



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Рубцовский индустриальный институт
Алтайского государственного технического университета
им. И.И. Ползунова

А.А. Кутумов, И.А. Сорокина

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания по курсу «Теория механизмов и машин»
для студентов машиностроительных специальностей

Рубцовск 2006

УДК 621.01

Кутумов А.А., Сорокина И.А. Структурный анализ механизма: Методические указания по курсу «Теория механизмов и машин» для студентов машиностроительных специальностей / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2006. - 30 с.

Структурный анализ механизмов является одной из базовых тем курса ТММ. При изучении данной темы студенты зачастую испытывают затруднения. Данные методические указания помогут студентам лучше освоить теоретический материал.

Рассмотрены и одобрены
на заседании НМС
Рубцовского индустриального
института.
Протокол № 1 от 31.01.06.

Рецензент: к.т.н., доцент

А.В. Шашок

© Рубцовский индустриальный институт, 2006

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

Теоретическая часть

Под структурным анализом механизма понимают определение степени подвижности механизма; разложение его на структурные группы и входные звенья; определение класса и порядка групп, а также класса и порядка всего механизма.

Структурный анализ производится для удобства выполнения кинематического и силового расчета механизма.

Пассивные связи и лишние степени свободы

Избыточными, или пассивными, связями называют такие связи, которые повторяют (дублируют) ограничения, наложенные другими связями на относительное движение некоторых звеньев.

В некоторых механизмах кроме звеньев и пар, активно оказывающих влияние на характер движения механизма, имеются звенья и кинематические пары, не оказывающие такого влияния. Удаление их из механизма не нарушает характера движения остальных звеньев механизма. Такие лишние условия связи называются – пассивными, а степени свободы – *лишними степенями свободы*. Применение в механизмах пассивных связей и лишних степеней свободы вызывается не кинематической необходимостью, а соображениями иного порядка - конструктивными для увеличения прочности и жесткости системы, уменьшения потерь на трение, перераспределения нагрузки, удобством при ремонте или замене деталей и т.п.

При структурном анализе пассивные связи и лишние степени свободы механизма обязательно должны быть выявлены и при определении степени подвижности *не должны учитываться*.

Структурным синтезом механизма называют проектирование структурной схемы механизма, т.е. схемы, на которой показана последовательность соединения звеньев и виды кинематических пар.

Замена высших пар *IV* класса на кинематические цепи с парами *V* класса

Любая высшая пара *IV* класса в плоских механизмах может быть заменена цепью с парами *V* класса. Для того чтобы заменяющие цепи с парами только *V* класса были эквивалентными цепями с парами *IV* класса, надо, чтобы степень подвижности после замены пар *IV* класса на пары *V* класса не изменилась и характер относительно движения звеньев для данного момента времени заменяющей цепи сохранился. Одна пара *IV* класса при замене её на пары *V* класса эквивалентна введению в механизм одного звена (*фиктивного*) с двумя парами *V* класса.

Общие правила замены высших пар *IV* класса цепями только с парами *V* класса

1. В месте контакта двух звеньев, образующих пару *V* класса, проводится касательная (t-t), а затем нормаль (n-n) к профилям элементов звеньев, и на ней определяется положение центров кривизны.

2. В центрах кривизны устанавливаются вращательные пары. В случае если один из профилей очерчен по прямой и его радиус кривизны равен бесконечности, устанавливается поступательная пара.

3. Центр кривизны профилей соединяется между собой условным (*фиктивным*) звеном.

Следует отметить, что замена высших пар *IV* класса на пары *V* класса – это условная операция, необходимая только при принятой классификации механизмов Ассур – Артоболевского и в некоторых случаях для анализа кулачковых механизмов.

У действительных механизмов замена высших пар не производится.

Механизмы, в которых высшие кинематические пары заменены низшими, называют *заменяющими*.

Примеры замены пар *IV* класса на пары *V* класса механизмов, наиболее часто встречающихся, приведены на рис. 1.

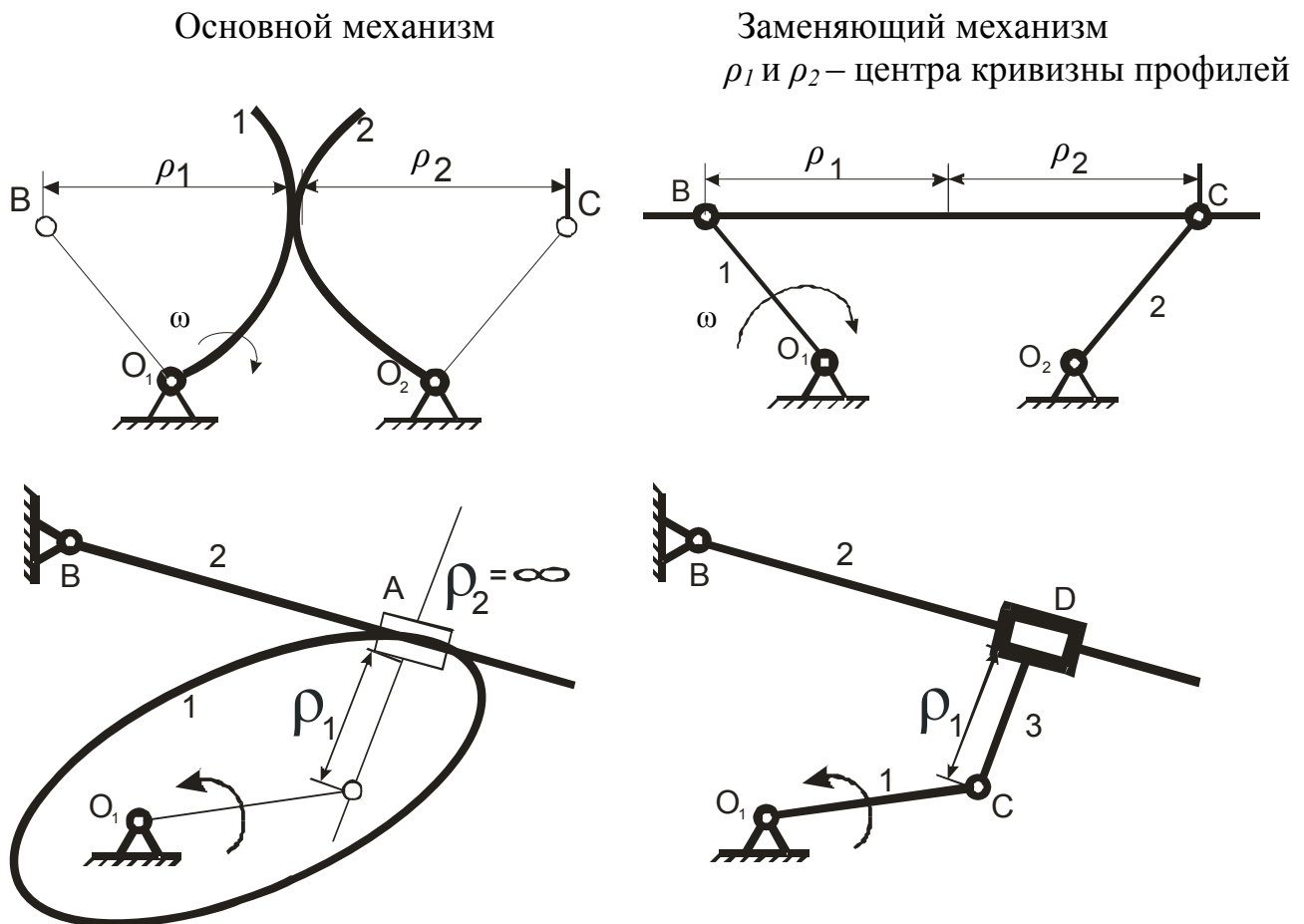
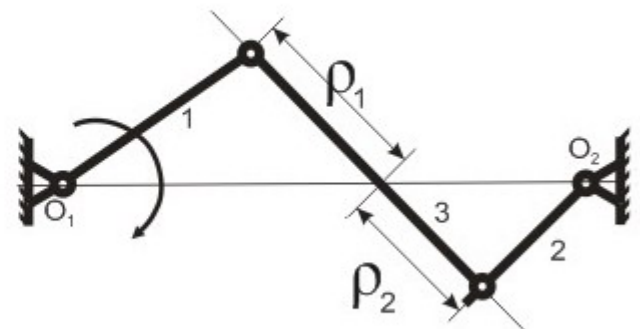
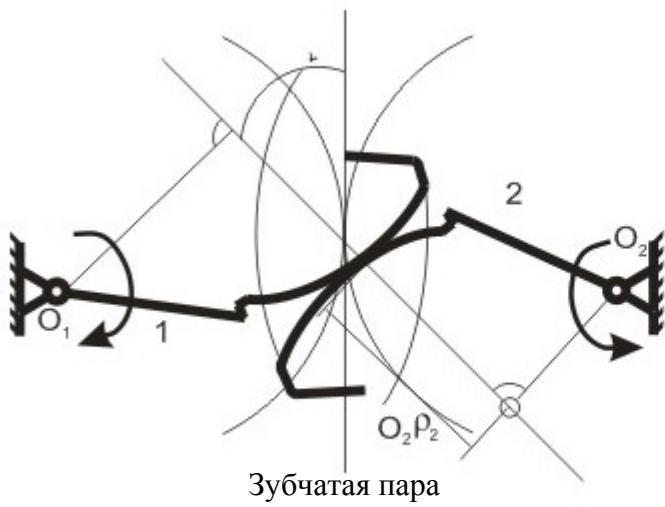
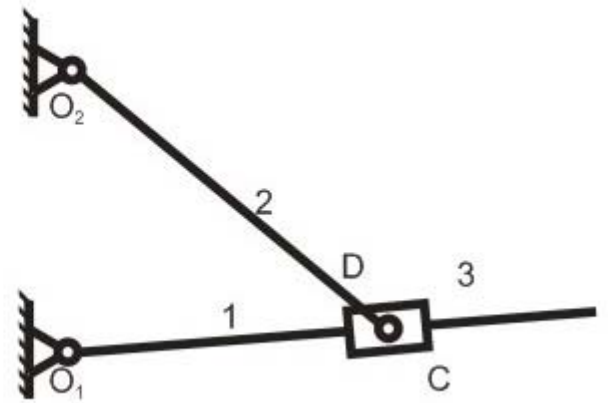
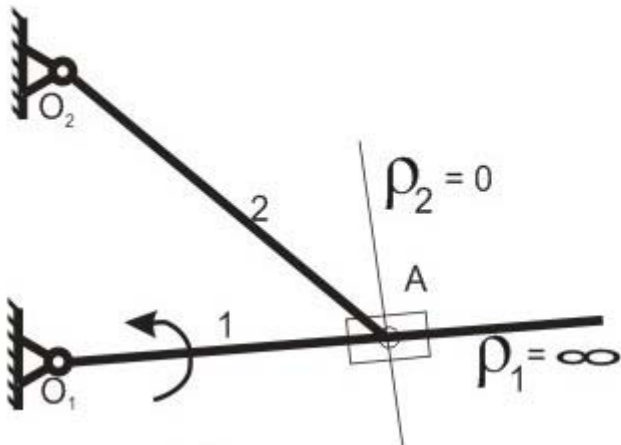
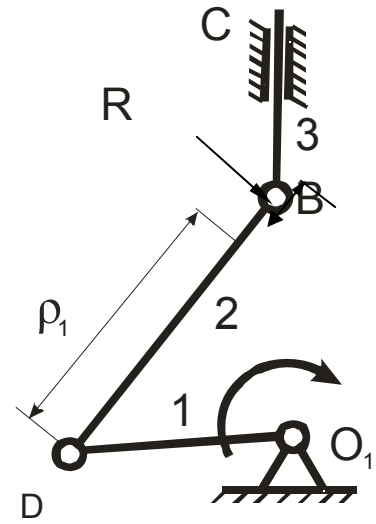
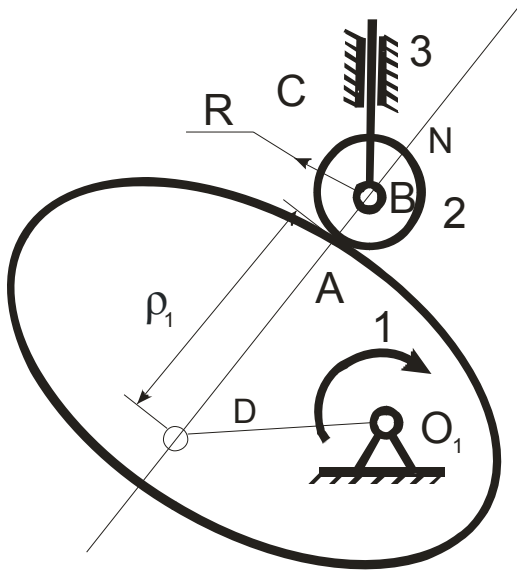


Рис. 1. Примеры замены высших пар низшими



Продолжение рис. 1

Классификация механизмов

Основы структурной классификации применительно к плоским рычажным механизмам были разработаны русским ученым Л.В. Ассуром, дополнены и развиты И.И. Артоболовским, Н.Г. Бруевичем, В.В. Добровольским и др. В основу классификации механизмов положен *принцип образования механизмов*, заключающийся в следующем: любой механизм может быть образован путем последовательного присоединения (наслоения) к начальному звену и стойке кинематических цепей, называемых *структурными группами (группами Ассура)*.

Структурной группой, или группой Ассура, называют открытую кинематическую цепь, которая после присоединения ее свободными элементами к стойке обладает нулевой подвижностью и не распадается на более простые кинематические цепи, удовлетворяющие этому условию.

Для плоских кинематических цепей пары IV класса могут быть заменены на пары V класса (вращательные и поступательные), и тогда структурная формула будет: $W_{cp} = 3n - 2P_5 = 0$ или $3n - 2P_5 = 0$.

В группе Ассура число пар V класса должно быть в 3/2 раза больше числа n — подвижных звеньев.

Сочетание кинематических пар и числа звеньев в группах будет следующим:

n	2	4	6	и т.д.
P_5	3	6	9	и т.д.

Простейшей группой будет сочетание двух подвижных звеньев и трех кинематических пар V класса ($n=2, P_5=3$), эта группа получила название двухповодковой группой *порядка II класса 2-го*.

Номер класса группы определяется числом кинематических пар, образующих наиболее сложный замкнутый контур.

Порядок группы определяется количеством ее свободных элементов, т.е. числом ее мест присоединения.

Чтобы спроектировать механизм со степенью подвижности $W=K$, необходимо взять K входных звеньев, соединенных со стойкой, или K начальных механизмов и присоединить к ним структурные группы.

Модификация групп II класса 2 порядка

Существует 5 видов двухповодковых групп (рис. 2).

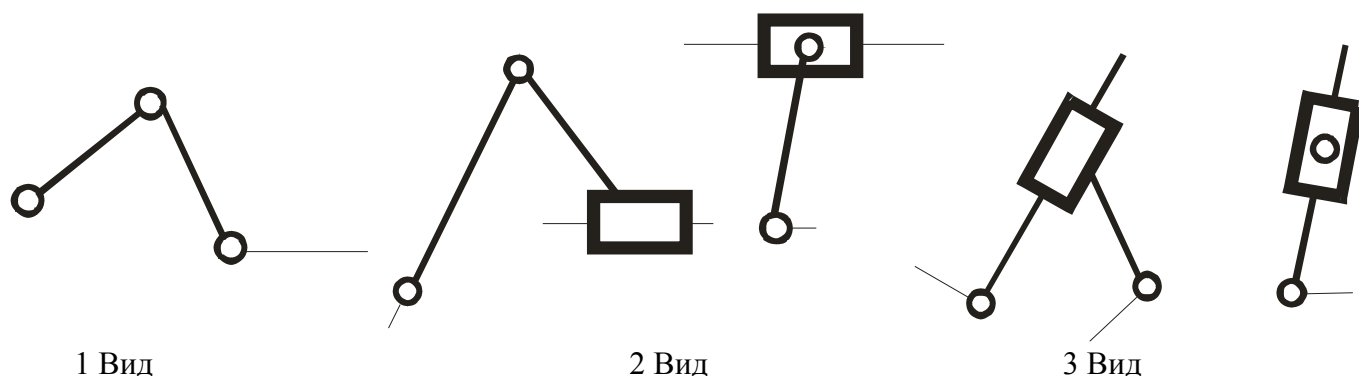
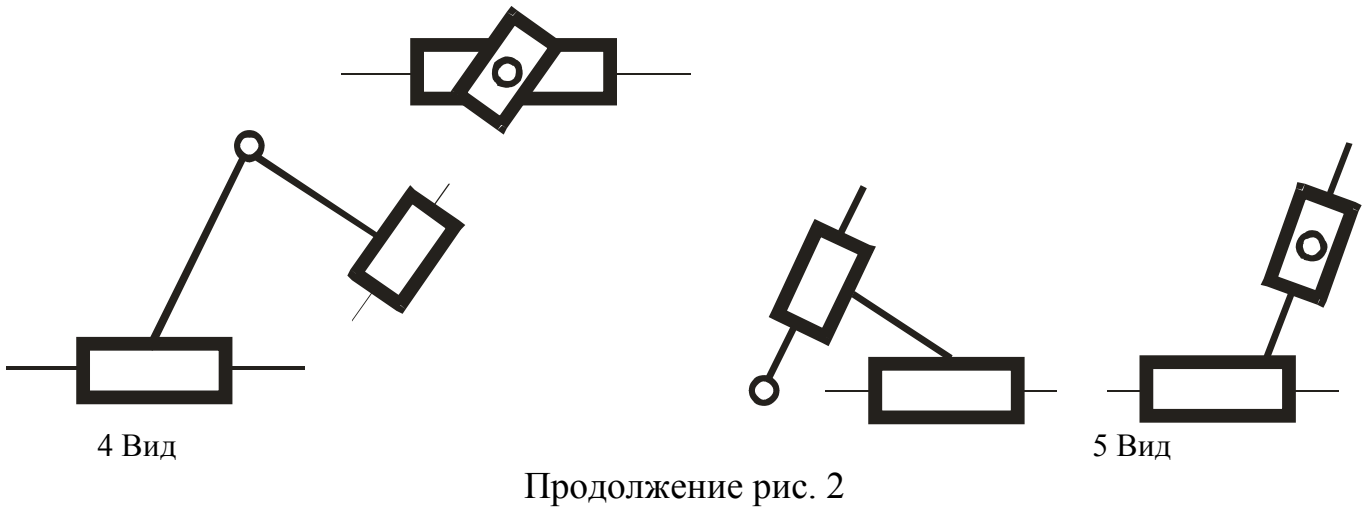


Рис. 2. Виды двухповодковых групп



Более сложные группы показаны на рис 3.

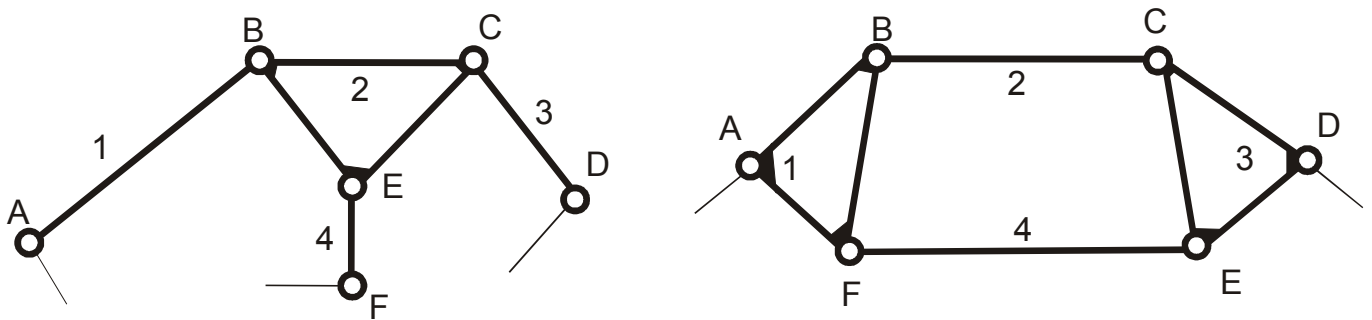
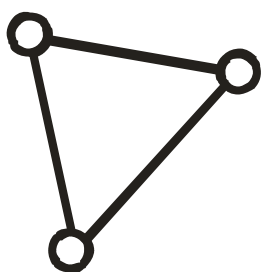


Рис. 3. Группы III и IV класса

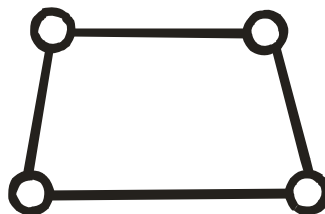
B, C, D – внутренние пары
 III класса 3 порядка
 ($n=4; P_5=6$)

B, C, E и F- внутренние пары
 IV класса 2 порядка
 ($n=4; P_5=6$)

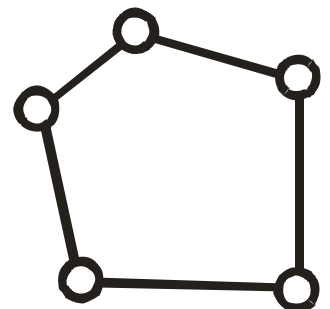
Класс группы Ассура выше второго определяется числом внутренних кинематических пар, образующих так называемый исходный контур (рис. 4).



Контур групп III класса



Контур групп IV класса



Контур групп V класса

Рис. 4. Контур группы Ассура

Из приведенного выше следует:

- а) *класс группы Ассура* определяется классом наивысшего замкнутого контура;
- б) *порядок группы Ассура* определяется числом свободных поводков, при помощи которых она присоединяется к звеньям механизма;
- в) класс и порядок механизма определяются классом и порядком наиболее сложной группы, входящей в этот механизм.

Входное звено с одной кинематической парой

Входное звено с одной кинематической парой, вращательное или поступательное, называется *начальным механизмом или механизмом I класса* (рис. 5).



Рис. 5. Начальные механизмы

Большинство плоских рычажных механизмов, нашедших распространение в машиностроении, относится к механизмам, включающим в себя структурные группы II класса 2-го порядка, реже – группы более высоких классов.

Последовательность структурного анализа механизмов

1. Удалить из кинематической схемы механизма избыточные (пассивные связи);
2. Построить структурную схему механизма, строго соблюдая последовательность соединения звеньев;
3. Если степень подвижности механизма $W=1$, то выделяют на структурной схеме один механизм I-го класса или начальный механизм (кривошип, соединенный со стойкой), обводя его замкнутым контуром (при $W=K$ необходимо выделить K начальных механизмов);
4. Разложить полученную кинематическую цепь на структурные группы, обводя их замкнутым контуром;
5. Записать формулу строения механизма и определить класс и порядок механизма, который определяется классом и порядком наиболее сложной группы, входящей в этот механизм.

Оборудование и приборы для выполнения работы

Модели рычажного механизма с высшими парами (зубчатые или кулачковые) или карточки с кинематической (структурной) схемой механизма, в которой имеются высшие пары, линейка, циркуль, карандаш, транспортир, бумага (миллиметровая формата А 3).

Цель работы: Составить структурную схему механизма, определить степень подвижности механизма, определить класс и порядок групп, а также написать структурную формулу механизма, составить отчет.

Порядок выполнения работы:

1. Получив модель механизма или карточку, внимательно изучить её, найти высшие пары, изучить характер движения звеньев.

2. Составить структурную кинематическую схему механизма (без соблюдения масштаба), обозначив звенья цифрами (1, 2, 3, ...), а кинематические пары заглавными буквами (А, В, С, Д, ...).

3. Определить степень подвижности механизма по формуле Чебышева $W_{cp} = 3n - 2P_5 - P_4$. Если $W > 1$, выявить лишние степени свободы (дать объяснение), если имеются пассивные связи, выявить их и дать объяснение, почему они введены в состав механизма.

4. Произвести замену высших пар *IV* класса на кинематические цепи с парами *V* класса.

5. Определить степень подвижности механизма после замены пар *IV* класса на кинематические цепи с парами *V* класса, она должна быть измененной от первоначально вычисленной (после выявления лишних степеней свободы и удаления из механизма пассивных связей).

6. Начать выделение структурных групп (групп Ассура) в замененном механизме, при этом:

а) выделение групп обычно начинают со звеньев и пар, наиболее удаленных от входного звена;

б) выделяются сначала группы *II* класса 2 порядка (два подвижных звена на три кинематические пары);

в) проверяется степень подвижности оставшейся части механизма (она не должна меняться от первоначально вычисленной в соответствии с п. 5) и определяется класс и порядок соединенной группы;

г) группы выделяются до тех пор, пока не останется одно входное звено (если $W=1$) или несколько ведущих звеньев (если $W > 1$);

д) если не удастся выделить группы *II* класса 2 порядка, то пробуют выделить группу более высокого класса ($n=4$, $P_5=6$), т.к. в состав механизма могут входить одновременно группы различных классов;

е) по наивысшему классу выделенных групп и их порядку определить класс и порядок всего механизма (в некоторых механизмах от перемены входного звена может измениться класс и порядок механизма);

ж) после расчленения механизма на структурные группы рекомендуется написать структурную формулу механизма (формулу строения).

Пример: Произвести структурный анализ механизма газораспределения двигателя внутреннего сгорания (рис. 6).

1 Определим степень подвижности механизма:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4,$$

где $n=4$ – число подвижных звеньев; $P_{5cp.}=3$ – вращательные пары (А,С,Д); $P_{5пост.}=1$ – поступательная пара (F); $P_4=2$ – высшие пары (В и Е).

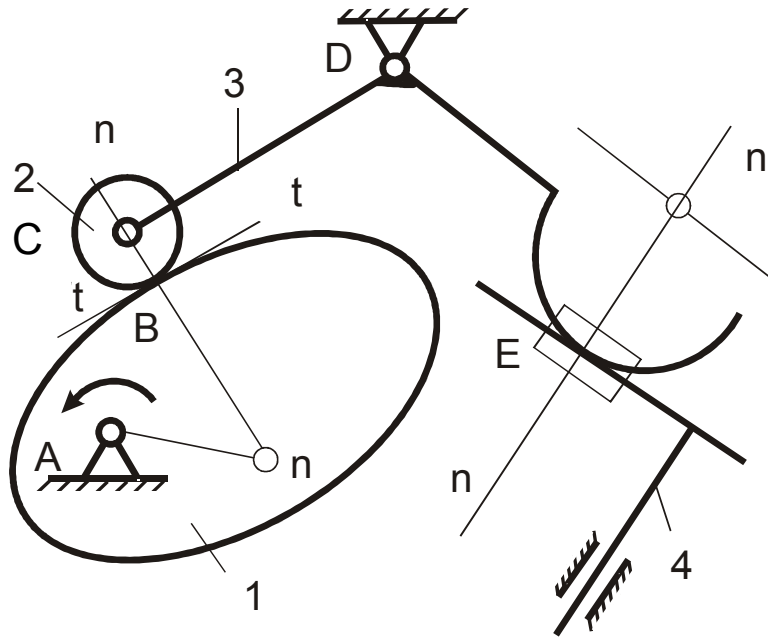


Рис. 6. Схема механизма газораспределения

$W = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 2 = 2$ (?). Если $W=2$, должно быть два входных звена, на самом же деле достаточно одного вращения кулачка (1). Это несоответствие вызвано наличием шарнира "С" – лишней степенью свободы. Не будь пары "С", характер движения звена 3 не изменился бы, поэтому надо считать $W=1$, а не 2 (число подвижных звеньев в этом случае считать не 4, а 3 и $P_5=3$).

Произведем замену высших пар IV класса на пары V класса и построим заменяющий механизм (рис. 7).

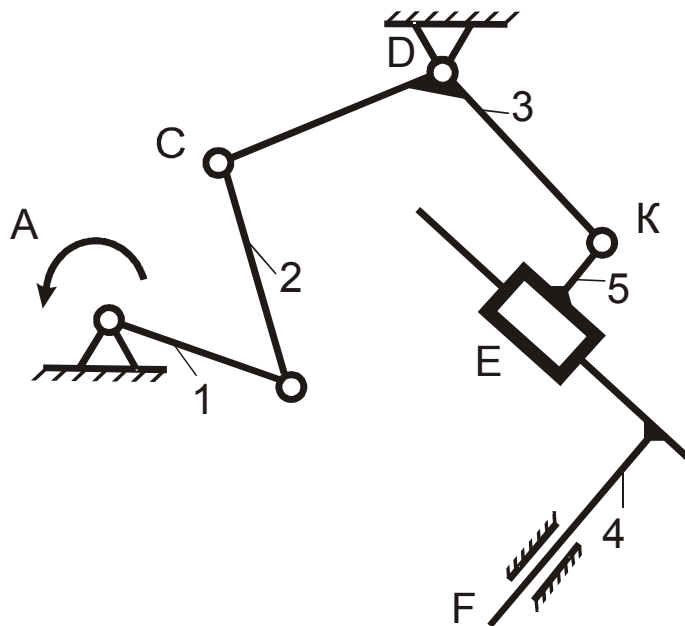


Рис. 7. Заменяющий механизм

Определим степень подвижности заменяющего механизма:

$$W = 3n - 2P_5,$$

где $n=5$; $P_{5вр.}=5$; $P_{5ном.}=2$; $P_4=0$.

$$W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1.$$

Расчленение начнем с группы II класса 2 порядка, наиболее удаленных от входного звена. Вероятно, это будут 4 и 5 звенья и пары K , E и F (группа 5 вида).

Проверим степень подвижности оставшейся группы:

$n=3$; $P_{5вр.}=4$, тогда $W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$, следовательно, выделение произведено верно.

Выделим группу звеньев 2 и 3 с парами B , C и D – это группа II класса 2 порядка (группа I вида).

Осталось одно входное звено с парой A .

Вот так произошло расчленение: в этом механизме две структурных группы II класса 2 порядка, входное звено I. Весь механизм II класса 2 порядка (рис. 8).

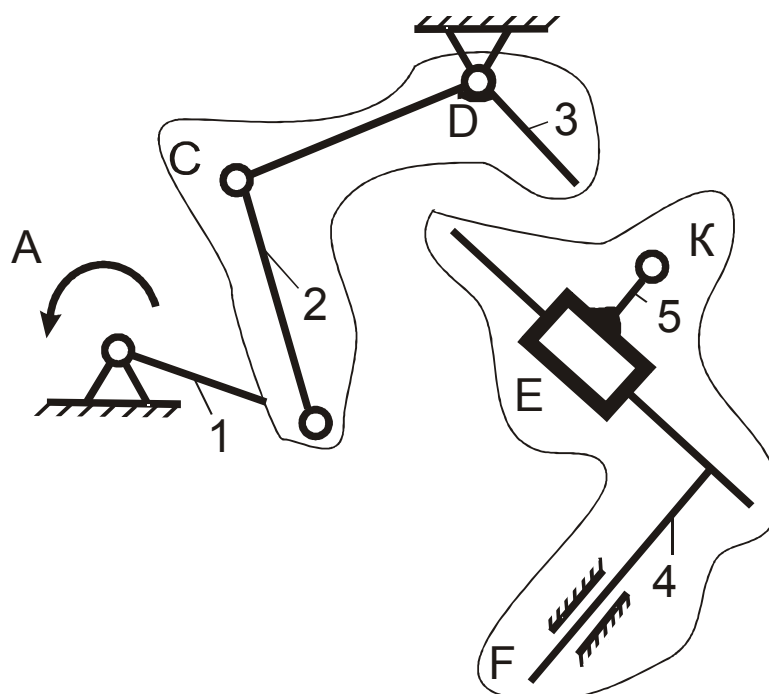
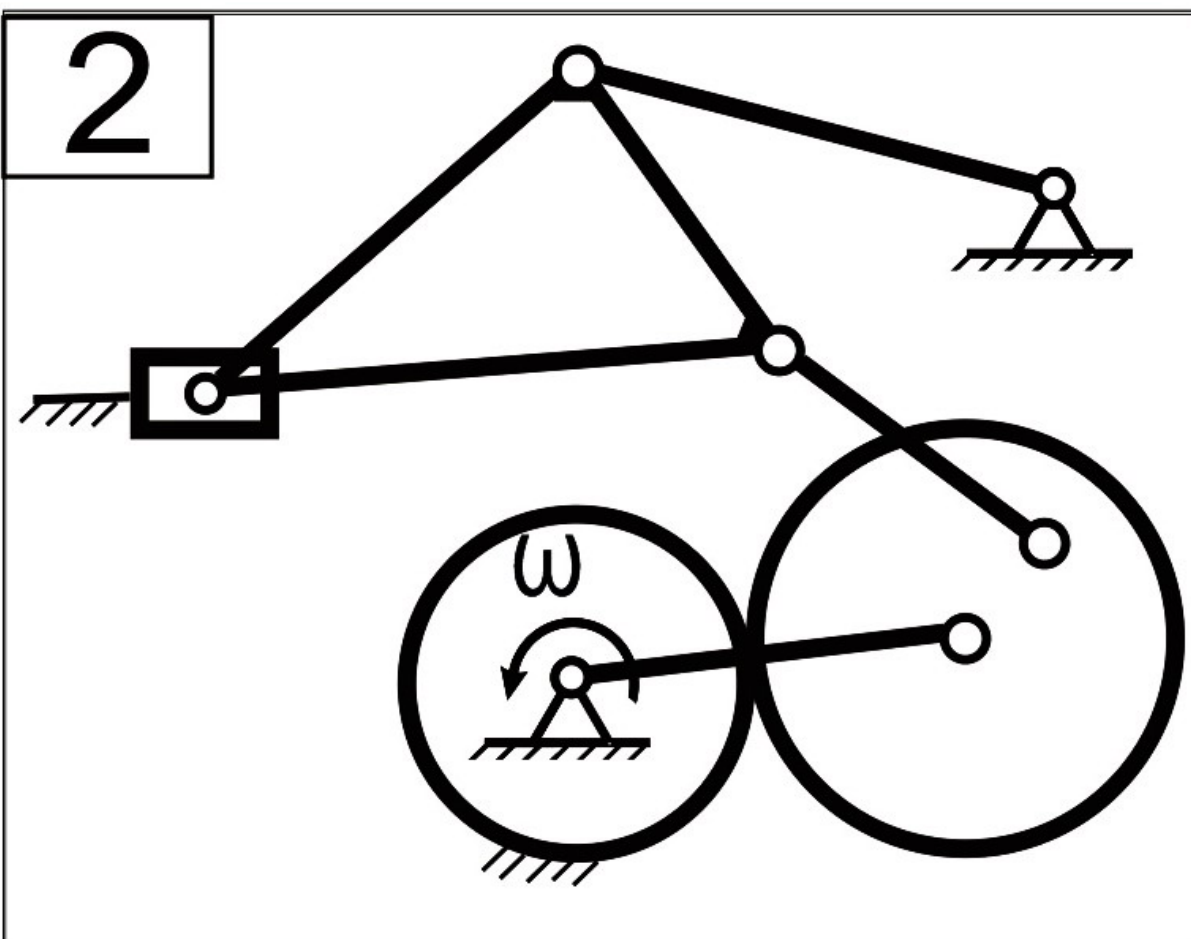
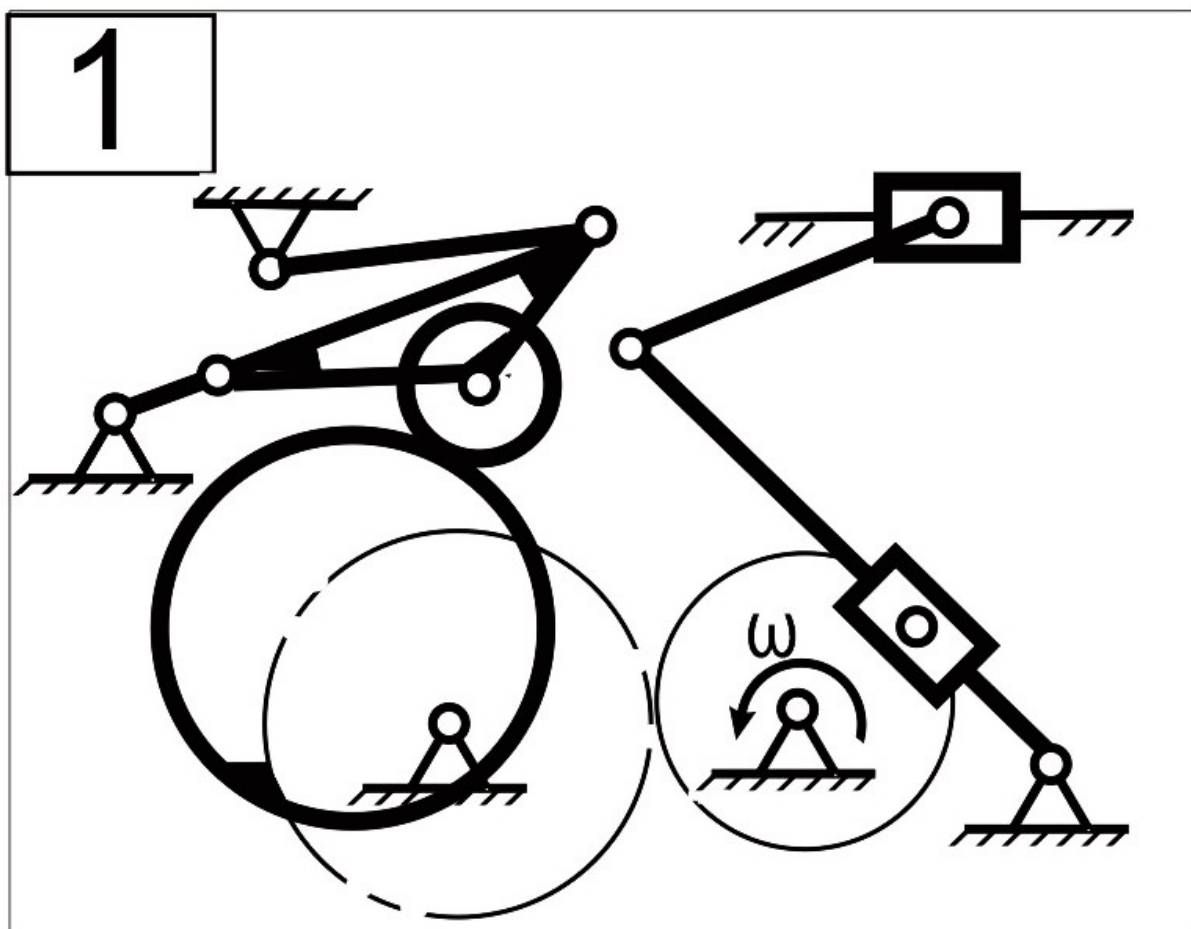


Рис. 8. Расчленение механизма на структурные группы

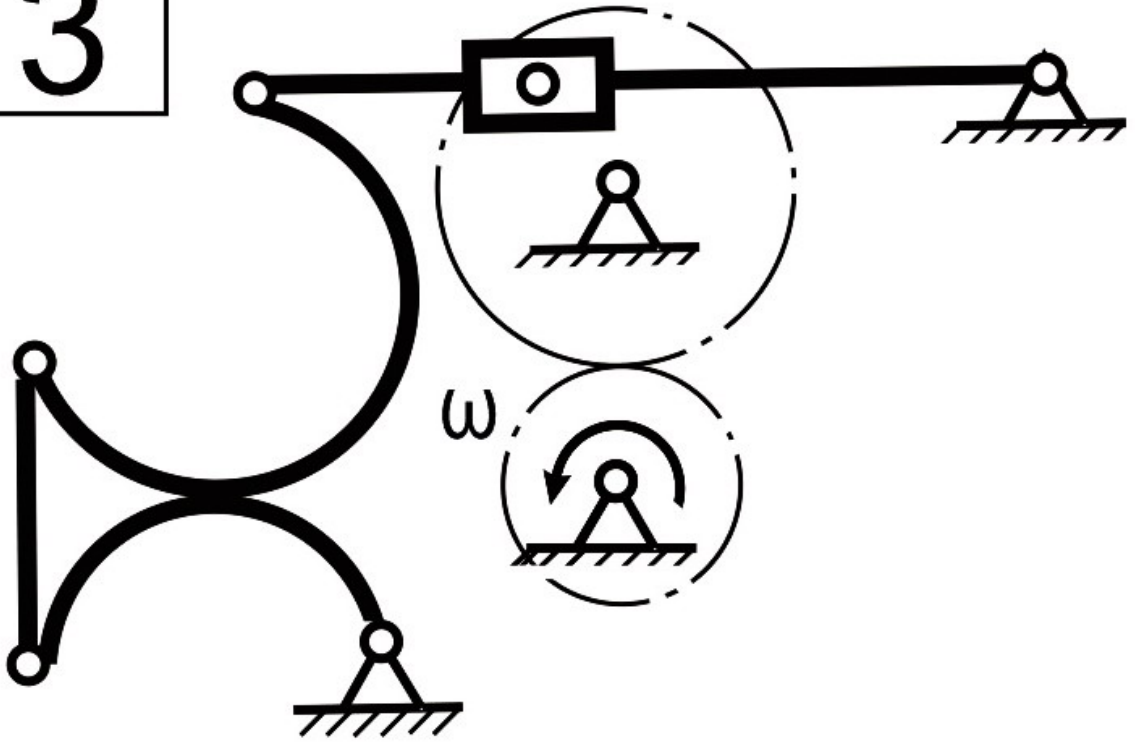
Формула строения механизма: $I(1,0) \rightarrow II(2,3) \rightarrow II(4,5)$.

В формуле строения механизма римскими цифрами обозначают класс структурной группы, а в скобках указывают номера звеньев, образующих эту группу. Эта формула определяет строение механизма и означает первоначальное звено I с парой A , к этому звену была присоединена группа 2-3, при этом элементом вращательной пары группа присоединилась к первому звену, а элементом вращательной пары D - к стойке. Далее к развитию звена 3 была присоединена группа 5-4, при этом элементом вращательной пары K группа присоединилась к звену 3, а элементом поступательной пары F звена 4 присоединились к стойке.

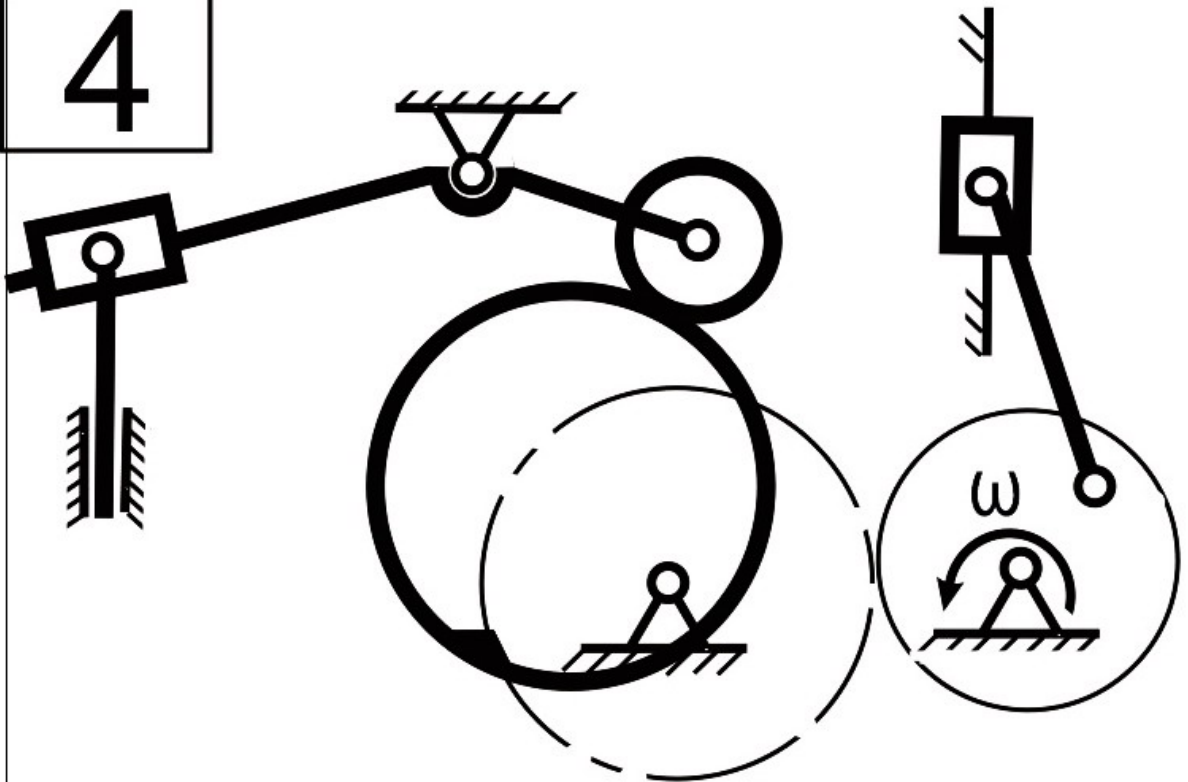
Варианты индивидуальных заданий



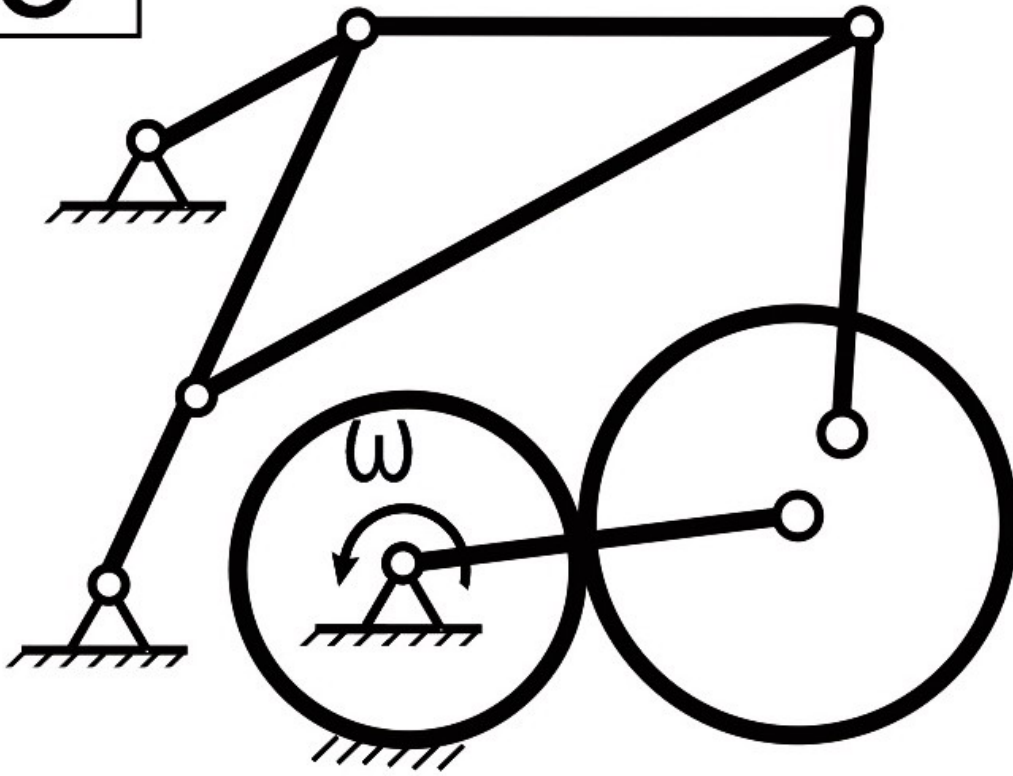
3



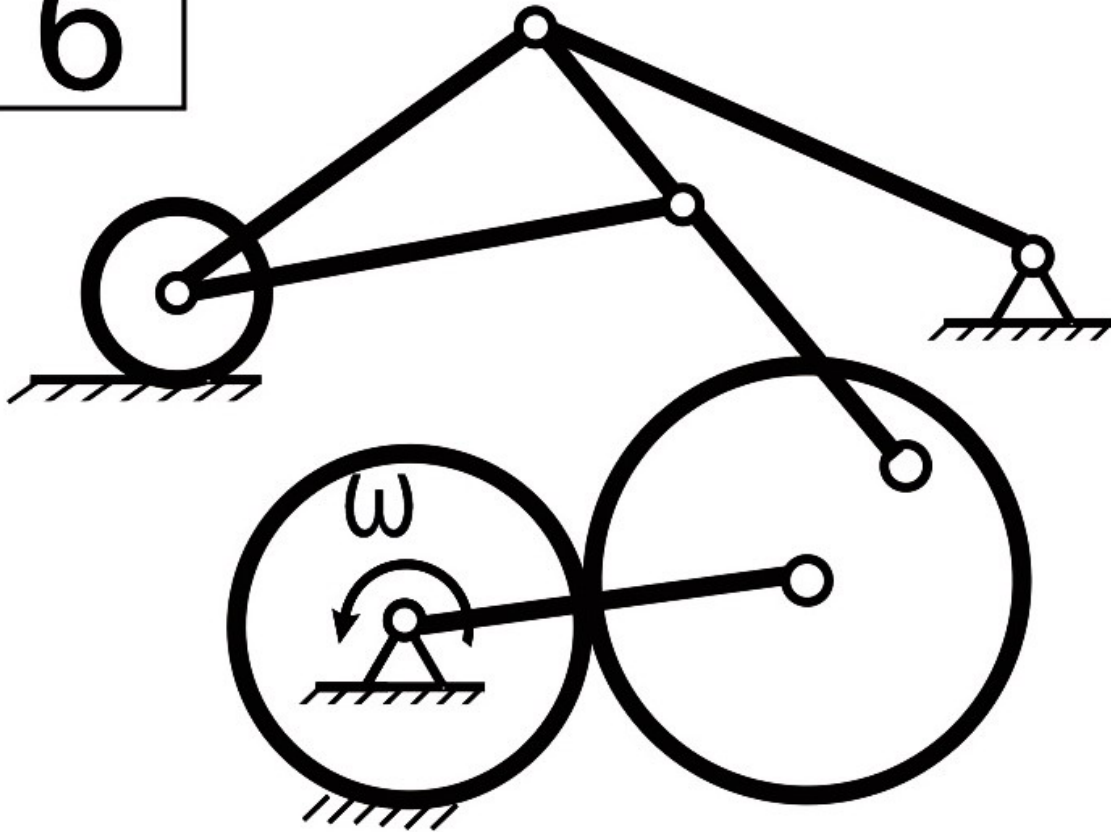
4



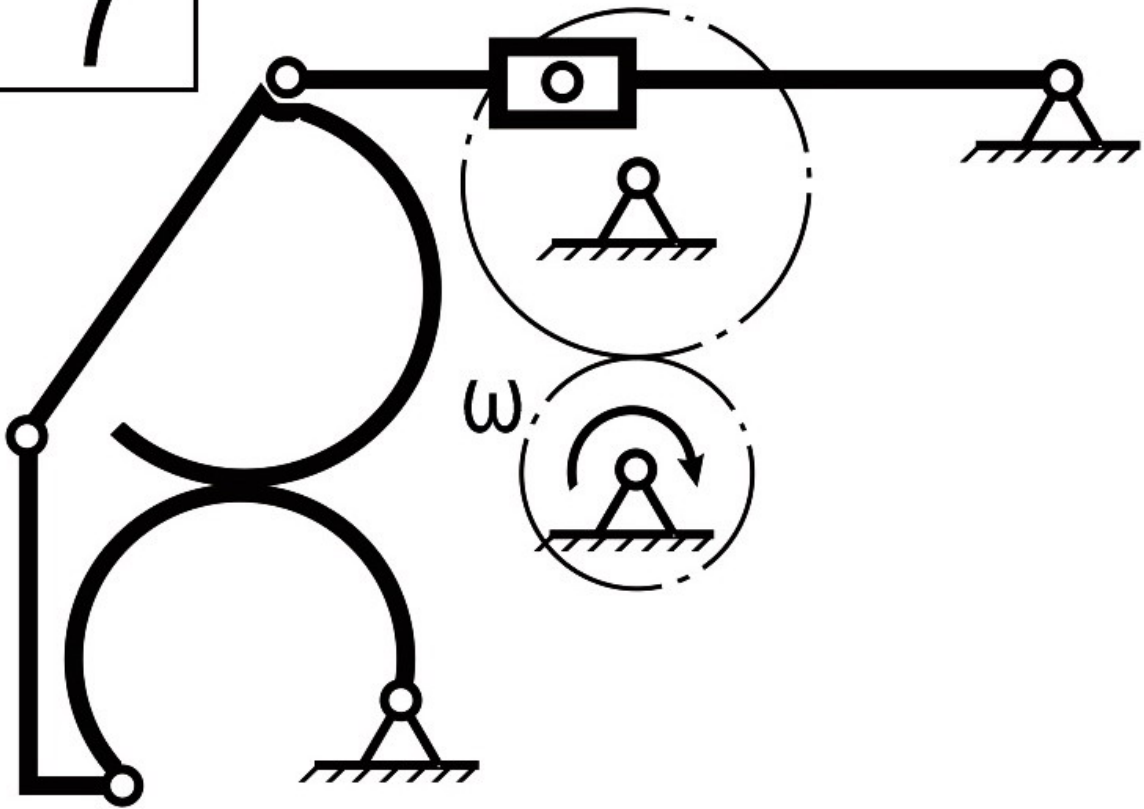
5



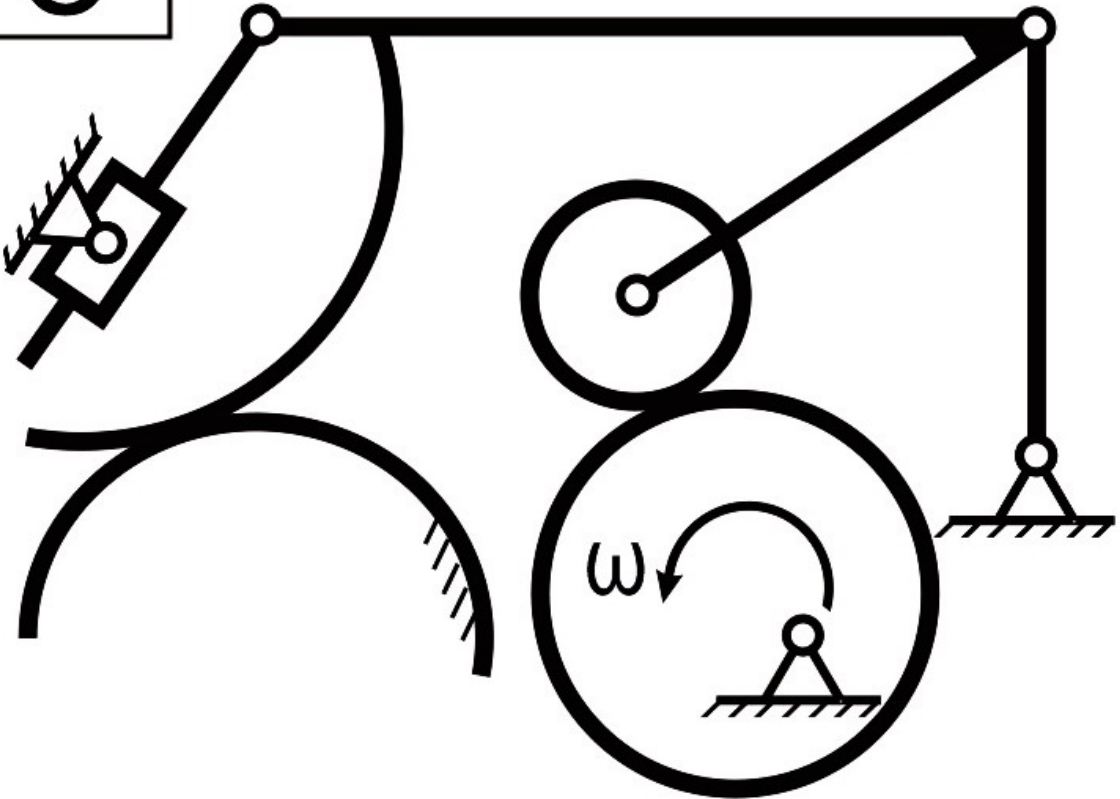
6

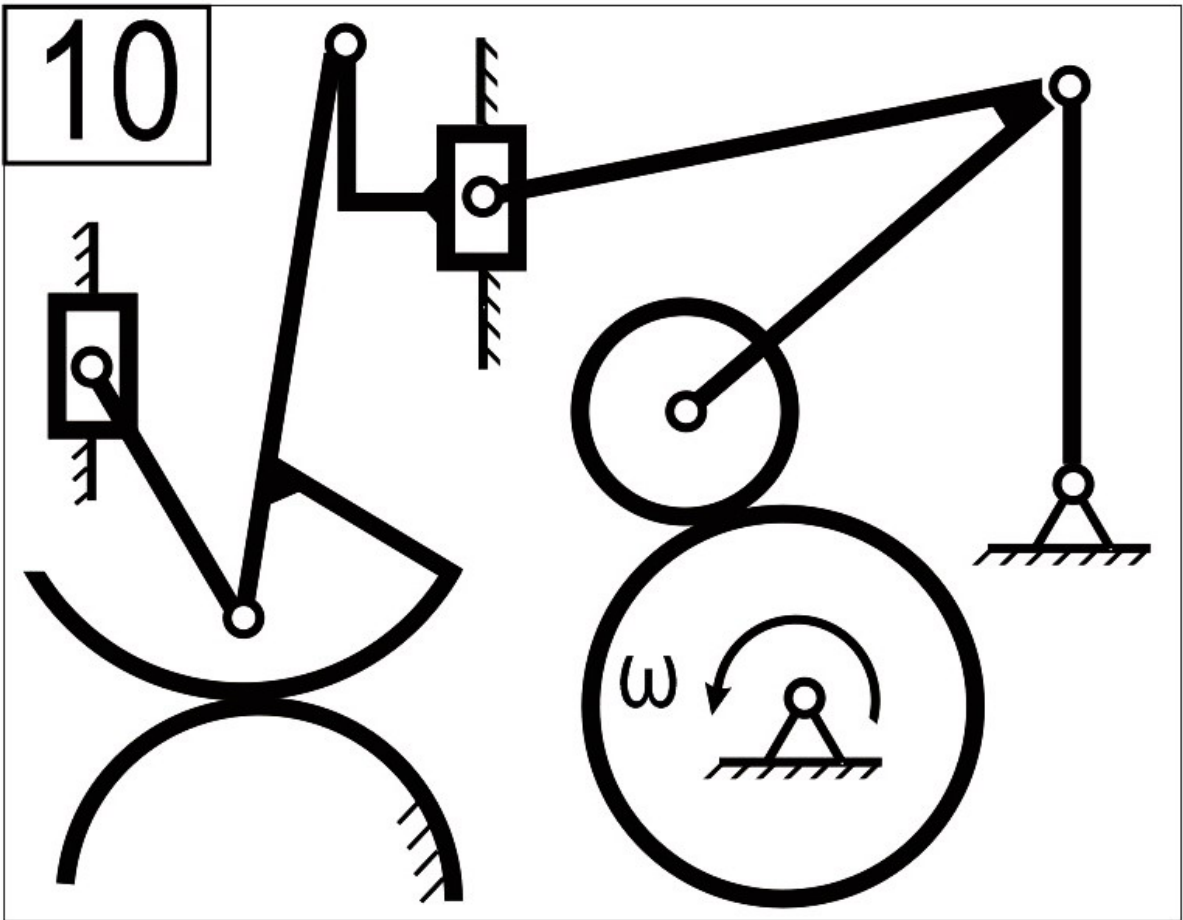
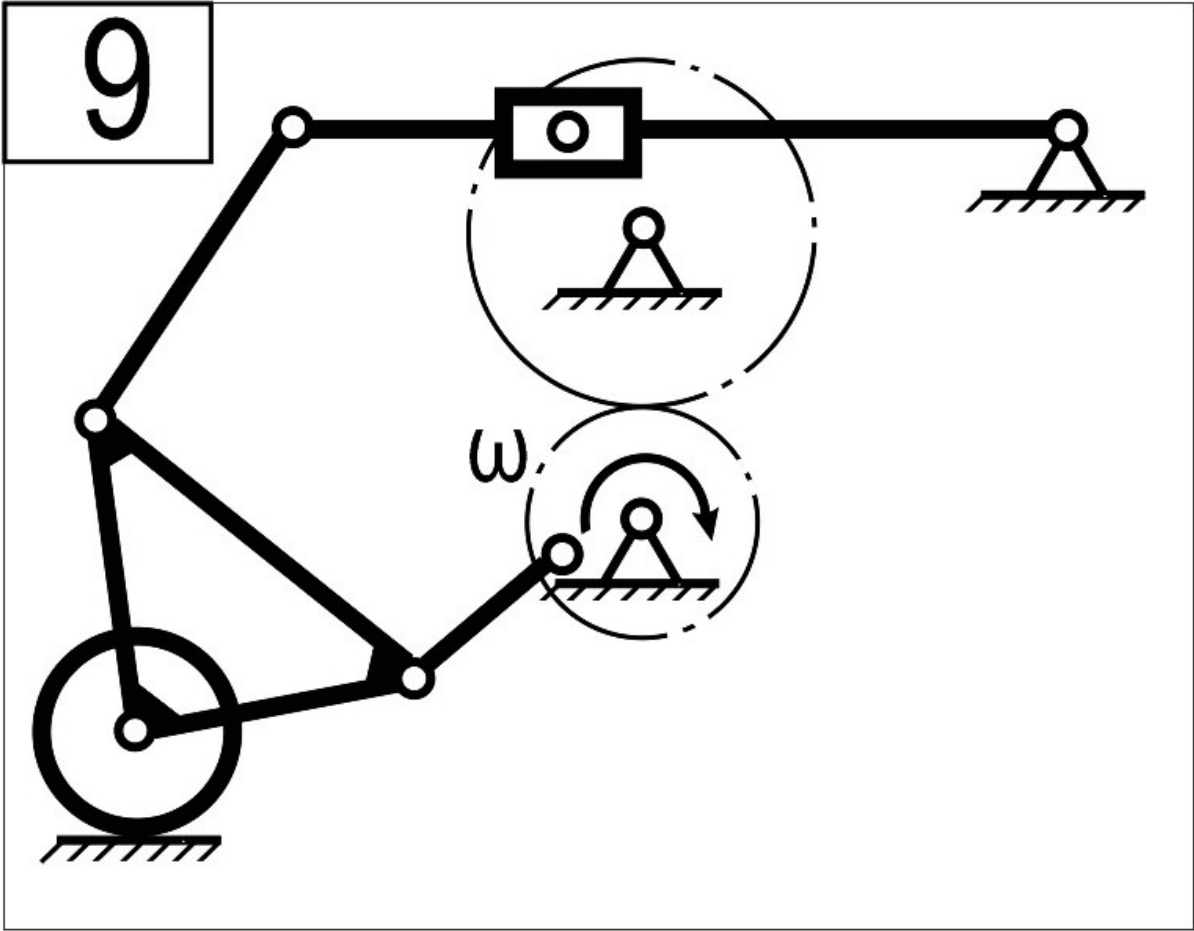


7

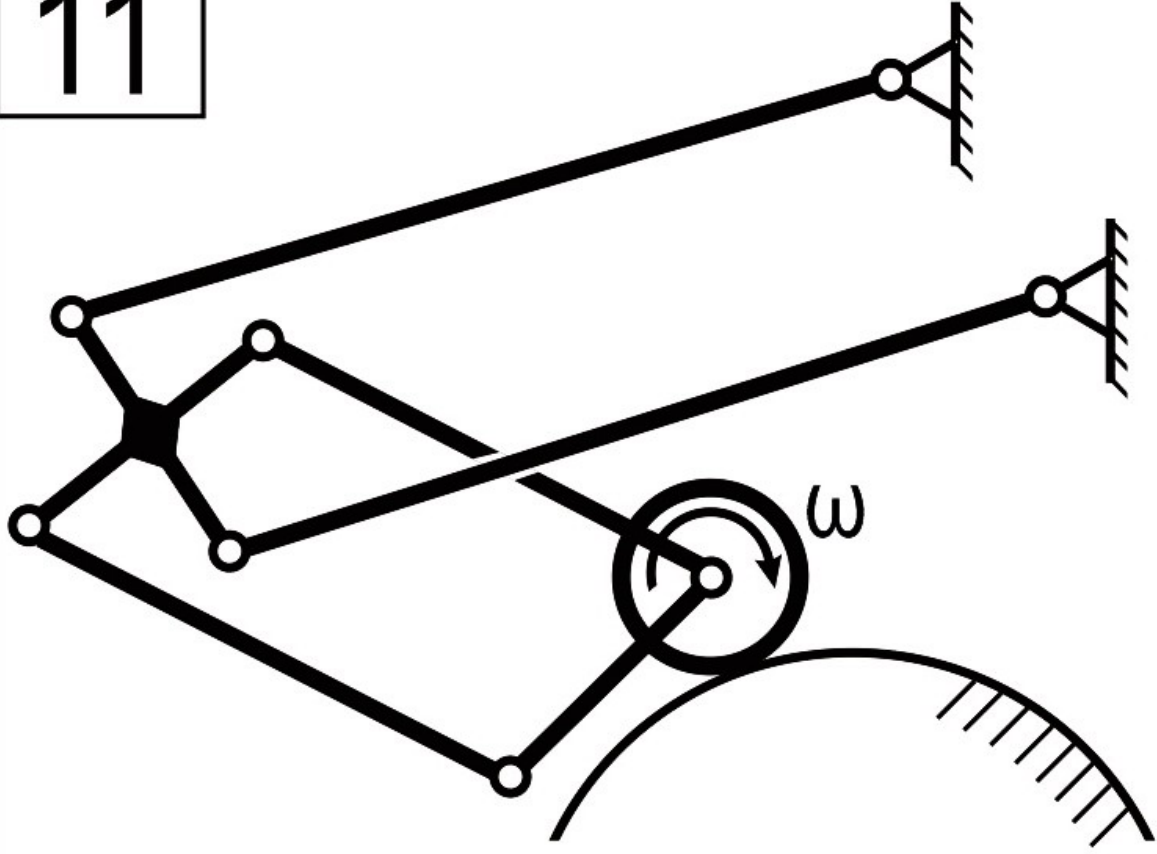


8

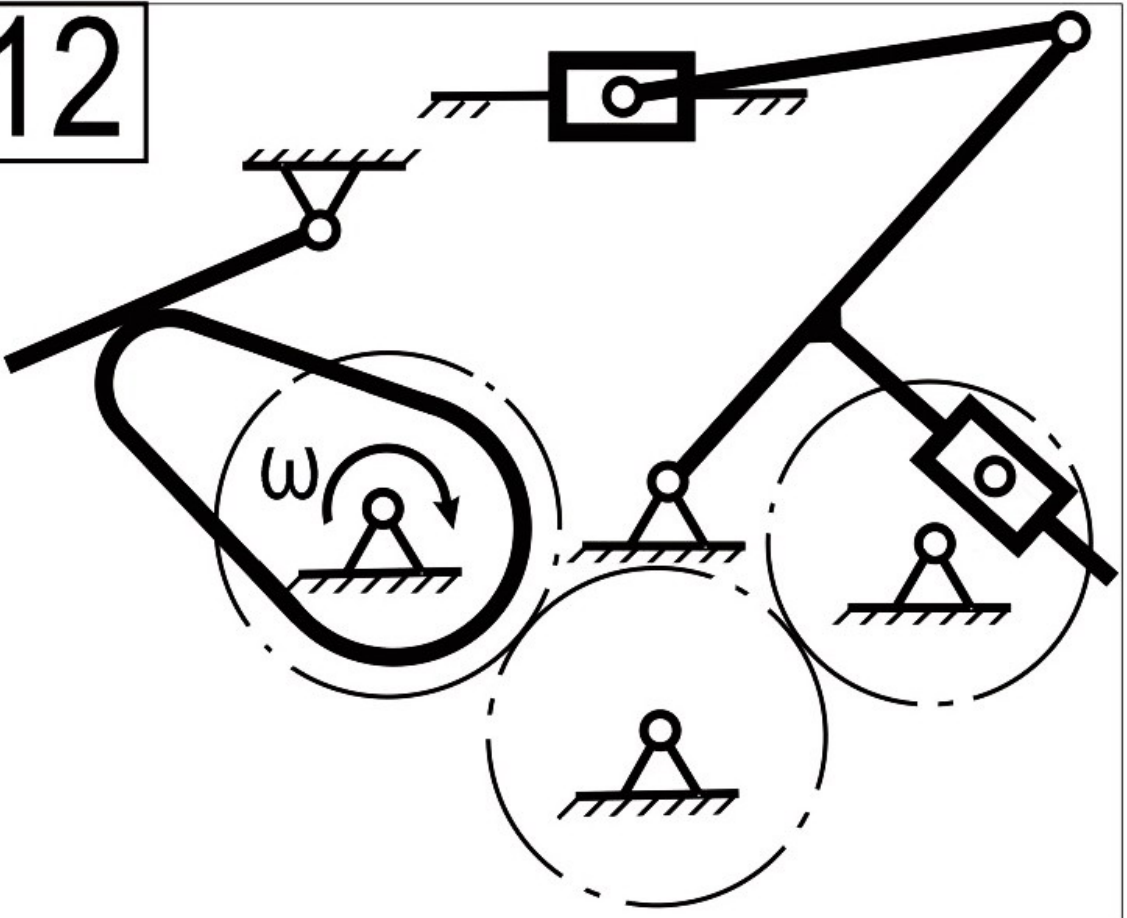




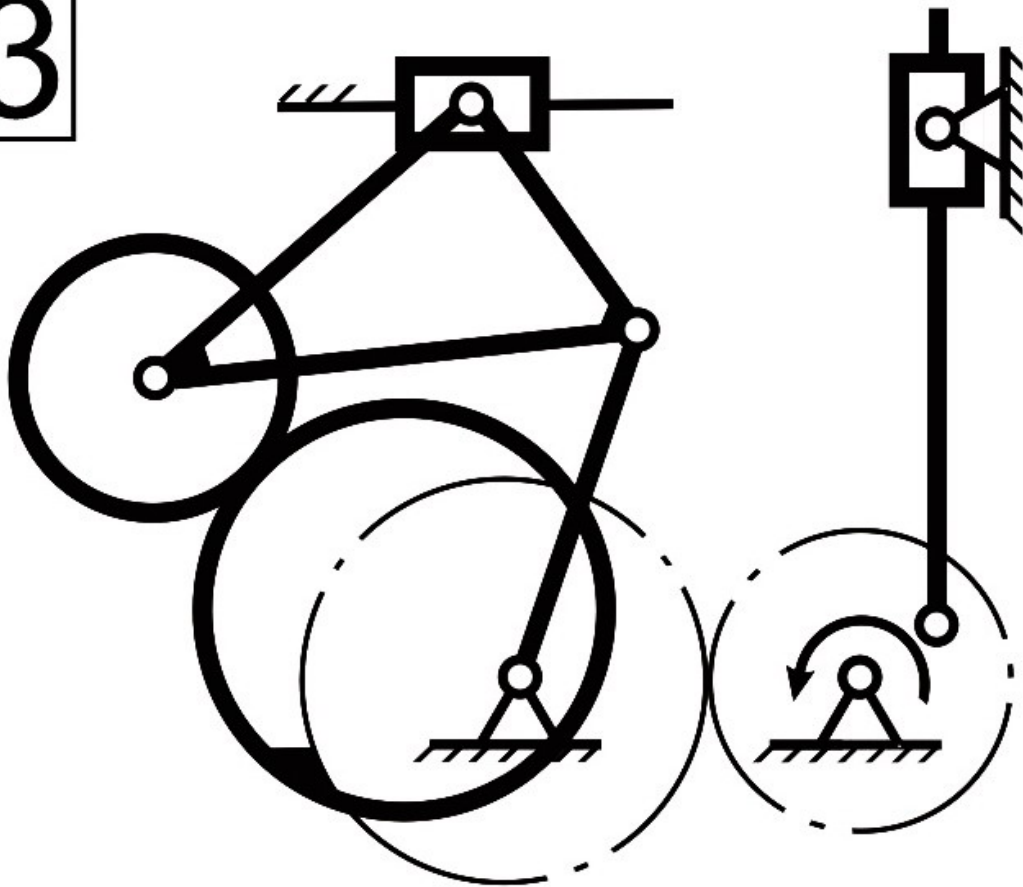
11



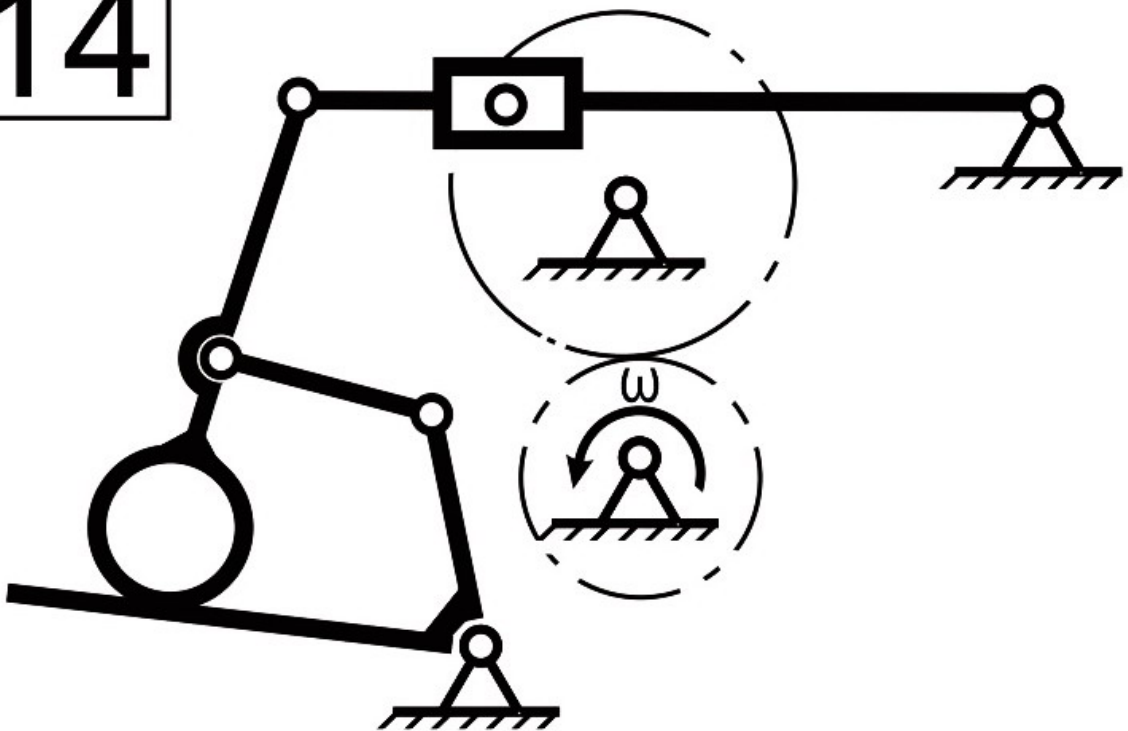
12



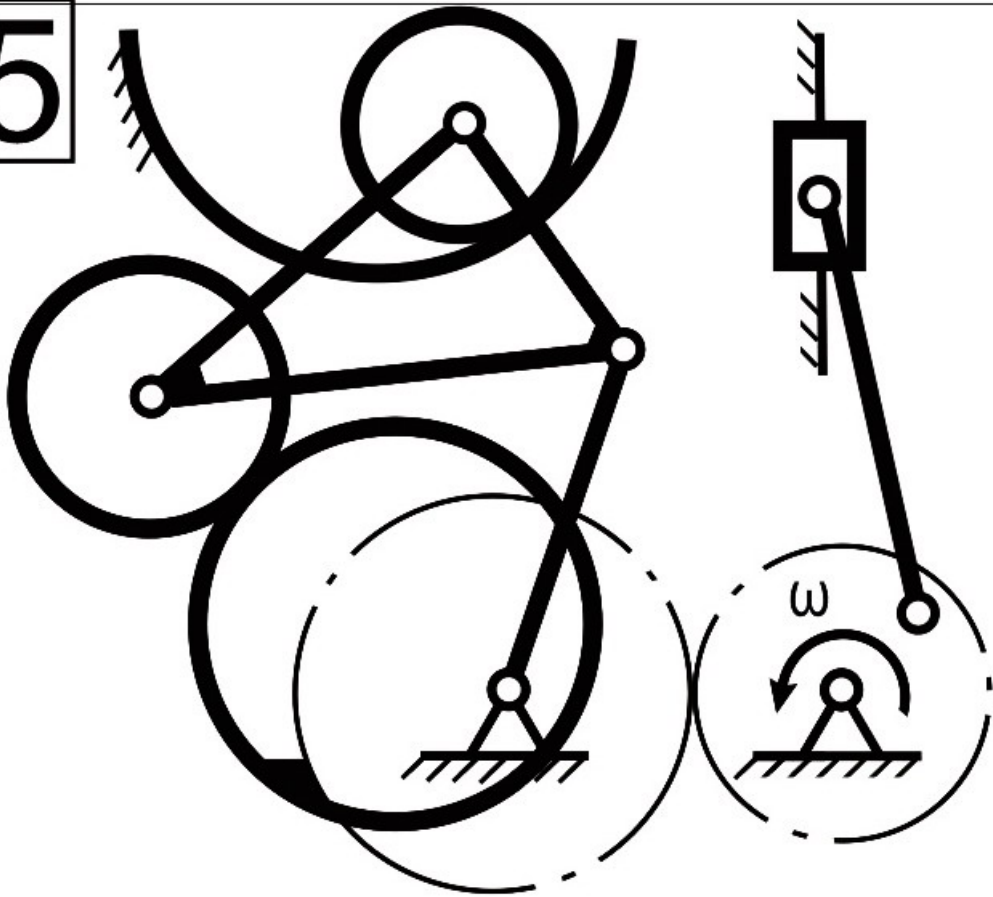
13



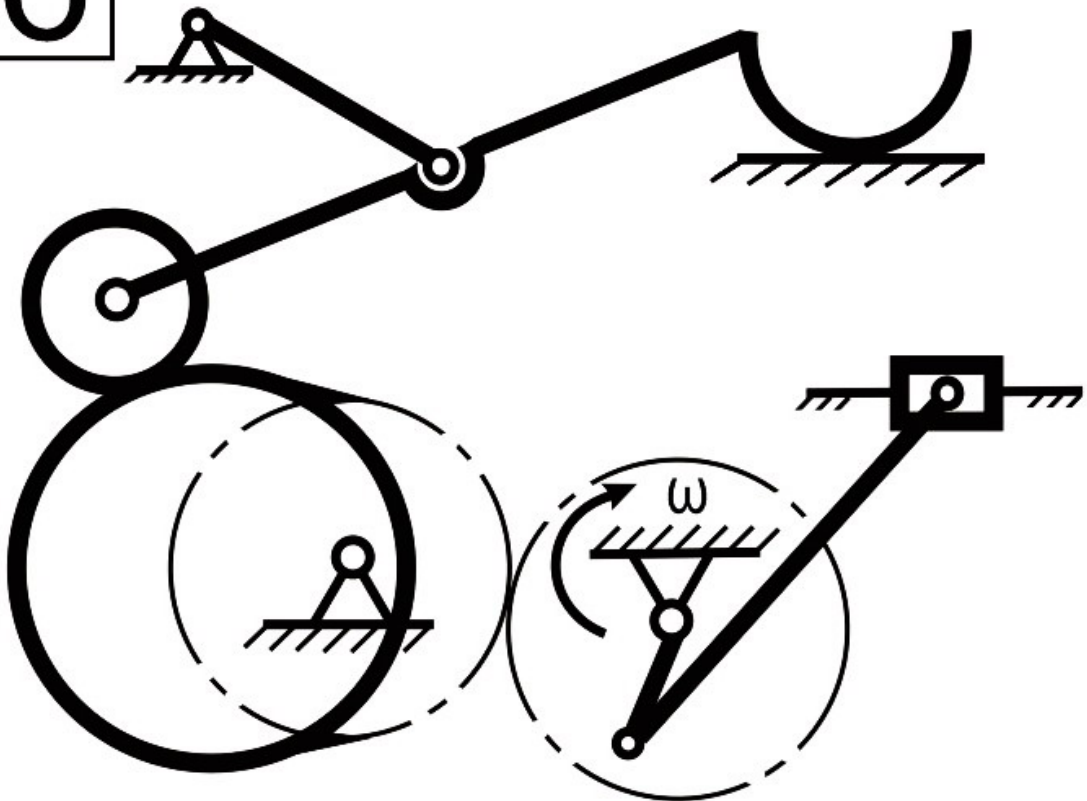
14



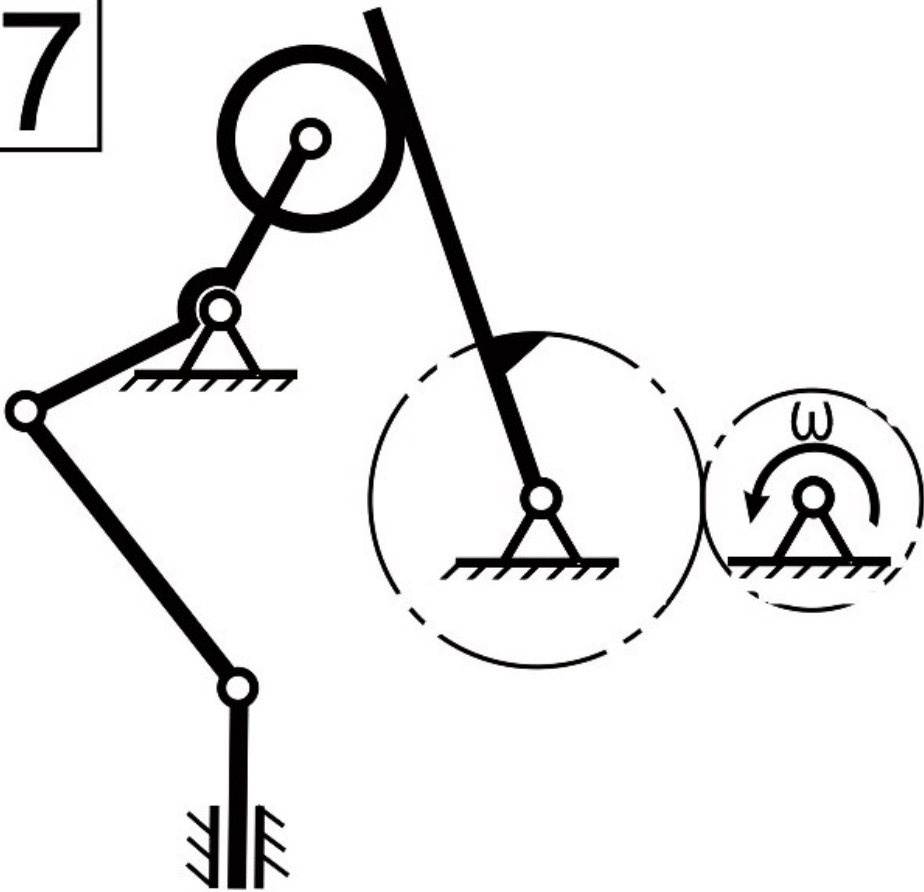
15



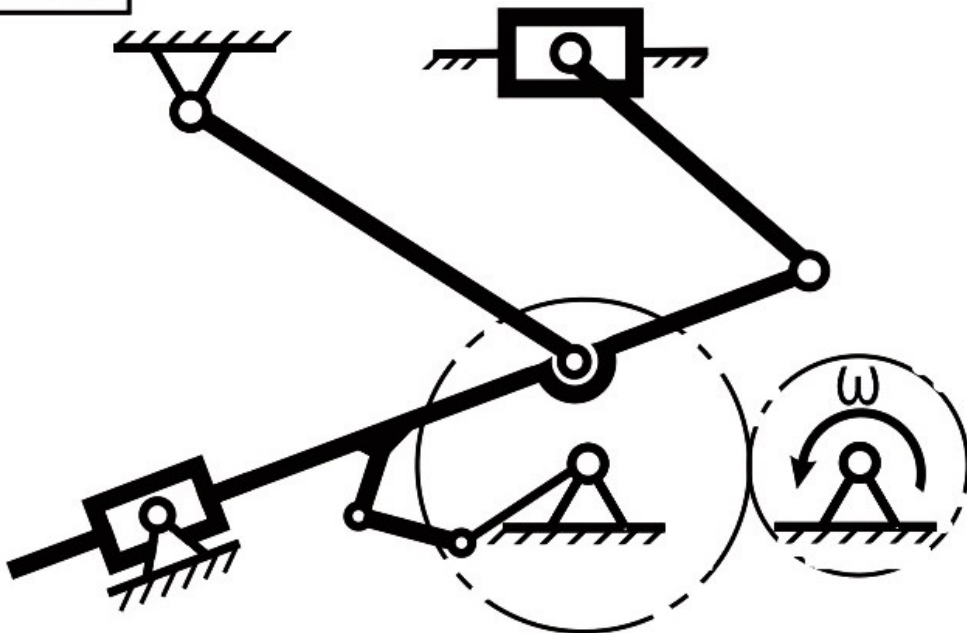
16



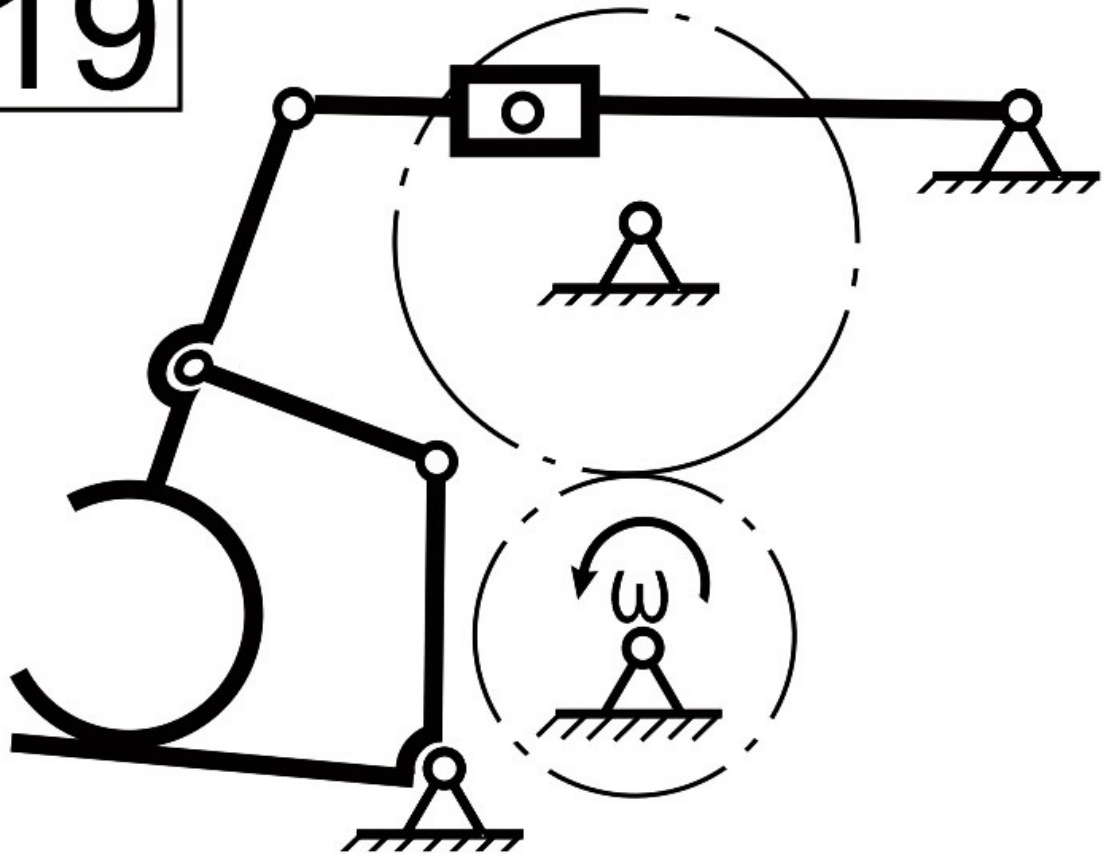
17



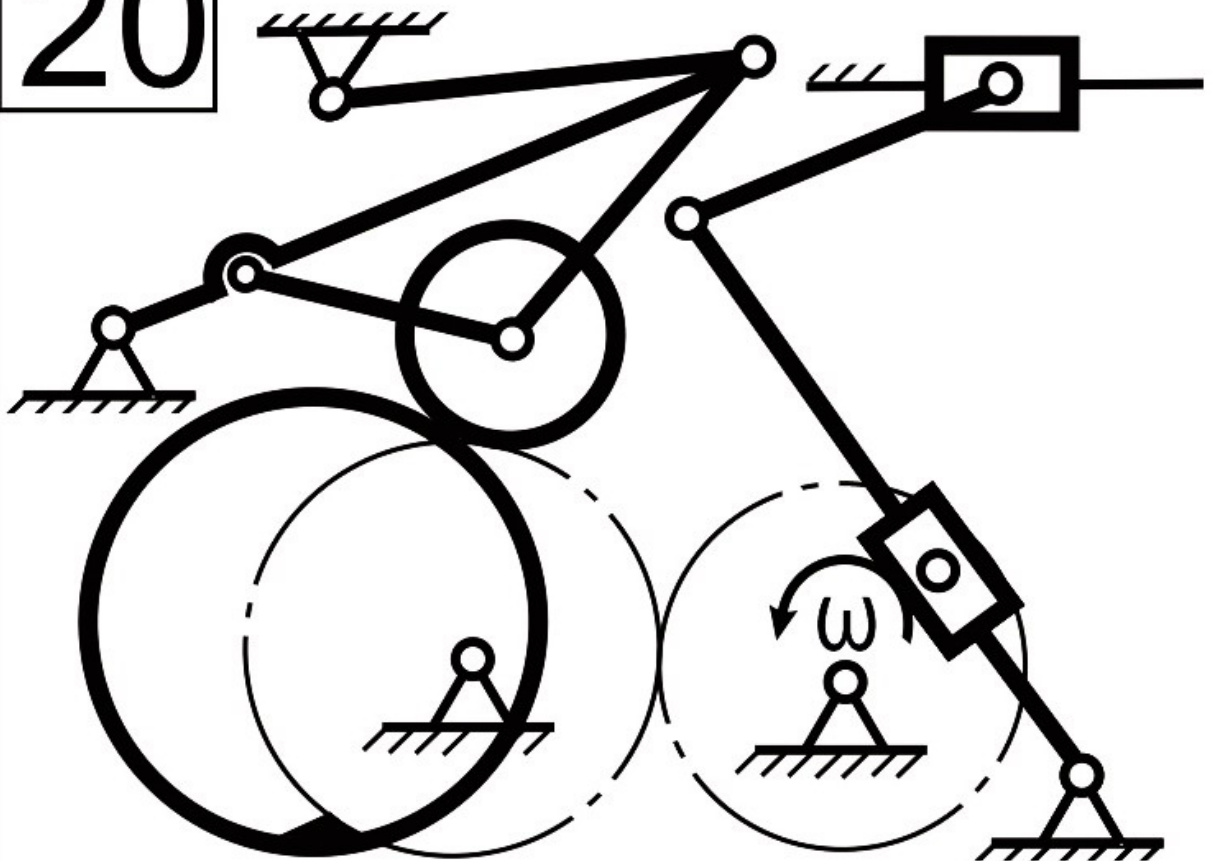
18



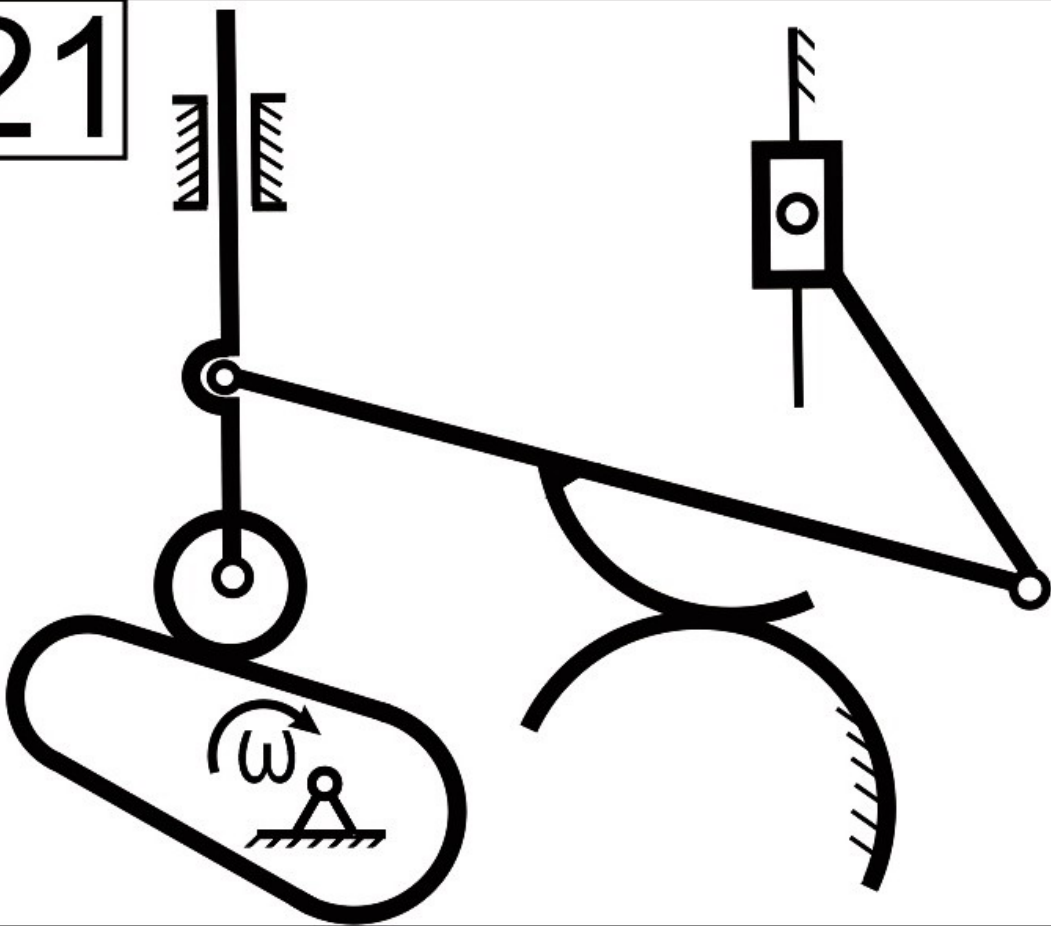
19



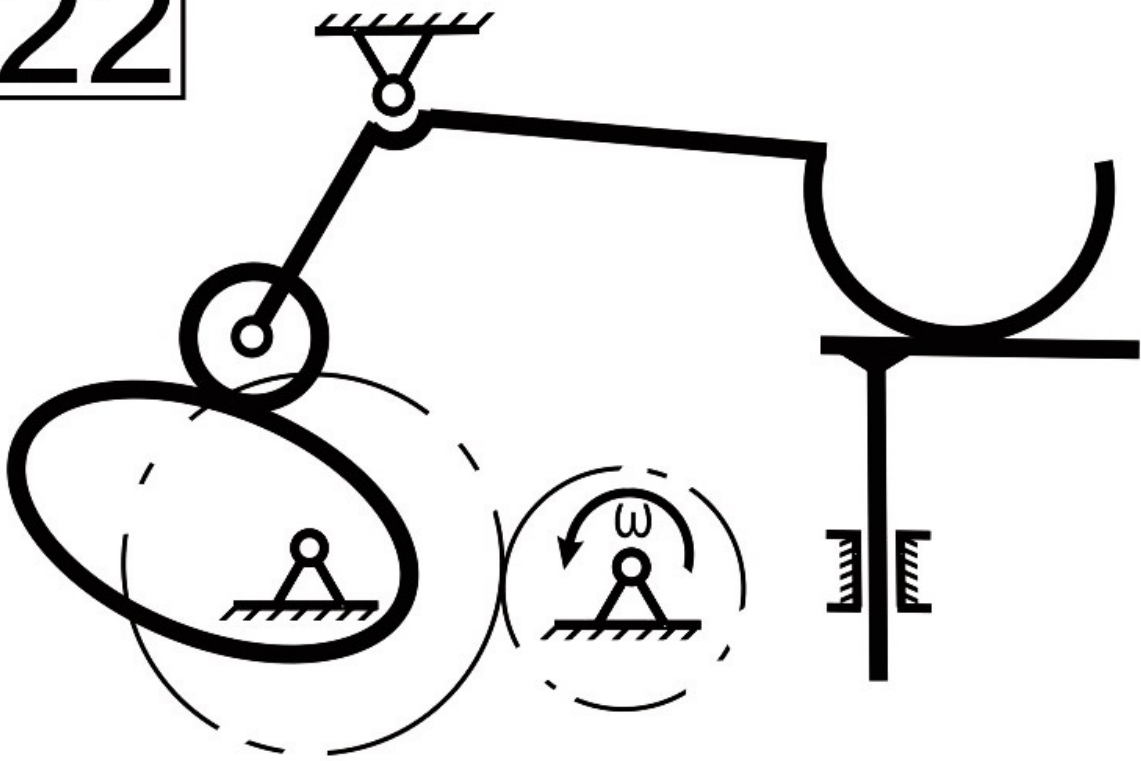
20



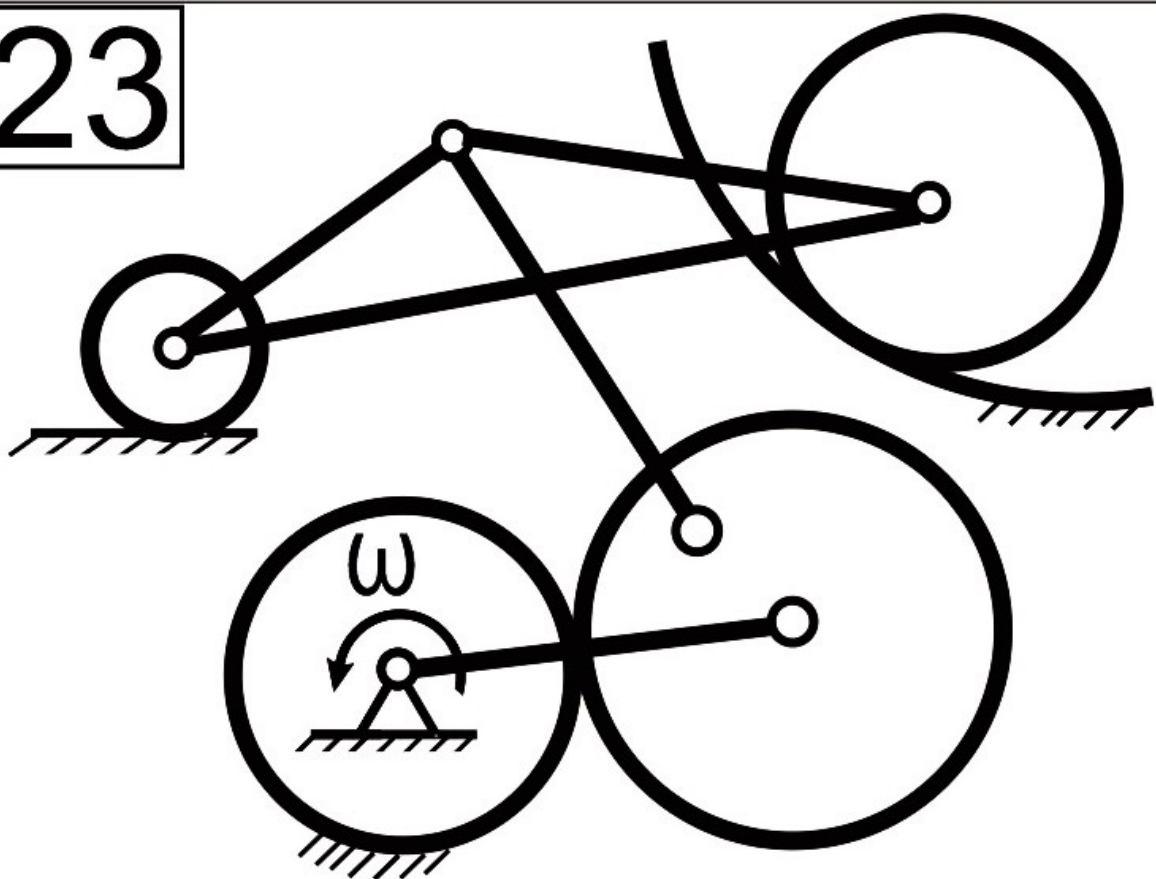
21



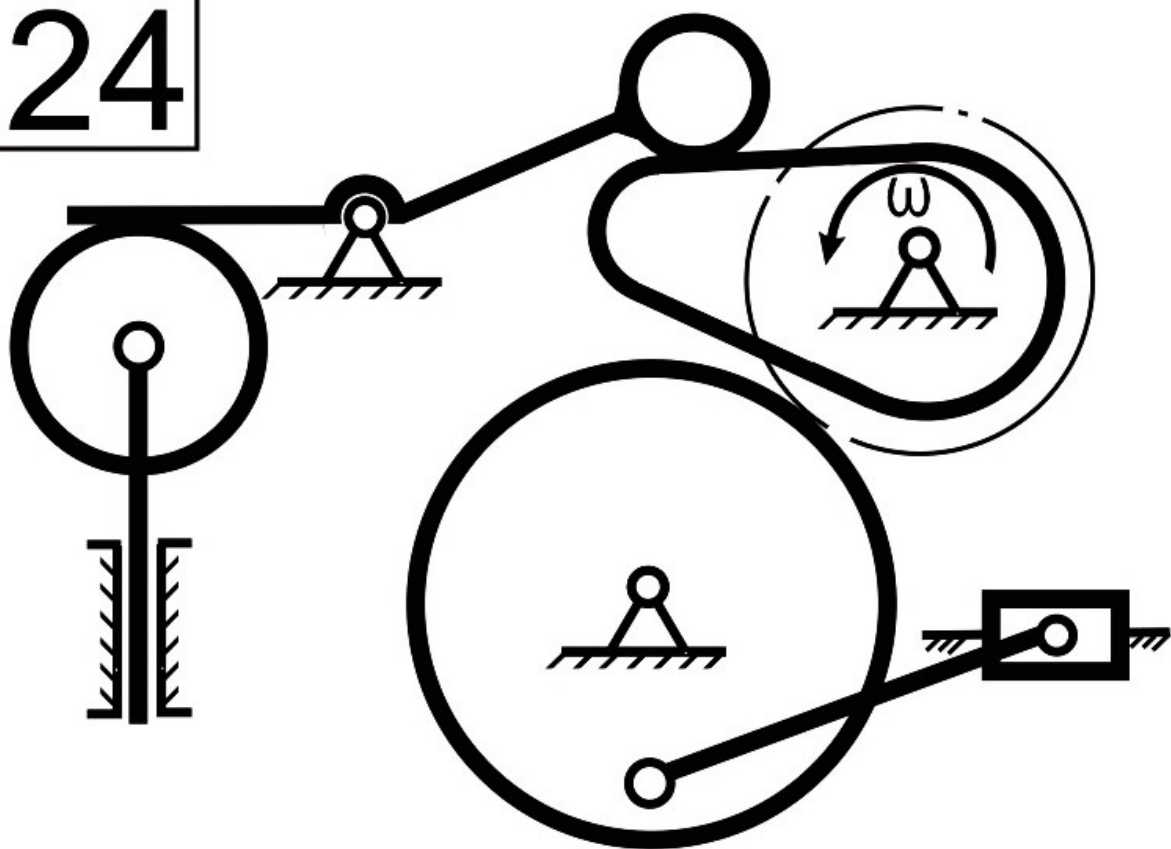
22



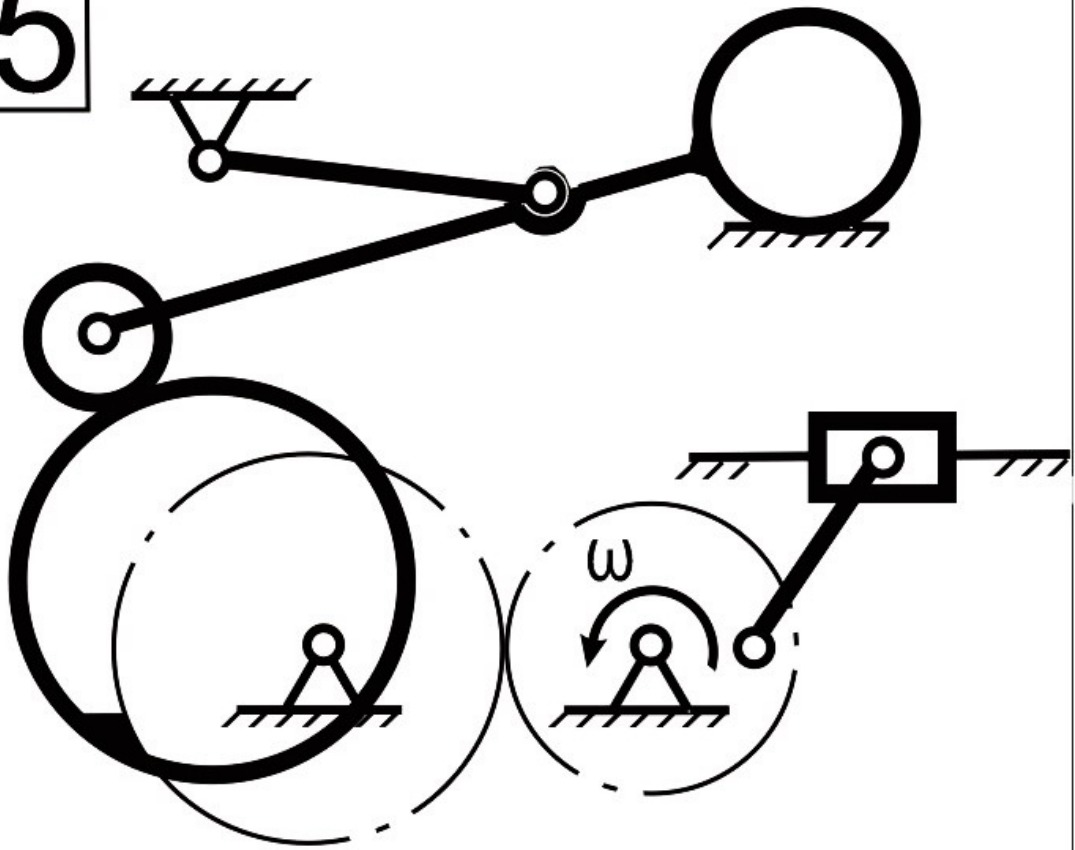
23



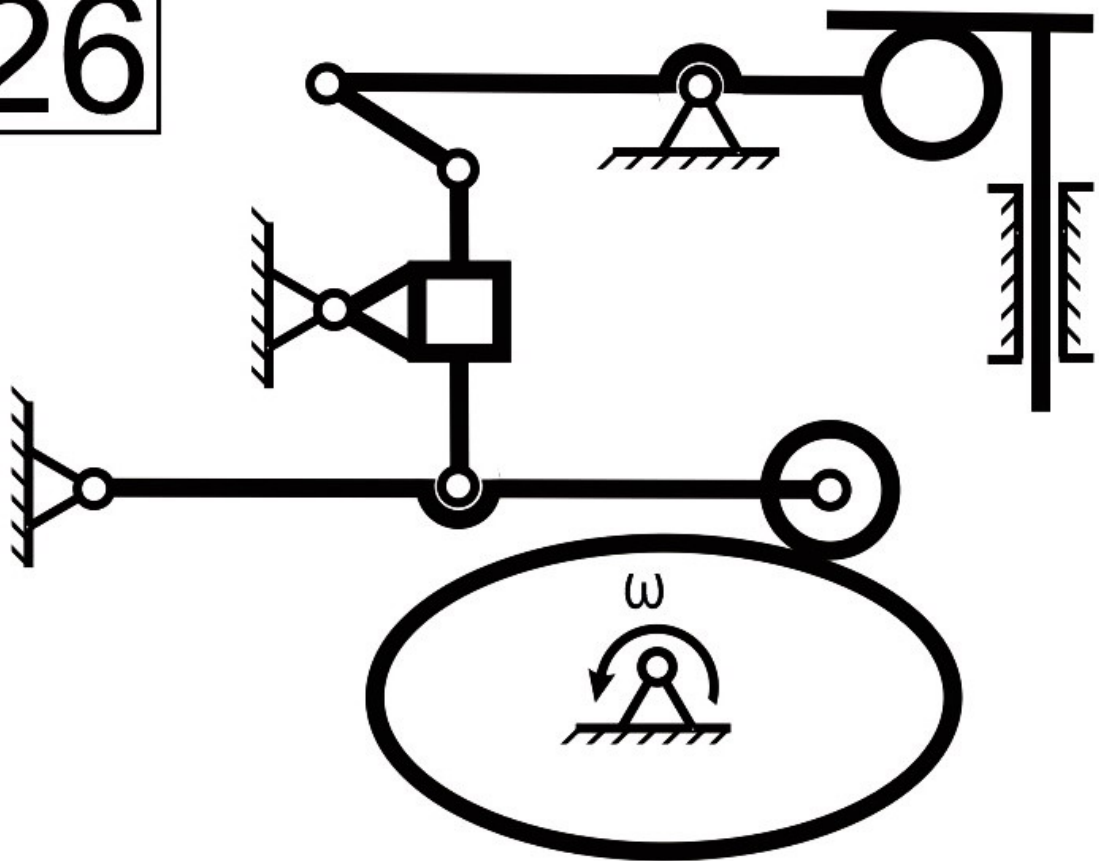
24



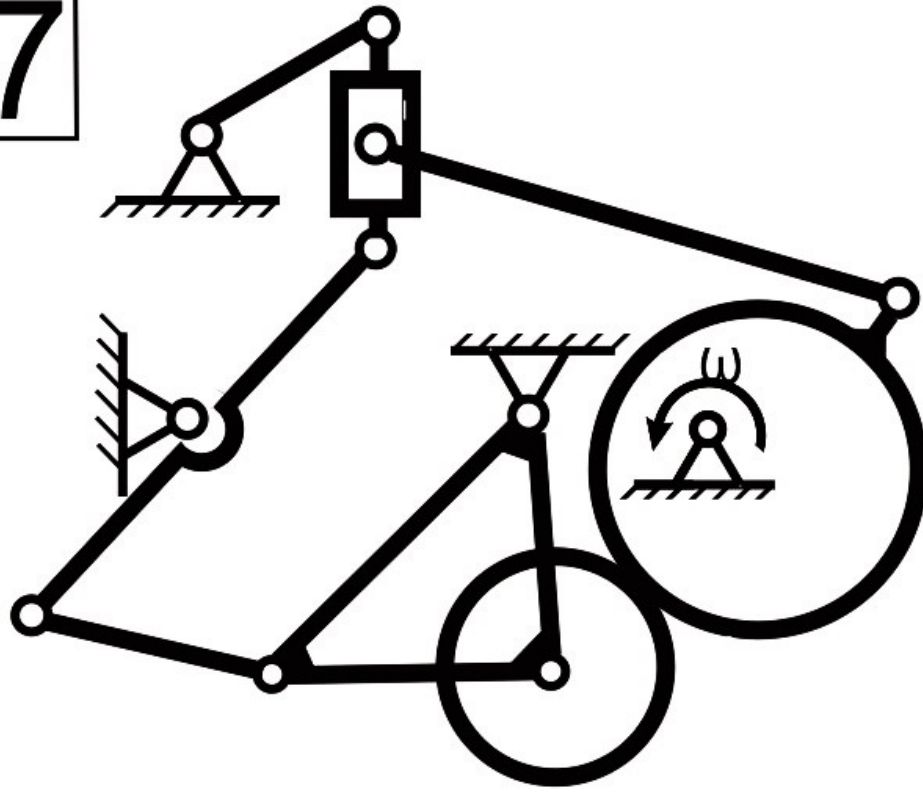
25



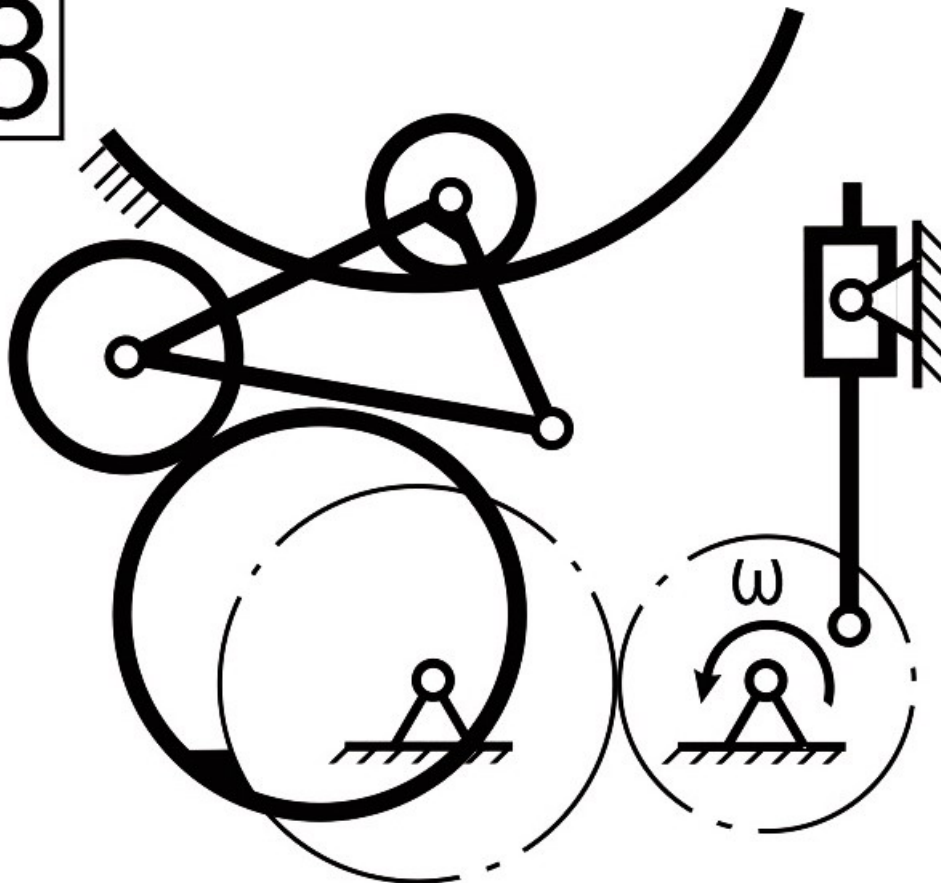
26



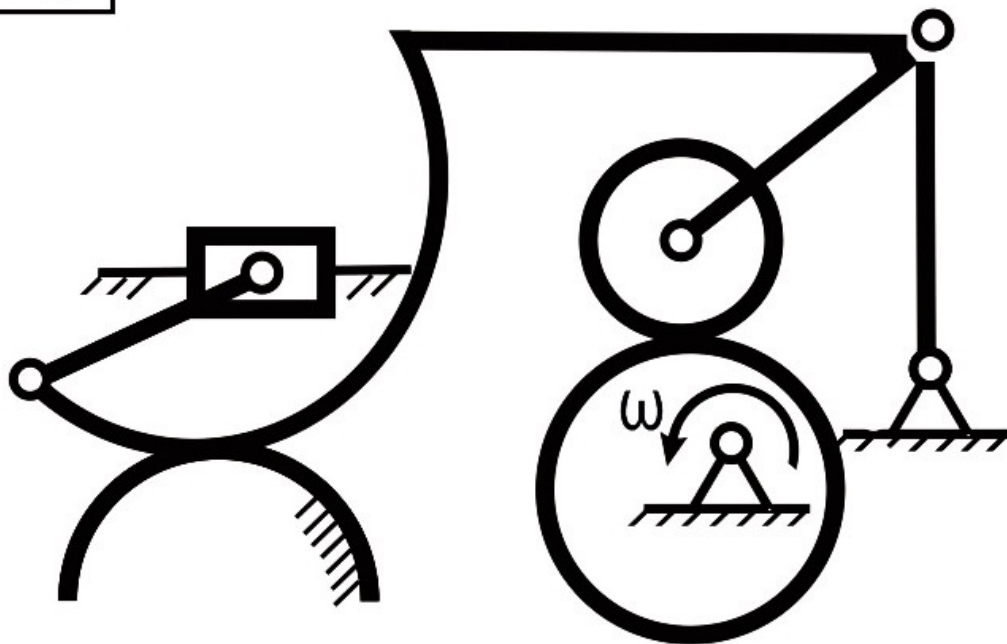
27



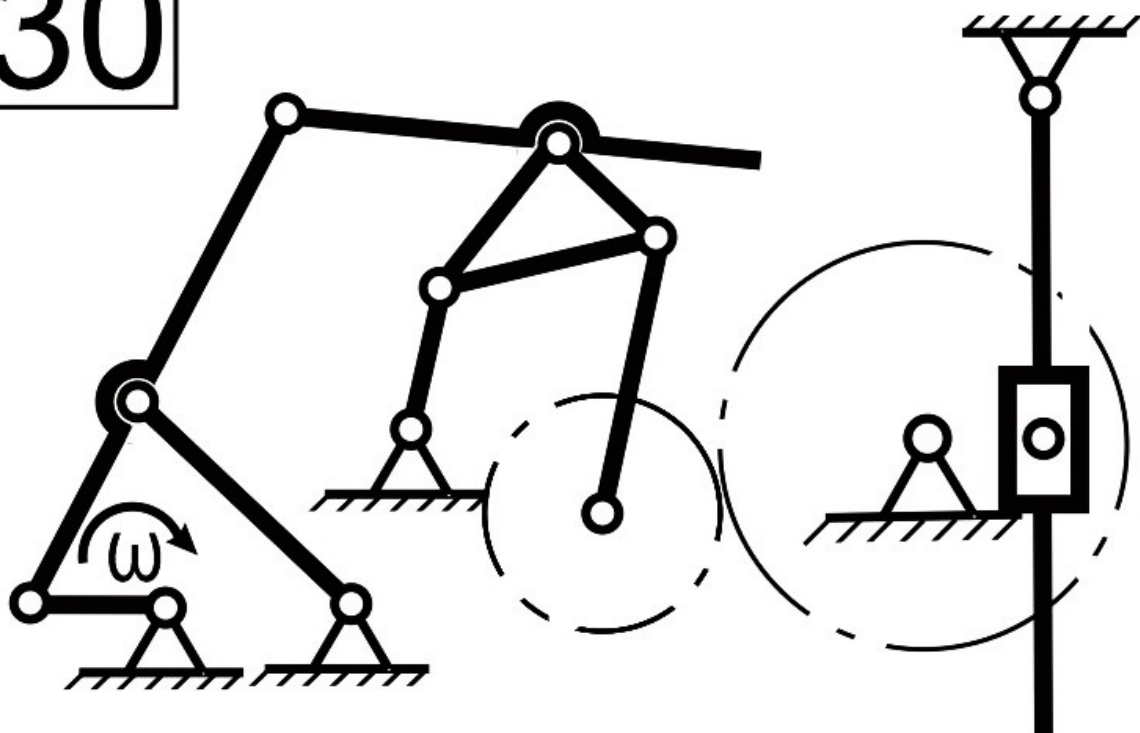
28



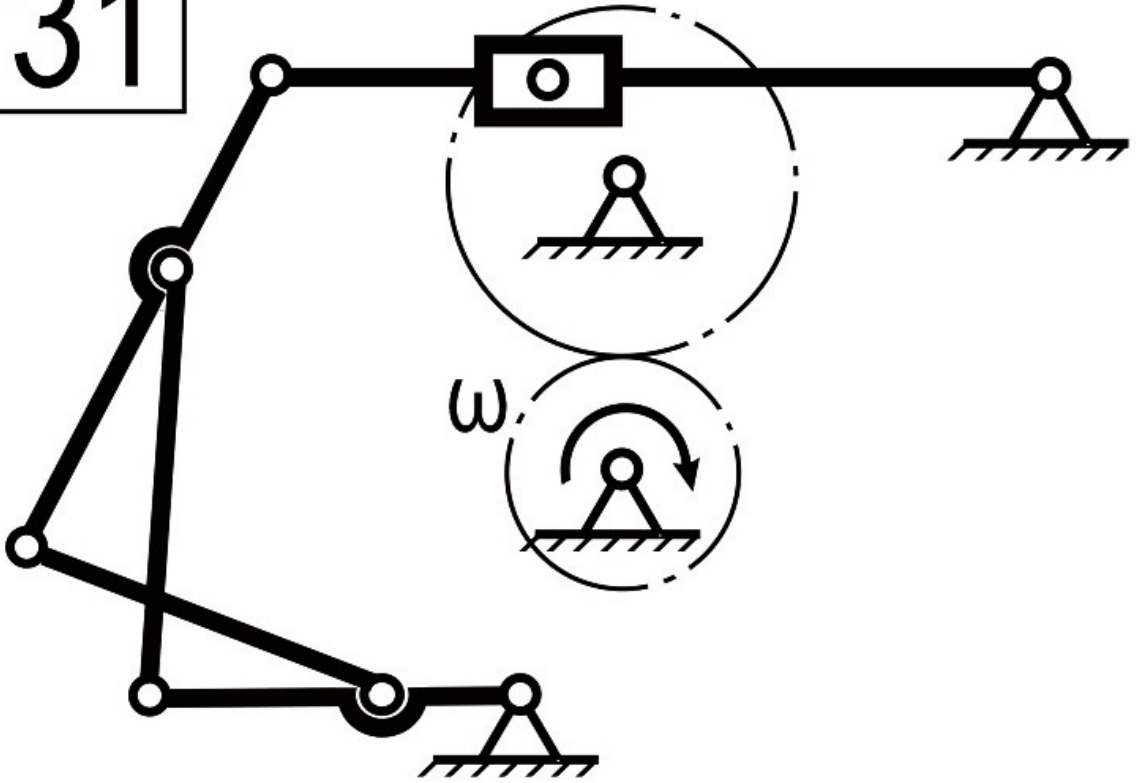
29



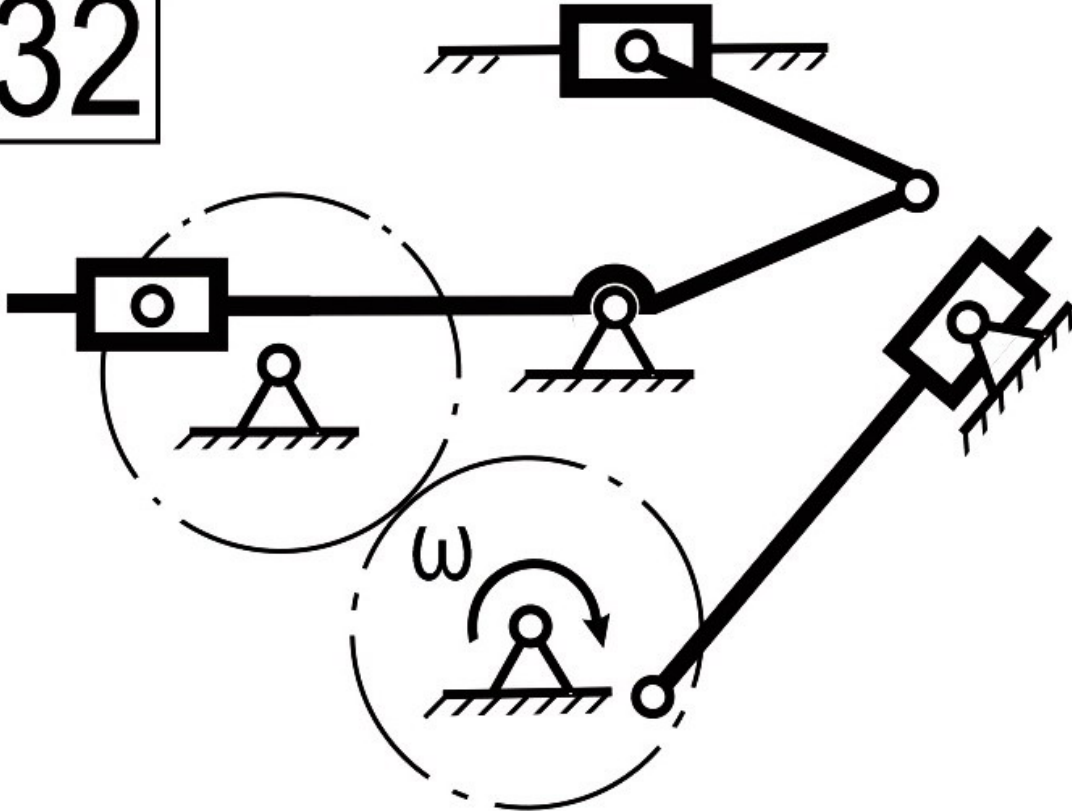
30



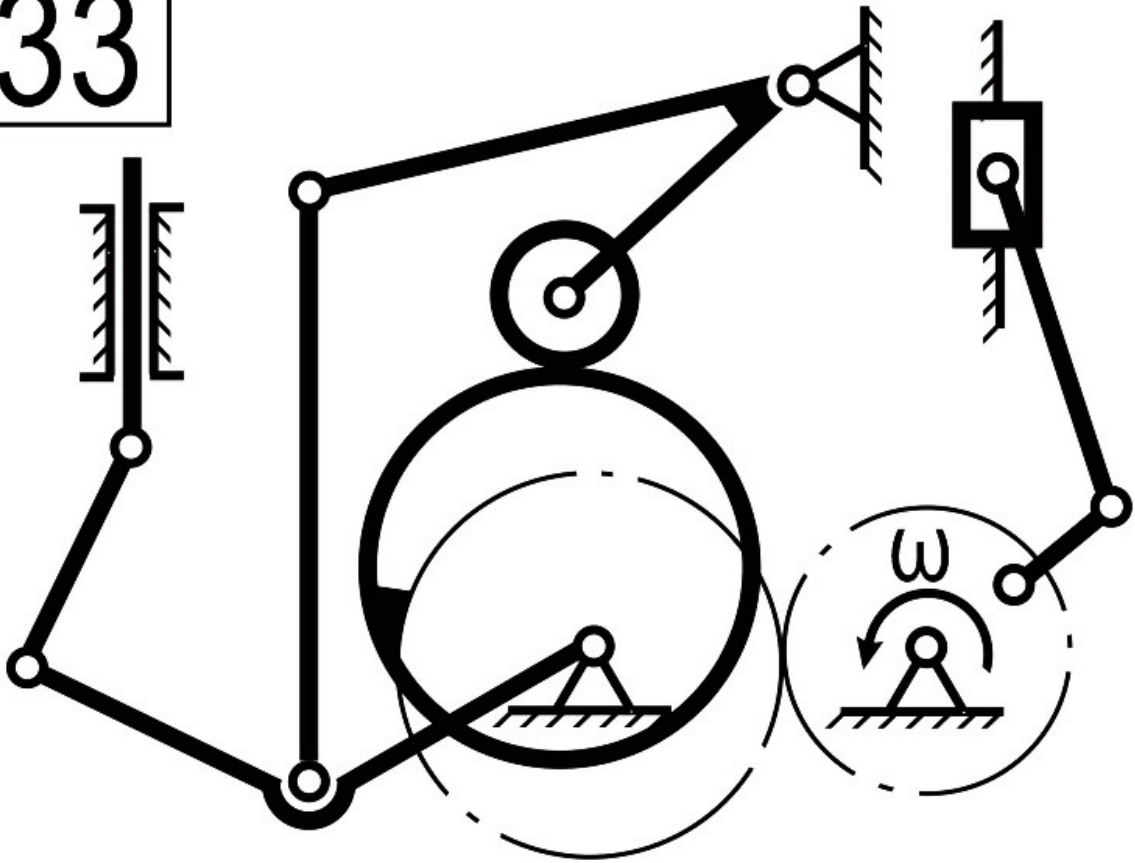
31



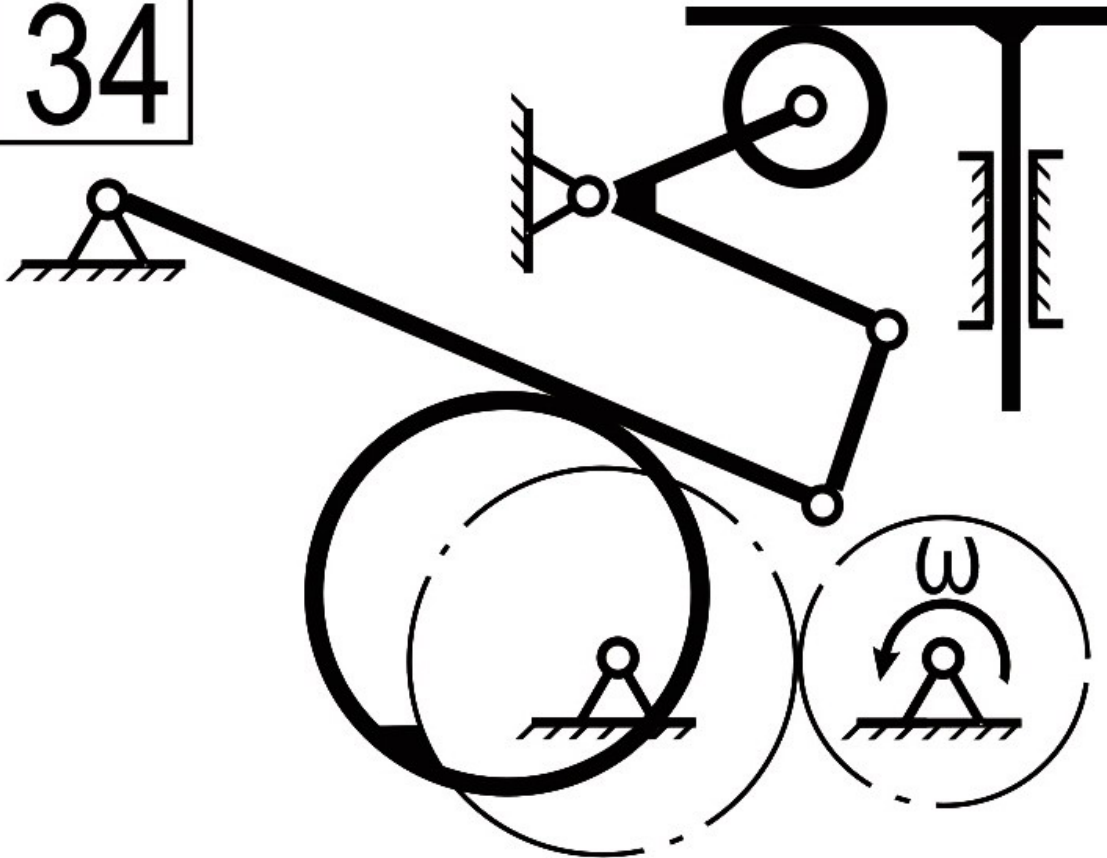
32



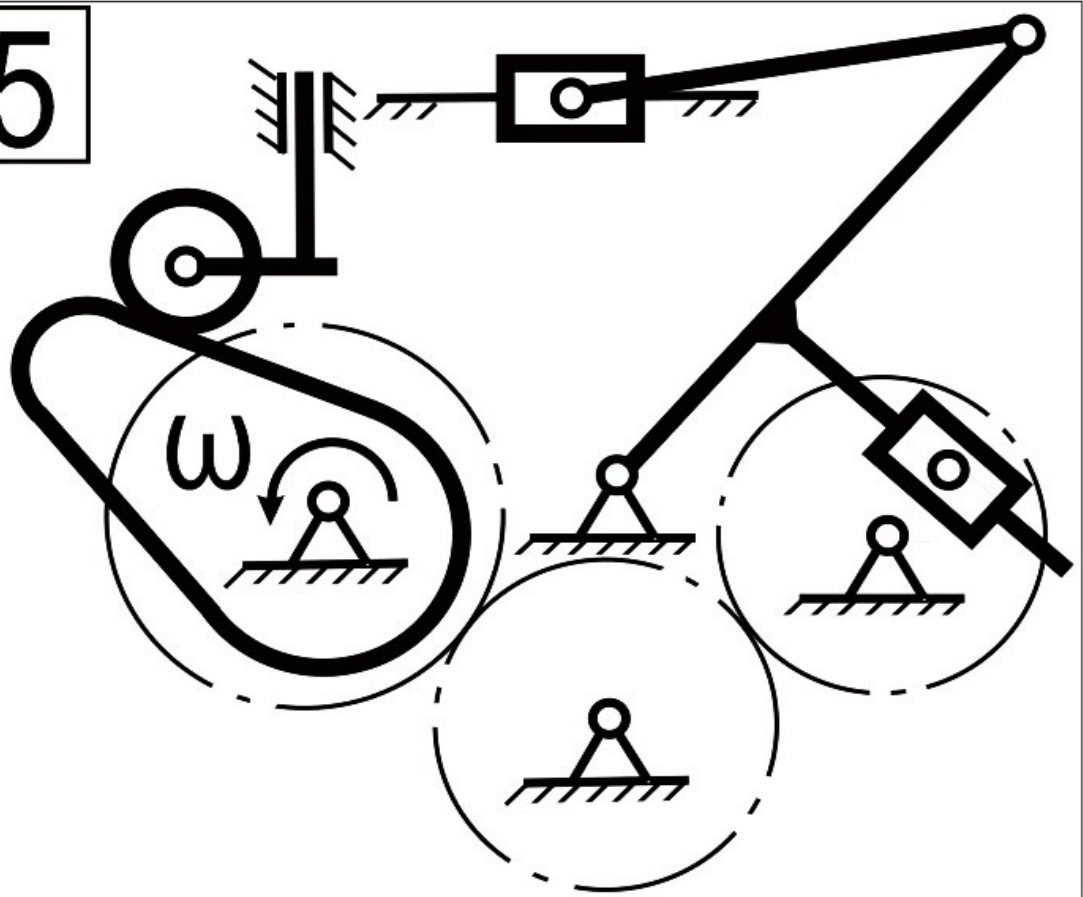
33



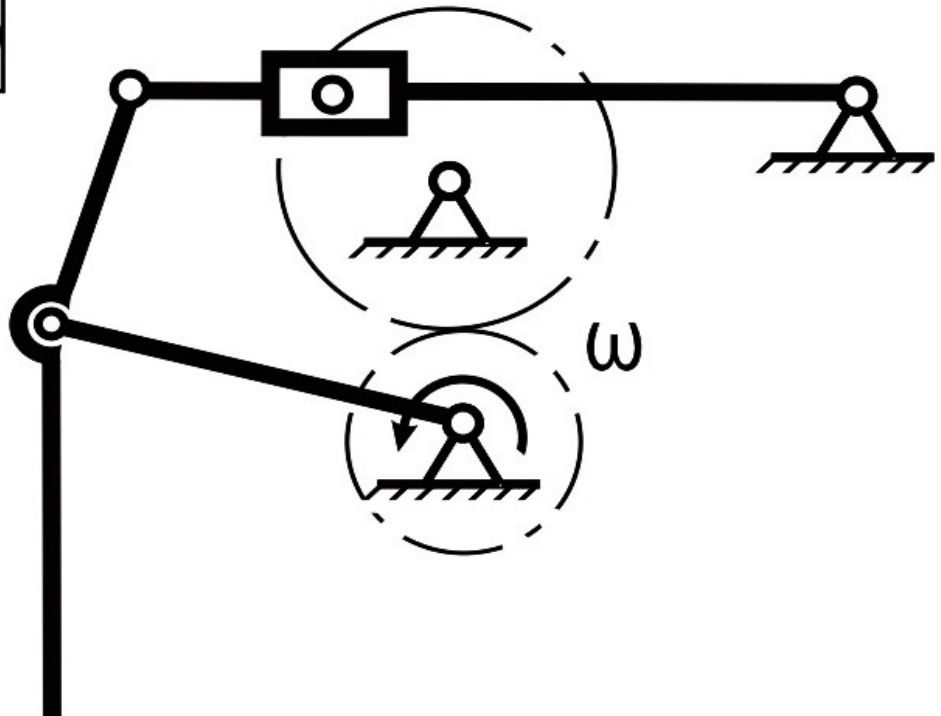
34



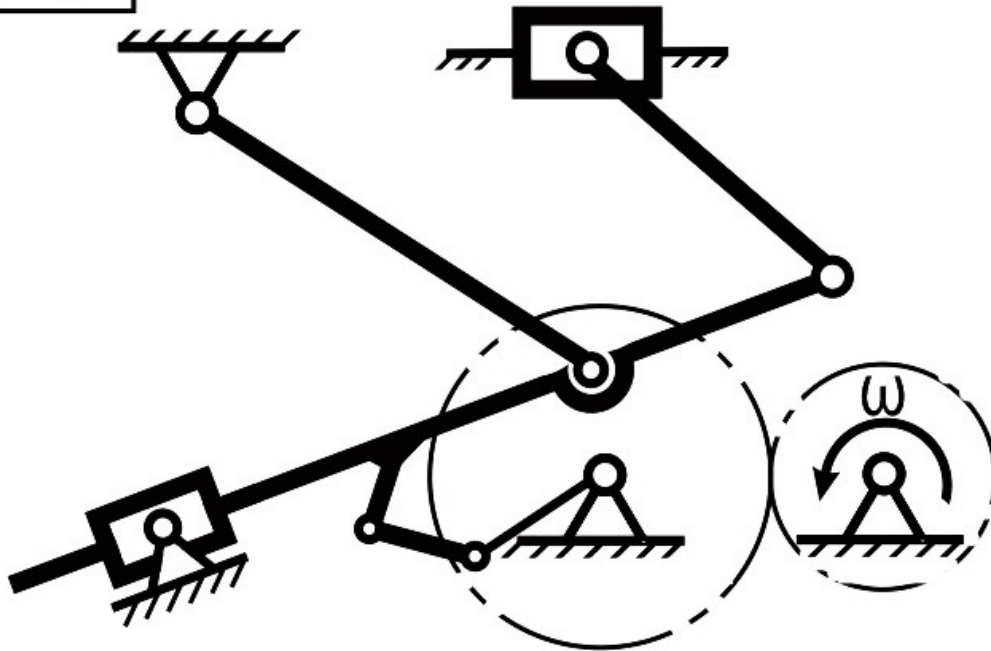
35



36



37



Список литературы

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. - М.: Наука, 1988. - 640 с.
2. Артоболевский И.И., Эдельштейн Б.В. Сборник задач по теории механизмов и машин. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
3. Закабунин В.И. Теория механизмов и машин. Структура и анализ механизмов. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – 411 с.
4. Теория механизмов и механика машин: Учеб. для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов и др. / Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высшая шк., 1998. – 496 с.

Алексей Анатольевич Кутумов
Ирина Алексеевна Сорокина

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания по курсу «Теория механизмов и машин»
для студентов машиностроительных специальностей

Редактор Е.Ф. Изотова
Подготовка оригинала-макета О.В. Щекотихина

Подписано к печати 03.03.06. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 1,87. Тираж 100 экз. Заказ 06-469. Рег. № 14.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института.
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.