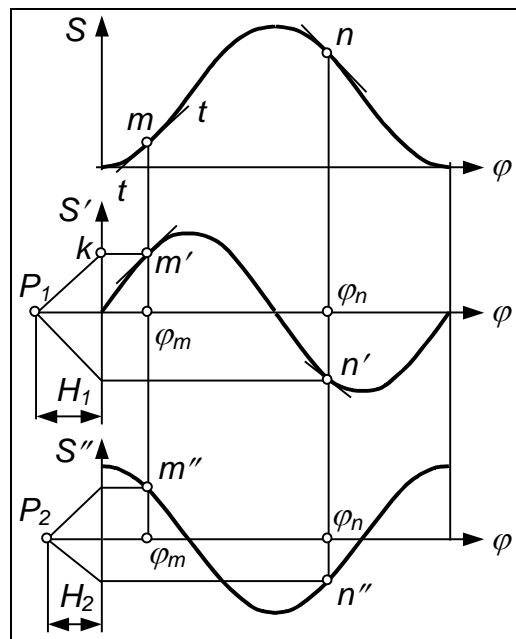


Рис. 2

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, проходя-

щую 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 другие, найденные тем же методом, 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.

Порядок работы

1. Для отчёта по данной работе выделить полный разворот тетради. Как видно по образцам отчёта, на левой стороне разворота будут расположены схема механизма и расчёты, на правой – кинематические диаграммы.

2. Измерить и записать размеры звеньев предложенного механизма. Размеры выразить в метрах.

3. Задаться графической длиной $\langle l_{AB} \rangle$ кривошипа и вычислить масштабный коэффициент 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.

4. Тонкими линиями построить начальное положение механизма. На виде *a)* это – положение AB_0C_0 , на видах *б)* и *в)* это – AB_0C , на виде *г)* – AB_0C_0D . Ползуны и кулисные камни в этом положении не показывать.

5. Траекторию точки B разбить на 12 равных частей, начиная от положения B_0 . Точки разбивки пронумеровать в сторону возрастания угла φ .

6. Построить все прочие положения механизма. Одно из положений, не крайнее, изобразить полностью и выделить жирными линиями.

7. Наметить положение осей кинематических диаграмм, прижимаясь к правой стороне листа. Расстояние между точками разбивки оси φ принять равным 10 мм.

8. С планов положений снять максимальное значение координаты выходного звена и, задавшись длиной изображающего отрезка, определить масштабный коэффициент этой координаты на графике функции положения.

9. С планов положений снять все прочие значения координаты выходного звена и отложить их на графике с известным по п. 7 масштабным коэффициентом. Если координата выходного звена угловая, то её значения предварительно сводят в таблицу. Для линейной координаты таблица не нужна, т. к. эта координата переносится на диаграмму либо без изменения, либо с увеличением в два раза, если позволяет место.

10. Построить графики первой и второй производной функции положения. Методику дифференцирования см. на с. 3.

11. По формулам, приведённым в таблице, определить масштабные коэффициенты по осям всех графиков.

12. Для $\varphi = 60^\circ$ определить скорость и ускорение выходного звена, полагая, что скорость входного звена $\omega_{\text{вх}} = 100 \text{ с}^{-1}$, ускорение $\varepsilon_{\text{вх}} = 10 \text{ с}^{-2}$.

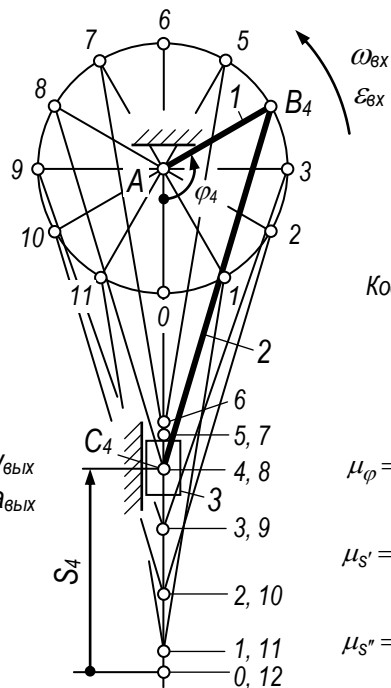
Контрольные вопросы

1. Дайте определение масштабному коэффициенту.
2. Изложите методику графического дифференцирования.
3. Покажите отрезки, изображающие первую и вторую производную функции положения при $\varphi = 60^\circ$.

Образец отчёта для механизма с поступательным движением выходного звена

Лаб. раб. Кинематические диаграммы (графический метод)

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



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

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

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

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

Масштабные коэффициенты по осям кинематических диаграмм

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

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

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:

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

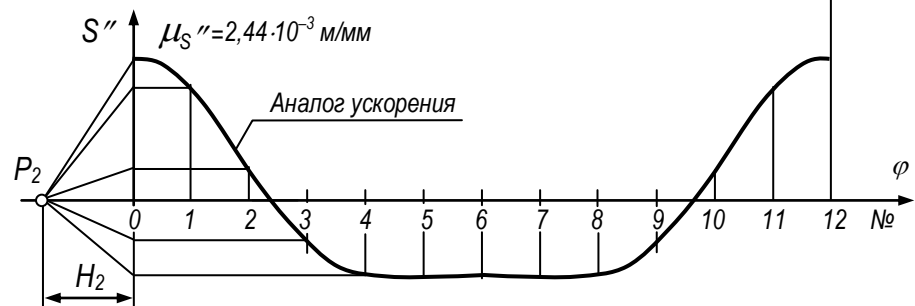
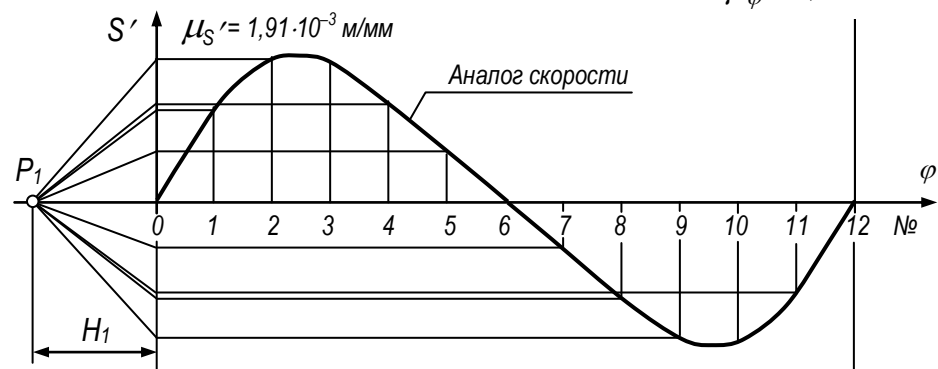
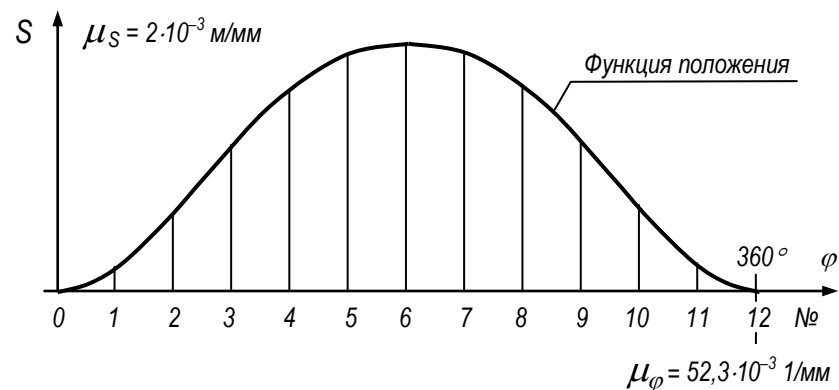
$$S'' = \mu_{S''} \langle S'' \rangle = 2,44 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 12,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

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

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

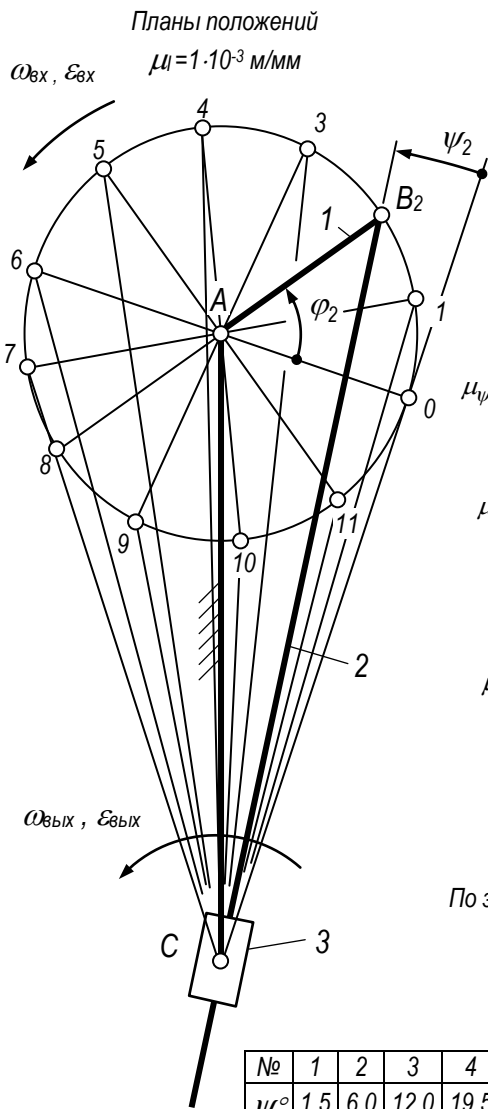
$$a_{вых} = S'' \omega_{вх}^2 + S' \varepsilon_{вх} = 12,2 \cdot 10^{-3} \cdot 100^2 + 44 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 122,4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}.$$

Кинематические диаграммы звена 3

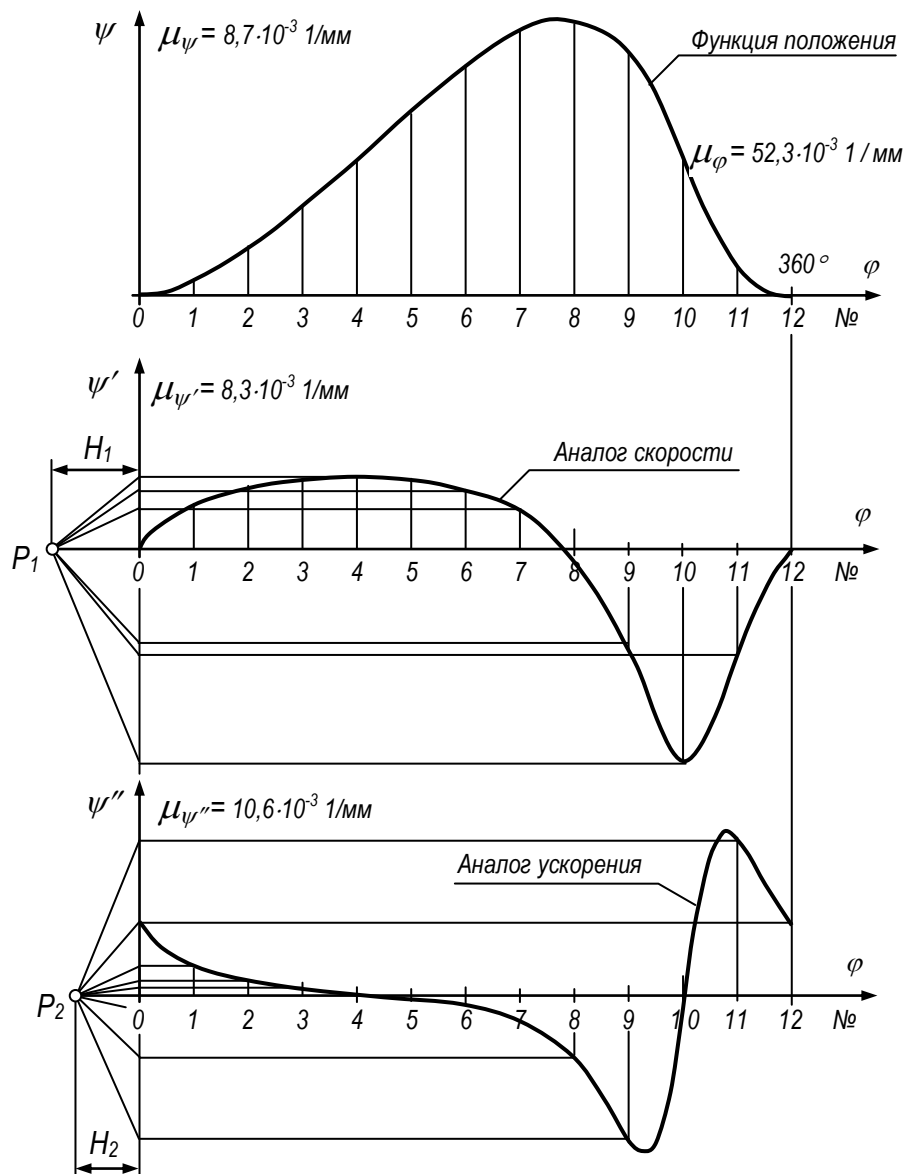


Образец отчёта для механизма с вращательным движением выходного звена

Лаб. раб. Кинематические диаграммы (графический метод)



Кинематические диаграммы звена 3



Составитель
Владимир Николаевич Ермак

**Кинематические диаграммы
(графический метод)**

Методические указания к лабораторной работе
по теории механизмов и машин для обучающихся направлений
подготовки 15.03.05 Машиностроение, 15.03.01 Конструкционно-
технологическое обеспечение машиностроительных производств,
18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии, 23.03.03 Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 06.07.2018 Формат 60×84/16.
Бумага белая офсетная. Отпечатано на ризографе
Уч.-изд. л. 0,5. Тираж 30 экз. Заказ _____
КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Издательский центр УИП КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а