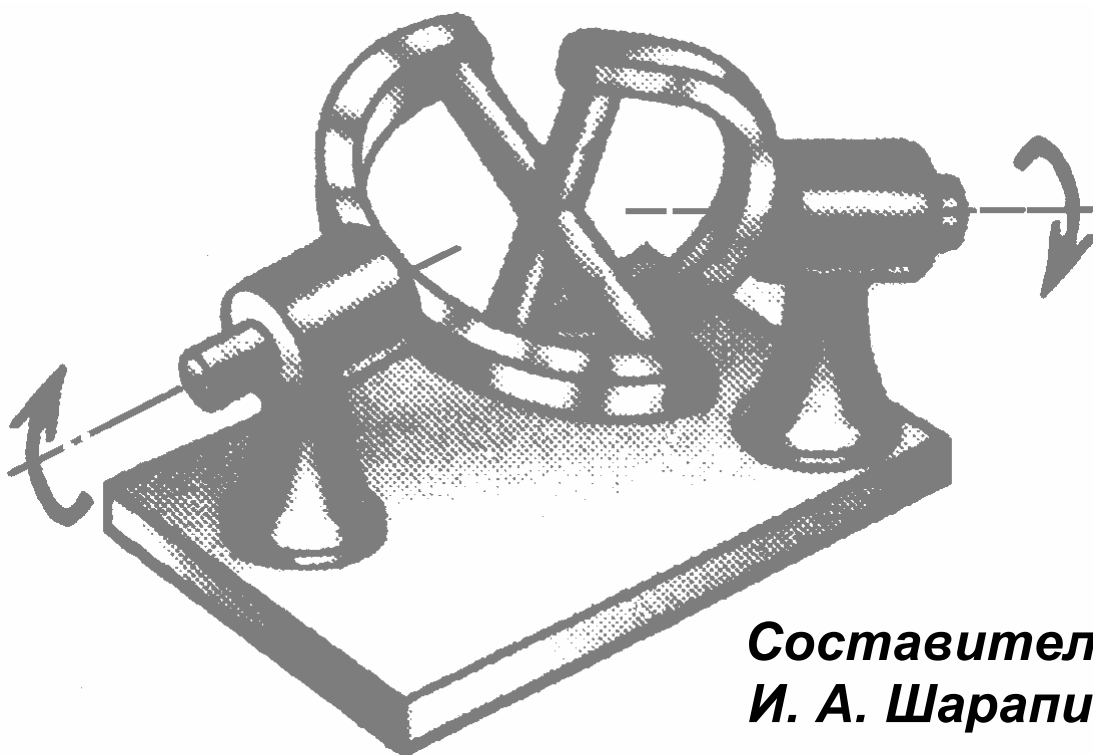


ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

**СБОРНИК ЗАДАЧ ПО РАЗДЕЛУ
«СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПЛОСКИХ
РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ»**



**Составитель
И. А. Шарапин**

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна»
Кафедра теоретической и прикладной механики

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО РАЗДЕЛУ «СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПЛОСКИХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ»

для студентов специальностей
150400, 150406, 220301, 260703(4), 260800,
260901(2,4,5,6), 261001, 280202
очной и заочной форм обучения

***Составитель
И. А. Шарапин***

Санкт-Петербург
2007

РЕКОМЕНДОВАНО
на заседании кафедры ТПМ
«27» декабря 2006 г.,
протокол № 3

Рецензент С. В. Панфилов

Сборник заданий составлен на основании методических материалов, выполненных в течение ряда лет коллективом кафедры "Теория механизмов и машин" СПГУТД.

В пособии приведены разнообразные структурные схемы, которые кафедра рекомендует студентам в качестве материала для самостоятельной работы.

Оригинал подготовлен автором.

Подписано в печать 27. 04. 2007 г. Формат 60 x 84 1/16. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 2,4. Тираж 250 экз. Заказ 327

Отпечатано в типографии СПГУТД
191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26

ПРИНЦИПЫ ОБРАЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ

Основные принципы образования механизмов впервые были сформулированы в 1914 году известным русским ученым, профессором Петербургского политехнического института Л. В. Ассуром (1878 – 1920), который определил, что все существующие механизмы состоят из простейших (начальных) механизмов (механизмов 1-го класса) и кинематических цепей различной степени сложности, имеющих нулевую степень свободы. Такие кинематические цепи впоследствии были названы цепями Ассура.

Л. В. Ассур установил, что любой механизм может быть образован путем последовательного присоединения к ведущему (входному) звену (или ведущим звеньям) и к стойке кинематических цепей с нулевой степенью свободы (подвижности).

Все это позволило разработать схему анализа механизмов по их структуре и классификации.

ПОРЯДОК АНАЛИЗА МЕХАНИЗМОВ ПО СТРУКТУРЕ И КЛАССИФИКАЦИИ

1. Определяется степень подвижности плоского механизма по формуле академика П. Л. Чебышева (1821 – 1894)

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (1)$$

где n – общее число подвижных звеньев плоского механизма;

p_5 – общее число кинематических пар пятого класса (одноподвижных) в этом механизме;

p_4 – общее число кинематических пар четвертого класса (двухподвижных) в этом механизме.

2. Определяется ведущее (или ведущие) – входное звено механизма.

3. Определяется та кинематическая цепь, которая первой присоединяется в порядке наслоения. Эта цепь одной парой должна присоединяться к входному звену, а остальными – к стойке.

Если имеется параллельное наслоение, то необходимо отделять все цепи, участвующие в параллельном наслоении.

4. Выделяется вторая и последующие в порядке наслоения группы Ассура.

Эта цепь, как и все последующие, может присоединяться всеми внешними парами к подвижным звеньям или частью внешних пар к подвижным звеньям, а частью пар – к стойке. При учете очередной кинематической цепи всегда должен получаться законченный механизм.

При структурном анализе следует помнить следующее:

- одно и то же звено или одна и та же пара (если она не двукратная) не может принадлежать различным кинематическим цепям;

- от различных входных звеньев сложные цепи могут распадаться на более простые;
- в звеньях групп Ассура не все ее элементы могут принимать участие в образовании текущей (очередной) группы, так как некоторые из них будут участвовать в последующих наслоениях;
- наличие особого (пассивного) звена в механизме отнимает его степень свободы, не нарушая работу самого механизма.

При решении задач, в которых имеются высшие кинематические пары, также следует выявить пассивное звено, построить теоретический профиль, после чего сделать замену высшей пары на низшие, и только после этого проводить структурный анализ.

Замена высшей пары на низшие считается эквивалентной (W механизма не меняется) при условии, что

$$1 p_4 = 1 \text{ звено} + 2 p_5. \quad (2)$$

При структурном анализе следует делать записи, в которых вращательная кинематическая пара 5-го класса обозначается заглавной буквой, обведенной в кружок (или записывается как $A_{вр}$), а поступательная – в квадрат (или записывается как $A_{пост}$) – рис. 1 и 2.



Рис. 1. Вращательная кинематическая пара

Это означает, что звено 1 соединяется со звеном 2 посредством вращательной кинематической пары (A) 5-го класса ($A_{вр}$).

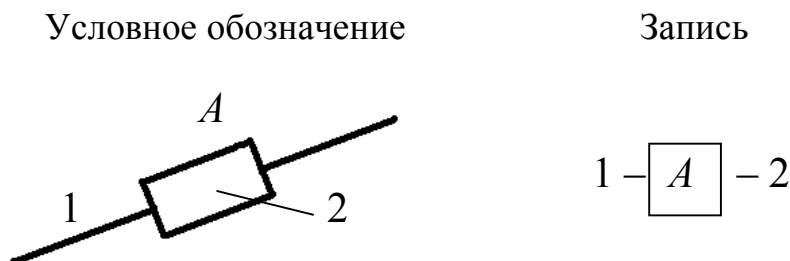


Рис. 2. Поступательная кинематическая пара

Это означает, что звено 1 соединяется со звеном 2 посредством поступательной кинематической пары (A) 5-го класса ($A_{пост}$).

Структурный анализ следует проводить от всех возможных входных звеньев, так как в зависимости от выбора входного звена может измениться класс и порядок механизма в целом.

Пример 1 выполнения структурного анализа

В механизме, представленном на *рис. 3*, ведущими звеньями могут быть звенья 1, 4, 6 и 7. Проведем структурный анализ от каждого из этих звеньев поочередно.

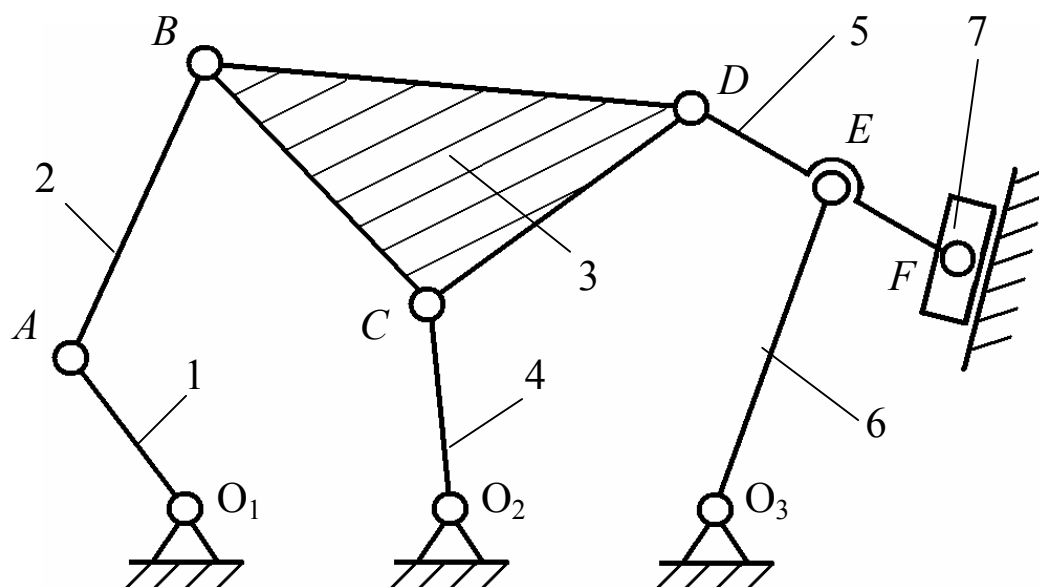


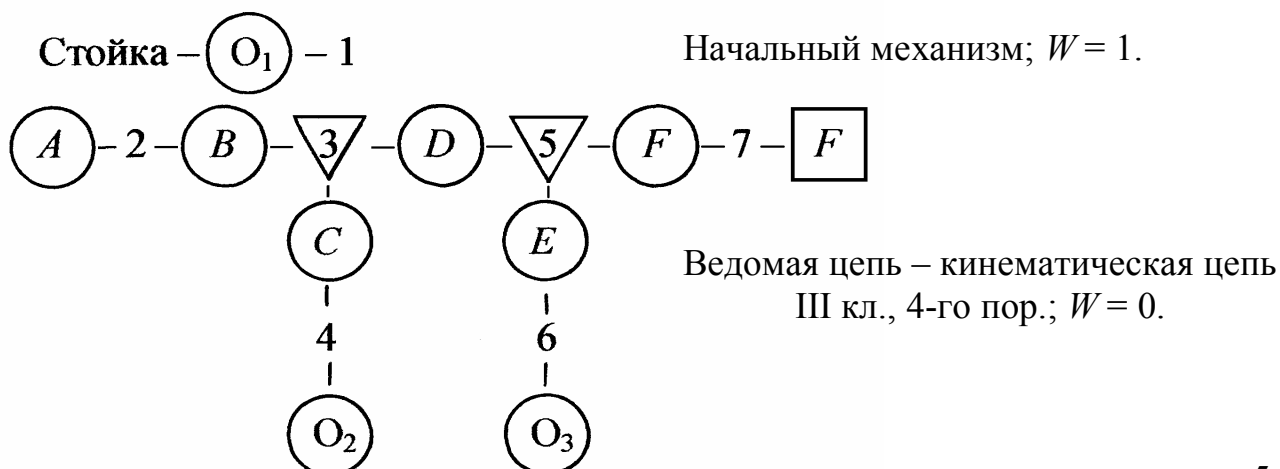
Рис. 3. Механизм для примера структурного анализа ($W = 1$)

Степень подвижности плоского механизма по формуле Чебышева

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1.$$

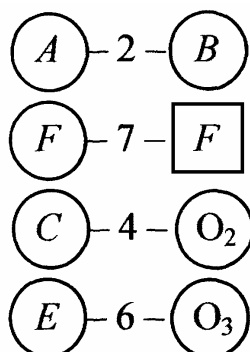
В данном механизме входным *одновременно* может быть только одно звено. Это звено, как уже отмечалось, имеет номер 1, 4, 6 или 7.

Запишем далее структуру от входного звена 1.



Здесь звенья 3 и 5 являются, так называемыми, базисными. В свою очередь эти базисные звенья между собой соединяются шарниром D .

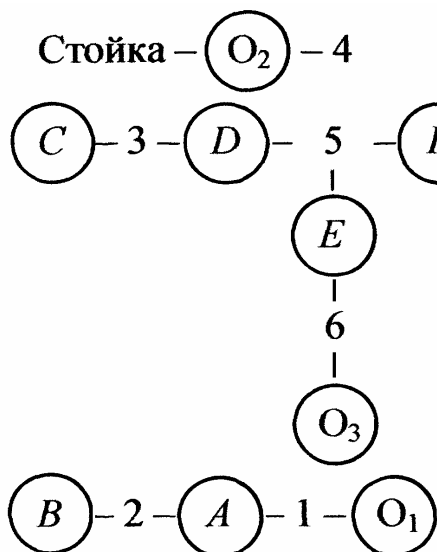
Поводки



определяют общий порядок сдвоенной цепи III класса.

Ввиду того, что класс всего механизма определяется классом самой старшей его кинематической цепи, то весь данный механизм классифицируем как механизм III класса, 4-го порядка.

Запишем структуру механизма от входного звена 4.

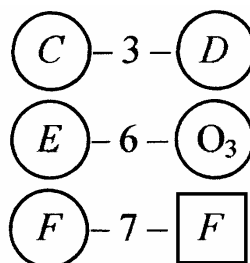


Начальный механизм; $W = 1$.

Ведомая цепь – кинематическая цепь III кл., 3-го пор.; $W = 0$.

Ведомая цепь – кинематическая цепь II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

Поводки



определяют общий порядок цепи III класса.

Учитывая предыдущее, весь механизм классифицируем как механизм III класса, 3-го порядка.

Запишем структуру механизма от входного звена 6.

Стойка – $\bigcirc O_3$ – 6

Начальный механизм; $W = 1$.

$\bigcirc E$ – 5 – $\bigcirc F$ – 7 – $\square F$

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 2-й модиф.; $W = 0$.

$\bigcirc D$ – 3 – $\bigcirc C$ – 4 – $\bigcirc O_2$

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

$\bigcirc B$ – 2 – $\bigcirc A$ – 1 – $\bigcirc O_1$

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

Весь механизм классифицируем как механизм II класса.

Запишем структуру механизма от входного звена 7.

Стойка – $\square F$ – 7

Начальный механизм; $W = 1$.

$\bigcirc F$ – 5 – $\bigcirc E$ – 6 – $\bigcirc O_3$

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

$\bigcirc D$ – 3 – $\bigcirc C$ – 4 – $\bigcirc O_2$

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

$\bigcirc B$ – 2 – $\bigcirc A$ – 1 – $\bigcirc O_1$

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

Весь механизм классифицируем как механизм II класса.

Пример 2 выполнения структурного анализа механизма с заменой высшей кинематической пары

В механизме, представленном на рис. 4, ведущими звеньями могут быть звенья 1, 3 и 5. Проведем структурный анализ от каждого из этих звеньев поочередно.

Подсчитаем сначала степень подвижности механизма без замены высших кинематических пар

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 8 - 1 \cdot 2 = 3.$$

Очевидно, что полученный результат противоречит здравому смыслу, так как в данном механизме не может быть *одновременно* 3 входных звена.

Представленный на рассмотрение механизм имеет два особых (пассивных) звена – ролики, которые на кинематику механизма никакого влияния не оказывают и поставлены лишь для того, чтобы заменить трение скольжения трением

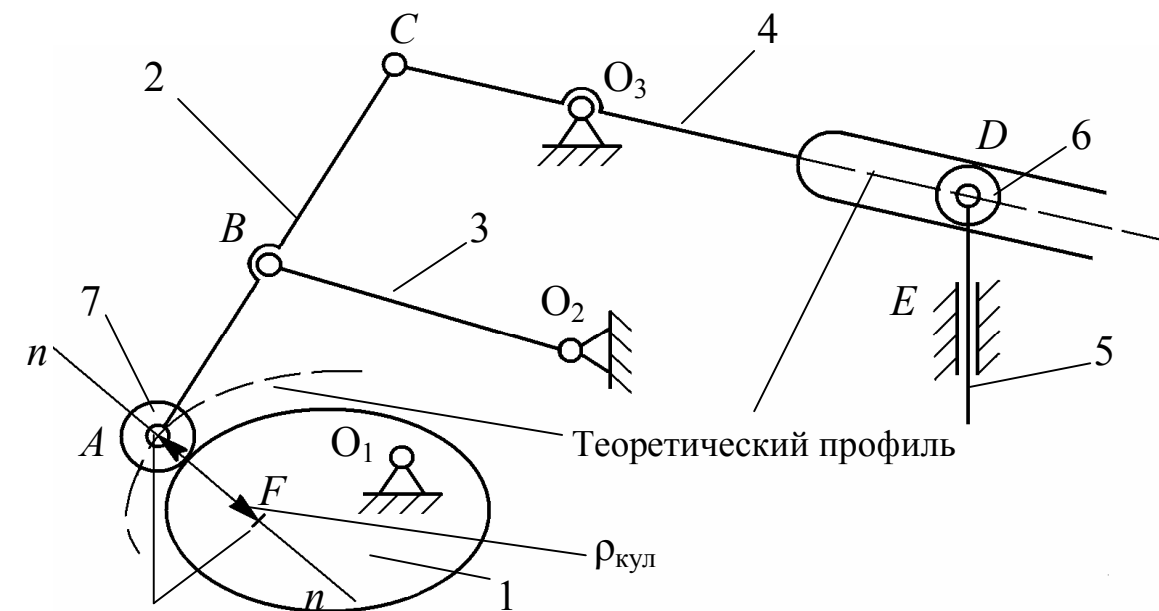


Рис. 4. К примеру 2

Мгновенные
центры кривизны

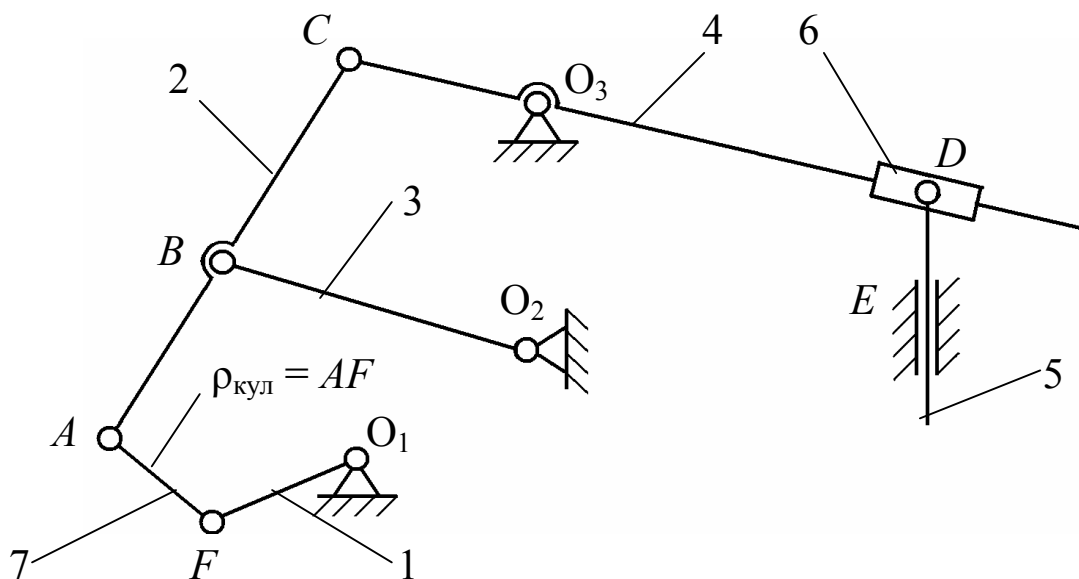


Рис. 5. Замена высших пар

Дальнейший структурный анализ может быть выполнен аналогично предыдущему примеру.

Пример 3 выполнения структурного анализа механизма с заменой высшей кинематической пары

В механизме, представленном на *рис. 6*, следует заменить высшую кинематическую пару, находящуюся в точке контакта двух криволинейных поверхностей – боковых профилей зубьев зубчатых колес 1 и 2 – низшими парами.

Мгновенные центры кривизны зубьев расположим на нормали $n - n$, проведенной через точку контакта зубьев. Таким образом получим шарниры A и B , соединив которые, определим положение фиктивного звена 3.

Степень подвижности механизма *до замены* высшей пары определим из выражения

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 1 \cdot 1 = 1.$$

Степень подвижности механизма *после замены* высшей пары определим из выражения

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1.$$

Замена, представленная на *рис. 7*, как видим, выполнена эквивалентно.

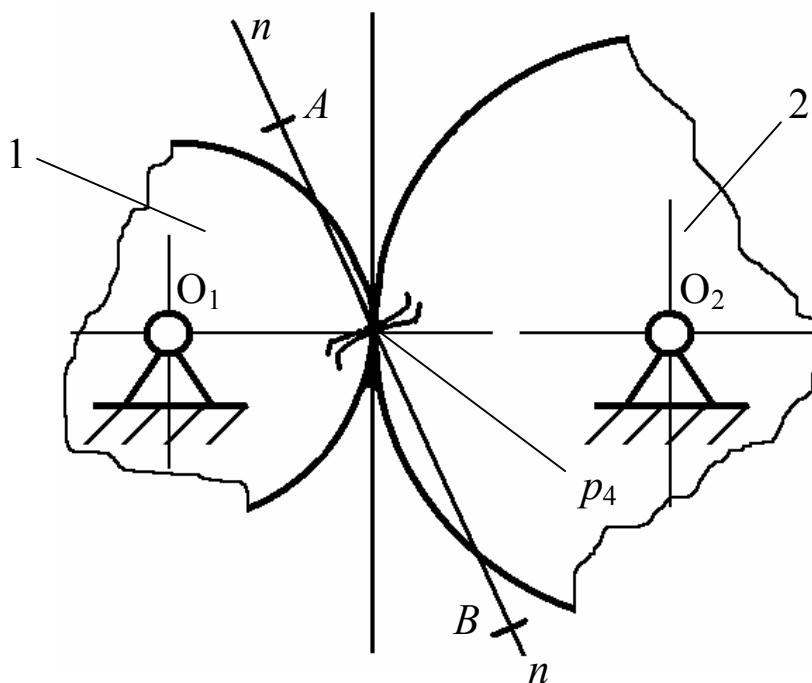


Рис. 6. К примеру 3

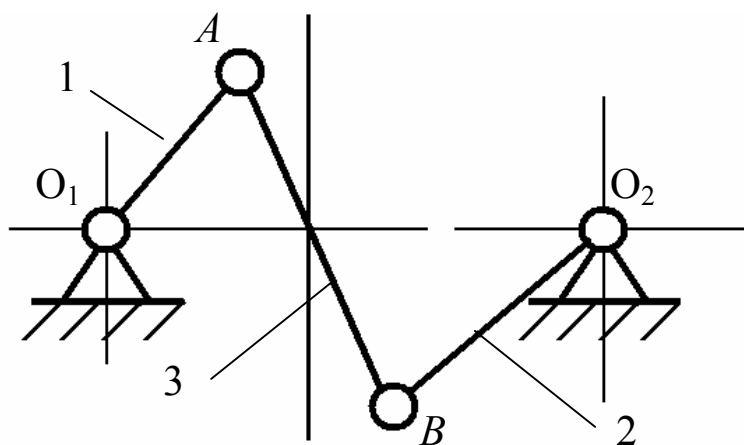


Рис. 7. Эквивалентная замена высшей пары

Пример 4 выполнения структурного анализа механизма, имеющего $W = 2$

В механизме, представленном на *рис. 8*, ведущими звеньями могут быть звенья 1, 4, 6 и 8. Проведем структурный анализ от каждого из этих звеньев поочередно.

Степень подвижности плоского механизма по формуле Чебышева

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 8 - 2 \cdot 11 = 2.$$

В данном механизме входными *одновременно* должны быть два звена, т. е. звенья из перечня (1, 4, 6 и 8) в их различных комбинациях должны работать парами.

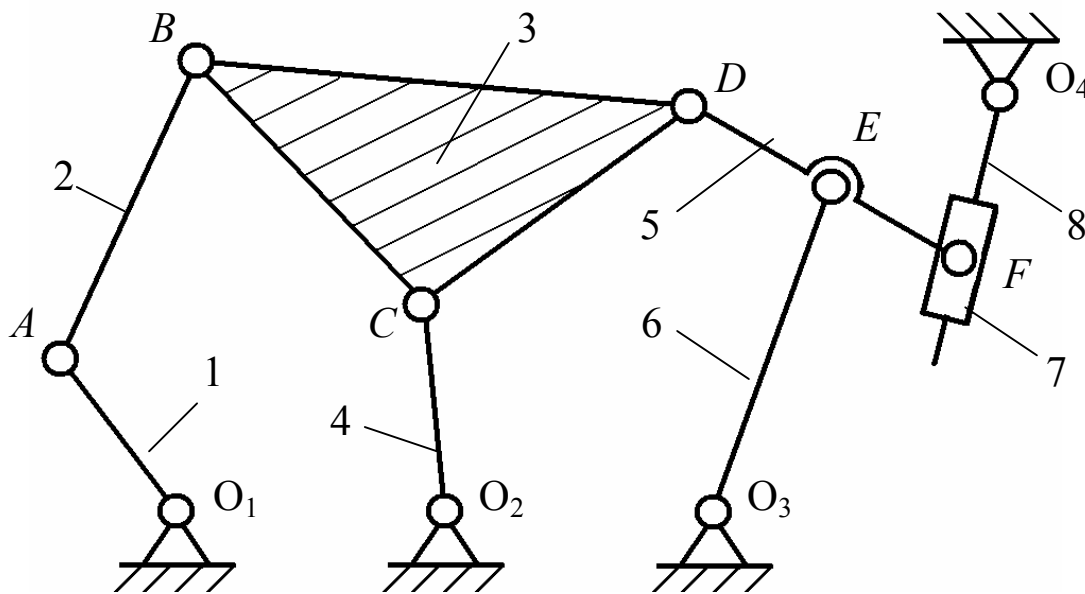


Рис. 8. Механизм для примера структурного анализа ($W = 2$)

Запишем структуру от входного звена 1.

Стойка – (O_1) – 1

Начальный механизм; $W = 1$.

(A) – 2 – (B) – 3 – (C)

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

Стойка – (O_2) – 4

Начальный механизм; $W = 1$.

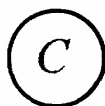
(D) – 5 – (E) – 6 – (O_3)

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

(F) – 7 – $[F]$ – 8 – (O_4)

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 3-й модиф.; $W = 0$.

Ввиду того, что в цепи II класса вращательная кинематическая пара



на определенном этапе структурного анализа непосредственно не соединяется со стойкой, следует назначить второе (дополнительное) входное звено – звено 4 и записать далее его структуру.

Весь данный механизм классифицируем как механизм II класса с одновременно двумя входными звеньями.

Записанная таким образом структура исследуемого механизма является наиболее простой из всех возможных здесь вариантов.

Выполним далее для примера структурный анализ от входного звена 8.

Стойка – $\bigcirc O_4$ – 8

Начальный механизм; $W = 1$.

\boxed{F} – 7 – $\bigcirc F$ – 5 – $\bigcirc E$

Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 2-й модиф.; $W = 0$.

Стойка – $\bigcirc O_3$ – 6

Начальный механизм; $W = 1$.

$\bigcirc D$ – 3 – $\bigcirc C$ – 4 – $\bigcirc O_2$

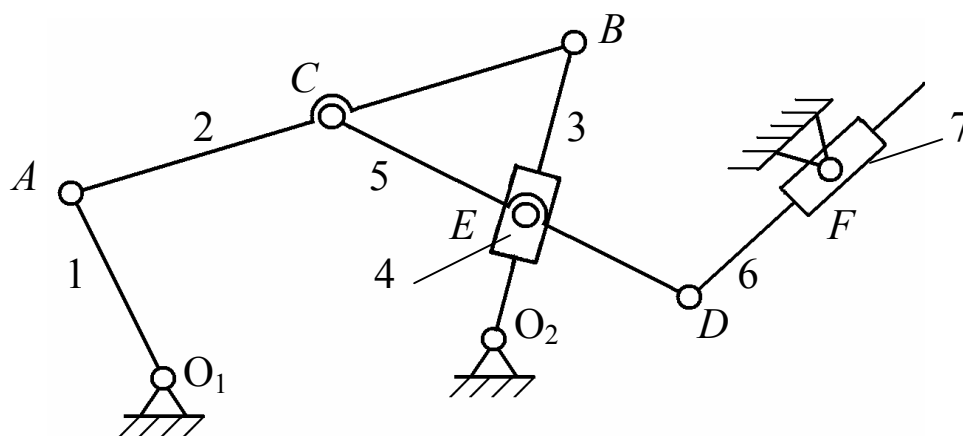
Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

$\bigcirc B$ – 2 – $\bigcirc A$ – 1 – $\bigcirc O_1$

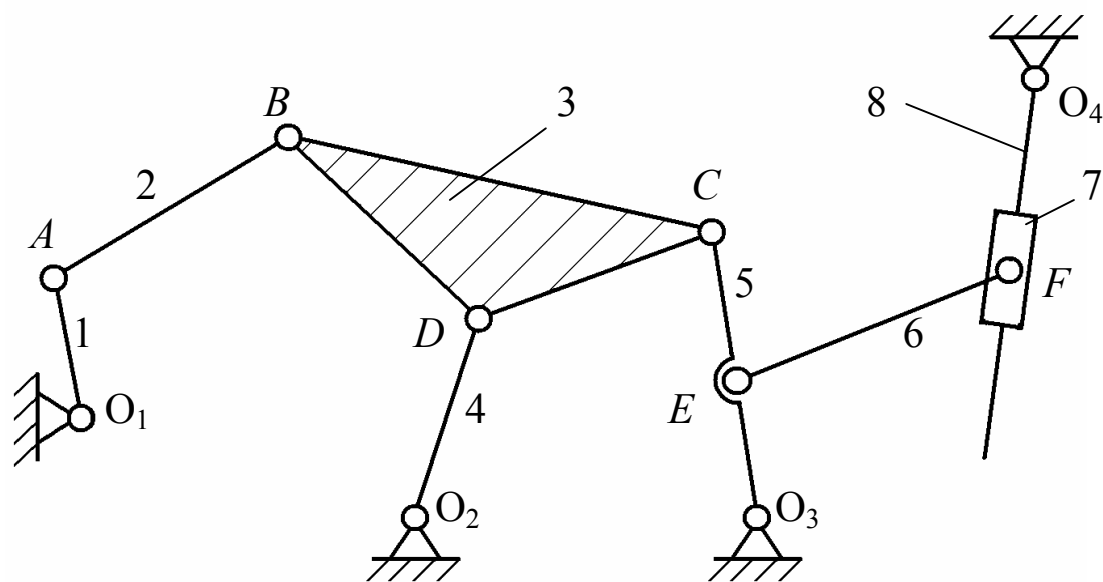
Ведомая цепь – кинематическая цепь
II кл., 2-го пор. 1-й модиф.; $W = 0$.

Весь механизм в данном случае *наиболее просто* классифицируется как механизм II класса с одновременно двумя входными звеньями.

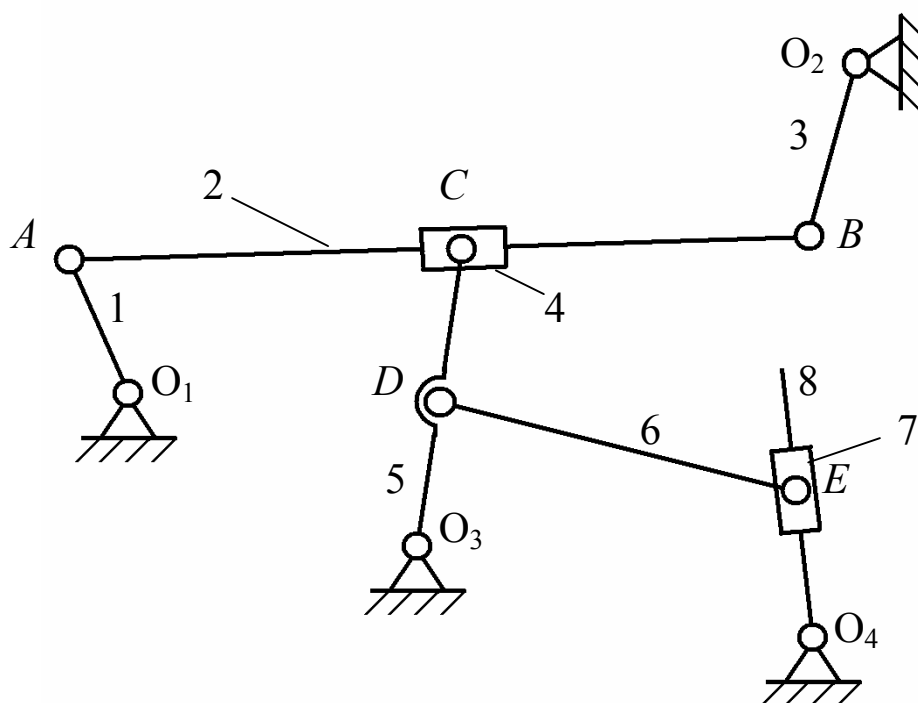
Далее представлены задачи, рекомендуемые студентам в качестве материала для самостоятельного анализа.



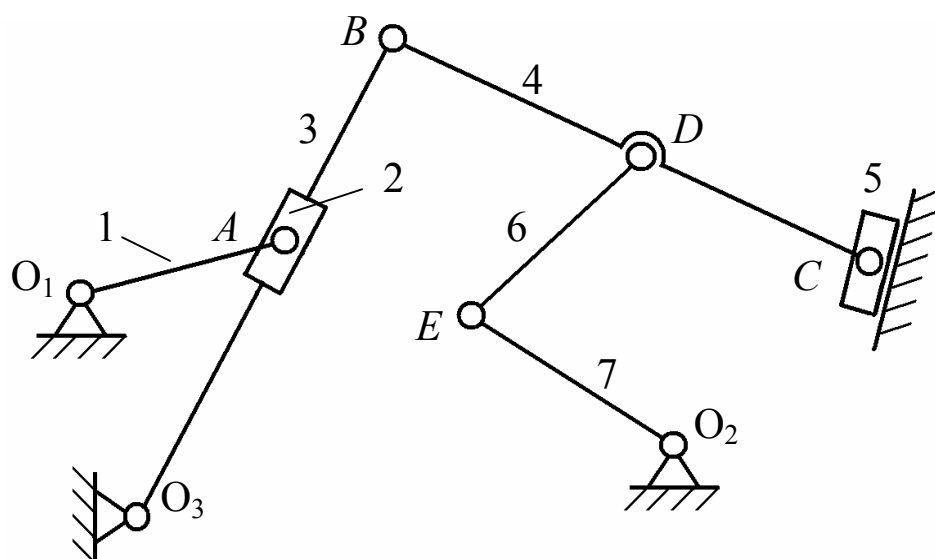
Задача 1



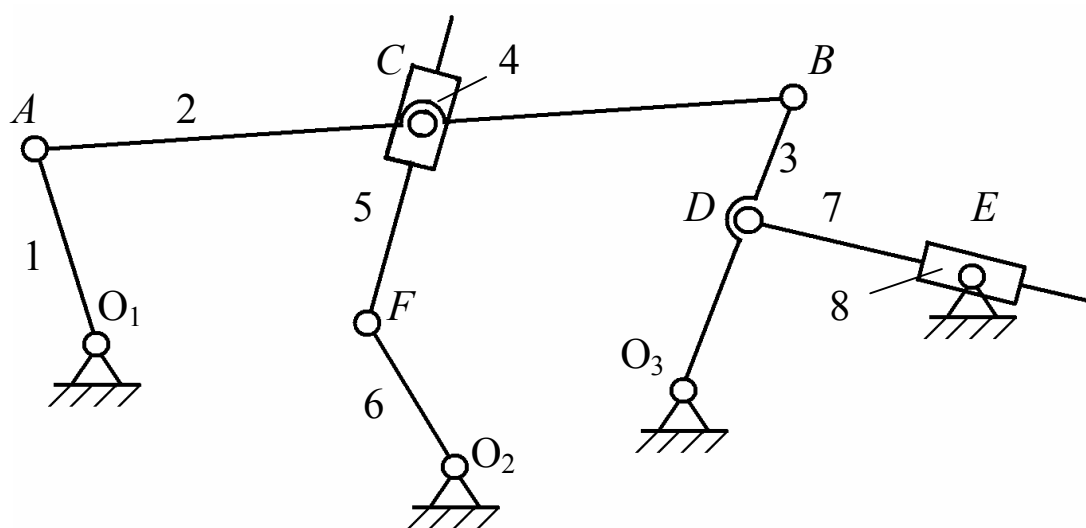
Задача 2



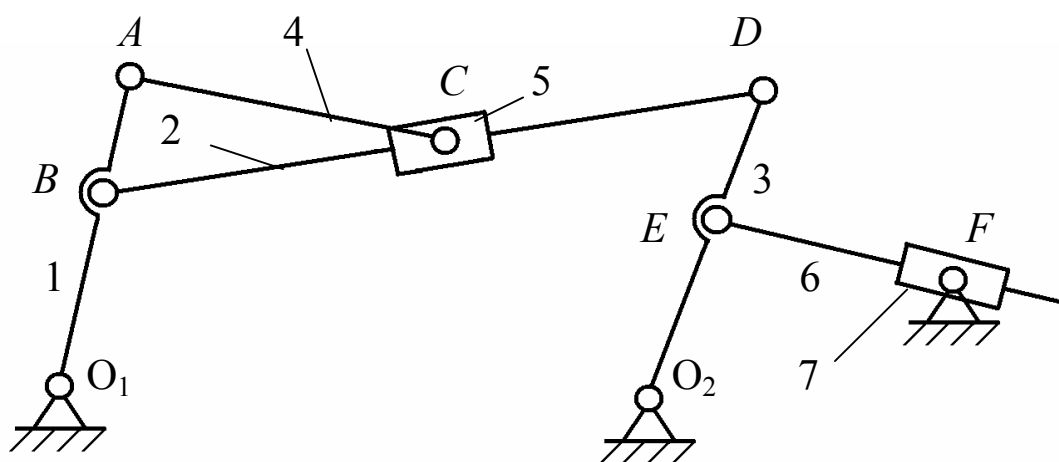
Задача 3



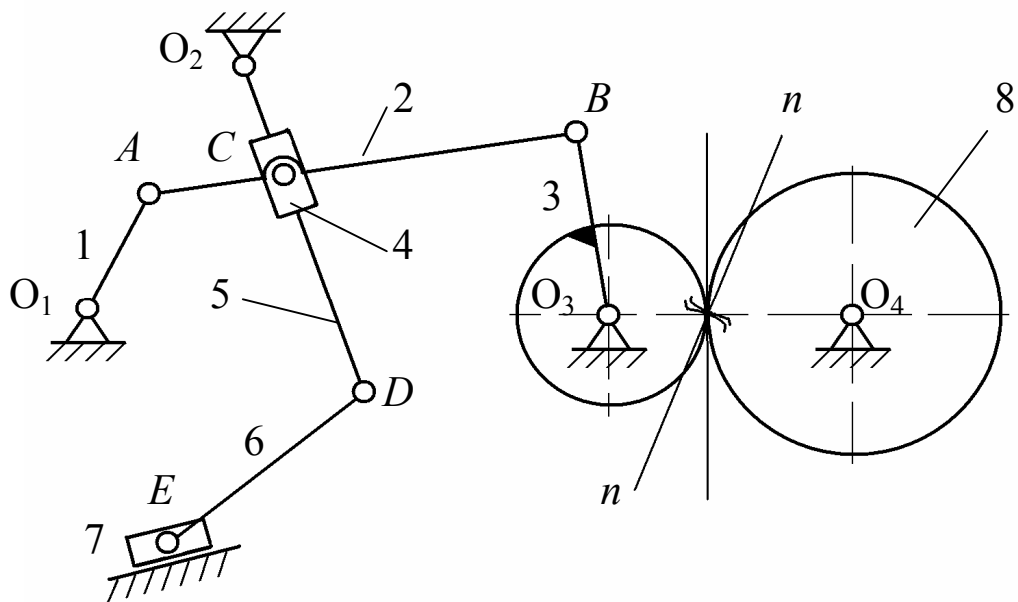
Задача 4



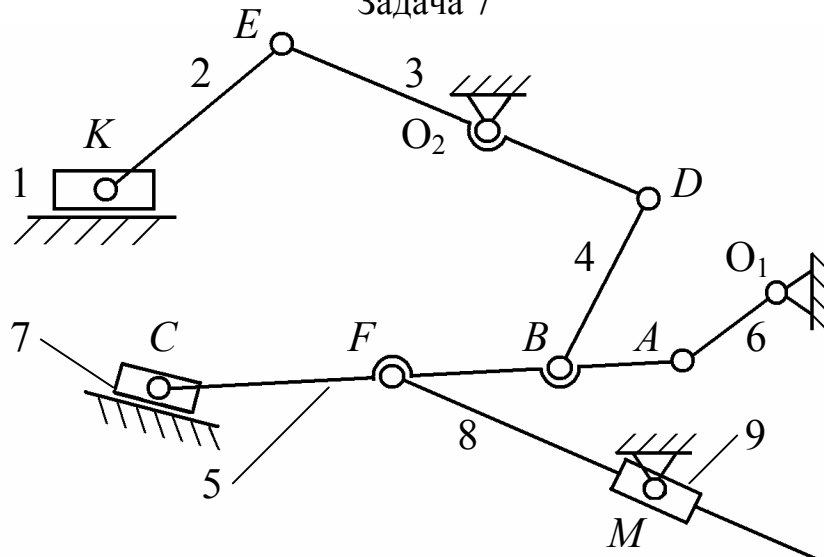
Задача 5



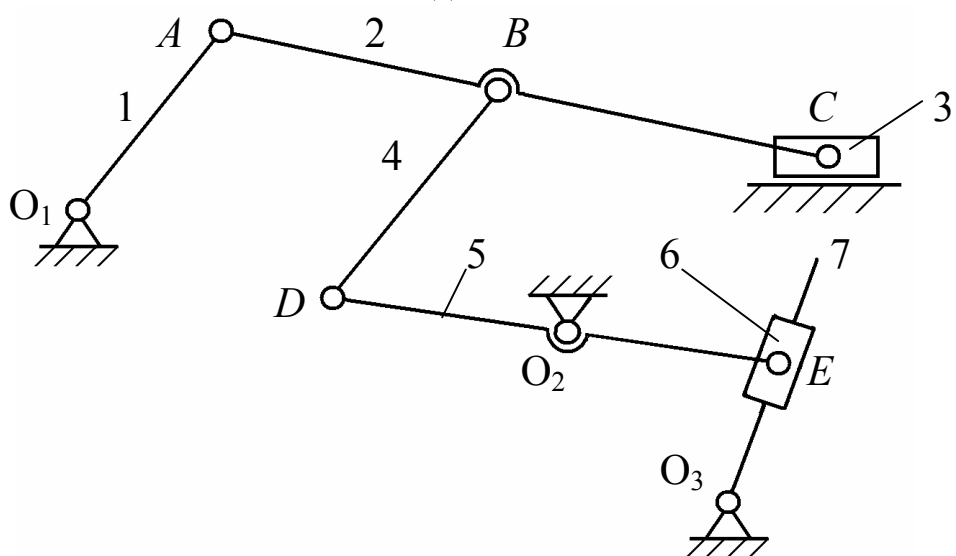
Задача 6



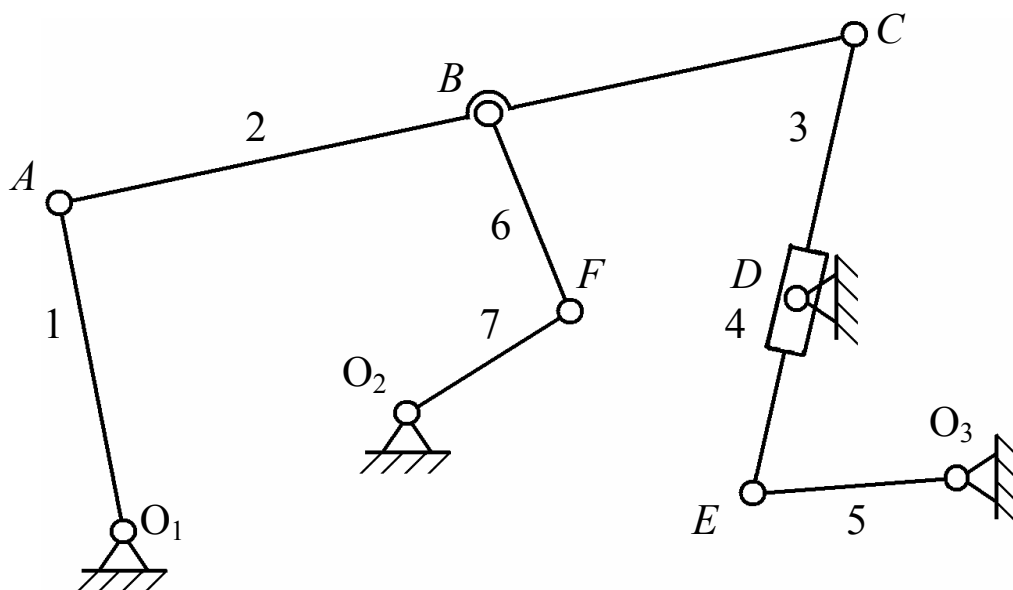
Задача 7



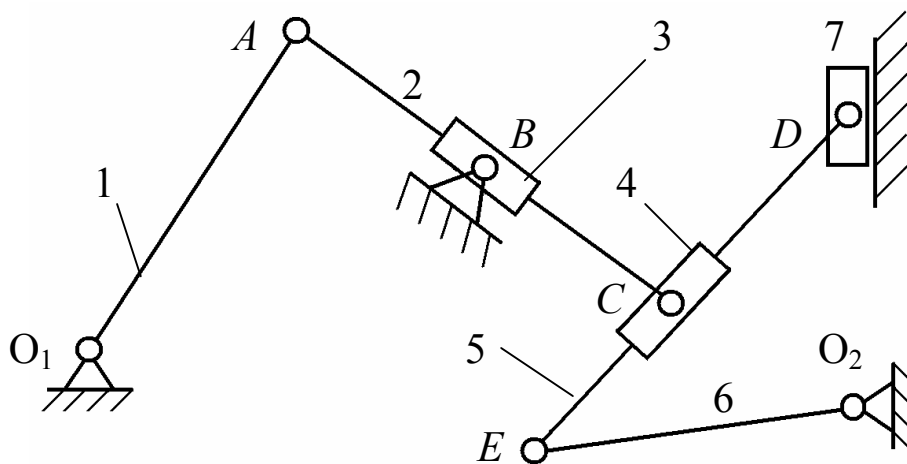
Задача 8



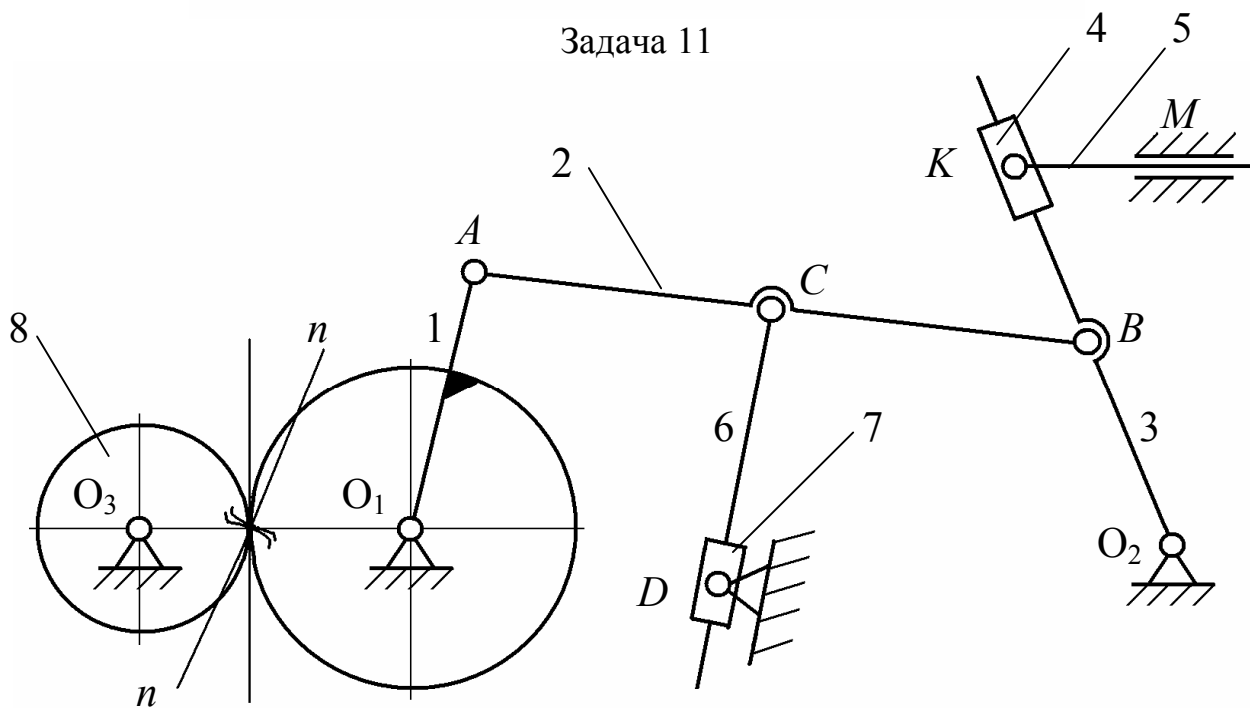
Задача 9



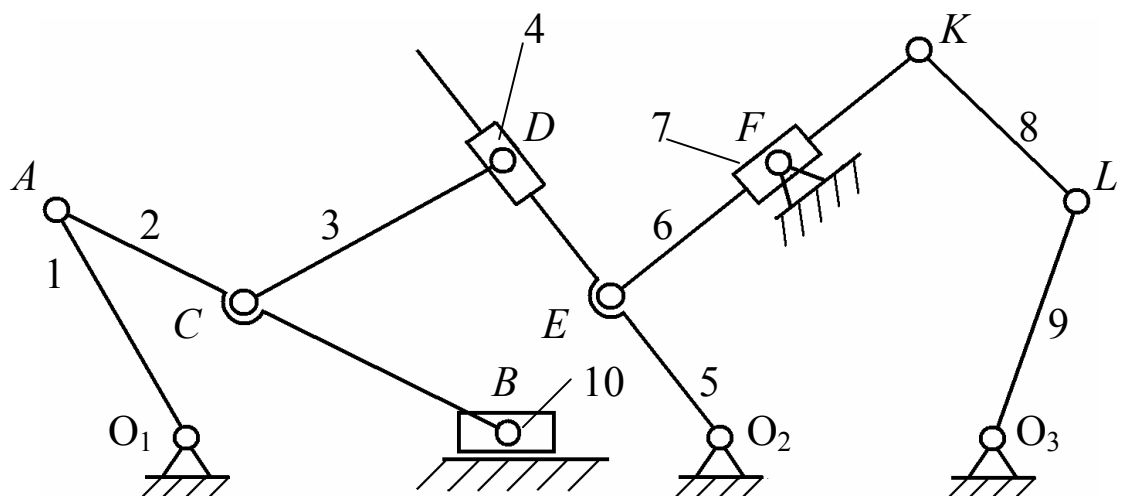
Задача 10



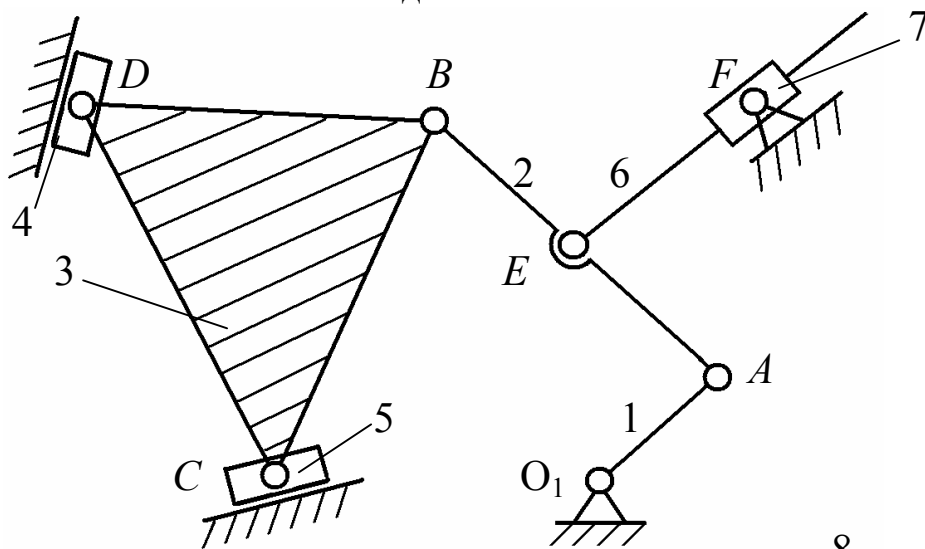
Задача 11



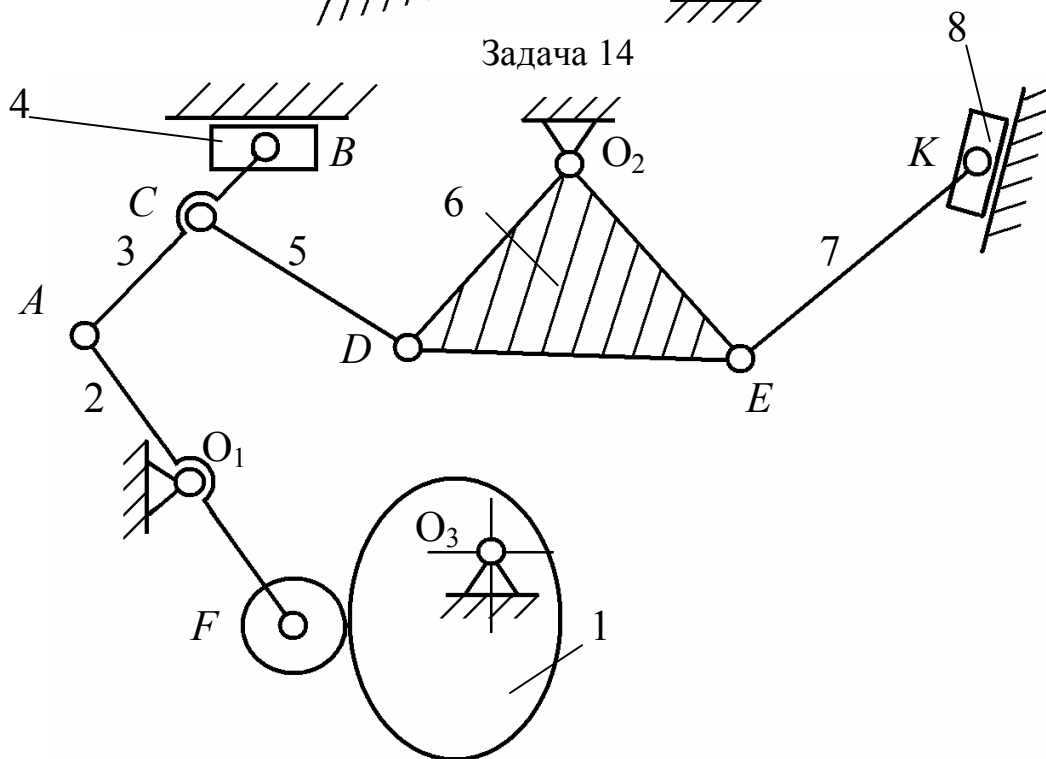
Задача 12



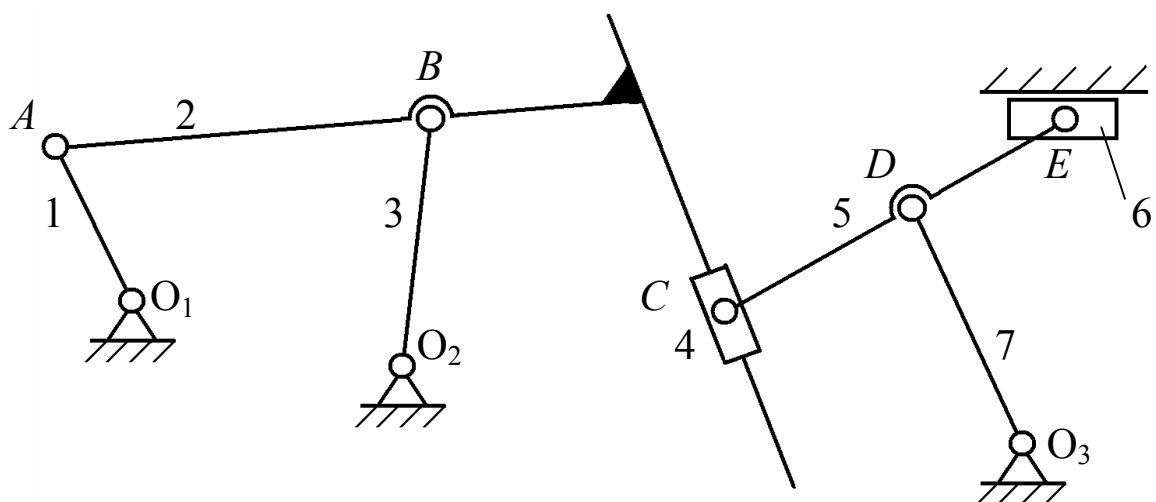
Задача 13



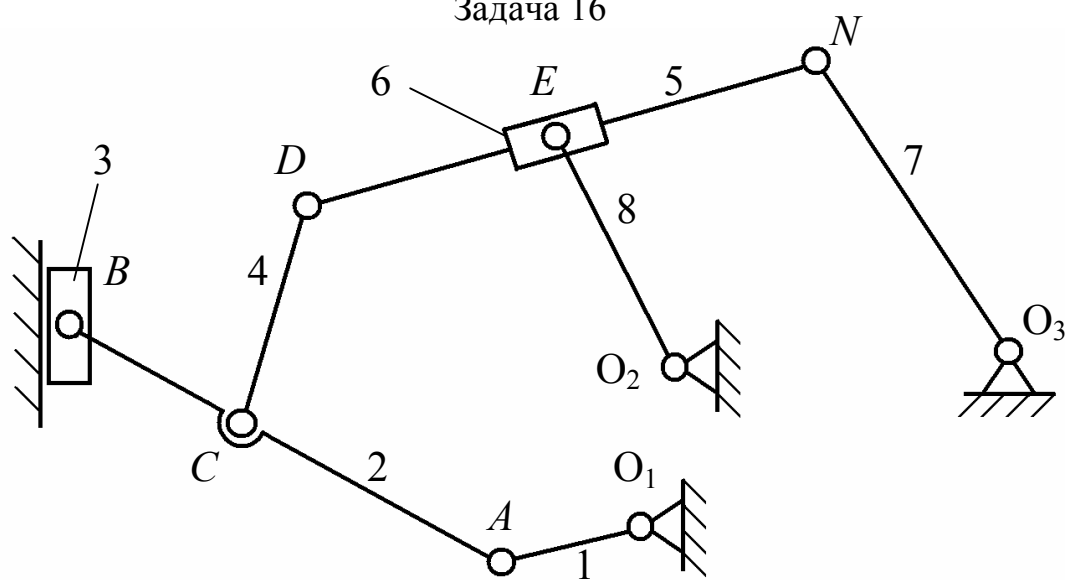
Задача 14



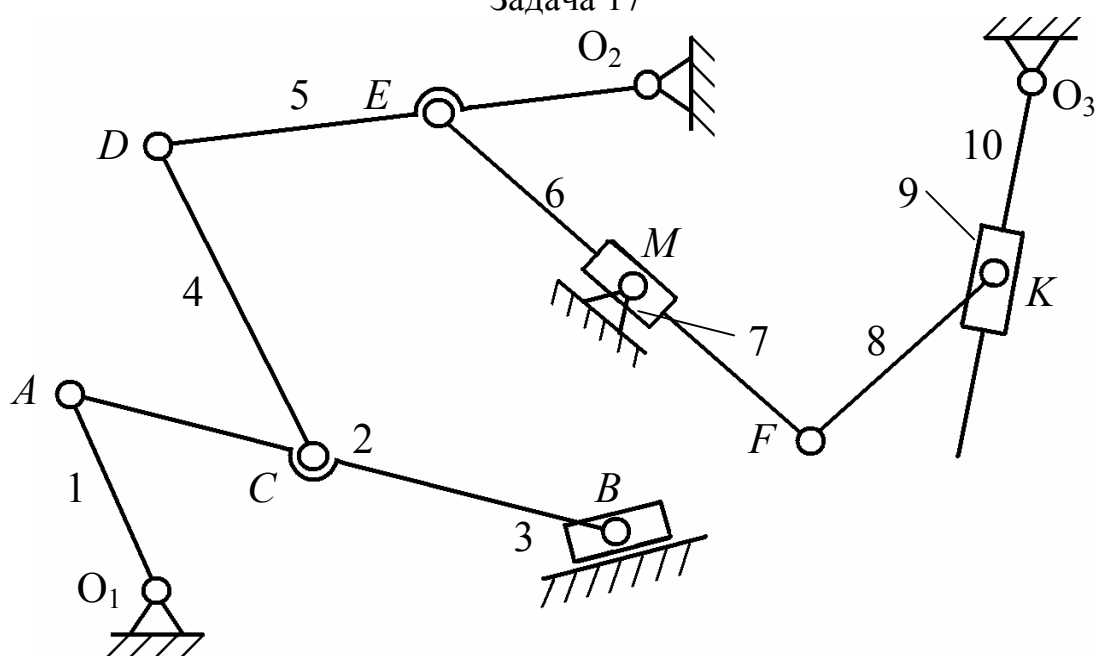
Задача 15



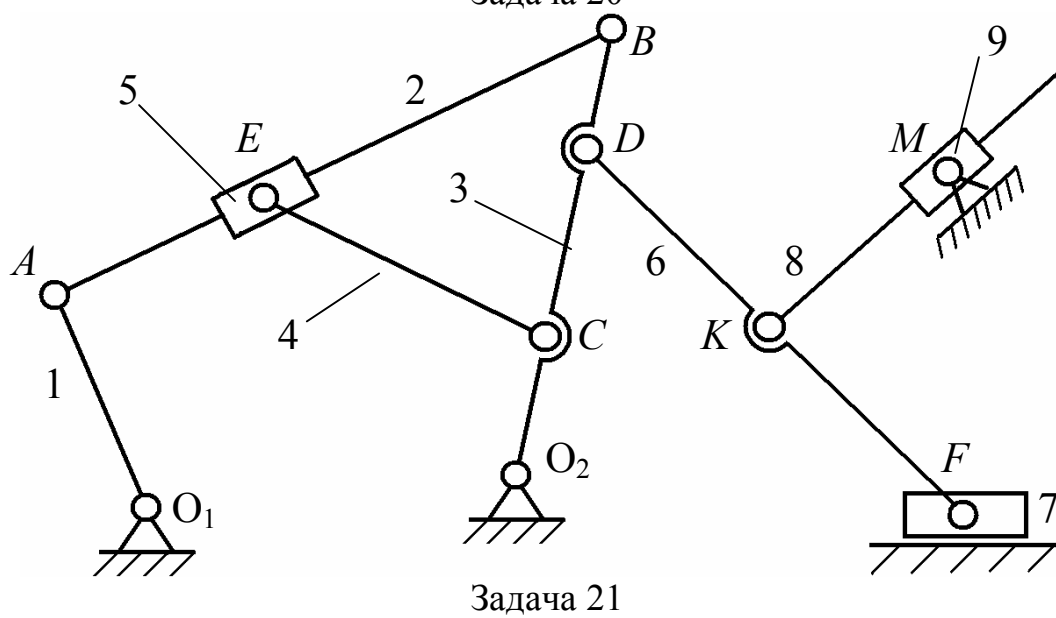
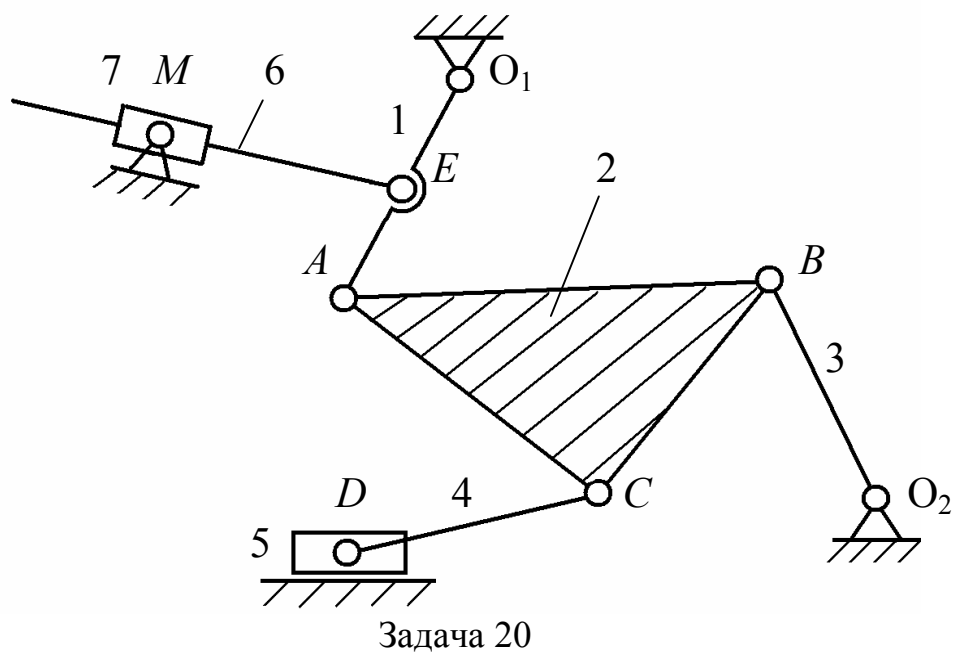
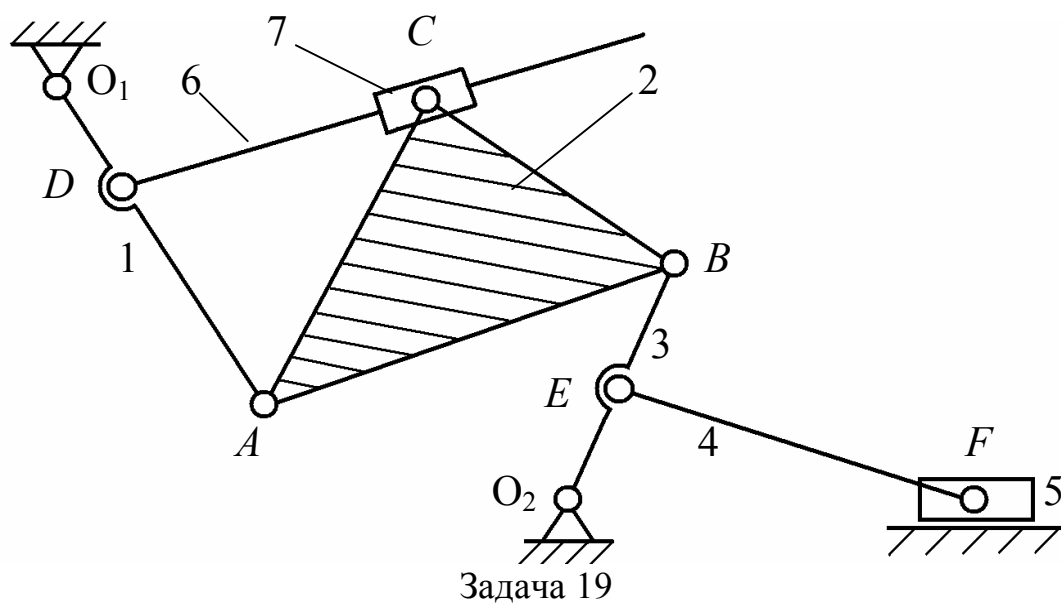
Задача 16

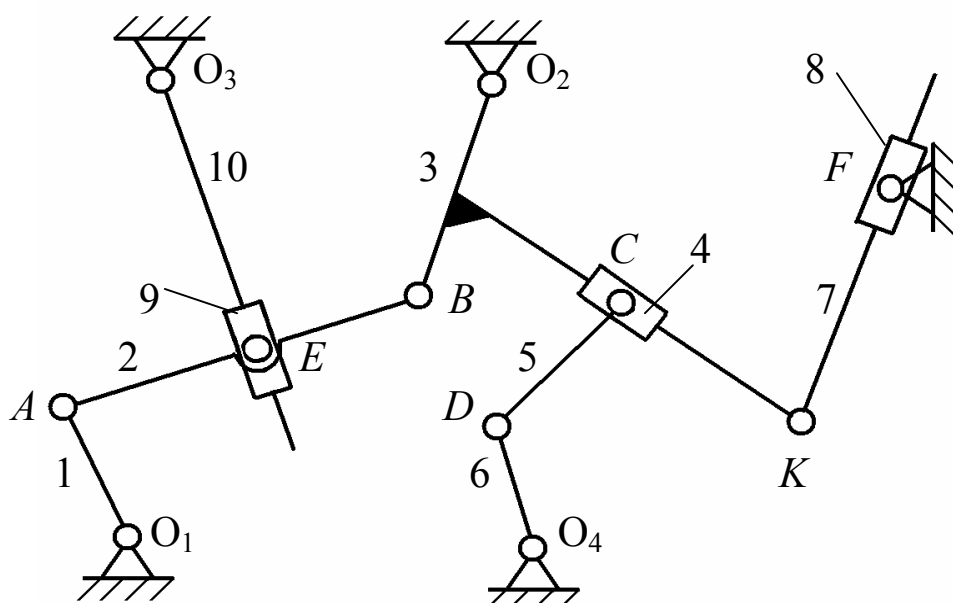


Задача 17

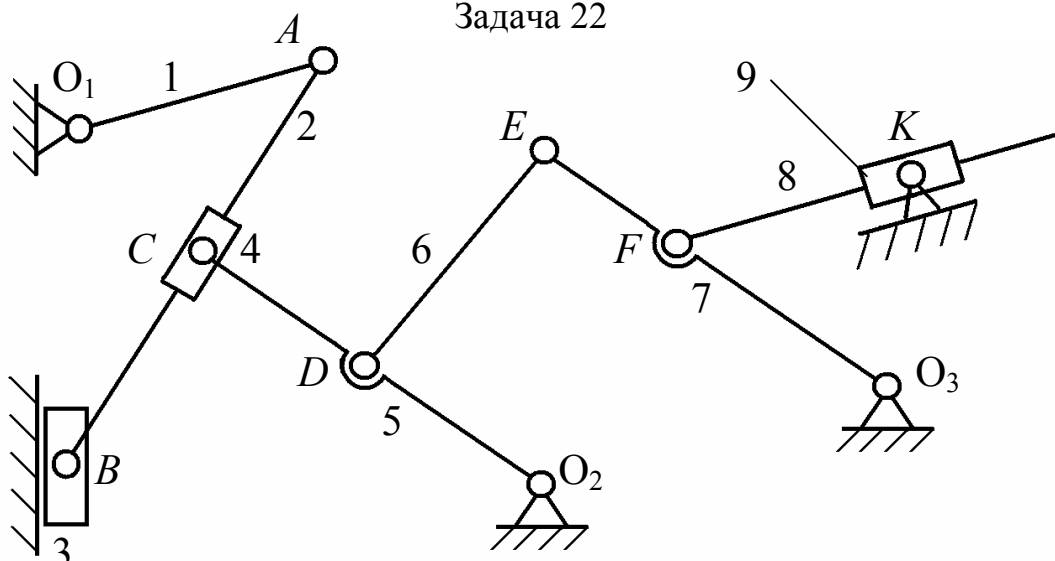


Задача 18

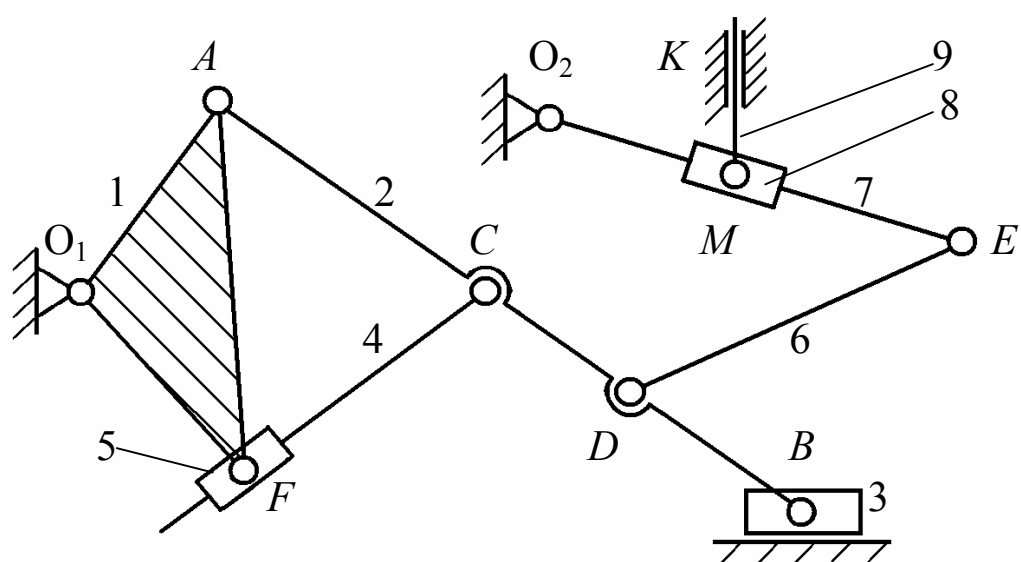




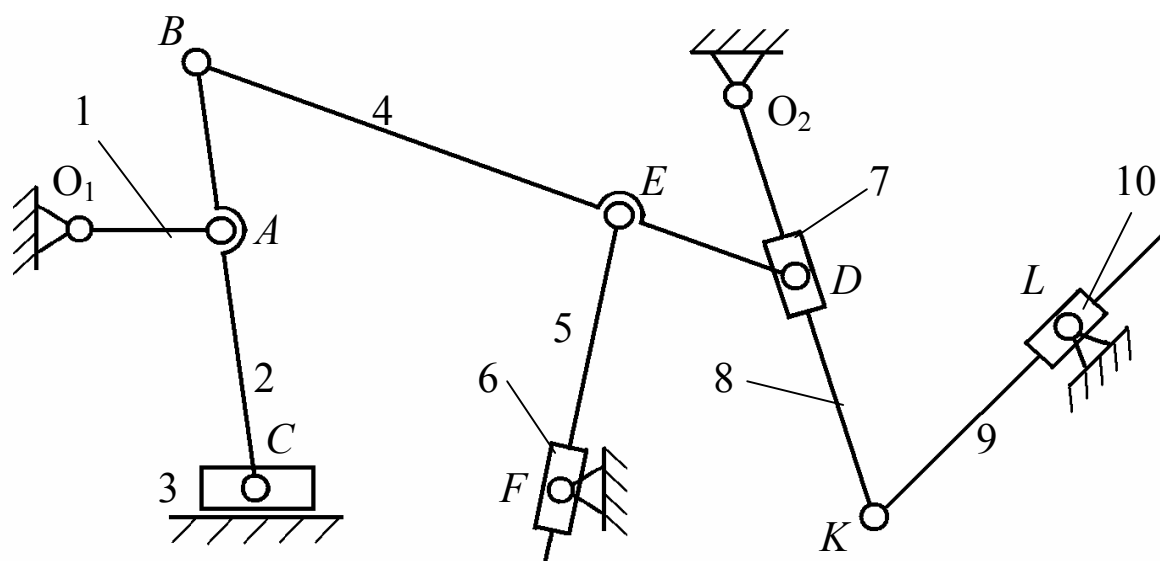
Задача 22



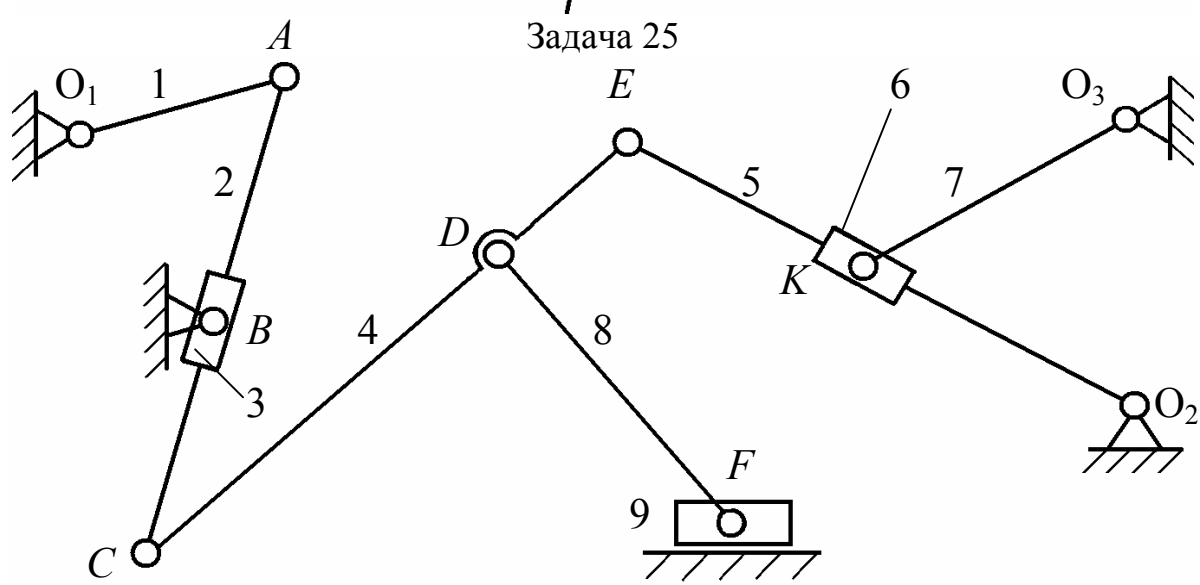
Задача 23



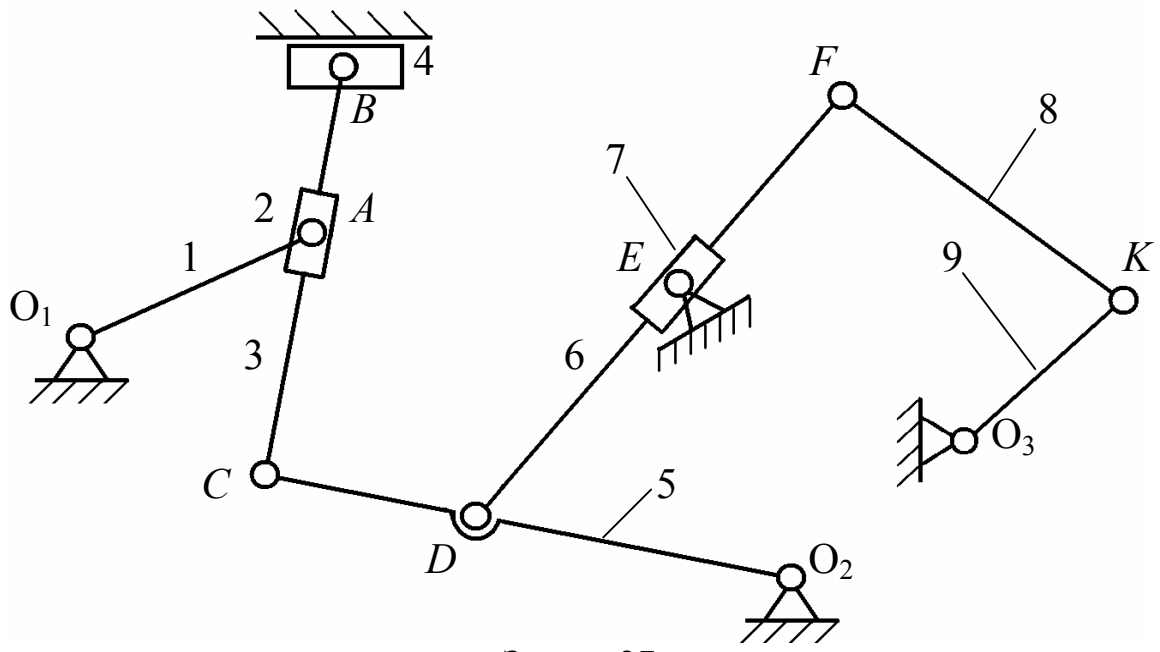
Задача 24



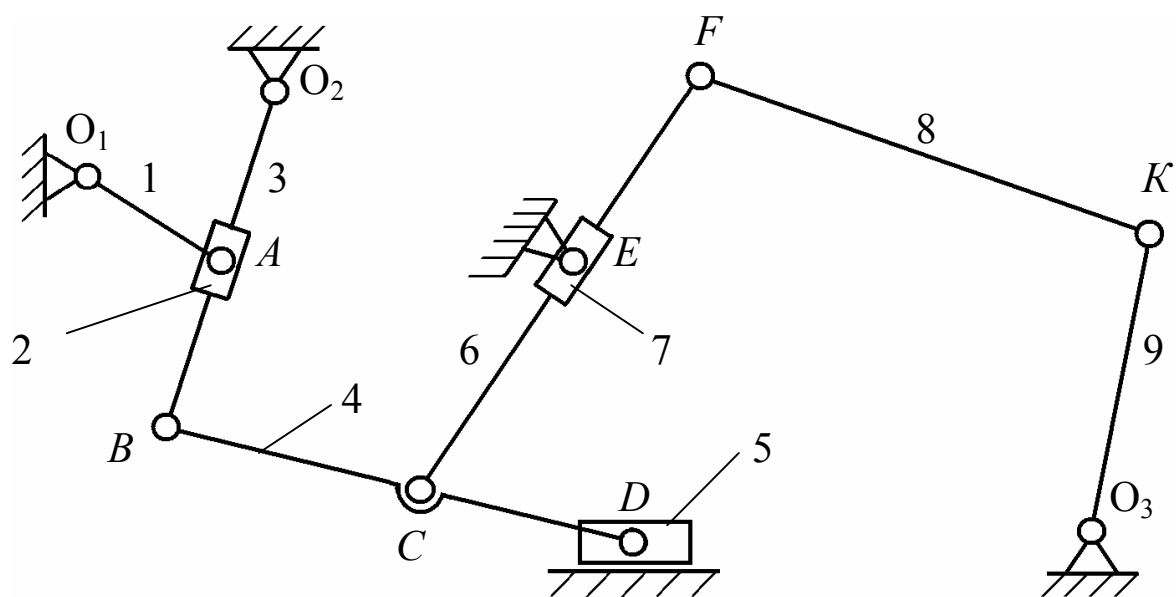
Задача 25



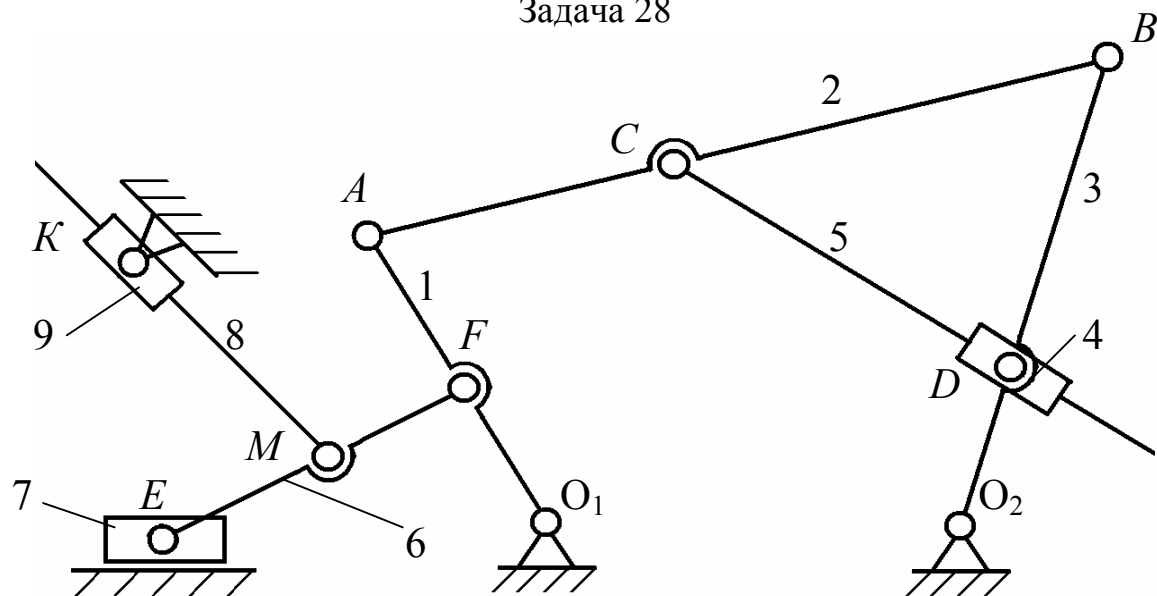
Задача 26



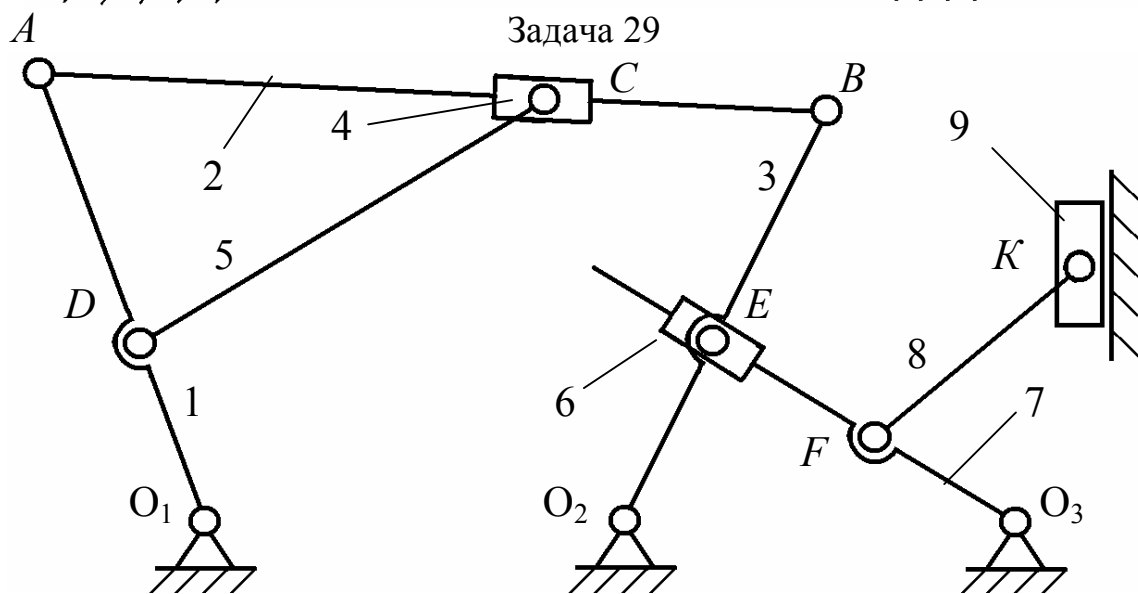
Задача 27



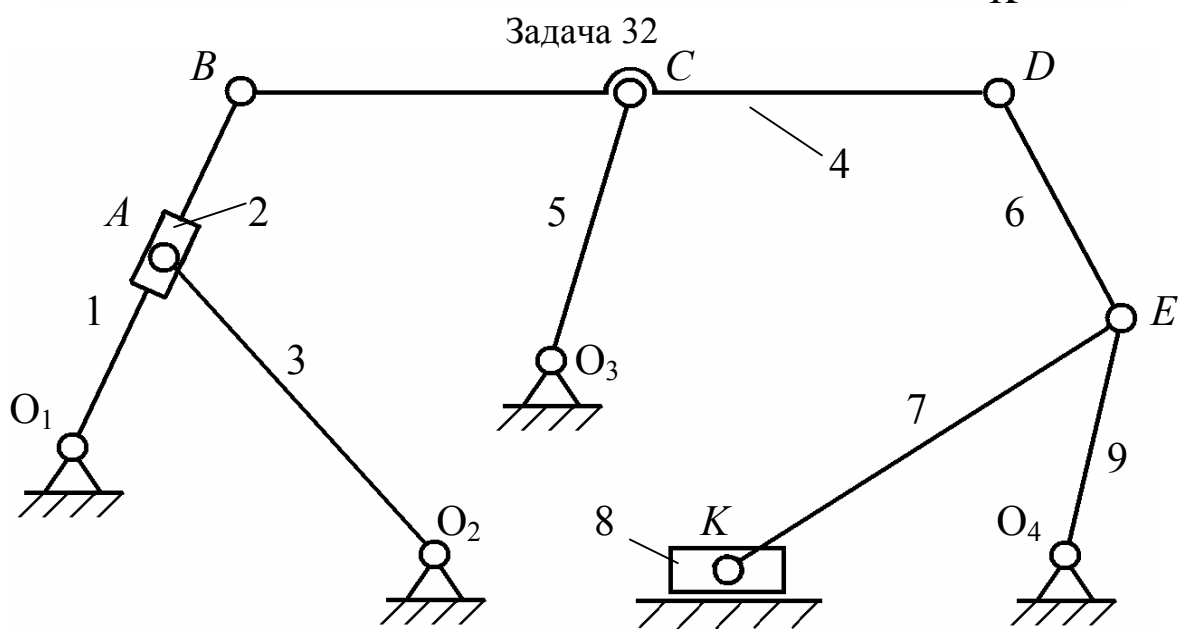
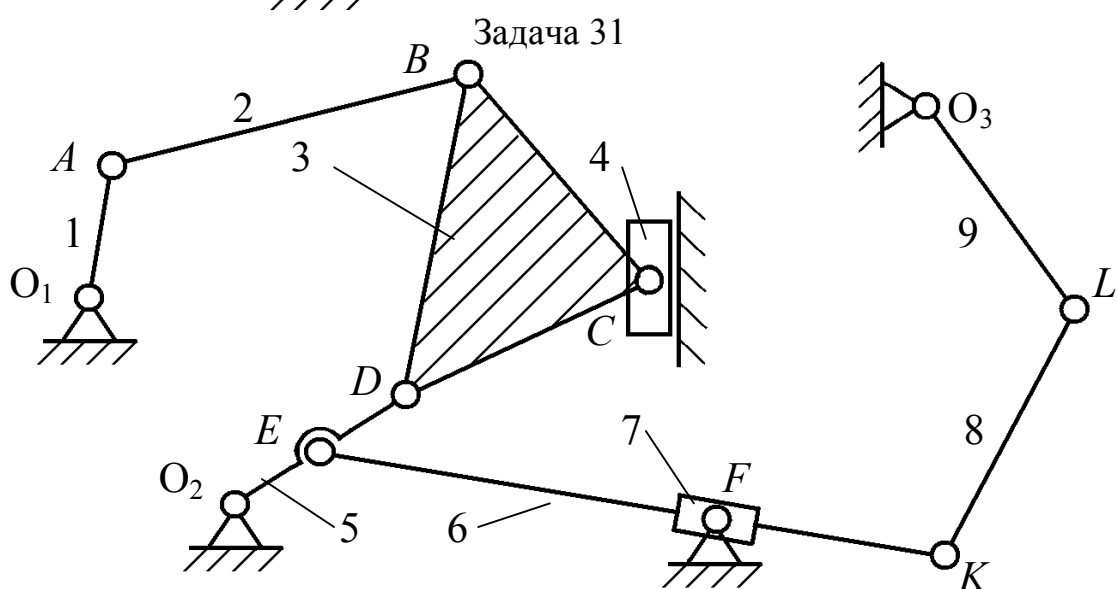
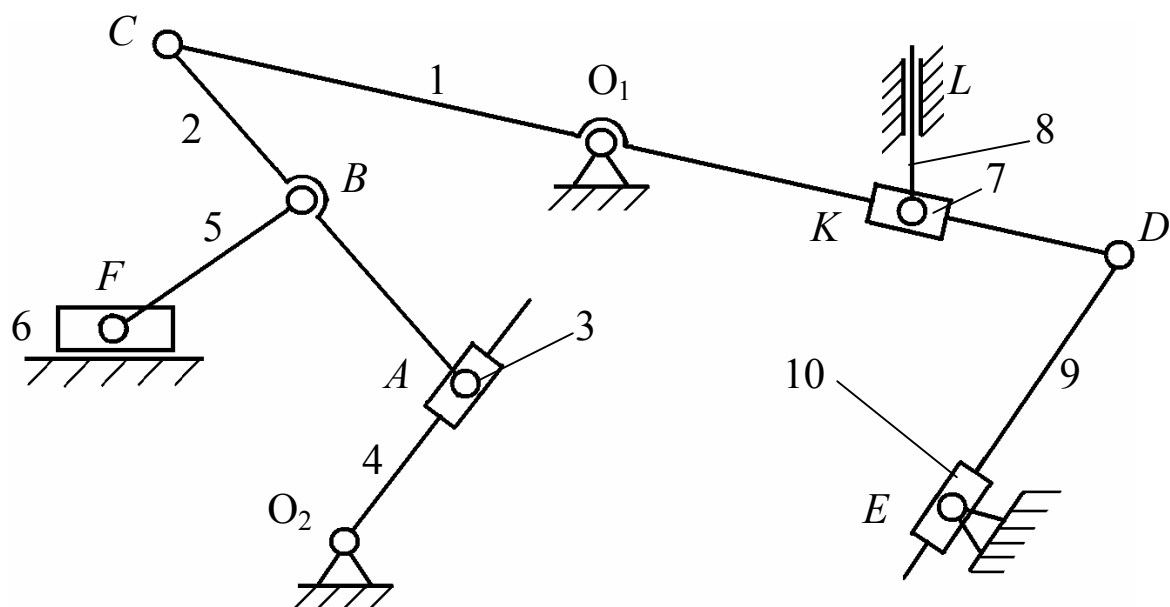
Задача 28



Задача 29

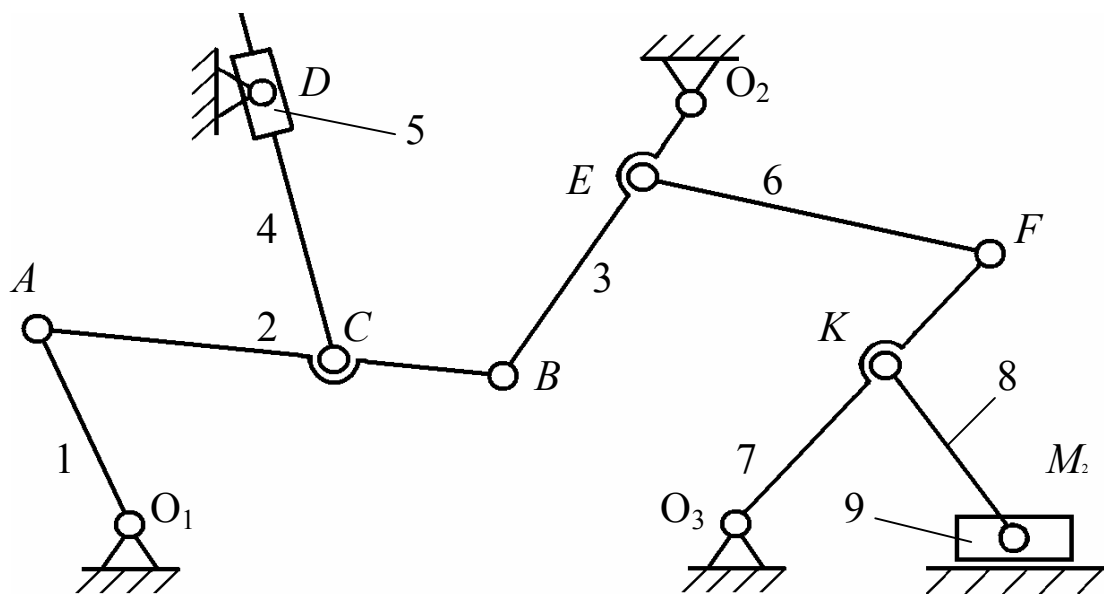


Задача 30

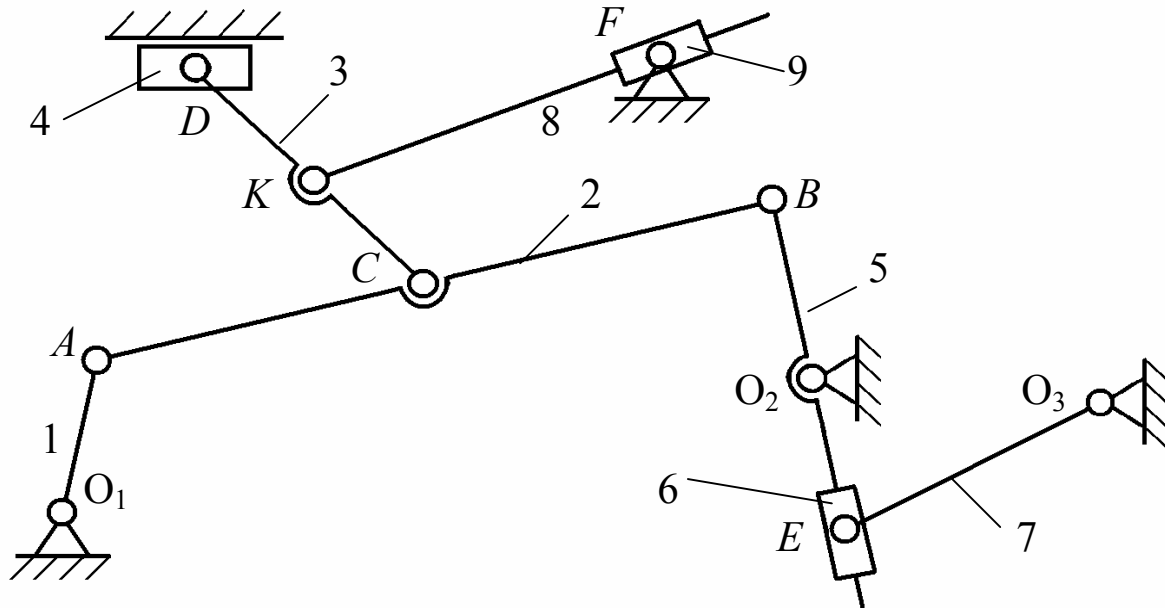


Задача 33

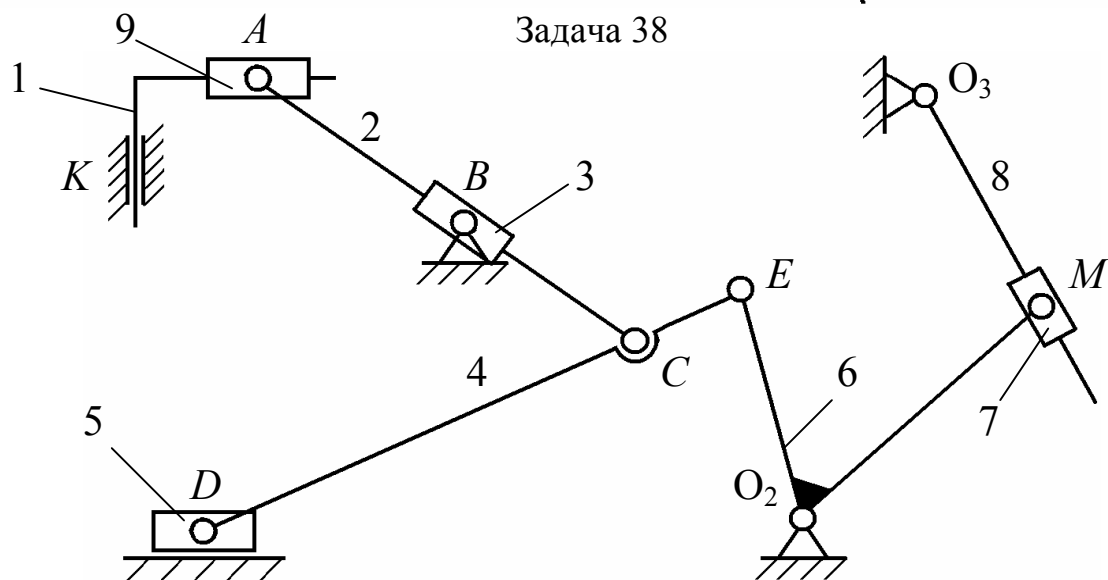




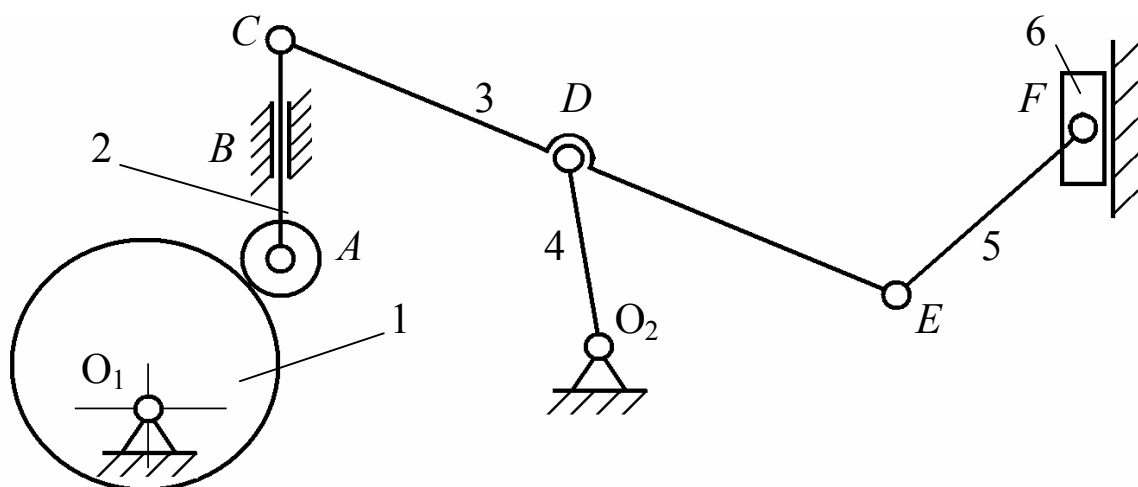
Задача 37



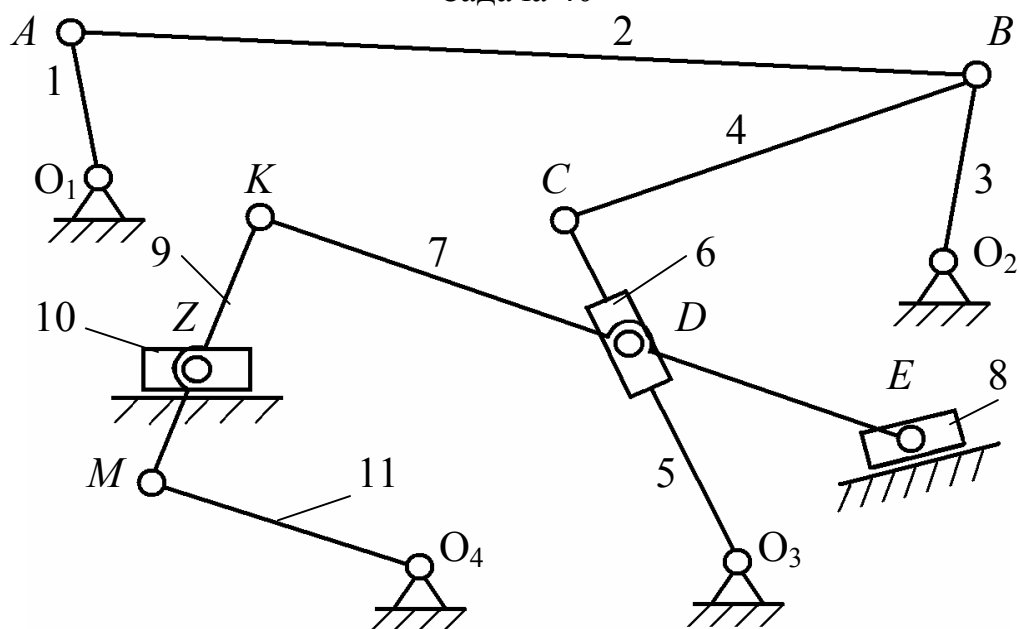
Задача 38



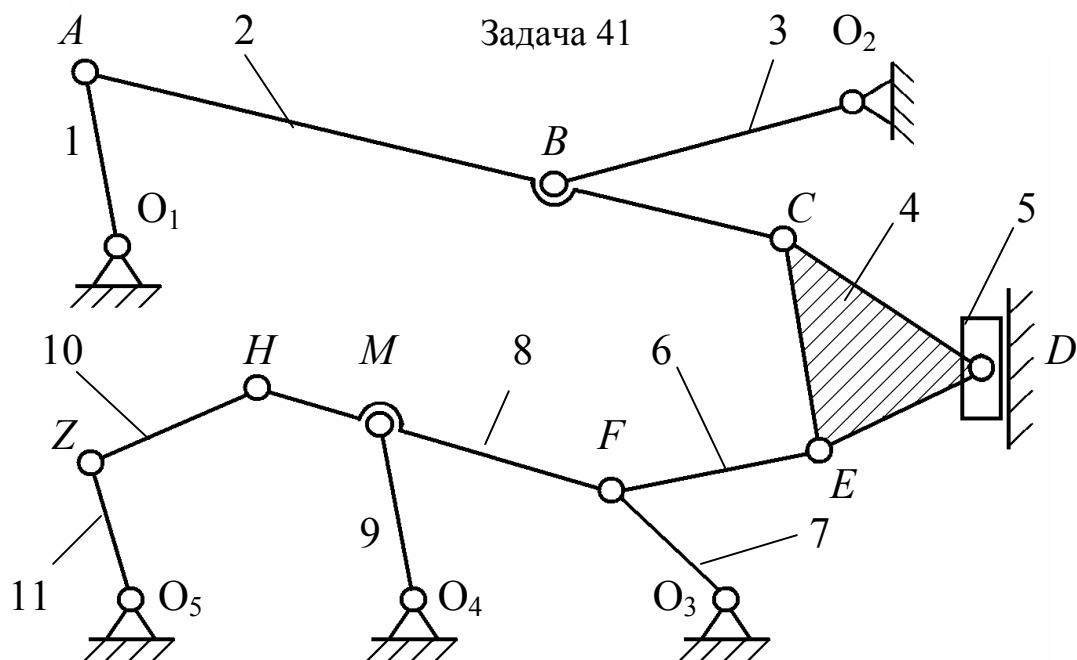
Задача 39



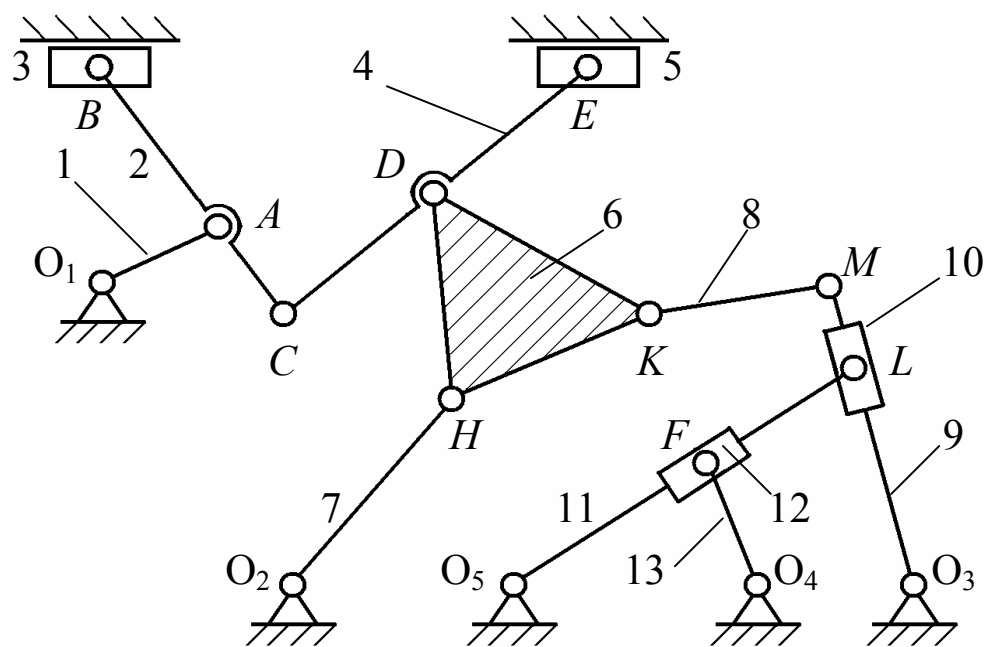
Задача 40



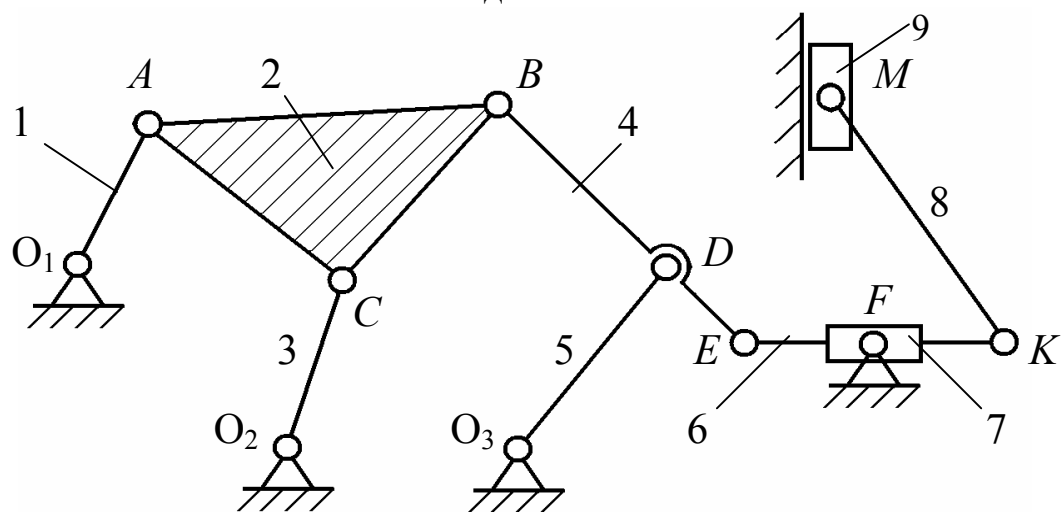
Задача 41



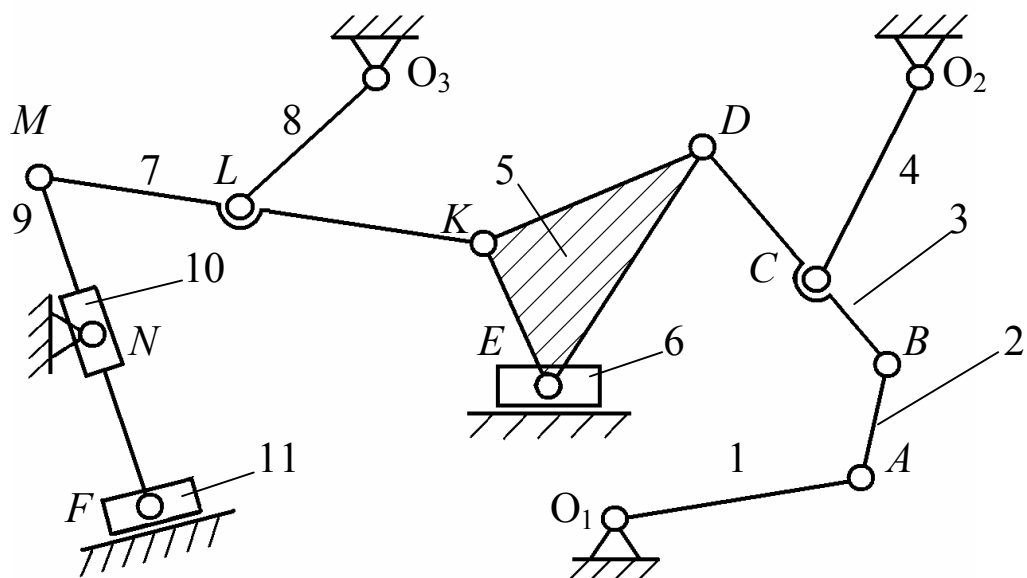
Задача 42



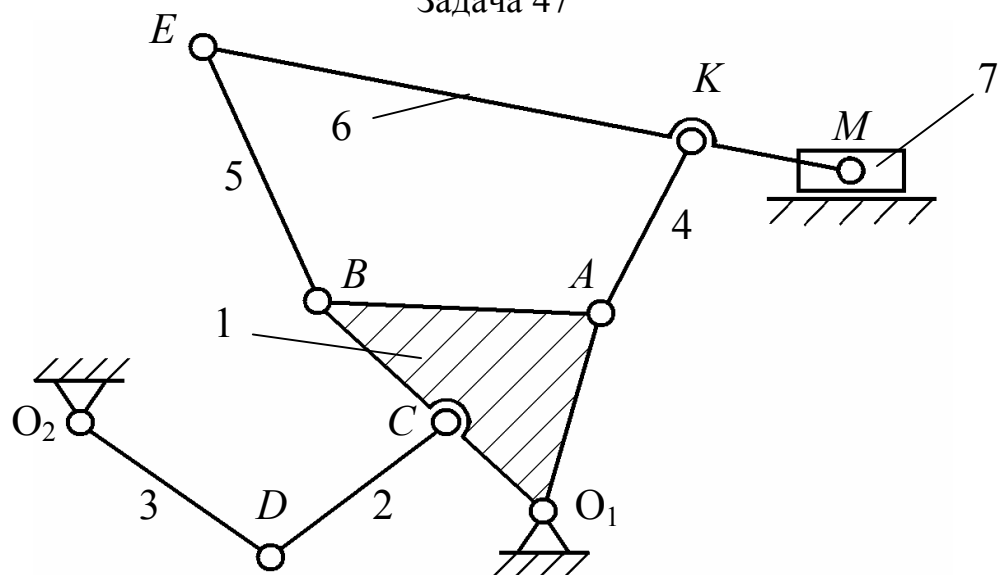
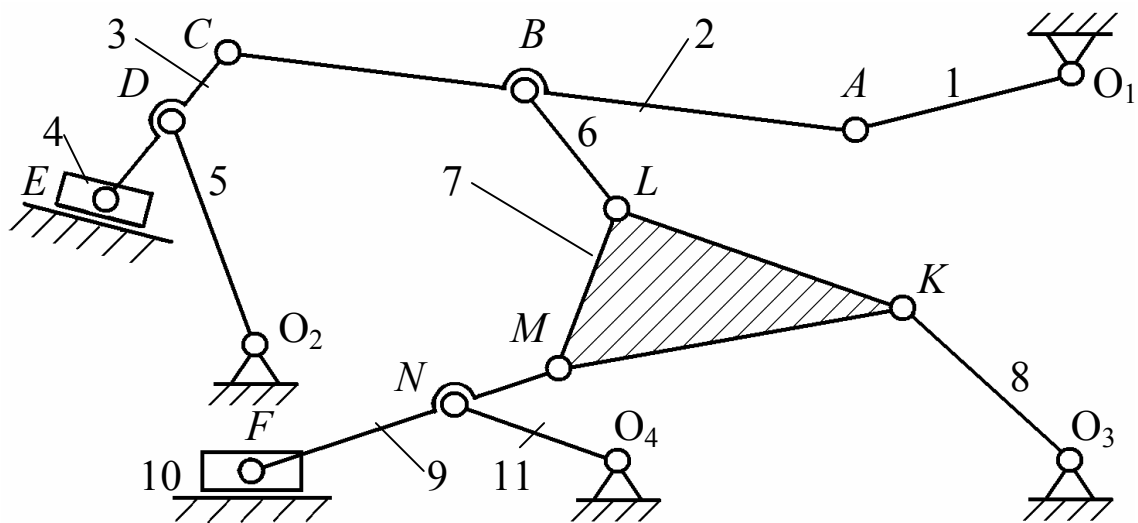
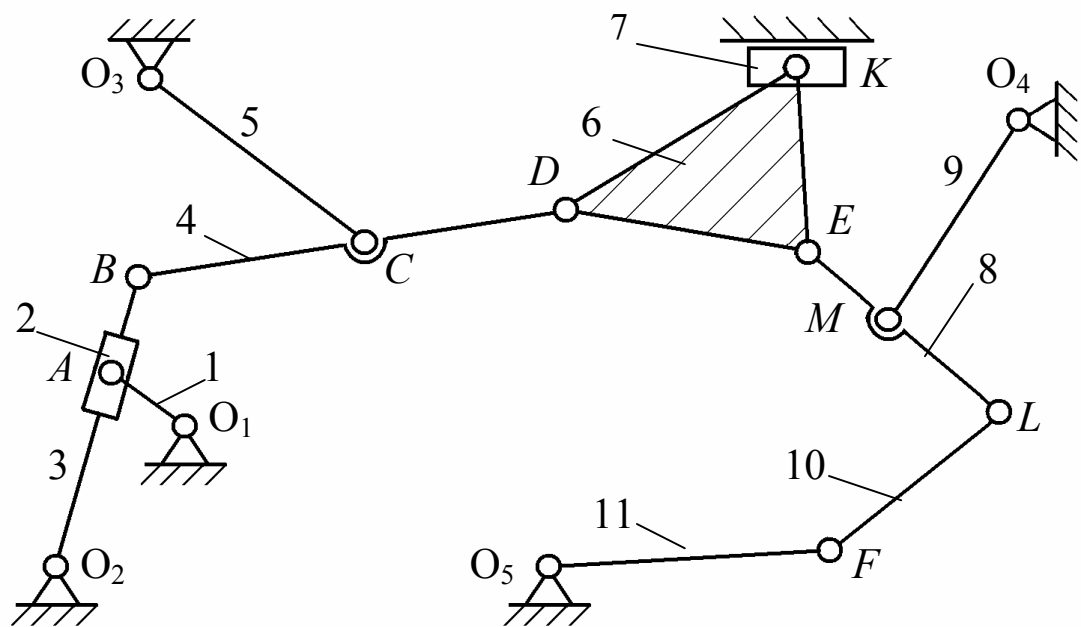
Задача 43

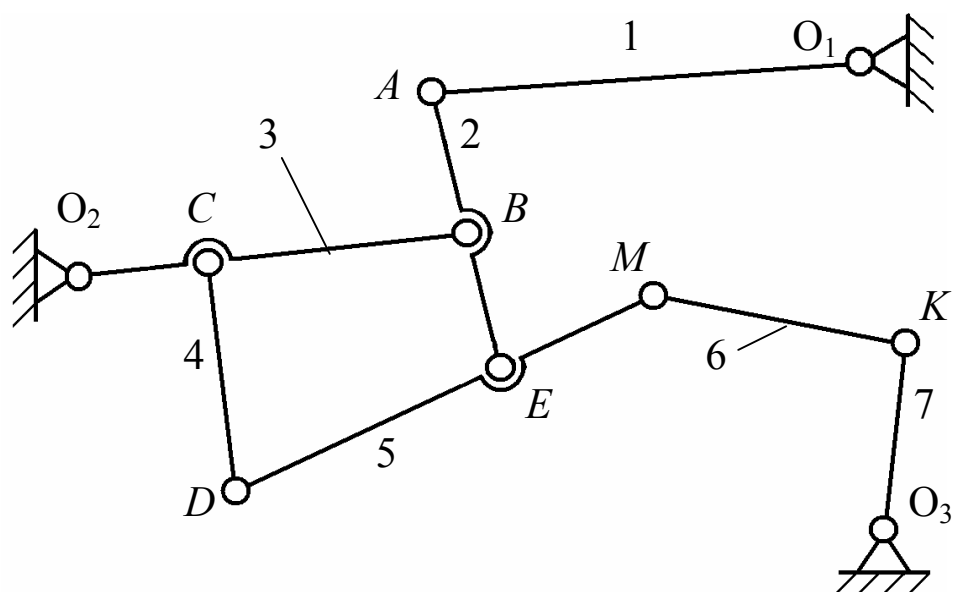


Задача 44

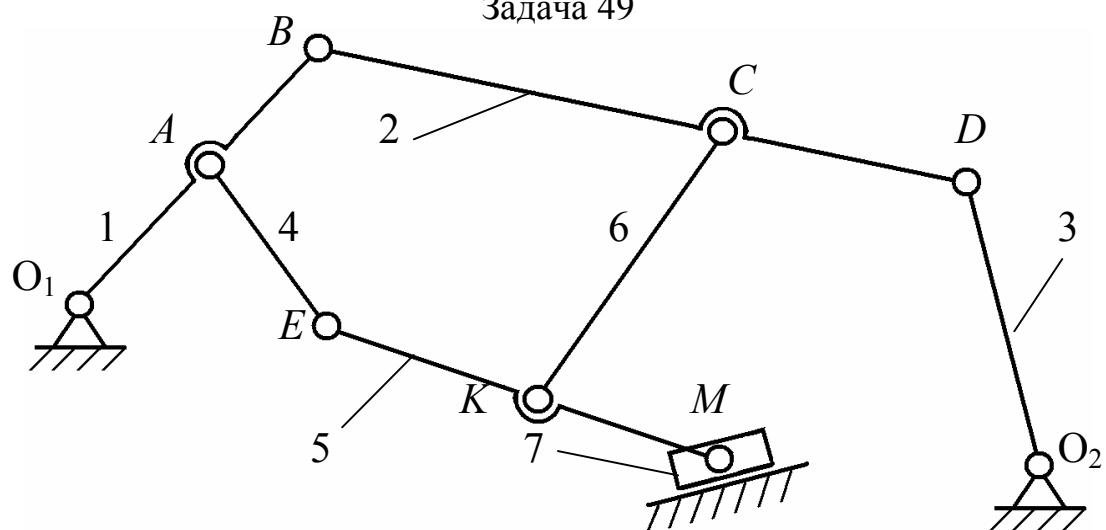


Задача 45

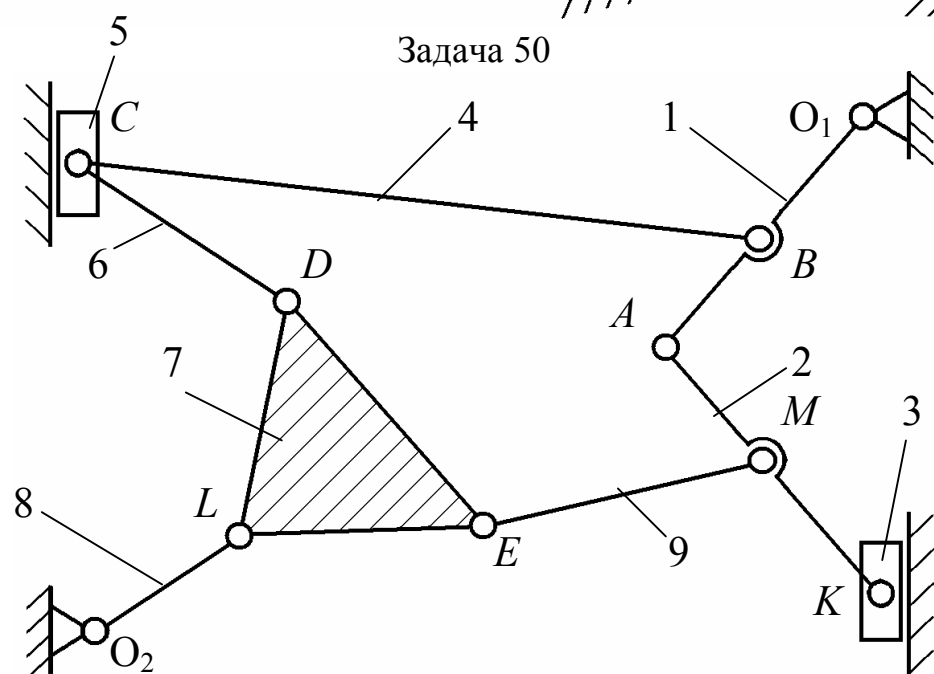




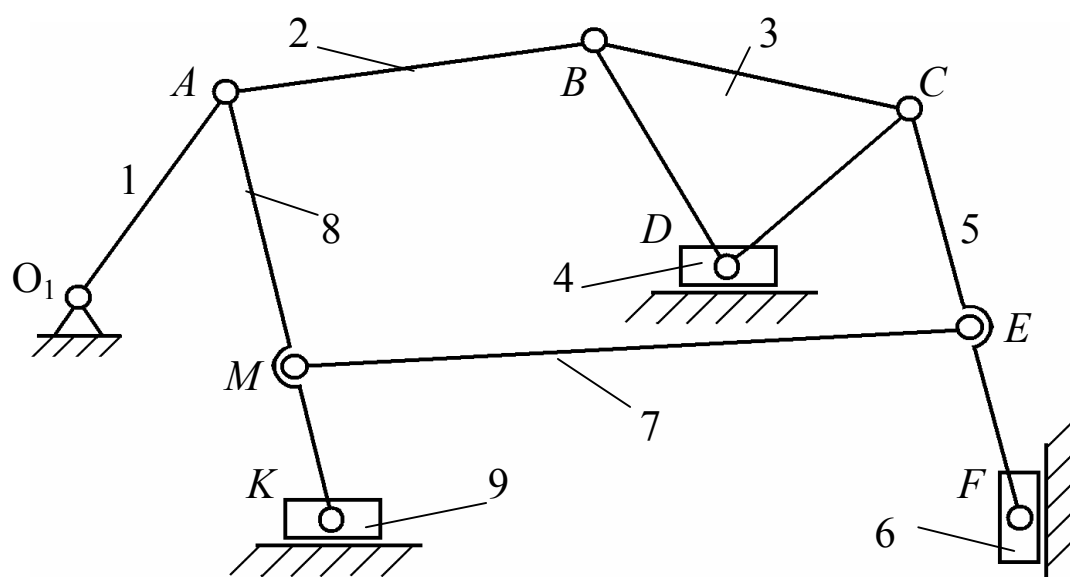
Задача 49



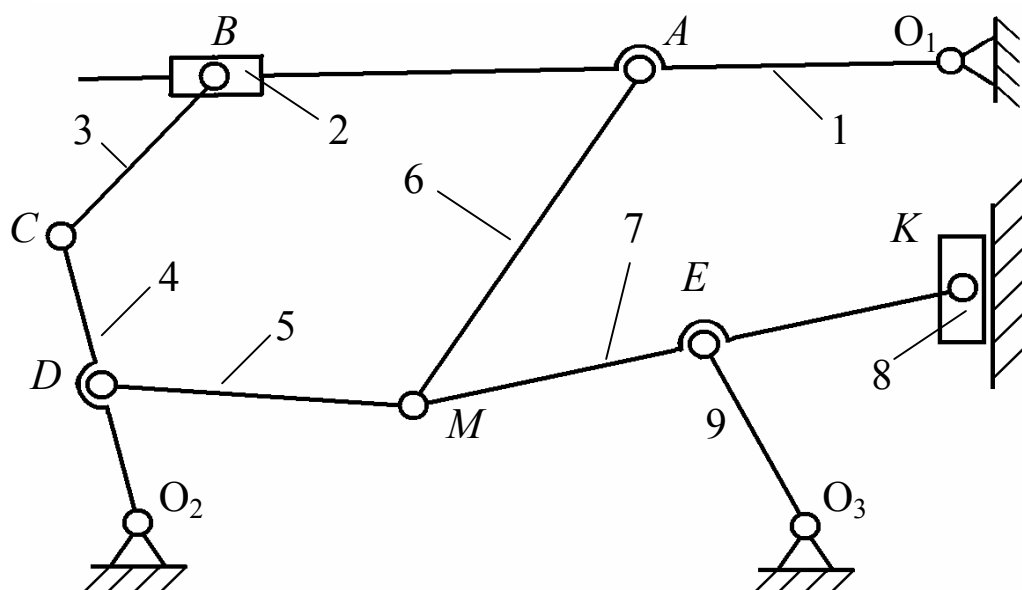
Задача 50



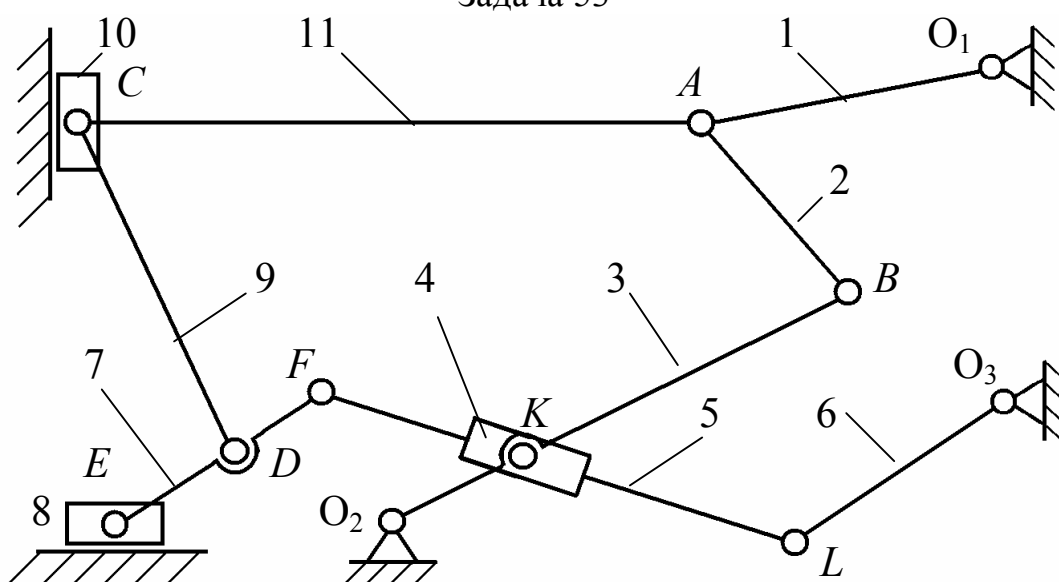
Задача 51



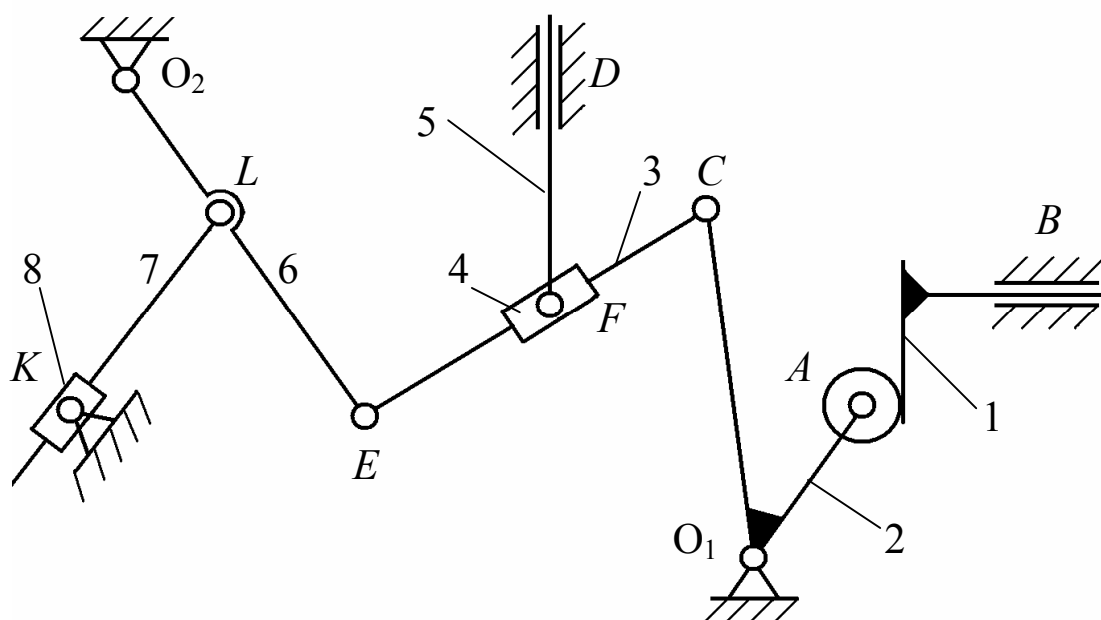
Задача 52



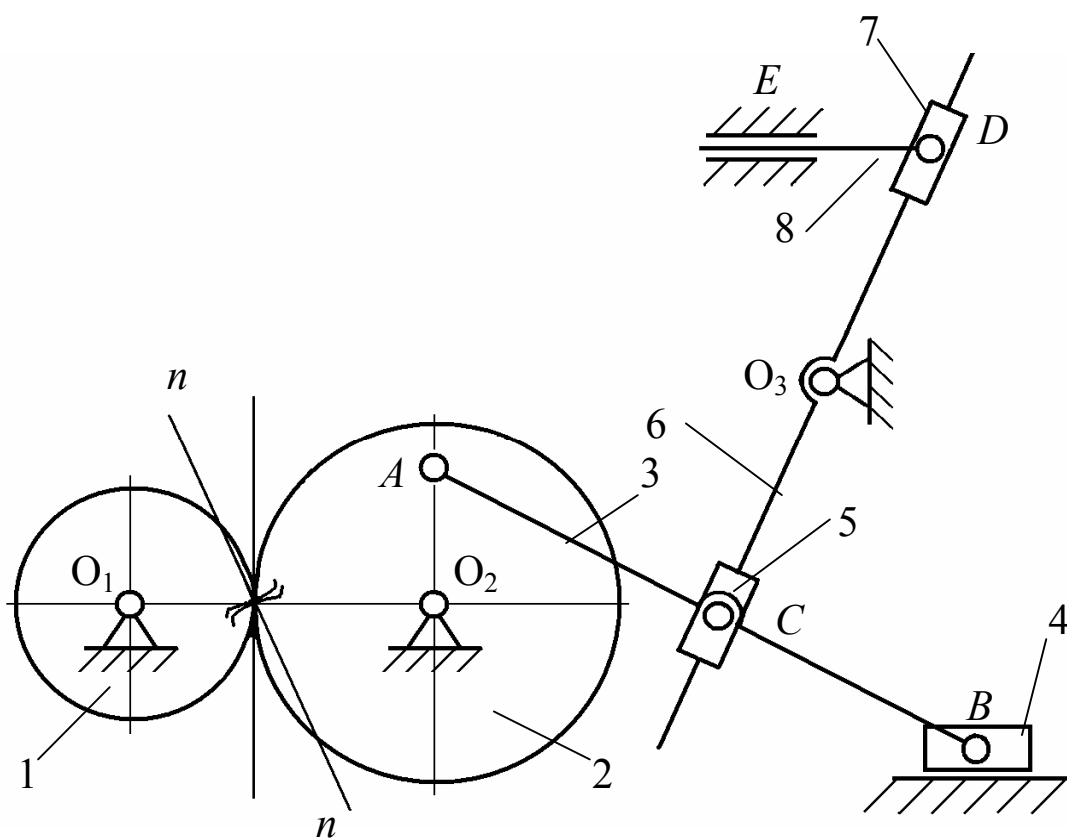
Задача 53



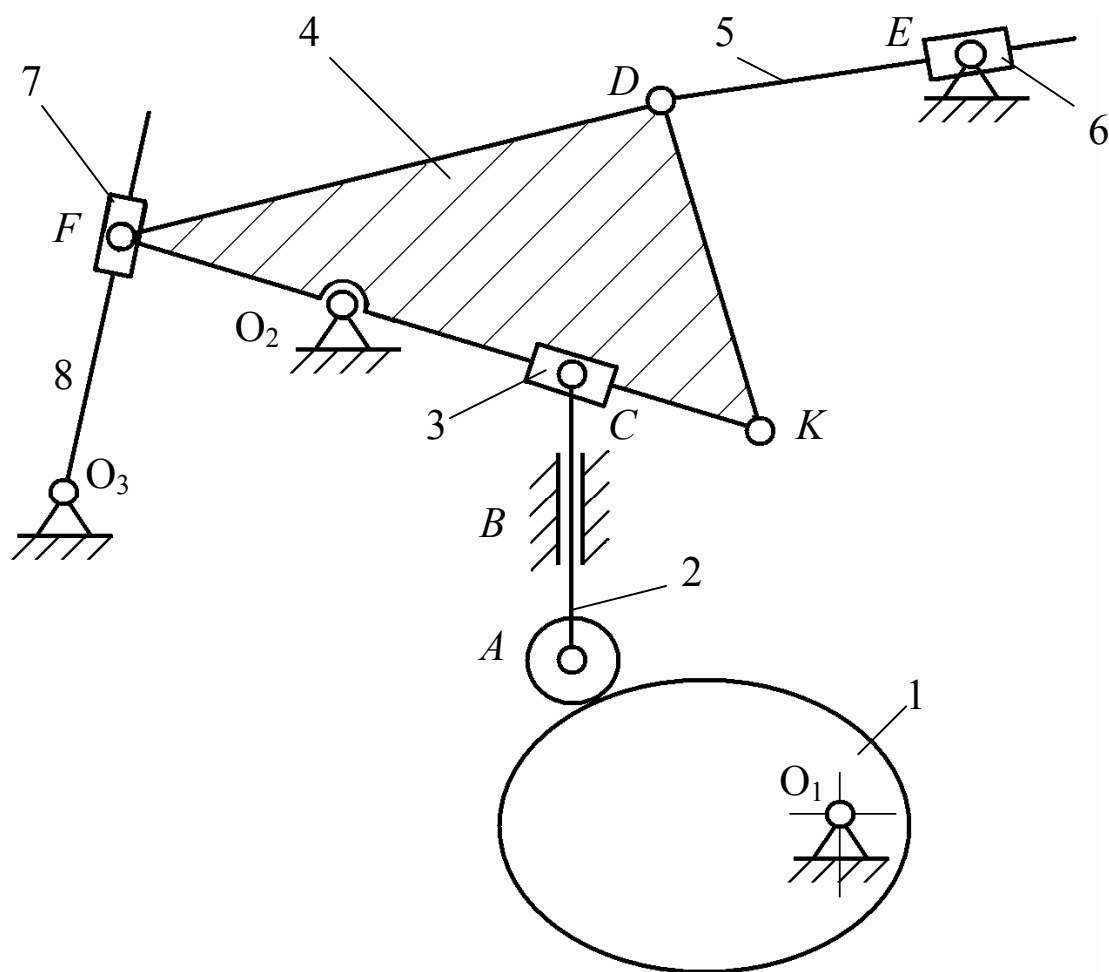
Задача 54



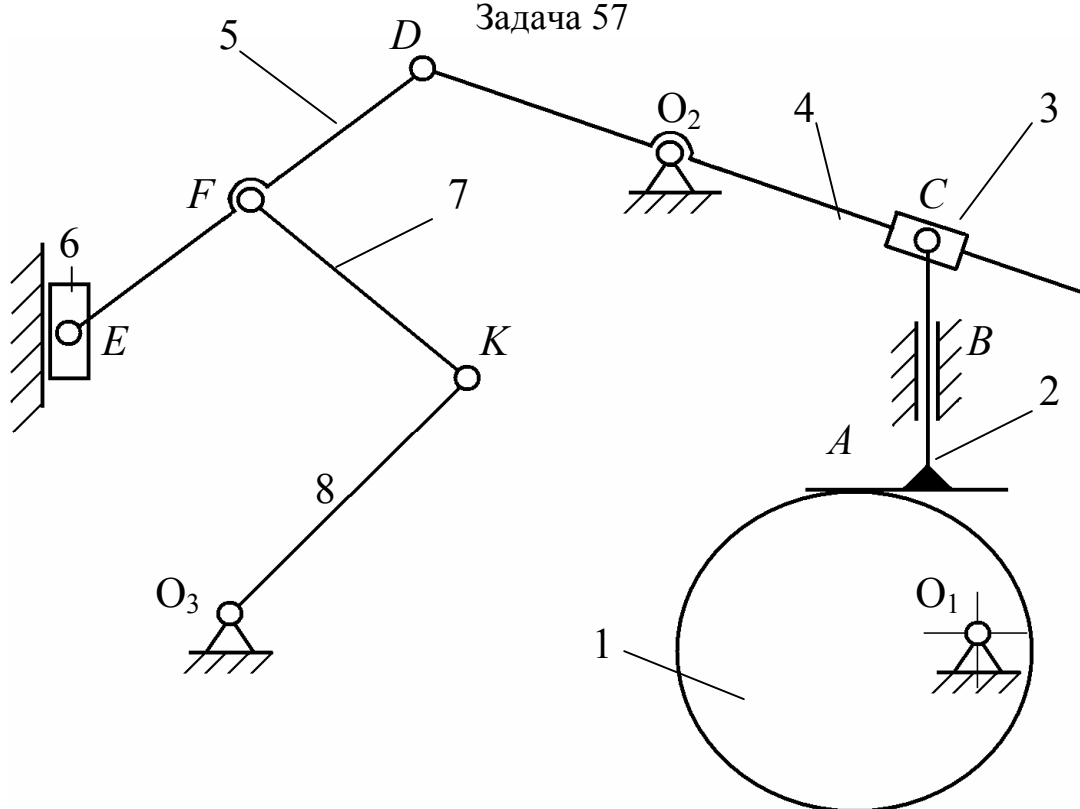
Задача 55



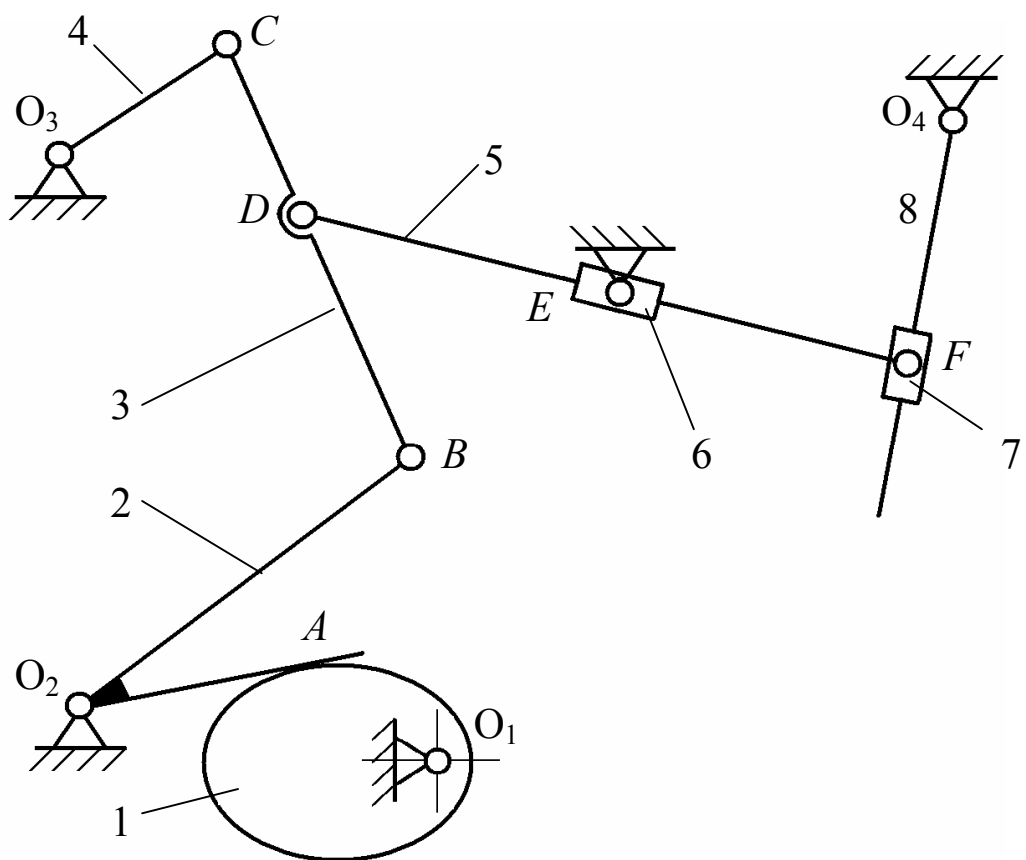
Задача 56



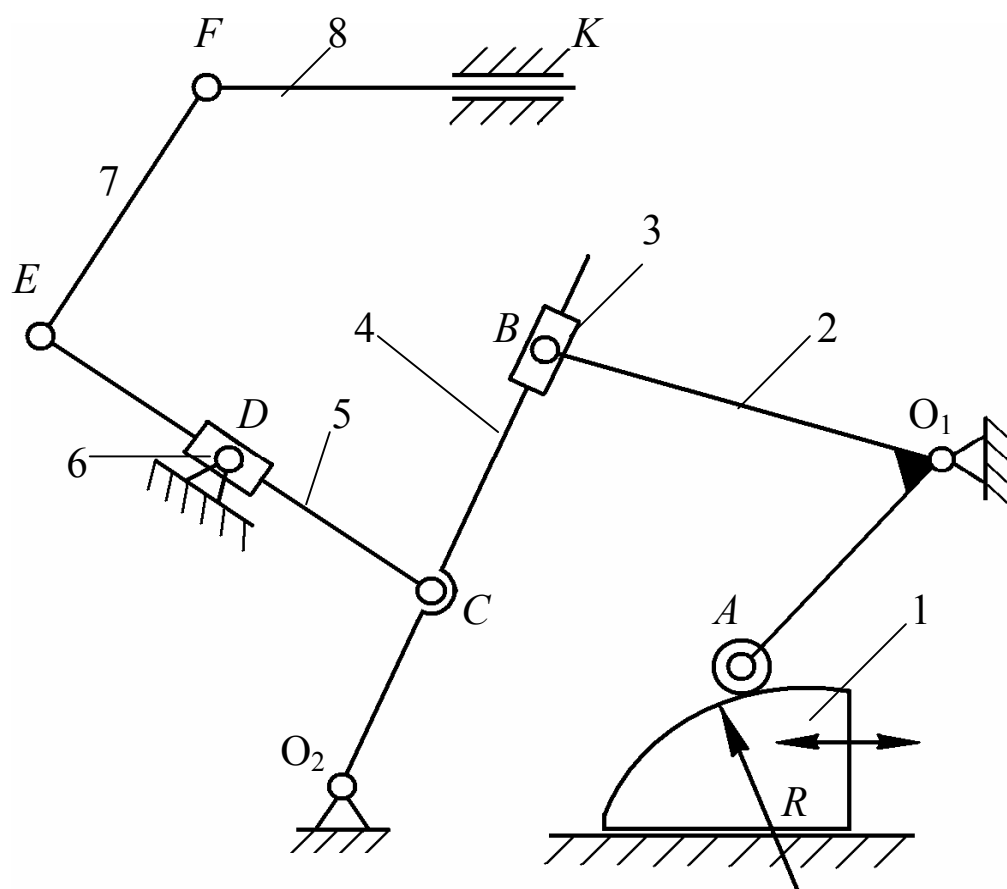
Задача 57



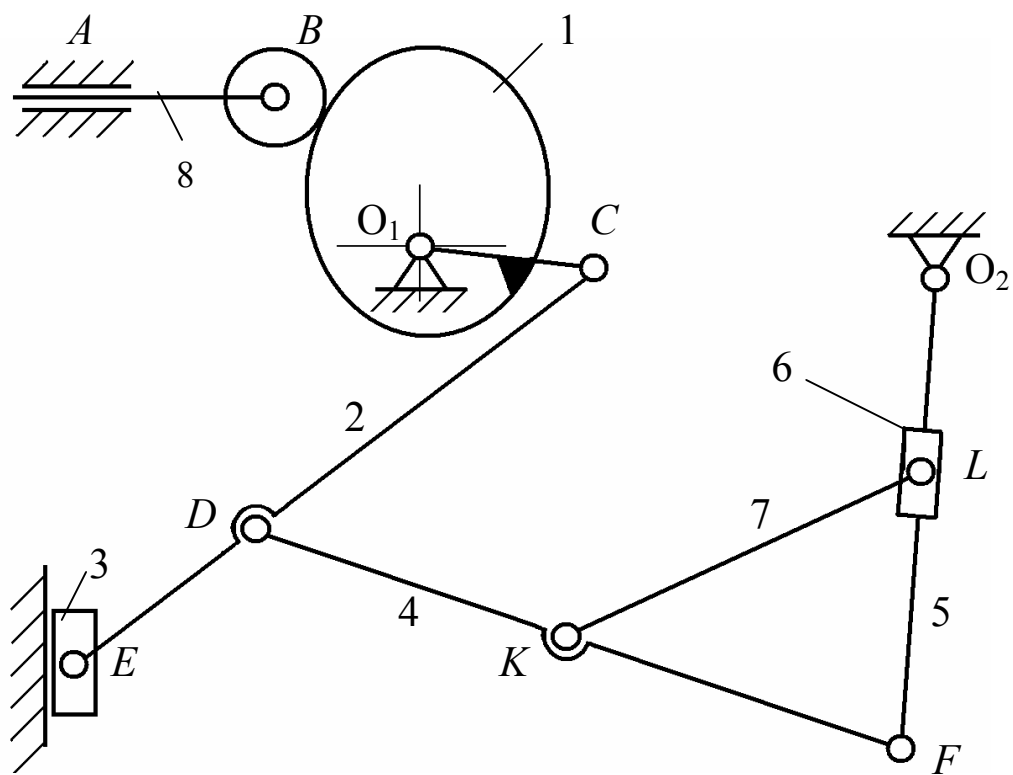
Задача 58



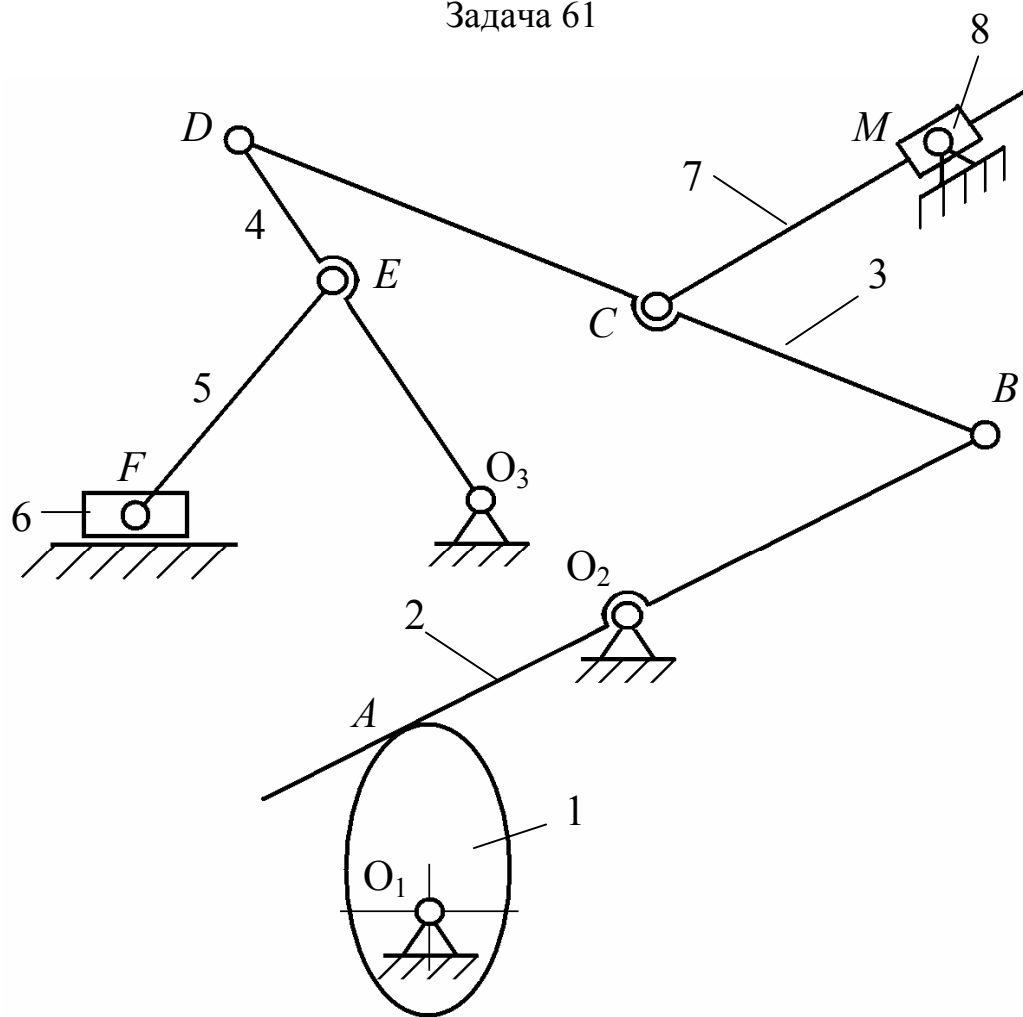
Задача 59



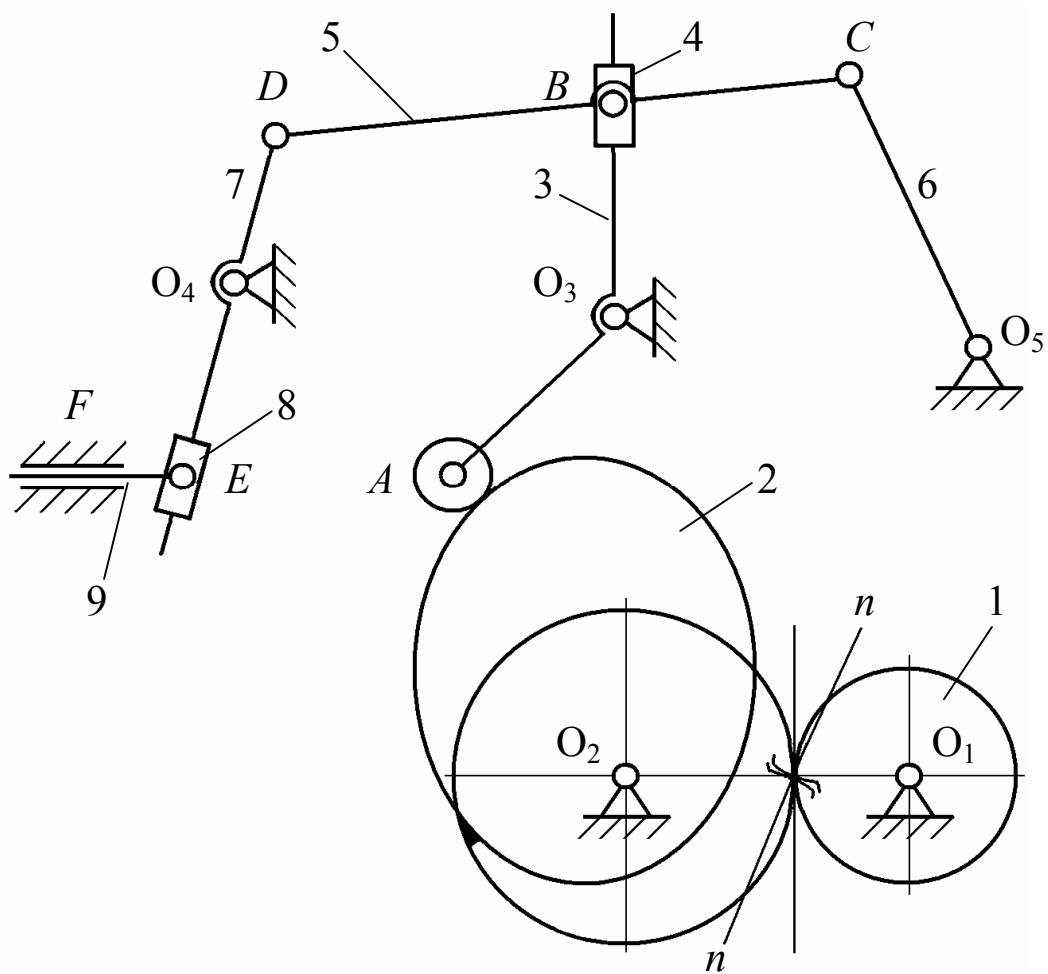
Задача 60



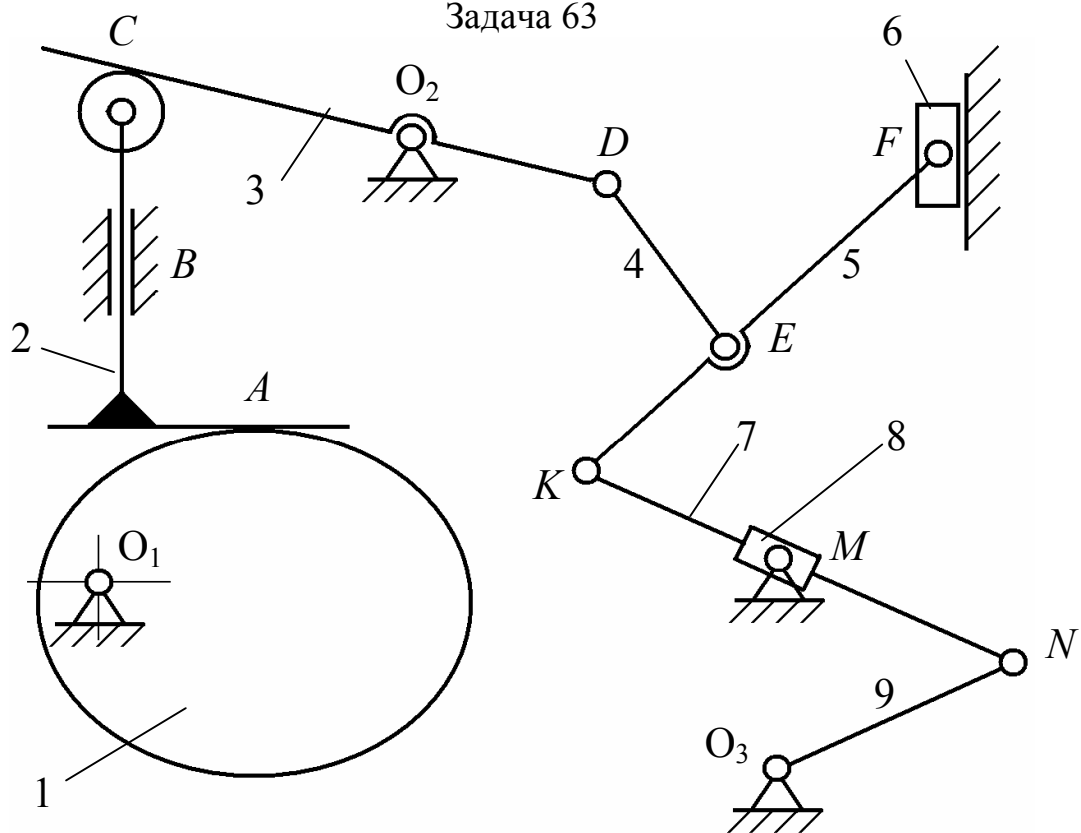
Задача 61



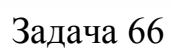
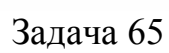
Задача 62

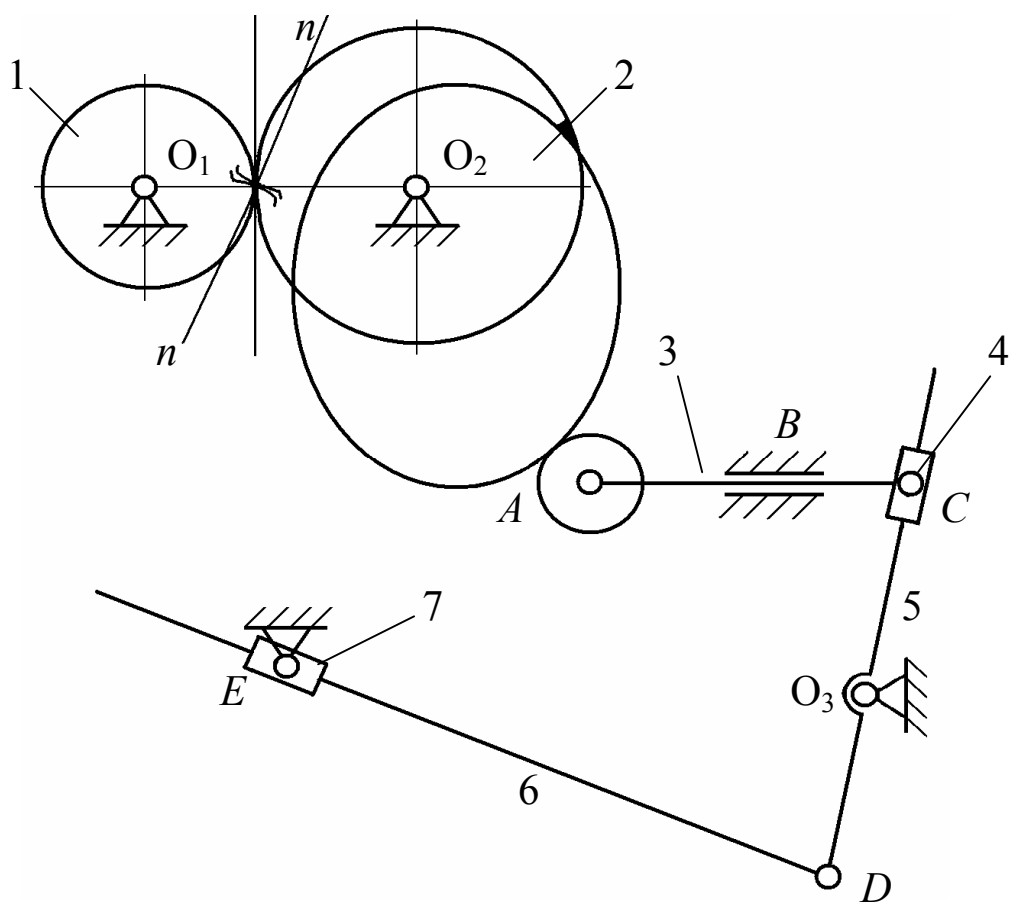


Задача 63

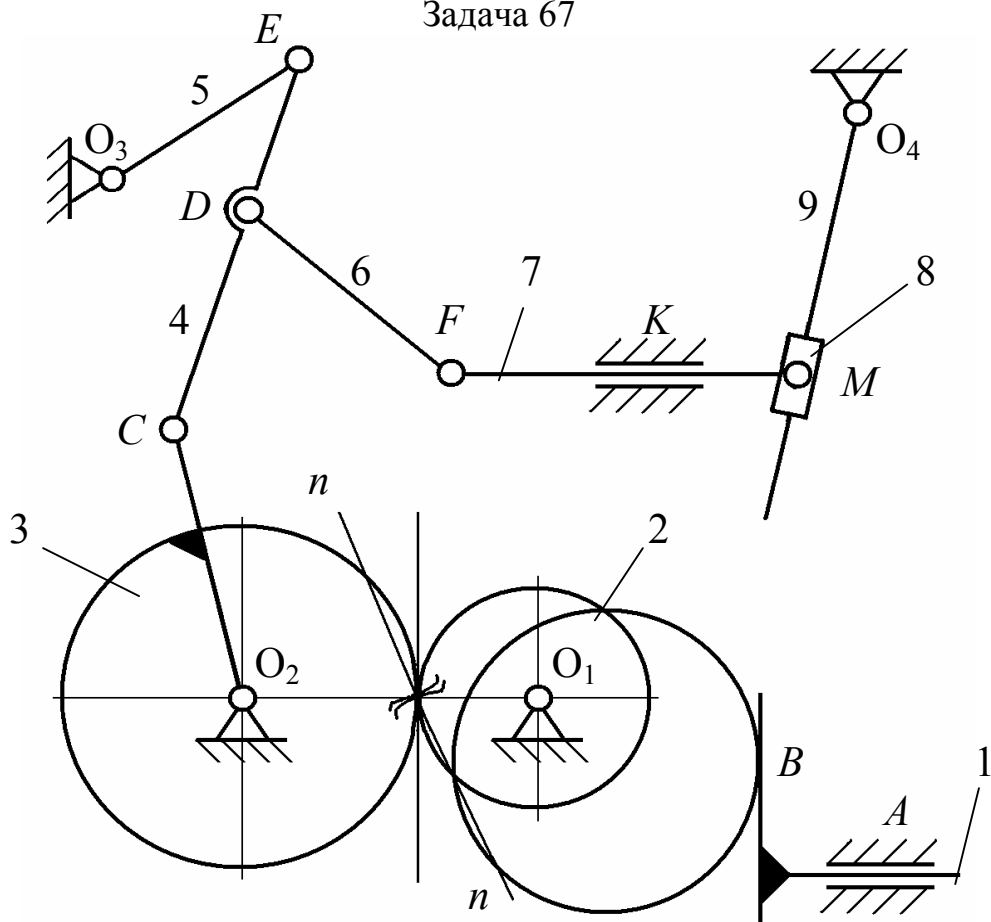


Задача 64

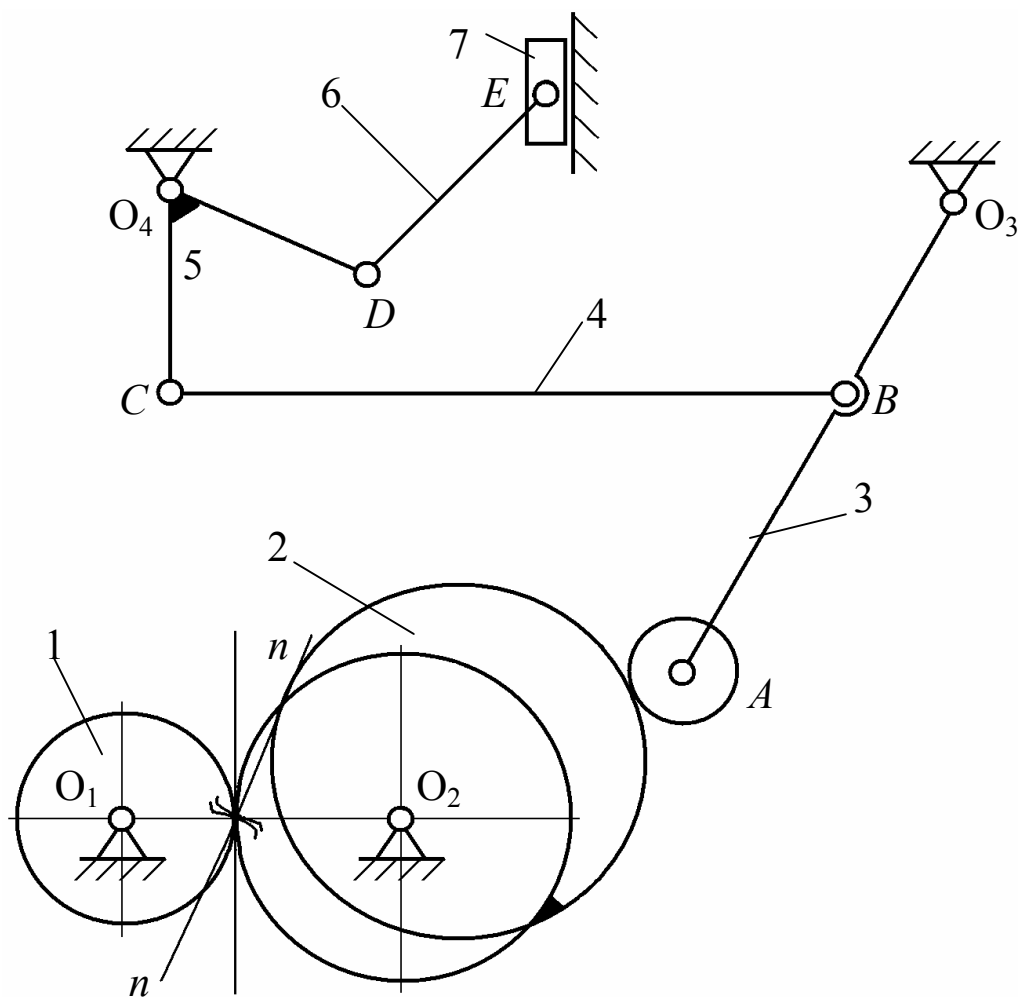




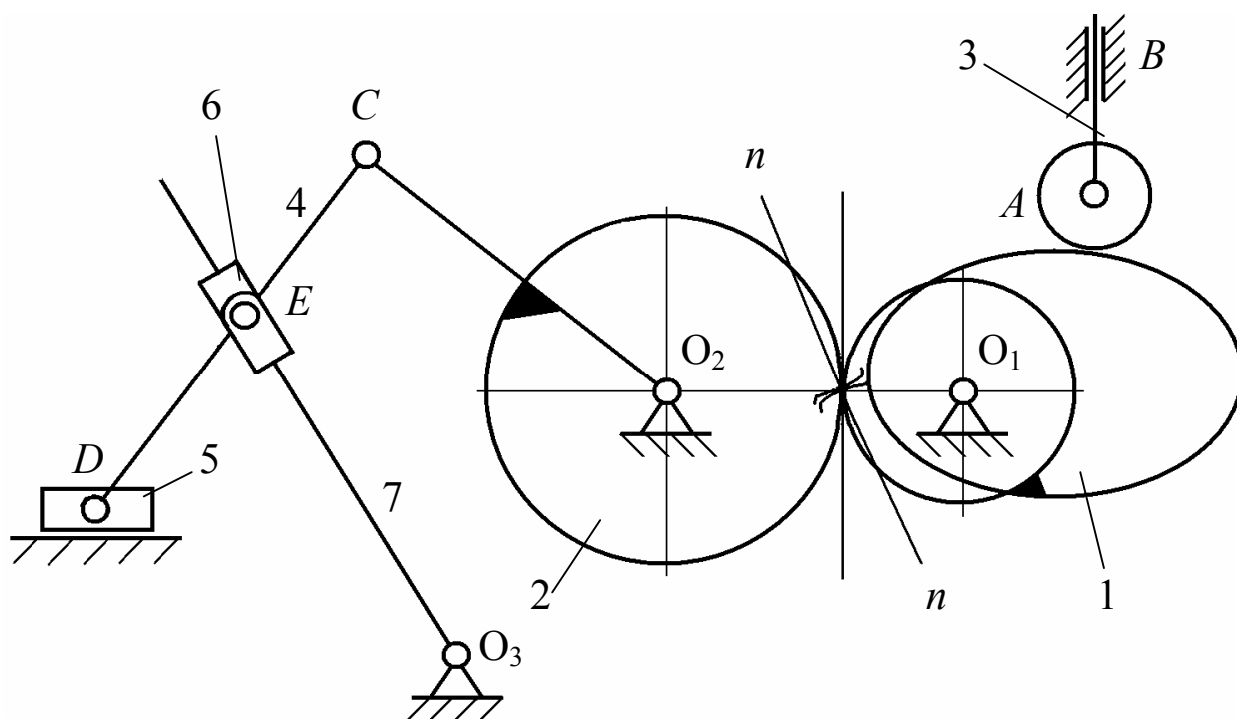
Задача 67



Задача 68



Задача 69



Задача 70

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Артоболевский, И. И.* Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. *Теория механизмов и механика машин* / под ред. К. В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1998. – 496 с.
3. *Методические указания к решению задач по разделу «Структурный анализ плоских механизмов»:* метод. указания / сост.: Н. М. Вальщиков, З. В. Шамрай, М. В. Черданцева. – Л.: ЛИТЛП им. С. М. Кирова, 1980. – 34 с.