

**О.Ю. ПАВЛОВ
В.А. СУЛТАНОВ
В.В. ВАРЕНИК**

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

ДЕТАЛИ МАШИН

**Задания и методические рекомендации
к расчётно-графическим работам**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГАОУ ВО КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ**
Кафедра технической физики и энергетики

**О.Ю. ПАВЛОВ
В.А. СУЛТАНОВ
В.В. ВАРЕНИК**

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

ДЕТАЛИ МАШИН

**Задания и методические рекомендации
к расчётно-графическим работам**

**КАЗАНЬ
2018**

УДК 621.01 (076.5)

П12

*Печатается по рекомендации учебно-методической комиссии
Инженерного института
(протокол № 3 от 28 марта 2018 г.)*

Под общей редакцией

зав. кафедрой технической физики и энергетики, доктора технических наук,
профессора, члена-корреспондента АН РТ **Н. Ф. Кашапова**

Рецензенты:

заместитель директора ИИ К(П)ФУ по образовательной деятельности, кандидат
технических наук, доцент **И.И. Хафизов;**

доцент кафедры «Машиноведения» КНИТУ (КХТИ), кандидат технических наук, доцент
О.Р. Каратаев

Павлов О.Ю.

П12 Прикладная механика. Детали машин: задания и методические
рекомендации к расчётно-графическим работам / О.Ю. Павлов, В.А. Султанов, В.В.
Вареник; под общ. ред. проф. Н.Ф. Кашапова. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 46 с.

Задания и методические рекомендации к расчётно-графическим работам по
учебной дисциплине «Прикладная механика», раздел «Детали машин» включает
содержание, задания, общие методические рекомендации и примеры выполнения работ,
разработаны в соответствии с программой обучения.

Задания и методические рекомендации к расчётно-графическим работам
предназначены для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям
27.03.02 «Управление качеством»: профиль Управление роботизированными
производственными системами, 16.03.01 «Техническая физика» и имеют целью оказать
студентам помощь в самостоятельном выполнении работ по дисциплине «Прикладная
механика» (раздел «Детали машин»), а также могут быть полезны для студентов всех
специальностей при изучении курса «Прикладная механика».

Задания и методические рекомендации разработаны и оформлены к.т.н., доцентом
Павловым О.Ю., к.п.н., доцентом Султановым В.А. и преподавателем Вареник В.В.

Иллюстраций – 24, таблиц – 4, библиографий – 9 (наимен).

УДК 621.01 (076.5)

П12

© Павлов О.Ю., Султанов В.А., Вареник В.В. 2018

© Издательство Казанского университета, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Общие методические рекомендации	6
2 Задания к расчётно-графической работе Структурный и кинематический анализ механизма специальной техники	8
2.1 Задание 1 Структурный и кинематический анализ нецентрального кривошипно-ползунного механизма двигателя внутреннего сгорания (ДВС)	8
2.2 Задание 2 Структурный и кинематический анализ кривошипно-ползунного механизма одноцилиндрового компрессора	10
2.3 Задание 3 Структурный и кинематический анализ шарнирно-рычажного механизма насоса заправщика с регистрацией параметров	12
2.4 Задание 4 Структурный и кинематический анализ кулисного механизма досылателя специальной техники	14
3 Примеры выполнения расчётно-графической работы: Структурный и кинематический анализ механизма специальной техники	16
3.1 Пример выполнения расчётно-графической работы по заданию 1, 2	16
3.2 Пример выполнения расчётно-графической работы по заданию 3	23
3.3 Пример выполнения расчётно-графической работы по заданию 4	31
4 Задания к расчётно-графической работе: Расчёт электромеханического (ручного) привода механизма специальной техники	38
5 Задания к расчётно-графической работе: Проектирование валов редуктора электромеханического (ручного) привода и выбор подшипников	42
Список использованных источников	43

ВВЕДЕНИЕ

Поскольку дисциплина «Прикладная механика» является общепрофессиональной дисциплиной инженерного профиля, обеспечивающая подготовку специалистов широкого профиля, способных рассчитывать и проектировать детали, узлы и механизмы общего назначения, в том числе и специального назначения. Она даёт знания, вырабатывает умения и навыки, необходимые для последующего изучения профессиональных дисциплин и самостоятельного освоения новой техники.

Данное учебное пособие содержит как общетеоретические положения, так и конкретные инженерные решения, обобщающие результаты теоретического и практического опыта машиностроения.

В учебную программу дисциплины введены расчётно-графические работы, целью которых является выработка практических умений, приобретение навыков и способности владеть теоретическими знаниями для решения задач и заданий по проекторочному расчёту конструктивных элементов различной техники, а также по производству структурно-кинематического анализа механизмов с использованием Государственных стандартов в машиностроении и справочной литературы.

1 Общие методические рекомендации

По дисциплине «Прикладная механика» (разделу «Детали машин») в соответствии с учебной программой предусмотрены расчётно-графические работы «Структурный и кинематический анализ механизма специальной техники», «Расчёт электромеханического (ручного) привода механизма специальной техники» и «Проектирование валов редуктора электромеханического (ручного) привода и выбор подшипников», целью которых является закрепление теоретических положений основ теории механизмов и машин и деталей машин, а также получение практических навыков в производстве структурного и кинематического анализа и расчёте приводов механизмов, широко применяемых в специальной технике.

Каждая работа выполняется студентом самостоятельно по индивидуальному заданию, выданному преподавателем в часы самостоятельной работы. В задании указываются: тема расчётно-графической работы, целевая установка, исходные данные, схема, основные вопросы, подлежащие разработке, методические рекомендации. Задание подписывается руководителем.

Вариант задания и исходные данные выдаются студенту преподавателем в виде шифра.

Например, шифр задания «Структурный и кинематический анализ механизма специальной техники» по варианту №2 записывается в виде $\frac{020815}{АБВ}$. Это означает: задание №2, исходные данные берутся из таблицы 2; 02 – из столбца А; 08 – из столбца Б и 15 – из столбца В.

Работа, выполненная не по шифру, не засчитывается.

Содержание, определяющее решаемые в работе вопросы, имеется в каждом задании. Получив задание, каждый студент должен изучить и уяснить задание, повторить теоретические положения. Работа выполняется в последовательности содержания задания и оформляется в виде пояснительной записки на листах формата А4 (210x297) с рамкой слева 20 мм, а с остальных сторон по 5 мм.

Пояснительной записке присваивается условное обозначение в виде:

РГР, 020815 000ПЗ, где РГР – код документа; 020815 – шифр для исходных данных: 000 – свободный номер; ПЗ – пояснительная записка. Пояснительная записка в черновом варианте должна быть выполнена в рабочей тетради разборчивым почерком. После просмотра руководителем содержания и объёма выполненной работы, можно приступить к оформлению пояснительной записки в специальном бланке или на листах формата А4.

Пояснительная записка оформляется в соответствии с ГОСТ 2.106-68 и должна включать: задание, содержание, введение, основную часть, заключение, использованную литературу.

Основная часть включает разделы.

Разделы разбиваются на подразделы, пункты (например, 1.1;1.2 и т.д.).

Текст располагают следующим образом: расстояние от рамки формы до границ текста составляет в начале строк не менее 5 мм, в конце строк – не менее 3 мм; расстояние от верхней или нижней рамки формата составляет не менее 10 мм. Абзацы в тексте начинают отступом равным 15 мм.

В тексте пояснительной записки не допускаются сокращения слов, кроме установленных правилами орфографии или соответствующими стандартами. Текст выполняется аккуратным разборчивым почерком с высотой букв не менее 2,5 мм. Листы пояснительной записки нумеруются, кроме титульного листа. Ссылка на литературу записывается в виде цифры в квадратных скобках, например [1].

Вычисления следует производить в международной системе СИ, пользуясь микрокалькулятором. Точность расчётов ограничивается одной значащей цифрой после

запятой. Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Рисунки нумеруются, подписываются, а в тексте должны быть ссылки на них.

Работа должна быть выполнена в полном объеме и сдана в установленный срок. При сдаче работы студенты должны уметь дать объяснение по любому вопросу задания.

Работа считается принятой, если выполнена в соответствии с заданием, изложенными требованиями, а при сдаче студент покажет глубокие знания, как по отдельным вопросам, так и по самой работе в целом.

По принятой работе выставляется оценка.

2 Задания к расчётно-графической работе

Структурный и кинематический анализ механизма специальной техники.

2.1 Задание 1 Структурный и кинематический анализ нецентрального кривошипно-ползунного механизма двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Произвести структурный и кинематический анализ нецентрального кривошипно-ползунного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) (рисунок 1).

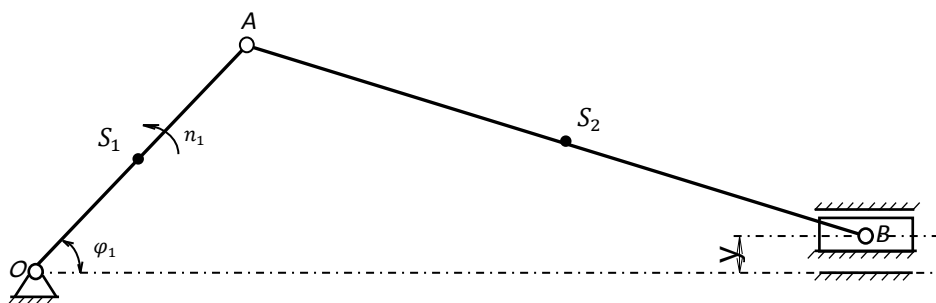


Рисунок 1 Схема нецентрального кривошипно-ползунного двигателя внутреннего сгорания

Исходные данные по варианту №__ (таблица 1).

Основные вопросы, подлежащие разработке:

1 Структурный анализ механизма.

1.1 Структурная схема и общий анализ механизма.

1.2 Определение числа звеньев, кинематических пар и их характеристика.

1.3 Определение числа степеней свободы механизма.

1.4 Анализ принципа образования механизма.

2 Кинематический анализ механизма.

2.1 Построение плана механизма в 6-8 положениях (через 45° или 60°).

2.2 Построение траектории движения центра масс шатуна (точки S_2) и характеристика траекторий движения точек A, B и S_2 .

2.3 Изображение кинематической схемы (плана механизма) в заданном положении для анализа.

2.4 Определение линейной скорости точек A, B; угловой скорости шатуна и их направления.

2.5 Определение линейного ускорения точек A, B; углового ускорения шатуна и их направления.

Методические указания:

1) кинематический анализ произвести для одного заданного положения графо-аналитическим методом;

2) центры масс звеньев S_1 и S_2 расположены посередине звеньев;

3) при построении схем механизма, планов скоростей и ускорений масштабы выбирать самостоятельно, исходя из размеров листов бумаги;

4) трение в кинематических парах не учитывать;

5) пример выполнения РГР см. с 16.

Работу представить в виде пояснительной записки, содержащей результаты расчёта и иллюстрации.

Таблица 1 – Исходные данные к заданию 1

№ п/п	φ_1 , град.	l_{OA} , м	l_{AB} , м	y , м	n_1 , об/мин.
	А		Б		В
1	30	0,25	1,0	0,20	400
2	60	0,20	0,8	0,10	500
3	90	0,25	1,0	0,10	600
4	120	0,25	0,8	0,15	700
5	150	0,10	0,5	0,05	800
6	210	0,30	1,2	0,20	900
7	240	0,08	0,40	0,05	1000
8	270	0,12	0,5	0,5	1200
9	300	0,40	1,2	0,20	1300
10	330	0,30	1,0	0,15	1400
11	360	0,25	0,8	0,10	1500
12	45	0,35	1,1	0,20	1600
13	90	0,25	0,90	0,05	1700
14	135	0,30	1,0	0,20	1800
15	180	0,35	1,0	0,15	2000
16	225	0,25	1,0	0,15	2200
17	275	0,40	1,0	0,20	2400
18	315	0,30	1,2	0,15	2600
19	360	0,25	0,60	0,10	2800
20	30	0,35	0,90	0,20	3000

2.2 Задание 2 Структурный и кинематический анализ кривошипно-ползунного механизма одноцилиндрового компрессора.

Произвести структурный и кинематический анализ кривошипно-ползунного механизма одноцилиндрового компрессора (рисунок 2).

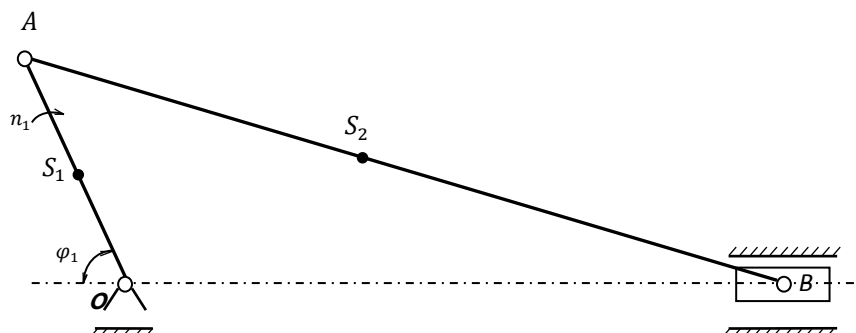


Рисунок 2 Схема кривошипно-ползунного механизма одноцилиндрового компрессора

Исходные данные по варианту №__ (таблица 2).

Основные вопросы, подлежащие разработке:

1 Структурный анализ механизма.

1.1 Структурная схема и общий анализ механизма.

1.2 Определение числа звеньев, кинематических пар и их характеристика.

1.3 Определение числа степеней свободы механизма

1.4 Анализ принципа образования механизма.

2 Кинематический анализ механизма.

2.1 Построение плана механизма в 6-8 положениях (через 45° или 60°).

2.2 Построение траектории движения центра масс шатуна (точки S_2) и характеристика траекторий движения точек A и B .

2.3 Изображение кинематической схемы (плана механизма) в заданном положении для анализа.

2.4 Определение линейной скорости точек A , B ; угловой скорости шатуна и их направления.

2.5 Определение линейного ускорения точек A , B ; угловой скорости шатуна и их направления.

Методические указания:

1) кинематический анализ произвести для одного заданного положения графо-аналитическим методом;

2) центры масс звеньев S_1 и S_2 расположены посередине звеньев;

3) при построении схем механизма, планов скоростей и ускорений масштабы выбирать самостоятельно, исходя из размеров листов бумаги;

4) трение в кинематических парах не учитывать;

5) пример выполнения РГР см. с 16.

Работу представить в виде пояснительной записки, содержащей результаты расчёта и иллюстрации.

Таблица 2 – Исходные данные к заданию 2

№ п/п	φ_1 , град.	l_{OA} , м	l_{AB} , м	l_{AS_2} , м	n_1 , об/мин.
	А		Б		В
1	30	0,25	1,0	0,5	500
2	60	0,20	1,0	0,5	600
3	90	0,25	1,0	0,5	700
4	120	0,15	0,8	0,4	800
5	150	0,1	0,5	0,25	900
6	210	0,3	1,2	0,6	1000
7	240	0,03	0,4	0,2	1200
8	270	0,12	0,5	0,25	1400
9	300	0,40	1,5	0,75	1600
10	330	0,30	1,4	0,7	1800
11	30	0,25	1,0	0,5	2000
12	60	0,25	0,8	0,4	200
13	120	0,25	1,2	0,6	400
14	150	0,25	1,0	0,5	500
15	210	0,25	1,1	0,55	600
16	240	0,25	0,8	0,4	800
17	270	0,25	1,3	0,65	1000
18	315	0,25	1,4	0,7	1100
19	45	0,4	1,8	0,9	1700
20	120	0,15	0,8	0,4	100

2.3 Задание 3 Структурный и кинематический анализ шарнирно-рычажного механизма насоса заправщика.

Произвести структурный и кинематический анализ шарнирно-рычажного насоса заправщика (рисунок 3).

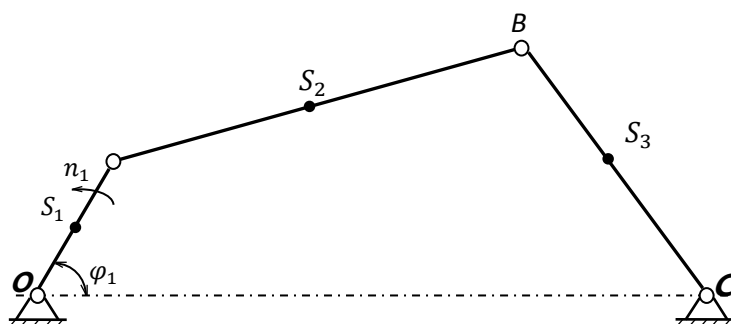


Рисунок 3 Схема шарнирно-рычажного механизма насоса заправщика

Исходные данные по варианту №__ (таблица 3).

Основные вопросы, подлежащие разработке:

1 Структурный анализ механизма.

1.1 Структурная схема и общий анализ механизма.

1.2 Определение числа звеньев, кинематических пар и их характеристика.

1.3 Определение числа степеней свободы механизма

1.4 Анализ принципа образования механизма.

2 Кинематический анализ механизма.

2.1 Построение плана механизма в 6-8 положениях (через 45° или 60°).

2.2 Построение траектории движения центра масс шатуна (точки S_2) и характеристика траекторий движения точек A, B, S_2 .

2.3 Изображение кинематической схемы (плана механизма) в заданном положении для анализа.

2.4 Определение линейной скорости точек A, B; угловой скорости шатуна, коромысла и их направления.

2.5 Определение линейного ускорения точек A, B; углового ускорения шатуна, коромысла и их направления.

Методические указания:

1) кинематический анализ произвести для одного заданного положения графо-аналитическим методом;

2) центры масс звеньев S_1 , S_2 , S_3 расположены посередине звеньев;

3) при построении схем механизма, планов скоростей и ускорений масштабы выбирать самостоятельно, исходя из размеров листов бумаги;

4) трение в кинематических парах не учитывать;

5) пример выполнения РГР см. с 23.

Работу представить в виде пояснительной записки, содержащей результаты расчёта и иллюстрации.

Таблица 3 – Исходные данные к заданию 3

№ п/п	φ_1 , град.	l_{OA} , м	l_{AB} , м	l_{OC} , м	l_{BC} , м	n_1 , об/мин.
	А		Б			В
1	30	0,25	0,8	1,0	0,7	300
2	60	0,25	1,0	1,4	0,7	400
3	90	0,25	1,0	1,4	0,7	500
4	120	0,25	0,8	1,1	0,6	600
5	150	0,25	1,2	1,5	0,6	700
6	180	0,25	1,2	1,6	0,8	800
7	225	0,25	1,2	1,7	0,8	900
8	270	0,25	1,3	1,8	0,8	1100
9	300	0,25	1,4	1,6	0,9	1200
10	330	0,25	1,4	1,8	0,9	1300
11	45	0,15	0,6	0,8	0,5	1400
12	90	0,15	0,6	0,8	0,4	1500
13	135	0,15	0,6	0,8	0,4	1600
14	225	0,20	0,8	1,1	0,6	1800
15	270	0,20	1,0	1,4	0,7	1900
16	315	0,20	0,9	1,0	0,5	2000
17	30	0,30	1,0	1,2	0,6	100
18	60	0,30	1,2	1,2	0,7	500
19	120	0,30	1,4	1,8	0,9	900
20	150	0,30	0,5	1,6	0,6	1000

2.4 Задание 4 Структурный и кинематический анализ кулисного механизма досылателя специальной техники.

Произвести структурный и кинематический анализ кулисного механизма досылателя специальной техники (рисунок 4).

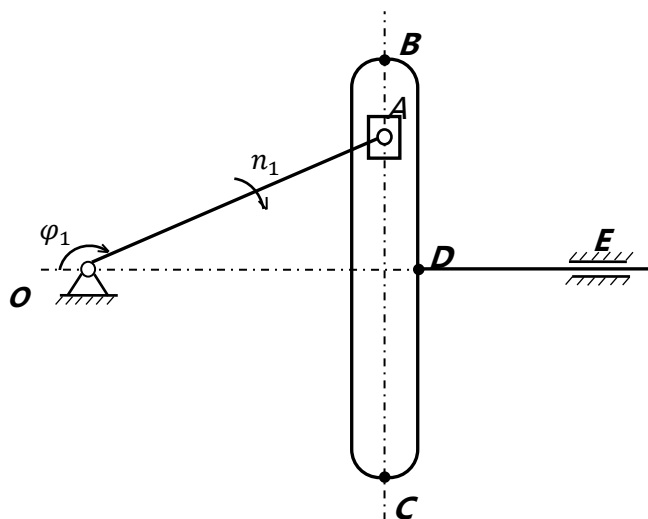


Рисунок 4 Схема кулисного механизма досылателя специальной техники

Исходные данные по варианту №__ (таблица 4).

Основные вопросы, подлежащие разработке:

1 Структурный анализ механизма.

1.1 Структурная схема и общий анализ механизма.

1.2 Определение числа звеньев, кинематических пар и их характеристика.

1.3 Определение числа степеней свободы механизма

1.4 Анализ принципа образования механизма.

2 Кинематический анализ механизма.

2.1 Построение плана механизма в 6-8 положениях (через 45° или 60°).

2.2 Построение траектории движения точек A, B, C, D и характеристика.

2.3 Изображение кинематической схемы (плана механизма) в заданном положении для анализа.

2.4 Определение линейной скорости точек A, D, линейной скорости движения кулисного камня относительно кулисы и их направления.

2.5 Определение линейного ускорения точек A, D, линейного ускорения движения кулисного камня относительно кулисы и их направления.

Методические указания:

1) кинематический анализ произвести для одного заданного положения графо-аналитическим методом;

2) при построении схем механизма, планов скоростей и ускорений масштабы выбирать самостоятельно, исходя из размеров листов бумаги;

3) трение в кинематических парах не учитывать;

4) пример выполнения РГР см. с 31.

Работу представить в виде пояснительной записки, содержащей результаты расчёта и иллюстрации.

Таблица 4 – Исходные данные к заданию 4

№ п/п	φ_1 , град.	ℓ_{OA} , м	ℓ_{BC} , м	ℓ_{DE} , м	n_1 , об/мин.
	А		Б		В
1	30	0,05	0,12	0,1	60
2	60	0,05	0,12	0,1	40
3	90	0,05	0,12	0,1	50
4	120	0,05	0,12	0,1	80
5	150	0,08	0,18	0,15	100
6	210	0,08	0,18	0,15	180
7	240	0,08	0,18	0,15	200
8	300	0,1	0,22	0,2	3200
9	330	0,1	0,22	0,2	400
10	45	0,1	0,22	0,2	4500
11	90	0,1	0,22	0,2	500
12	135	0,1	0,22	0,2	700
13	225	0,15	0,35	0,25	800
14	270	0,15	0,35	0,25	900
15	315	0,15	0,35	0,25	1000
16	120	0,15	0,35	0,25	1200
17	150	0,04	0,1	0,08	1400
18	210	0,04	0,1	0,08	1800
19	240	0,04	0,1	0,08	2000
20	270	0,04	0,1	0,08	900

3 Примеры выполнения расчётно-графической работы:

Структурный и кинематический анализ механизма специальной техники.

3.1 Пример выполнения расчётно-графической работы по заданию 1,2

Произвести структурный и кинематический анализ кривошипно-ползунного механизма по заданию 2 (структурный и кинематический анализ кривошипно-ползунного механизма по заданию 1 производится аналогично).

Исходные данные:

- начальное положение ведущего звена кривошипа $\varphi_1 = 45^\circ$;
- размеры звеньев: $l_{OA} = 0,05$ м; $l_{AB} = 0,20$ м;
- частота вращения ведущего звена $n = 765$ об/мин.

Структурные элементы расчетно-графической работы:

- введение;
- основная часть расчетно-графической работы (в соответствии с заданием);
- заключение;
- список используемых источников.

Содержание структурных элементов расчетно-графической работы

Введение

Кинематическую основу любой машины составляют механизмы, предназначенные для преобразования заданного движения входному (ведущему) звену в требуемые движения остальных звеньев, как правило, с изменением скоростей и ускорений.

Данная расчётно-графическая работа имеет целью произвести структурный и кинематический анализ кривошипно-ползунного механизма.

Основная часть расчетно-графической работы

Структурный анализ механизма

1 Структурная схема и общий анализ механизма

Структурная схема механизма, представляющая его графическое изображение, представлена на рисунок 5. На ней указаны неподвижное звено (стойка), подвижные звенья, заглавными латинскими буквами обозначены центры вращения кинематических пар, входное звено и направление его движения. Звенья на схеме обозначим арабскими цифрами 1, 2, 3, 4, начиная с входного (ведущего) звена.

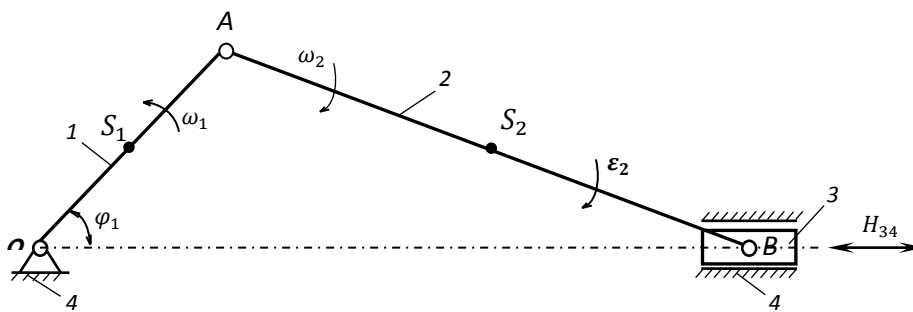


Рисунок 5 Схема кривошипно-ползунного механизма
(направление вращения ведущего звена по сравнению с заданием 2 изменено)

Данный механизм представляет плоскую замкнутую несвободную систему. При приложении внешней движущей силы к любому из звеньев, остальные звенья также двигаются, что можно использовать для решения практических задач в машине. По условиям же задания входным звеном, задающим движение, является кривошип (звено 1), которое вращается с постоянной частотой $n = 765$ об/мин.

2 Определение числа звеньев, кинематических пар и их характеристика

Данный механизм включает четыре звена:

- звено 1 – кривошип, который совершает полнооборотное вращательное движение;
- звено 2 – шатун-звено, совершающее сложное плоскопараллельное движение и образующие кинематические пары только с подвижными звеньями;
- звено 3 – ползун, совершает возвратно-поступательное движение;
- звено 4 – стойка, неподвижна.

Число подвижных звеньев $n = 3$.

Кинематические пары (КП), образуемые звеньями:

- 4 – 1 ("0") – вращательная, одноподвижная, низшая;
- 1 – 2 ("А") - вращательная, одноподвижная, низшая;
- 2 – 3 ("В") - вращательная, одноподвижная, низшая;
- 1 – 4 ("Н₃₄") - поступательная, одноподвижная, низшая.

Всего кинематических пар 4 и все КП одноподвижные, т.е. $p_1 = 4$.

Двухподвижных КП нет, т.е. $p_2 = 0$.

3 Определение числа степеней свободы механизма

Для плоского механизма

$$W = 3n - 2p_1 - 1p_2 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 - 1 \cdot 0 = 1.$$

$W = 1$ означает, что достаточно задать движение одному подвижному звену и все звенья получат движение.

4 Анализ принципа образования механизма

В состав механизма сходят две структурные группы:

а) группа начальных звеньев, состоящая из звеньев 1 и 4 с одной вращательной кинематической парой "0" (рисунок 6а).

Степень подвижности группы

$$W_1 = 3n - 2p_1 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1;$$

б) группа с нулевой степенью подвижности (группа Асура), состоящая из звеньев 2 и 3 и трёх кинематических пар "А", "В" - вращательные; "Н₃₄" - поступательная (рисунок 6б). Степень подвижности группы

$$W' = 3n - 2p_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0.$$

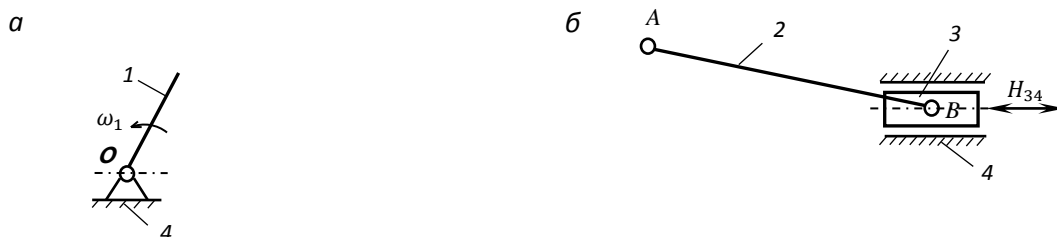


Рисунок 6 Структурные группы механизма

Таким образом, механизм образован последовательным присоединением к группе начальных звеньев с $W = 1$ одной двухповодковой группы (диады) Асура с $W = 0$ и является механизмом 1 класса 2-го порядка.

Кинематический анализ механизма

1 Построение плана механизма в 6-8 положениях (через 45° или 60°)

Исходные данные: $l_{OA} = 0,05$ м; $l_{AB} = 0,20$ м.

Из условия размещения плана на листе выбирается масштабный коэффициент длины звеньев, например, по звену OA

$$K_\ell = \frac{l_{OA}}{OA} = \frac{0,05 \text{ м}}{25 \text{ мм}} = 0,002 \frac{\text{м}}{\text{мм}},$$

где OA – длина отрезка, изображающего длину звена на плане.

С учётом $K_\ell = 0,002$ м/мм длина звена AB на плане:

$$AB = \frac{l_{AB}}{K_\ell} = \frac{0,2}{0,02} = 100 \text{ мм}.$$

В выбранном масштабе вычерчиваются планы механизма (рисунок 7).

Из точки "O" проводится окружность радиусом OA – траектория движения точки A, которая делится на 8 равных частей (через 45°), восемь положений кривошипа и горизонтальная линия – траектория движения точки "B".

Точки A нумеруются от 1 до 8 в направлении вращения. Из каждой точки $A_1 \dots A_8$ на горизонтальной линии, проведённой из точки O откладываются места положения ползуна $B_1 \dots B_8$ отсекая их дугой окружности радиусом AB. На середине каждого отрезка $A_n B_n$ откладывается точка положения центра масс шатуна $S_1 \dots S_8$. Соединение этих точек позволяет получить фигуру в виде овала, которая соответствует траектории движения центра масс шатуна S_2 .

2 Траектория движения центра масс шатуна (точки S_2) и характеристика траекторий движения точек A, B

По планам механизма (рисунок 7) получена траектория движения центра масс шатуна, которая представляет собой эллипс. Траектория движения точки "A" – окружность, точки "B" (ползуна) – прямая линия. Ползун является рабочим органом, совершает возвратно-поступательное движение из одного крайнего положения в другое (имеет две мёртвые точки).

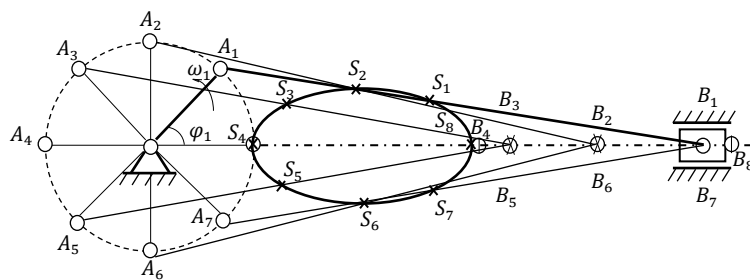


Рисунок 7 Планы положений механизма

3 Кинематическая схема механизма в заданном положении

Исходные данные: $\varphi_1 = 45^\circ$; $l_{OA} = 0,05$ м; $l_{AB} = 0,20$ м;

$n_1 = 765$ об/мин или угловая скорость вращения кривошипа

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 765}{30} = 80 \text{ рад/с}.$$

В принятом масштабе $K_l = 0,002$ м/мм кинематическая схема механизма (план механизма) при $\varphi = 45^\circ$ для анализа изображена на рисунок 8. Планы скоростей (рисунок 9) и ускорений (рисунок 10) построить на том же листе.

4 Определение линейной скорости точек А, В; угловой скорости шатуна и их направления

Линейные скорости точек v_i механизма определяются из плана скоростей, который строится из полюса плана в масштабе $K_v = \frac{v_i}{\bar{O}}$, где \bar{O} - длина отрезка в мм, изображающая скорость точки v_i на плане.

Скорость точки А: $v_A = \omega_1 \ell_{OA} = 80 * 0,05 = 4$ м/с. Вектор \vec{v}_A приложен в точке А перпендикулярно звену 1 и направлен в сторону его вращения. Принимаем масштабные коэффициент скорости $K_v = 0,1 \frac{м/с}{мм}$. На плане скорость \vec{v}_A изображается отрезком $\bar{p}_v a = \frac{v_A}{K_v} = \frac{4}{0,1} = 40$ мм, отложенным из полюса плана p_v (рисунок 9).

Скорость подвижной точки О равна нулю.

Для определения скорости точки В используем векторное уравнение

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}, \quad (1)$$

Где \vec{v}_{BA} - относительная скорость точки В при вращении вокруг точки А, направлена перпендикулярно звену ВА.

С учётом этого

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \quad (2)$$

$$\|OB \quad AO \quad BA. \quad \perp \quad \perp$$

Векторное уравнение (2) с двумя неизвестными величинами \vec{v}_B и \vec{v}_{BA} решается путём построения плана скоростей.

Построение плана скоростей производится в следующей последовательности.

Из произвольно выбранного полюса p_v (рисунок 9) откладываем отрезок $\bar{p}_v a = 40$ мм перпендикулярно звену АО, в направлении вращения. Из полюса p_v проводится направление вектора \vec{v}_B параллельно ОВ, из точки "а" (конца вектора \vec{v}_A) проводится направление вектора \vec{v}_{BA} перпендикулярно ВА до пересечения с направлением вектора \vec{v}_B . Пересечение направлений даёт точку "в" - конец векторов \vec{v}_B и \vec{v}_{BA} . Измерив по плану отрезки $\bar{p}_v b$ и \bar{ab} в мм получим:

$$v_B = K_v * \bar{p}_v b = 0,1 * 34 = 3,4 \text{ м/с};$$

$$v_{BA} = K_v * \bar{ab} = 0,1 * 29 = 2,9 \text{ м/с}.$$

Направления скоростей указаны на плане.

Величину угловой скорости шатуна определяем по формуле:

$$\omega_2 = v_{BA} / \ell_{AB} = 2,9 / 0,2 = 14,5 \text{ рад/с};$$

Для определения направления угловой скорости \vec{v}_{BA} в точку В плана механизма (рисунок 8) и укажем их направление.

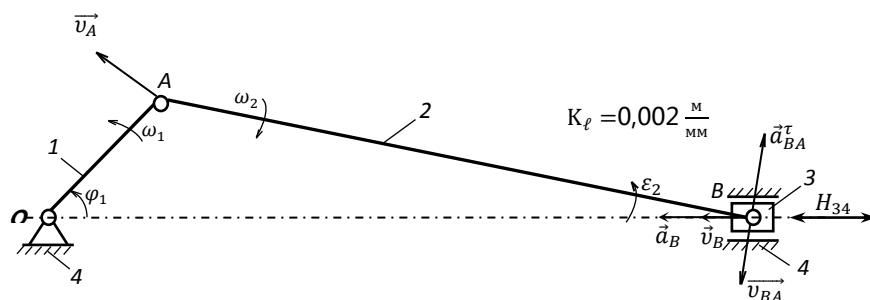


Рисунок 8 Кинематическая схема механизма

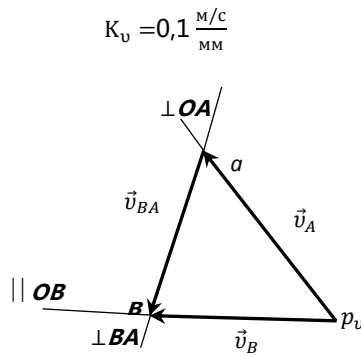


Рисунок 9 План скоростей

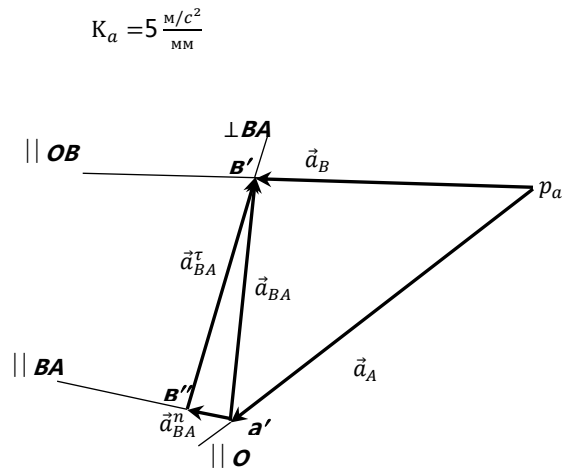


Рисунок 10 План ускорений

1 Определение линейного ускорения точек А, В; углового ускорения шатуна и их направления

Линейные ускорения характерных точек механизмов (А, В) определяются из плана ускорений, который строится в масштабе.

Так как звено 1 (ОА) вращается равномерно ($\varphi_1 = 80 \text{ рад/с} = \text{const}$), то точка А имеет только нормальное ускорение

$$a_A = a_A^n = \omega_1^2 * l_{OA} = 80^2 * 0,05 = 320 \text{ м/с}^2.$$

Принимаем масштабный коэффициент ускорения $K_a = 5 \frac{m/c^2}{mm}$.

Вектор \vec{a}_A^n приложен к точке А и направлен вдоль звена АО к центру вращения в точке О. На плане ускорений ускорение \vec{a}_A изображается отрезком

$$\overline{p_a a} = \frac{a_A}{K_a} = \frac{320}{5} = 64 \text{ мм, отложенным из полюса плана } p_a \text{ (рисунок 10).}$$

План ускорений строится по аналогии с планом скоростей, используя векторное уравнение:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA} = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^r,$$

где $\vec{a}_B \parallel OB$; $\vec{a}_A \parallel OA$; $\vec{a}_{BA}^n \parallel BA$; $\vec{a}_{BA}^r \perp BA$.

Нормальная составляющая \vec{a}_{BA}^n равна:

$$\vec{a}_{BA}^n = \omega_2^2 \ell_{AB} = 14,5^2 \cdot 0,2 = 42 \text{ м/с}^2$$

и направлена вдоль BA к центру вращения в точке A.

В масштабе $K_a = 5 \text{ (м/с}^2\text{) / мм}$ отрезок, изображающий нормальное ускорение \vec{a}_{BA}^n , на плане представлен: $\overline{a'b'} = \frac{a_{BA}^n}{K_a} = \frac{42}{5} = 8,4 \text{ мм}$.

Согласно векторному уравнению из точки B'' проводится линия действия тангенциальной составляющей относительно ускорения \vec{a}_{BA}^r перпендикулярно линии BA, а из полюса p_a - линия действия абсолютного ускорения точки B параллельно линии OB. Точка пересечения этих линий B' определяет вектор ускорения \vec{a}_B .

Измерив по плану ускорений соответствующие отрезки, получим:

$$a_B = K_a \cdot \overline{p_a b'} = 5 \cdot 46 = 230 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA}^r = K_a \cdot \overline{b'b''} = 5 \cdot 45 = 225 \text{ м/с}^2;$$

Величина углового ускорения звена 2 определяется по формуле:

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^r}{\ell_{AB}} = \frac{225}{0,2} = 1125 \text{ рад/с}^2.$$

Для определения направления углового ускорения звена 2 переносим вектор касательной составляющей ускорения a_{BA}^r в точку B плана механизма (рисунок 8) и укажем их направление.

Заключение

В результате структурно-кинематического анализа кривошипно-ползунного механизма в заданном положении $\varphi = 45^\circ$ установлено:

- 1) механизм имеет одну степень подвижности;
- 2) траекториями движения характерных точек являются: точки A (кривошипа) – окружность; точки B – прямая линия;
- 3) звено 1 (кривошип) движется равномерно - вращательно, звено 2 (шатун) совершает сложное плоскопараллельное равнозамедленное движение, звено (3) – ползун совершает возвратно-поступательное равноускоренное движение.

Данный механизм может найти применение в поршневых машинах (двигателях внутреннего сгорания, компрессорах, насосах, прессах и т.д.).

Список использованных источников

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин/ И.И.Артоболевский - М.: Наука, 1988.
2. Газимов М.М. Прикладная механика: учеб. пособие. Раздел 2. Детали машин/ М.М. Газимов О.Ю.Павлов , А.И.Саломыков - МО, 2005.
3. Теория механизмов и машин/ К.В. Фролов [и др.] - М.: Высшая школа, 1987.

3.2 Пример выполнения расчётно-графической работы по заданию 3

Произвести структурный и кинематический анализ шарнирно-рычажного механизма насоса заправщика (рисунок 7 задания).

Исходные данные:

- начальное положение ведущего звена $\varphi_1 = 135^\circ$;
- размеры звеньев $\ell_{OA} = 0,20 \text{ м}$; $\ell_{AB} = 0,60 \text{ м}$; $\ell_{BC} = 0,40 \text{ м}$; $\ell_{OC} = 0,80 \text{ м}$;
- частота вращения ведущего звена $n_1 = 760 \text{ об/мин}$.

Структурные элементы расчетно-графической работы

- введение;
- основная часть расчетно-графической работы (в соответствии с заданием);
- заключение;
- список используемых источников.

Содержание структурных элементов расчетно-графической работы

Введение

Кинематическую основу любой машины составляют механизмы, предназначенные для преобразования заданного движения входному (ведущему) звену и требуемые движения остальных звеньев, как правило, с изменением скоростей и ускорений.

Данная расчетно-графическая работа имеет целью произвести структурный и кинематический анализ шарнирно-рычажного механизма насоса заправщика.

Основная часть расчетно-графической работы

Структурный анализ механизма

1 Структурная схема и общий анализ механизма

Структурная схема механизма, представляющая его графическое изображение, представлена на рисунке 11.

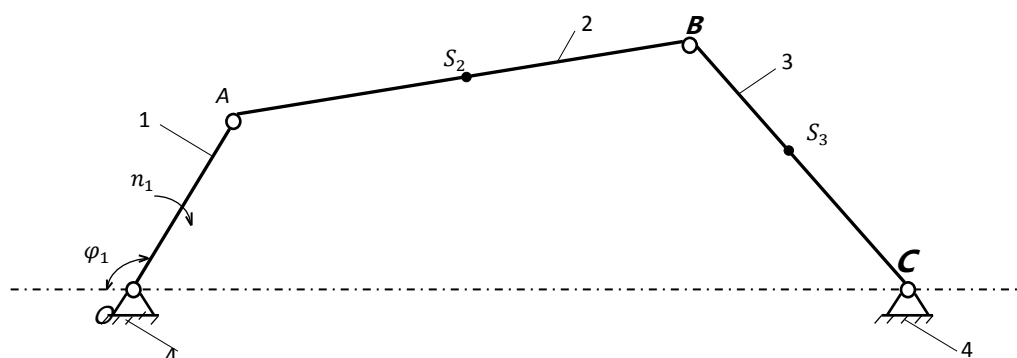


Рисунок 11 Схема шарнирно-рычажного механизма

На структурной схеме указаны: неподвижное звено (стойка) и подвижные звенья, которые обозначены арабскими цифрами 1,2,3,4; заглавными латинскими буквами O, A, B, C обозначены центры вращения кинематических пар; входное звено и направление его движения.

Данный механизм представляет плоскую замкнутую несвободную систему. Прикладывая внешнюю движущуюся силу к любому из звеньев, остальные звенья также двигаются, что можно использовать для решения практических задач механизма в машине. По условиям задания входным звеном, задающим движение, является кривошип (звено 1), которое вращается с постоянной частотой $n_1 = 760 \text{ об/мин}$.

Так как $(l_{OA} + l_{AB}) = (0,2 + 0,6) = 0,8 \text{ м}$ меньше $(l_{BC} + l_{OC}) = (0,4 + 0,8) = 1,2 \text{ м}$, то механизм кривошипно-коромысловый, в противном случае, механизм может быть двухкривошипным.

2 Определение числа звеньев, кинематических пар и их характеристика

Данный механизм включает четыре звена:

Звено 1 – кривошип, который совершает полнооборотное вращательное движение.

Звено 2 – шатун – звено, совершающее сложное плоскопараллельное движение и образующие кинематические пары только с подвижными звеньями.

Звено 3 – коромысло, совершающее возвратно-вращательные движения.

Звено 4 – стойка, неподвижное звено.

Число подвижных звеньев $n = 3$.

Кинематические пары (КП), образуемые звеньями:

4 – 1 (“О”) - вращательная, одноподвижная, низшая;

1 – 2 (“А”) - вращательная, одноподвижная, низшая;

2 – 3 (“В”) - вращательная, одноподвижная, низшая;

3 – 4 (“С”) - вращательная, одноподвижная, низшая.

Всего кинематических пар 4 и все КП одноподвижные, т.е. $p_1=4$; двухподвижных КП нет, т.е. $p_2 = 0$.

3 Определение числа степеней свободы механизма

Для плоского механизма число степеней свободы (подвижность) определяется по формуле

$$W = 3n - 2p_1 - 1p_2 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 - 1 \cdot 0 = 1.$$

$W = 1$ означает, что достаточно задать движение одному подвижному звену и все звенья получат движение.

4 Анализ принципа образования механизма

В состав механизма входят две структурные группы:

а) группа начальных звеньев, состоящая из звеньев 1 и 4 с одной вращательной кинематической парой (“О”) (рисунок 12а).

Степень подвижности группы

$$W_1 = 3n - 2p_1 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1;$$

б) группа с нулевой степенью подвижности (группа Асура), состоящая из звеньев 2 и 3 и трёх вращательных кинематических пар “А”, “В”, “С” (рисунок 12 б).

Степень подвижности группы $W' = 3n - 2p_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$.

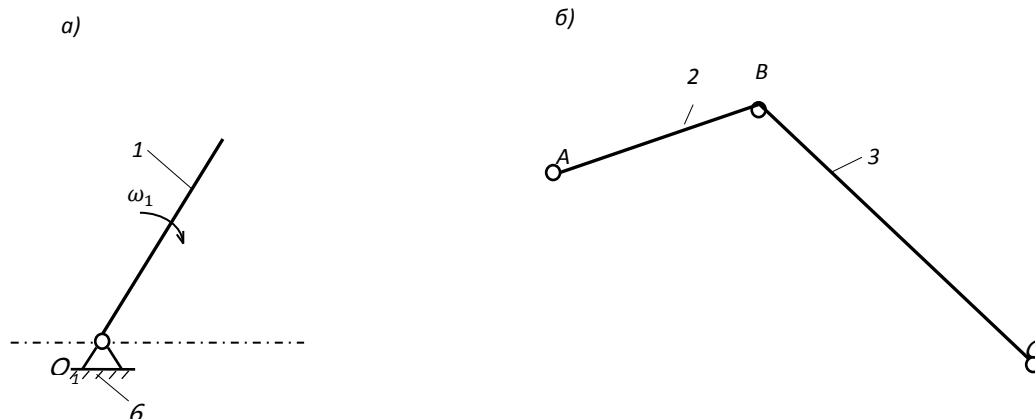


Рисунок 12 Структурные группы механизма

Таким образом, механизм образован последовательным присоединением к группе начальных звеньев с $W = 1$ одной двухповодковой группы (диады) Асура с $W=0$ и является механизмом 1-го класса 2-го порядка.

Кинематический анализ механизма

1 Построение плана механизма в 8-ми положениях (через 45°)

Исходные данные:

$$\ell_{OA} = 0,20 \text{ м}; \ell_{AB} = 0,60 \text{ м}; \ell_{BC} = 0,40 \text{ м}; \ell_{OC} = 0,80 \text{ м}.$$

Из условия размещения плана на листе выбирается масштабный коэффициент длины звеньев

$$K_\ell = \frac{\ell_i}{\text{"O"}} = 10 \frac{\text{мм}}{\text{мм}},$$

где ℓ_i - длина звена в мм;

“O” - длина отрезка, изображающего длину звена на плане.

С учётом $K_\ell = 10$ мм/мм длины звеньев на плане:

$$OA = \frac{\ell_{OA}}{K_\ell} = \frac{200}{10} = 20 \text{ мм}; AB = \frac{\ell_{AB}}{K_\ell} = \frac{600}{10} = 60 \text{ мм};$$

$$BC = \frac{\ell_{BC}}{K_\ell} = \frac{400}{10} = 40 \text{ мм}; OC = \frac{\ell_{OC}}{K_\ell} = \frac{800}{10} = 80 \text{ мм}.$$

В выбранном масштабе вычерчиваются планы механизма. По горизонтали откладывается отрезок $OC = 80$ мм и обозначается неподвижное звено точками O и C .

Из точки “O” проводится окружность радиусом $OA = 20$ мм – траектория движения точки A кривошипа, которая делится на 6-8 равных частей (через 45° или 60°). Точки A окружности нумеруются $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ и A_8 в направлении вращения от начального.

Из точки C проводится дуга окружности радиусом коромысла $CB = 40$ мм. Из каждой точки кривошипа $A_1 \dots A_8$ радиусом $AB = 60$ мм (длина шатуна) проводятся дуги окружности до пересечения с дугой окружности $CB = 40$ мм. В местах пересечения отмечаются соответствующие точки B_1, B_2 и т.д., которые соединяются отрезками A_1B_1, A_2B_2 и т.д. На середине каждого отрезка A_1B_1, A_2B_2 и т.д. отмечается точка положения центра масс шатуна. Соединение этих точек позволяет получить фигуру в виде овала, которая соответствует траектории движения центра масс шатуна S_2 .

В результате построены планы механизма в 8-ми положениях в зависимости от угла поворота кривошипа, которые представлены на рисунке 13.

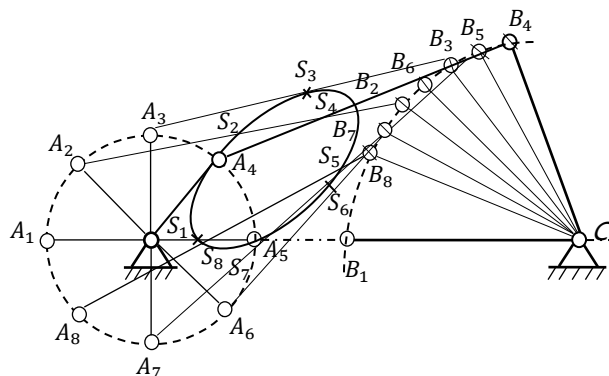


Рисунок 13 Планы механизма в 8-ми положениях

2 Траектории движения центра масс шатуна (точки S_2) и характеристика траекторий движения точек А, В, S_2

По планам механизма (рисунок 13) получена траектория движения центра масс шатуна (точки S_2), которая представляет фигуру типа «овал». Траектория движения точки «А» – окружность, точки «В» – дуга окружности.

3 Кинематическая схема механизма в заданном положении

Исходные данные: $\varphi_1 = 135^\circ$; $l_{OA} = 0,20 \text{ м}$; $l_{AB} = 0,60 \text{ м}$; $l_{BC} = 0,40 \text{ м}$; $l_{OC} = 0,80 \text{ м}$;

частота вращения кривошипа $n_1 = 760 \text{ об/мин}$ или угловая скорость вращения кривошипа:

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 * 760}{30} = 80 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

В принятом масштабе $K_l = 10 \text{ мм/мм}$ на отдельном листе изображена кинематическая схема механизма при $\varphi_1 = 135^\circ$ (рисунок 14) и под ней планы скоростей (рисунок 15) и ускорений (рисунок 16).

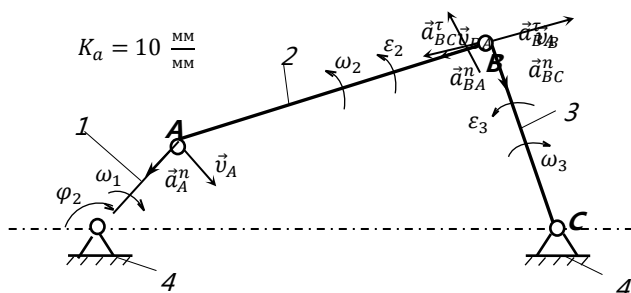


Рисунок 14 Кинематическая схема механизма

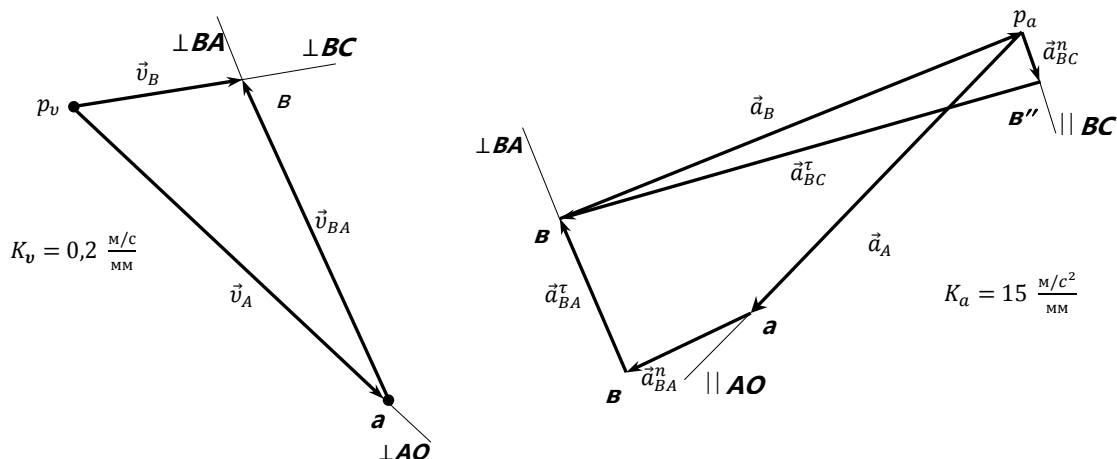


Рисунок 15 План скоростей

Рисунок 16 План ускорений

4 Определение линейной скорости точек А, В; угловой скорости шатуна, коромысла и их направления

Линейные скорости характерных точек механизма А и В и их направление определяются из плана скоростей, который строится в масштабе

$$K_v = \frac{v_i}{\overline{O''}},$$

где v_i - значение линейной скорости i -ой точки;

“ $\overline{O''}$ ” – длина отрезка в мм, изображающая скорость i -ой точки на плане.

Скорость точки А: $v_A = \omega_1 \ell_{OA} = 80 * 0,2 = 16 \text{ м/с}$.

Из условия размещения плана скоростей совместно с кинематической схемой принимаем масштабный коэффициент скорости $K_v = 0,2 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$ и обозначаем полюс плана скоростей – точка p_v (рисунок 16).

Вектор \vec{v}_A приложен в точке А перпендикулярно звену 1 и направлен в сторону его вращения. На плане скорость \vec{v}_A изображается отрезком $\overline{p_v a} = \frac{v_A}{K_v} = \frac{16}{0,2} = 80 \text{ мм}$, отложенным из полюса плана p_v (рисунок 15).

Скорости неподвижных точек О и С равны нулю, и точки О и С на плане совпадают с полюсом p_v .

Для определения скорости точки В используем векторные уравнения:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \text{ и } \vec{v}_B = \vec{v}_C + \vec{v}_{BC}, \quad (1)$$

где \vec{v}_{BA} - относительная скорость точки В при вращении вокруг точки А, направлена перпендикулярно звену ВА;

\vec{v}_{BC} - относительная скорость точки В при вращении вокруг точки С, направлена перпендикулярно звену ВС.

Так как $\vec{v}_C = 0$, то $\vec{v}_B = \vec{v}_{BC}$ приложена в точке В и направлена перпендикулярно ВС.

С учётом этого

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}. \quad (2)$$

$\perp_{BC} \perp_{AO} \perp_{BA}$.

В уравнении (2) подчёркнуто число известных параметров. Векторное уравнение (2) с двумя неизвестными величинами \vec{v}_B и \vec{v}_{BA} решается путём построения плана скоростей.

Из произвольно выбранного полюса p_v (рисунок 15) откладываем отрезок $\overline{p_v a} = 80$ мм перпендикулярно звену АО, в направлении вращения. Из полюса p_v проводится направление вектора \vec{v}_{BA} перпендикулярно ВА до пересечения с направлением вектора \vec{v}_B . Пересечение направлений даёт точку “ σ ” – конец векторов \vec{v}_B и \vec{v}_{BA} .

Измерив по плану отрезки $\overline{p_v \sigma}$ и $\overline{a\sigma}$ в мм получим:

скорость точки В $v_B = K_v * \overline{p_v \sigma} = 0,2 * 30 = 6,0 \text{ м/с}$;

относительная скорость $v_{BA} = K_v * \overline{a\sigma} = 0,2 * 70 = 14 \text{ м/с}$.

Направления скоростей указаны на плане и перенесены на схему рисунка 14.

Величины угловых скоростей звеньев определяем по формулам:

$$\omega_2 = \frac{v_{BA}}{\ell_{AB}} = \frac{14}{0,6} = 23,3 \text{ рад/с};$$

$$\omega_3 = \frac{v_B}{\ell_{BC}} = \frac{v_B}{\ell_{O_2B}} = \frac{6,0}{0,40} = 15 \text{ рад/с}.$$

Для определения направлений угловых скоростей переносим векторы относительных линейных скоростей в соответствующие точки плана механизма (рисунок 14) и укажем их направление.

5 Определение линейного ускорения точек А и В, углового ускорения звеньев и их направления

Так как звено 1 (ОА) вращается равномерно ($\omega_1 = 80 \text{ рад/с} = \text{const}$), то точка А имеет только нормальное ускорение

$$a_A = a_A^n = \omega_1^2 \cdot \ell_{O_1A} = 80^2 \cdot 0,2 = 1280 \text{ м/с}^2.$$

Линейные ускорения характерных точек механизмов А и В определяются из плана ускорений, который строится в масштабе из полюса плана p_a (рисунок 16).

$$K_a = \frac{a_i}{\overline{O''}},$$

где a_i - значение линейного ускорения м/с^2 ;

‘ $\overline{O''}$ ’ – длина отрезка в мм, изображающая ускорение на плане.

Принимаем масштабный коэффициент ускорения $K_a = 15 \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$

Вектор $\overline{a_A^n}$ приложен в точке А и направлен вдоль звена АО к центру вращения в точке О. На плане ускорений ускорение $\overline{a_A}$ изображается отрезком $\overline{p_a a} = \frac{a_A}{K_a} = \frac{1280}{15} = 85$ мм, отложенным из полюса плана p_a (рисунок 16).

План ускорений строится по аналогии с планом скоростей, используя векторные уравнения, считая, что абсолютное ускорение складывается из нормального и касательного.

Уравнения для определения ускорений $\overline{a_B}$, $\overline{a_{BA}}$, $\overline{a_{BC}}$:

$$\overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^r} \text{ и } \overline{a_B} = \overline{a_C} + \overline{a_{BC}^n} + \overline{a_{BC}^r} \quad (3)$$

Так как $a_C = 0$, то

$$\begin{aligned} \overline{a_B} &= \overline{a_{BC}^n} + \overline{a_{BC}^r} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^r} \\ \parallel BC \perp \overline{a_{BC}^n} \parallel AO \parallel \overline{a_{BA}^n} \perp \overline{a_{BA}^r} \parallel, \end{aligned} \quad (4)$$

где нормальные ускорения равны:

$$a_{BC}^n = \omega_3^2 \ell_{O_2B} = 15^2 \cdot 0,40 = 90 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA}^n = \omega_2^2 \ell_{AB} = 23,3^2 \cdot 0,6 = 326 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

В масштабе $K_a = 15 \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$ отрезки, изображающие нормальные составляющие ускорений, на плане представлены:

- ускорение $\overline{a_A}$ отрезком $\overline{p_a a} = 85$ мм;

- ускорение $\overline{a_{BC}^n}$ отрезком $\overline{p_a \epsilon^n} = a_{BC}^n / K_a = 90 / 15 = 6$ мм;

- ускорение $\overline{a_{BA}^n}$ отрезком $\overline{a \epsilon'^n} = a_{BA}^n / K_a = 326 / 15 = 22$ мм.

Направление векторов нормальных и перпендикулярных им касательных, составляющих ускорений, показаны на плане (рисунок 16).

Измерив по плану ускорений соответствующие отрезки, получим:

$$a_B = K_a \cdot \overline{p_a \epsilon} = 15 \cdot 100 = 1500 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA}^r = p_a \cdot \overline{\epsilon' \epsilon} = 15 \cdot 32 = 480 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BC}^r = K_a \cdot \overline{\epsilon'' \epsilon} = 15 \cdot 97 = 1455 \text{ м/с}^2.$$

Величины угловых ускорений звеньев определяем по формулам:

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^r}{\ell_{AB}} = \frac{480}{0,6} = 800 \text{ рад/с}^2;$$

$$\varepsilon_3 = \frac{a_{BC}^r}{\ell_{BC}} = \frac{1455}{0,4} = 3638 \text{ рад/с}^2.$$

Для определения направления угловых ускорений звеньев переносим векторы касательных составляющих ускорений в соответствующие точки плана механизма (рисунок 14) и укажем их направление.

Заключение

В результате структурно-кинематического анализа шарнирно-рычажного механизма при заданном положении кривошипа $\varphi = 135^\circ$ установлено, что механизм кривошипно-коромысловый с одной степенью подвижности, т.е. числом степеней свободы.

Траектории движения характерных точек:

- точки А – окружность,
- точки В – дуга окружности,
- точки S_2 – центра масс шатуна – овал.

Звено 1 (кривошип) совершает равномерное вращательное движение, звенья 2 (шатун) и 3 (коромысло) движутся со значительными ускорениями.

В приведённом примере шатун равноускоренно, коромысло – равнозамедленно. Данный механизм служит для преобразования вращательного движения кривошипа в возвратно-вращательное неполнооборотное движение коромысла и может быть использован для привода:

- затворов специальной техники,
- насосов различного назначения, а также в приборах с фиксацией различных параметров и других целей.

Список использованных источников

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин/ И.И.Артоболевский - М.: Наука, 1988.
2. Газимов М.М. Прикладная механика: учеб. пособие. Раздел 2. Детали машин/ М.М. Газимов, О.Ю.Павлов, А.И. Саломыков - МО, 2005.
3. Теория механизмов и машин/ К.В. Фролов [и др.] - М.: Высшая школа, 1987.

3.3 Пример выполнения расчётно-графической работы по заданию 4

Произвести структурный и кинематический анализ механизма досылателя специальной техники (рисунок 8 задания).

Исходные данные:

- начальное положение ведущего звена (кривошипа) $\varphi_1 = 60^\circ$;
- размеры звеньев $\ell_{OA} = 0,05 \text{ м}$; $\ell_{BC} = 0,12 \text{ м}$; $\ell_{DE} = 0,1 \text{ м}$;
- частота вращения ведущего звена $n_1 = 120 \text{ об/мин.}$

Структурные элементы расчётно-графической работы:

- введение;
- основная часть расчётно-графической работы (в соответствии с заданием);
- заключение;
- список использованных источников.

Содержание структурных элементов расчётно-графической работы

Введение

Кинематическую основу любой машины составляют механизмы, предназначенные для преобразования заданного движения входному (ведущему) звену в требуемые движения остальных звеньев, как правило, с изменением скоростей и ускорений.

Данная расчётно-графическая работа имеет целью произвести структурный и кинематический анализ кулисного механизма досылателя специальной техники.

Структурный анализ механизма

1 Структурная схема и общий анализ механизма

Структурная схема механизма, представляющая его графическое изображение, представлена на рисунке 17.

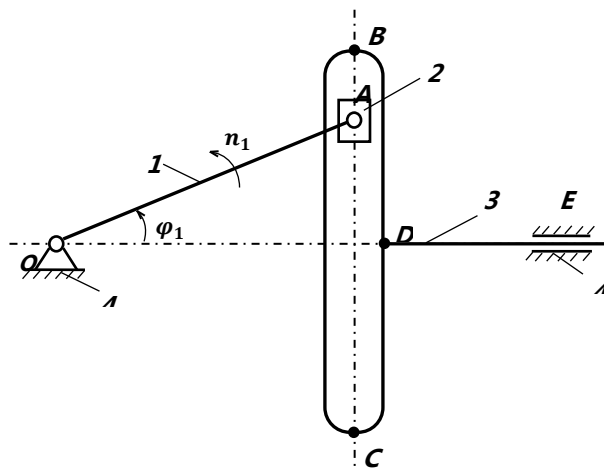


Рисунок 17 Схема кулисного механизма (направление вращения ведущего звена по сравнению с заданием изменено)

На ней указаны: неподвижное звено (стойка), подвижные звенья, заглавными латинскими буквами обозначены центры вращения кинематических пар, входное звено (кривошип) и направление его движения. Звенья на схеме обозначают арабскими цифрами 1, 2, 3, 4, начиная с входного (ведущего) звена.

Данный механизм представляет плоскую замкнутую несвободную систему. При приложении внешней движущей силы к любому подвижному звену, остальные звенья также двигаются, что можно использовать для решения практических задач в машине. По условиям же задания входным звеном, задающим движение, является кривошип (звено 1), которое вращается с постоянной частотой $n_1 = 120 \text{ об/мин}$.

2 Определение числа звеньев, кинематических пар и их характеристика

Данный механизм включает четыре звена.

Звено 1 – кривошип, который совершает полнооборотное вращательное движение.

Звено 2 – ползун (кулисный камень), который совершает возвратно-поступательное движение относительно кулисы и вращательное движение вместе с кривошипом.

Звено 3 – кулиса, которая совершает возвратно-поступательное движение в направляющей стойке.

Звено 4 – стойка, неподвижное звено.

Число подвижных звеньев – 4.

Кинематические пары (КП), образуемые звеньями:

4 – 1 ("O") – вращательная, одноподвижная, низшая;

1 – 2 ("A") – вращательная, одноподвижная, низшая;

2 – 3 ("B") – поступательная, одноподвижная, низшая;

3 – 4 ("Е") – поступательная, одноподвижная, низшая;
 Всего кинематических пар 4 и все КП одноподвижные, т.е. $p_1 = 4$. Двухподвижных пар нет, т.е. $p_2 = 0$.

3 Определение числа степеней свободы механизма

Для плоского механизма

$$W = 3n - 2p_1 - 1p_2 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 - 1 \cdot 0 = 1.$$

$W = 1$ означает, что достаточно задать движение одному подвижному звену, и все звенья получат движение.

4 Анализ принципа образования механизма

В состав механизм входят две структурные группы:

а) группа начальных звеньев, состоящая из звеньев 1 и 4 с одной вращательной кинематической парой "О" (рисунок 18а).

Степень подвижности группы:

$$W_1 = 3n - 2p_1 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1;$$

б) группа с нулевой степенью подвижности (группа Ассура), состоящая из звеньев 2 – 3 и трёх кинематических пар: двух поступательных "В" и "Е" и одной вращательной "А" (рисунок 18б). Степень подвижности группы:

$$W' = 3n - 2p_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0.$$

Таким образом, механизм образован последовательным присоединением к группе начальных звеньев с $W = 1$ одной двухповодковой группы (диады) Ассура с $W = 0$ и является механизмом 1-го класса 2-го порядка.

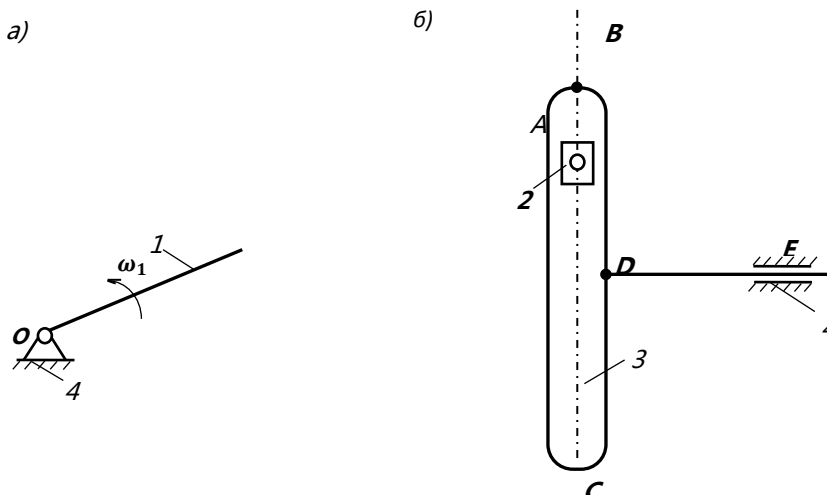


Рисунок 18 Структурные группы механизма

Кинематический анализ механизма

1 Построение плана механизма в шести-восьми положениях (через 45° или 60°) (рисунок 19)

Исходные данные:

- $\ell_{OA} = 0,05$ м;
- $\ell_{BC} = 0,12$ м;
- $\ell_{DE} = 0,1$ м.

Из условия размещения плана на листе выбирается масштабный коэффициент длины звеньев, например, по звену BC:

$$K_\ell = \frac{\ell_{BC}}{BC} = \frac{0,12 \text{ м}}{85 \text{ мм}} = 0,0014 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$$

С учётом $K_\ell = 0,0014 \text{ м/мм}$ длины звеньев на плане:

$$\overline{OA} = \frac{\ell_{OA}}{K_\ell} = \frac{0,05}{0,0014} = 36 \text{ мм};$$

$$\overline{DE} = \frac{\ell_{DE}}{K_\ell} = \frac{0,1}{0,0014} = 71 \text{ мм}.$$

В выбранном масштабе вычерчиваются планы механизма в шести положениях (через 45° или 60°). Из точки "O" проводится окружность радиусом OA – траектория движения точки "A", которая делится на 6 равных частей (через 60°) (шесть положений кривошипа) и горизонтальная линия – траектория движения точки "D".

Точки "A" нумеруются от 1 до 6 в направлении вращения. Из каждой точки $A_1 \dots A_6$ проводятся вертикальные линии, обозначающие положения кулисы, отмечаемые точками "B" и "C" и ползуна – точки "A".

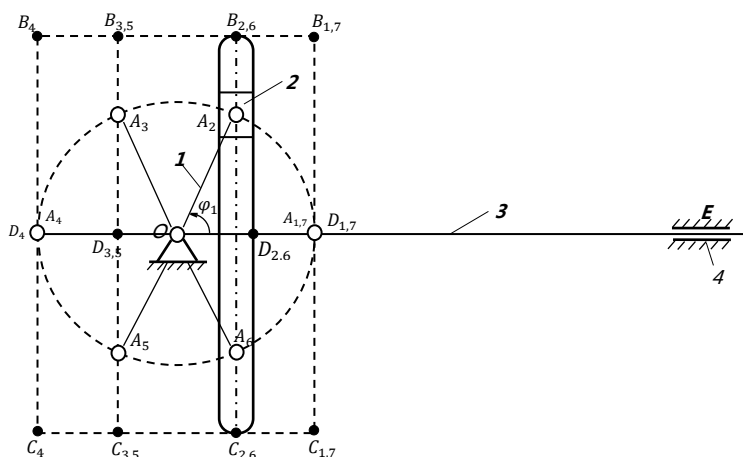


Рисунок 19 Планы положений механизма

2 Характеристика траекторий движения точек A, B, C, D

Траектория движения точки "A" (кривошип) – окружность; звено 2 (ползун) совершает поступательное движение относительно кулисы и вращательное вместе с кривошипом. Рабочий орган – кулиса, имеет две мёртвые точки, между которыми совершает возвратно-поступательное движение по прямой линии.

3 Кинематическая схема механизма в заданном положении

Исходные данные: $\varphi_1 = 60^\circ$; $\ell_{OA} = 0,05 \text{ м}$; $\ell_{BC} = 0,12 \text{ м}$; $\ell_{DE} = 0,1 \text{ м}$;
 $\omega_1 = 120 \text{ об/мин}$ или угловая скорость вращения кривошипа:

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 * 120}{30} = 12,56 \text{ рад/с}.$$

В принятом масштабе $K_\ell = 0,0014 \text{ м/мм}$ кинематическая схема механизма (план механизма) при $\varphi_1 = 60^\circ$ для анализа изображена на рисунке 20, планы скоростей (рисунок 21) и ускорений (рисунок 22) построены на том же листе.

4 Определение линейной скорости точек А, D; линейной скорости движения кулисного камня относительно кулисы и их направления

Линейные скорости характерных точек механизма (А, D) и движения кулисного камня (ползуна) определяются из плана скоростей, который строится в масштабе $K_v = \frac{v_a}{\overline{p_v a}}$, где $\overline{p_v a}$ - длина отрезка в мм, изображающая скорость v_a на плане. Скорость точки А: $v_a = \omega_1 \cdot \ell_{OA} = 12,56 \cdot 0,05 = 0,628$ м/с.

Вектор \vec{v}_a приложен в точке "А" перпендикулярно АО и направлен в сторону вращения. Скорость неподвижной точки "О" $v_o = 0$.

$$\text{Отсюда } \overline{K_v} = \frac{v_a}{\overline{p_v a}} = \frac{0,628}{60} = 0,01 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}},$$

где $\overline{p_v a} = 60$ мм принимается из условия размещения плана на листе. Для определения скоростей \vec{v}_D и \vec{v}_{AD} используется векторное уравнение:

$$\begin{aligned} \vec{v}_A &= \vec{v}_D + \vec{v}_{AD}, \\ \perp OA \parallel DE \perp OE. \end{aligned}$$

Векторное уравнение с двумя неизвестными величинами \vec{v}_D и \vec{v}_{AD} решаем путём построения плана скоростей.

Построение плана скоростей производится в следующей последовательности: из произвольно выбранного полюса (рисунок 21) откладываем отрезок $\overline{p_v a} = 60$ мм, перпендикулярно звену АО в направлении вращения. Из полюса p_v проводится направление вектора \vec{v}_D параллельно ОЕ, а из точки "а" (конца вектора \vec{v}_a) проводится направление вектора \vec{v}_{AD} перпендикулярно ОЕ до пересечения с направлением вектора \vec{v}_D .

Измерив по плану (рисунок 21) соответствующие отрезки, получим с учётом масштабного коэффициента $K_v = 0,01 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$:

$$v_D = K_v \cdot \overline{p_v d} = 0,01 \cdot 52 = 0,52 \text{ м/с}$$

$$v_{AD} = K_v \cdot \overline{a v} = 0,01 \cdot 32 = 0,32 \text{ м/с}$$

Направления скоростей указаны на плане (рисунок 20).

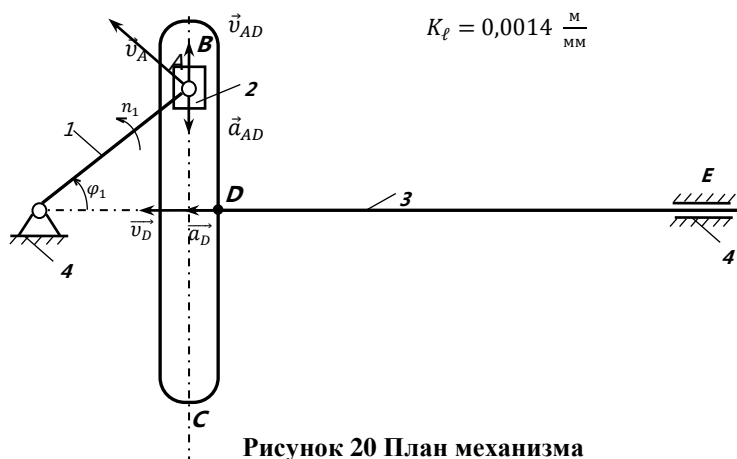


Рисунок 20 План механизма

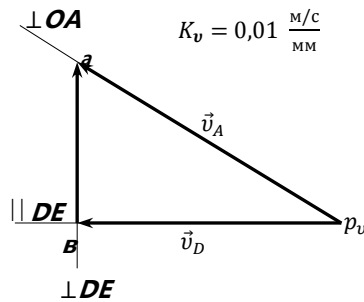


Рисунок 21 План скоростей

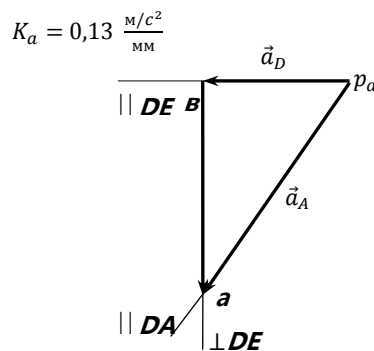


Рисунок 22 План ускорений

5 Определение линейного ускорения точек А, D

Линейные ускорения характерных точек механизма (А, D) определяются из плана ускорений, который строится в масштабе, который выбирается, исходя из ускорения \vec{a}_A . Так как звено 1 (ОА) вращается равномерно ($\omega_1 = 12,56 \text{ 1/c} = \text{const}$), то точка А имеет только нормальное ускорение $a_A = a_A^n = \omega_1^2 * \ell_{OA} = 12,56^2 * 0,05 = 7,89 \text{ м/с}^2$. Принимаем масштабный коэффициент ускорения

$$K_a = \frac{\vec{a}_A}{\overline{p_a a}} = \frac{7,89}{60} = 0,13 \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$$

при этом на плане ускорений ускорение \vec{a}_A изображается отрезком $\overline{p_a a} = 60 \text{ мм}$, отложенным из полюса плана p_a (рисунок 22) параллельно звену ОА в направлении центра вращения.

План ускорений строится по аналогии с планом скоростей, используя векторное уравнение:

$$\vec{a}_A = \vec{a}_D + \vec{a}_{DA}$$

ОЕ; \parallel ОЕ; \perp ОЕ.

Из произвольно выбранного полюса p_a (рисунок 22) откладываем отрезок $\overline{p_a a} = 60 \text{ мм}$ параллельно звену ОА в направлении к центру вращения. Из полюса p_a проводится направление вектора \vec{a}_D параллельно DE, а из точки "а" (конца вектора \vec{a}_A) проводится направление вектора \vec{a}_{AD} перпендикулярно DE до пересечения с направлением вектора \vec{a}_D . Пересечение направлений даёт точку "б". Измерив по плану (рисунок 22) соответствующие отрезки, получим с учётом масштабного коэффициента $K_a = 0,13 \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$:

$$a_D = K_a \cdot \overline{p_{a\delta}} = 0,13 \cdot 30 = 3,9 \text{ м/с}^2$$

$$a_{AD} = K_a \cdot \overline{a\delta} = 0,13 \cdot 51 = 6,6 \text{ м/с}^2$$

Направления ускорений указаны на плане.

Заключение

В результате структурно-кинематического анализа кулисного механизма в заданном положении $\varphi_1 = 60^\circ$ установлено:

- 1) механизм имеет одну степень подвижности;
- 2) траекториями движения характерных точек являются:
 - точка А (кривошипа) – окружность;
 - точки В, С, D – прямая линия;
- 3) звено 1 (кривошип) движется равномерно, вращательно; звено 2 (кулисный камень) движется поступательно относительно кулисы, равнозамедленно; звено 3 (кулиса) движется поступательно равноускоренно; звено 4 (стойка) – неподвижна.

Данный механизм может найти применение:

- в досылателях специальной техники,
- в поршневых насосах и т.д.

Список использованных источников

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин/ И.И.Артоболевский - М.: Наука, 1988.
2. Газимов М.М. Прикладная механика: учеб. пособие Раздел 2. Детали машин/ М.М.Газимов, О.Ю.Павлов, А.И.Саломыков.- МО, 2005.
3. Теория механизмов и машин/ К.В. Фролов [и др.] - М.: Высшая школа, 1987.

4 Задания к расчётно-графической работе

Расчёт электромеханического (ручного) привода механизма специальной техники

Методические рекомендации и примеры расчёта электромеханического (ручного) привода с различными типами приводятся в соответствующей литературе, указанной ниже.

Каждый студент выполняет расчётно-графическую работу самостоятельно, по индивидуальному заданию, выданному преподавателем.

В качестве исходных данных выдаются:

- мощность на выходном валу редуктора $P_{вых}$, кВт;
- частота вращения выходного вала $n_{вых}$, об/мин;
- ресурс работы $t (L_h)$, час.

При выборе материалов, различных коэффициентов пользоваться рекомендациями справочной литературы; все расчёты производить в системе СИ с соблюдением стандартных обозначений и терминологии; пояснительную записку оформлять в соответствии с требованиями ГОСТа.

ЗАДАНИЕ 1, 2

Расчёт электромеханического (ручного) привода с одноступенчатым цилиндрическим прямозубым (косозубым) редуктором.

Содержание

Введение

1. Общий расчёт привода.

1.1 Кинематическая схема и её анализ, исходные данные.

1.2 Выбор электродвигателя.

1.3 Кинематический расчёт привода.

1.4 Силовой расчёт привода.

Таблица результатов расчёта.

2. Расчёт цилиндрической прямозубой (косозубой) передачи.

2.1 Расчётная схема. Исходные данные.

2.2 Выбор материала и термической обработки колёс.

2.3 Допускаемые контактные напряжения.

2.4 Допускаемые изгибные напряжения.

2.5 Проектировочный расчёт.

2.5.1 Межосевое расстояние.

2.5.2 Предварительные основные размеры колеса.

2.5.3 Модуль передачи (зацепления).

2.5.4 Числа зубьев колёс.

2.5.5 Фактическое передаточное число.

2.5.6 Размеры колёс.

2.5.7 Силы в зацеплении.

2.5.8 Степень точности зацепления.

2.6 Проверочный расчёт зубьев колеса.

2.6.1 Проверка зубьев колеса по напряжениям изгиба зубьев.

2.6.2 Проверка зубьев колеса по контактным напряжениям. Заключение

Список использованных источников

1. Детали машин: учеб. / Л.А. Андриенко [и др.]; под ред. О.А. Ряховского. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.-520 с.
2. Газимов М.М. Прикладная механика. Раздел 2. Детали машин. : учеб. пособие/ М.М. Газимов, О.Ю. Павлов, А.И. Саломыков.- Министерство обороны РФ, 2005.-240 с.
3. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие/ П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. - М.: Издательский центр «Академия», 2003.-496 с.
- 4.Козиков Ю.А. Прикладная механика. Электромеханический привод с одноступенчатым цилиндрическим редуктором: учеб. наглядное пособие/ Ю.А. Козиков, О.Ю. Павлов – Казань: Каз. ВАКУ, 2008.-64 с.
5. Саломыков А.И. Справочные материалы для выполнения курсового проекта: учеб. наглядное пособие/ А.И. Саломыков.- Казань: Каз. ВАКУ, 2008.-52 с.

ЗАДАНИЕ 3

Расчёт электромеханического (ручного) привода с одноступенчатым коническим редуктором.

Содержание

Введение

1. Общий расчёт привода.

1.1 Кинематическая схема и её анализ, исходные данные.

1.2 Выбор электродвигателя.

1.3 Кинематический расчёт привода.

1.4 Силовой расчёт привода.

Таблица результатов расчёта.

2. Расчёт прямозубой конической передачи.

2.1 Расчётная схема. Исходные данные.

2.2 Выбор материала и термической обработки для колёс.

2.3 Допускаемые контактные напряжения.

2.4 Допускаемые изгибные напряжения.

2.5 Проектировочный расчёт конической передачи.

2.5.1 Диаметр внешней делительной окружности колеса.

2.5.2 Углы делительных конусов шестерни и колеса, конусное расстояние и ширина колёс.

2.5.3 Модуль передачи.

2.5.4 Число зубьев конических колёс.

2.5.5 Фактическое передаточное число.

2.5.6 Размеры колёс конической передачи.

2.5.7 Силы в зацеплении.

2.5.8 Степень точности зацепления.

2.6 Проверочный расчёт зубьев конического колеса.

2.6.1 Проверка зубьев конического колеса по напряжениям изгиба зубьев.

2.6.2 Проверка зубьев конического колеса по контактными напряжениям.

Заключение

Список использованных источников

1. Детали машин: учеб. / Л.А. Андриенко [и др.]; под ред. О.А. Ряховского. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.-520 с.
2. Газимов М.М. Прикладная механика. Раздел 2. Детали машин. : учеб. пособие/ М.М. Газимов, О.Ю. Павлов, А.И. Саломыков.- Министерство обороны РФ, 2005.-240 с.
3. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие/ П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. - М.: Издательский центр «Академия», 2003.-496 с.
4. Митряйкин В.И. Прикладная механика. Электромеханический привод с одноступенчатым коническим редуктором : учеб. наглядное пособие/ В.И. Митряйкин.- Казань: КВВКУ, 2009.-64 с.
5. Саломыков А.И. Справочные материалы для выполнения курсового проекта: учеб. наглядное пособие/ А.И. Саломыков.- Казань: Каз. ВАКУ, 2008.-52 с.

ЗАДАНИЕ 4

Расчёт электромеханического (ручного) привода с одноступенчатым червячным редуктором.

Содержание

Введение

1. Общий расчёт привода.
 - 1.1 Кинематическая схема и её анализ, исходные данные.
 - 1.2 Выбор электродвигателя.
 - 1.3 Кинематический расчёт привода.
 - 1.4 Силовой расчёт привода.
 - Таблица результатов расчёта.
 2. Расчёт червячной передачи.
 - 2.1 Расчётная схема. Исходные данные.
 - 2.2 Выбор материала червяка и колеса.
 - 2.3 Допускаемые контактные напряжения.
 - 2.4 Допускаемые изгибные напряжения.
 - 2.5 Проектировочный расчёт червячной передачи.
 - 2.5.1 Межосевое расстояние.
 - 2.5.2 Основные параметры передачи.
 - 2.5.3 Геометрические размеры червяка и колеса.
 - 2.5.4 КПД передачи.
 - 2.5.5 Тепловой расчёт передачи.
 - 2.5.6 Силы в зацеплении.
 - 2.5.7 Степень точности зацепления.
 - 2.6 Проверочный расчёт зубьев колеса.
 - 2.6.1 Проверка зубьев конического колеса по контактным напряжениям.
 - 2.6.2 Проверка зубьев конического колеса по напряжениям изгиба зубьев.
- #### Заключение

Список использованных источников

1. Детали машин: учеб. / Л.А. Андриенко [и др.]; под ред. О.А. Ряховского. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.-520 с.
2. Газимов М.М. Прикладная механика. Раздел 2. Детали машин. : учеб. пособие/ М.М. Газимов, О.Ю. Павлов, А.И. Саломыков.- Министерство обороны РФ, 2005.-240 с.
3. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие/ П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. - М.: Издательский центр «Академия», 2003.-496 с.
4. Здунов А.Н. Прикладная механика. Электромеханический привод с одноступенчатым червячным редуктором: учеб. наглядное пособие/ А.Н. Здунов.- Казань: Каз. ВАКУ, 2008.-64 с.
5. Саломыков А.И. Справочные материалы для выполнения курсового проекта: учеб. наглядное пособие/ А.И. Саломыков.- Казань: Каз. ВАКУ, 2008.-52 с.

5 Задания к расчётно-графической работе

Проектирование валов редуктора электромеханического (ручного) привода и выбор подшипников

Методические рекомендации и примеры проектирования валов редуктора электромеханического (ручного) привода и выбора подшипников приводятся в соответствующей литературе, указанной ниже. В качестве исходных данных принимаются результаты, полученные в расчётно-графической работе "Расчёт электромеханического (ручного) привода механизма специальной техники".

При выборе материалов, различных коэффициентов пользоваться рекомендациями справочной литературы; все расчёты производить в системе СИ с соблюдением стандартных обозначений и терминологии; пояснительную записку оформлять в соответствии с требованиями ГОСТ.

Содержание

Введение

- 1 Проектировочный расчёт входного вала.
 - 1.1 Расчётная схема. Исходные данные.
 - 1.2 Геометрические размеры вала.
- 2 Проектировочный расчёт выходного вала.
 - 2.1 Расчётная схема. Исходные данные.
 - 2.2 Геометрические размеры вала
- 3 Выбор подшипников.
- 4 Эскизная компоновка передачи.

Заключение

Список использованных источников

См. раздел 4.

Список использованных источников

1. Детали машин: учеб. / Л.А. Андриенко [и др.]; под ред. О.А. Ряховского. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.-520 с.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988.
3. Газимов М.М. Прикладная механика. Раздел 2. Детали машин. : учеб. пособие/ М.М. Газимов, О.Ю. Павлов, А.И. Саломыков.- Министерство обороны РФ, 2005.-240 с.
4. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие/ П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. - М.: Издательский центр «Академия», 2003.-496 с.
5. Здунов А.Н. Прикладная механика. Электромеханический привод с одноступенчатым червячным редуктором: учеб. наглядное пособие/ А.Н. Здунов.- Казань: Каз. ВАКУ, 2008.-64 с.
- 6.Козиков Ю.А. Прикладная механика. Электромеханический привод с одноступенчатым цилиндрическим редуктором: учеб. наглядное пособие/ Ю.А. Козиков, О.Ю. Павлов.-Казань: КазВАКУ, 2008.-64 с.
7. Митряйкин В.И. Прикладная механика. Электромеханический привод с одноступенчатым коническим редуктором : учеб. наглядное пособие/ В.И. Митряйкин.- Казань: КВВКУ, 2009.-64 с.
8. Саломыков А.И. Справочные материалы для выполнения курсового проекта: учеб. наглядное пособие/ А.И. Саломыков.- Казань: Каз. ВАКУ, 2008.-52 с.
9. Теория механизмов и машин/ К.В. Фролов [и др.].- М.: Высшая школа, 1987.
10. Детали машин: Учебник/Куклин Н. Г., Куклина Г. С., Житков В. К., 9-е изд., перераб. и доп - М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 512 с.: 60x90 1/16 ISBN 978-5-905554-84-1, 450 экз.
11. Детали машин [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инжен. ин-т; сост. Е.А. Пшенов. - Новосибирск, 2010. - 91 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=516500>
12. Прикладная механика: учебное пособие для вузов / В. Т. Батиенков [и др.] . Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2011 . 288 с
13. Тимофеев С. И. Теория механизмов и механика машин [Текст] : учебное пособие / С. И. Тимофеев .? Ростов -на-Дону : Феникс, 2011. 349 с

14. Леликов О. П. Основы расчета и проектирования деталей и узлов машин: Конспект лекций по курсу 'Детали машин': учебник для вузов / О. П. Леликов .? 2-е изд., испр .? Москва : Машиностроение, 2004 . 440 с

15. Беляев Н.М., Паршин Л.К., Мельников Б.Е., Шерстнев В.А. и др. Сборник задач по сопротивлению материалов. - М.: Лань, 2011. - 432 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=2022

16. Сопротивление материалов: Учебник / В.А. Волосухин, В.Б. Логвинов, С.И. Евтушенко. - 5-е изд. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 543 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-369-01159-1, 700 экз

17. Сопротивление материалов в примерах и задачах: Учебное пособие / Н.М. Атаров. - М.: ИНФРА-М, 2010. - 407 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-003871-1

Учебное издание

**Павлов Олег Юрьевич
Султанов Вячеслав Андреевич
Вареник Виктория Вячеславовна**

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

ДЕТАЛИ МАШИН

**Задания и методические рекомендации
к расчётно-графическим работам**