

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
"ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"**

**ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ
ПО КУРСУ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН
ДЛЯ СТУДЕНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

УТВЕРЖДЕНО
редакционно-издательским
советом университета
Протокол №4
от 19.12.2003 г.

Харьков НТУ «ХПИ» 2004

Теория механизмов и машин. Методические указания к выполнению и оформлению расчетно-графических заданий по теории механизмов и машин для студентов машиностроительных специальностей/ Сост. Н. А. Ткачук, Г. А. Кротенко, Е. И. Зинченко – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 28 с.

Составители: Н. А. Ткачук
Г. А. Кротенко
Е. И. Зинченко

Рецензент Д. О. Волонцевич

Кафедра теории механизмов, машин и роботов.

Содержание

1. Общие методические указания.....	4
2. Выполнение расчетно-графического задания.....	5
Методические указания к решению задач расчетно-графического задания.....	8
Задание 1. Структурный анализ рычажного механизма.....	8
Задание 2. Силовой расчет механизма без учета сил трения.....	9
Задание.....	10
Задание 1.....	11
1. Структурный анализ механизмов.....	11
2. Кинематическое исследование механизма.....	11
Задание 2.....	14
1. Силовой расчет механизма без учета сил трения.....	14
Приложение А. Пример работы с программой kin.exe.....	17
Приложение Б. Программа кинематического анализа плоского рычажного механизма.....	18
Приложение В. Образец графической части.....	19
Приложение Г. Задачи.....	20

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Теория механизмов и машин (ТММ) – наука об общих методах исследования механики механизмов и машин. Анализ механизмов и машин включает исследование их структуры, кинематики и динамики. При синтезе решаются задачи построения механизмов и машин по заданным кинематическим и динамическим свойствам.

Учебная работа студента машиностроительных специальностей включает: изучение теоретического материала, выполнение расчетно-графического задания и лабораторных работ, курсового проекта, сдачу зачета и экзамена.

К зачету по курсу ТММ допускаются студенты, выполнившие и сдавшие лабораторные работы, также расчетно-графическое задание (РГЗ), состоящее из двух задач. Дифференцированный зачет проставляется по результатам защиты курсового проекта сдачи лабораторных работ; после чего студент допускается к экзамену.

Список литературы

Основная

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для ВТУЗов – М: Наука, 1988 – 640 с.

2. Теория механизмов и машин: Учеб. для ВТУЗов/К.В.Фролов, С. А. Попов и др./ Под ред. К. В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987 – 496 с.

3. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин. Коренько А. С. и др. – Киев: Вища шк., 1970 – 332 с.

4. Попов С. А. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин. – М.: Высш. шк., 1986.

5. Методические указания к самостоятельной работе по проектированию и исследованию шарнирно-рычажных механизмов по дисциплине "Теория механизмов и машин" для студентов машиностроительных специальностей дневного и вечернего обучения / А. А. Грунауэр, И. Д. Долгих. – Харьков: ХПИ, 1992. – 145 с.

6. Теория механизмов и машин. \Системный подход: Учеб. пособие /А. А. Грунауэр, И. Д. Долгих.– К.:УМК ВО, 1992. – 384 с.

Дополнительная

7. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1973 – 592 с.

8. Юдин В. А., Барсов Г. А., Чупин Ю. Н.: Сборник задач по теории механизмов и машин. – М.: Высш. шк., 1982

9. Артоболевский И. И., Эдельштейн Б. В.: Сборник задач по теории механизмов и машин. – М.: Наука, 1975.

2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

2.1. Общие указания

При изучении курса студенты выполняют расчетно-графическое задание (РГЗ), которое состоит из двух задач. Эти задачи соответствуют определенному номеру задания на РГЗ и определенному варианту задания. Номер задания и номер варианта каждому студенту задает преподаватель. Образец задания приведен на странице 10 данного методического пособия. На страницах 11 – 16 – пример расчета и оформления расчетно-графического задания.

Расчетно-пояснительная записка оформляется на одной стороне листа писчей бумаги формата А4 (197×210 мм) чернилами (пастой). Расстояние между строками должно быть 8–12 мм. Страницы пояснительной записки должны иметь поля: левое (для сшивания) не менее 30 мм, правое не менее 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм. Все страницы нумеруются. Нумерация сквозная. Номер страницы ставится в правом верхнем углу листа. Уравнения и формулы записываются в общем виде, затем в них подставляются значения и приводится конечный результат. Единицы размерностей величин указываются только с конечным результатом.

Все расчеты должны быть выполнены с использованием международной системы единиц СИ.

В графическую часть РГЗ включают все построения, выполненные в масштабе, на листе формата А3, а в пояснительную записку – расчеты и пояснения, связанные с выполнением РГЗ.

2.2. Строение механизмов

При изучении строения механизмов следует обратить внимание на следующие понятия: звено механизма, кинематические пары и кинематические соединения; классификации кинематических пар; кинематическая цепь; основные виды механизмов, их особенности; число степеней подвижности; обобщенные координаты механизма; начальные (входные) звенья; общие связи кинематической цепи; структурная формула для кинематических цепей, имеющая три общие связи – формула П. Л. Чебышева; строение плоских рычажных механизмов; структурные группы Ассура и их классификация; структурная и кинематическая схемы механизма; образование рычажных механизмов методом наложения структурных групп Ассура.

Методические указания

Следует обратить внимание на то, что класс кинематической пары механизма устанавливается из рассмотрения относительного движения звеньев, образующих кинематическую пару. Важно понимать различие между числом

степеней подвижности (числом независимых движений) и числом наблюдаемых движений звеньев механизма. Необходимо знать с какой целью вводятся в рассмотрение группы Ассура.

Контрольные вопросы

1. Кинематические пары. Классификация кинематических пар.
2. Кинематическая цепь. Число степеней подвижности кинематической цепи. Структурная формула Чебышева.
3. Структура плоских рычажных механизмов. Группы Ассура и их классификация.

2.3. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов с двухзвенными группами Ассура

Постановка задачи. Последовательность ее решения. Методы кинематического анализа. Графоаналитический метод. Определение положения звеньев. Система векторных уравнений для определения скоростей и ускорений групп Ассура. Построение планов скоростей и ускорений. Теорема о подобии фигур плана скоростей (ускорений) и схемы звена. Аналитический метод кинематического анализа при помощи ЭВМ.

Методические указания

На примере простых четырехзвенных и более сложных шестизвенных механизмов следует изучить решение задачи кинематического анализа графоаналитическим методом. При построении планов положений механизма (кинематических схем) обратить внимание на заданный угол поворота кривошипа φ_1 . Положительный угол задается против часовой стрелки. Планы скоростей и ускорений необходимо строить по предварительно записанным векторным уравнениям для каждой группы Ассура, планы являются их графическим решением, причем сначала строится план скоростей (ускорений) для первой группы Ассура в порядке образования механизма, затем с тем же полюсом – планы для второй группы Ассура, если она содержится в механизме.

При аналитическом кинематическом исследовании кривошипно-ползунного механизма целесообразно воспользоваться программой, разработанной на кафедре ТММ – kin.exe.

Контрольные вопросы

1. Последовательность кинематического анализа плоского рычажного механизма с двухзвенными группами Ассура.
2. Построение плана скоростей и ускорений плоского рычажного механизма с двухзвенными группами Ассура.

2.4. Силовой анализ механизмов

При силовом анализе механизмов следует обратить внимание на следующие понятия: силы, действующие на звенья механизма; задача силового анализа (силового расчета) механизма; метод кинетостатики силового расчета; система сил инерции звена, совершающего плоские движения; статическая определимость групп Ассура; последовательность силового расчета плоского рычажного механизма с двухзвенными группами Ассура; силовой расчет структурных групп Ассура; силовой расчет начального (входного) звена; определение уравнивающего момента или уравнивающей силы на основе общего уравнивания динамики; теорема Н. Е. Жуковского.

Методические указания

Приступая к силовому расчету механизмов, следует рассмотреть виды сил, которые действуют на звенья механизма, и деление сил по их влиянию на движение, на силы движущие и силы сопротивления. Используя известный из теоретической механики принцип Даламбера, ввести в систему сил условные силы инерции. Эти силы нужно уметь находить для всех случаев плоского движения звена.

Вначале следует рассмотреть силовой расчет плоского рычажного механизма без учета сил трения. Реакции в группах Ассура необходимо определить последовательно, рассматривая группы, начиная с последней в порядке образования механизма, а затем произвести силовой расчет начального (входного) звена.

Необходимо помнить, что уравнивающий момент или уравнивающую силу можно найти как из силового расчета, используя условия равновесия, так и непосредственно применяя общее уравнение динамики. В соответствии с этим уравнением мощность уравнивающей силы или уравнивающего момента равна со знаком «-» сумме мощностей сил и моментов сил, учитываемых при силовом расчете групп Ассура. Это условие отражено теоремой Н. Е. Жуковского. Указанный второй способ определения уравнивающей силы или уравнивающего момента служит для проверки правильности силового расчета.

Контрольные вопросы

1. Силы, действующие на звенья в механизмах.
2. Система сил инерции звена, совершающего плоское движение.
3. Метод кинетостатики силового расчета механизмов.
4. Статическая определимость группы Ассура. Порядок рассмотрения структурных групп при силовом расчете.
5. Силовой расчет начального (выходного) звена.

Методические указания к решению задач расчетно-графического задания

Задание 1. Структурный и кинематический анализ рычажного механизма

Порядок решения.

1. Структурный анализ механизма.

1.1. По заданной кинематической схеме определить:

– число подвижных звеньев;

– класс кинематических пар и число кинематических пар P_i каждого класса i .

2. По формуле Чебышева определить число степеней подвижности механизма.

3. Построить структурную схему механизма и выделить группы Ассура.

4. Указать для каждой группы Ассура ее класс, порядок и номер группы в порядке образования механизма.

Кинематический анализ рычажного механизма графоаналитическим методом.

1. Начертить на листе формата А3 кинематическую схему рычажного механизма при заданном положении кривошипа (φ_1) в выбранном масштабе μ_l , м/мм. $\mu_l = l_{OA}/|OA|$, где $|OA|$ – длина отрезка, изображающего кривошип на плане положений.

2. Построить план скоростей механизма при заданной его конфигурации в масштабе μ_v , м/(с·мм).

3. Определить угловые скорости ω_i ($i = 2, 3 \dots$) звеньев и указать направление этих угловых скоростей на кинематической схеме.

4. Построить план ускорений механизма для заданной его конфигурации в масштабе μ_a , м/(с²·мм).

5. Определить угловые ускорения звеньев и показать их направления на кинематической схеме.

При выборе масштаба длин, как и всех используемых в задании масштабов, необходимо руководствоваться следующим: дробные масштабы должны содержать одну значащую цифру, например $\mu_l = 0,001$ м/мм; $\mu_l = 0,05$ м/(с·мм); $\mu_v = 0,01$ м/(с·мм).

6. Результаты расчетов (скорости и ускорения всех шарнирных точек, а также центров масс звеньев, угловые скорости и угловые ускорения звеньев) провести в пояснительной записке. Там же указать значения этих же величин, найденные в результате расчета на ЭВМ, и привести погрешности расчетов (в процентах) которые не должны превышать 5 %.

7. Воспользоваться программой кинематического исследования механизма на ЭВМ kin. exe и рассчитать координаты, определяющие положение выходного звена, его скорости и ускорения, а также угловые скорости и угловые ускорения четвертого звена для 24 положений кривошипа. Программу и результаты расчетов привести в приложении к пояснительной записке.

Задание 2. Силовой расчет механизма без учета сил трения

Порядок решения.

1. Произвести силовой расчет групп Ассура и силовой расчет начального звена, полагая, что начальное звено I связано с валом двигателя посредством муфты.

При силовом расчете учесть силу производственного сопротивления $P_{ПС}$, силы тяжести, силы и моменты сил инерции тех звеньев, массы которых заданы. Считать, что центр масс ползуна, который образует шарнирное соединение с одним из звеньев механизма, совпадает с центром шарнира. Для звеньев, которые образуют не менее двух шарниров с другими звеньями и где обозначена точка S_i – центр масс звена i – считать, что эта точка делит соответствующий отрезок между двумя шарнирами пополам.

2. Силами, значения которых составляют менее 2 % от наибольшей, при расчете пренебречь. Все силы, учитываемые в силовом расчете, а также моменты сил, показать на кинематической схеме, которая использовалась в задании 1. Планы сил построить в масштабе μ_p , Н/мм, на том же листе.

3. Проверить правильность определения уравновешивающего момента ($M_{ур}$), найденного из силового расчета начального звена. С этой целью определить также уравновешивающий момент ($M_{ур}^*$), пользуясь общим уравнением динамики, в соответствии с которым мощность уравновешивающего момента $M_{ур}^*$ равна со знаком минус сумме мощностей сил и моментов, учитываемых в силовом расчете групп Ассура (реакции в кинематических парах в выражении для указанной суммы не входят).

Силовой расчет считается правильным, если погрешность

$$\Delta = \left| \frac{M_{ур} - M_{ур}^*}{M_{ур}^*} \right| \cdot 100\% \leq 10\% .$$

Ниже приведен пример расчета и оформления варианта расчетно-графического задания.

ЗАДАНИЕ № 21

Студент Иванов гр. МТ-16А

1. Выполнить структурный анализ механизма.
2. Для заданного положения механизма ($\varphi_1 = 135^\circ$) построить планы скоростей и ускорений.
3. Составить программу кинематического исследования механизма на ЭВМ для 25 положений кривошипа и вывести таблицы координат, скоростей и ускорений выходного звена 5, а также угловых скоростей и ускорений звена 4.
4. Для заданного положения произвести силовой расчет механизма.

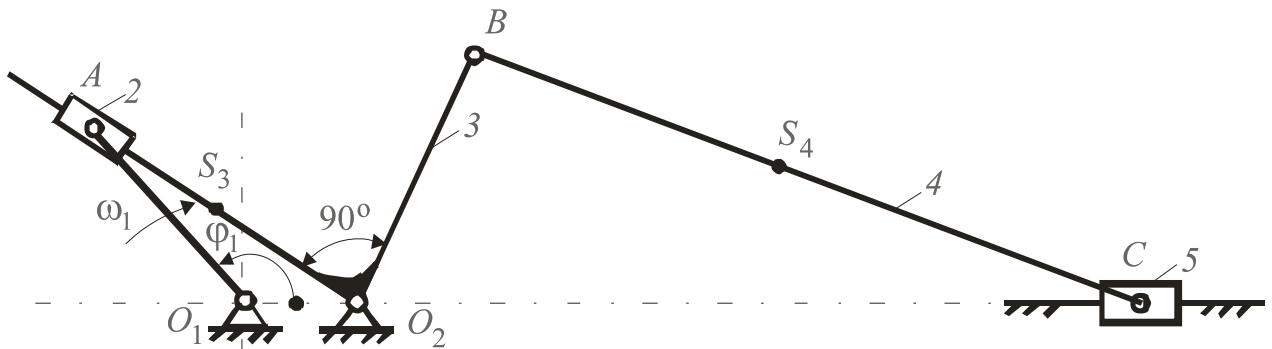


Рисунок 1

$$l_{O_1A} = 0,06 \text{ м};$$

$$l_{O_1O_2} = 0,03 \text{ м};$$

$$l_{O_2B} = 0,07 \text{ м};$$

$$l_{BC} = 0,2 \text{ м};$$

$$l_{O_2S_3} = 0,04 \text{ м};$$

$$l_{BS_4} = 0,1 \text{ м};$$

$$n_1 = 90 \text{ об/м};$$

$$P_{nc} = 600 \text{ Н}.$$

$$m_2 = 1,2 \text{ кг};$$

$$m_3 = 5,7 \text{ кг};$$

$$m_4 = 6 \text{ кг};$$

$$m_5 = 36 \text{ кг};$$

$$I_{S_2} = 0,0001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{S_3} = 0,017 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{S_4} = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Задание 1

1. Структурный анализ механизма

Число подвижных звеньев механизма $n = 5$. Кинематические пары V класса $p_5 = 7$, $p_4 = 0$. По формуле Чебышева степень подвижности механизма $W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1$.

Структурная схема механизма имеет вид (рис. 2):

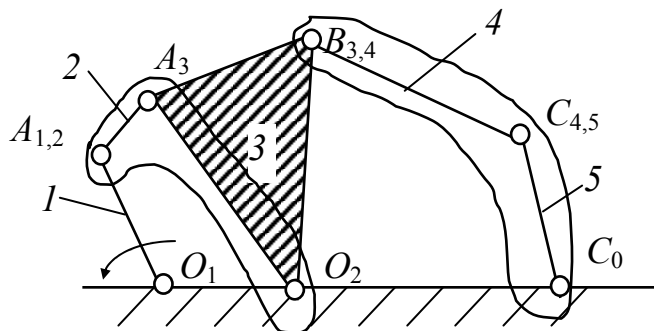


Рисунок 2

Выделим структурные группы. В порядке присоединения к ведущему звену I это будут: 1) звенья 2–3 — 1-я; 2) звенья 4–5 — 2-я группы 2 класса и 2 порядка.

2 Кинематическое исследование механизма

2.1 Для построения кинематической схемы механизма при заданном положении кривошипа ($\varphi_1 = 135^\circ$) принимаем масштаб длин $\mu_l = 0,002$ м/мм. Вычисляем длины отрезков, изображающих звенья на чертеже:

$$\begin{aligned} (O_1A) &= \frac{l_{O_1A}}{\mu_l} = \frac{0,06}{0,002} = 30 \text{ мм}; & (O_2B) &= \frac{l_{O_2B}}{\mu_l} = \frac{0,07}{0,002} = 35 \text{ мм}; \\ (O_1O_2) &= \frac{l_{O_1O_2}}{\mu_l} = \frac{0,03}{0,002} = 15 \text{ мм}; & (BC) &= \frac{l_{BC}}{\mu_l} = \frac{0,2}{0,002} = 100 \text{ мм}. \end{aligned}$$

2.2 Построение планов скоростей.

Рассмотрим группу Ассур 2–3 и запишем векторные уравнения для определения скорости точки A_3 .

$$\begin{cases} \vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{A_2} + \vec{V}_{3-2}, \\ \vec{V}_{A_3} = \vec{V}_{O_2} + \vec{V}_{A_3O_2}, \end{cases} \quad (1)$$

где $V_{O_2} = 0$ и $V_{A_2} = V_{A_1} = \omega_1 l_{O_1 A} = \frac{\pi n_1}{30} l_{AO_1} = \frac{\pi \cdot 90}{30} \cdot 0,06 \cong 0,56$ м/с. Строим план скоростей для этой группы, графически решая систему (1). Принимаем масштаб плана скоростей $\mu_V = 0,01$ м/с · мм. В результате получаем $V_{A_3} = (pa_3) \cdot \mu_V = 54 \cdot 0,01 = 0,54$ м/с. Определяем скорость точки B , построив на плане скоростей треугольник a_3pb подобный треугольнику AO_2B ; при этом $(pb) = (pa_3) \cdot \frac{O_2B}{O_2A} = 54 \cdot \frac{35}{42} = 45$ мм, $V_B = (pb) \cdot \mu_V = 45 \cdot 0,01 = 0,45$ м/с.

Рассмотрим группу Ассура 4 – 5 и запишем векторные уравнения для определения скорости точки $C_{4,5}$.

$$\begin{cases} \vec{V}_{C_{4,5}} = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB}, \\ \vec{V}_{C_{4,5}} = \vec{V}_{C_0} + \vec{V}_{5-0}. \end{cases} \quad (2)$$

Решаем систему (2), достраивая план скоростей. В результате получаем:

$$\begin{aligned} V_{C_{4,5}} &= (p_{C_{4,5}}) \cdot \mu_V = 46 \cdot 0,01 = 0,46 \text{ м/с;} \\ \omega_2 = \omega_3 &= \frac{V_{A_3 O_2}}{l_{A_3 O_2}} = \frac{V_{A_3}}{(AO_2) \cdot \mu_l} = \frac{0,54}{42 \cdot 0,002} = 6,43 \text{ 1/с;} \\ \omega_4 &= \frac{V_{CB}}{l_{CB}} = \frac{(bc_{4,5}) \cdot \mu_V}{l_{CB}} = \frac{24 \cdot 0,01}{0,2} = 1,2 \text{ 1/с.} \end{aligned}$$

Направления угловых скоростей звеньев показаны на кинематической схеме механизма.

Используя свойство подобия, показываем на плане скоростей точки s_3 и s_4 $V_{S_3} = (ps_3) \cdot \mu_V = 25,5 \cdot 0,01 = 2,55$ м/с; $V_{S_4} = (ps_4) \cdot \mu_V = 44 \cdot 0,01 = 4,4$ м/с.

2.3 Построение плана ускорений.

Рассмотрим группу Ассура 2 – 3 и запишем векторные уравнения для определения ускорения точки A_3 .

$$\begin{cases} \vec{a}_{A_3} = \vec{a}_{A_2} + \vec{a}_{3-2}^{\text{кор}} + \vec{a}_{3-2}^{\text{отн}}, \\ \vec{a}_{A_3} = \vec{a}_{O_2} + \vec{a}_{A_3 O_2}^n + \vec{a}_{A_3 O_2}^{\tau}, \end{cases} \quad (3)$$

где $a_{O_2} = 0$ и $a_{A_2} = a_{A_1} = \omega_1^2 \cdot l_{O_1 A} = 9,42^2 \cdot 0,06 = 5,32$ м/с².

$$a_{A_3O_2}^n = \omega_2^2 \cdot l_{AO_2} = 6,43^2 \cdot 0,084 = 3,47 \text{ м/с}^2 ;$$

$$a_{3-2}^{\text{кор}} = 2V_{3-2}\omega_3 = 2 \cdot 0,15 \cdot 6,43 = 1,93 \text{ м/с}^2 .$$

Строим план ускорений для этой группы, графически решая систему (3).

Принимаем масштаб плана ускорений $\mu_a = 0,1 \text{ м/с}^2 \cdot \text{мм}$

В результате получаем $a_{A_3} = (\pi a_3) \cdot \mu_a = 35 \cdot 0,1 = 3,5 \text{ м/с}^2$. Точку b на плане ускорений строим исходя из свойств подобия.

Рассмотрим группу Ассура 4–5 и запишем векторные уравнения для определения ускорения точки $C_{4,5}$.

$$\begin{cases} \vec{a}_{C_{4,5}} = \vec{a}_{C_0} + \vec{a}_{5-0}^{\text{кор}} + \vec{a}_{5-0}^{\text{отн}}, \\ \vec{a}_{C_{4,5}} = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^\tau. \end{cases} \quad (4)$$

где $a_{C_0} = 0$; $a_{CB}^n = \omega_4^2 \cdot l_{CB} = 1,2^2 \cdot 0,2 = 0,288 \text{ м/с}^2$; $a_{5-0}^{\text{кор}} = 0$. Решаем систему (4), достраивая план ускорений.

В результате получаем:

$$a_{C_{4,5}} = (\pi c_{4,5}) \cdot \mu_a = 5,5 \cdot 0,1 = 0,55 \text{ м/с}^2 ;$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \frac{a_{A_3O_2}^\tau}{l_{A_3O_2}} = \frac{(n_{AO_2} a_3) \cdot \mu_a}{(O_2A) \cdot \mu_l} = \frac{6,5 \cdot 0,1}{42 \cdot 0,002} = 7,74 \text{ 1/с}^2 ;$$

$$\varepsilon_4 = \frac{a_{CB}^\tau}{l_{CB}} = \frac{(n_{CBC_{4,5}}) \cdot \mu_a}{l_{CB}} = \frac{28 \cdot 0,1}{0,2} = 14 \text{ 1/с}^2 .$$

Направление угловых ускорений звеньев показаны на кинематической схеме механизма.

Используя свойство подобия, показываем на плане ускорений точки s_3 и s_4 :

$$a_{s_3} = (\pi s_3) \cdot \mu_a = 12 \cdot 0,1 = 1,2 \text{ м/с}^2 ; a_{s_4} = (\pi s_4) \cdot \mu_a = 16 \cdot 0,1 = 1,6 \text{ м/с}^2 .$$

Планы скоростей и ускорений приведены в прил. В.

2.4 Кинематическое исследование механизма при помощи ЭВМ.

Программа кинематического исследования механизма, написанная на языке ПАСКАЛЬ, и результаты расчета для 25 положений механизма приведены в прил. А и Б. В таблице приведены координаты выходного звена 5, его скорости и ускорения, а также угловые скорости и угловые ускорения звена 4.

Определяем расхождение результатов расчетов, полученных графоаналитическим методом и при помощи ЭВМ:

$$\Delta_{V_{C_{4,5}}} = \left| \frac{V_{C_{4,5}}^* - V_{C_{4,5}}}{V_{C_{4,5}}^*} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{0,467 - 0,46}{0,467} \right| \cdot 100 = 1,5\%;$$

$$\Delta_{a_{C_{4,5}}} = \left| \frac{a_{C_{4,5}}^* - a_{C_{4,5}}}{a_{C_{4,5}}^*} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{0,557 - 0,55}{0,557} \right| \cdot 100 = 1,2\%;$$

$$\Delta_{\omega_4} = \left| \frac{\omega_4^* - \omega_4}{\omega_4^*} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{1,21 - 1,2}{1,21} \right| \cdot 100 = 0,8\%;$$

$$\Delta_{\varepsilon_4} = \left| \frac{\varepsilon_4^* - \varepsilon_4}{\varepsilon_4^*} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{14,1 - 14}{14,1} \right| \cdot 100 = 0,7\%.$$

где $V_{C_{4,5}}^*$, $a_{C_{4,5}}^*$, ω_4^* , ε_4^* — значения величин, найденные при помощи ЭВМ.

Задание 2

1 Силовой расчет механизма без учета сил трения

1.1 Определим силы веса, модуль сил инерции и моментов пар сил инерции звеньев механизма:

– силы тяжести:

$$G_2 = m_2 \cdot g = 1,2 \cdot 9,81 = 11,77 \text{ Н}; \quad G_3 = m_3 \cdot g = 5,7 \cdot 9,81 = 55,92 \text{ Н};$$

$$G_4 = m_4 \cdot g = 6 \cdot 9,81 = 58,86 \text{ Н}; \quad G_5 = m_5 \cdot g = 36 \cdot 9,81 = 353,16 \text{ Н},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

– силы инерции:

$$P_{И2} = m_2 \cdot a_{A_2} = 1,2 \cdot 5,32 = 6,38 \text{ Н}; \quad P_{И3} = m_3 \cdot a_{S_3} = 5,7 \cdot 1,2 = 6,84 \text{ Н};$$

$$P_{И4} = m_4 \cdot a_{S_4} = 6 \cdot 1,6 = 9,6 \text{ Н}; \quad P_{И5} = m_5 \cdot a_{C_{4,5}} = 36 \cdot 0,55 = 19,8 \text{ Н},$$

– моменты пар сил инерции:

$$M_{И2} = I_{S_2} \cdot \varepsilon_2 = 0,0001 \cdot 7,74 = 0,00077 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{И3} = I_{S_3} \cdot \varepsilon_3 = 0,017 \cdot 7,74 = 0,13 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{И4} = I_{S_4} \cdot \varepsilon_4 = 0,02 \cdot 14 = 0,28 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сила производственного сопротивления $P_{пс} = 600 \text{ Н}$ – задана.

Направления сил и моментов пар сил инерции показаны на чертеже.

Определим 2% от наибольшей силы: $0,02 \cdot 600 = 12 \text{ Н}$.

Силами, которые меньше 12 Н пренебрегаем. Это силы: G_2 , $P_{И2}$, $P_{И3}$, $P_{И4}$.

1.2 Силовой расчет проводим по группам Ассура, начиная с группы 4–5. Показываем на чертеже все силы, приложенные к звеньям группы. Рассматри-

вая равновесие сил, приложенных к звену 4, определяем реакцию R_{43}^τ из условия $\sum m_c(F_i) = 0$.

$$R_{43}^\tau(CB) \cdot \mu_l + G_4 h_{G_4} \mu_l - M_{И4} = 0.$$

$$R_{43}^\tau = \frac{-G_4 h_{G_4} \mu_l + M_{И4}}{(CB) \cdot \mu_l} = \frac{-58,86 \cdot 48 \cdot 0,002 + 0,28}{100 \cdot 0,002} = -26,85 \text{ Н.}$$

Рассматривая равновесие сил, приложенных ко всей группе, определяем реакции R_{43}^n и R_{50} из условия $\sum \vec{F}_i = 0$.

$$\vec{R}_{43}^n + \vec{R}_{43}^\tau + \vec{G}_4 + \vec{G}_5 + \vec{P}_{И5} + \vec{P}_{пс} + \vec{R}_{50} = 0. \quad (5)$$

Эти реакции определяются при решении векторного уравнения (5) путем построения плана сил. План сил строим в масштабе $\mu_p = 6 \text{ Н/мм}$.

$$R_{43}^n = 97 \cdot 6 = 582 \text{ Н}; \quad R_{50} = 93 \cdot 6 = 558 \text{ Н}; \quad R_{43} = 97,5 \cdot 6 = 585 \text{ Н.}$$

Рассматривая равновесие сил, приложенных к звену 5, определяем внутреннюю реакцию $\vec{R}_{54} = -\vec{R}_{45}$ из условия $\sum \vec{F}_i = 0$.

$$\vec{R}_{54} + \vec{P}_{И5} + \vec{G}_5 + \vec{P}_{пс} + \vec{R}_{50} = 0.$$

Векторное уравнение решаем графически путем построения плана сил.

$$R_{54} = 101 \cdot \mu_p = 101 \cdot 6 = 606 \text{ Н.}$$

Показываем на чертеже все силы, приложенные к звеньям группы 2–3. Рассматривая равновесие сил, приложенных сначала к звену 2, а затем – к звену 3 определим R_{21}^τ и R_{30}^n .

R_{21}^τ определяем из условия $\sum F_{i\tau} = 0$: $R_{21}^\tau - G_2 \cos(\beta) + P_{И2} \cos(\alpha) = 0$, так как силами G_2 и $P_{И2}$ пренебрегаем, то получим $R_{21}^\tau = 0$.

R_{30}^n определяем из условия $\sum m_A(F_i) = 0$:

$$R_{30}^n(AO_2) \cdot \mu_l + R_{34} h_{R_{34}} \mu_l + M_{И3} + M_{И2} - G_3 h_{G_3} \mu_l = 0;$$

$$R_{30}^n = \frac{-R_{34} h_{R_{34}} \mu_l - M_{И3} - M_{И2} + G_3 h_{G_3} \mu_l}{(AO_2) \cdot \mu_l}$$

$$= \frac{-585 \cdot 22 \cdot 0,002 - 0,13 - 0,00077 + 55,92 \cdot 18 \cdot 0,002}{42 \cdot 0,002} = -284 \text{ Н.}$$

Рассматривая равновесие сил, приложенных к звеньям группы, определяем R_{30}^τ и R_{21}^n из условия $\sum \vec{F}_i = 0$:

$$\vec{R}_{21}^n + \vec{G}_3 + \vec{R}_{34} + \vec{R}_{30}^n + \vec{R}_{30}^\tau = 0. \quad (6)$$

Эти реакции определяют при решении векторного уравнения (6) путем построения плана сил. Масштаб $\mu_p = 6$ Н/мм. Получаем:

$$R_{21}^n = 84 \cdot 6 = 504 \text{ Н}; \quad R_{21} = R_{21}^n = 504 \text{ Н}; \\ R_{30}^\tau = 87,5 \cdot 6 = 525 \text{ Н}; \quad R_{30} = 99 \cdot 6 = 594 \text{ Н}.$$

Рассматривая равновесие сил, приложенных к звену 2, определяем внутреннюю реакцию группы $\vec{R}_{23} = -\vec{R}_{32}$ из условия $\sum \vec{F}_i = 0$. $\vec{R}_{21}^n + \vec{R}_{23} = 0$, откуда $\vec{R}_{23} = -\vec{R}_{21}^n$; $R_{23} = 504$ Н.

1.3 Силовой расчет начального (ведущего) звена 1.

Рассматриваем равновесие сил: приложенных к звену 1. Определяем реакцию в шарнире O_1 из условия: $\sum \vec{F}_i = 0$, $\vec{R}_{12} + \vec{R}_{10} = 0$; $\vec{R}_{10} = -\vec{R}_{12}$; $R_{10} = 504$ Н.

Определяем уравновешивающий момент из условия $\sum m_{O_1}(F_i) = 0$:

$$M_{yp} + R_{12} h_{R_{12}} \mu_l = 0; \quad M_{yp} = -R_{12} h_{R_{12}} \mu_l = -504 \cdot 29,5 \cdot 0,002 = -29,74 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Графическая часть силового расчета приведена в прил. В.

Определяем уравновешивающий момент M_{yp}^* другим способом из условия равенства нулю суммы мощностей всех активных сил и сил инерции:

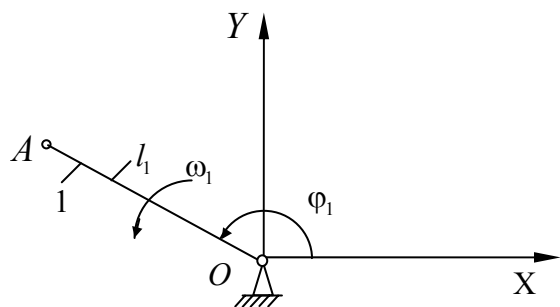
$$M_{yp}^* = -\frac{1}{\omega_1} [G_3 V_{S_3} \cos(G_3 \hat{V}_{S_3}) - M_{и3} \omega_3 - M_{и2} \omega_2 - M_{и4} \omega_4 + G_4 V_{S_4} \cos(G_4 \hat{V}_{S_4}) + \\ + G_5 V_{C_{4,5}} (G_5 \hat{V}_{C_{4,5}}) + P_{и5} V_{C_{4,5}} \cos(P_{и5} \hat{V}_{C_{4,5}}) + P_{пс} V_{C_{4,5}} \cos(P_{пс} \hat{V}_{C_{4,5}})] = \\ = -\frac{1}{9,42} [55,92 \cdot 2,55 \cos(149^\circ) - 0,00077 \cdot 6,43 - 0,13 \cdot 6,43 - 0,28 \cdot 1,2 + \\ + 58,86 \cdot 4,4 \cos(69^\circ) + 353,16 \cdot 0,46 \cos(90^\circ) + \\ + 19,8 \cdot 0,46 \cos(0^\circ) + 600 \cdot 0,46 \cos(180^\circ)] = 31,68 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Погрешность силового расчета:

$$\Delta M_{yp} = \left| \frac{M_{yp}^* - M_{yp}}{M_{yp}^*} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{31,68 - 29,74}{31,68} \right| \cdot 100\% = 6\%.$$

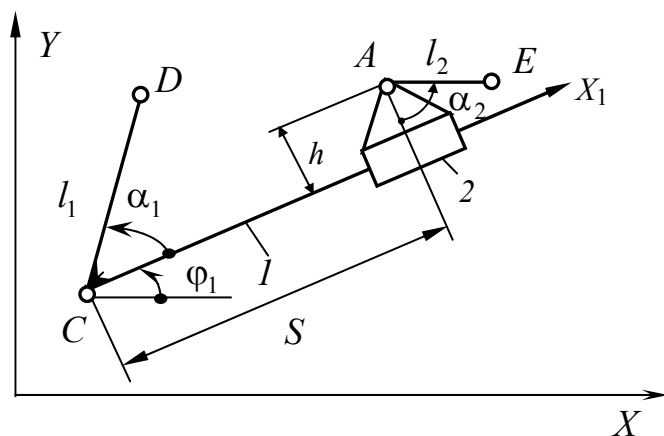
Приложение А

Пример работы с программой kin.exe



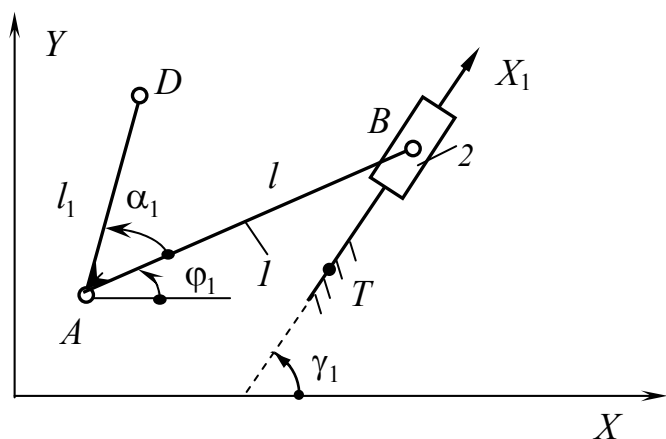
Переобозначить	точку O	o
	точку A	a
Ввести координаты	x_0	0
	y_0	0
	длину l_1	0.06
	угол, град	0
	угловая скорость	-9.42
	угловое ускорение	0

Группа 2–3



Переобозначить	точку A	a
	C	o2
	D	b
	E	
Ввести длину	l_1	0.07
	l_2	0
	h	0
	угол α_1 , град	-90
	α_2 , град	0
	коэффициент сборки	1
	неподвижная точка	o2
	координата x	0.03
	y	0
Номер звена CD		3
	звена ползун	2

Группа 4–5



Переобозначить	точку A	b
	B	c
	D	
Ввести координату	x_T	0
	y_T	0
	длину l	0.2
	l_1	0
	угол α_1 , град	0
	γ_1 , град	0
	коэффициент сборки	1
	номер звена AB	4
	звена ползун	5

Приложение Б

Программа кинематического анализа плоского рычажного механизма

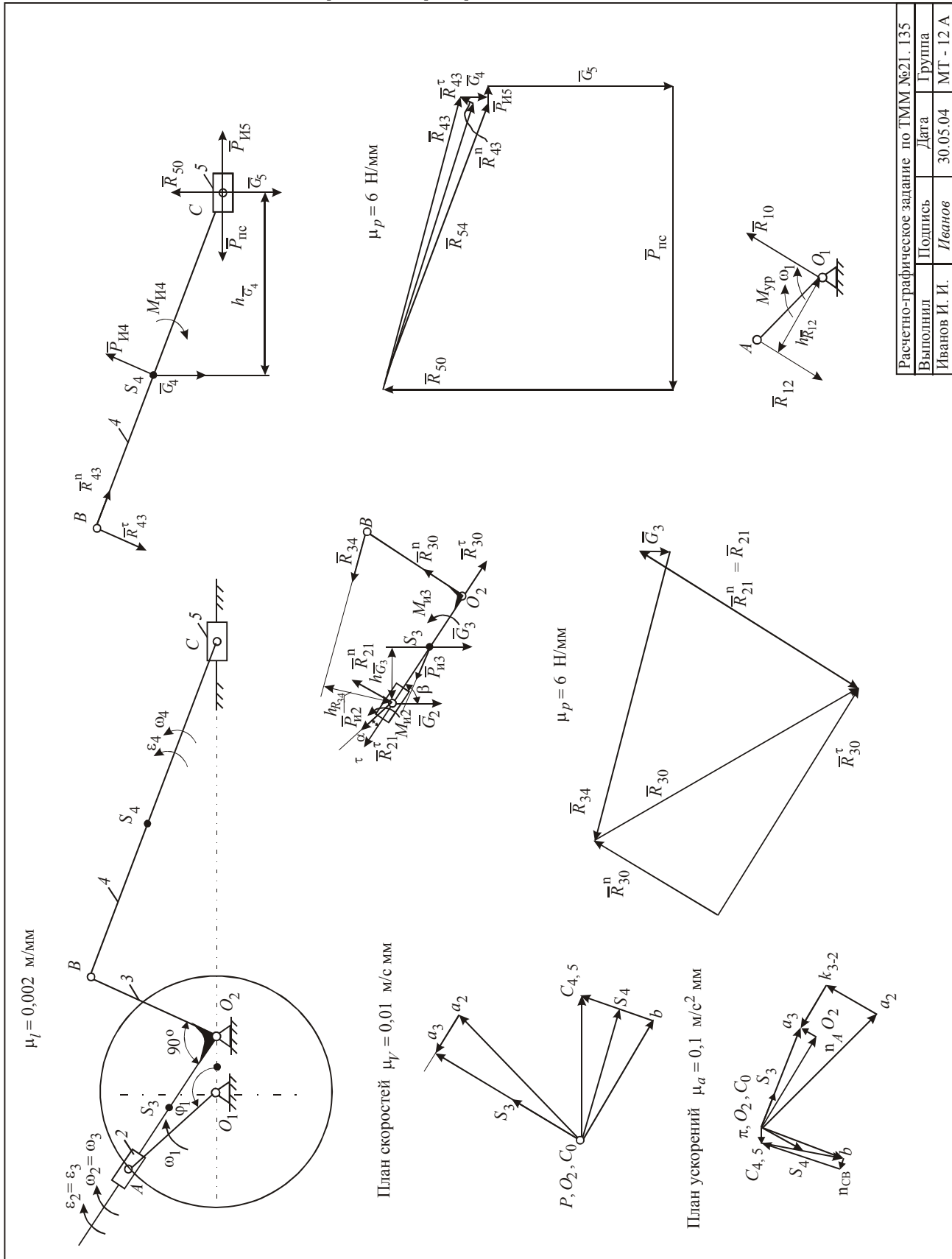
```

program IVANOV;
  uses proekt;
  const
    PAR1:array6=(0,0.07,0,-pi/2,0,0);
    PAR2:array6=(0.2,0,0,0,0,0);
    O2:array6=(0.03,0,0,0,0,0);
  var
    A,C,B,PS,UG1,UG2 : array6;
    fi,dfi,om : real;
    g,n,n1,i : integer;
    fn : text;
  Begin
    assign(fn,'ivanov.out'); rewrite(fn);
    writeln(fn,'Иванов Кинематический анализ');
    writeln(fn,'  Sc    Vc    ac    ksi4    om4    eps4');
    n:=24; dfi:=2*pi/n; n1:=90; om:=n1*pi/30; fi:=0;
    for i:=1 to n+1 do begin
      asur11(0,0,0.06,fi,-om,0,A);
      asur23(A,O2,PAR1,1,B,PS,UG1,g);
      if g<0 then exit;
      asur22(B,PAR2,1,C,PS,UG2,g);
      if g<0 then exit;
      vivod(6,fi,C[1],C[3],C[5],UG2[1],UG2[2],UG2[3],fn);
      fi:=fi+dfi;end;
    close(fn);      end.
  
```

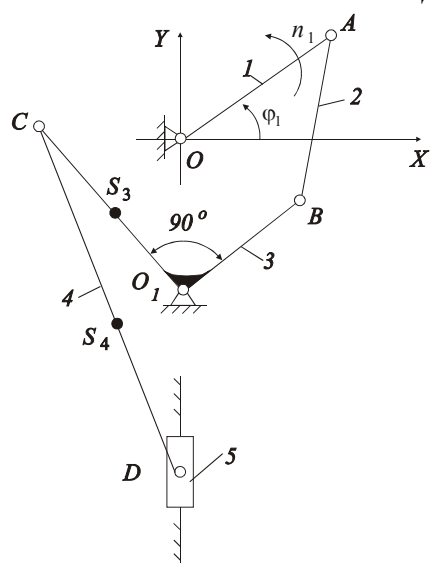
Иванов Кинематический анализ

	Sc	Vc	ac	ksi4	om4	eps4
0	2.1735E-01	-1.3195E+00	9.2928E+00	3.5757E-01	0.0000E+00	-1.3275E+02
15	2.5440E-01	-1.2371E+00	-1.3890E+01	3.1095E-01	3.0623E+00	-7.2480E+01
30	2.8216E-01	-7.4154E-01	-1.8565E+01	2.0824E-01	4.0171E+00	-4.9089E+00
45	2.9621E-01	-2.9534E-01	-1.3202E+01	9.8539E-02	3.7879E+00	1.5941E+01
60	3.0000E-01	0.0000E+00	-8.3941E+00	0.0000E+00	3.2987E+00	1.7949E+01
75	2.9719E-01	1.8822E-01	-5.4081E+00	-8.4890E-02	2.8212E+00	1.6315E+01
90	2.9014E-01	3.1085E-01	-3.5549E+00	-1.5717E-01	2.3898E+00	1.4861E+01
105	2.8031E-01	3.9107E-01	-2.2897E+00	-2.1794E-01	1.9887E+00	1.4130E+01
120	2.6870E-01	4.4086E-01	-1.3326E+00	-2.6776E-01	1.5995E+00	1.3970E+01
135	2.5604E-01	4.6676E-01	-5.5693E-01	-3.0679E-01	1.2096E+00	1.4137E+01
150	2.4295E-01	4.7301E-01	8.7433E-02	-3.3490E-01	8.1302E-01	1.4421E+01
165	2.2992E-01	4.6297E-01	6.1598E-01	-3.5189E-01	4.0888E-01	1.4659E+01
180	2.1735E-01	4.3982E-01	1.0325E+00	-3.5757E-01	0.0000E+00	1.4750E+01
195	2.0557E-01	4.0660E-01	1.3423E+00	-3.5189E-01	-4.0888E-01	1.4659E+01
210	1.9483E-01	3.6612E-01	1.5588E+00	-3.3490E-01	-8.1302E-01	1.4421E+01
225	1.8528E-01	3.2064E-01	1.7068E+00	-3.0679E-01	-1.2096E+00	1.4137E+01
240	1.7705E-01	2.7159E-01	1.8241E+00	-2.6776E-01	-1.5995E+00	1.3970E+01
255	1.7022E-01	2.1907E-01	1.9672E+00	-2.1794E-01	-1.9887E+00	1.4130E+01
270	1.6492E-01	1.6122E-01	2.2290E+00	-1.5717E-01	-2.3898E+00	1.4861E+01
285	1.6136E-01	9.2536E-02	2.7892E+00	-8.4890E-02	-2.8212E+00	1.6315E+01
300	1.6000E-01	0.0000E+00	4.0416E+00	0.0000E+00	-3.2987E+00	1.7949E+01
315	1.6185E-01	1.4628E-01	-6.8637E+00	9.8539E-02	-3.7879E+00	1.5941E+01
330	1.6920E-01	-4.0934E-01	1.2656E+01	2.0824E-01	-4.0171E+00	-4.9089E+00
345	1.8642E-01	-8.6230E-01	1.9189E+01	3.1095E-01	-3.0623E+00	-7.2480E+01
360	2.1735E-01	-1.3195E+00	9.2928E+00	3.5757E-01	0.0000E+00	-1.3275E+02

Приложение В Образец графической части

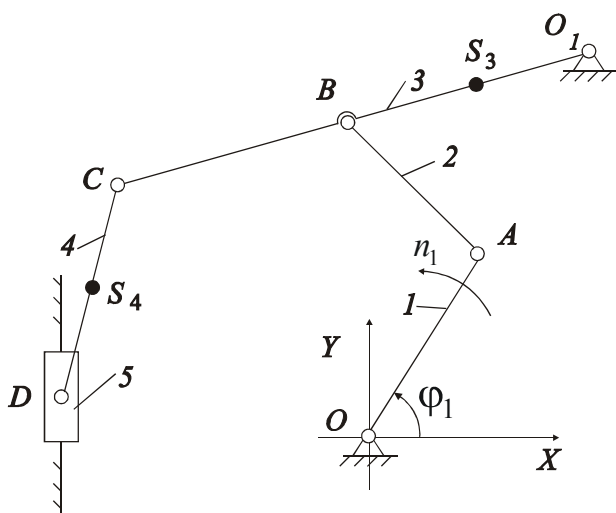


Продолжение прил. Г
Завдання № 1



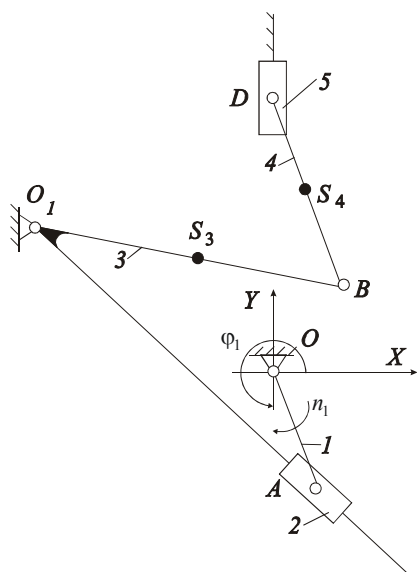
$n_1 = 80 \text{ об/хв}$	$m_3 = 12 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,15 \text{ м}$	$m_4 = 20 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,15 \text{ м}$	$m_5 = 18 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,09 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{OC} = 0,12 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,35 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 800 \text{ Н}$
$y_{O_1} = -0,045 \text{ м}$	

Завдання № 2



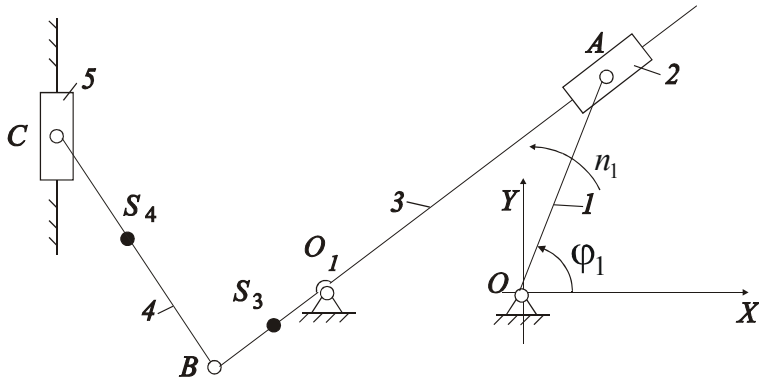
$n_1 = 60 \text{ об/хв}$	$x_D = -0,3 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,12 \text{ м}$	$m_3 = 18 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,32 \text{ м}$	$m_4 = 10 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,3 \text{ м}$	$m_5 = 20 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,18 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,18 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,24 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 1200 \text{ Н}$
$y_{O_1} = 0,36 \text{ м}$	

Завдання № 3



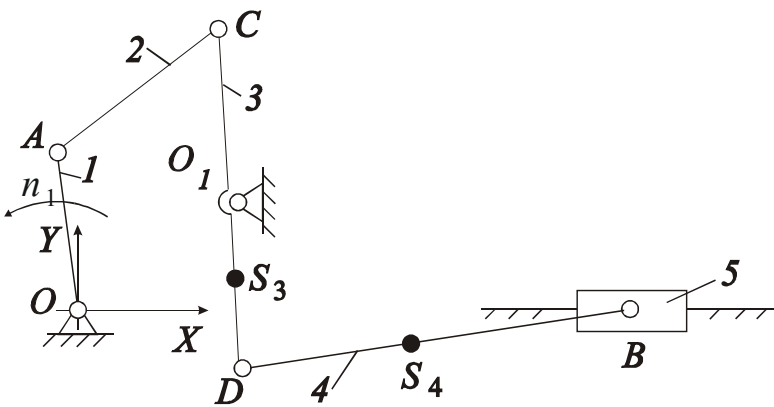
$n_1 = 82 \text{ об/хв}$	$m_3 = 5 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,08 \text{ м}$	$m_4 = 4 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,2 \text{ м}$	$m_5 = 8 \text{ кг}$
$l_{BE} = 0,16 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = -0,15 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,015 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_{O_1} = 0,025 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 850 \text{ Н}$
$\angle AO_1B = 45^\circ$	

Продолжение прил. Г
Завдання № 4



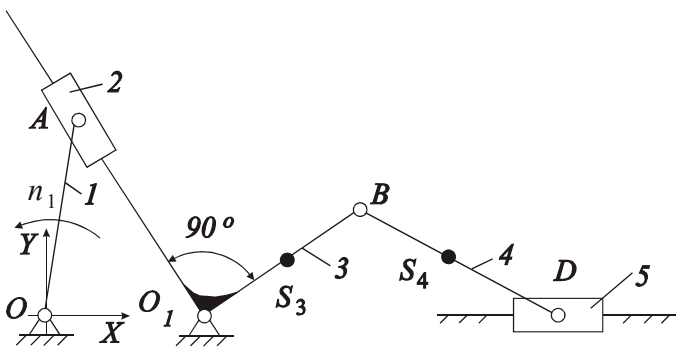
$n_1 = 120 \text{ об/хв}$	$m_3 = 16 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,15 \text{ м}$	$m_4 = 8 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,28 \text{ м}$	$m_5 = 22 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,02 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,032 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = -0,22 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_C = -0,45 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 2000 \text{ Н}$

Завдання № 5



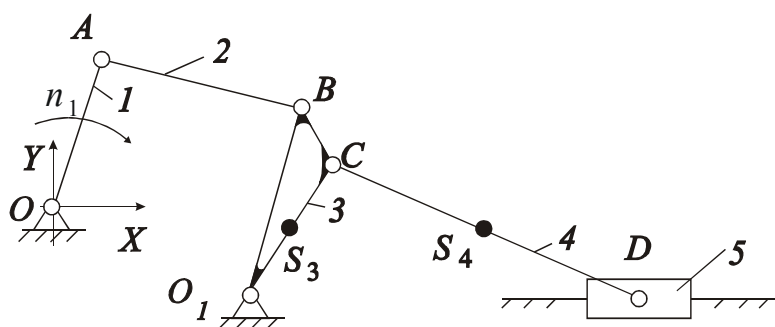
$n_1 = 64 \text{ об/хв}$	$m_3 = 7 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,09 \text{ м}$	$m_4 = 6 \text{ кг}$
$l_{AC} = 0,11 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,07 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_1D} = 0,11 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{DB} = 0,12 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 1800 \text{ Н}$
$x_{O_1} = 0,035 \text{ м}$	$y_{O_1} = 0,025 \text{ м}$

Завдання № 6



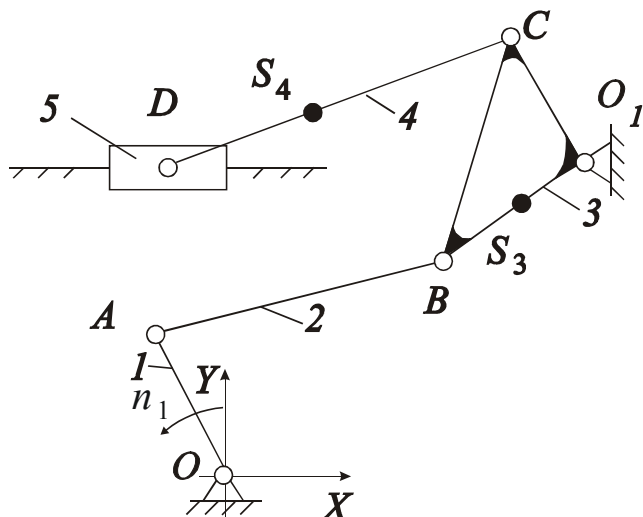
$n_1 = 72 \text{ об/хв}$	$m_3 = 12 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,08 \text{ м}$	$m_4 = 10 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,1 \text{ м}$	$m_5 = 15 \text{ кг}$
$l_{BD} = 0,3 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,04 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
	$P_{\text{пс}} = 800 \text{ Н}$

Продолжение прил. Г
Завдання № 7



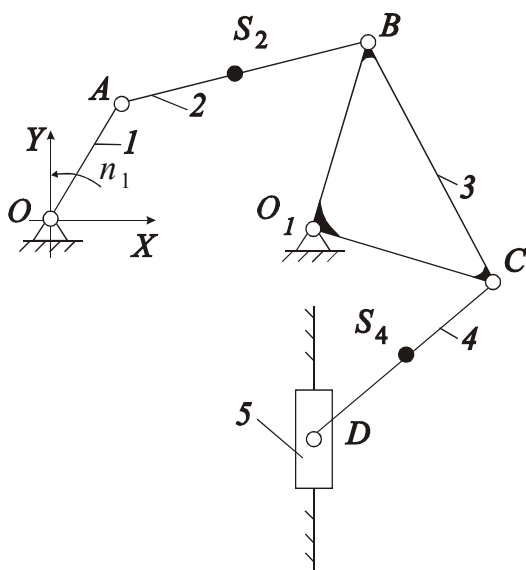
$n_1 = 72 \text{ об/хв}$	$y_D = -0,055 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,22 \text{ м}$	$y_{O_1} = -0,055 \text{ м}$
$l_{AB} = 0,22 \text{ м}$	$m_3 = 18 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,22 \text{ м}$	$m_4 = 25 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,045 \text{ м}$	$m_5 = 80 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,2 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,8 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,24 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 2400 \text{ Н}$

Завдання № 8



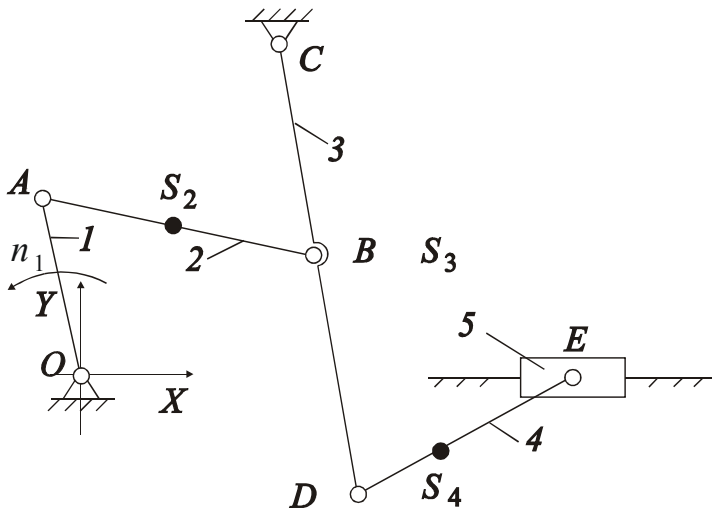
$n_1 = 80 \text{ об/хв}$	$y_{O_1} = y_D = 0,18 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,05 \text{ м}$	$m_2 = 4 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,2 \text{ м}$	$m_4 = 6 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,1 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,1 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CB} = 0,18 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,17 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 4000 \text{ Н}$
$x_{O_1} = 0,16 \text{ м}$	

Завдання № 9



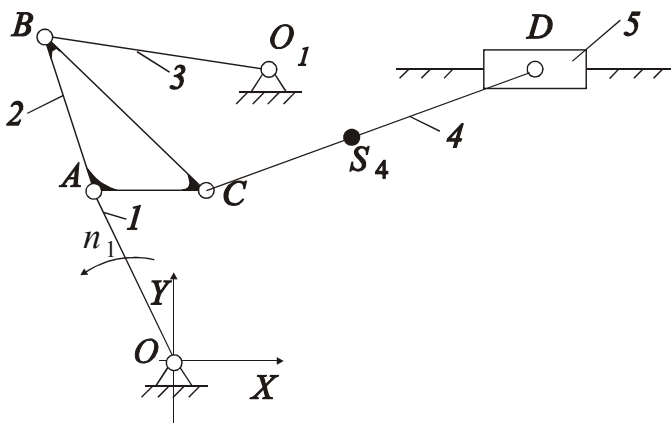
$n_1 = 220 \text{ об/хв}$	$x_{O_1} = x_D = 0,13 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,08 \text{ м}$	$m_2 = 6 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,14 \text{ м}$	$m_4 = 6 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,12 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{O_1C} = 0,12 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$\angle B O_1 C = 90^\circ$	$I_{S_4} = 0,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,2 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 1000 \text{ Н}$

Продолжение прил. Г
Завдання № 10



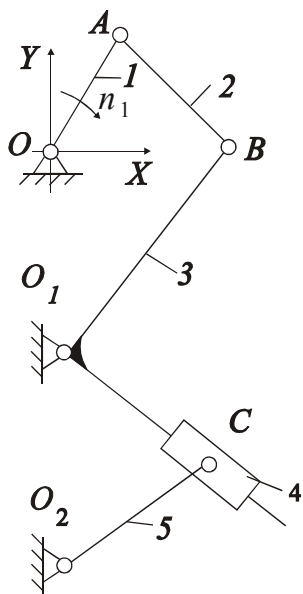
$n_1 = 180 \text{ об/хв}$	$m_2 = 18 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,1 \text{ м}$	$m_3 = 12 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,3 \text{ м}$	$m_4 = 12 \text{ кг}$
$l_{CB} = 0,15 \text{ м}$	$m_5 = 25 \text{ кг}$
$l_{BD} = 0,1 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{ED} = 0,5 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$y_C = 0,15 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_C = 0,2 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 750 \text{ Н}$

Завдання № 11



$n_1 = 220 \text{ об/хв}$	$x_{O_1} = 0,025 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,05 \text{ м}$	$y_{O_1} = 0,085 \text{ м}$
$l_{AB} = 0,12 \text{ м}$	$m_4 = 8 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,13 \text{ м}$	$m_5 = 12 \text{ кг}$
$l_{AC} = 0,085 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{CD} = 0,13 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{BC} = 0,135 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 800 \text{ Н}$

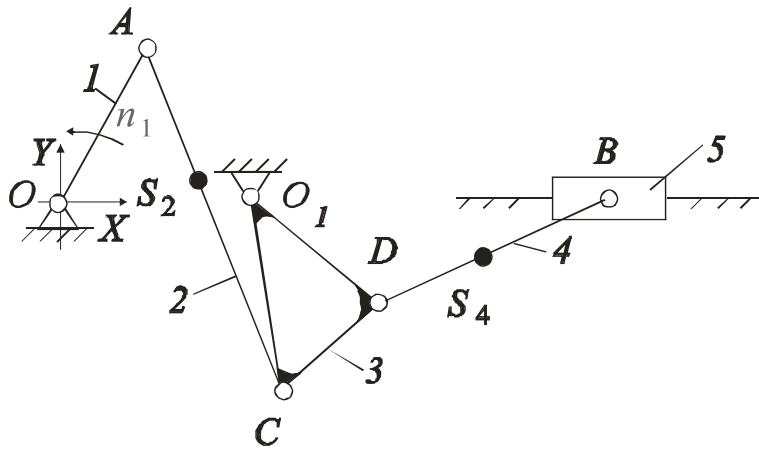
Завдання № 12



$n_1 = 160 \text{ об/хв}$	$y_{O_2} = -0,13 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,03 \text{ м}$	$m_4 = 1,5 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,075 \text{ м}$	$I_{S_3} = 0,09 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_1B} = 0,055 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{O_2C} = 0,045 \text{ м}$	$M_c = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$
$y_{O_1} = -0,09 \text{ м}$	$\angle BO_1C = 90^\circ$

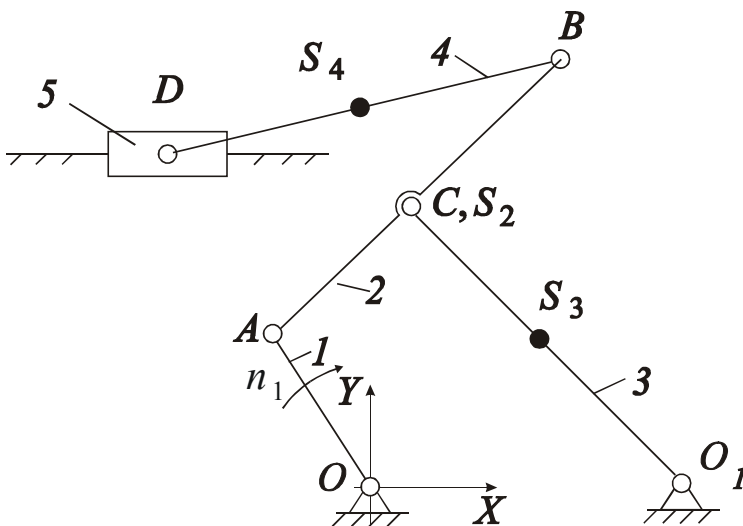
Продолжение прил. Г

Завдання № 13



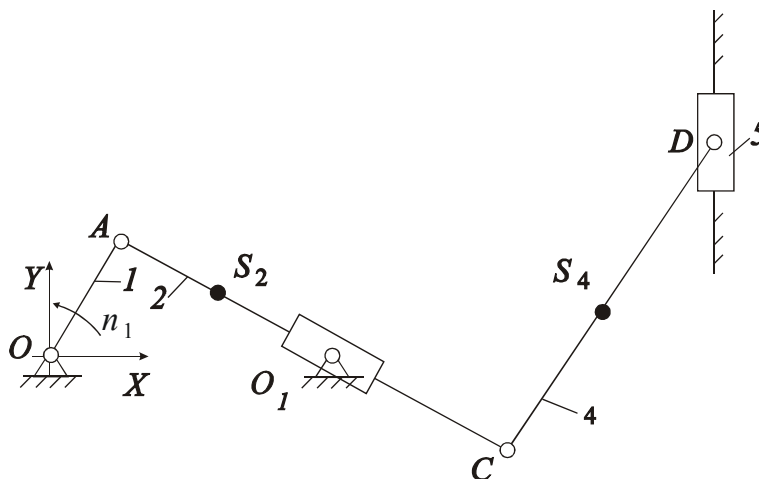
$n_1 = 300$ об/хв	$m_2 = 4$ кг
$l_{OA} = 0,06$ м	$m_4 = 3$ кг
$l_{AC} = 0,12$ м	$m_5 = 12$ кг
$l_{DB} = 0,15$ м	$I_{S_4} = 0,08$ кг·м ²
$l_{O_1C} = 0,1$ м	$I_{S_2} = 0,08$ кг·м ²
$l_{O_1D} = 0,13$ м	$I_{S_3} = 0,12$ кг·м ²
$l_{CD} = 0,05$ м	$P_{nc} = 800$ Н
$x_{O_1} = 0,08$ м	

Завдання № 14



$n_1 = 68$ об/хв	$m_2 = 25$ кг
$l_{OA} = 0,07$ м	$m_3 = 8$ кг
$l_{AC} = 0,17$ м	$m_4 = 18$ кг
$l_{BD} = 0,2$ м	$m_5 = 32$ кг
$l_{O_1C} = 0,175$ м	$I_{S_4} = 0,075$ кг·м ²
$l_{CB} = 0,18$ м	$I_{S_2} = 0,25$ кг·м ²
$x_{O_1} = 0,15$ м	$I_{S_3} = 0,01$ кг·м ²
$y_D = 0,3$ м	$P_{nc} = 1200$ Н

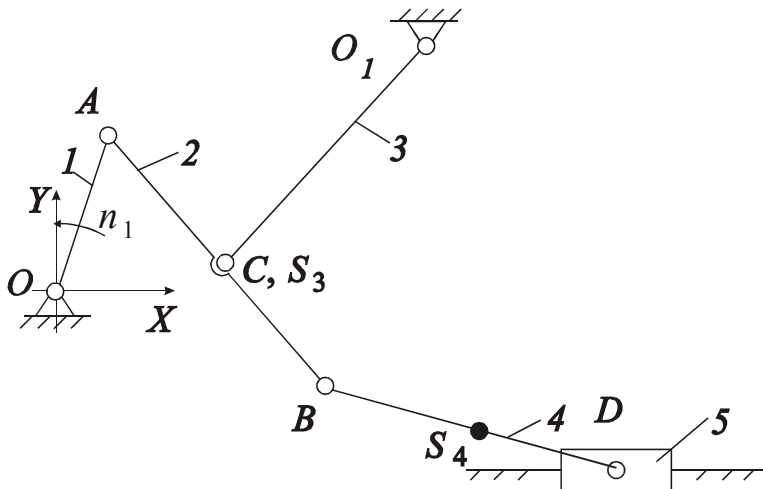
Завдання № 15



$n_1 = 76$ об/хв	$m_2 = 14$ кг
$l_{OA} = 0,1$ м	$m_4 = 14$ кг
$l_{AC} = 0,47$ м	$m_5 = 28$ кг
$l_{CD} = 0,22$ м	$I_{S_4} = 0,07$ кг·м ²
$x_{O_1} = 0,28$ м	$I_{S_2} = 0,07$ кг·м ²
$x_D = 0,47$ м	$P_{nc} = 1200$ Н

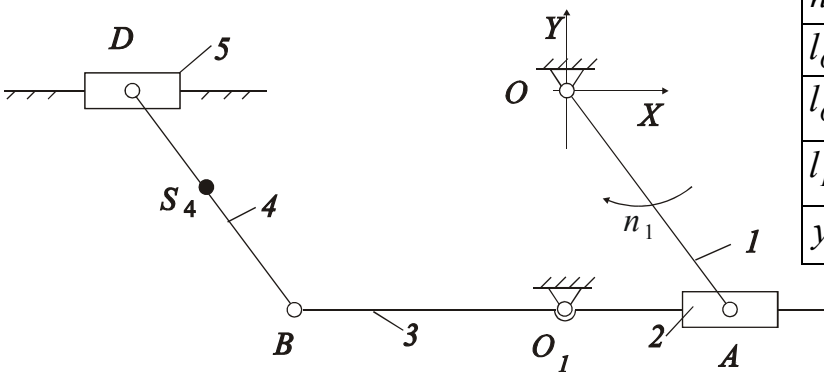
Продолжение прил. Г

Завдання № 16



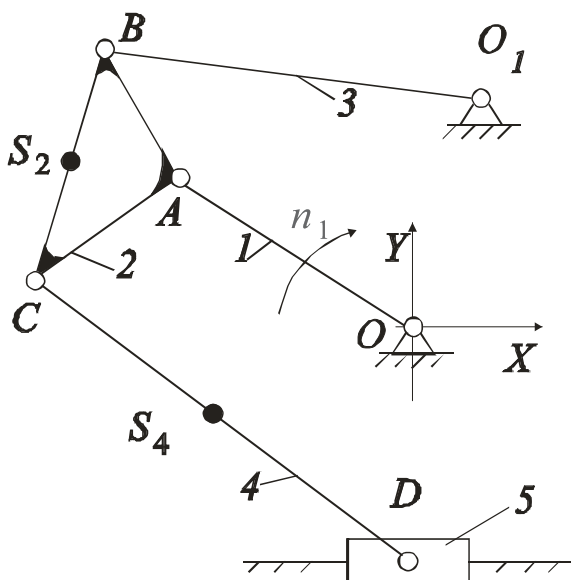
$n_1 = 40$ об/хв	$x_{O_1} = 0,21$ м
$l_{OA} = 0,06$ м	$m_2 = 8$ кг
$l_{AC} = 0,16$ м	$m_4 = 9$ кг
$l_{O_1C} = 0,15$ м	$m_5 = 18$ кг
$l_{CB} = 0,06$ м	$I_{S_2} = 0,05$ кг·м ²
$l_{BD} = 0,18$ м	$I_{S_3} = 0,08$ кг·м ²
$y_D = -0,065$ м	$I_{S_4} = 0,04$ кг·м ²
$y_{O_1} = 0,12$ м	$P_{pc} = 1000$ Н

Завдання № 17



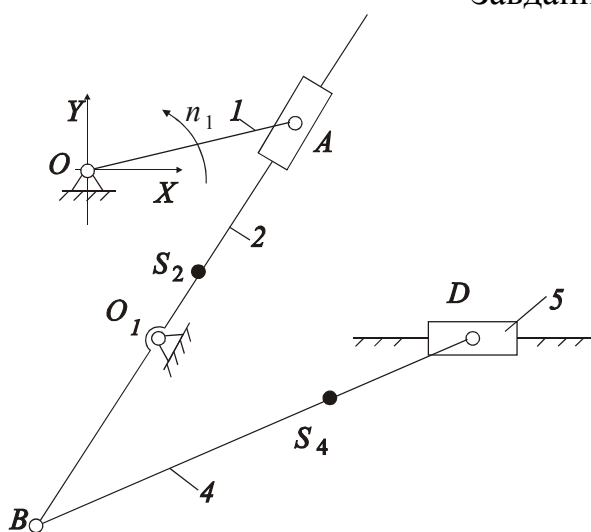
$n_1 = 62$ об/хв	$m_4 = 24$ кг
$l_{OA} = 0,25$ м	$m_5 = 30$ кг
$l_{O_1B} = 0,2$ м	$I_{S_3} = 0,12$ кг·м ²
$l_{BD} = 0,6$ м	$I_{S_4} = 0,08$ кг·м ²
$y_{O_1} = -0,12$ м	$P_{pc} = 1200$ Н

Завдання № 18



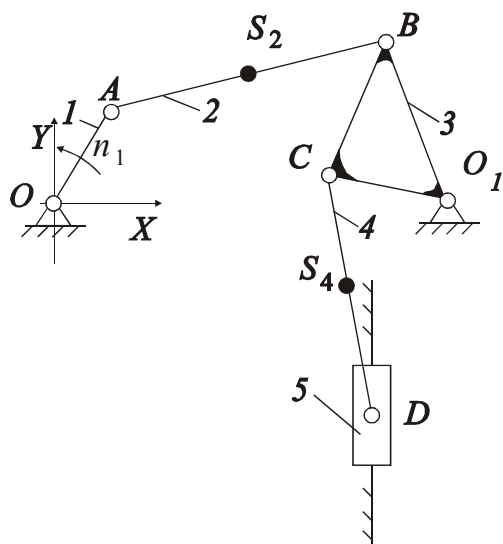
$n_1 = 90$ об/хв	$x_{O_1} = 0,15$ м
$l_{OA} = 0,05$ м	$m_2 = 8$ кг
$l_{AB} = 0,1$ м	$m_4 = 10$ кг
$l_{AC} = 0,2$ м	$m_5 = 12$ кг
$l_{CB} = 0,3$ м	$I_{S_2} = 0,09$ кг·м ²
$l_{O_1B} = 0,12$ м	$I_{S_3} = 0,12$ кг·м ²
$l_{CD} = 0,2$ м	$I_{S_4} = 0,06$ кг·м ²
$y_D = -0,06$ м	$P_{pc} = 800$ Н
$y_{O_1} = 0,02$ м	

Продолжение прил. Г
Завдання № 19



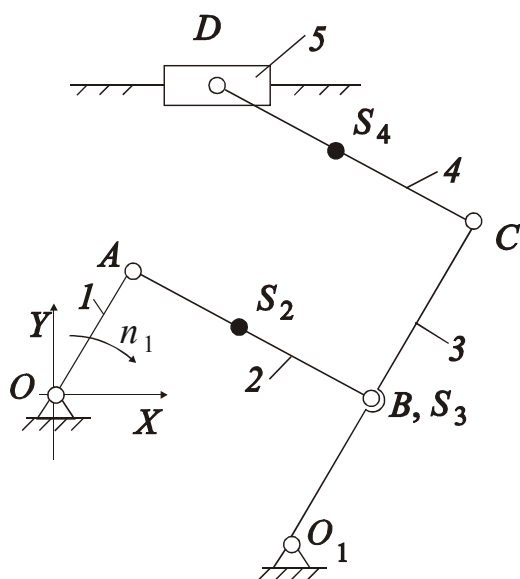
$n_1 = 60$ об/хв	$m_4 = 12$ кг
$l_{OA} = 0,08$ м	$m_5 = 18$ кг
$l_{O_1B} = 0,07$ м	$I_{S_3} = 0,05$ кг·м ²
$l_{BD} = 0,2$ м	$I_{S_4} = 0,16$ кг·м ²
$y_C = y_{O_1} = -0,125$ м	$P_{pc} = 750$ Н
$m_2 = 10$ кг	

Завдання № 20



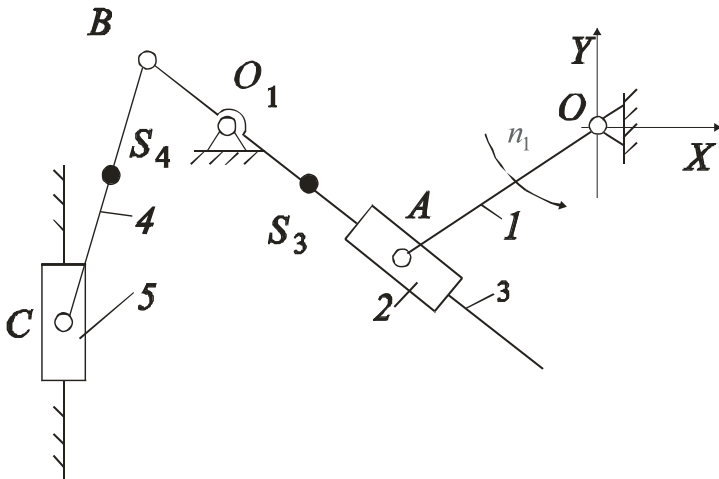
$n_1 = 120$ об/хв	$x_D = 0,125$ м
$l_{OA} = 0,06$ м	$m_2 = 8$ кг
$l_{AB} = 0,18$ м	$m_4 = 10$ кг
$l_{O_1B} = 0,12$ м	$m_5 = 22$ кг
$l_{O_1C} = 0,12$ м	$I_{S_2} = 0,032$ кг·м ²
$l_{CB} = 0,14$ м	$I_{S_4} = 0,08$ кг·м ²
$l_{CD} = 0,25$ м	$P_{pc} = 1200$ Н
$x_{O_1} = 0,225$ м	

Завдання № 21



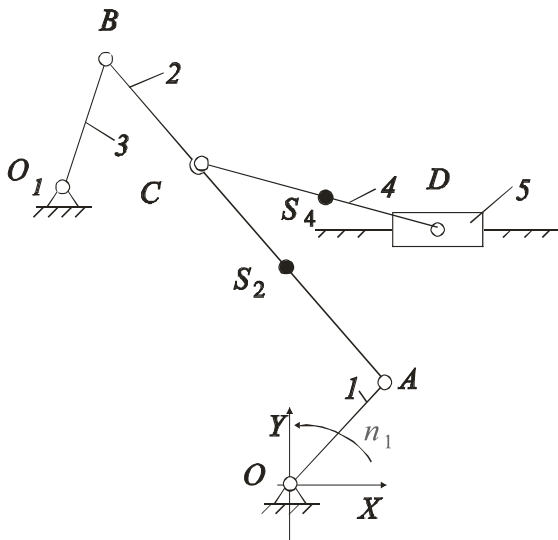
$n_1 = 46$ об/хв	$m_2 = 8$ кг
$l_{OA} = 0,08$ м	$m_3 = 12$ кг
$l_{AB} = 0,24$ м	$m_4 = 10$ кг
$l_{O_1B} = 0,22$ м	$m_5 = 45$ кг
$l_{BC} = 0,06$ м	$I_{S_2} = 0,12$ кг·м ²
$l_{CD} = 0,105$ м	$I_{S_3} = 0,18$ кг·м ²
$y_{O_1} = -0,13$ м	$I_{S_4} = 0,03$ кг·м ²
$x_{O_1} = 0,25$ м	$P_{pc} = 1500$ Н
$y_D = 0,16$ м	

Продолжение прил. Г
Завдання № 22



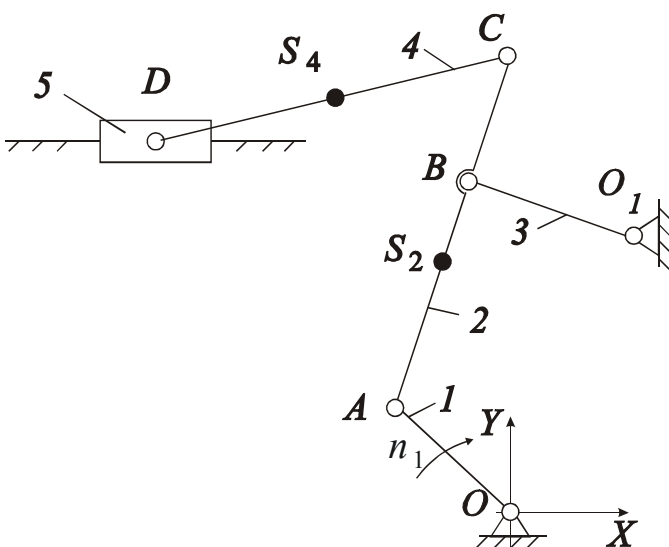
$n_1 = 48 \text{ об/хв}$	$m_3 = 5 \text{ кг}$
$l_{OA} = 0,07 \text{ м}$	$m_4 = 4 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,1 \text{ м}$	$m_5 = 8 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,06 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = -0,15 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 300 \text{ Н}$
$x_C = -0,26 \text{ м}$	

Завдання № 23



$n_1 = 86 \text{ об/хв}$	$y_D = 0,45 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,1 \text{ м}$	$m_2 = 18 \text{ кг}$
$l_{AB} = 0,6 \text{ м}$	$m_4 = 10 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,25 \text{ м}$	$m_5 = 60 \text{ кг}$
$l_{CD} = 0,35 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{AC} = 0,45 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = -0,2 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 3500 \text{ Н}$
$y_{O_1} = 0,55 \text{ м}$	

Завдання № 24



$n_1 = 70 \text{ об/хв}$	$y_D = 0,46 \text{ м}$
$l_{OA} = 0,09 \text{ м}$	$m_2 = 18 \text{ кг}$
$l_{BC} = 0,12 \text{ м}$	$m_4 = 9 \text{ кг}$
$l_{O_1B} = 0,25 \text{ м}$	$m_5 = 32 \text{ кг}$
$l_{CD} = 0,21 \text{ м}$	$I_{S_2} = 0,45 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$l_{AC} = 0,45 \text{ м}$	$I_{S_4} = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
$x_{O_1} = 0,22 \text{ м}$	$P_{\text{пс}} = 2000 \text{ Н}$
$y_{O_1} = 0,35 \text{ м}$	

Навчальне видання

Теорія механізмів і машин. Методичні вказівки до виконання та оформлення розрахунково-графічних завдань по курсу теорії механізмів і машин для студентів машинобудівних спеціальностей

Російською мовою

Укладачі: ТКАЧУК Микола Анатолійович
КРОТЕНКО Галина Анатоліївна
ЗІНЧЕНКО Олена Іванівна

Відповідальний за випуск М. А. Ткачук
Роботу рекомендував до видання В. К. Белов

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка І. Я. Храмцова

План 2004 р., п. 21/

Підп. до друку 25.03.04

Формат 60x841/16.

Папір друк. №2

Друк – ризографія.

Гарнітура Times.

Ум. друк. арк. 0,8

Обл. – вид.арк. 1,0

Тираж 150 прим. Зам. №

Ціна договірна

Видавничий центр НТУ „ХП”, 61002 Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про реєстрацію ДК №116 від 10.07.2000 р.

Друкарня НТУ „ХП”, 61002 Харків, вул. Фрунзе, 21.