Министерство образования и науки Российской Федерации
Амурский государственный университет

Т.А. Луганцева, С.П. Волков

ВВЕДЕНИЕ
В СТРОЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ

Учебное пособие

Благовещенск
Издательство АмГУ
2011

ББК 29.2 я 73
Л72

Рекомендовано
учебно-методическим советом университета

Рецензент:

Лаврушин Г.А., зав. кафедрой «Основы конструирования и проектирования» ДВГТУ, д-р техн. наук, профессор.

Луганцева Т.А., Волков С.П.
Л72 Введение в строение механизмов. Учебное пособие / Т.А. Луганцева, С.П. Волков. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2011. – 88 с.

В пособии рассмотрен материал, который относится к разделе «Структурный анализ механизмов» (первый модуль блочно-модульной системы обучения). В пособии изложена методика структурного анализа плоских рычажных механизмов и механизмов, содержащих высшие кинематические пары. Приведены задания для расчетно-графических работ и самостоятельной работы студентов. Пособие пригодно также для выполнения лабораторных работ и курсовых проектов.

Предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения университета, изучающих дисциплины «Теория механизмов и машин» и «Прикладная механика».

ББК 29.2 я 73

© Амурский государственный университет, 2011
© Луганцева Т.А., Волков С.П., 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. Основы структуры механизмов 4

1.1. Классификация машин 5

1.2. Классификация механизмов 7

1.3. Классификация звеньев 10

1.4. Классификация кинематических пар 14

1.5. Классификация кинематических цепей 19

1.6. Структурная и кинематическая схема механизма 21

1.7. Степень подвижности механизма 22

1.8. Структурная классификация механизмов 24

1.9. Избыточные связи и местные подвижности 29

1.10Замена высших кинематических пар низшими 33

1.11. Алгоритм структурного анализа по Ассуру-Артоболевскому 34

2. Лабораторные работы 39

2.1. Основные виды механизмов 39

2.2.Составление структурных и кинематических схем механизмов 39

3. Библиографический список 44

Приложение 1 45

Приложение 2 51

ВВЕДЕНИЕ

Теория механизмов и машин есть наука, изучающая строение, кинематику и динамику механизмов в связи с их ***анализом*** и ***синтезом***.

Первая группа проблем теории механизмов посвящена исследованию структурных, кинематических и динамических свойств машин, т.е. *анализу.*

Движение механизмов зависит от их строения и сил, действующих на них. Поэтому удобно проблемы анализа разбить на три составные части: структурный, кинематический и динамический.

Классификация механизмов по их структуре является одни из основных разделов курса «Теория механизмов и машин». Это позволяет создать единый метод кинематического и кинетостатического исследования механизмов.

1 ОСНОВЫ СТРУКТУРЫ МЕХАНИЗМОВ

Под структурой механизма понимается совокупность его элементов и отношений между ними, т.е. совокупность звеньев, групп или типовых механизмов и подвижных или неподвижных соединений. Геометрическая структура механизма полностью описывается заданием геометрической формы его элементов, их расположения, указания вида связей между ними. Структура механизма может быть на разных стадиях проектирования описываться различными средствами, с разным уровнем абстрагирования: на функциональном уровне - функциональная схема, на уровне звеньев и структурных групп - структурная схема и т.п.

Исследование механизмов и машин обычно начинают со структурного анализа механизмов, который предусматривает:

– определение видового и количественного состава механизмов: подвижных звеньев, классификацию кинематических пар и кинематических цепей;

– определение числа степеней свободы (подвижности) механизма;

– составление формулы структурного строения механизма;

– определение класса и порядка всего механизма;

– определение последовательности проведения кинематического и динамического анализа механизмов.

1.1Классификация машин

Современное развитие производства неразрывно связано с созданием машин, механизмов, передач, которые облегчают труд человека и повышают его производительность. По мере развития техники содержание понятия машина многократно уточнялось и трансформировалось. Современное понятие машины по предложении. И.И.Артоболевского определяют следующим образом.

Машина – техническое устройство, выполняющее преобразование энергии, материалов и информации с целью облегчения физического и умственного труда человека, повышения его качества и производительности, путем частичной и ли полной замены человека в его трудовых или физиологических функциях.

Машина обязательно совершает полезную работу. Отличительным признаком машины является перемещение рабочих органов, то есть осуществляется механическое движение, связанное с выполнением того или иного рабочего процесса.

Существуют следующие виды машин:

1. Энергетические машины – преобразующие энергию одного вида в энергию другого вида. Эти машины бывают двух разновидностей:

Двигатели – которые преобразуют любой вид энергии в механическую (например, электродвигатели преобразуют электрическую энергию, двигатели внутреннего сгорания преобразуют энергию расширения газов при сгорании в цилиндре).

Генераторы – которые преобразуют механическую энергию в энергию другого вида (например, электрогенератор преобразует механическую энергию паровой или гидравлической турбины в электрическую).

2. Рабочие машины – использующие механическую энергию для совершения работы по перемещению и преобразованию материалов. Эти машины также имеют две разновидности:

Транспортные машины – которые используют механическую энергию для изменения положения объекта (его координат).

Технологические машины – использующие механическую энергию для преобразования формы, свойств, размеров и состояния объекта.

3. Информационные машины – машины, предназначенные для обработки и преобразования информации. Они подразделяются на:

Математические машины – преобразующие входную информацию в математическую модель исследуемого объекта.

Контрольно-управляющие машины – преобразующие входную информацию (программу) в сигналы управления рабочей или энергетической машиной.

4. Кибернетические машины – машины управляющие рабочими или энергетическими машинами, которые способны изменять программу своих действий в зависимости от состояния окружающей среды (т.е. машины обладающие элементами искусственного интеллекта).

Машинным агрегатом называется техническая система, состоящая из одной или нескольких соединенных последовательно или параллельно машин и предназначенная для выполнения каких-либо требуемых функций. Обычно в состав машинного агрегата входят: двигатель, передаточный механизм и рабочая или энергетическая машина. В настоящее время в состав машинного агрегата часто включается контрольно-управляющая или кибернетическая машина. Передаточный механизм в машинном агрегате необходим для согласования механических характеристик двигателя с механическими характеристиками рабочей или энергетической машины.

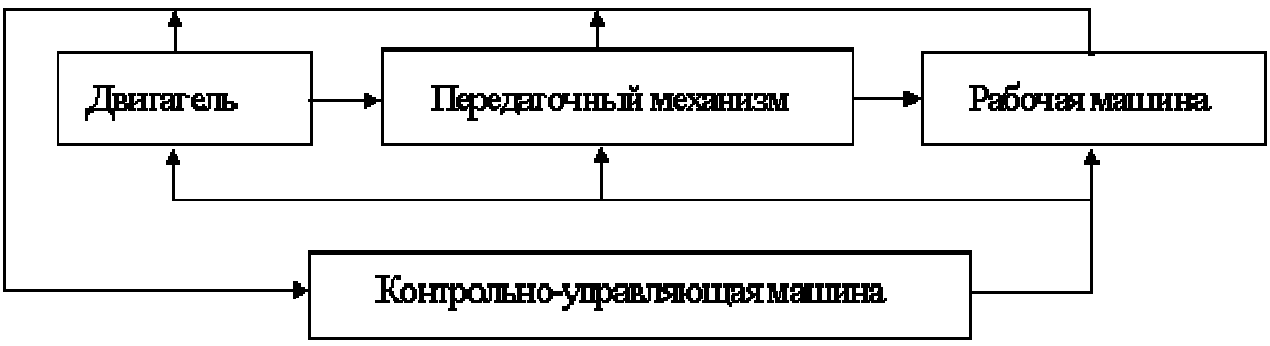


Рис.1 Схема машинного агрегата.

Наряду с машинами, в промышленном производстве участвуют разнообразные устройства, осуществляющие рабочие процессы, не связанные с механическим движением, (например, атомные реакторы, машины химических производств, механизмы медицинских аппаратов, заменяющие физиологические функции органов человека). В этих устройствах совершаются электронные процессы, протекают химические реакции или происходит перенос теплоты, а механическое движение либо отсутствует, либо имеет второстепенное значение. Такого рода устройства называются ***аппаратами.***

Применяются также ***приборы*** – устройства, которые дополняют или заменяют человека в области интеллектуальной деятельности. Таковы измерительные приборы, управляющие устройства, приборы для передачи и преобразования информации. Некоторые из них принято называть машинами, например, электронные вычислительные машины.

1.2 Классификация механизмов.

Механизмом называется система определенным образом взаимосвязанных тел, предназначенных для преобразования движения одного или нескольких твёрдых тел в требуемые движения других твёрдых тел.

Механизмы не совершают полезной работы. Они предназначены только для осуществления требуемых законов движения их звеньев. Машины и механизмы взаимно обратимы друг в друга. Так, например, включенный, но не обрабатывающий деталь токарный станок является механизмом, но как только на нем начинается обработка детали, он станет машиной.

Механизмы классифицируются по следующим признакам:

1. По области применения и функциональному назначению:

– механизмы летательных аппаратов;

– механизмы станков;

– механизмы кузнечных машин и прессов;

– механизмы двигателей внутреннего сгорания;

– механизмы промышленных роботов (манипуляторы);

– механизмы компрессоров;

– механизмы насосов и т.д.

2. По виду передаточной функции на механизмы:

– с постоянной передаточной функцией;

– с переменной передаточной функцией:

с нерегулируемой передаточной функцией (синусные, тангенсные);

с регулируемой передаточной функцией :

со ступенчатым регулированием (коробки передач);

с бесступенчатым регулированием (вариаторы).

3. По виду преобразования движения на механизмы преобразующие:

– вращательное во вращательное:

– редукторы ($\omega_{вх} > \omega_{вых}$);

– мультипликаторы ($\omega_{вх} < \omega_{вых}$);

– муфты ($\omega_{вх} = \omega_{вых}$);

– вращательное в поступательное;

– поступательное во вращательное;

– поступательное в поступательное.

4. По движению и расположению звеньев в пространстве:

– пространственные;

– плоские;

– сферические.

Все механизмы являются пространственными механизмами, часть механизмов, звенья которых совершают движение в плоскостях параллельных одной плоскости, являются одновременно и плоскими, другая часть механизмов, звенья которых движутся по сферическим поверхностям экивидистантным какой-либо одной сфере, являются одновременно и сферическими.

5. **По изменяемости структуры механизма на механизмы:**

– с неизменяемой структурой;

– с изменяемой структурой.

В процессе работы кривошипно-ползунного механизма насоса его структурная схема все время остается неизменной. В механизмах манипуляторов в

процессе работы структурная схема механизма может изменяться. Так если промышленный робот выполняет сборочные операции, например, вставляет цилиндрическую деталь в отверстие, то при транспортировке детали его манипулятор является механизмом с открытой или разомкнутой кинематической цепью. В тот момент, когда деталь вставлена в отверстие, кинематическая цепь замыкается, структура механизма изменяется, подвижность уменьшается на число связей во вновь образованной кинематической паре деталь-стойка.

6. **По числу подвижностей механизма:**

– с одной подвижностью W=1;

– с несколькими подвижностями W>1

– суммирующие (интегральные);

– разделяющие (дифференциальные).

7. По виду кинематических пар (КП):

– с низшими КП (все КП механизма низшие);

– с высшими КП (хотя бы одна КП высшая);

– шарнирные (все КП механизма вращательные - шарниры).

8. **По способу передачи и преобразования потока энергии:**

– фрикционные (сцепления);

– зацеплением;

– волновые (создание волновой деформации);

– импульсные.

9. **По форме, конструктивному исполнению и движению звеньев:**

– рычажные;

– зубчатые;

– кулачковые;

– планетарные;

– манипуляторы.

Основное назначение механизма - осуществление технологической (рабочей) операции в результате движения его элементов.

Элементами механизма являются ***звенья*** и ***кинематические пары***.

1.3 Классификация звеньев

Звеном называется одно или несколько жёстко соединённых твёрдых тел входящих в состав механизмов.

Звенья могут быть монолитными твёрдыми телами или состоять из нескольких неподвижно соединённых деталей, образующих неразъемное или разъемное соединение, не допускающее между деталями относительного движения.

Деталь – изделие, изготовленное из однородного материала одной марки, без применения сборочных операций (сваривания, склепывания, свинчивания, склеивания и т.д.), которое не может быть разделено на более мелкие части без нарушения возможности исполнения ими своих функций.

Звенья механизмов на схемах изображают упрощенно в виде линий или геометрических фигур и нумеруют арабскими цифрами.

В процессе работы механизма его звенья либо имеют определённое движение, либо неподвижны.

В механизмах можно выделить неподвижное звено, относительно которого совершают определенное движение в пространстве, и звенья подвижные (их классификация приведена в табл.1.). Неподвижно звено называется ***стойкой.*** Роль стойки, например, в токарном станке выполняет его станина, в автомобилях – шасси или кузов, в редукторах – корпус. На схемах механизмов нумерация звеньев обычно выполняется со стойки.

В зависимости от характера движения и назначения подвижные звенья механизма имеют определённые названия.

Вращающееся звено рычажного механизма, совершающее полный оборот вокруг неподвижной оси, называется ***кривошипом.***

Вращающееся звено рычажного механизма, совершающее вокруг неподвижной оси колебательное движение, называется ***коромыслом.***

Звено рычажного механизма, образующее соединение только с подвижными звеньями и совершающее плоскопараллельное движение, называется ***шатуном.***

Звено рычажного механизма, совершающее поступательное движение по неподвижной направляющей, называется ***ползуном.***

Звено рычажного механизма, поступательно перемещающееся по подвижной направляющей, называется ***камнем кулисы***, а сама направляющая - ***кулисой.*** Кулиса может совершать вращательное, колебательное, поступательное и плоскопараллельное движение.

Качающийся ползун – звено, образующее поступательную пару со штоком и вращательную пару со стойкой.

Шток - звено, входящее в поступательную пару со качающейся шайбой. Звено механизма, имеющее элемент высшей пары, выполненный в виде поверхности переменной кривизны, называется ***кулачком.***

Толкатель – звено, совершающее поступательное или колебательное движение и образующее высшую пару с кулачком.

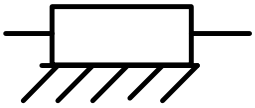
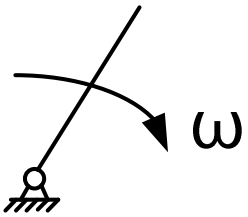
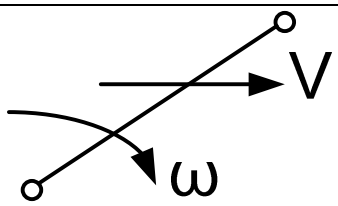
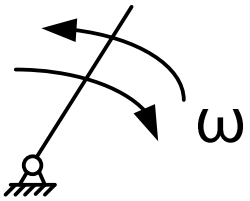
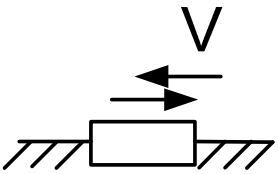
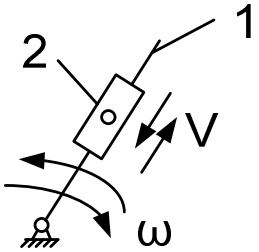
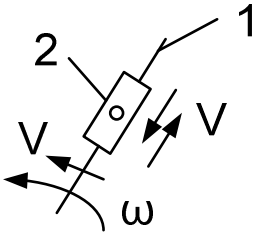
Зубчатое колесо – звено с замкнутой на нем системой выступов, обеспечивающее взаимодействие с соответствующими выступами другого звена.

Фрикционное колесо – звено, которое осуществляет передачу движения за счет сил трения между прижимаемыми к нему телами.

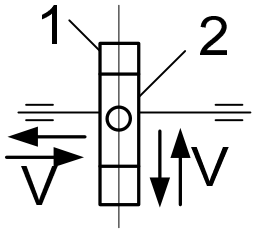
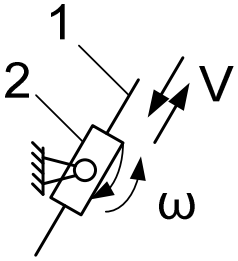
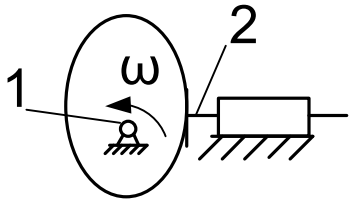
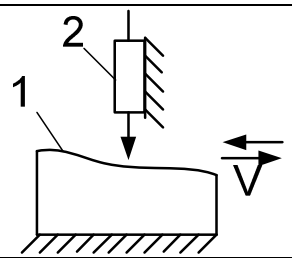
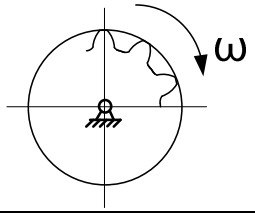
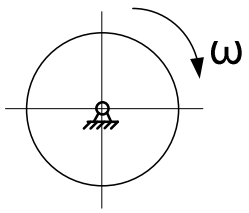
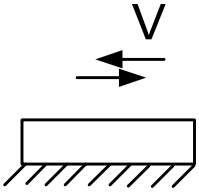
Рейка – подвижное звено, у которого два размера значительно меньше третьего. На рейке могут быть нарезаны зубья, в этом случае она называется ***зубчатой рейкой.***

В таблице 1 приведены условные изображения звеньев в соответствии с ГОСТ 2.703-68.

Таблица 1. Основные виды звеньев механизмов

№ п/п	Название	Условное обозначение	Движение	Особенности
1	Стойка		Отсутствует	-
2	Стойка		Отсутствует	-
3	Кривошип		Вращательное	Полный оборот
4	Шатун		Сложное	Нет кинематических пар, связанных со стойкой
5	Коромысло		Колебательное	Неполный оборот
6	Ползун		Возвратно-поступательное	Направляющая неподвижна
7	1 Кулиса 2 Камень		Вращательное, поступательное	Направляющая подвижна
8	1 Кулиса 2 Камень		Сложное	Направляющая подвижна

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Название	Условное обозначение	Движение	Особенности
9	1 Кулиса 2 Камень		Возвратно-поступательное	Направляющая подвижна
10	1 Шток 2 Качающийся ползун		Колебательное, вращательное и поступательное	Ползун вращается
11	1 Кулачок 2 Толкатель		Вращательное, колебательное	Профиль определяет закон движения ведомого звена
12	1 Кулачок 2 Толкатель		Возвратно-поступательное	Профиль определяет закон движения ведомого звена
13	Зубчатое колесо		Вращательное, колебательное	Зубчатый контур
14	Фрикционное колесо		Вращательное, колебательное	
15	Рейка		Возвратно-поступательное	Может иметь зубчатый контур

По характеру расположения звеньев в механизме различают:

Входные – звенья, которым сообщается движение, преобразуемое в требуемые движения других звеньев механизма.

Выходные – звенья, совершающие движения, для выполнения которых предназначен механизм, и, непосредственно воздействующие на обрабатываемый материал или среду.

Промежуточные – звенья, расположенные между входными и выходными звеньями. Количество промежуточных (соединительных) звеньев, как правило, определяется сложностью механизмов.

Начальное звено – звено, которому приписывается одна или несколько обобщенных координат механизма. За начальное звено принимается такое, с которого проще осуществить анализ механизма.

Ведущее – звено, для которого в данный момент времени сумма элементарных работ приложенный к нему внешних сил является положительной.

Ведомое – звено, для которого в данный момент времени сумма элементарных работ приложенный к нему внешних сил является отрицательной или равной нулю.

Звенья механизма совершают взаимосвязанные движения, обусловленные тем, что они соединены друг с другом определенным образом.

1.4 Классификация кинематических пар.

Соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение, называется ***кинематической парой.*** На схемах кинематические пары обозначают прописными буквами латинского алфавита.

Совокупность поверхностей, линий и отдельных точек звена, по которым оно может соприкасаться с другим звеном, образуя кинематическую пару, называется ***элементами кинематической пары.***

Кинематические пары (КП) классифицируются по следующим признакам:

1. ***По виду места контакта (места связи) поверхностей звеньев:***

– низшие, в которых контакт звеньев осуществляется по плоскости или поверхности конечных размеров (пары скольжения);

– высшие, в которых контакт звеньев осуществляется по линиям или точкам (пары, допускающие скольжение с перекатыванием).

Из числа плоских к низшим кинематическим парам относятся поступательная и вращательная. (Низшие кинематические пары позволяют передавать большие усилия, более технологичны и менее изнашиваются, чем высшие кинематические пары).

2. ***По относительному движению звеньев, образующих пару:***

– вращательные;

– поступательные;

– винтовые;

– плоские;

– пространственные;

– сферические.

3. ***По способу замыкания (обеспечения контакта звеньев пары):***

– силовое (Рис.2) (за счет действия сил веса или силы упругости пружины);

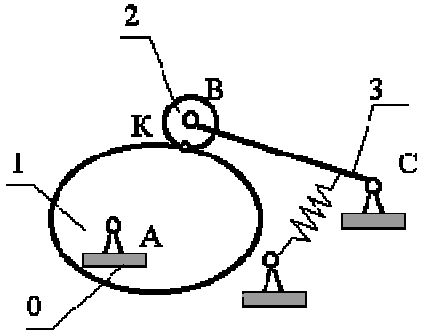


Рис.2

– геометрическое (Рис.3.) (за счет конструкции рабочих поверхностей пары).

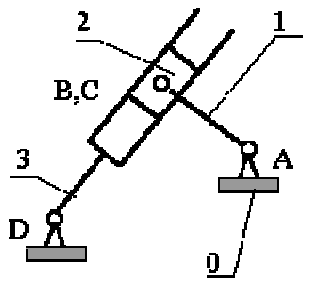


Рис. 3

На рис. 3. видно, что во вращательной и поступательной кинематических парах замыкание соединенных звеньев осуществляется геометрически. В кинематических парах «цилиндр-плоскость» и «шар-плоскость» (см. табл. 2) силовым способом, т.е. за счет собственной массы цилиндра и шара или другими конструктивными решениями (например, в сферическом шарнире шар может прижиматься к охватывающей поверхности за счет сил упругости дополнительно вводимой в конструкцию шаровой опоры автомобиля пружины). Элементы геометрически замкнутой пары не могут отделяться друг от друга из-за конструктивных особенностей.

4. ***По числу условий связи,*** накладываемых на относительное движение звеньев (***число условий связи определяет класс кинематической пары***);

В зависимости от способа соединения звеньев в кинематическую пару число условий связи может измениться от одного до пяти. Поэтому все кинематические пары можно разделить на пять классов.

5. ***По числу подвижностей*** в относительном движении звеньев (число степеней подвижности определяет род кинематической пары);

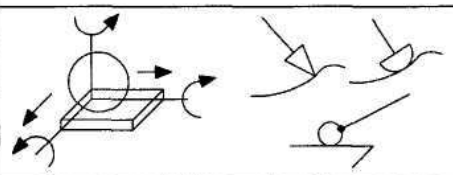
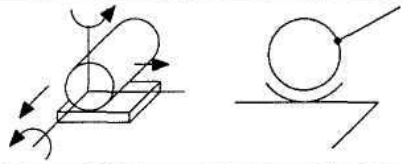
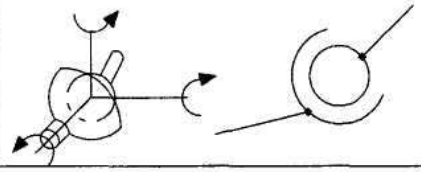
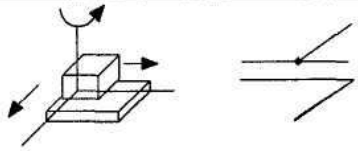
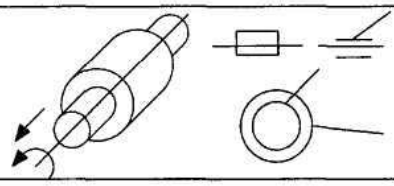
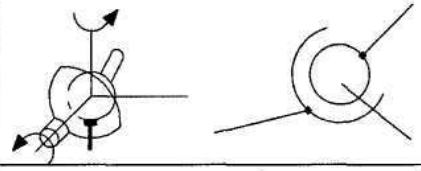
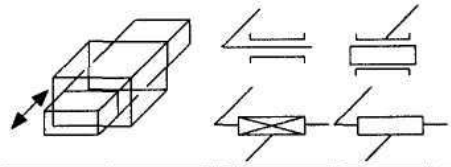
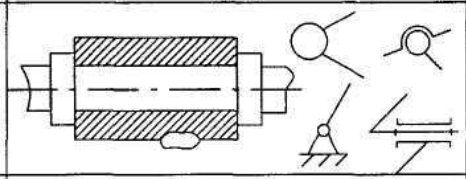
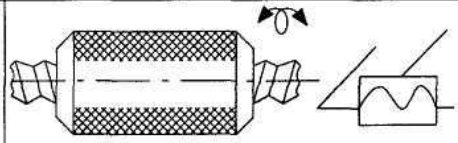
Кинематические пары обозначаются P_i , где i =1 - 5 – класс кинематической пары. (Кинематическая пара пятого класса является парой первого рода).

Классификация КП по числу подвижностей и по числу связей приведена в таблице 2.

В таблице представлены некоторые виды кинематических пар всех пяти классов. Стрелками обозначены возможные относительные движения звеньев. По виду реализуемых в кинематических парах простейших независимых движений вводят обозначения (цилиндрическая пара обозначается **ПВ**, сферическая – **ВВВ** и т.д., где **П** – *поступательное*, **В** – *вращательное движение*).

Подвижность кинематической пары – число степеней свободы в относительном движении ее звеньев. Различают одно-, двух-, трех-, четырех- и пятидвижные кинематические пары.

Таблица 2. Классификация кинематических пар

Класс пары	Число связей	ЧСС	Название пары	Вид кинематической пары		Рисунок Графические обозначения	Обозначения
I	1	5	Пятиподвижная Шар–плоскость	Высшая	Пространственная		5Т
II	2	4	Четырехподвижная Цилиндр–плоскость	Высшая	Пространственная		4ЦП
III	3	3	Трехподвижная Сферическая	Низшая	Пространственная		3С
III	3	3	Трехподвижная Плоскостная	Низшая	Плоская		3ПЛ
IV	4	2	Двухподвижная Цилиндрическая	Низшая	Пространственная		2Ц
IV	4	2	Двухподвижная Сферическая с пальцем	Низшая	Пространственная		2СП
V	5	1	Одноподвижная Поступательная	Низшая	Плоская		1П
V	5	1	Одноподвижная Вращательная	Низшая	Плоская		1В
V	5	1	Одноподвижная Винтовая	Низшая	Пространственная		1ВИ

Одноподвижной (парой V класса) называется кинематическая пара с одной степенью свободы в относительном движении её звеньев и пятью наложенными условиями связи. Одноподвижная пара может быть вращательной, поступательной или винтовой.

Вращательная пара допускает одно вращательное относительное движение её звеньев вокруг оси X. Соприкосновение элементов звеньев вращательных пар происходит по боковой поверхности круглых цилиндров. Следовательно, эти пары относятся к низшим.

Поступательной парой называется одноподвижная пара, допускающая прямолинейно-поступательное относительное движение её звеньев. Поступательные пары также являются низшими, так как соприкосновение элементов их звеньев происходит по поверхностям.

Винтовой парой называется одноподвижная пара, допускающая винтовое (с постоянным шагом) относительное движение её звеньев и принадлежащая к числу низших пар.

При образовании кинематической пары можно подобрать так форму элементов кинематических пар, что при одном независимом простейшем перемещении возникает другое производное движение, как например, в винтовой паре. Такие кинематические пары называются ***траекторными***.

Двухподвижная кинематическая пара (пара IV класса) характеризуется двумя степенями свободы в относительном движении её звеньев и четырьмя условиями связи. Такие пары могут быть либо с одним вращательным и одним поступательным относительными движениями звеньев, либо с двумя вращательными движениями.

К первому виду принадлежит так называемая ***цилиндрическая пара,*** т.е. низшая кинематическая пара, допускающая независимые вращательное и колебательное (вдоль оси вращения) относительные движения её звеньев.

Примером пары второго вида является ***сферическая пара с пальцем.*** Эта низшая геометрически замкнутая пара, допускающая относительное вращение своих звеньев вокруг осей X и У.

Трехподвижной парой называется кинематическая пара с тремя степенями свободы в относительном движении её звеньев, что свидетельствует о наличии трёх наложенных условий связи. В зависимости от характера относительного движения звеньев различают три вида пар: с тремя вращательными движениями; с двумя вращательными и одним поступательным движениями; с одним вращательным и двумя поступательными.

Основным представителем первого вида является ***сферическая пара.*** Это низшая геометрически замкнутая пара, допускающая сферическое относительное движение её звеньев.

К третьему виду принадлежит так называемая ***плоскостная пара***, т.е. низшая кинематическая пара, допускающая плоскопараллельное относительное движение её звеньев.

Четырехподвижная пара (пара II класса) - это кинематическая пара с четырьмя степенями свободы в относительном движении её звеньев, т.е. с двумя наложенными условиями связи. Все четырёхподвижные пары являются высшими. Примером может служить пара, допускающая два вращательных и два поступательных движения.

Пятиподвижной парой (пара I класса) называется кинематическая пара с пятью степенями свободы в относительном движении её звеньев, т.е. с одним наложенным условием связи. Такая пара, составленная из двух сфер, разрешает три вращательных и два поступательных движения и всегда будет высшей.

Кинематическое соединение – кинематическая пара с числом звеньев более двух.

1.5 Классификация кинематических цепей

Кинематическая цепь – система звеньев, связанных посредством кинематических пар. *Механизм* является частным случаем кинематической цепи и отличается тем, что в нем достигается ***определенность*** движения звеньев. В механизме обязательно указывается входное звено.

Кинематические цепи входят в состав любого механизма, составленного из твёрдых тел.

Различают следующие кинематические цепи (Рис.4.)

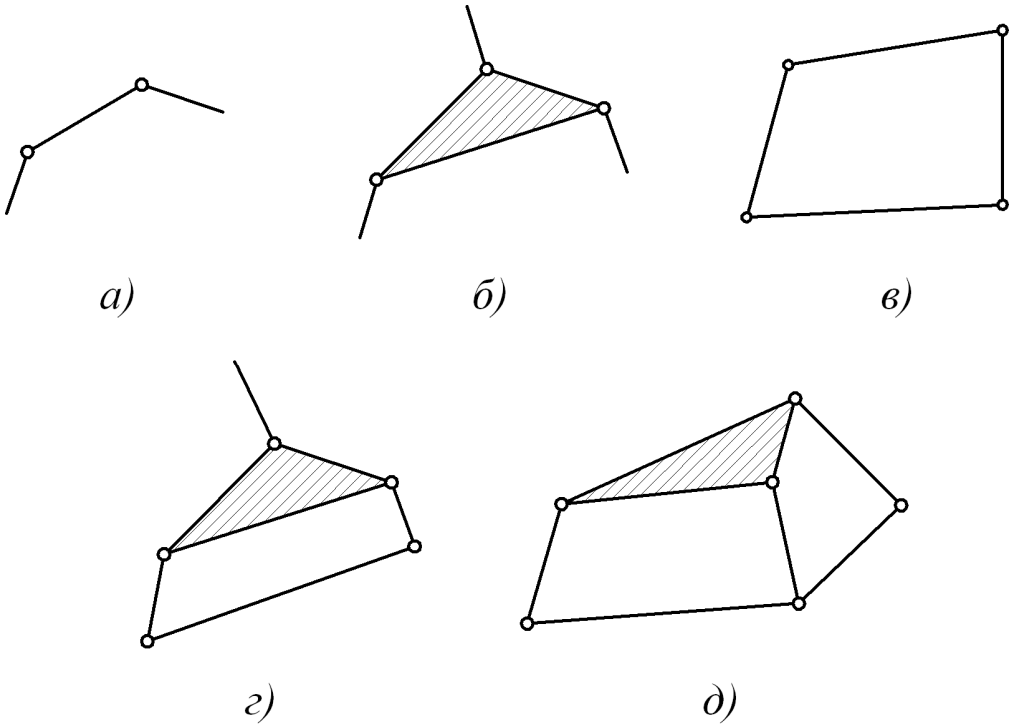


Рис 4 .

замкнутая (Рис.4в, д) – кинематическая цепь, звенья которой образуют один или несколько замкнутых контуров;

открытая (незамкнутая) (Рис.4.а, б, г) – кинематическая цепь, в которой имеются звенья, входящие в одну кинематическую пару (такие кинематические цепи применяют в механизмах роботов, манипуляторов, приборов и землеройных устройств);

простая – кинематическая цепь, в которой каждое звено входит не более чем в две кинематические пары (Рис4.а, в);

сложная – кинематическая цепь, в которой имеется хотя бы одно звено, входящее более чем в две кинематические пары (Рис.4.б, г, д);

плоская – кинематическая цепь, в которой при закреплении одного из звеньев, все другое совершат плоское движение, параллельное одной и той же неподвижной плоскости;

пространственная – кинематическая цепь, в которой точки звеньев пе-

ремещаются по плоским траекториям, лежащим в пересекающихся плоскостях.

Замкнутые, неизменяемой конфигурации контуры кинематической цепи, которые входят в одно звено, на структурных схемах заштриховываются.

Звенья, входящие только в одну кинематическую пару называются **поводками**.

Элементы кинематических пар (кинематические пары) звеньев, которыми они впоследствии присоединяются к другим кинематическим цепям или звеньям, называются ***внешними .***

Механизм, звенья которого входят только в низшие кинематические пары - вращательные, поступательные, цилиндрические или сферические – называется ***рычажным.***

Механизм, звенья которого образуют только вращательные пары, называется **шарнирным**.

Шарнирный четырёхзвенник, в состав которого входят кривошип и коромысло, называется ***кривошипно-коромысловым.***

Частными случаями этого механизма является ***двухкоромысловый*** и ***двухкривошипный*** механизмы, в состав которых соответственно входят либо два коромысла, либо два кривошипа.

Рычажный четырехзвенный механизм, в состав которого входят кривошип и ползун, называется ***кривошипно-ползунным.***

Рычажный четырехзвенный механизм, в состав которого входят коромысло и ползун, называется ***коромыслово-ползунным.***

Рычажный четырёхзвенный механизм, в состав которого входит кулиса, называется ***кулисным.***

Механизм, звенья которого образуют только поступательные пары, называется ***клиновым.***

Механизм, в состав которого входит кулачок, называется ***кулачковым.***

1.6 Структурная и кинематическая схема механизма

Для проведения структурного анализа механизма составляется его структурная схема. Схемы являются одним из видов конструкторской документации и

выполняются с помощью специальных условных графических обозначений, позволяющих показать необходимые элементы и связи между ними.

Структурная схема – графическое изображение механизма, выполненное с использованием условных обозначений рекомендованных ГОСТ или принятых в специальной литературе, содержащее информацию о числе и расположении элементов (звеньев, групп), а также о виде и классе кинематических пар, соединяющих эти элементы. В отличие от кинематической схемы механизма, структурная схема не содержит информации о размерах звеньев и вычерчивается без соблюдения масштабов. Может изображаться графически, либо буквенно-цифровой записью. Она значительно упрощает понимание исследуемого механизма.

Структурная схема механизма, выполненная в определённом масштабе с указанием размеров звеньев, необходимых для кинематического анализа механизма, называется ***кинематической схемой.***

В теории механизмов и машин принято пользоваться понятием масштабного коэффициента.

Масштабным коэффициентом называется отношение численного значения физической величины в свойственных ей единицах системы СИ к длине отрезка в мм, изображающего эту величину на чертеже. Масштабный коэффициент длины:

$$\mu_l = l_{AB} / AB \qquad (1)$$

где l_{AB} – длина кривошипа в метрах;

AB – отрезок, изображающий кривошип на чертеже, в миллиметрах.

1.7 Степень подвижности механизмов

Составив кинематическую схему механизма и определив число подвижных звеньев, число и типы кинематических пар, необходимо определить степень подвижности механизма.

Подвижность кинематической цепи – это определенность движения звеньев по отношению к одному из них – неподвижному звену, именуемому

стойкой. Определенность движения звеньев предполагает строгую повторяемость их траекторий движения и является обязательным свойством кинематической цепи любого реального устройства, так как в противном случае управление устройством невозможно.

За обобщенную координату в плоских механизмах, как правило, принимают угол поворота входного звена ***φ*** и следовательно, если задавать ее изменение во времени, то можно получить вполне определенное движение звеньев такой кинематической цепи, называемой ***механизмом***. Таким образом, количество входных звеньев определяется степенью подвижности механизма.

Понятие о степенях подвижности относится не к реальным механизмам, а к их идеализированным моделям. Идеализация состоит в том, что звенья механизма, являющиеся твёрдыми телами, считают абсолютно твёрдыми, жидкие звенья – несжимаемыми, гибкие – нерастяжимыми. Соединения звеньев (кинематические пары) также принимают идеальными (отсутствие зазоров в шарнирах, качение без скольжения во фрикционных передачах и т.п.). Для такого идеального механизма понятие «степень подвижности» равносильно принятому в теоретической механике понятию ***«число степеней свободы».*** (Числом степеней свободы является число независимых параметров, однозначно определяющих положение всех звеньев механизма в пространстве либо на плоскости).

Степень подвижности плоских механизмов определяется по формуле П.Л. Чебышева:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 \qquad (2)$$

где: W – степень подвижности механизма;

n – число подвижных звеньев механизма;

P_5 – число кинематических пар пятого класса;

P_4 – число кинематических пар четвёртого класса.

В кривошипно-ползунном механизме (Рис. 5) три подвижных звена: кривошип – 2, шатун – 3, ползун – 4 и три кинематические пары пятого класса: вращательные – О(1-2), А(2-3), В(3-4), и поступательная пара $В^*$(4-1)

т.е.n=3;P_5=4;P_4=0.

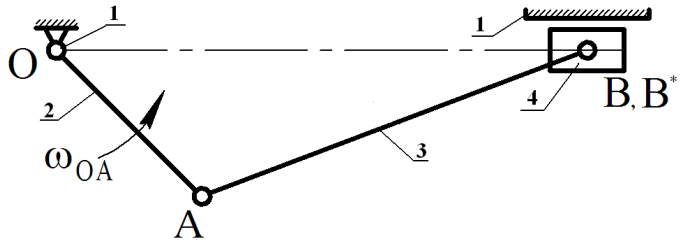


Рис.5 Схема кривошипно-ползунного механизма.

По формуле (1) получаем: W=l. В данном механизме одно входное звено.

1.8 Структурная классификация механизмов

Структурной классификацией механизмов называется разделение их на группы и классы по общности структуры.

Впервые научно обоснованная, рациональная классификация плоских механизмов была предложена в 1914 году русским учёным Л.В. Ассуром. Дальнейшее развитие структурная классификация плоских механизмов получила в работах И.И. Артоболевского.

Классификация механизмов по Ассуру-Артоболевскому позволяет для механизмов, отнесённых к одному и тому же классу, применять методику кинематического и силового анализа, разработанную специально для этого класса механизмов.

Согласно этой классификации, механизм может быть образован путём присоединения к начальному звену (или начальным звеньям) и стойке некоторых кинематических цепей.

Каждое начальное звено, входящее в кинематическую пару со стойкой (вращательную или поступательную) условно называют ***начальным механизмом.*** Начальный механизм принято считать ***механизмом первого класса и первого порядка.***

Примерами начальных механизмов являются механизмы электродвигателей и генераторов, центробежных насосов, вентиляторов молотов, гидро – и пневмоцилиндров.

Кинематические цепи, обладающие нулевой подвижностью относительно внешних кинематических пар и не распадающиеся на более простые

цепи, удовлетворяющие этому условию, называются ***структурными группами Ассура.***

Структурные группы Ассура не влияют на подвижность механизма, они изменяют его структуру и законы движения звеньев.

В группы Ассура входят только низшие кинематические пары, поэтому степень подвижности группы определится по формуле:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 = 0. \qquad (3)$$

Отсюда следует, что зависимость числа кинематических пар P_5 от числа звеньев n имеет вид:

$$n = \frac{2}{3} \cdot p_5. \qquad (4)$$

Чтобы из механизма выделить структурные группы, необходимо помнить их основные признаки, вытекающие из определения:

а) число звеньев в группе Ассура должно быть чётным, а число кинематических пар кратно трём, (Табл.3)

Таблица 3. Соотношение числа звеньев и числа кинематических пар в группах Ассура

n	2	4	6	…
p_5	3	6	9	...

б) степень подвижности группы всегда равна нулю;

в) степень подвижности оставшейся части механизма при отсоединении групп Ассура не должна изменяться.

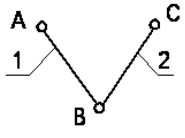
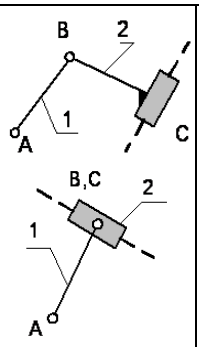
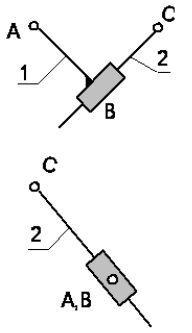
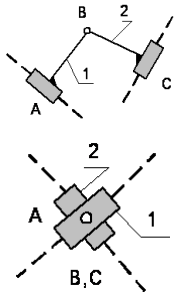
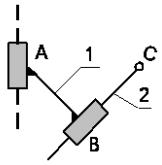
Группы Ассура подразделяются на классы, порядки и виды.

Простейшая структурная группа Ассура, состоящая из двух звеньев и трёх кинематических пар называется ***группой II класса второго порядка, двухповодковой группой или диадой.*** Поводком называется звено, входящее в группе в

две кинематические пары, одна из которых свободная и служит для присоединения к одному из подвижных звеньев механизма или к стойке.

Порядок структурных групп определяется числом поводков. Все группы II класса 2 порядка делятся на ***пять видов (модификаций)*** в зависимости от сочетания и взаимного расположения вращательных и поступательных кинематических пар в группах. Примеры группы II класса 2 порядка всех модификаций приведены в таблице 4.

Таблица 4. Классификация двухповодковых групп Ассура

Класс	Схемы структурных групп Ассура					Порядок
	Виды (модификации) групп Ассура					
II		 при AB=0	 при AB=0	 при AB=BC=0		2
	1 ВВВ	2 ВВП	3 ВПВ	4 ПВП	5 ВПП	

Более сложные группы Ассура получают методом развития поводка, который заключается в том, что один из поводков, например BC, заменяется базисным звеном (BCD) рис.6, а затем к свободным шарнирам C и D присоединяются два поводка. Такая группа называется ***трёхповодковой или группой III класса 3 порядка.***

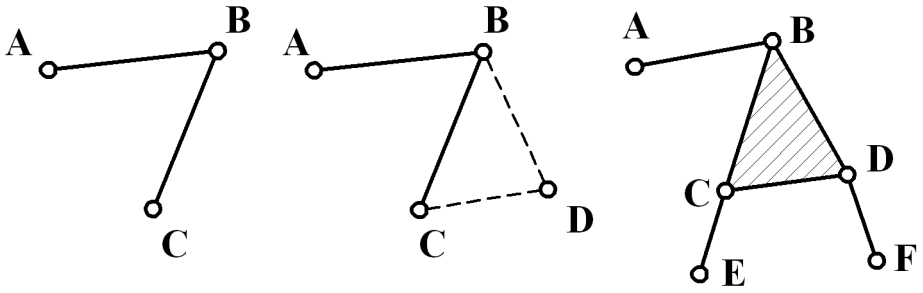
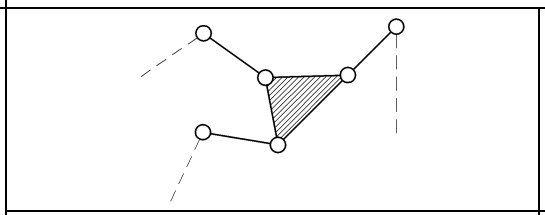
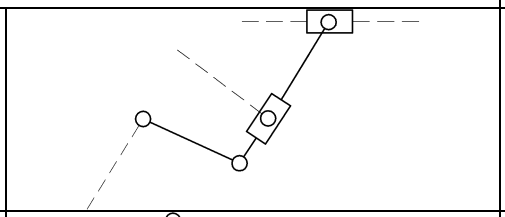
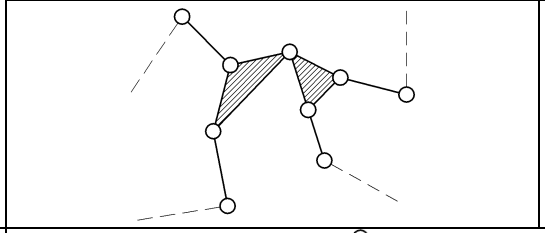
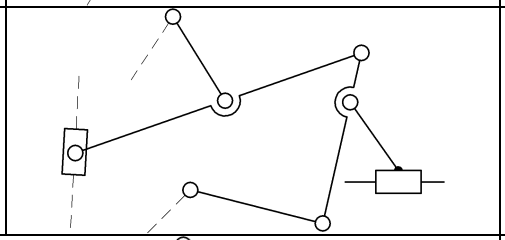
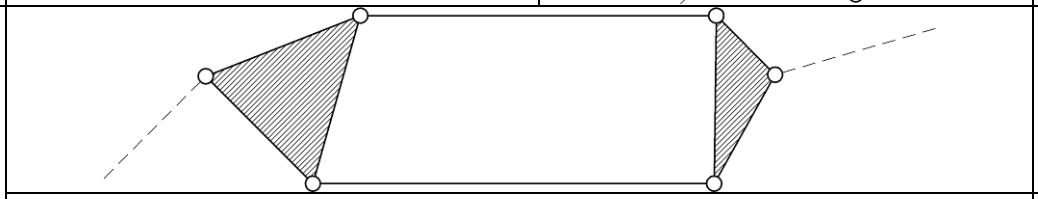
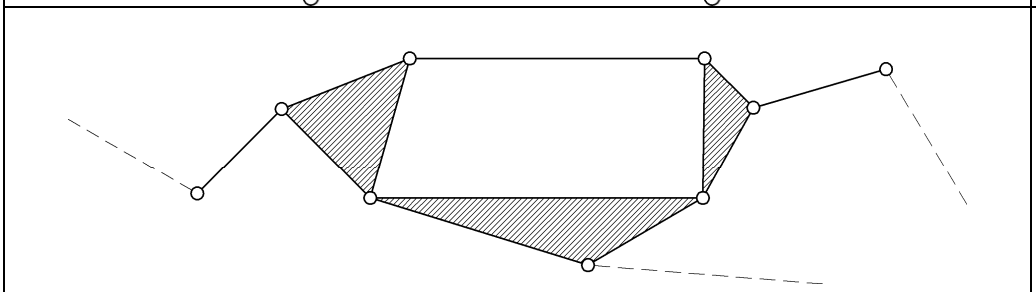
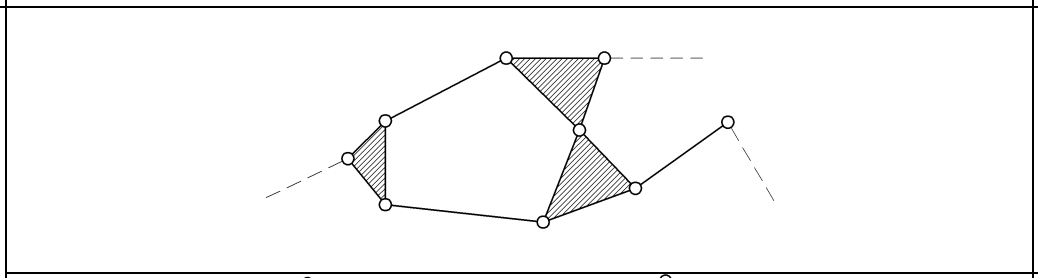
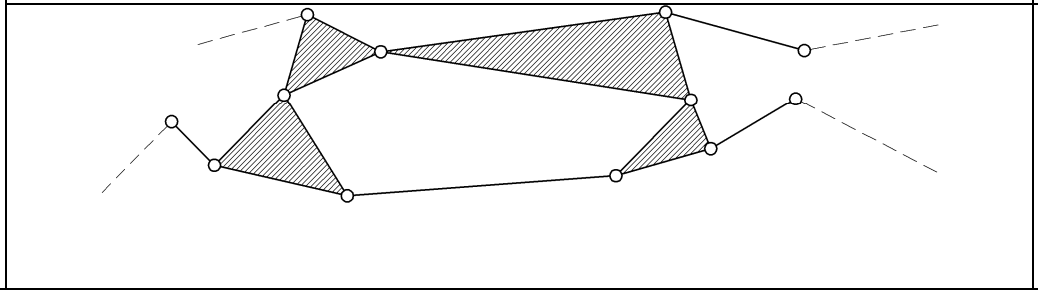


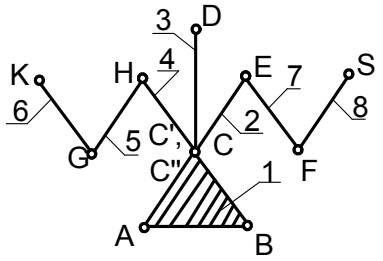
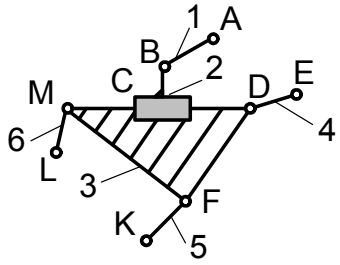
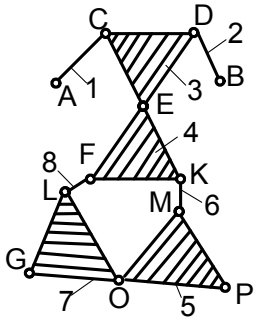
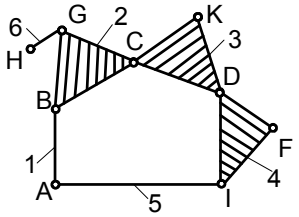
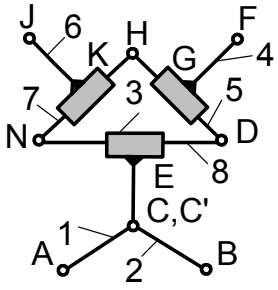
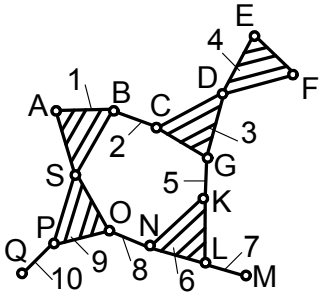
Рис. 6

По классификации И.И. Артоболевского класс группы Ассура выше второго определяется числом кинематических пар, образующих наиболее сложный замкнутый контур (таблица 5).

Таблица 5. Классификация сложных групп Ассура

Класс	Схемы структурных групп Ассура	Порядок
III	 	3
	 	4
IV		2
		3
V		3
		4

Продолжение таблицы 5

Класс	Схемы структурных групп Ассура	По-рядок
III		5
IV		4
V		4
V		3
VI		4
VII		5

Класс механизма определяется наивысшим классом группы Ассура, которая входит в его состав.

Произвести структурный анализ - это значит установить, из каких начальных механизмов и групп Ассура состоит данный механизм, в какой последовательности эти группы звеньев присоединены друг к другу, определить класс и порядок механизма. Результаты структурного анализа механизма зависят в общем случае от того, какое из звеньев исследуемого механизма принято в качестве входного.

1.9 Избыточные (пассивные) связи и местные подвижности

В механизме могут иметь место избыточные (пассивные) связи и пассивные (локальные, местные) подвижности, не влияющие на движение механизма в целом и на закон движения входного звена.

Избыточные связи в механизме – повторяющиеся (или зависимые) связи, удаление которых не изменяет заданного числа степеней свободы механизма. Отклонения в расположении связей компенсируются деформациями звеньев, износом контактирующих поверхностей зазорами между элементами кинематических пар, повышенной точностью изготовления и сборки звеньев, кромочным контактом элементов пар. Структурная схема механизма без избыточных связей называется ***основной схемой.***

Пассивные связи могут быть полезными и вредными.

Полезные пассивные связи вводятся конструктором в схему механизма искусственно для улучшения конструкции механизма (повышения нагрузочной способности и надежности). На рис. 7 изображена схема механизма параллельных кривошипов (применяется в качестве привода ведущих колес тепловозов).

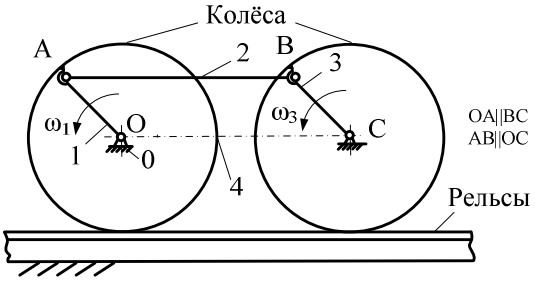


Рис.7

Недостаток схемы:

а) в крайнем положении механизма, возможно положение, при котором кривошипы 1, 3 и шатун 2 будут находиться на одной прямой, совпадающей с ОС. При дальнейшем движении кривошипа 1 возможен переход механизма параллелограмма в механизм антипараллелограмма. Неоднозначность движения звена 3 сопровождается резким ухудшением передачи сил в механизме. На практике указанные недостатки устраняют, вводя в схему механизма дополнительное «лишнее» звено 5 (рис. 8), или звено 4(рис.9), т.е. вводя связи, налагаемые или пассивные.

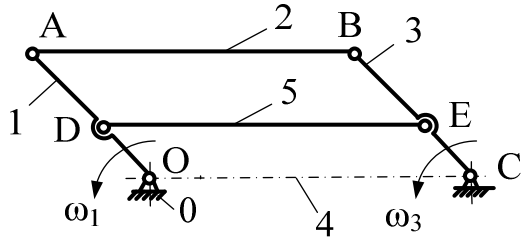


Рис. 8 Механизм параллелограмма с дополнительным звеном

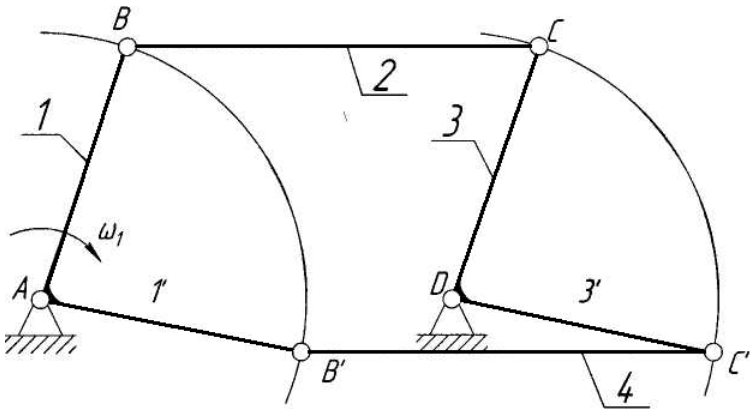


Рис.9 Механизм параллелограмма с дополнительным звеном

б) Тепловоз – энергоемкая машина, поэтому нагрузки, приходящиеся на шатун, соединяющий и обеспечивающий одинаковое вращение ведущим колесам ($\omega_1 = \omega_3$) тепловоза, достаточно велики. В результате не исключена деформация или утрата прочности шатуна из-за его перегрузок (т.к. размеры и сечение кривошипов ограничены габаритами колес подвижных составов). Подвижность механизма с пассивными связями:

$$W=3n-2p_5-p_4=3\cdot 4-2\cdot 6-0=0 \quad (5)$$

Если судить по результатам расчета, то внедрение в схему (Рис.8) механизма дополнительного звена 5 лишило механизм подвижности, обратив его в ферму. В действительности же введение в схему звена 5 при выполнении условия, что $DE \| AB$, не изменяет как подвижности механизма (она остается прежней, т.е. W=1), так и сохраняет назначение механизма ($\omega_1 = \omega_3$).

Отсюда следует вывод: ***при определении подвижности механизма по структурной формуле пассивные связи не должны учитываться – они должны быть выявлены и мысленно отброшены***.

«Лишние» звенья используются достаточно часто в механизмах для повышения их жёсткости и улучшения условий передачи сил. Повышение жёсткости и несущей способности звеньев достигается путём введения дополнительных кинематических пар (Рис.10).

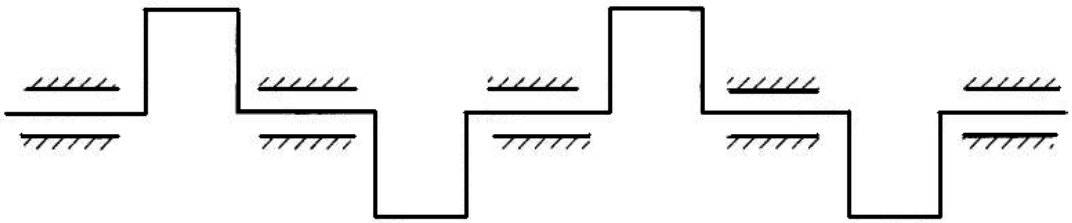


Рис. 10 Схема многоопорного коленчатого вала двигателя

При проектировании механизмов износ рабочих поверхностей деталей уменьшают за счёт установки звеньев, имеющих местную подвижность. Роль промежуточных звеньев выполняют детали, движение которых не влияет на кинематику механизма в целом. Наиболее распространёнными промежуточными деталями являются шарики подшипников винтовых передач, ролики подшипников зубчато-роликовых передач и кулачковых механизмов. Так установка ролика 3 в кулачковых механизмах (Рис.11.) не изменяет первоначально принятого закона движения толкателя 2. Степень подвижности механизма по формуле Чебышева:

$$W = 3\cdot n - 2\cdot p_5 - p_4 = 3\cdot 3 - 2\cdot 3 - 1 = 2 \quad (6)$$

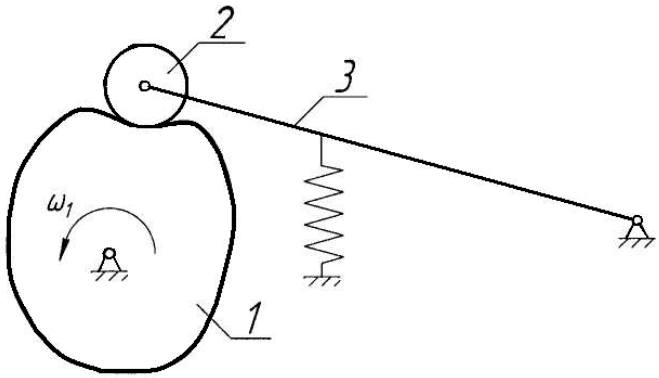


Рис. 11 Схема кулачкового механизма с роликовым толкателем

Дополнительная, местная подвижность, получаемая при вращении ролика вокруг своей оси, существенно снижает трение в механизме, но огранка ролика при износе или погрешностях изготовления механизма может существенно исказить ранее принятый закон движения. В кулачковом механизме с плоским толкателем трение в высшей паре уменьшается при использовании сферического толкателя и скошенного профиля кулачка (Рис.12.). При вращении кулачка – 1, толкателю – 2 сообщается не только основное движение вдоль его оси и дополнительное вращение, вследствие чего износ профилей уменьшается.

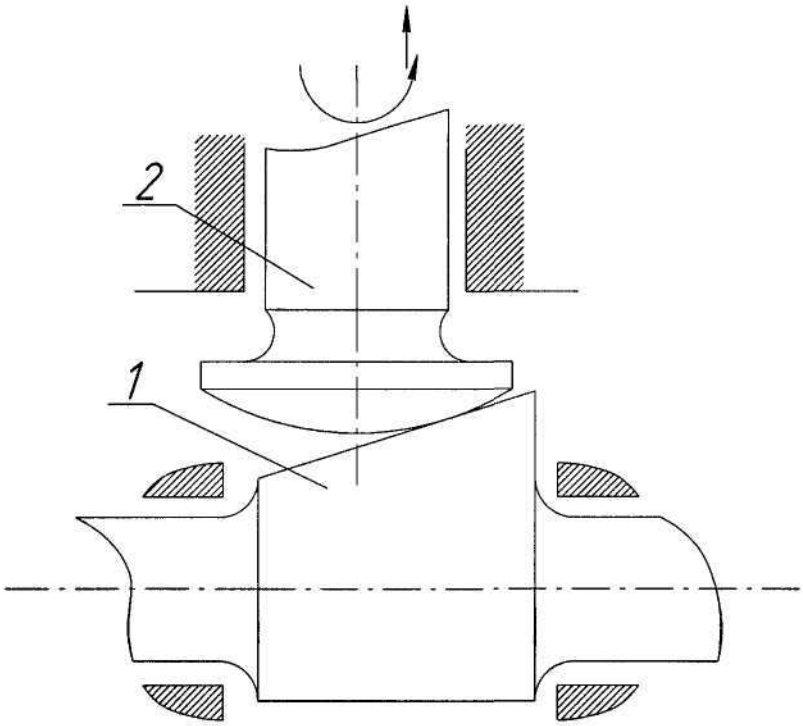


Рис 12 Схема кулачкового механизма со сферическим толкателем и скошенным кулачком

1.10Замена высших кинематических пар низшими

В структурной классификации, а также при решении некоторых задач кинематического анализа механизмов с высшими парами пользуются условной заменой высших пар низшими. Каждую высшую пару условно заменяют одним добавочным звеном, входящим в две низшие пары. При этом должны выполняться два условия структурной эквивалентности:

– заменяющий механизм должен обладать той же степенью подвижности, что заменяемый;

– заменяющий механизм с низшими парами должен иметь такие же мгновенные относительные движения, как и механизм до замены высших пар.

Сформулируем общие правила замены высших кинематических пар низшими:

1.Если высшие пары представляют собой соприкасающиеся окружности, то для выполнения этих условий, через точку касания звеньев 1 и 2 проводится нормаль n-n к профилям, образующим высшую пару (Рис.13.а). На этой нормали в центрах кривизны помещают шарниры, которые соединяются условным звеном 3. Размер фиктивного звена должен быть равен сумме радиусов кривизны профилей, образующих высшую пару.

2. Если высшие пары представляют собой окружность или любую произвольную кривую, с одной стороны, и точечный контакт, с другой стороны, то для точечного контакта радиус кривизны равен нулю (вращательная пара совпадает с точкой контакта), то кинематические пары замены находятся в точке контакта и в центре кривизны (Рис.13.в).

3. Если один из профилей – прямая линия, то его центр будет бесконечно удалён, т.е. в цепи замены движение должно осуществляться по прямой, а не по окружности и вращательная пара с фиктивным звеном заменяется поступательной. Затем условное звено соединяют вновь введёнными низшими парами с теми звеньями, которые входили в высшую пару (Рис.13.б).

На Рис.13. показаны механизмы с высшими парами, а на Рис.14. заменяющие их рычажные механизмы.

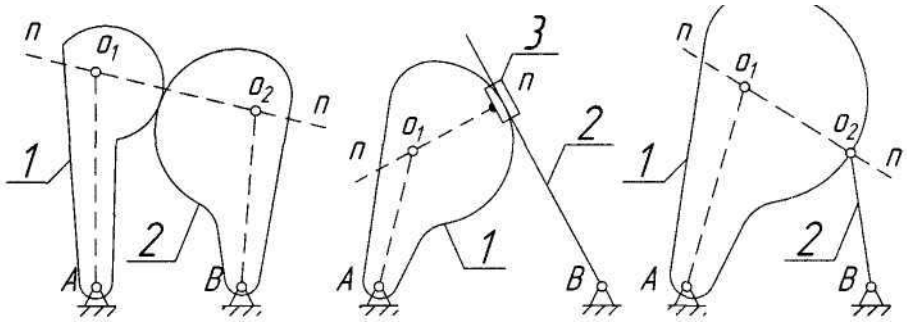


Рис. 13 Механизмы с высшими парами

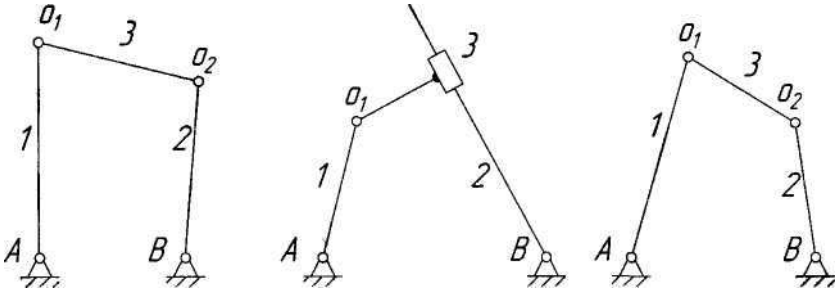


Рис. 14 Заменяющие механизмы

1.11 Алгоритм структурного анализа механизмов по Асуру-Артоболевскому.

1. Вычерчиваем структурную схему исследуемого механизма. Обозначаем, начиная с начального звена, арабскими цифрами все звенья механизма, а прописными буквами латинского алфавита все кинематические пары.

2. Подсчитываем и классифицируем подвижные звенья механизма в соответствии с таблицей 1.

3. Подсчитываем и классифицируем кинематические пары: определяем звенья ее образующие, их название, подвижность, вращательная или поступательная, вид реализуемого в паре замыкания, вид контакта элементов кинематических пар (высшие-низшие). В сложных соединениях применяем формулу:

$$k = n - 1, \qquad (7)$$

согласно которой, обозначению и выделению подлежит число кинематических

пар k, на единицу меньше, чем число звеньев n, сходящихся в рассматриваемом соединении. Например, в четырехзвенном кривошипно-ползунном механизме (Рис.5) точка В представляет собой сложное соединение, в ней сходятся звенья 3 - шатун, 4- ползун , и 1 – стойка. Следовательно, в точке В две кинематические пары: В (3-4), НКПВ, Vкл., и B^* (1-4), НКПП, Vкл. Составляем таблицу кинематических пар.

4. Определив общее число подвижных звеньев кинематической цепи (n) и число кинематических пар (p_5)в зависимости от типа кинематической цепи (плоская или пространственная), рассчитываем степень подвижности (W) по формуле Чебышева.

5. Если степень подвижности кинематической цепи не совпадает с числом входных звеньев, то необходимо выявить звенья, создающие пассивные связи или местные подвижности и исключить их из исследуемого механизма. При наличии в механизме высших кинематических пар, необходимо произвести условную замену каждой высшей кинематической пары одним звеном с двумя низшими кинематическими парами и начертить схему мгновенного заменяющего механизма, при котором наиболее хорошо видны все его звенья.

6. На схеме нанесением круговой или линейной стрелок назначаем входное звено (входные звенья), таким образом, кинематическая цепь становится механизмом.

7. Отделяем в зависимости от результатов расчета по п.4 начальный (при $W = 1$) или начальные (при $W > 2$) механизмы I класса , 1-го порядка.

8. Выделяем присоединенные к начальному механизму группы Ассура и определяем их класс и порядок. При выделении структурных групп необходимо:

- определить кинематическую цепь (структурную группу Ассура), которая присоединяется последней в порядке наслоения;

- выделить следующую в порядке наслоения структурную группу Ассура и так до тех пор, пока не останется начальный механизм первого класса и первого порядка.

9. При проведении структурного анализа следует помнить следующее:

- одно и то же звено или одна и та же пара не может принадлежать различным кинематическим цепям;

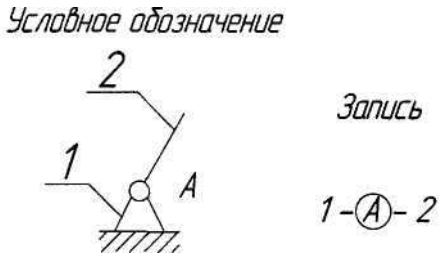
- отсоединённая часть механизма должна удовлетворять условию W = 0.

- оставшаяся кинематическая цепь должна обладать той же степень подвижности, что и исходный механизм;

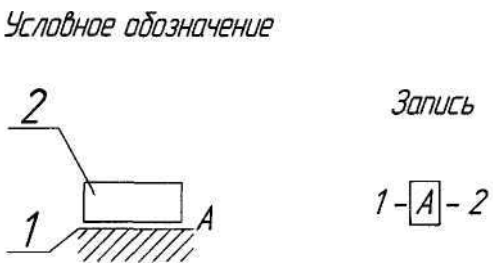
- структурный анализ следует проводить от всех возможных входных звеньев, так как в зависимости от выбора входного звена может измениться класс и порядок механизма в целом;

- необходимо следить за тем, чтобы ошибочно не принять несколько простых групп за одну группу более высокого класса (или порядка), потому надо в первую очередь выделять простейшие группы Ассура II класса 2-го порядка.

10. При структурном анализе следует делать записи, в которых вращательная кинематическая пара пятого класса обозначается буквой, обведённой в кружок, а поступательная - в квадрат:



Что означает: звено 1 соединяется со звеном 2 вращательной кинематической парой пятого класса.



Что означает: звено 1 соединяется со звеном 2 поступательной кинематической парой пятого класса.

11.Составляем формулу структурного строения механизма, показываю-

щую порядок присоединения групп Ассура к начальному механизму и в символьном виде обозначает логику передачи движения в механизме от входного звена через промежуточные звенья к выходному.

12. Классифицируем исследуемый механизм в целом, записывая формулу структурного строения класс механизма.

В приложении 2 приведены схемы шестизвенных и многозвенных рычажных механизмов и механизмов с высшими кинематическими парами, которые кафедра рекомендует для выполнения расчетно-графических работ и самостоятельной работы студентов.

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

2.1 Лабораторная работа № 1

Тема: Основные виды механизмов.

Цель работы:

- ознакомиться с классификацией машин;

- ознакомиться с классификацией механизмов по методам расчета;

- ознакомиться с классификацией механизмов по конструктивным и функциональным признакам по имеющимся моделям рычажных, кулачковых, зубчатых, винтовых механизмов и механизмам прерывистого движения.

Содержание отчета.

Отчет о работе должен содержать краткие теоретические сведения о рассматриваемых механизмах.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение машинного агрегата.

2. Как классифицируются машины по выполняемым рабочим процессам?

3. Как классифицируются механизмы по методам расчета?

4. Как классифицируются механизмы по конструктивным и функциональным признакам?

5. Дайте определение рычажного механизма. Приведите схемы рычажных механизмов.

6. Какой механизм называется:

- кривошипно–коромысловым;
- двухкривошипным;
- двухкоромысловым;
- шарнирным четырехзвенником;
- кривошипно-ползунным;

- кулисным;

- механизмом качающегося ползуна;

- синусным механизм;

- тангенсным механизм.

7. Какие механизмы называются кулачковыми? Особенности кулачковых механизмов и их назначение.

Приведите схемы плоских кулачковых механизмов:

- с различными способами замыкания высшей кинематической пары;

- с различными видами законов движения кулачка;

- с различными видами законов движения толкателя.

8. Какой механизм называется зубчатым? Особенности зубчатых передач и их назначение:

- цилиндрической;

- конической;

- винтовой;

- червячной;

- зубчато-рычажных механизмов.

Приведите их схемы.

9. Какие механизмы называются механизмами прерывистого движения. Особенности механизмов прерывистого движения и их назначение.

2.2 Лабораторная работа № 2.

Тема: Составление структурных и кинематических схем механизмов. Структурный анализ механизмов.

Цель работы:

- ознакомление с принципом действия и строением наиболее распространенных механизмов (по имеющимся моделям);

- изучение применяемых для обозначения на кинематических схемах условных изображений звеньев и кинематических пар;

- составление структурных схем механизмов;

- составление кинематических схем механизмов по размерам, снятым с моделей плоских механизмов;

- определение степени подвижности механизма;

- определение входных звеньев;

- выявление пассивных связей и местных подвижностей;

- определение класса и порядка каждой группы Ассура, входящей в состав механизма;

- определение класса и порядка механизма в целом;

- составление формулы структурного строения механизма.

Порядок проведения работы:

1. Ознакомиться с механизмом, установить его назначение и название.

2. Приведя в движение входное звено, проследить характер движения промежуточных и выходного звеньев.

3. Определить какие кинематические пары образуют звенья механизма друг с другом (плоские или пространственные, высшие или низшие, вращательные или поступательные, определить класс пары).

4. Составить структурную схему механизмов. Для этого:

а) вычертить одно из положений входного звена, при котором достаточно хорошо видны все остальные звенья;

б) Построить положение остальных звеньев механизма;

в) Пронумеровать звенья арабскими цифрами в порядке их присоединения к входному звену механизма;

г) обозначить кинематические пары большими буквами латинского алфавита.

5. Измерить необходимые параметры звеньев: расстояния между центрами шарниров, постоянные углы между плечами звеньев. Составить таблицу звеньев (в нее включить длину звена в метрах, название звена).

6. Выбрать масштабный коэффициент длины (μ_ℓ) для построения кинематической схемы.

7. Перевести размеры звеньев в миллиметры чертежа.

8. Построить кинематическую схему механизма. Для этого:

а) провести разметку всех неподвижных центров шарниров, соединяющих стойку с подвижными звеньями, и нанести положение неподвижных направляющих поступательных кинематических пар механизма;

б) повторить подпункты а - г пункта 4.

9. Направление движения входного звена показать стрелкой.

10. Выполнить структурный анализ механизма в соответствии с пунктом 1.11.

Пример оформления отчета представлен в приложении 1.

Контрольные вопросы:

1) Что называется механизмом?

2) Что называется звеном механизма?

3) Что называется входным, выходным, промежуточными звеньями?

4) Как классифицируются звенья по виду движения?

5) Что называется кинематической парой?

6) Как классифицируются кинематические пары по числу условий связи и по числу степеней свободы?

7) Какие кинематические пары относятся:

а) к высшим;

б) к низшим;

в) к плоским;

г) к пространственным?

8) Что называется кинематической цепью?

9) Чем отличается механизм от кинематической цепи?

10) Какие виды кинематических цепей существуют?

11) Какой механизм называется шарнирным?

12) Как классифицируются рычажные механизмы в зависимости от звеньев, входящих в их состав?

13) Дать определение структурной и кинематической схемы механизма.

14) Что такое масштабный коэффициент?

15) Как связаны между собой детали, образующие подвижное звено?

16) Как связаны между собой детали, образующие неподвижное звено?

17) Укажите, какие из перечисленных кинематических пар высшие, а какие – низшие:

а) подшипник скольжения и вал, вращающийся в нем;

б)каретка, перемещающаяся в направляющих и соприкасающаяся с ними по поверхности;

в) контакт зубьев двух зубчатых колес;

г) винт и неподвижная опора, в которой он вращается.

18) Детали каких пар подвергаются большему износу и почему?

19) Начертите условные изображения следующих элементов кинематических схем:

а) соединение двух подвижных звеньев, составляющих вращательную пару;

б) соединение подвижного и неподвижного звеньев, составляющих вращательную пару;

в) соединение неподвижного звена и подвижного, перемещающегося поступательно;

г) подшипник: радиальный и упорный:

д) передачи зубчатые - цилиндрическую, коническую и червячную.

20) Какие виды кинематических цепей вы знаете?

21) Что определяет степень подвижности?

22) По какой формуле определяется степень подвижности механизма?

23) Сколько степеней свободы имеет свободное звено в плоскости?

24) Сколько степеней свободы отнимает от механизма низшая пара и сколько высшая?

25) Влияют ли размеры звеньев на принцип действия механизмов?

26) Учитывают ли конструктивную форму звеньев при вычерчивании кинематических схем механизмов?

27) Какой размер звена вычерчивается на схеме: полная длина звена или расстояние между центрами кинематических пар?

28) Определите истинную длину звена, если отрезок, изображающий это звено на кинематической схеме ℓ=200 мм, а масштабный коэффициент длины μ_ℓ=0,005 м/мм.

29) Какими кинематическими парами (низшими или высшими) сочленены звенья кривошипно-ползунного механизма?

30) Какие задачи решаются в ходе структурного анализа механизмов? В чем сущность структурной классификации плоских механизмов?

31) Что называется группой Ассура? Как определяются класс, порядок, и вид группы Ассура? Приведите примеры групп Ассура.

32) Объясните физический смысл числовых коэффициентов в структурной формуле общего вида.

33) Как определяется класс механизма?

34) Что собой представляют пассивные связи, какое влияние они оказывают на механизм?

35) Объясните назначение местных подвижностей.

36) Каким образом структурную классификацию плоских механизмов можно распространить на механизмы с высшими кинематическими парами?

3 Библиографический список

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1988.

2. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин.: Учебное пособие для втузов / С.А.Попов, Г.А.Тимофеев; под ред. К.В.Фролова. / – 5-е изд., перераб. и доп. – М.; Высш. школа, 2004.

3. Марченко С.И., Марченко Е.П., Логинова Н.В. Теория механизмов и машин. /серия «Сдаем экзамен»– Ростов на Дону: Феникс, 2003.

4. Смелягин А.И. Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – ИНФРА – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. (Серия высшее образование).

5. С.П.Волков Техническая механика. Курсовое проектирование. Часть первая: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во АмГУ,2008.

6. Луганцева Т.А., Сергиенко Г.И. Структурный анализ механизмов. Методические указания. Благовещенск: Изд-во АмГУ,1991.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

«Структурный анализ механизмов»

Структурная схема механизма

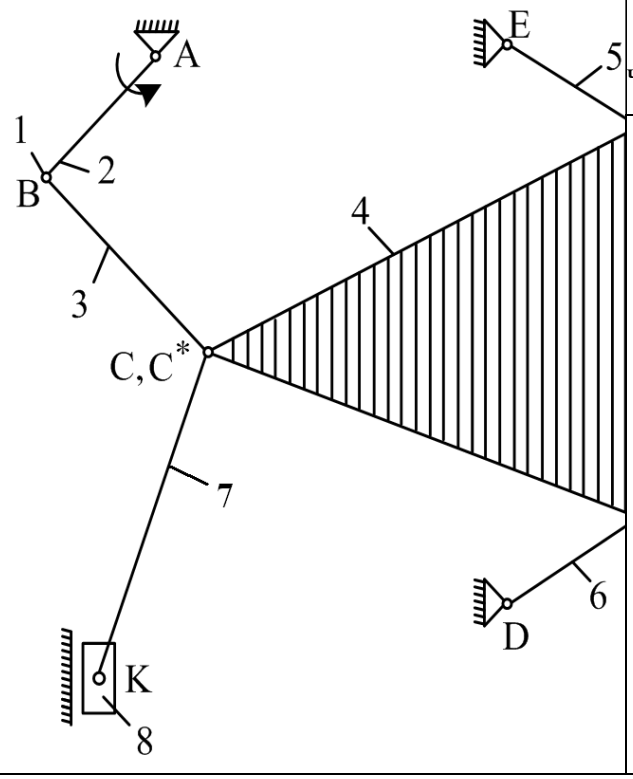


Таблица кинематических пар

Обозначение КП	Звенья, ее составляющие	Тип КП	Класс КП
A	(I-2)	НКПВ	P_5
B	(2-3)	НКПВ	P_5
C	(3-7)	НКПВ	P_5
C*	(4-7)	НКПВ	P_5
F	(4-5)	НКПВ	P_5
E	(5-1)	НКПВ	P_5
G	(4-6)	НКПВ	P_5
D	(6-1)	НКПВ	P_5
K	(7-8)	НКПВ	P_5
K*	(8-1)	НКПП	P_5

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ:

Число подвижных звеньев: n=7

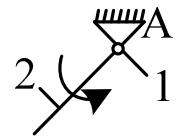
Число кинетических пар пятого класса: $P_5 = 10$

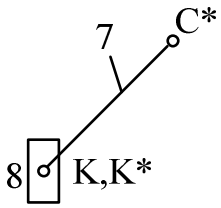
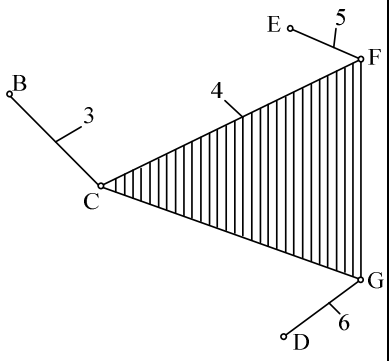
Число кинематических пар четвертого класса: $P_4 = 0$

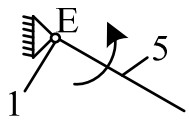
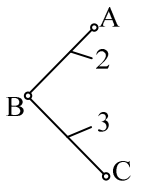
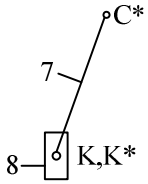
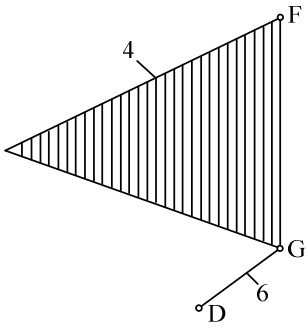
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ МЕХАНИЗМА ПО ФОРМУЛЕ ЧЕБЫШЕВА

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot P_5 - P_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1$$

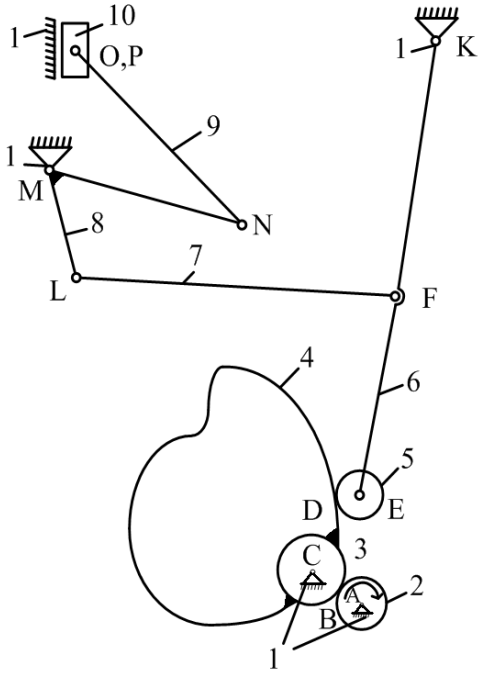
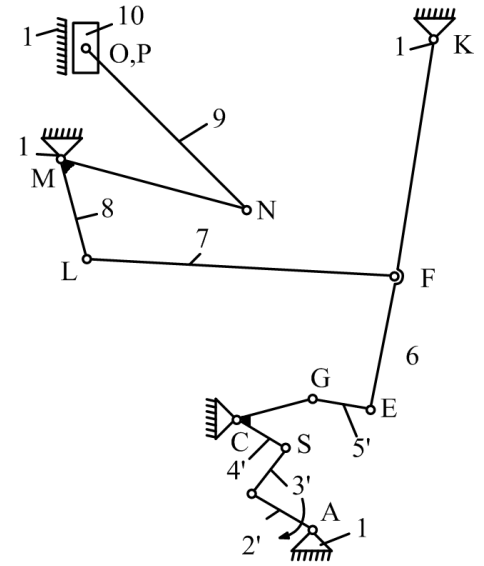
Название звеньев:	I – стойка 2 – кривошип 3,4,7 – шатун 5,6 – коромысло 8 – ползун

Структурный анализ механизма			
Схема начального механизма	Класс, порядок	Звенья, входящие в состав механизма	Последовательность соединения звеньев
	I 1	(I-2)	I - A - 2

Группы Ассура, входящие в состав механизма				
Схема групп	Класс, порядок	Вид	Звенья, ее составляющие	Последовательность соединения звеньев
	II 2	(2)	(7-8)	4-C*-7-K-8-K*-1
	III 3	-	3-4-5-6	2-B-3-C-4-F-5-E-1 | G | 6 | D | 1
Формула структурного строения: I1(1-2) -› III3(3-4-5-6) -› II2(2)(7-8)				
Класс и порядок механизма: III класс 3 порядок				

<table>
<tr><td colspan="5">Структурный анализ механизма</td></tr>
<tr><td colspan="2">Схема начального механизма</td><td>Класс, порядок</td><td>Звенья, входящие в состав механизма</td><td>Последовательность соединения звеньев</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td>I 1</td><td>(I-5)</td><td>I-E-5</td></tr>
<tr><td colspan="5">Группы Ассура, входящие в состав механизма</td></tr>
<tr><td>Схема групп</td><td>Класс, порядок</td><td>Вид</td><td>Звенья, ее составляющие</td><td>Последовательность соединения звеньев</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>II 2</td><td>(I)</td><td>(2-3)</td><td>1-A-2-B-3-C-4</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>II 2</td><td>(2)</td><td>(7-8)</td><td>1-K*-8-K-7-C*-4</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>II 3</td><td>(I)</td><td>(4-6)</td><td>5-F-4-G-6-D-1</td></tr>
<tr><td colspan="5">Формула структурного строения: I1(1-5) -› II2(1)(4-6) -› $\begin{cases} II2(2)(7-8) \\ II2(1)(2-3) \end{cases}$</td></tr>
<tr><td colspan="5">Класс и порядок механизма: II класс 2 порядок</td></tr>
</table>

«Структурный анализ механизмов»

Структурная схема механизма		Таблица кинематических пар			
		Обозначение КП	Звенья, ее составляющие	Тип КП	Класс КП
Действительный механизм		A B C D E F K L M N O P	(1-2) (2-3) (1-3) (4-5) (5-6) (6-7) (6-1) (7-8) (8-1) (8-9) (9-10) (10-1)	НКПВ ВКП НКПВ ВКП НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ	P_5 P_4 P_5 P_4 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5
Заменяющий механизм		A Z S C G E F K L M N P O	(1-2’) (2’-3’) (3’-4’) (4’-1) (4’-5’) (5’-6) (6-7) (6-1) (7-8) (8-1) (8-9) (9-10) (10-1)	НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПВ НКПП	P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5 P_5

Результаты наблюдений	Действительный механизм	Заменяющий механизм
Число подвижных пар звеньев	8	9
Число кинематических пар пятого класса P_5	10	13
Число кинематических пар четвертого класса P_4	2	-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ

а) действительного механизма:

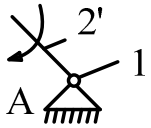
$W=3\cdot8-2\cdot10-2=2$

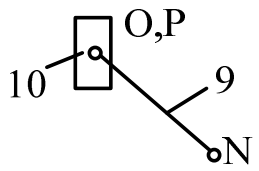
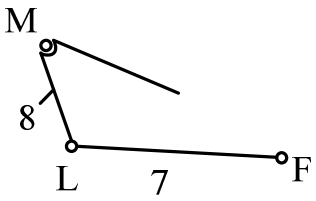
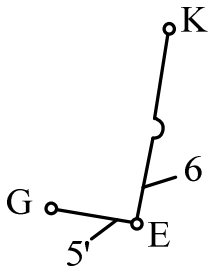
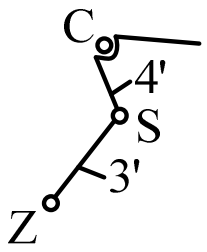
б) заменяющего механизма:

$W=3\cdot9-2\cdot13=1$

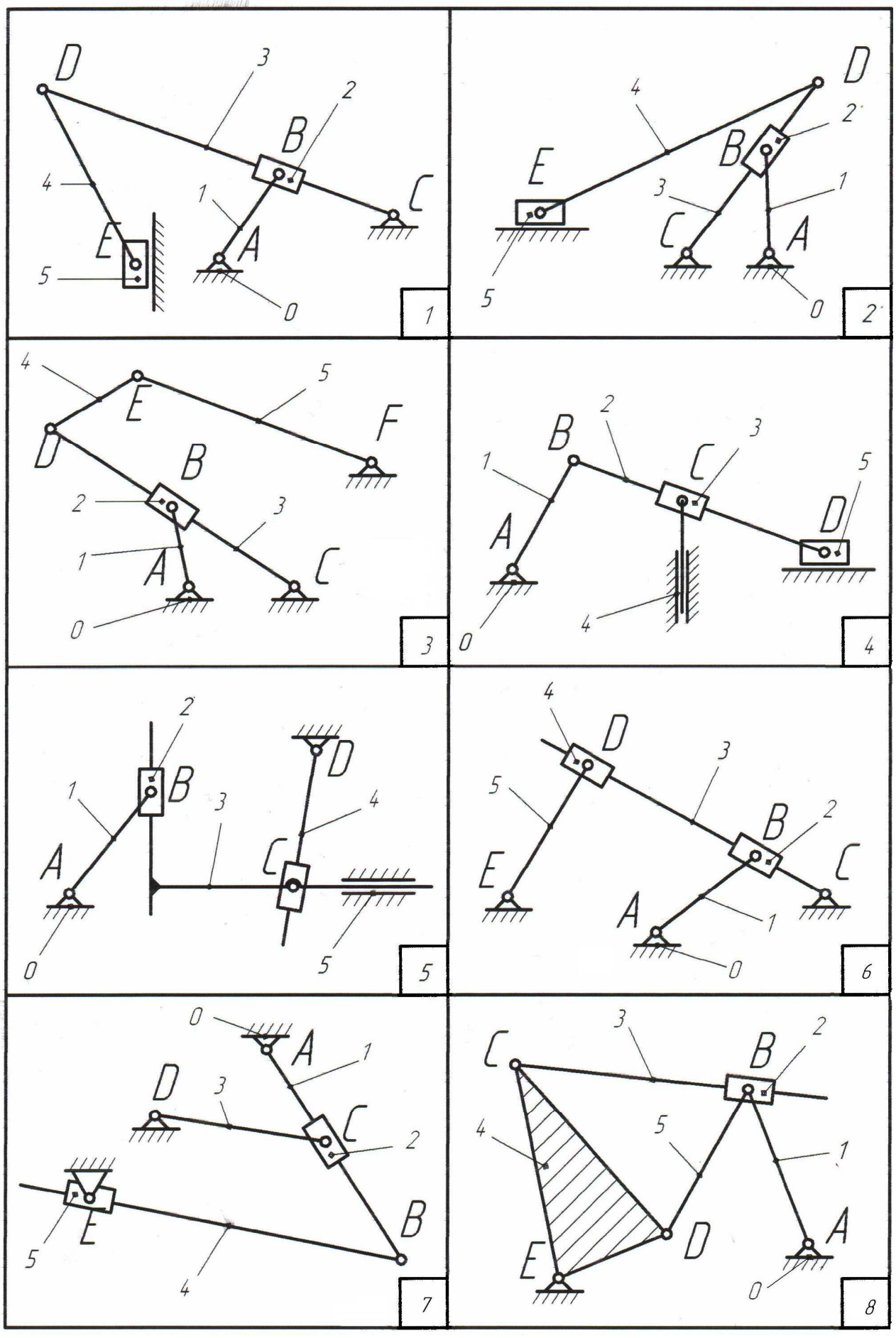
	Действительного механизма	Заменяющего механизма
Название звеньев механизма	1 – стойка 2,3 – зубчатые колеса 4 – кулачок 5 – ролик толкателя 6 – коромысло толкателя 7,9 – шатун 8 – коромысло 10 - ползун	1 – стойка 2’, 4’ – кривошип 3’,5’,7,9 – шатун 6,8 – коромысло 10 - ползун

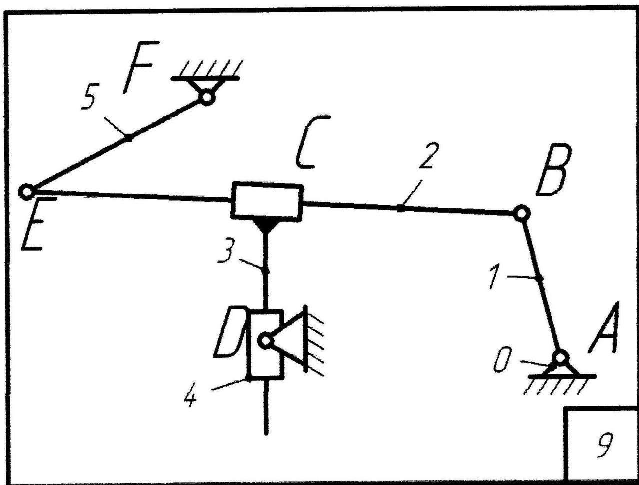
Структурный анализ механизма

Схема начального механизма	Класс, порядок	Звенья, входящие в состав механизма	Последовательность соединения звеньев
	I 1	(I-2)	I – A - 2

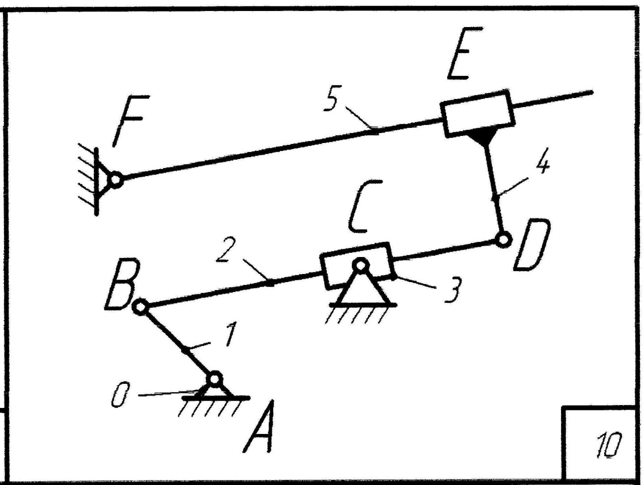
Группы Ассура, входящие в состав механизма				
Схема групп	Класс, поря-док	Вид	Звенья, ее со-став-ляющие	Последовательность соединения звеньев
	II 2	(2)	(10-9)	1-O-10-P-9-N-8
	II 2	(1)	(8-7)	1-M-8-L-7-F-6
	II 2	(1)	(5’-6)	1-K-6-E-5’-G-4’
	II 2	(1)	(4’-3’)	1-C-4’-S-3’-Z-2’
Формула структурного строения: I1(1-2’) -›II2(1)(3’-4’) -›II2(1)(6-5’) -›II2(1)(8-7) -›II2(2)(9-10)				
Класс и порядок механизма: II класс 2 порядок				

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

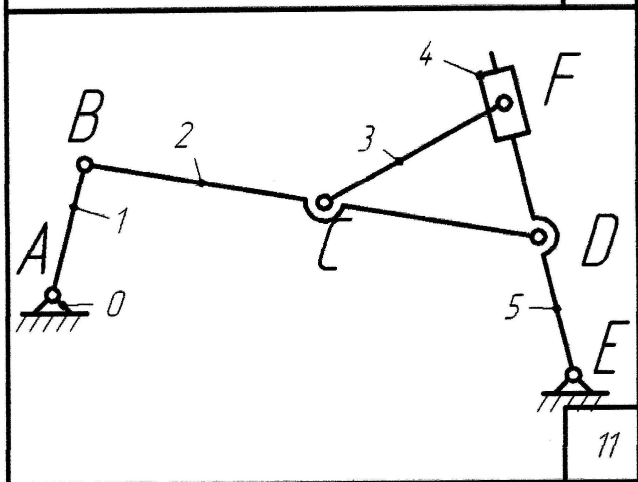




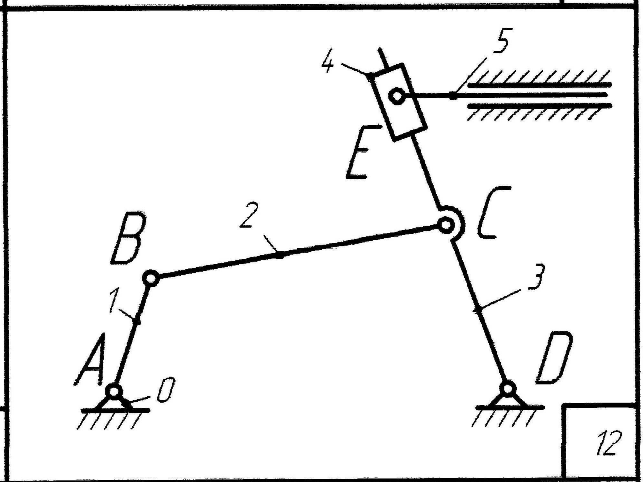
9



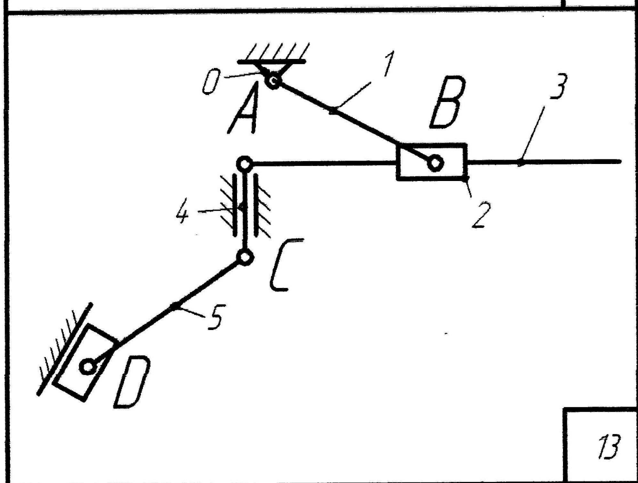
10



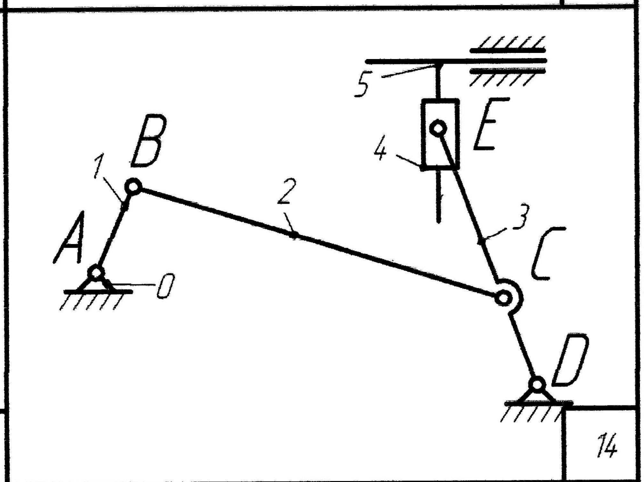
11



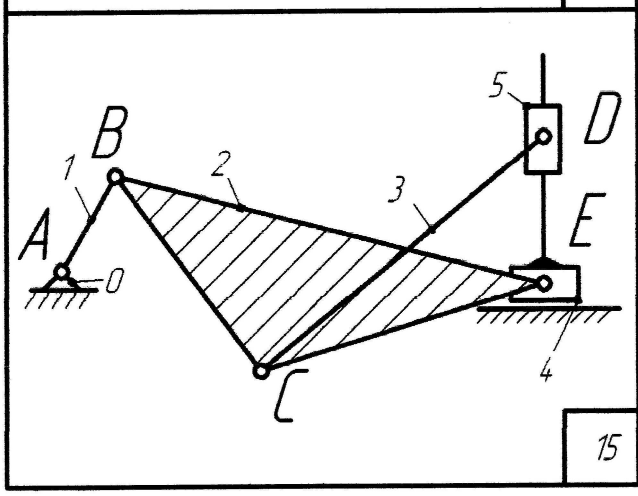
12



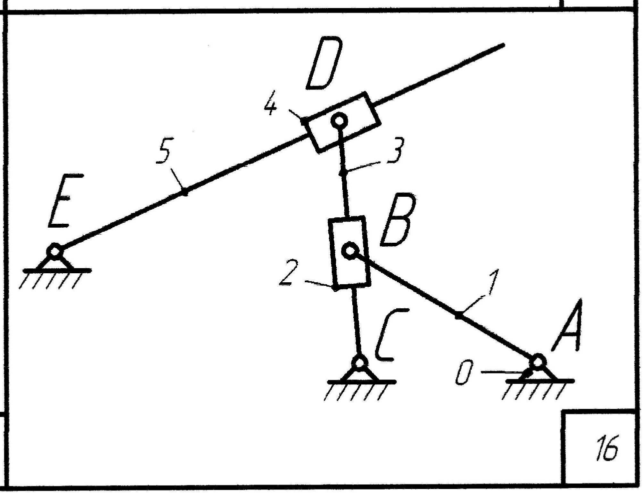
13



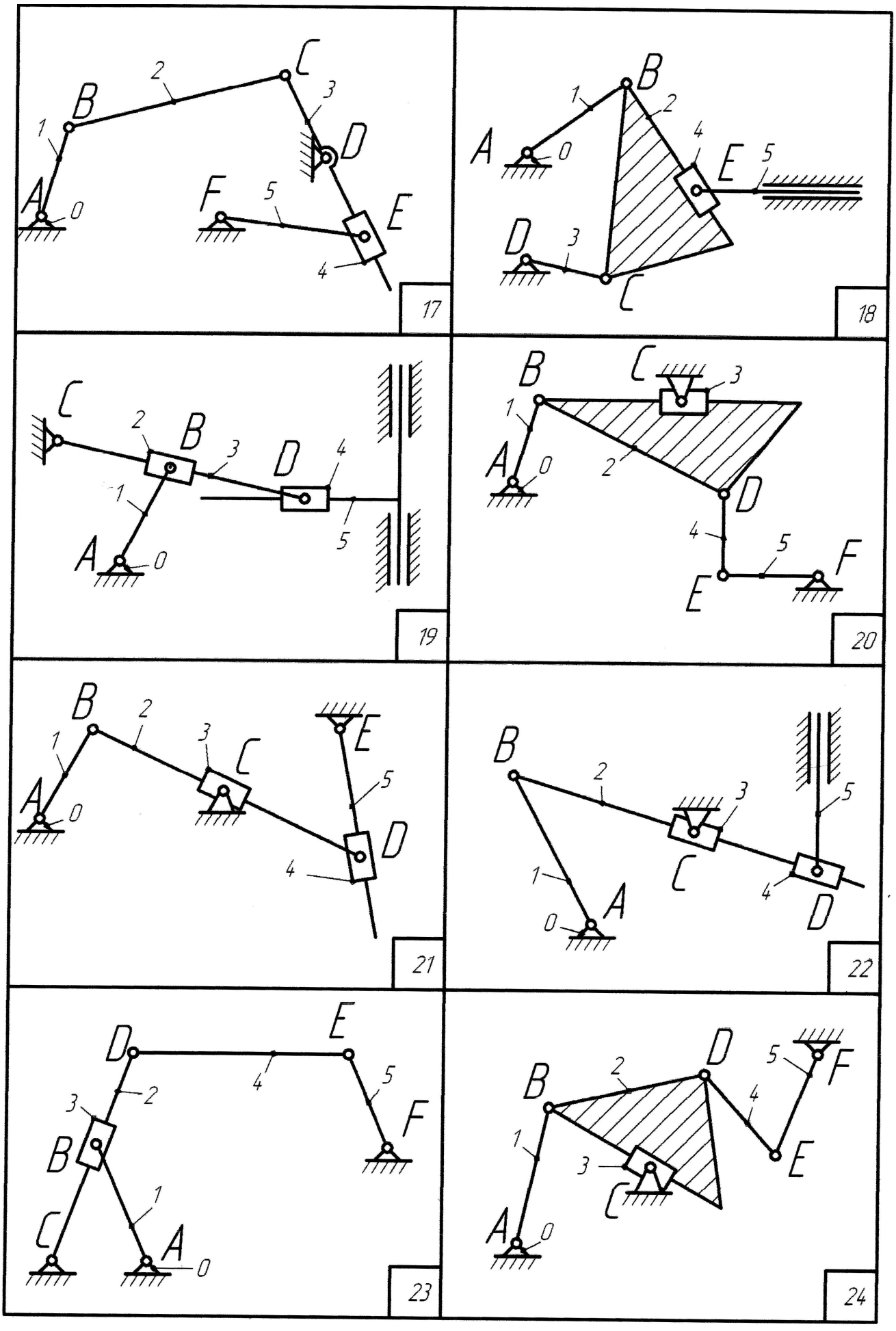
14

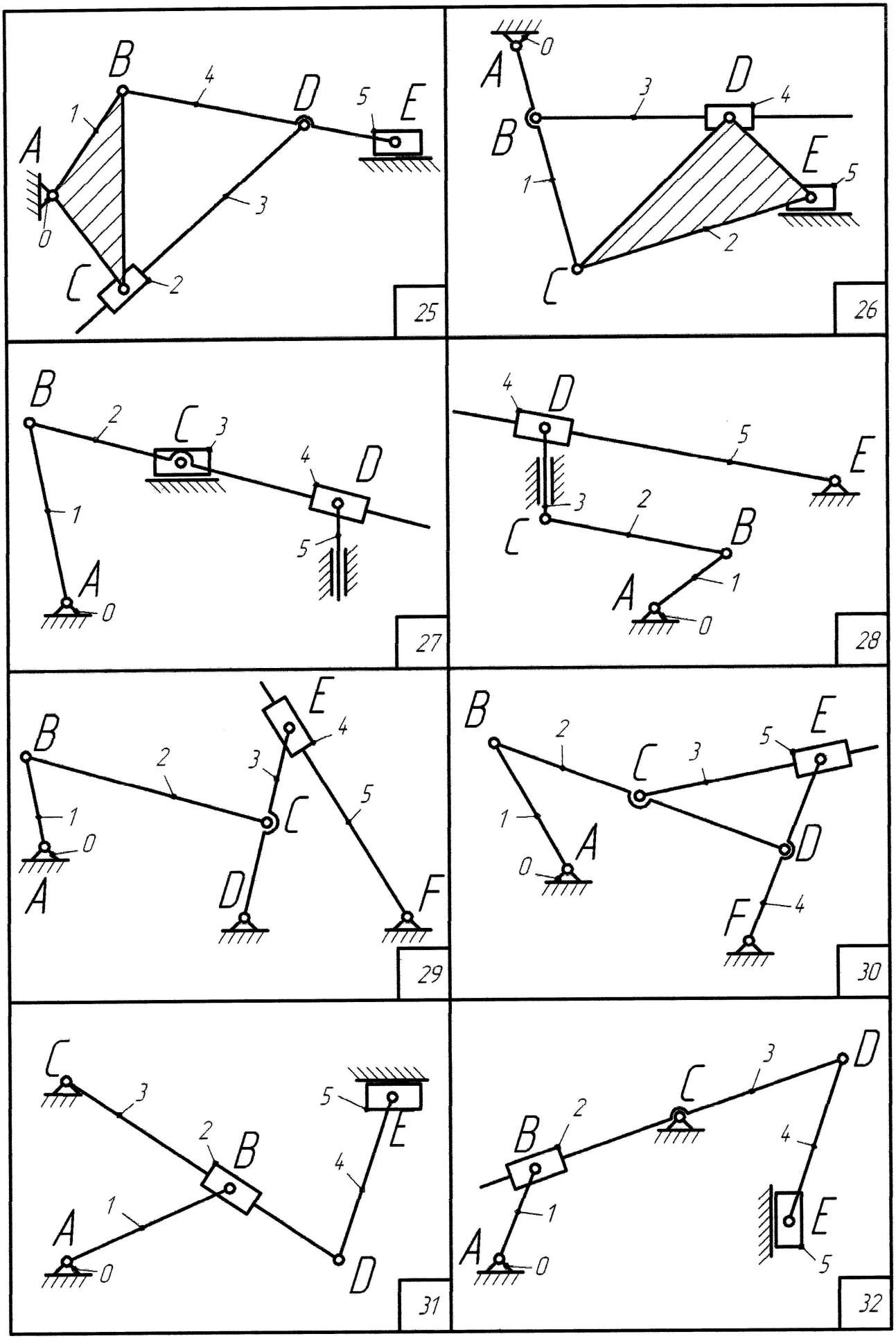


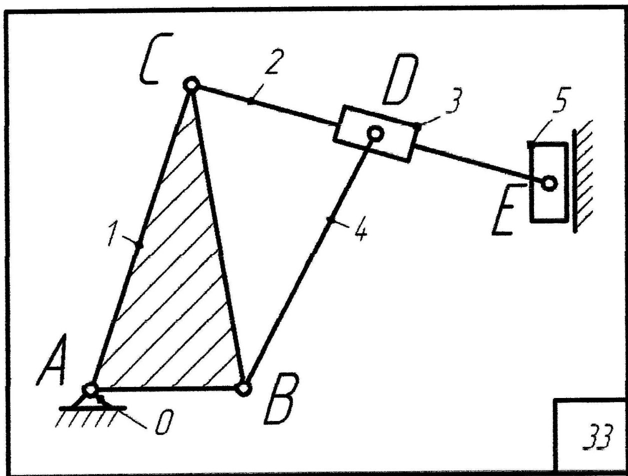
15

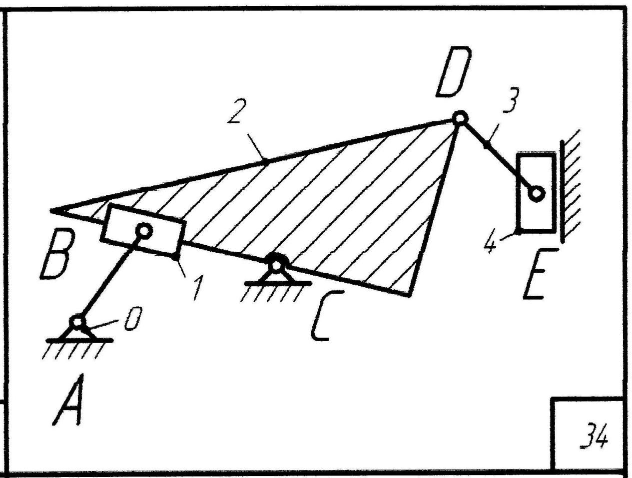


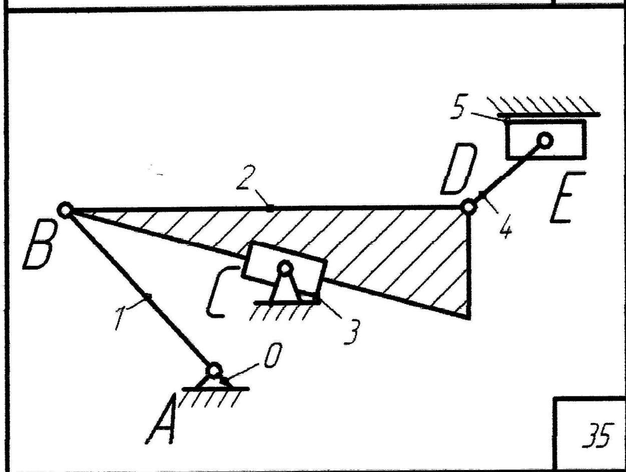
16

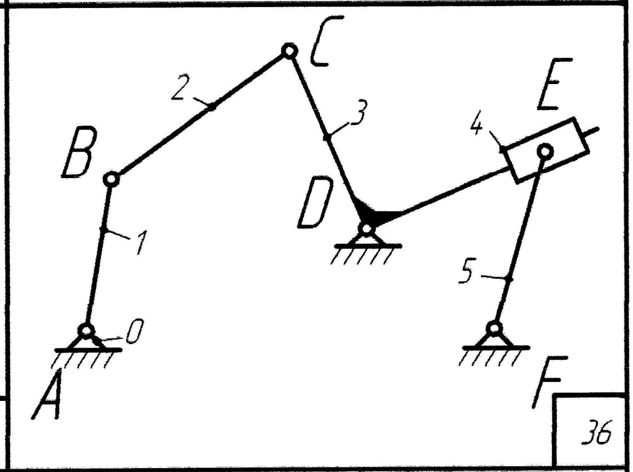

17
18
19
20
21
22
23
24

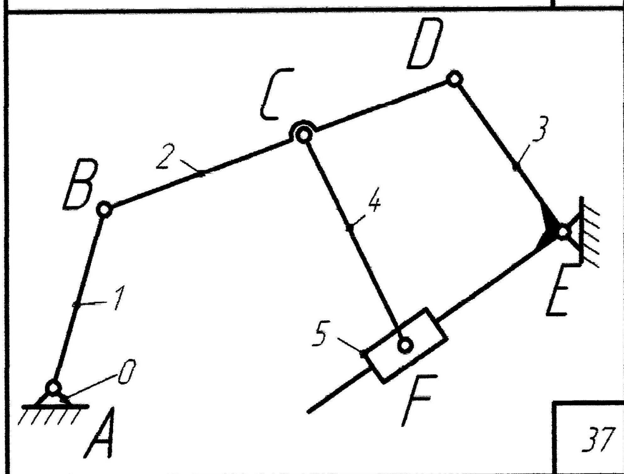

B
4
D
5
E
1
A
3
0
C
2
25
0
A
3
D
4
B
E
5
1
2
C
26
B
2
C
3
4
D
1
5
A
0
27
4
D
5
E
3
2
C
B
1
A
0
28
E
4
B
2
3
5
1
C
0
A
D
F
29
B
2
C
3
5
E
1
A
0
D
F
4
30
C
3
5
E
2
B
4
1
A
0
D
31
3
C
D
2
B
4
1
A
0
E
5
32

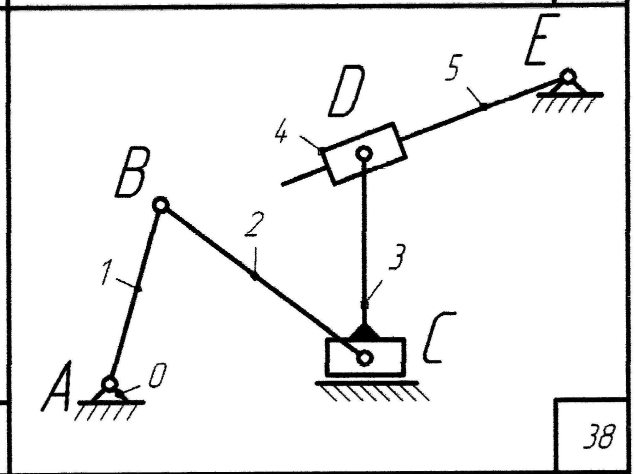

C
2
D
3
5
E
1
4
A
B
0
33

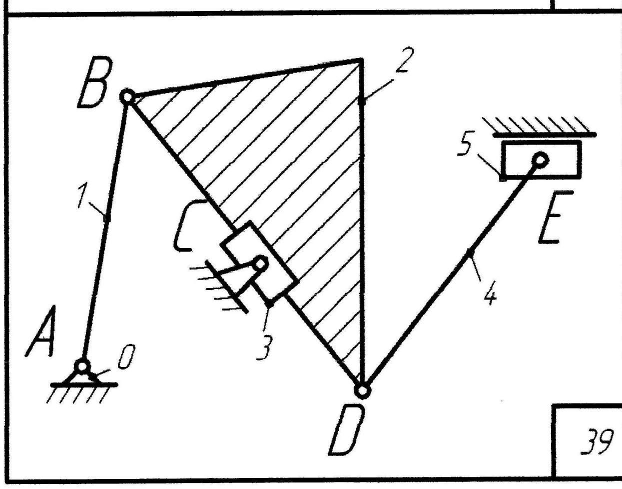

D
2
3
B
1
4
E
C
0
A
34

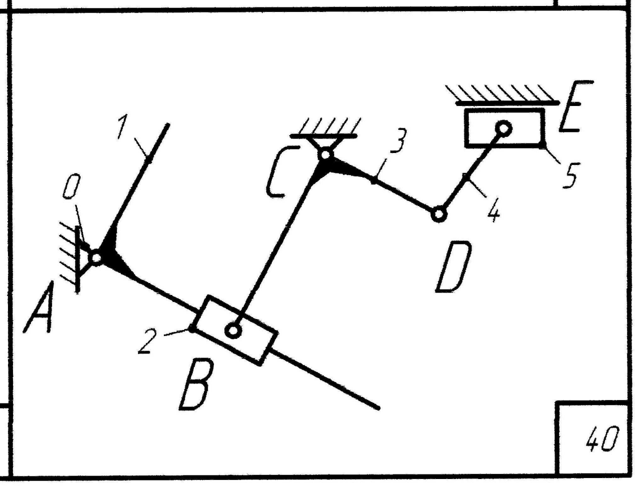

5
2
D
B
E
4
C
1
3
0
A
35

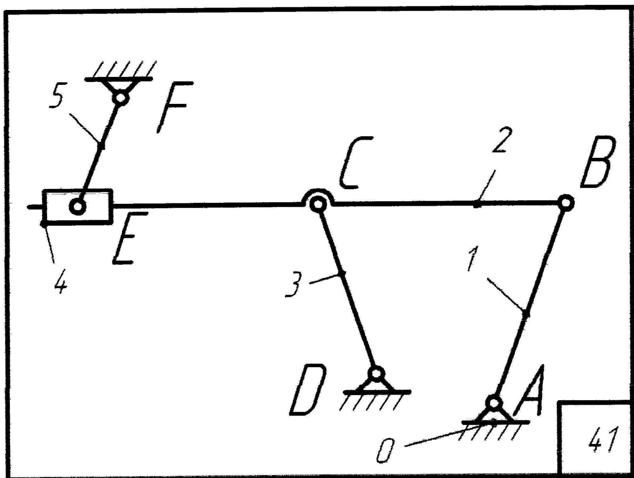

C
2
3
E
B
4
D
1
5
0
A
F
36

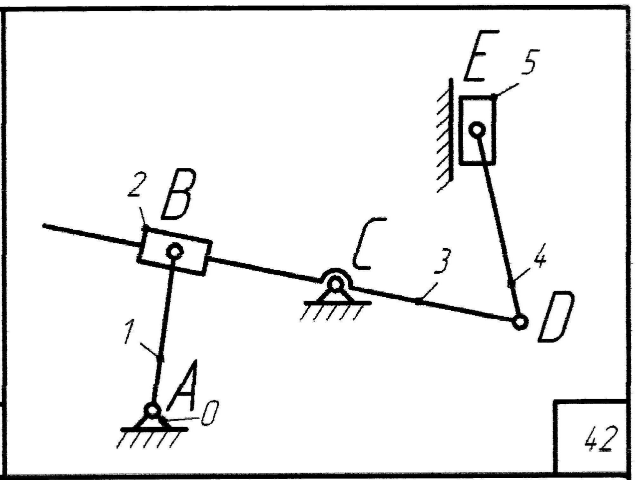

D
C
3
B
2
4
1
E
5
0
A
F
37

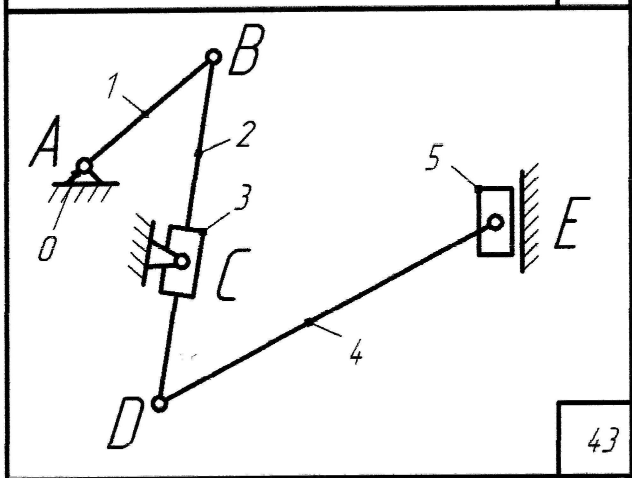

E
5
D
4
B
2
3
1
C
A
0
38

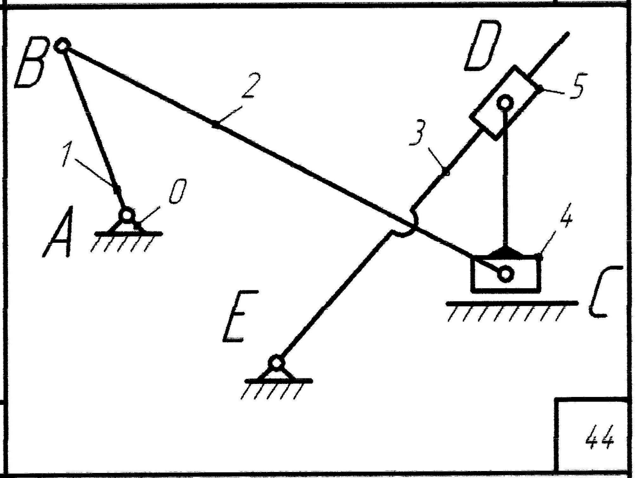

B
2
5
1
C
E
4
A
0
3
D
39

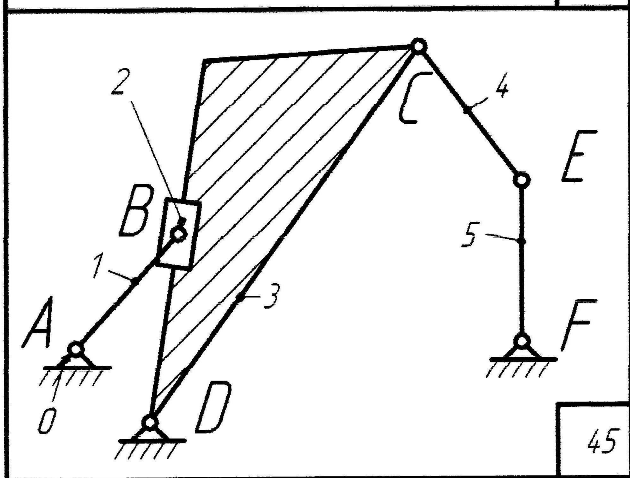

1
E
3
C
0
5
4
D
A
2
B
40

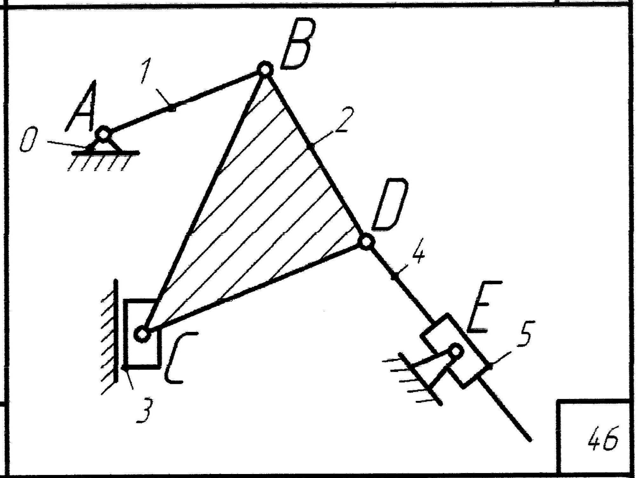

5
F
C
2
B
E
4
3
1
D
A
0
41

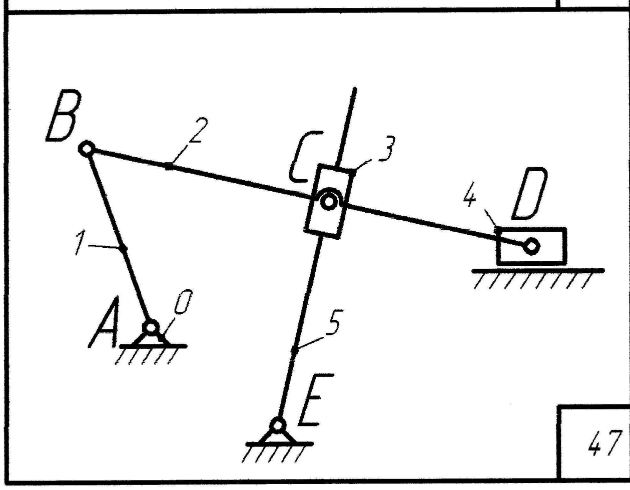

E
5
2
B
C
3
4
D
1
A
0
42

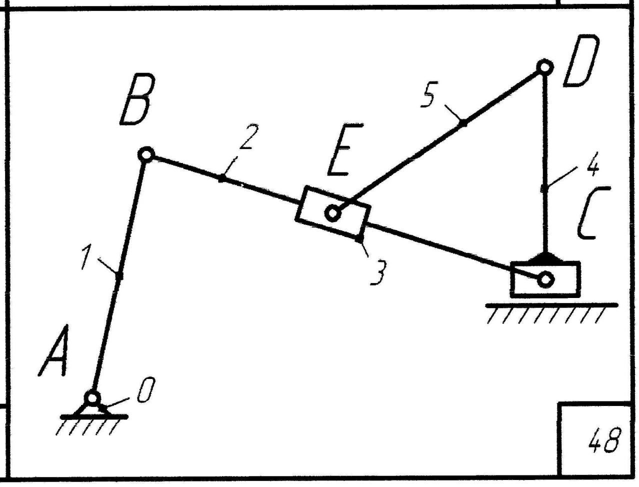

B
1
A
2
0
3
C
5
E
4
D
43

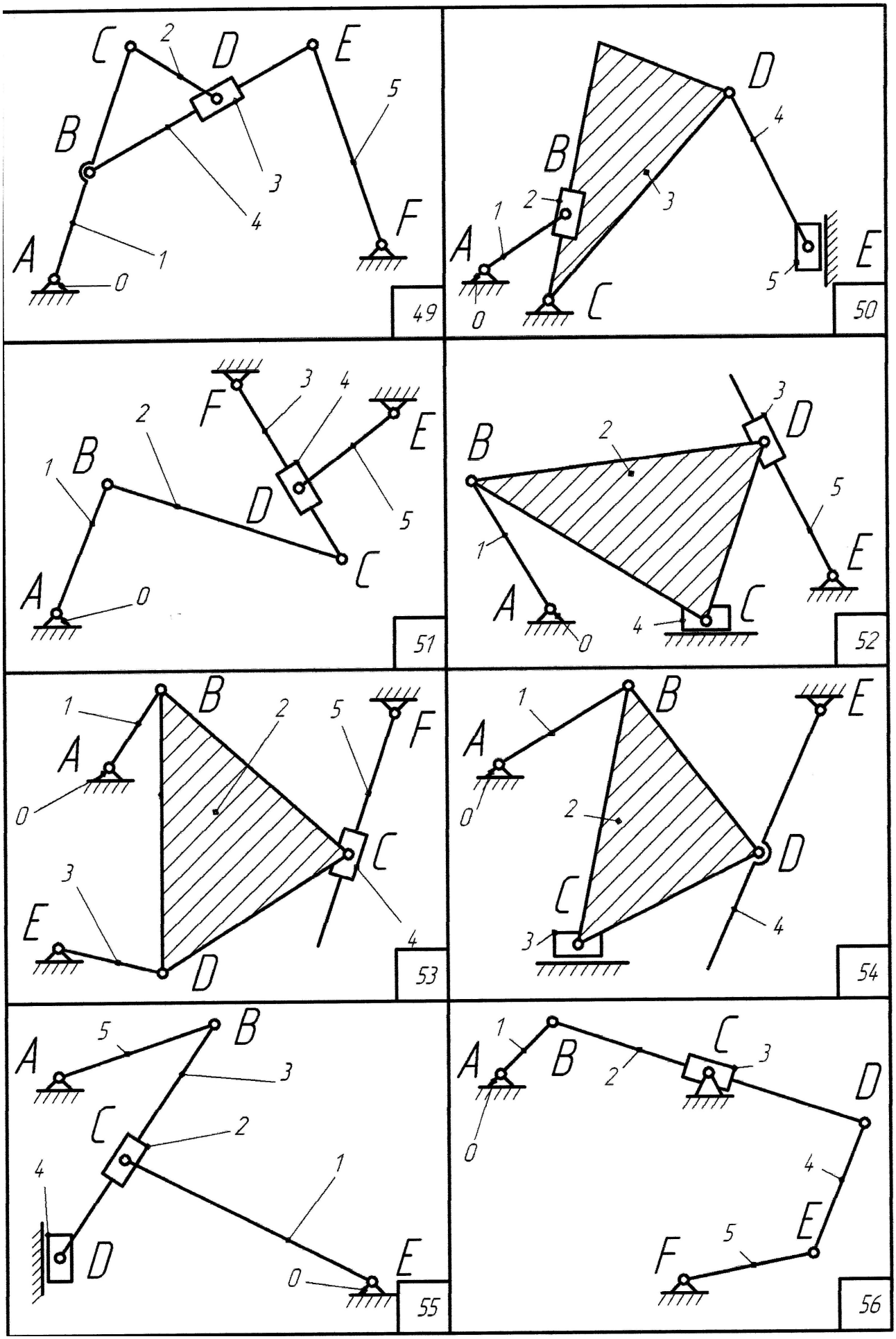

B
D
5
2
3
1
0
A
4
E
C
44

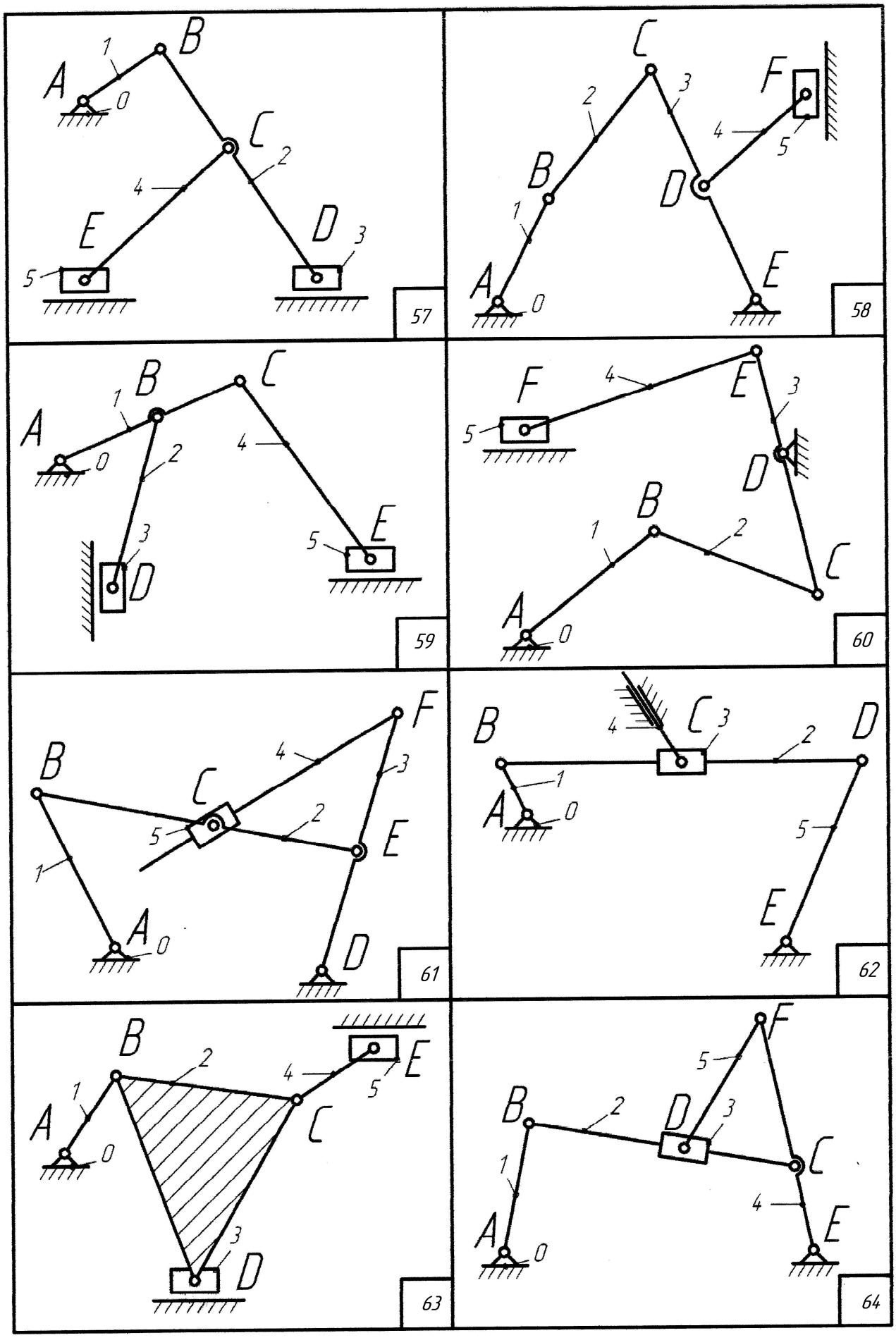

2
C
4
E
B
1
5
3
A
F
0
D
45

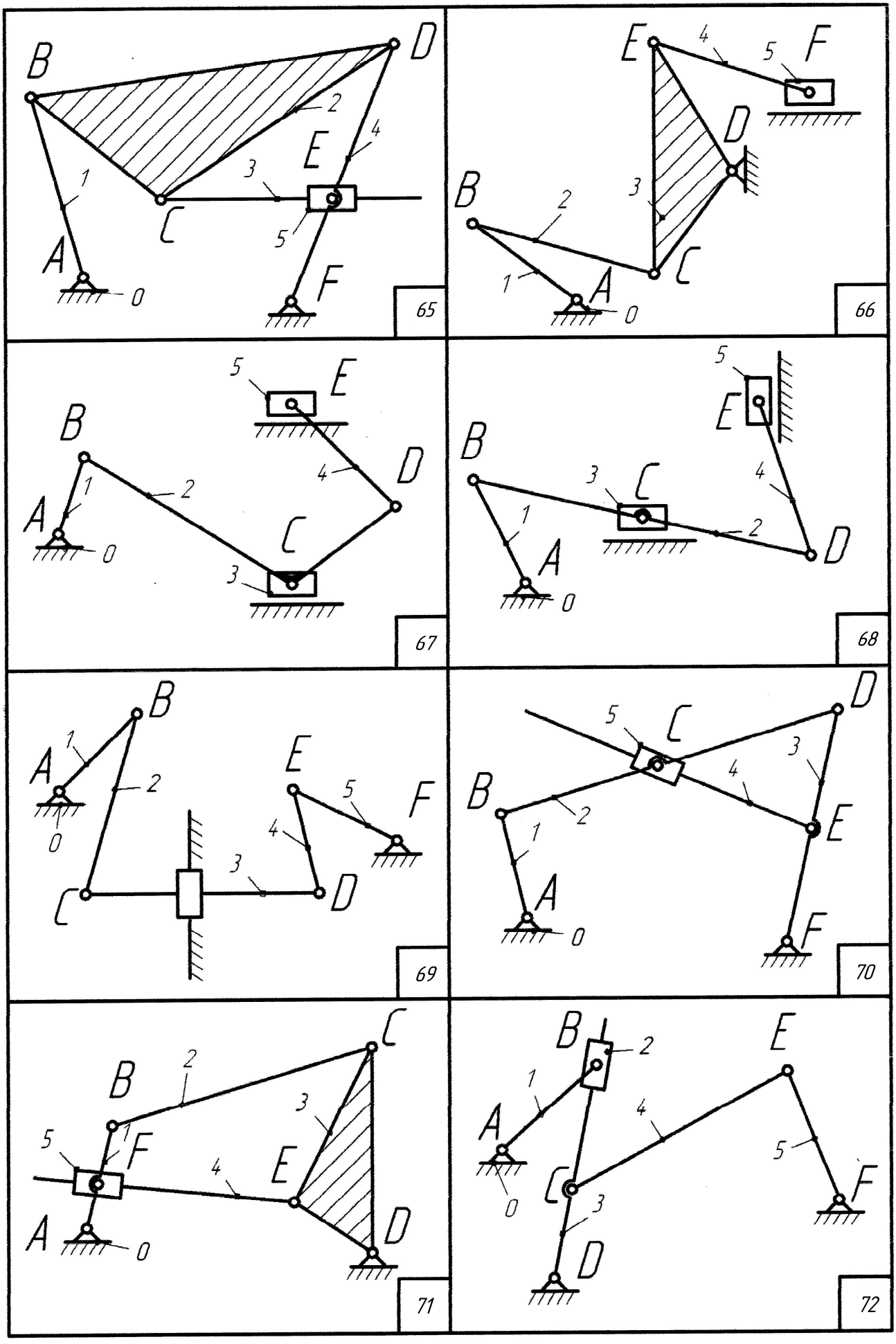

B
1
A
0
2
D
4
E
5
C
3
46

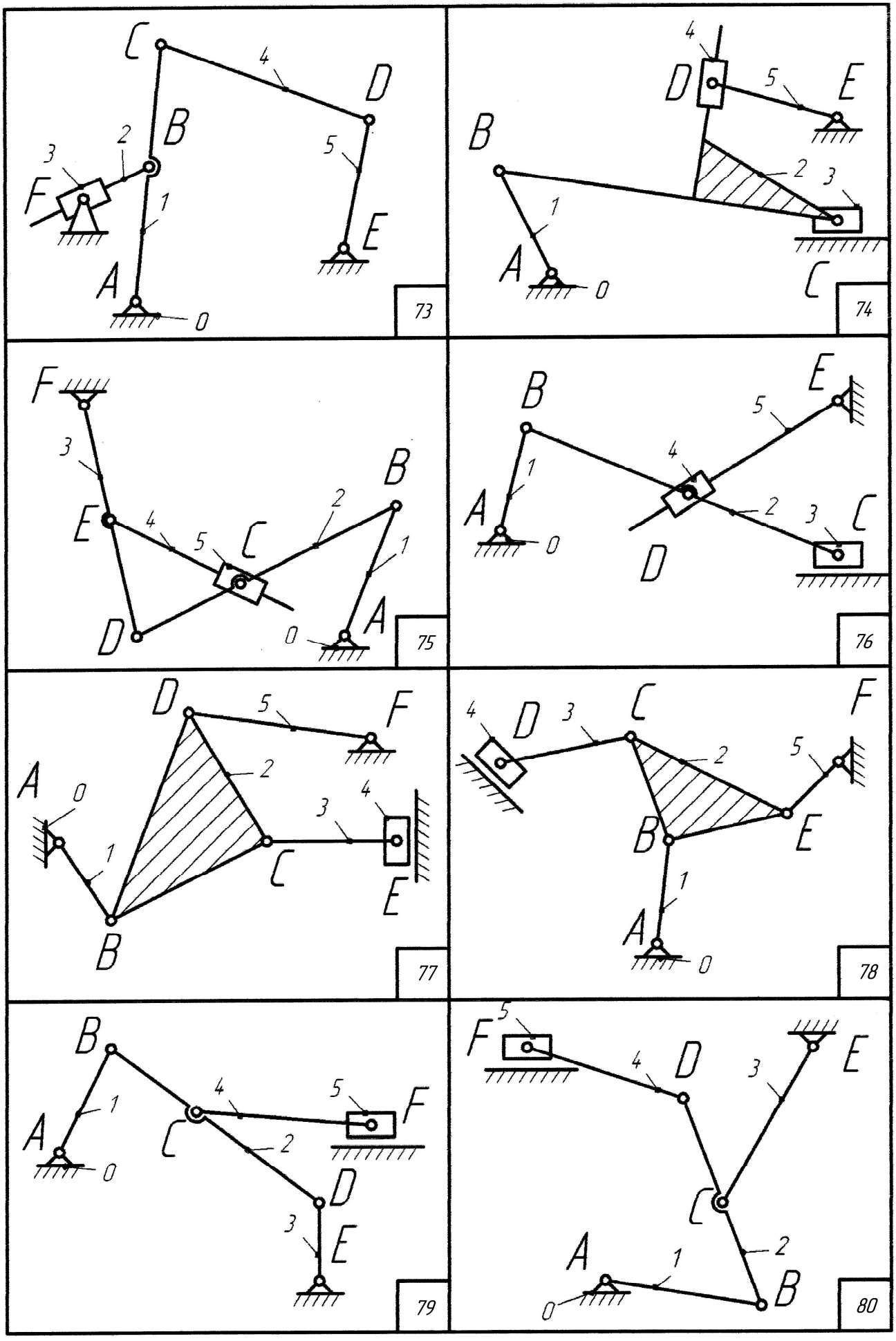

B
2
C
3
4
D
1
A
0
5
E
47

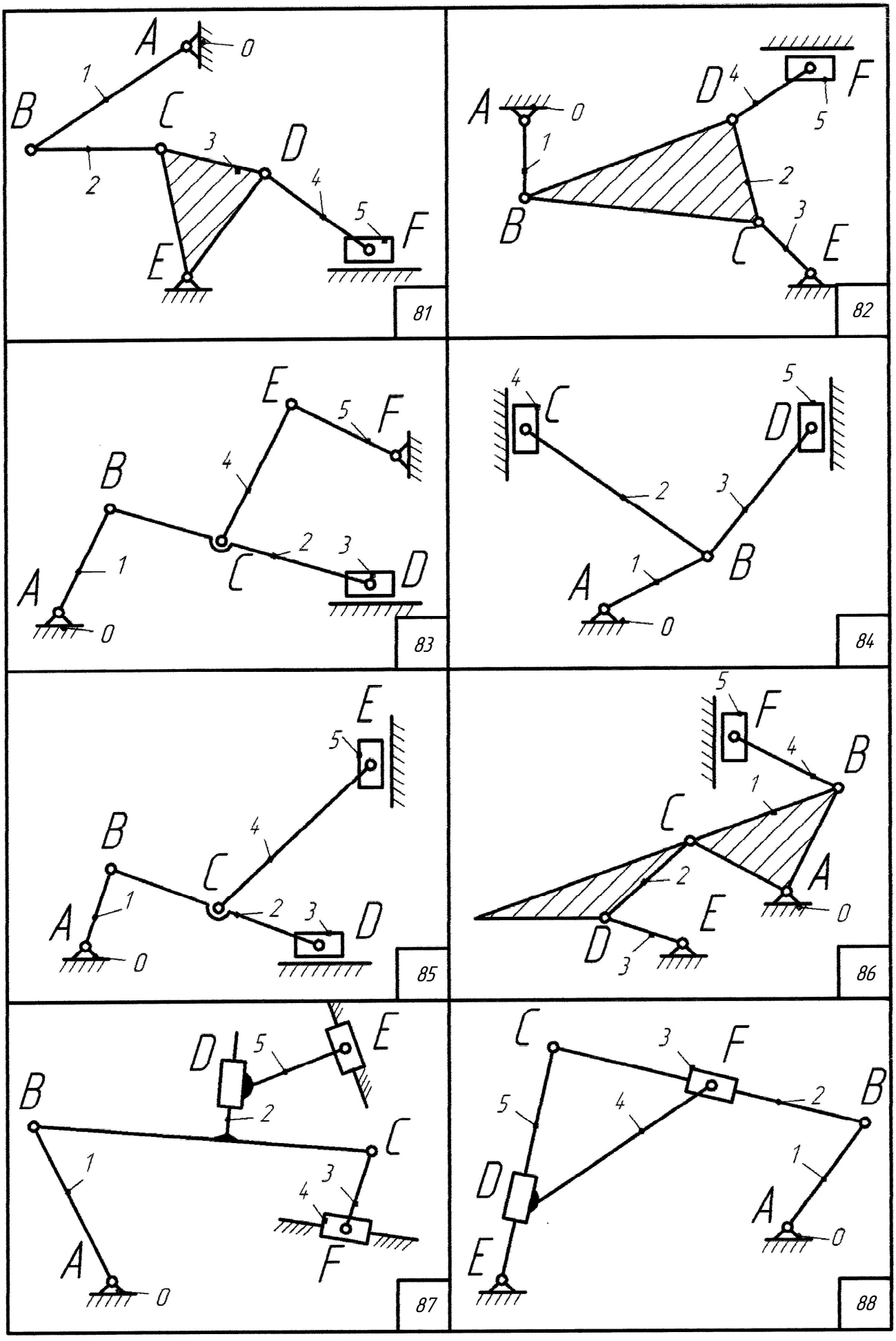

D
B
5
2
E
4
C
1
3
A
0
48

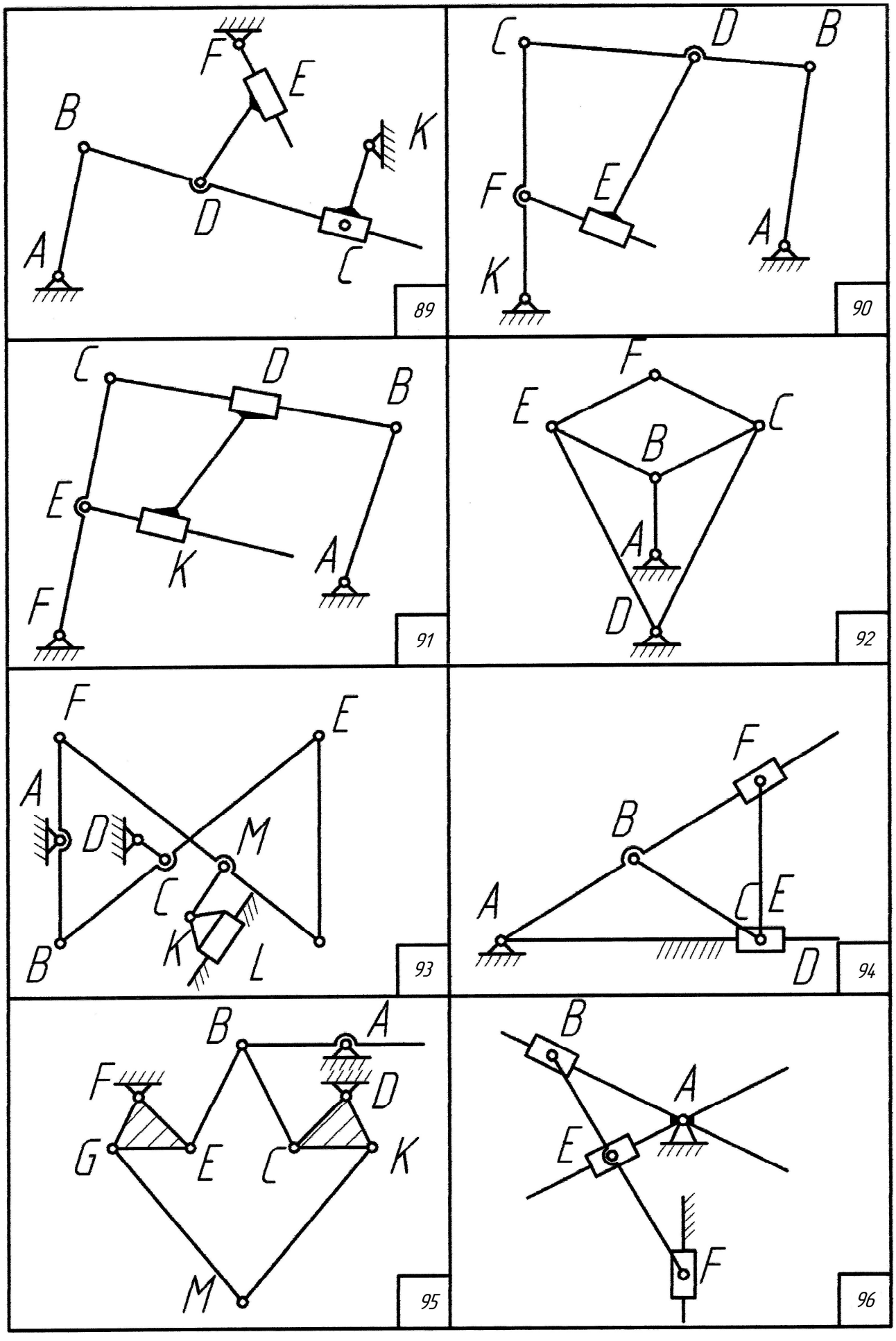

C
2
D
E
5
B
3
4
F
A
1
0
49
D
4
B
2
3
1
A
0
C
5
E
50
F
3
4
E
2
1
B
D
5
A
0
C
51
3
D
B
2
1
5
E
A
0
4
C
52
1
B
2
5
F
A
0
C
3
E
D
4
53
1
B
E
A
0
2
C
D
3
4
54
5
B
A
3
C
2
4
1
D
E
0
55
1
C
A
B
3
2
0
4
D
5
E
F
56

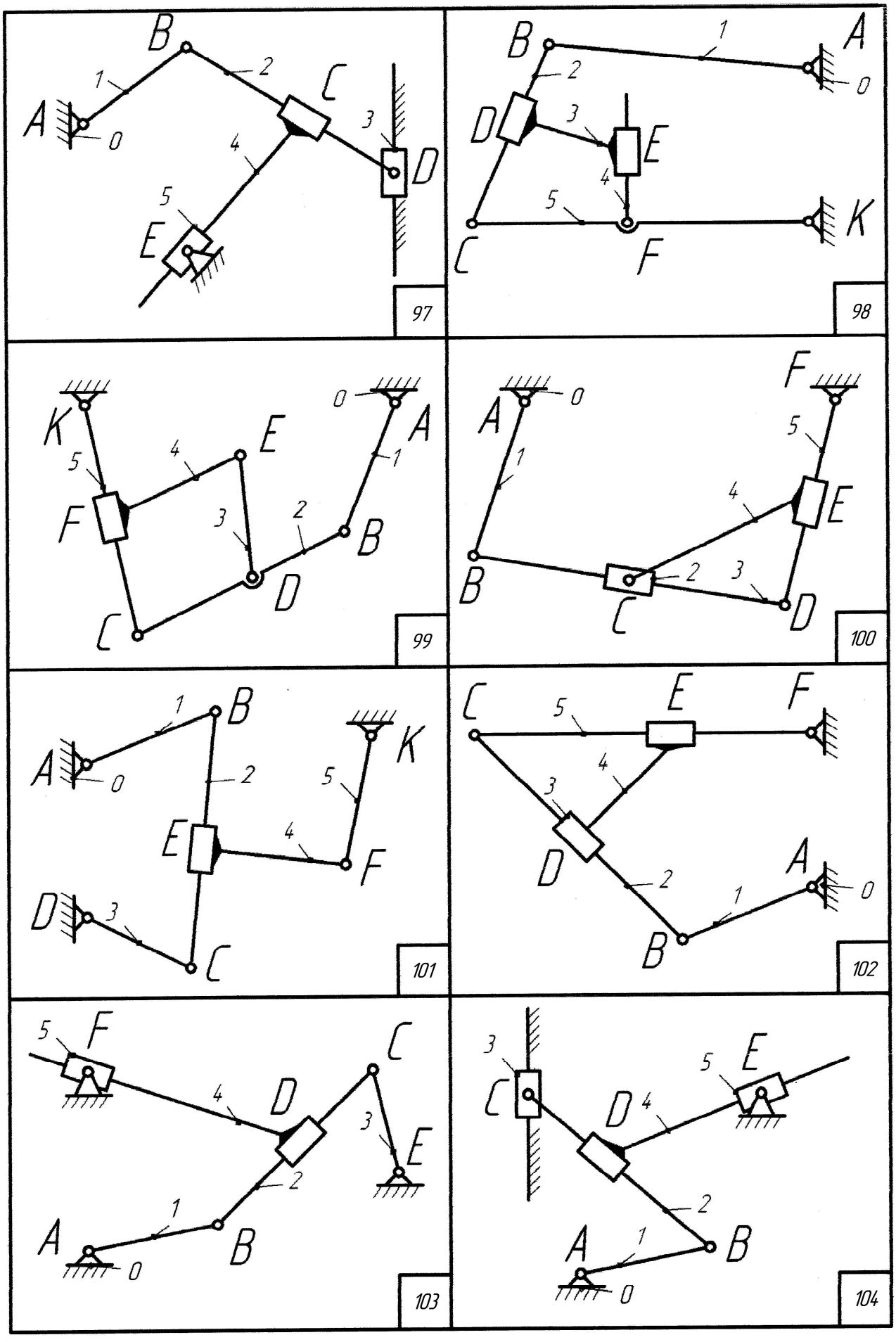

A
B
C
D
E
F
0
1
2
3
4
5
57
58
59
60
61
62
63
64

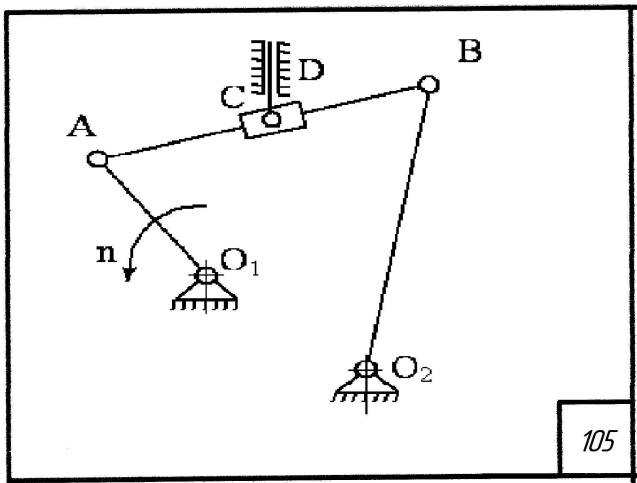

B
D
2
4
E
1
3
C
5
A
0
F
65
E
4
5
F
D
B
2
3
C
1
A
0
66
5
E
B
4
D
1
2
A
0
C
3
67
5
E
B
3
C
4
1
2
A
0
D
68
B
1
2
A
0
E
5
F
4
3
C
D
69
5
C
D
3
4
B
2
1
E
A
0
F
70
C
2
B
3
1
5
F
4
E
A
0
D
71
B
2
E
1
4
A
5
C
0
3
D
F
72


C
4
D
B
2
5
3
F
1
E
A
0
73
4
D
5
E
B
2
3
1
A
0
C
74
F
3
B
E
4
5
C
2
1
D
0
A
75
B
E
5
1
4
A
2
3
C
0
D
76
D
5
F
A
2
0
4
3
1
C
E
B
77
4
D
3
C
F
2
5
B
E
1
A
0
78
B
1
4
5
F
A
C
2
0
D
3
E
79
5
F
4
D
3
E
C
A
1
2
0
B
80

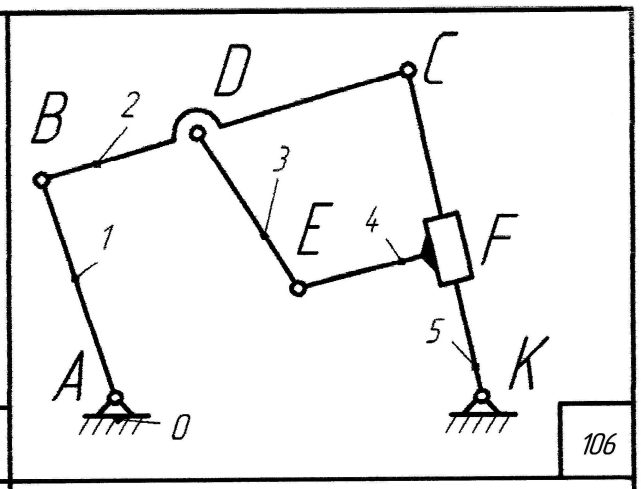

A
0
1
B
C
3
D
2
4
5
F
E
81
A
0
D
4
F
5
1
2
B
3
C
E
82
E
5
F
4
B
2
3
1
A
C
D
0
83
4
C
5
D
2
3
B
1
A
0
84
E
5
B
4
C
2
3
D
1
A
0
85
5
F
4
B
1
C
2
A
E
D
3
0
86
D
5
E
B
2
C
1
3
4
A
F
0
87
C
3
F
2
B
5
4
1
D
A
E
0
88


F
E
B
K
D
A
C
89
C
D
B
F
E
A
K
90
C
D
B
E
K
A
F
91
F
E
C
B
A
D
92
F
E
A
D
M
C
K
L
B
93
F
B
A
C
E
D
94
B
A
F
D
G
E
C
K
M
95
B
A
E
F
96

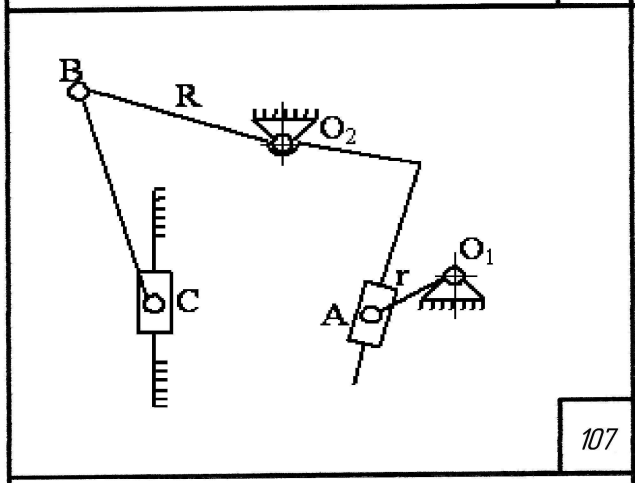

B
1
2
C
A
0
3
D
4
5
E
97
B
1
A
2
0
D
3
E
4
5
K
C
F
98
K
5
4
E
0
A
1
F
3
2
B
D
C
99
F
0
5
A
1
4
E
B
2
3
C
D
100
1
B
K
A
0
2
5
E
4
F
D
3
C
101
C
5
E
F
4
3
D
2
A
1
0
B
102
5
F
C
4
D
3
E
2
1
A
0
B
103
3
5
E
C
D
4
2
A
1
0
B
104



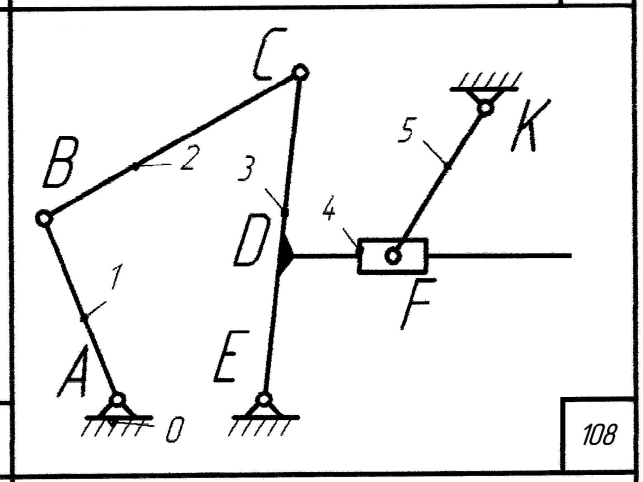
105



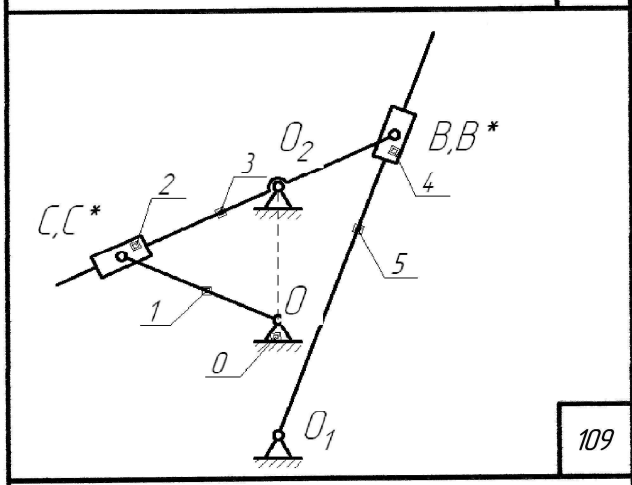
106



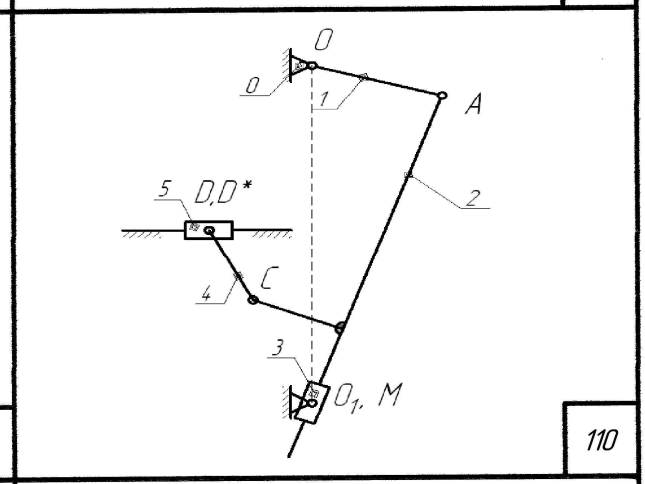
107



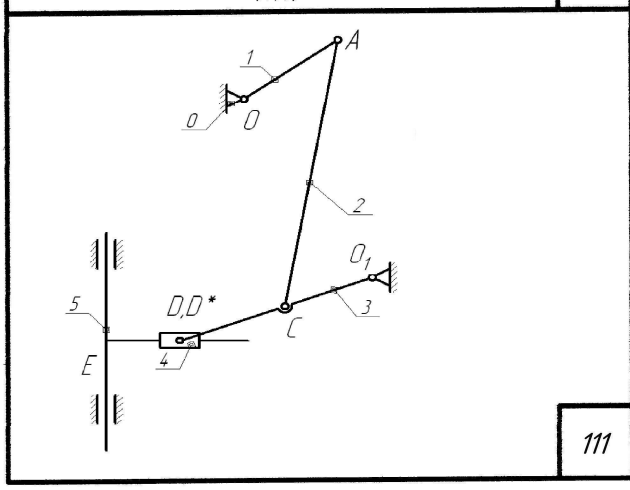
108



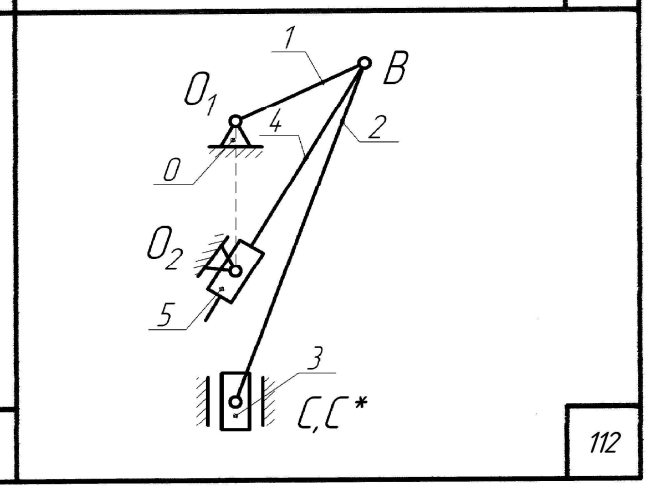
109



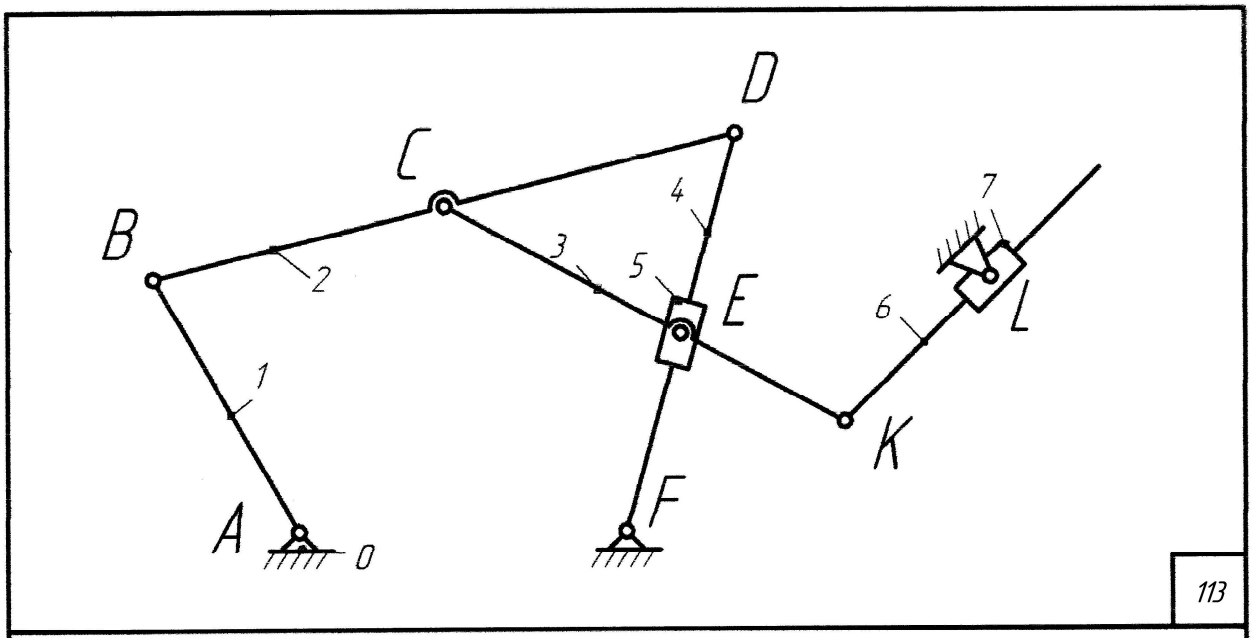
110



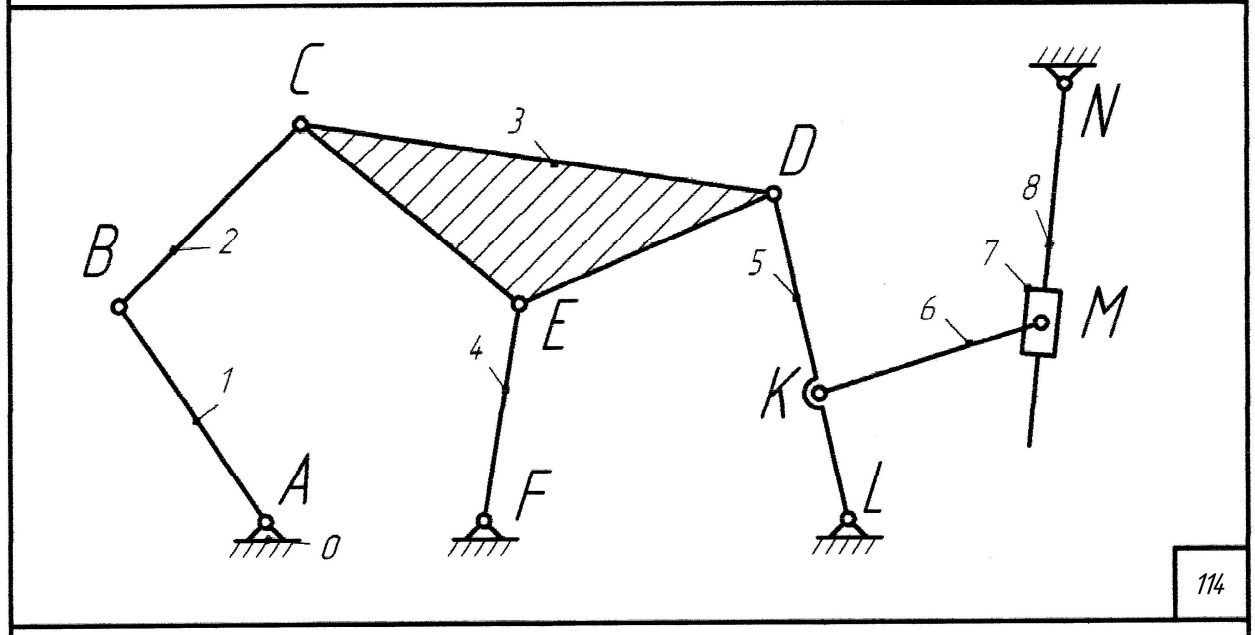
111



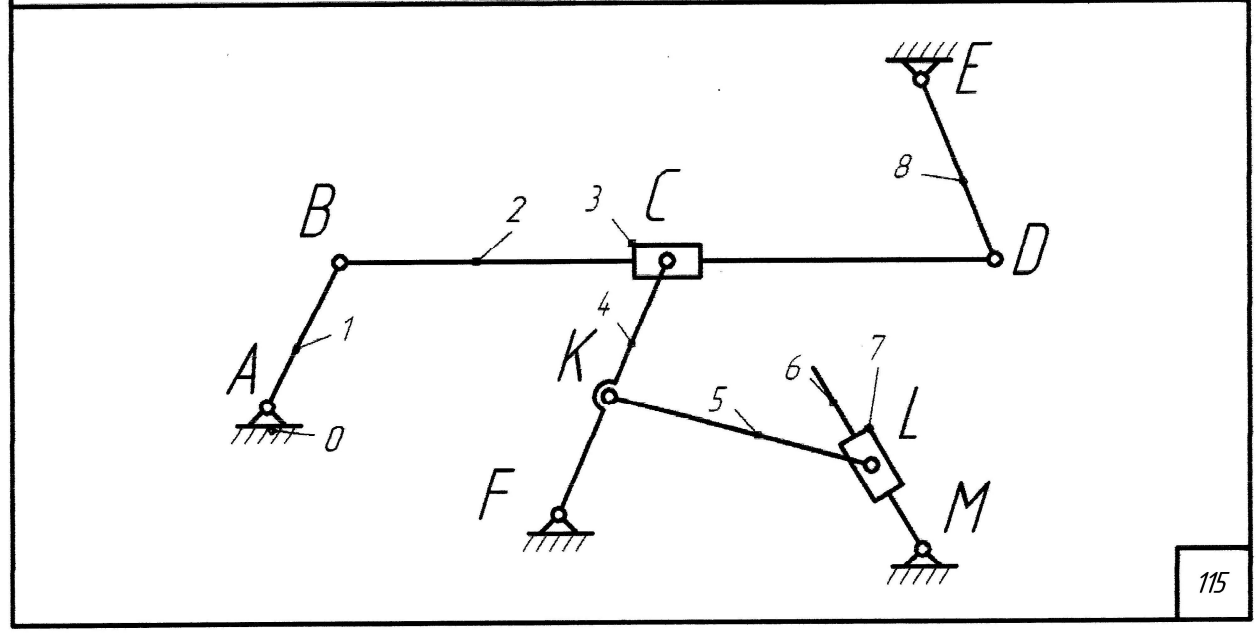
112


D
C
B
2
3
4
5
E
7
L
6
1
K
A
0
F

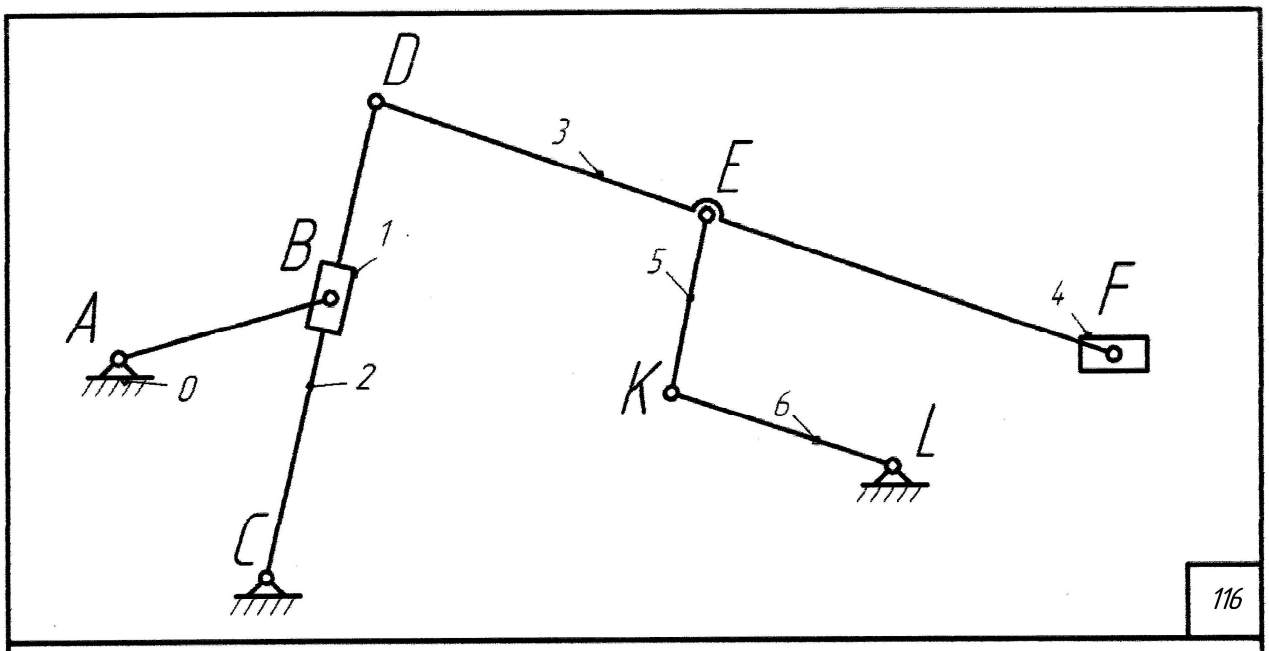
113


C
3
D
N
8
B
2
7
5
M
6
E
4
1
K
A
F
0
L

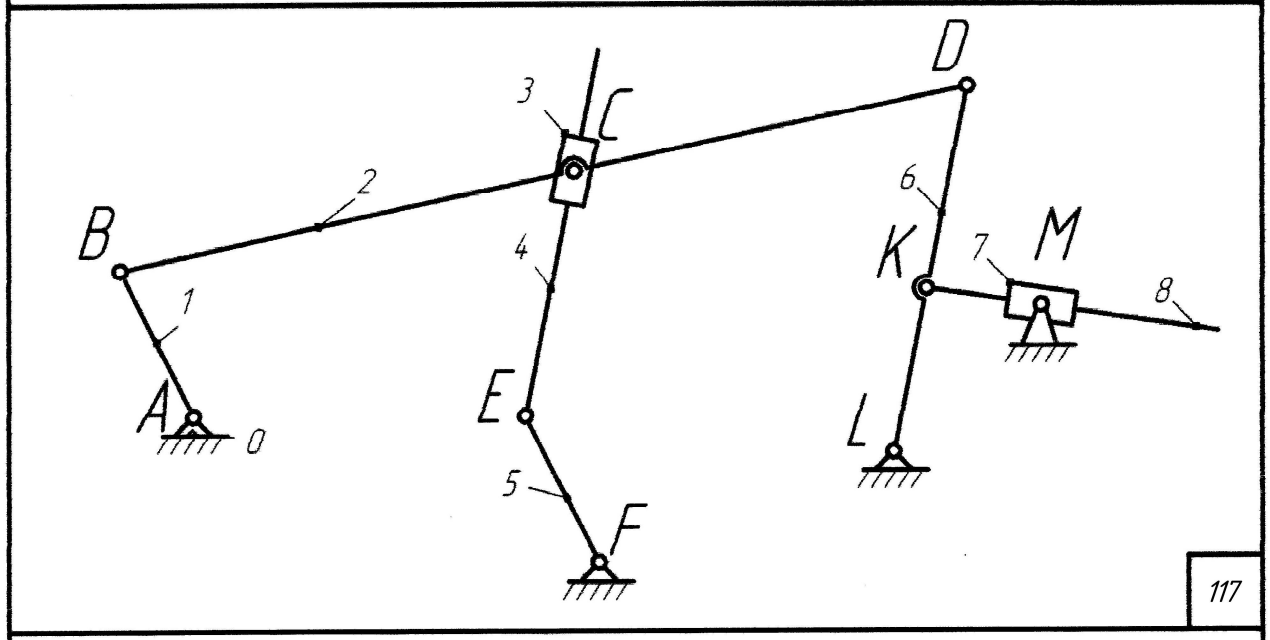
114


E
8
B
2
3
C
D
4
1
A
K
6
7
5
L
0
F
M

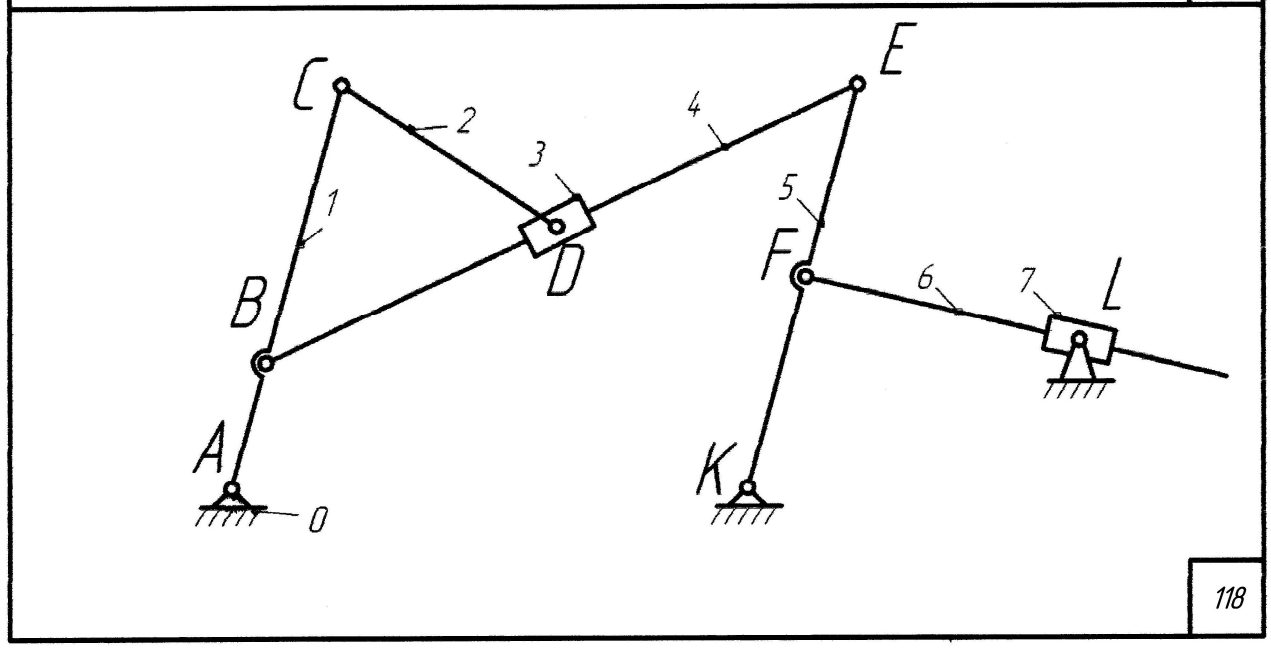
115



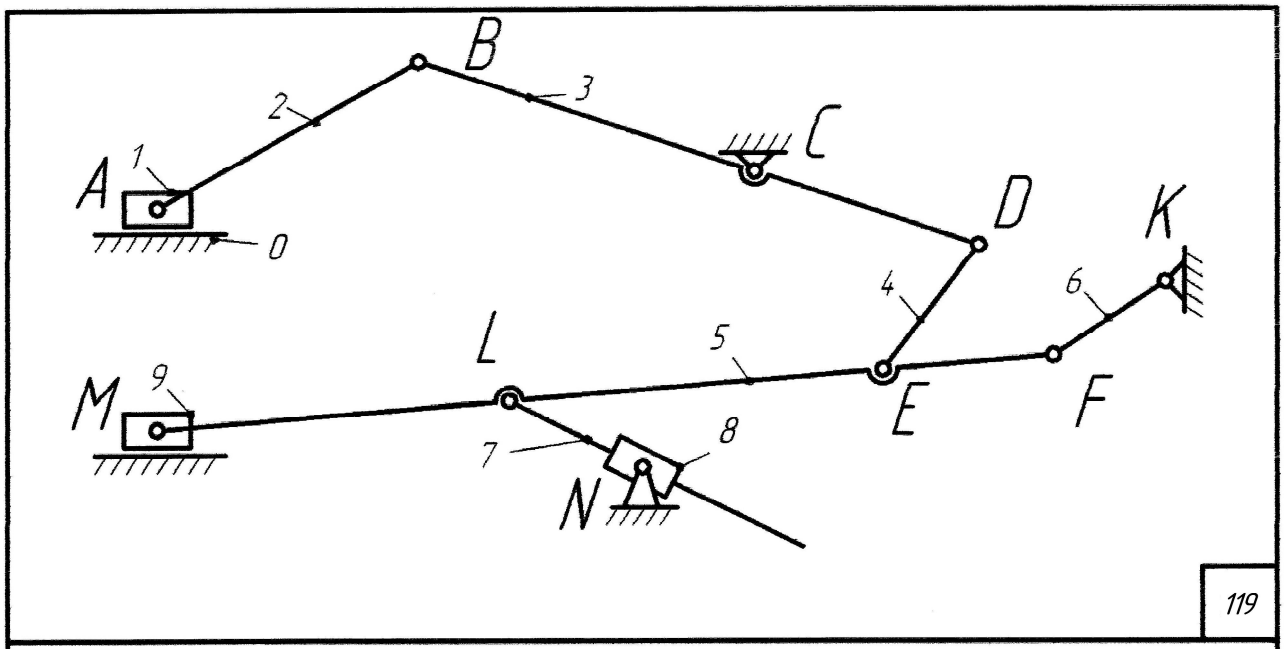
116



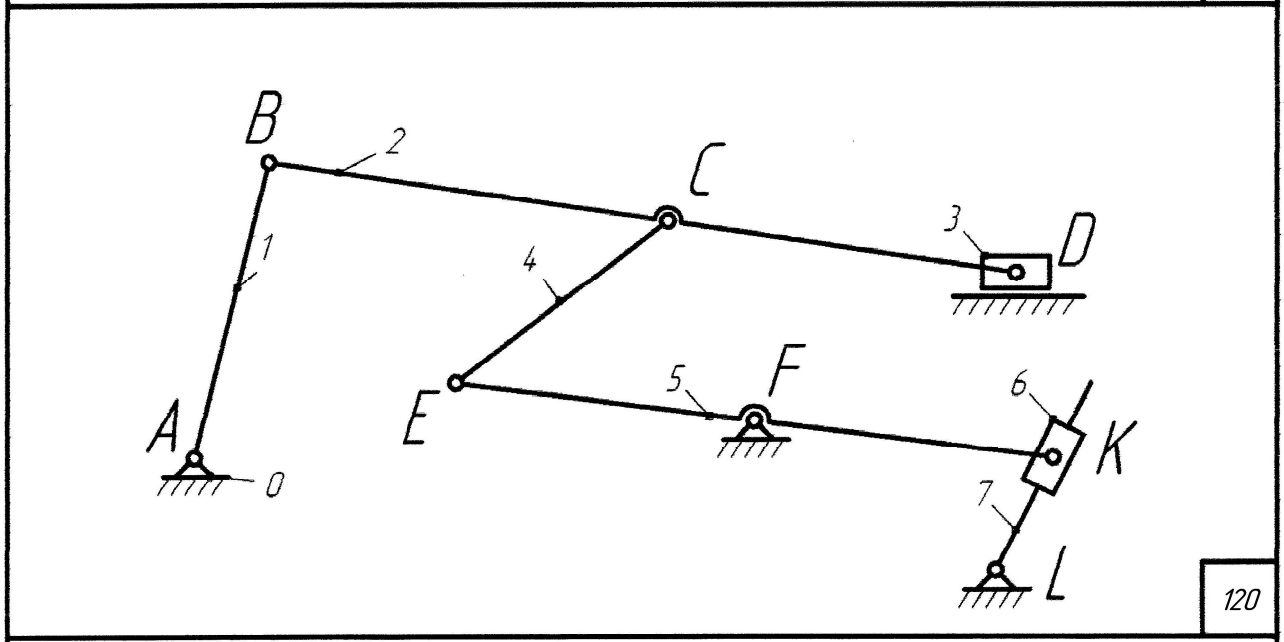
117



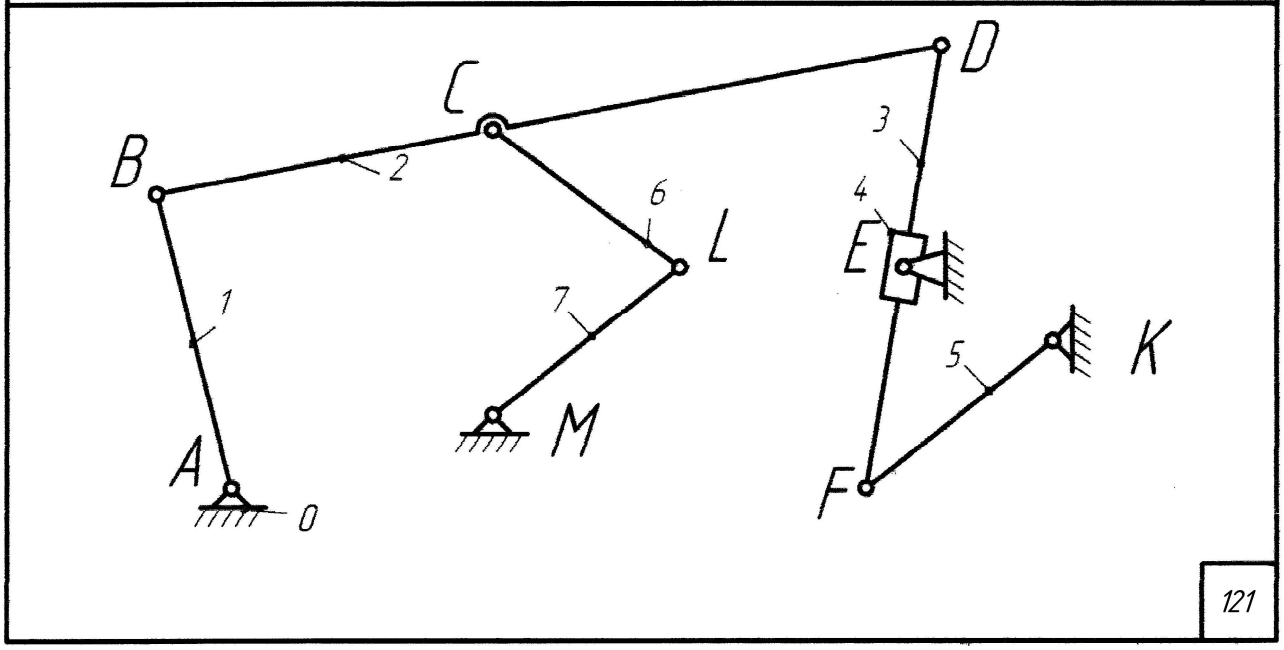
118


B
2
3
C
A
1
D
K
0
4
6
L
5
M
9
E
F
7
8
N

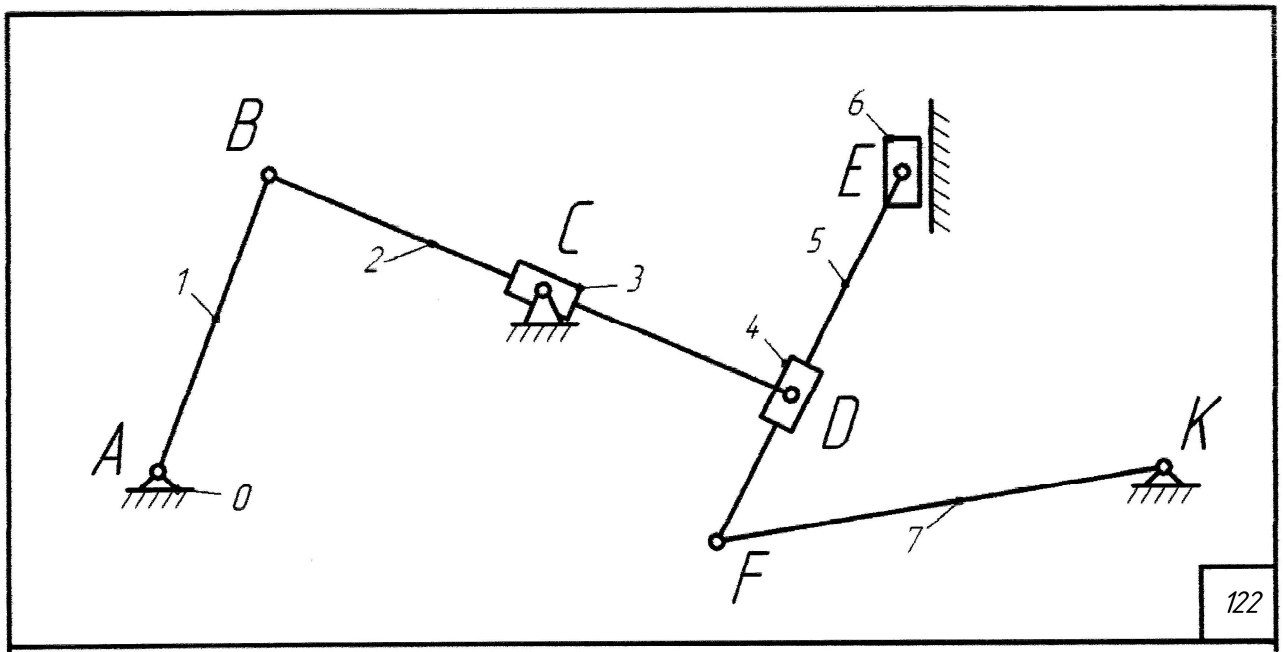
119


B
2
C
3
D
1
4
E
5
F
6
A
K
0
7
L

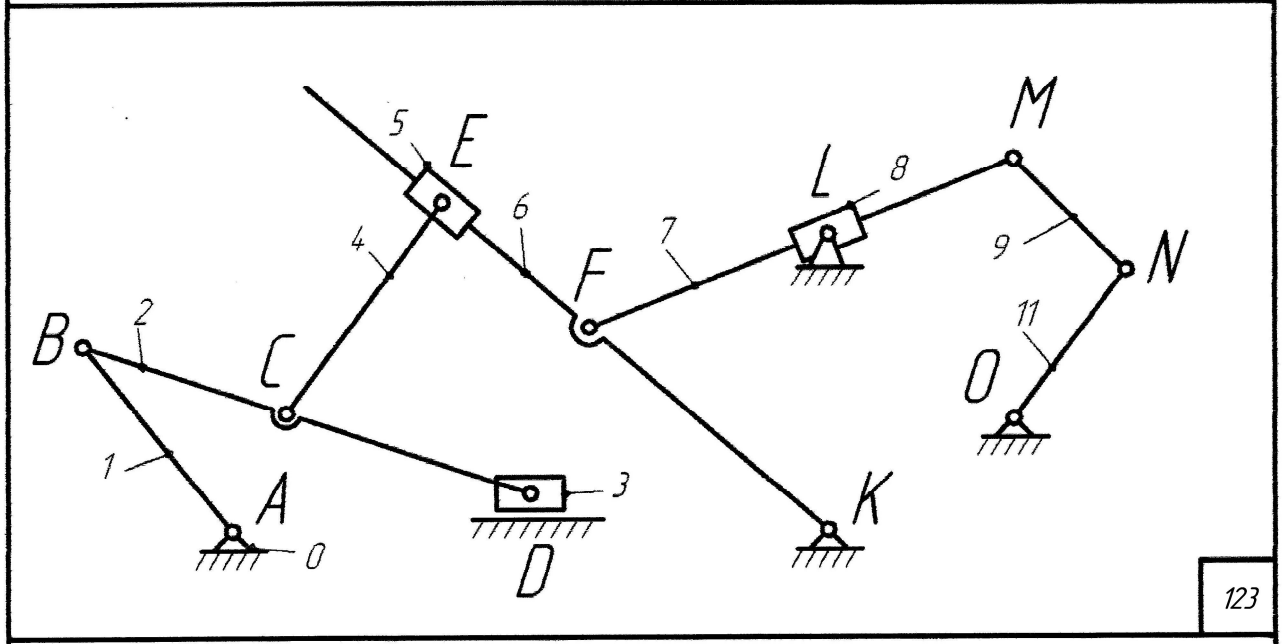
120


D
C
3
B
2
6
4
L
E
1
7
5
K
M
A
F
0

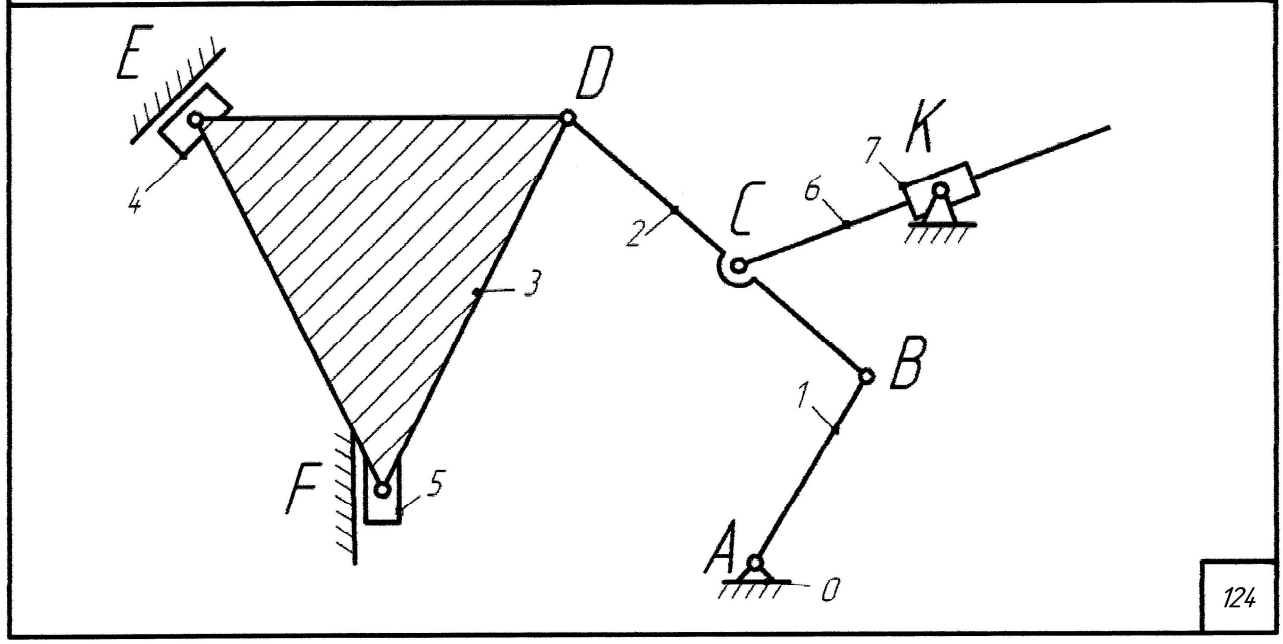
121


B
A
C
D
E
F
K
0
1
2
3
4
5
6
7

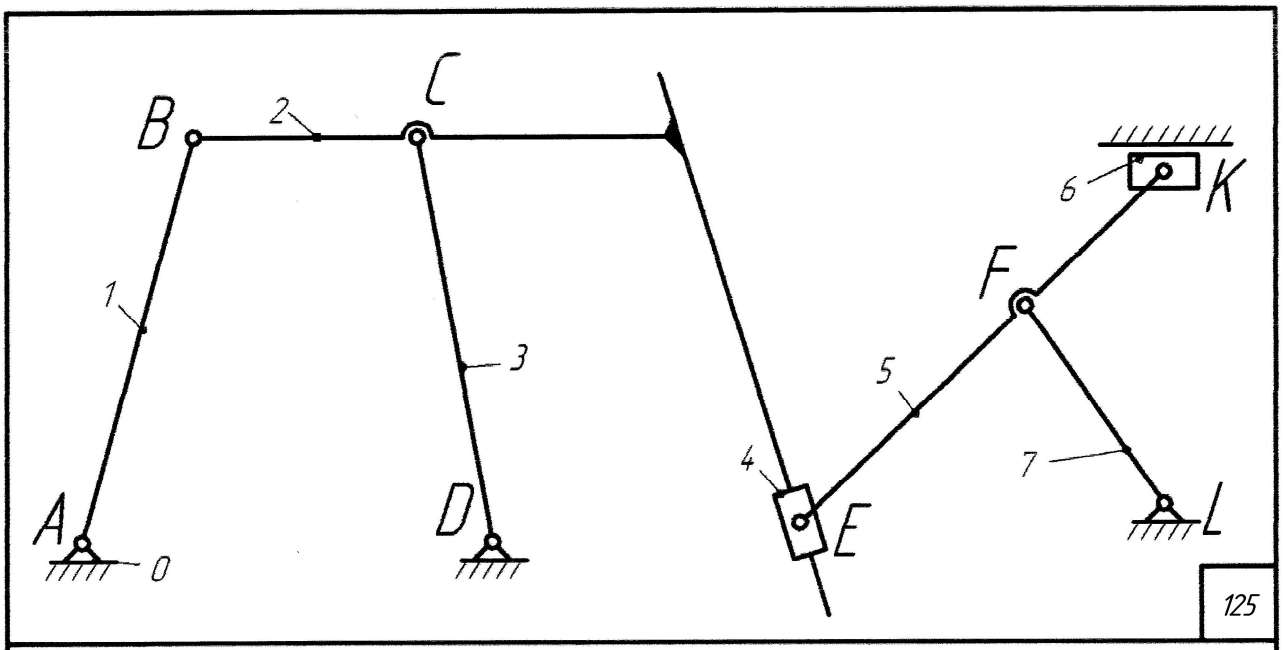
122


B
A
C
D
E
F
K
L
M
N
O
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
11

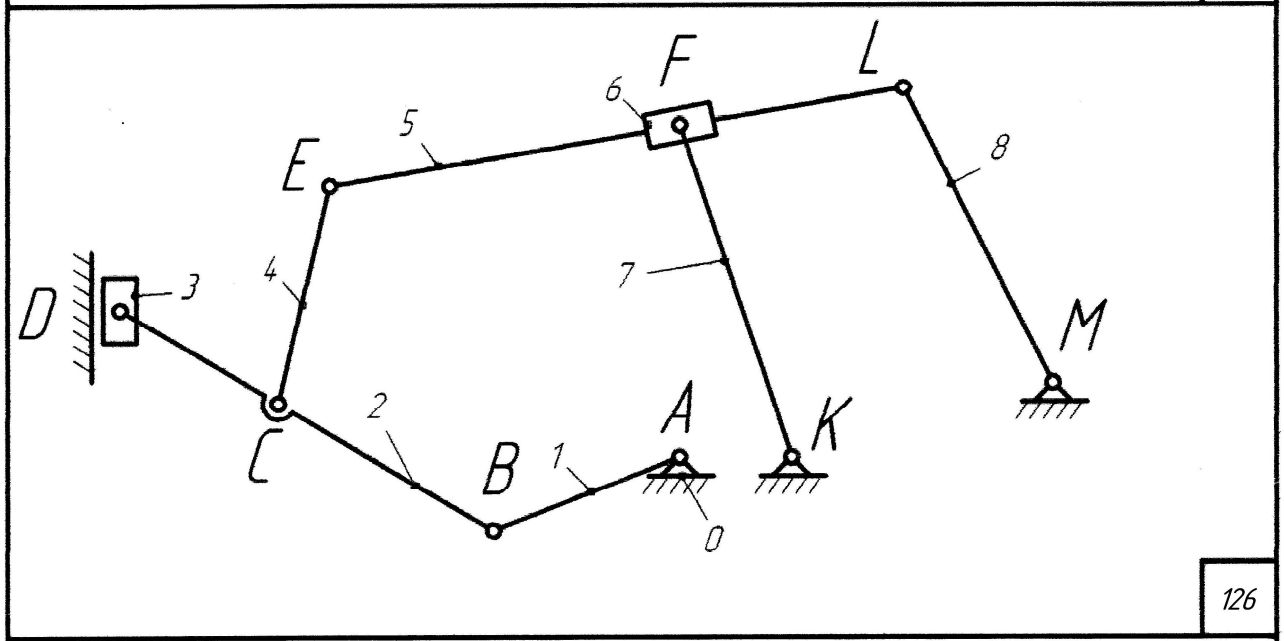
123


E
D
C
B
A
F
K
0
1
2
3
4
5
6
7

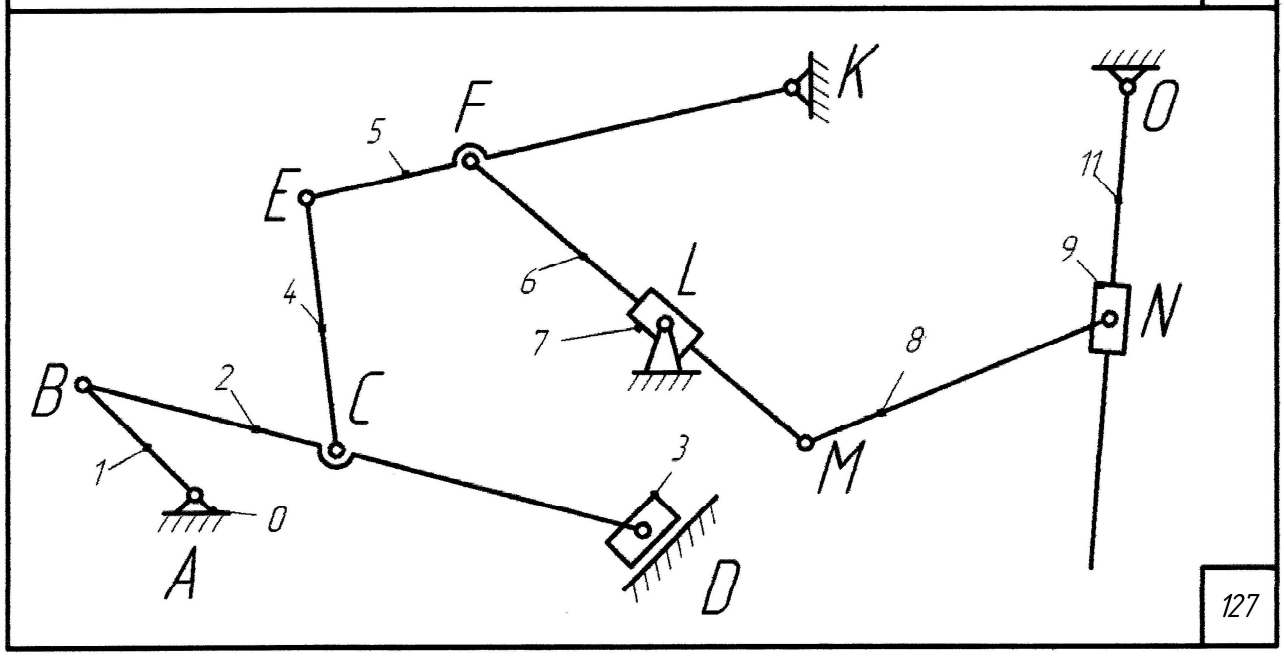
124


B
2
C
1
3
A
0
D
6
K
F
5
4
E
7
L

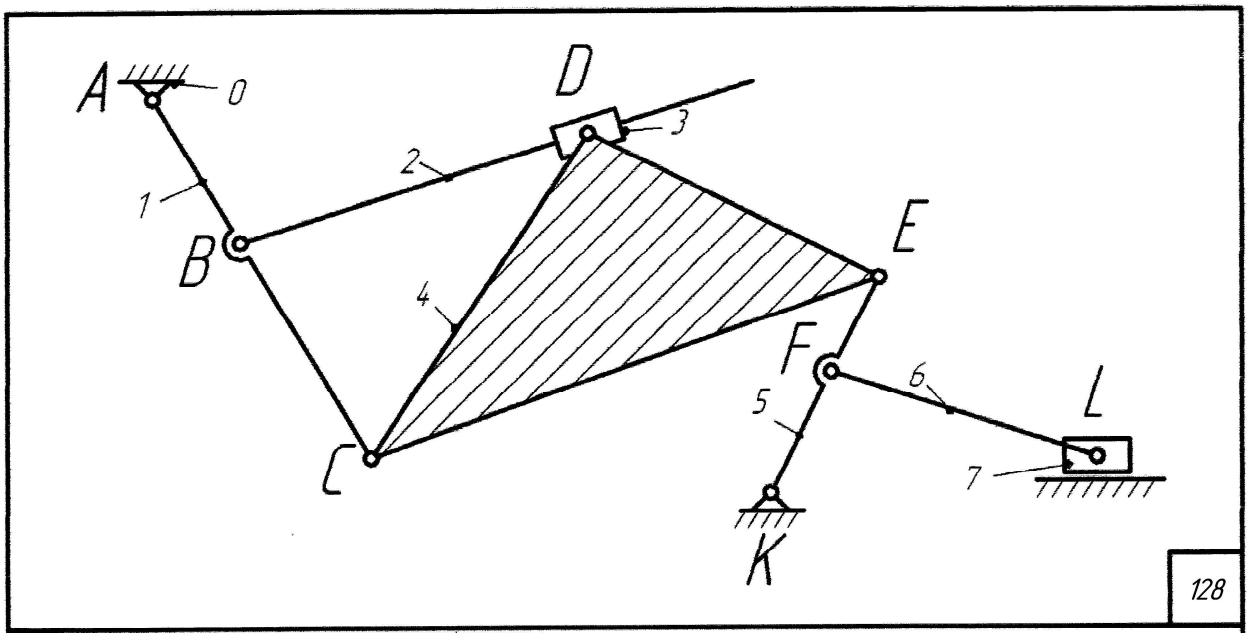
125


F
L
6
5
8
E
4
7
D
3
M
2
A
K
C
B
1
0

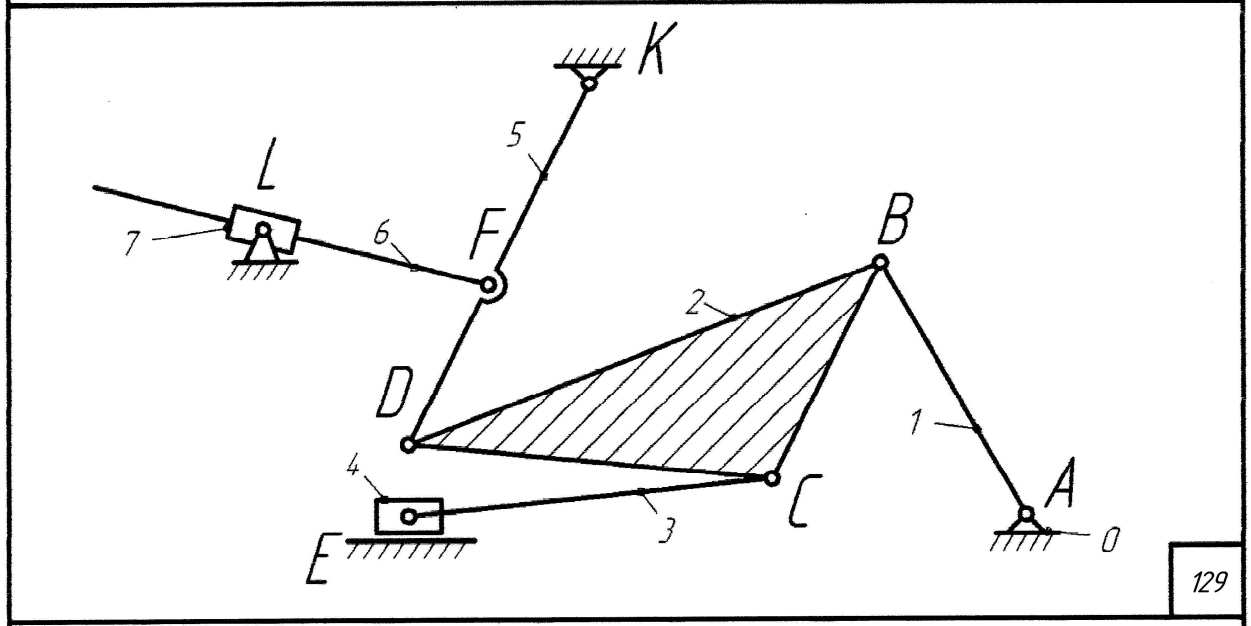
126


K
O
F
5
11
E
9
6
L
4
N
7
8
B
2
C
1
3
M
0
A
D

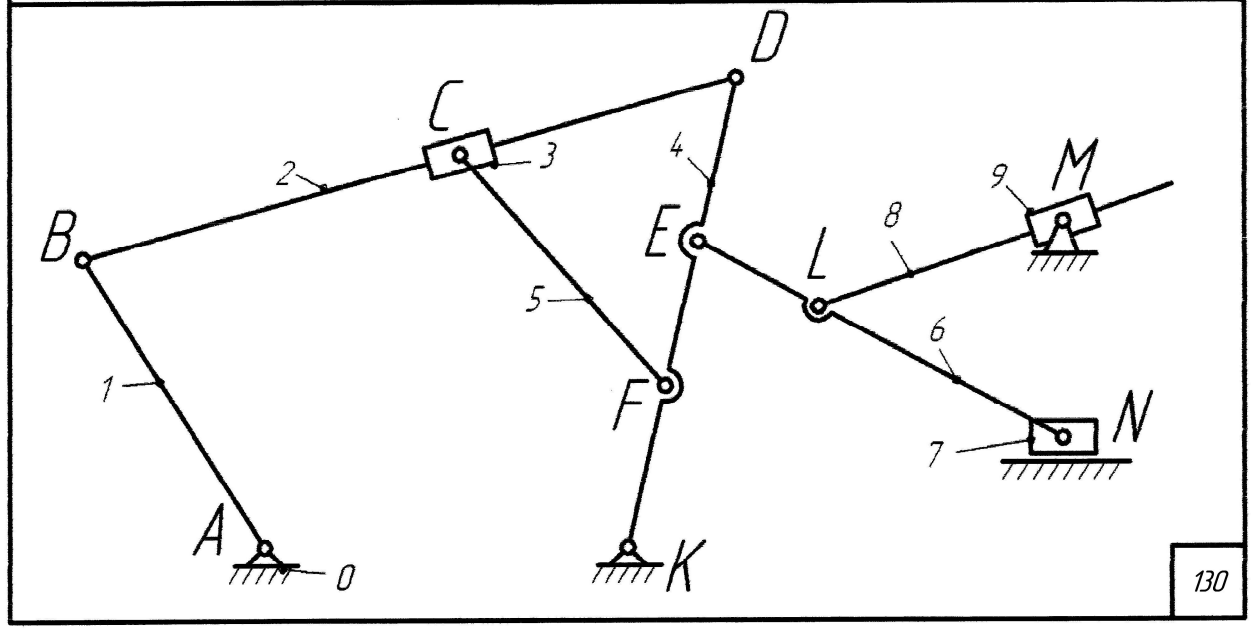
127


A
0
D
3
2
1
B
E
4
F
6
L
5
7
C
K

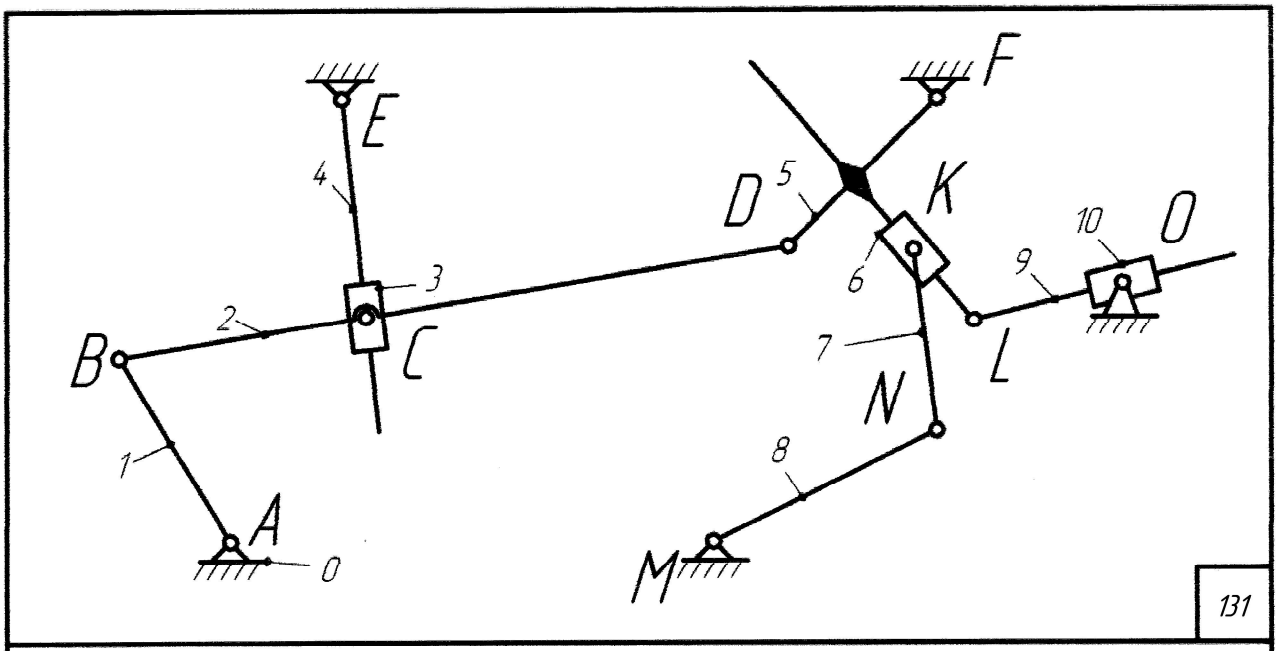
128


K
5
L
7
6
F
B
2
D
1
4
C
A
3
0
E

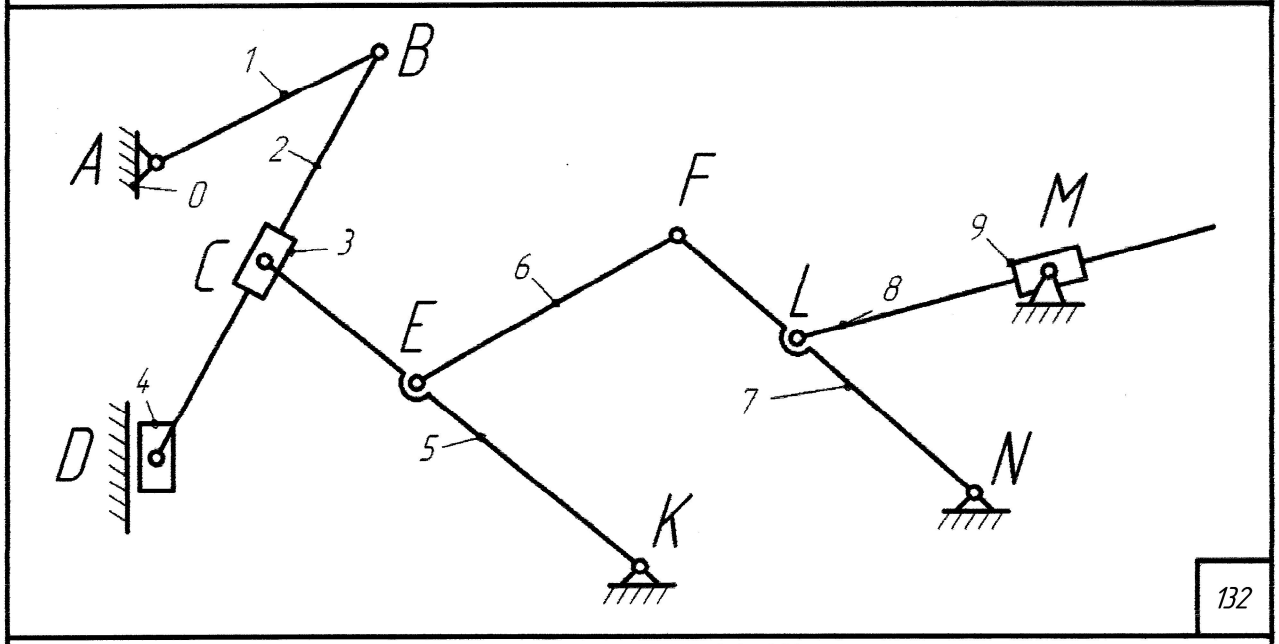
129


D
C
3
4
2
9
M
B
E
8
L
5
6
1
F
7
N
A
0
K

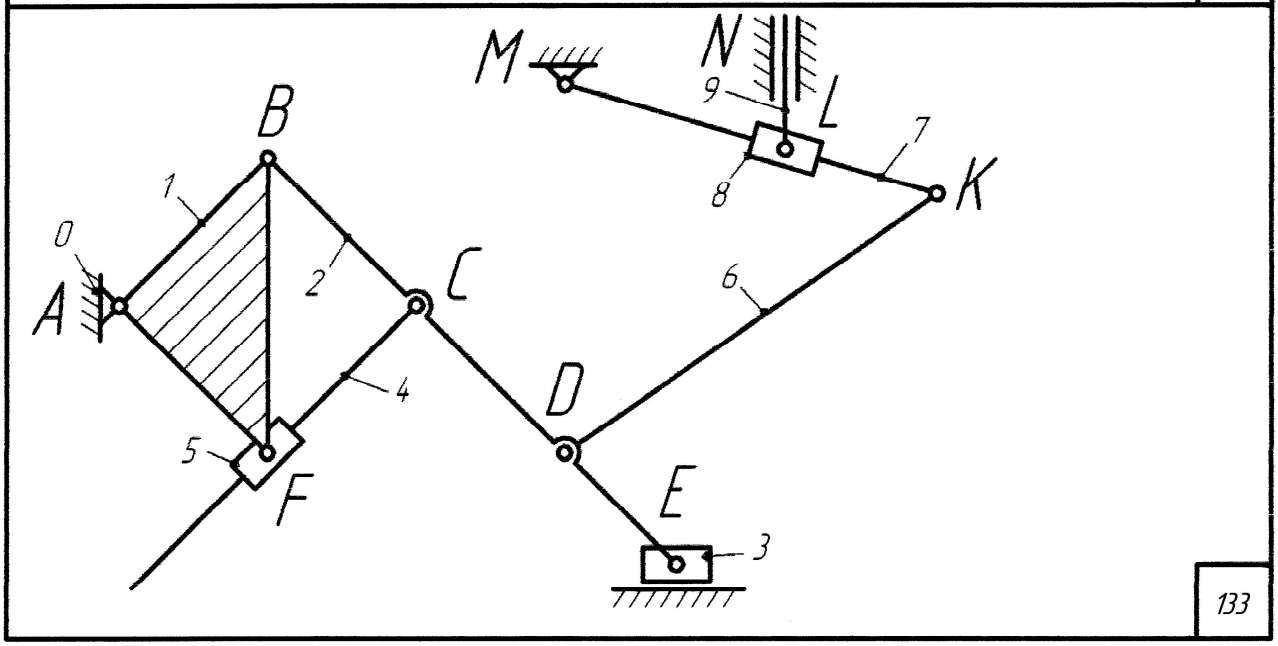
130


E
F
4
5
D
K
10
O
3
6
9
2
C
B
7
L
N
1
8
A
0
M

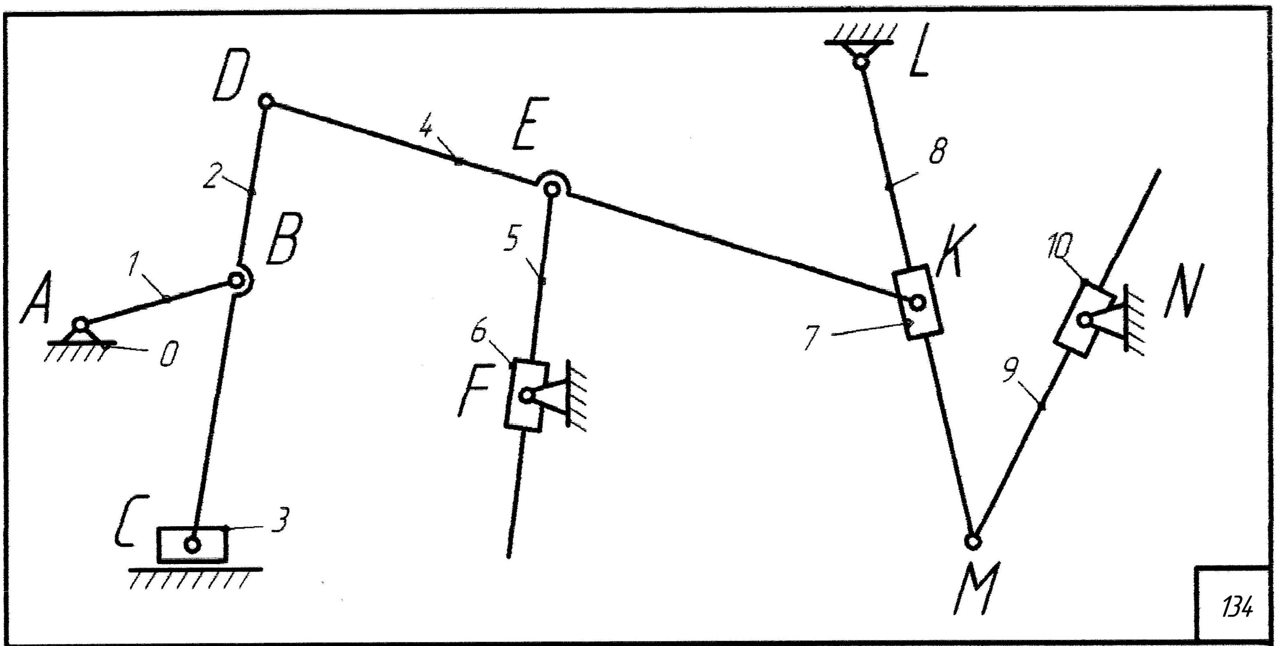
131

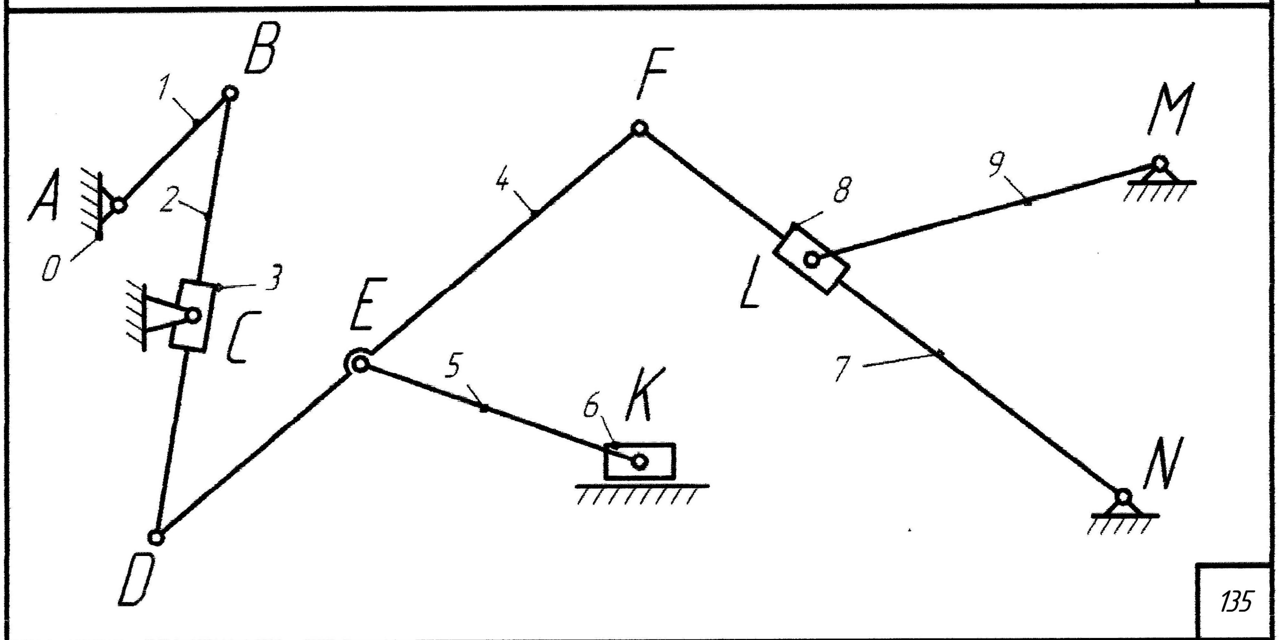

1
B
A
2
0
F
M
C
3
6
9
L
8
E
4
7
D
5
N
K

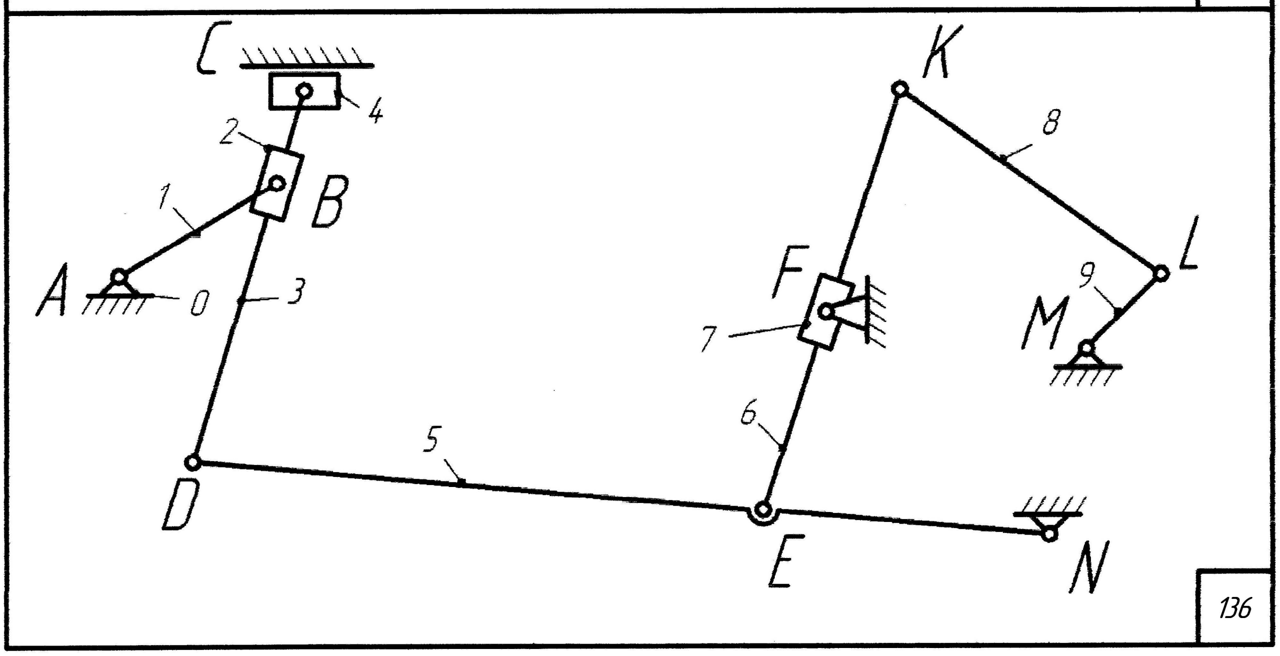
132

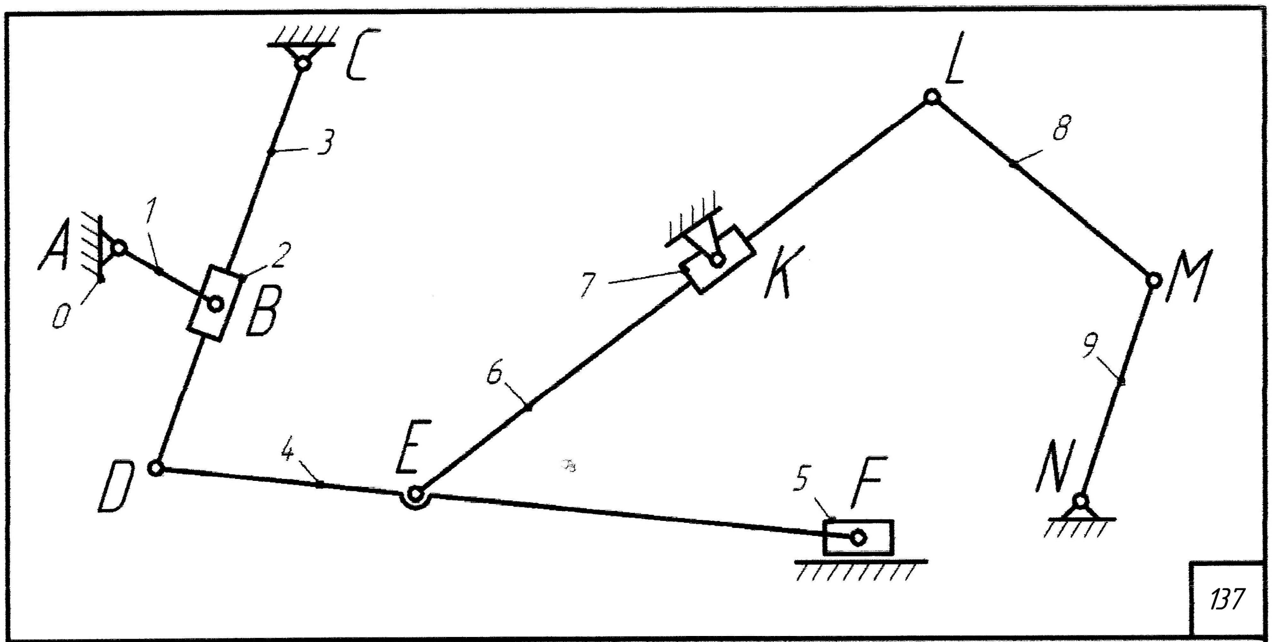

M
N
B
9
L
7
1
8
K
0
2
C
6
A
4
D
5
F
E
3

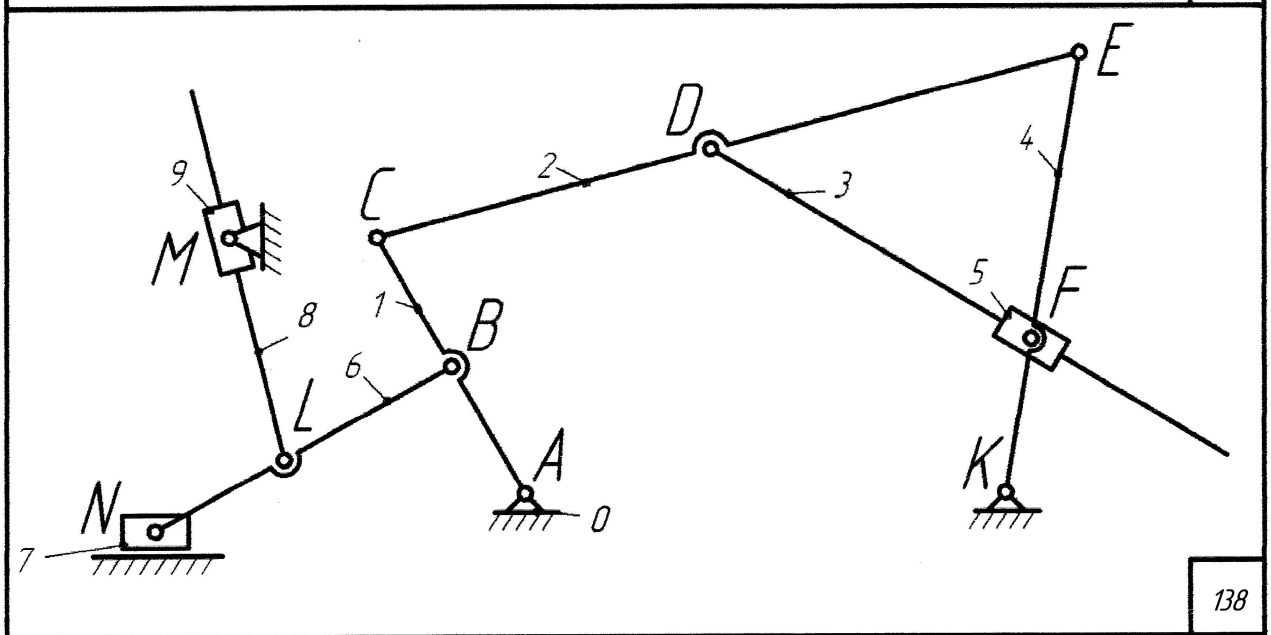
133

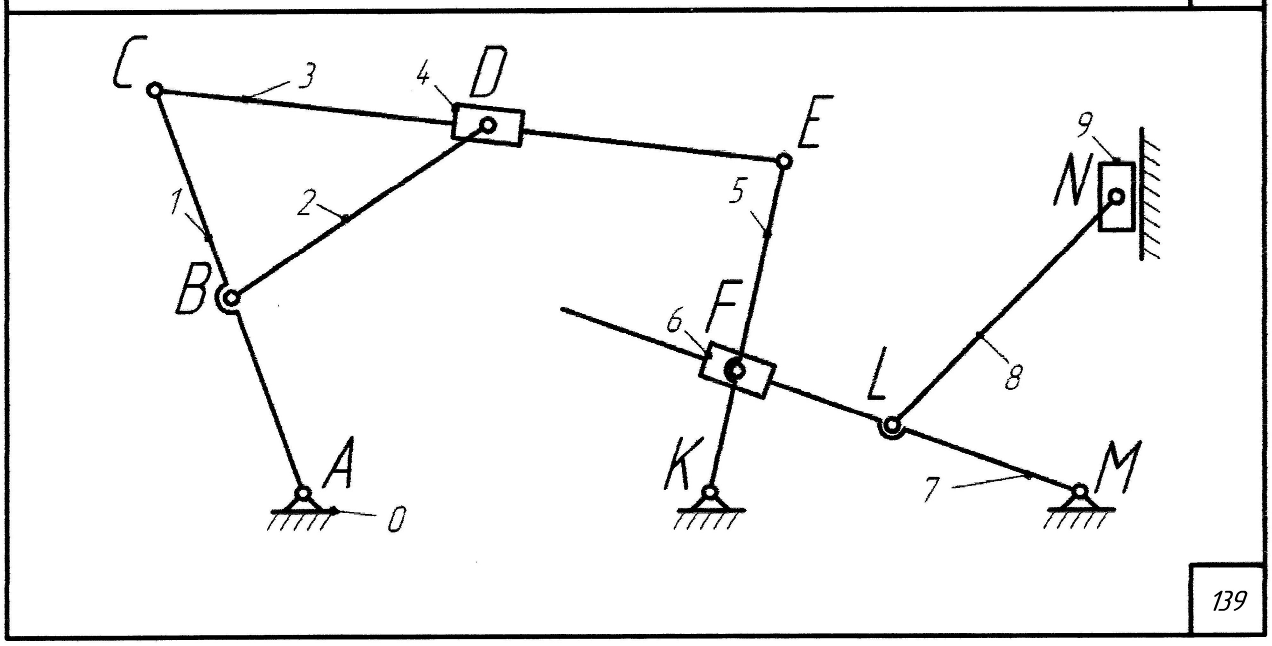

A
B
C
D
E
F
K
L
M
N
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
134

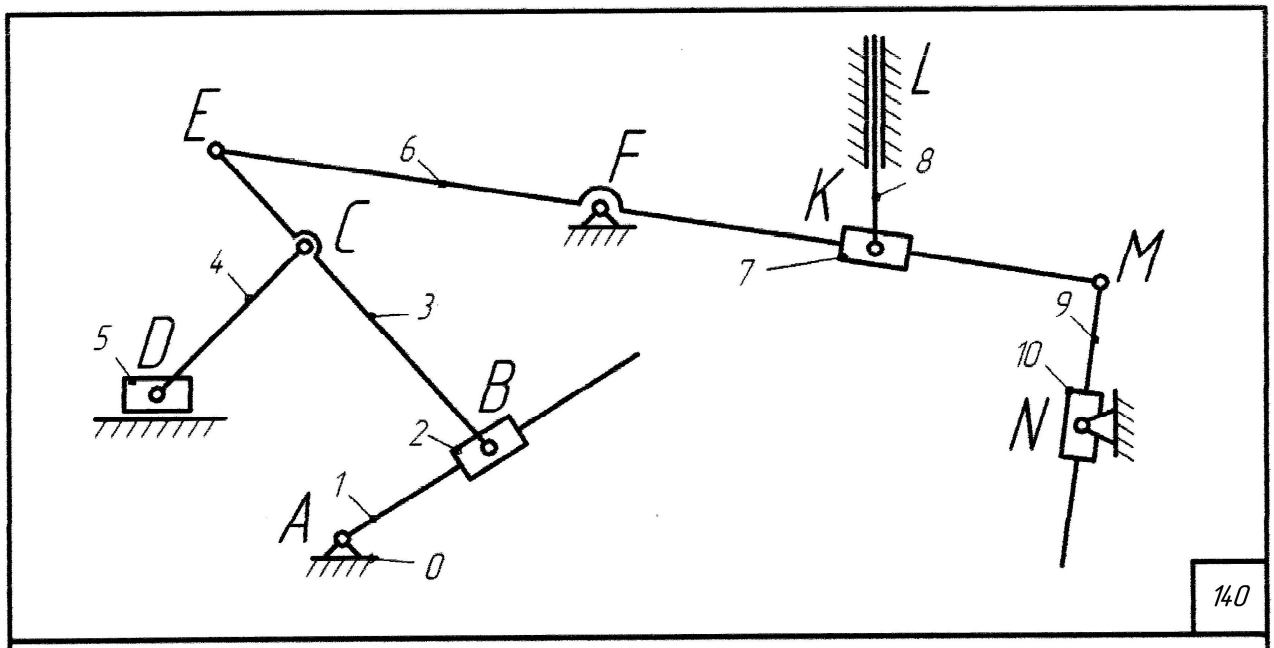

A
B
C
D
E
F
K
L
M
N
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
135


A
B
C
D
E
F
K
L
M
N
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
136

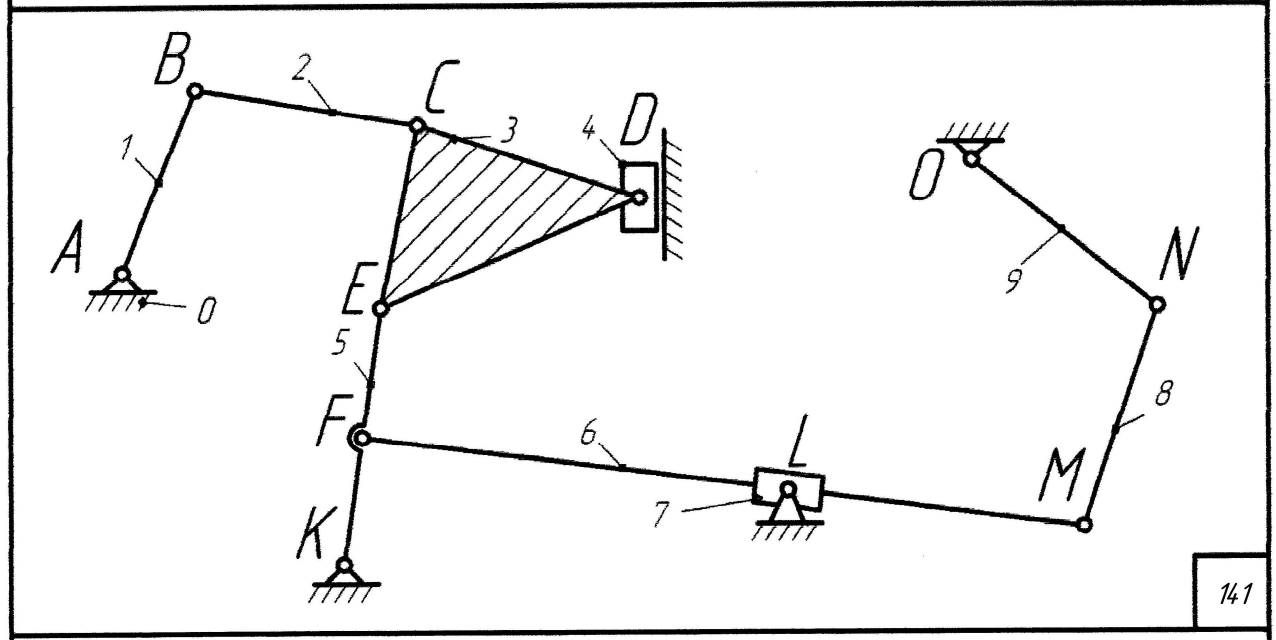

C
L
3
8
1
A
2
K
7
B
M
0
9
6
E
D
4
5
F
N
137


E
D
9
2
4
3
C
M
1
5
F
8
B
6
L
A
K
N
0
7
138

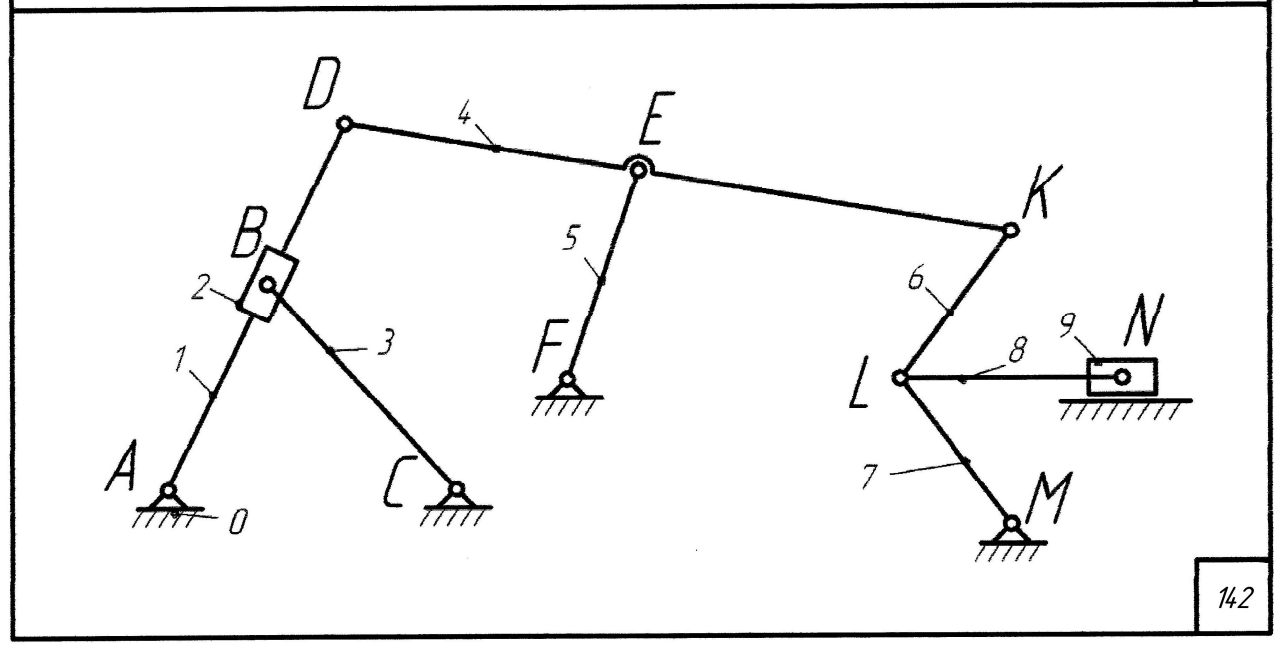

C
3
4
D
E
9
1
2
5
N
B
F
6
8
L
A
K
7
M
0
139


E
6
F
L
8
K
C
4
3
7
M
9
5
D
B
10
N
2
1
A
0

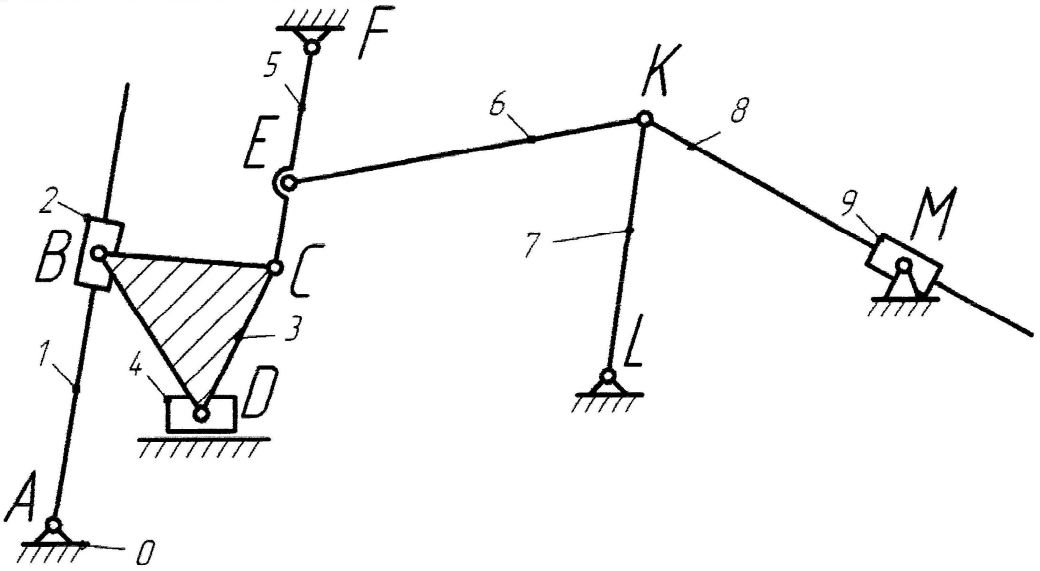
140


B
2
C
3
4
D
1
A
0
E
5
F
6
L
7
K
O
9
N
8
M

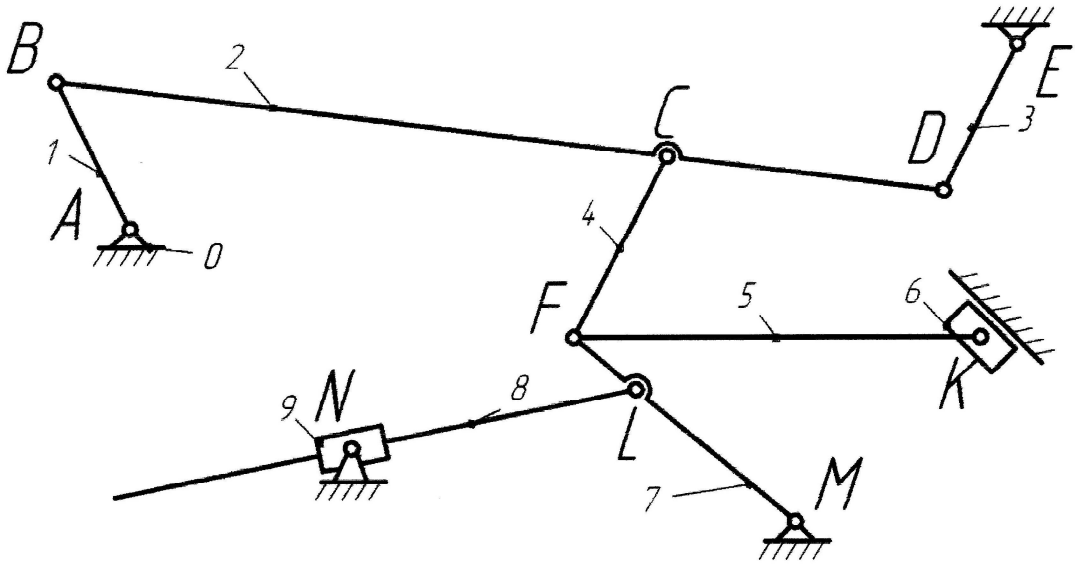
141


D
4
E
K
B
5
6
2
3
F
9
N
1
8
L
A
0
C
7
M

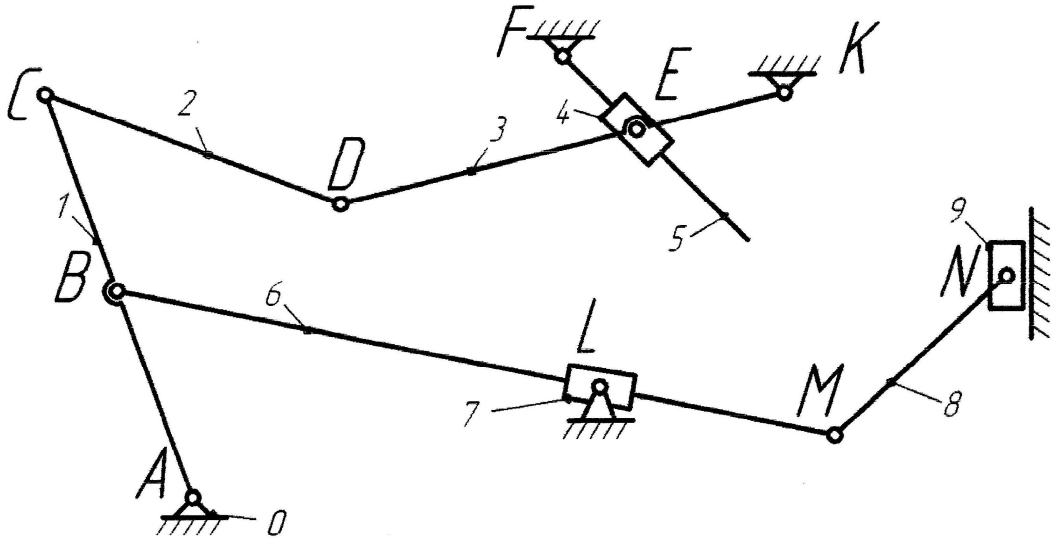
142


F
5
K
6
8
E
2
B
C
7
9
M
3
1
4
D
L
A
0

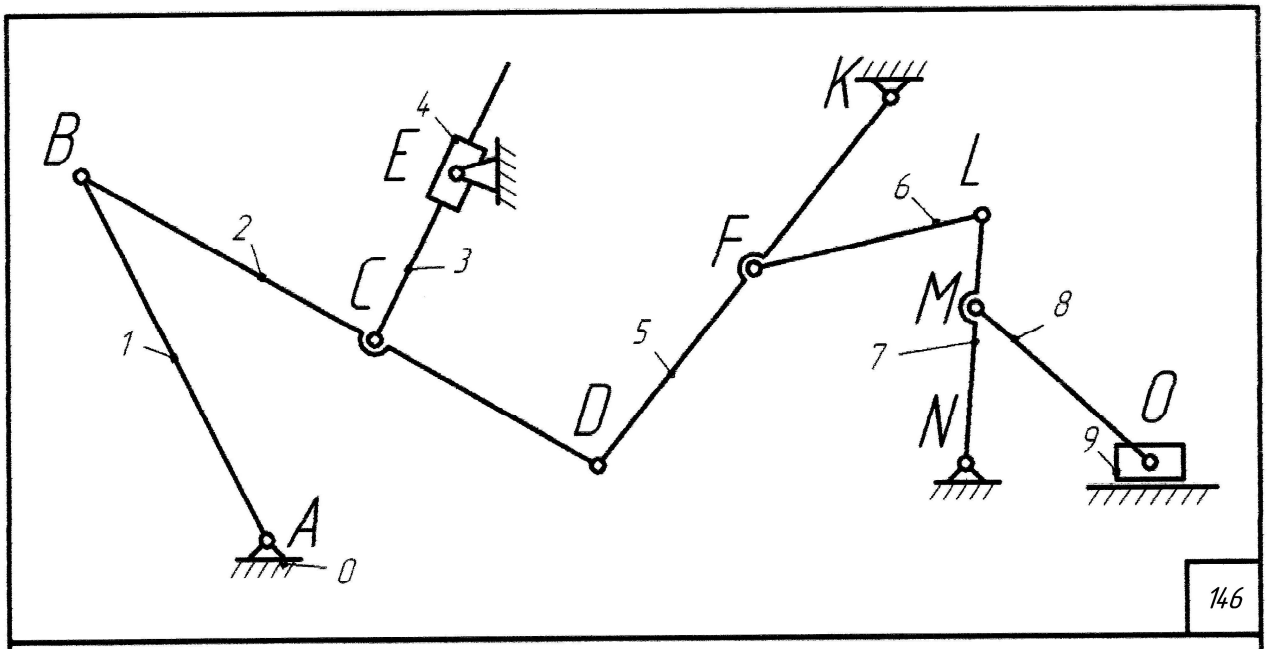
143


B
2
E
C
D
3
1
A
0
4
F
5
6
K
9
N
8
L
7
M

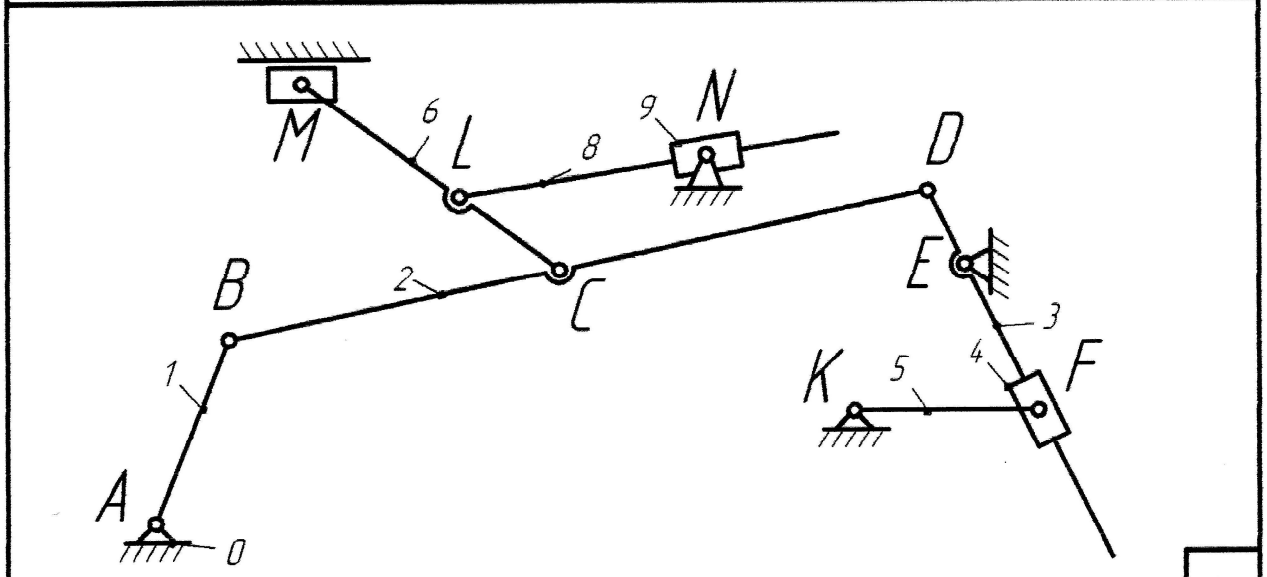
144


F
K
C
2
E
4
D
3
1
5
9
B
6
N
L
7
M
8
A
0

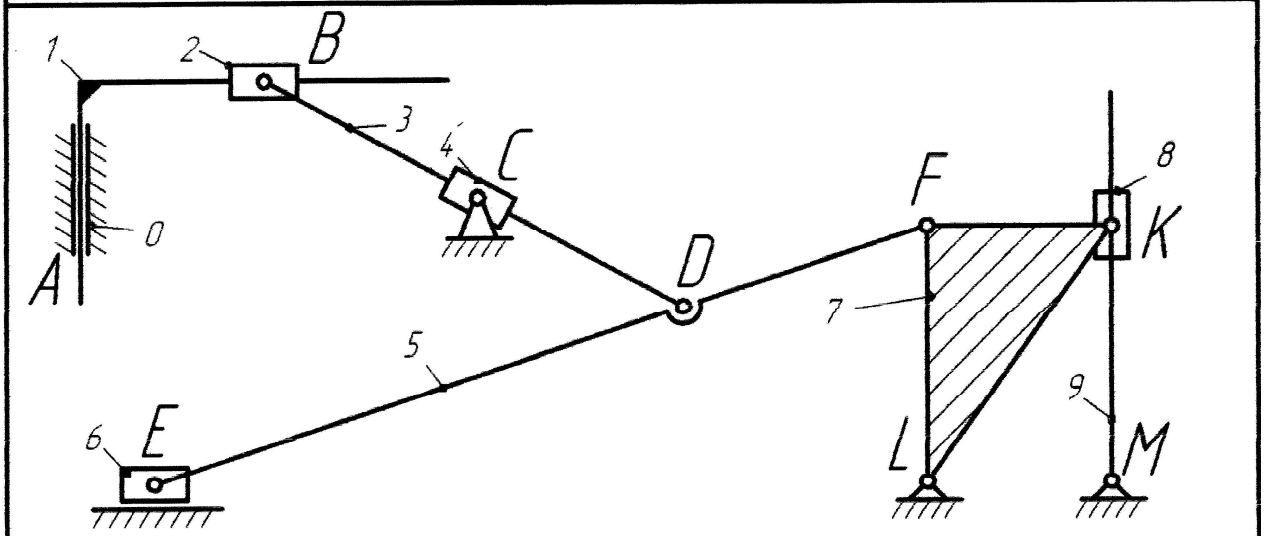
145


B
E
4
K
L
6
2
C
3
F
M
8
1
5
7
D
N
O
9
A
0

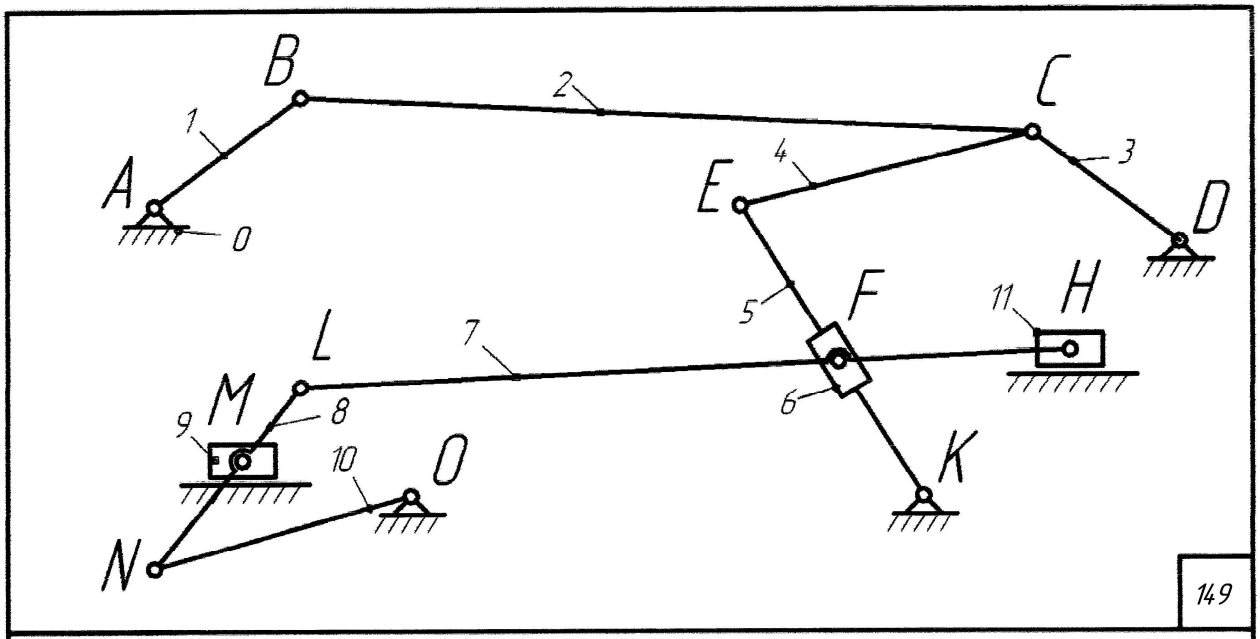
146


M
6
L
9
N
8
D
B
2
C
E
3
1
K
5
4
F
A
0

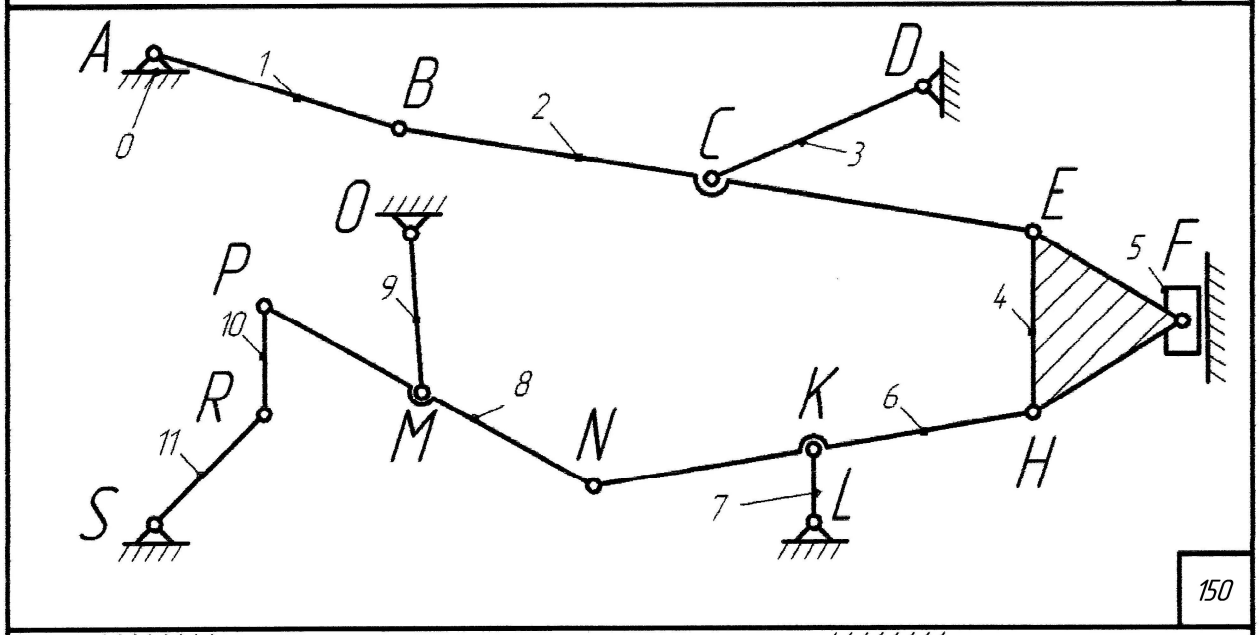
147


1
2
B
3
4
C
8
F
K
0
A
D
7
5
9
6
E
L
M

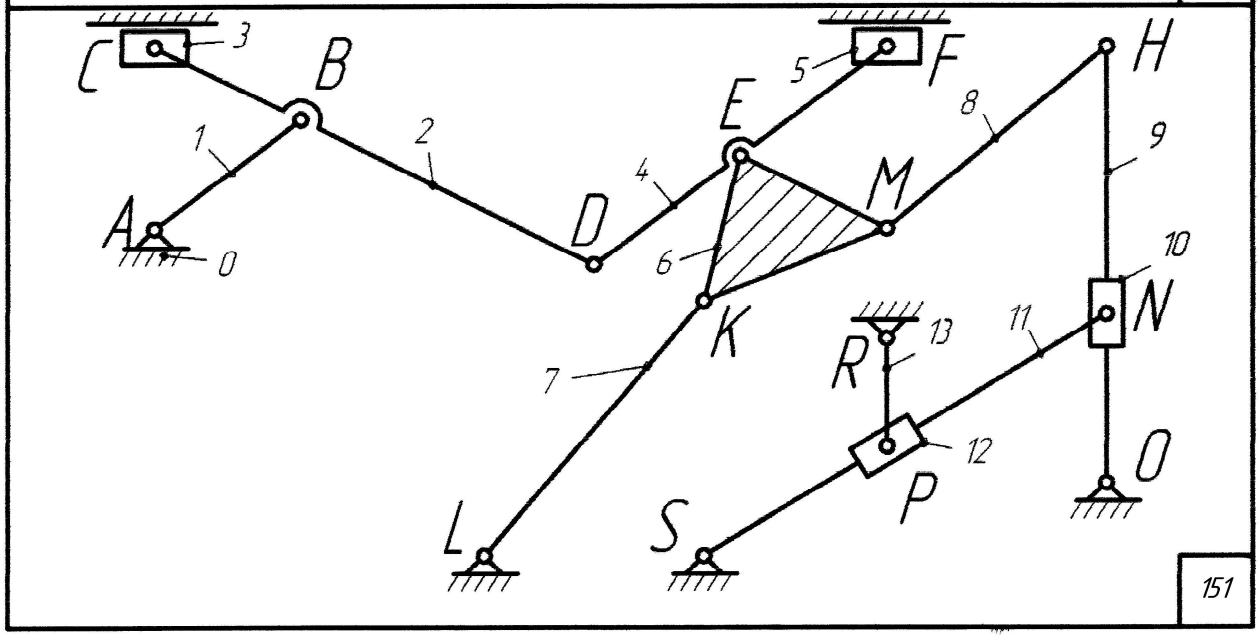
148


B
2
C
1
4
3
A
E
D
0
5
F
11
H
L
7
M
6
9
8
10
O
K
N

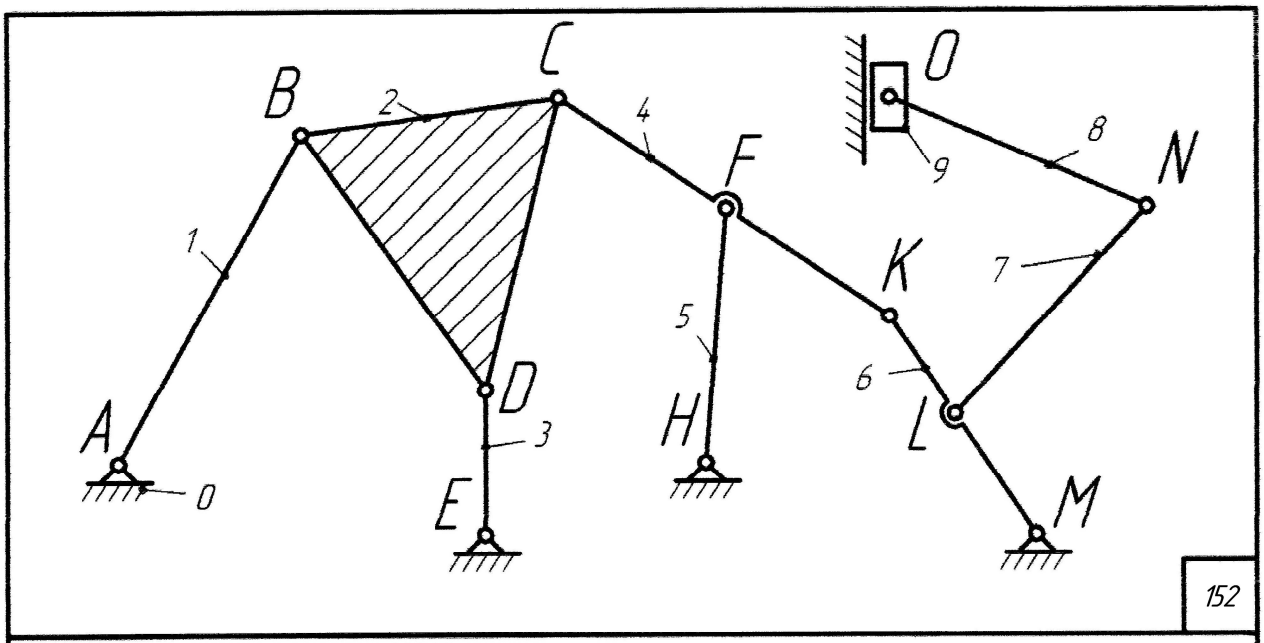
149

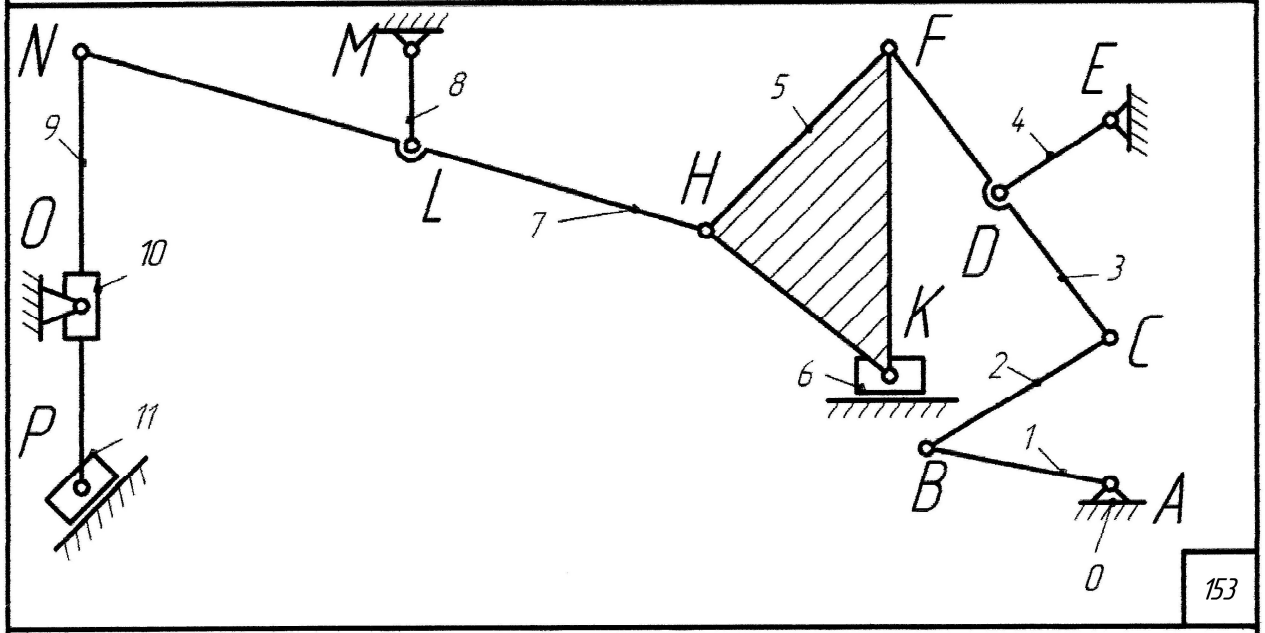

A
1
B
2
D
C
3
0
E
O
5
F
P
9
4
10
R
8
K
6
11
M
N
H
S
7
L

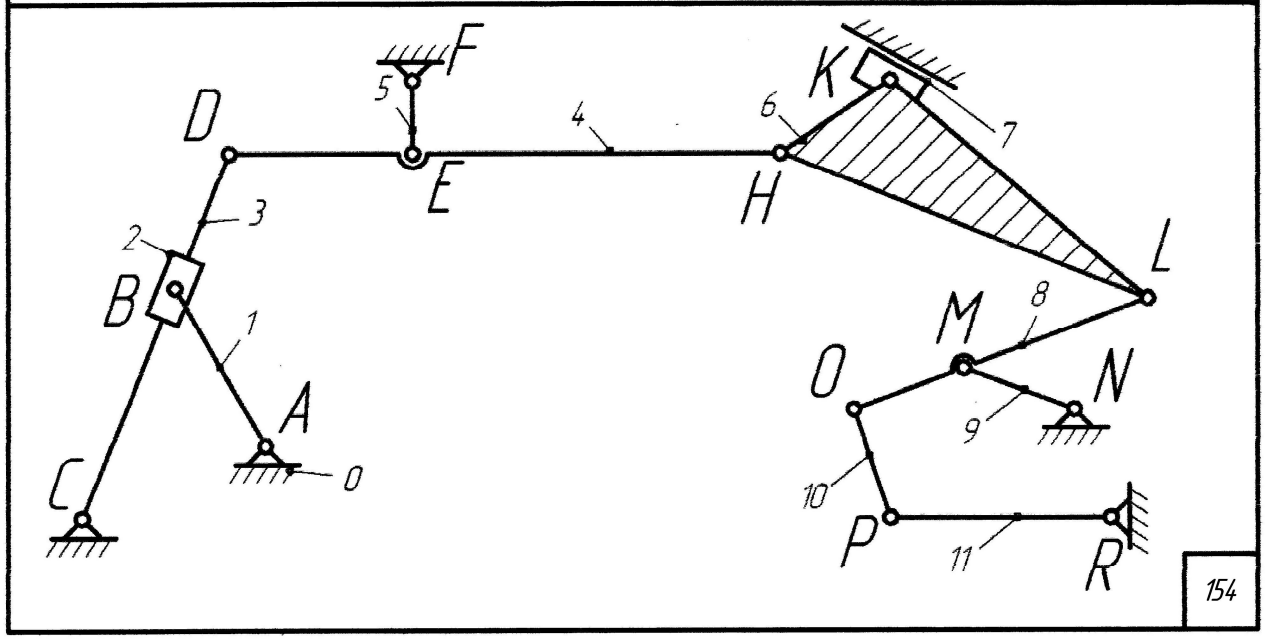
150

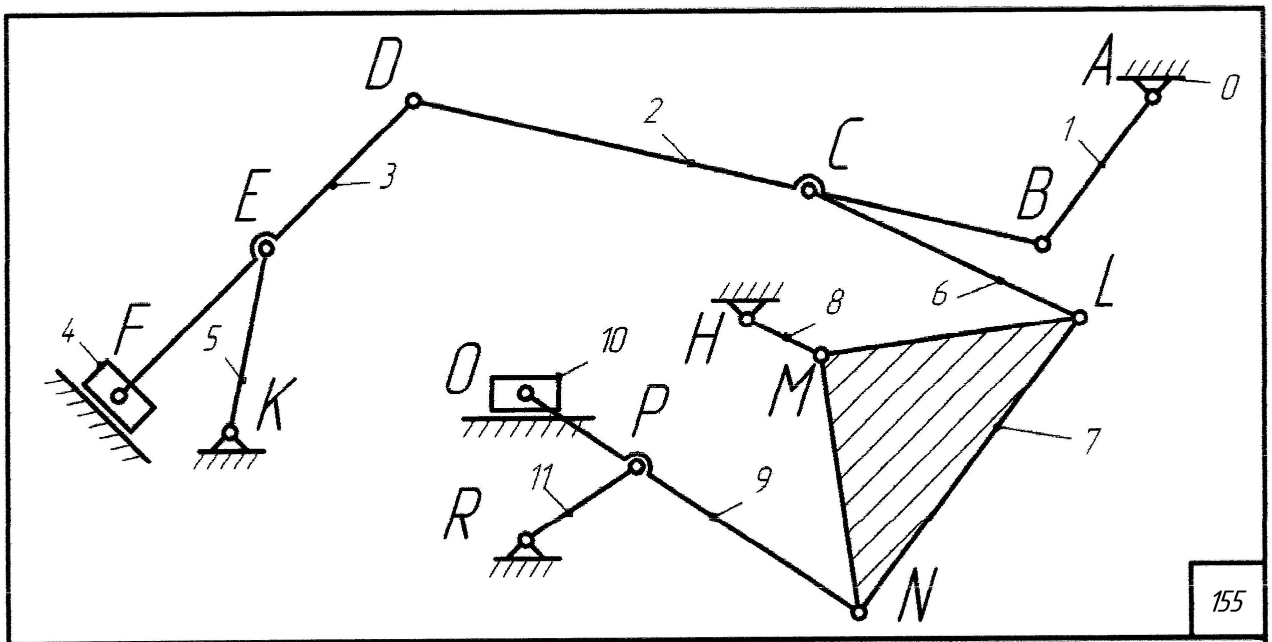

C
3
B
5
F
H
1
2
E
8
9
4
M
A
D
0
6
10
K
7
13
R
11
N
12
P
O
L
S

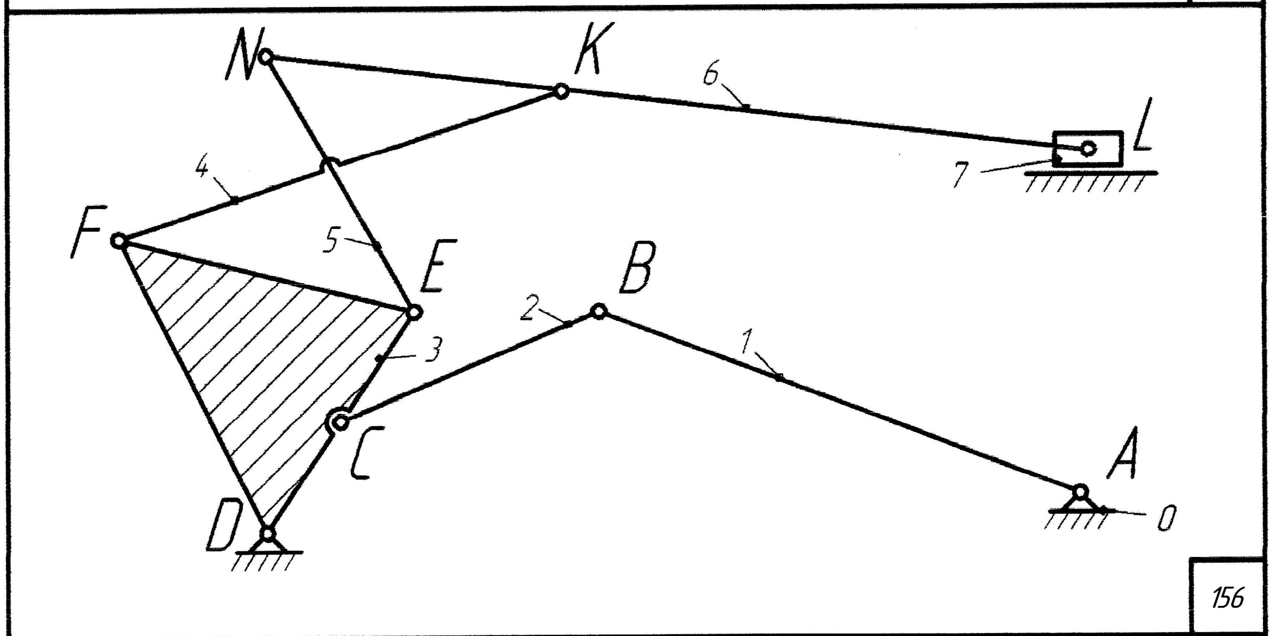
151

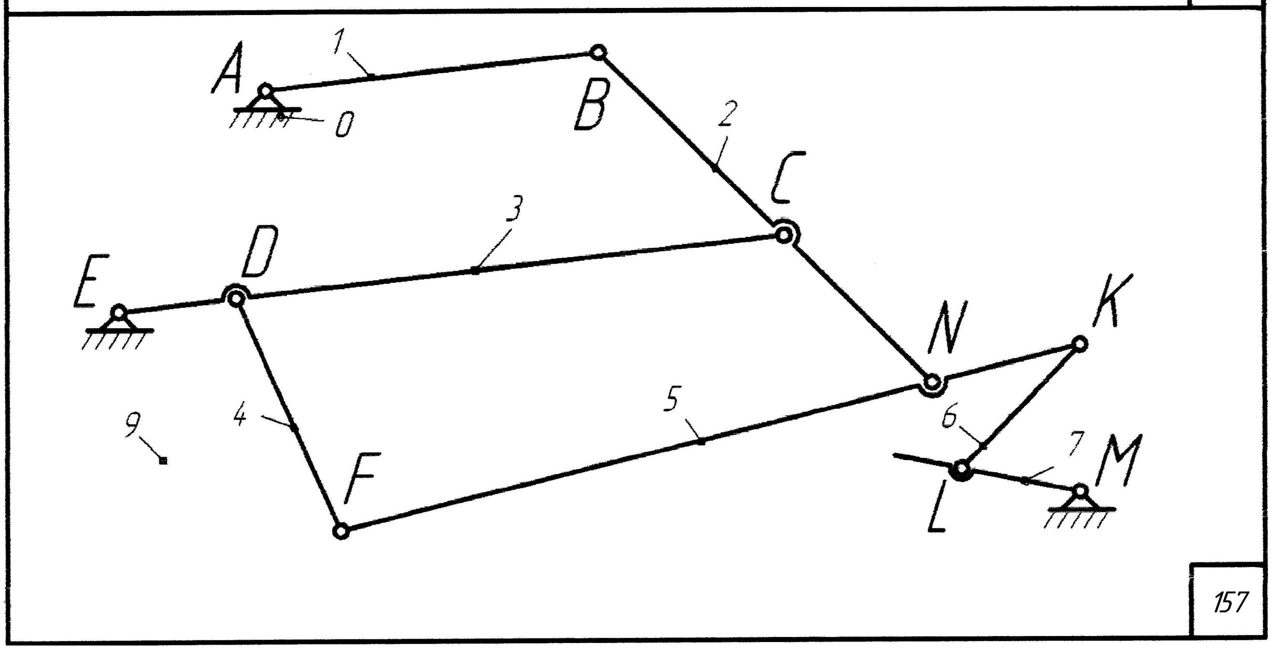

A
B
C
D
E
F
H
K
L
M
N
O
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
152

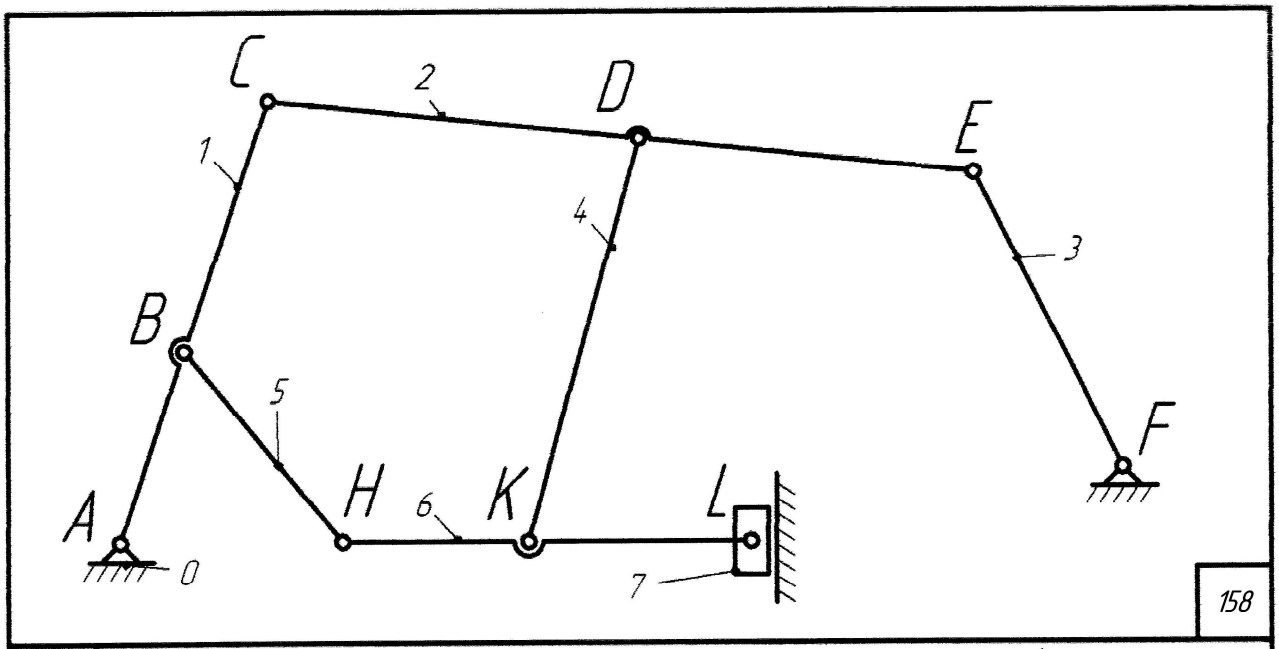

N
M
F
E
O
P
L
H
K
D
C
B
A
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
153


F
D
E
K
H
L
M
N
O
P
R
B
A
C
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
154

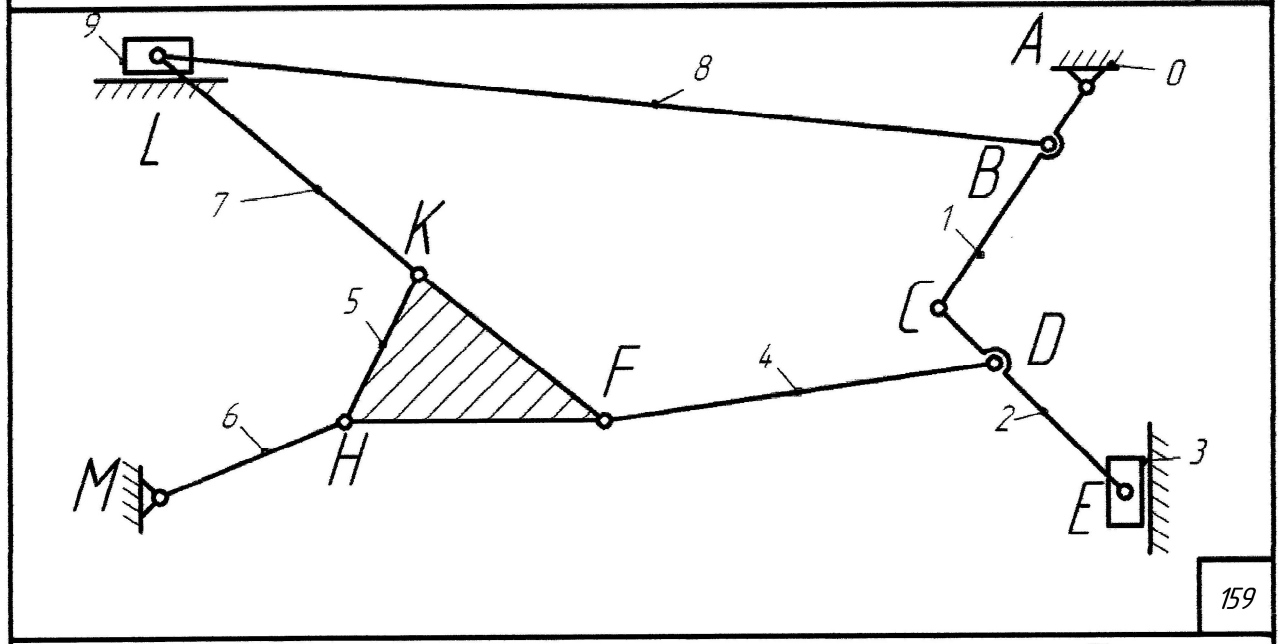

D
2
C
A
0
1
B
E
3
L
6
8
H
F
4
5
K
O
10
M
P
7
R
11
9
N
155


N
K
6
L
7
4
F
5
E
B
2
3
1
C
A
D
0
156

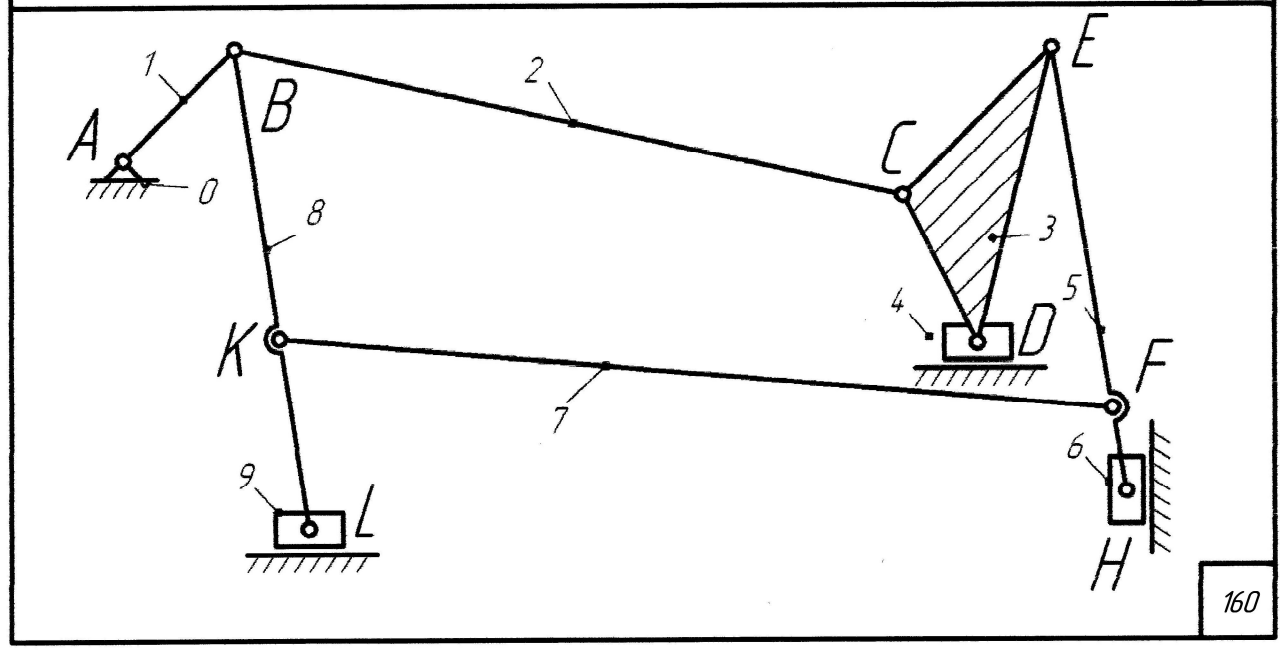

A
1
B
0
2
C
3
E
D
N
K
9
4
5
6
7
M
F
L
157


C
2
D
E
1
4
3
B
5
F
A
H
6
K
L
0
7

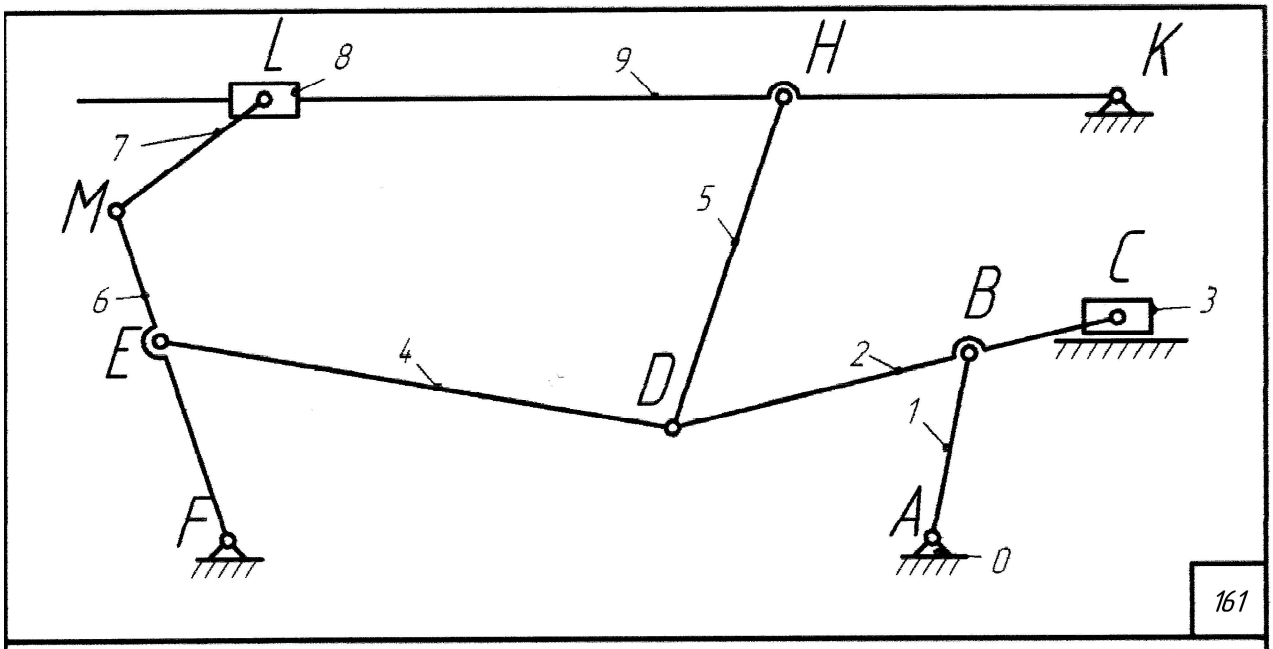
158


9
8
A
0
L
B
7
1
K
5
C
D
F
4
6
2
H
3
M
E

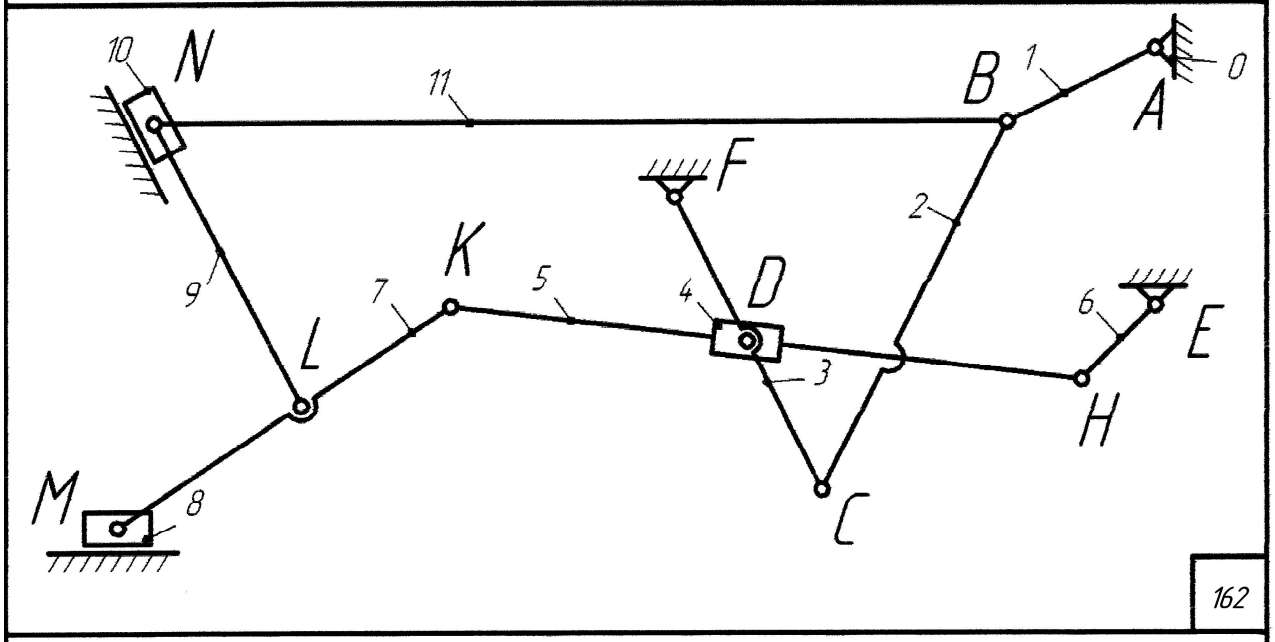
159


1
2
E
A
B
C
0
8
3
4
5
K
D
F
7
6
9
L
H

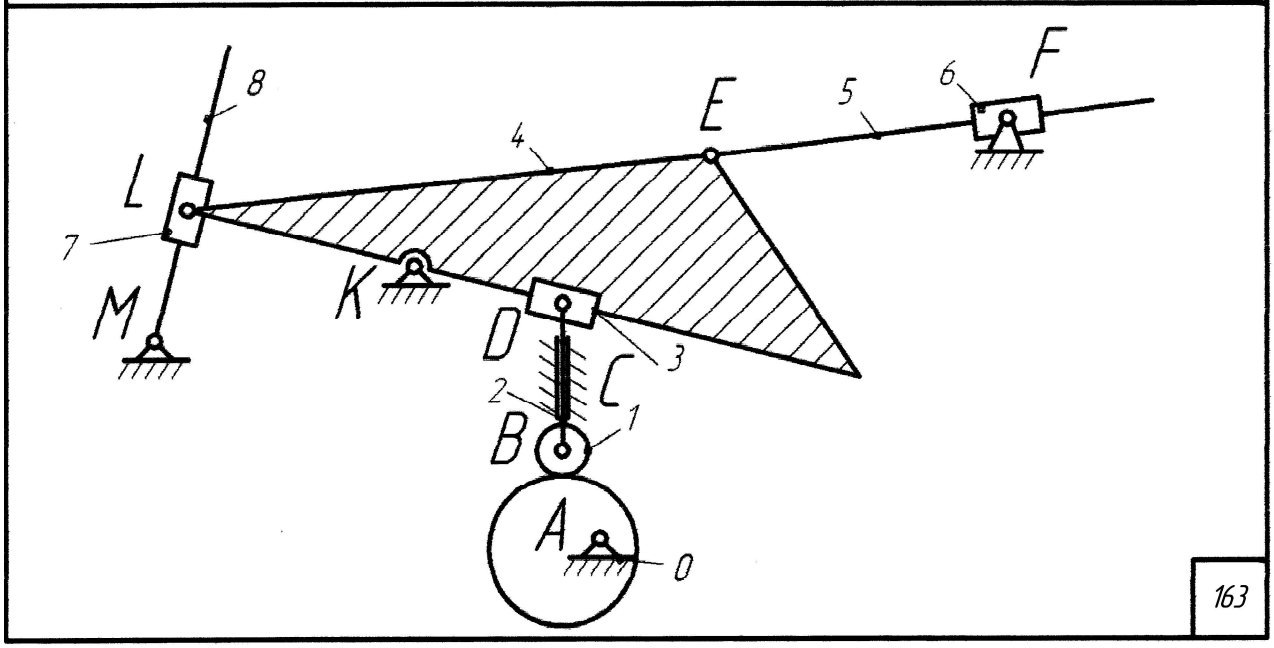
160


L
8
9
H
K
7
M
5
6
B
C
3
E
4
D
2
1
A
F
0

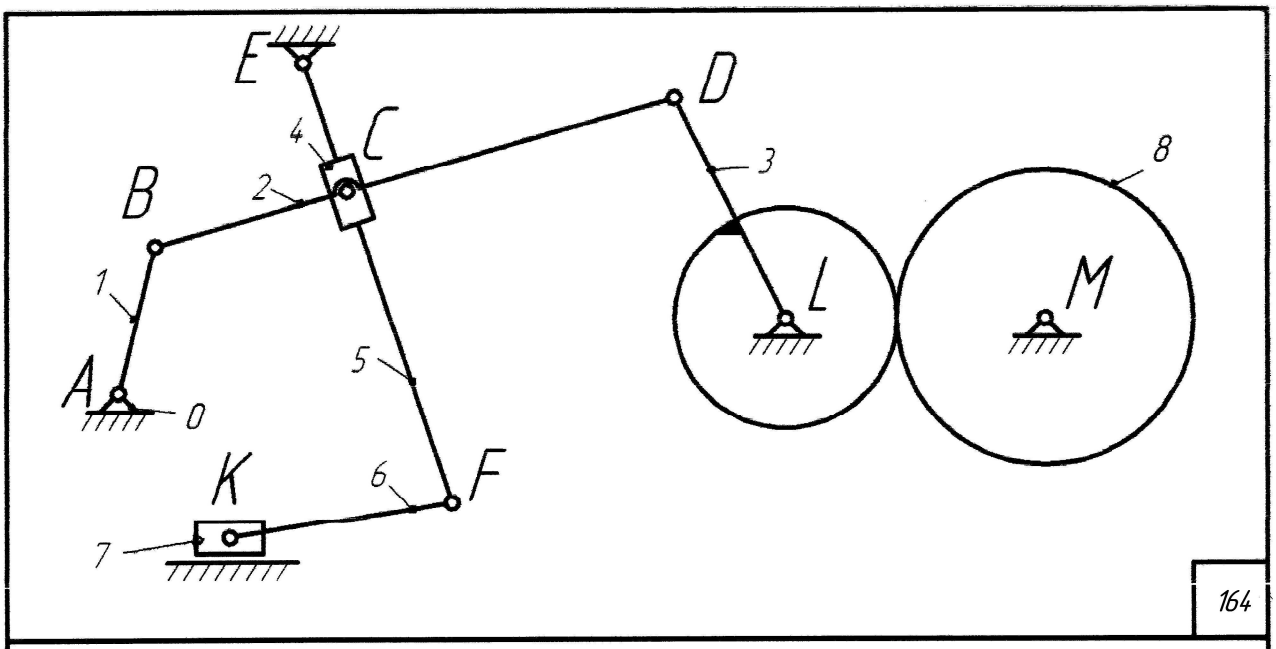
161


10
N
11
B
1
A
0
F
2
9
K
7
5
4
D
6
E
L
3
H
M
8
C

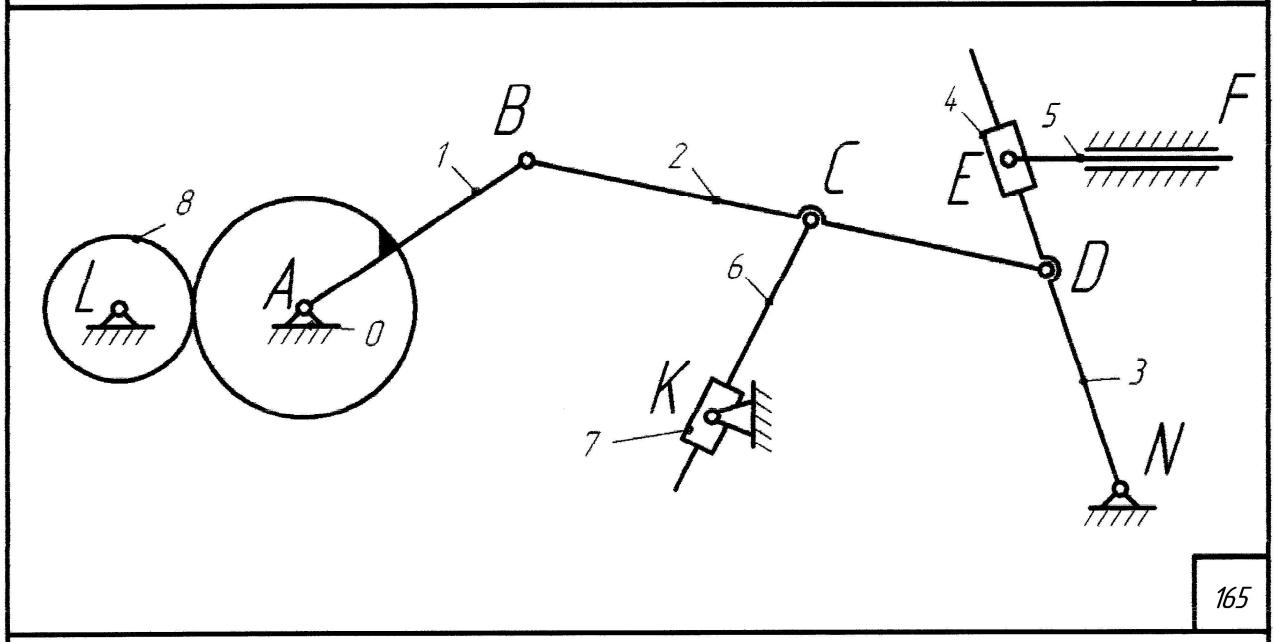
162


8
E
5
6
F
4
L
7
K
M
D
3
2
C
B
1
A
0

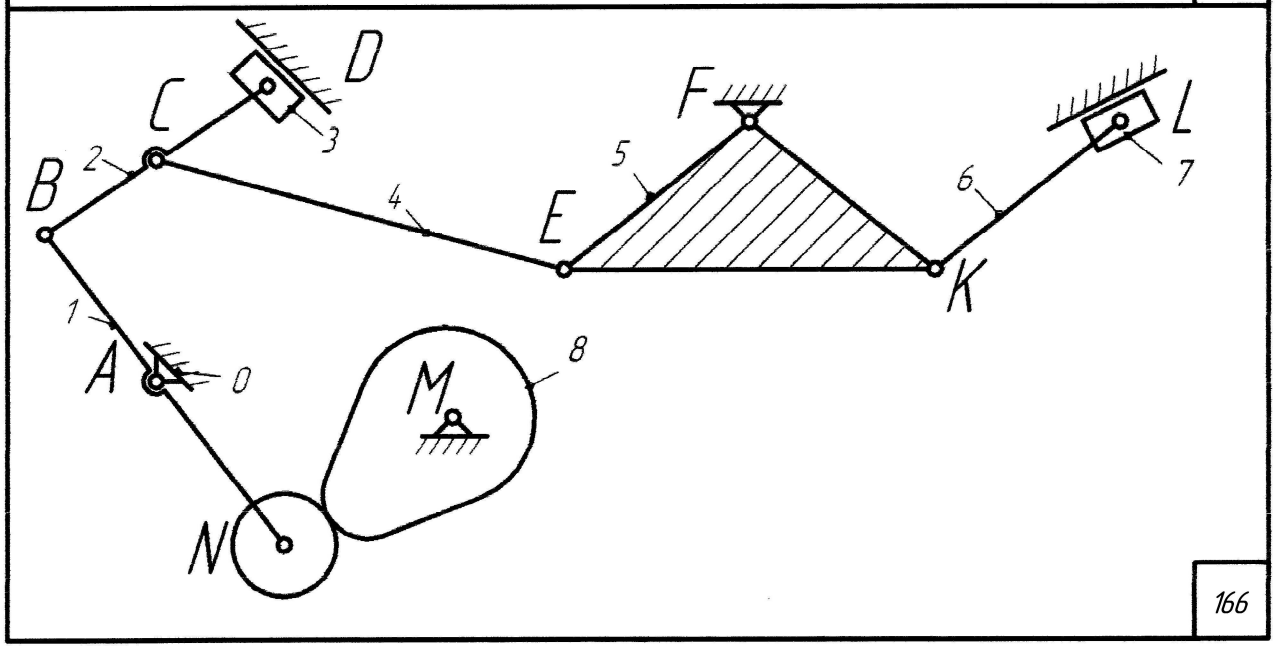
163


E
D
C
4
2
B
3
8
1
L
M
A
0
5
K
6
F
7

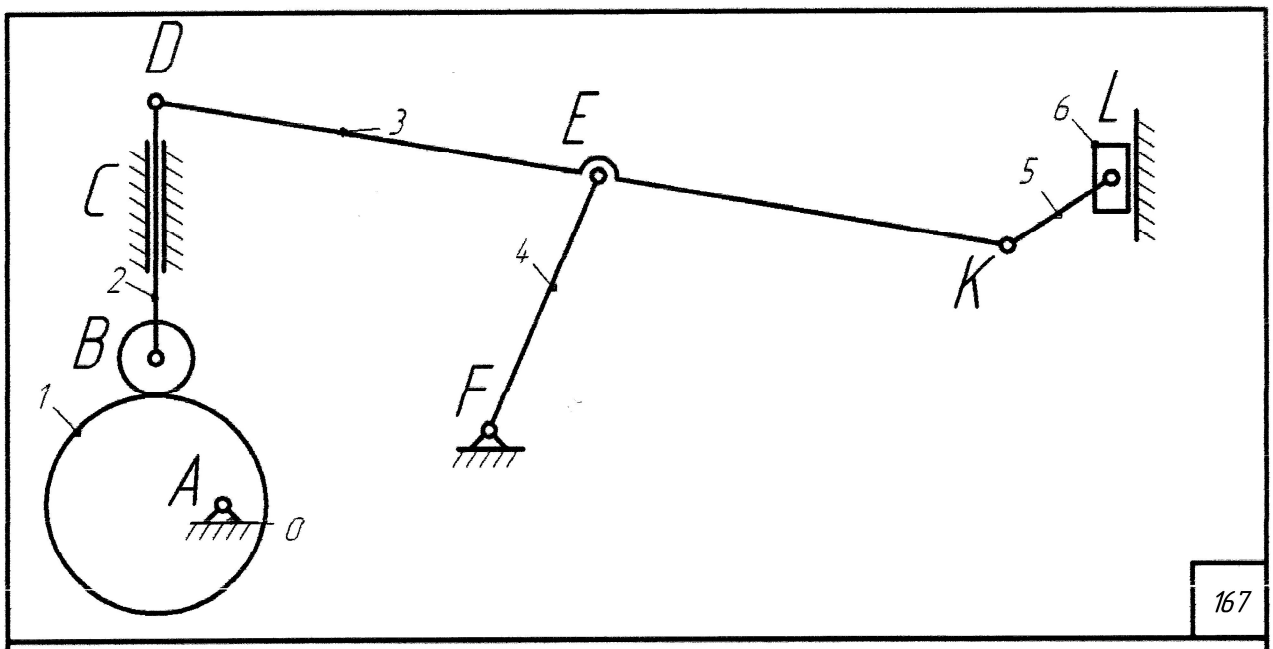
164


B
1
2
C
4
5
F
E
8
D
L
A
0
6
3
K
7
N

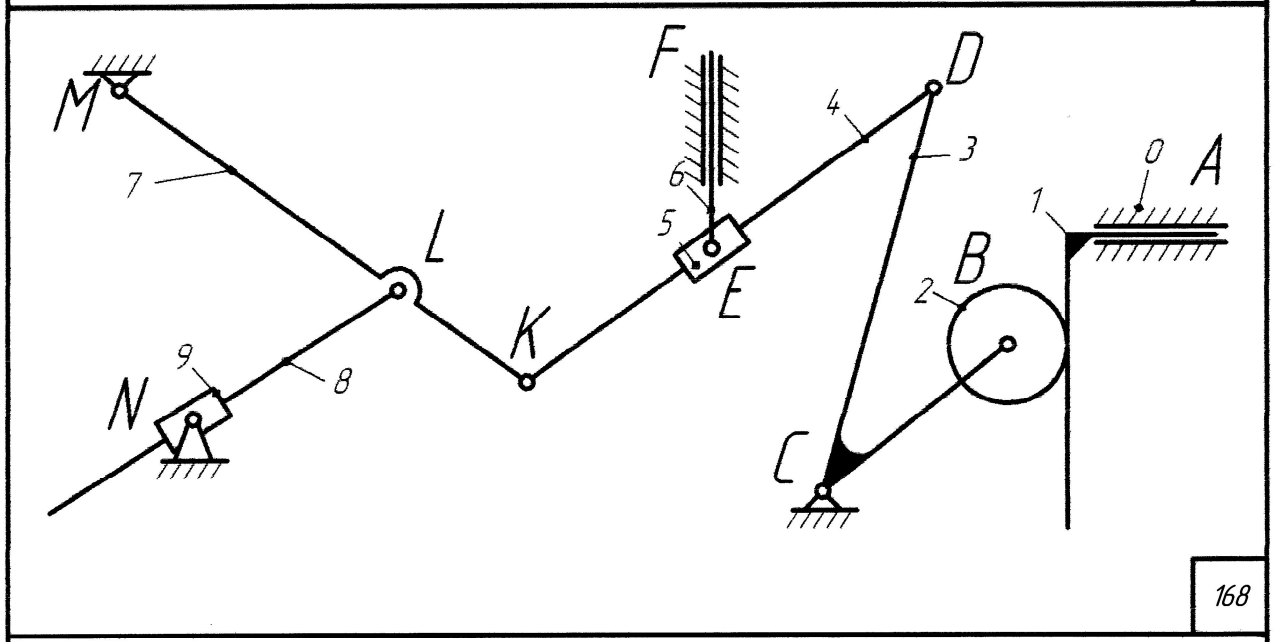
165


D
C
3
F
L
2
5
7
B
4
6
E
K
1
A
0
8
M
N

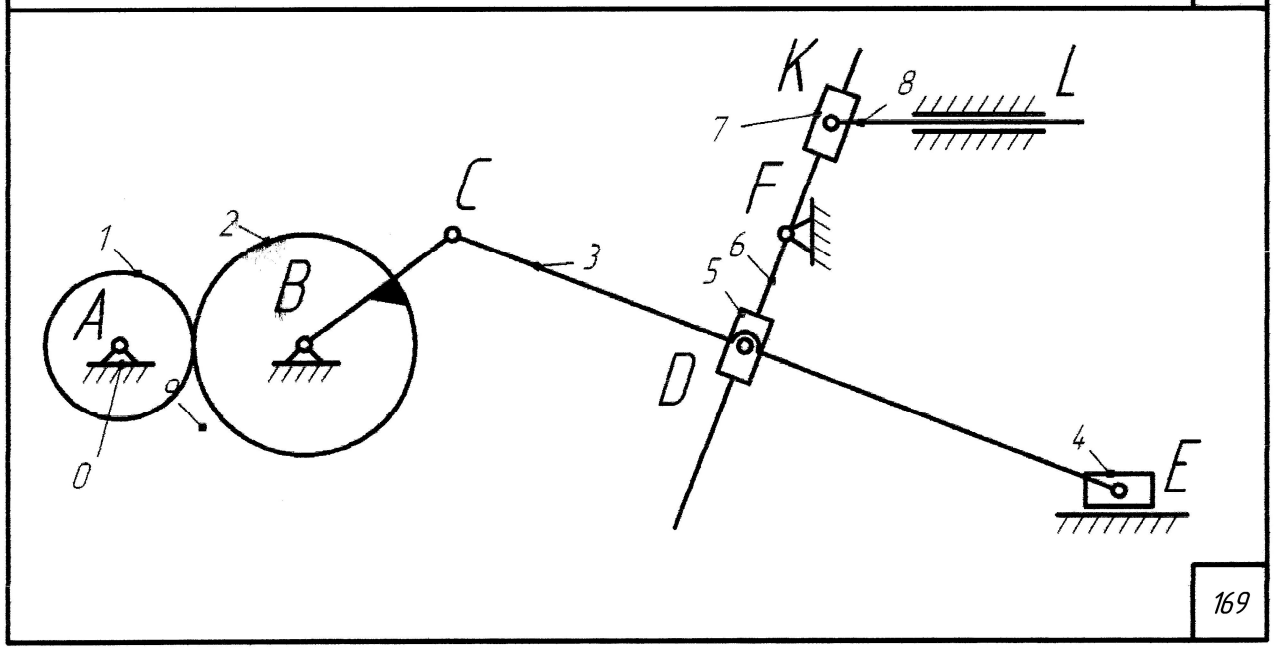
166


D
3
E
6
L
5
C
4
2
K
B
F
1
A
0

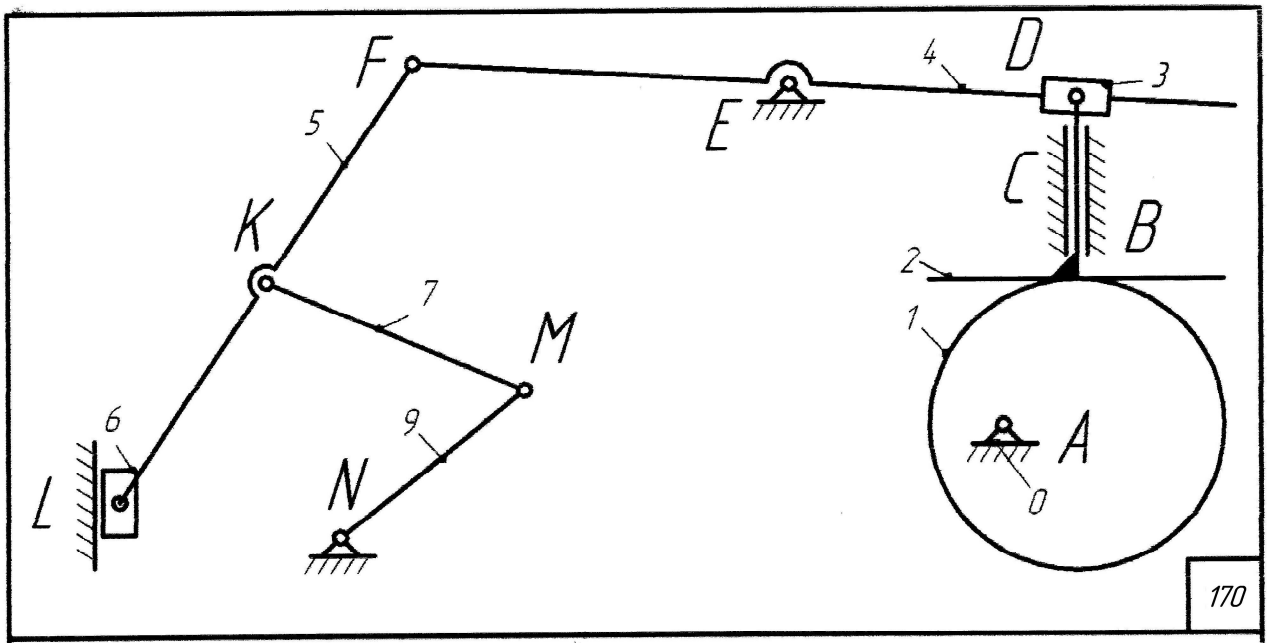
167

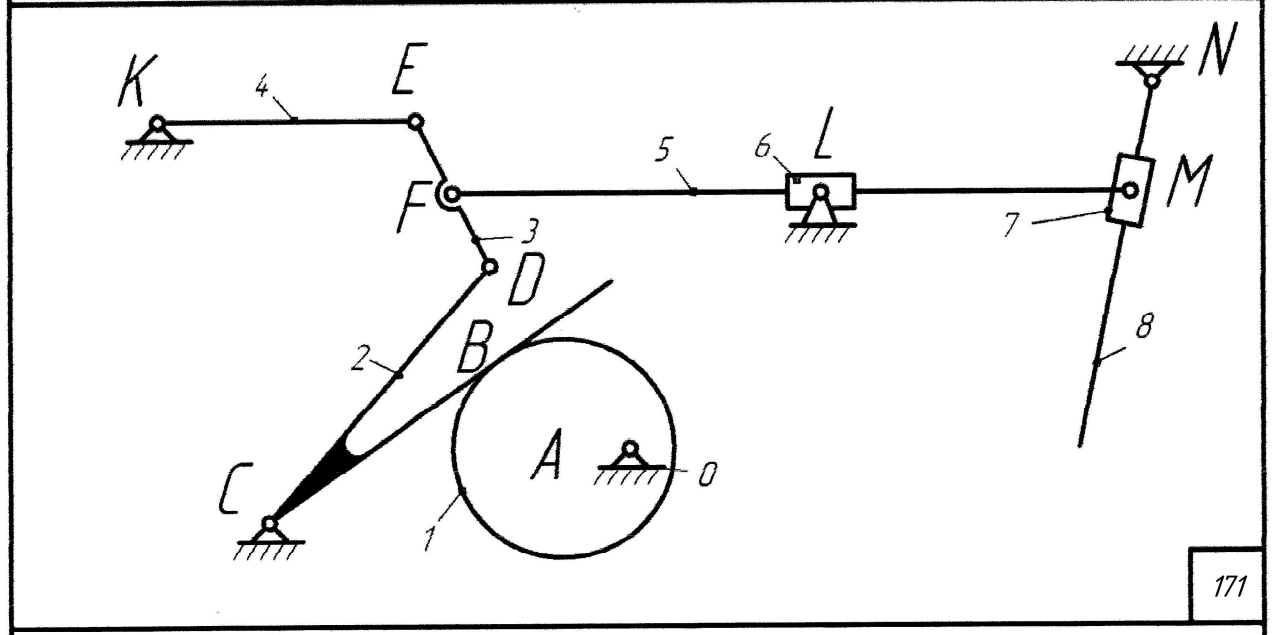

F
D
M
4
3
0
A
7
6
1
5
L
B
2
E
K
9
8
N
C

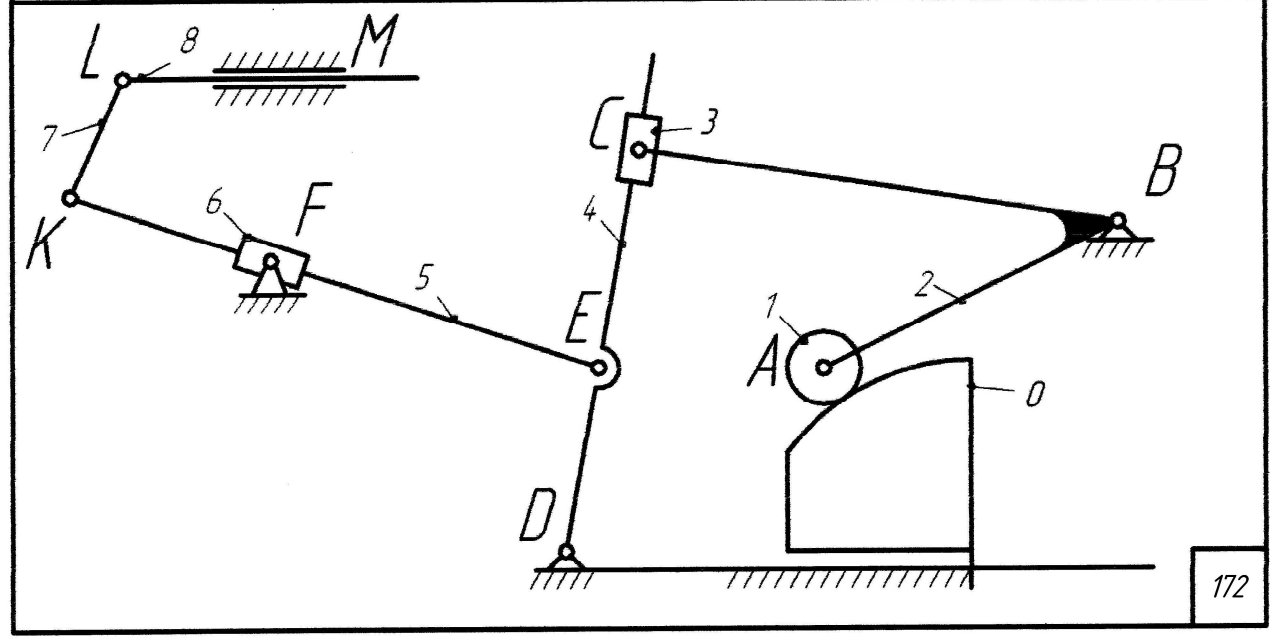
168

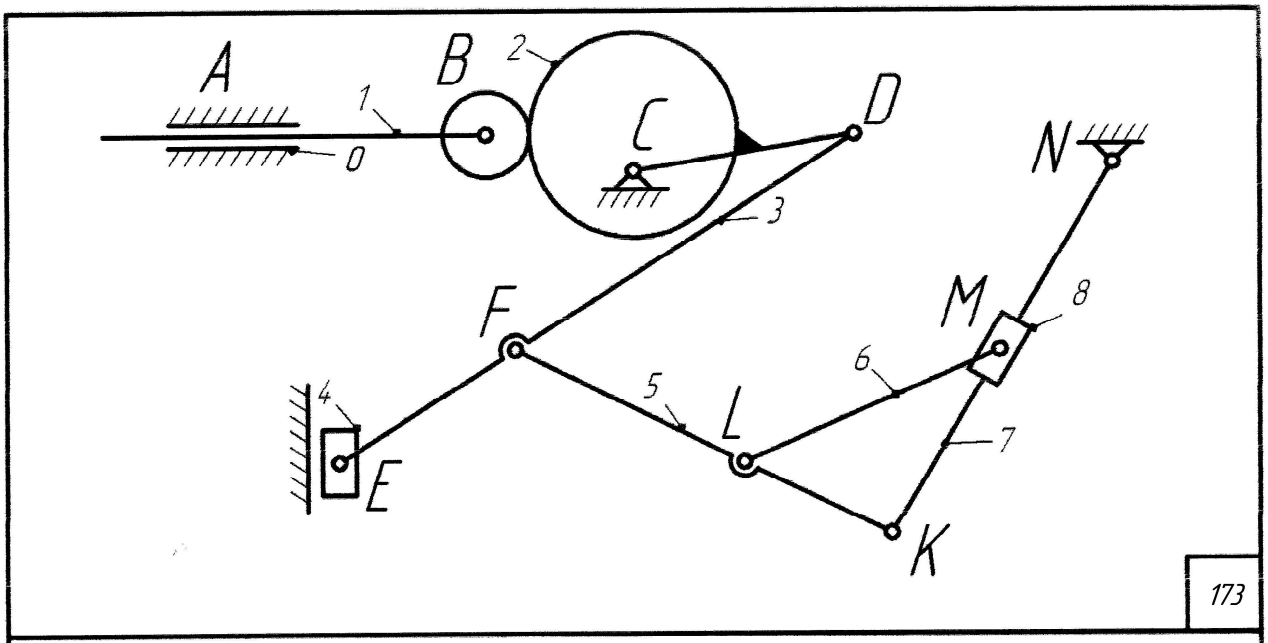

K
8
L
7
C
F
1
2
6
3
5
B
A
D
0
4
E

169

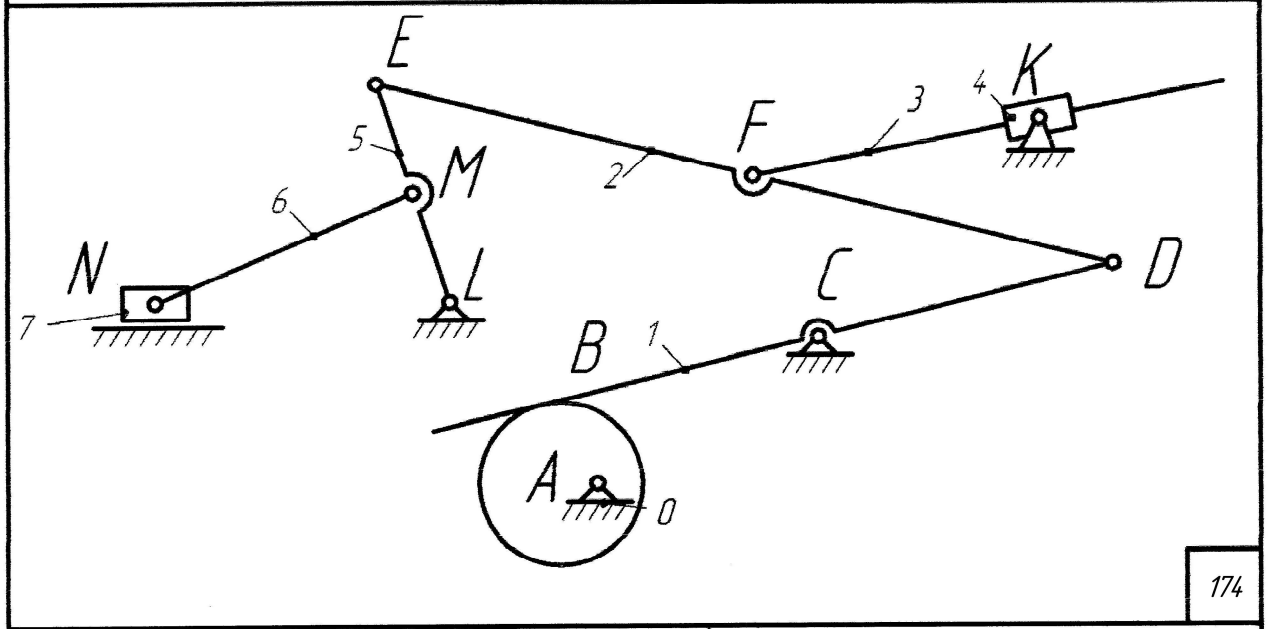

F
E
D
4
3
5
C
B
K
2
7
1
M
6
9
A
L
N
0
170


K
4
E
N
5
6
L
M
F
3
7
D
8
2
B
A
0
C
1
171

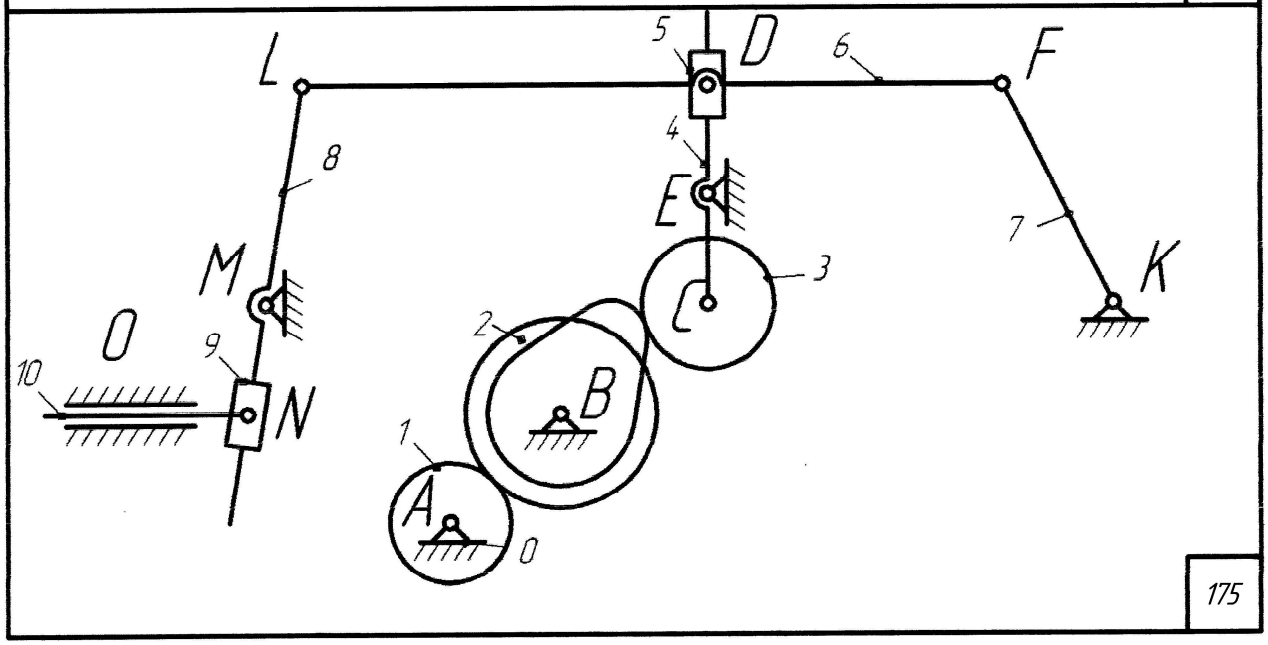

L
8
M
C
3
7
B
6
F
4
K
5
2
1
E
A
0
D
172


A
B
2
1
C
D
0
3
N
F
M
8
6
4
5
L
7
E
K

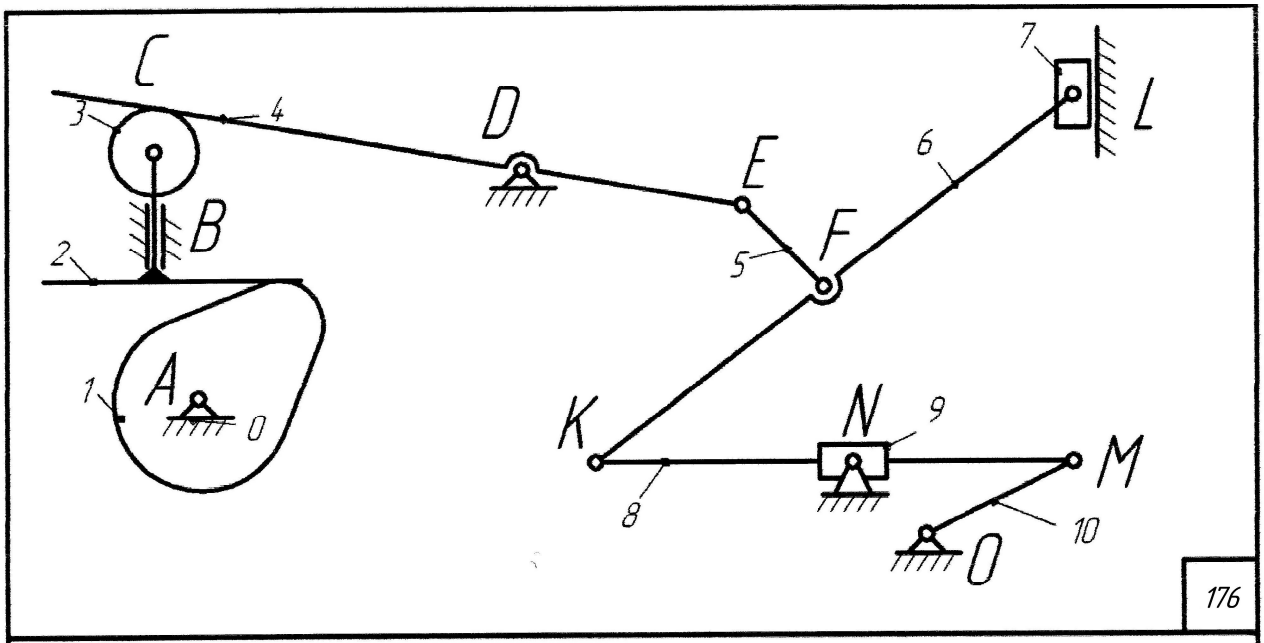
173


E
K
4
3
5
F
2
M
6
N
L
D
C
7
B
1
A
0

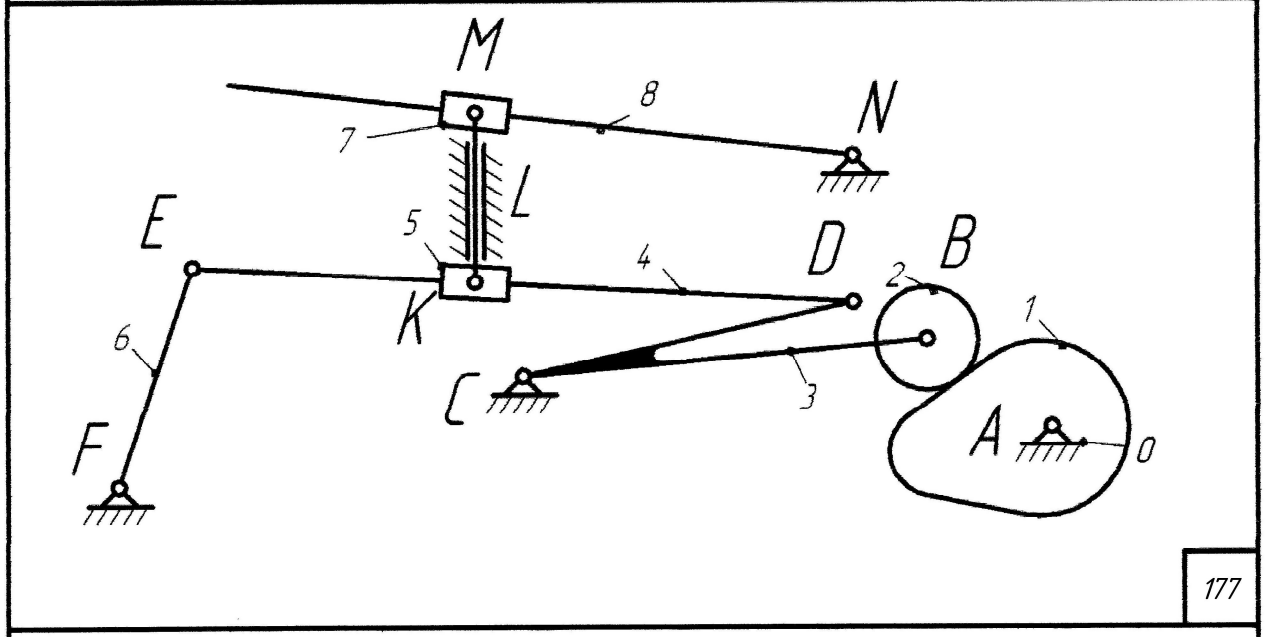
174


L
5
D
6
F
4
8
E
7
K
M
3
O
2
9
C
10
N
B
1
A
0

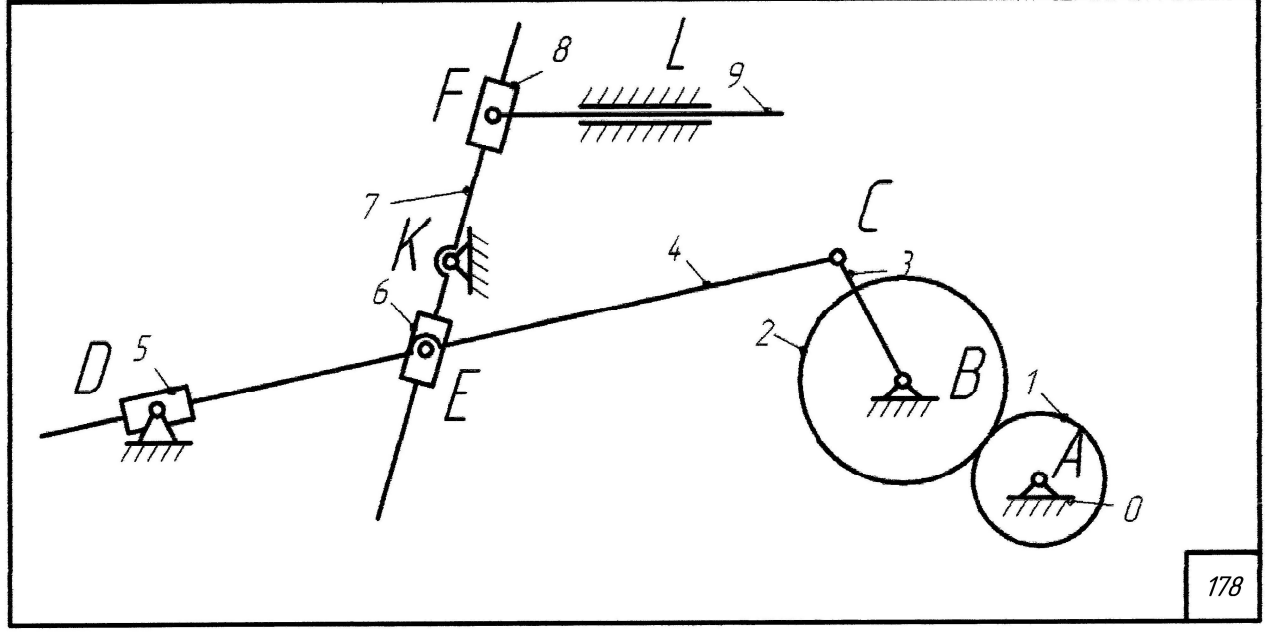
175


C
3
4
D
E
7
L
6
B
2
F
5
A
1
0
K
N
9
M
8
10
O

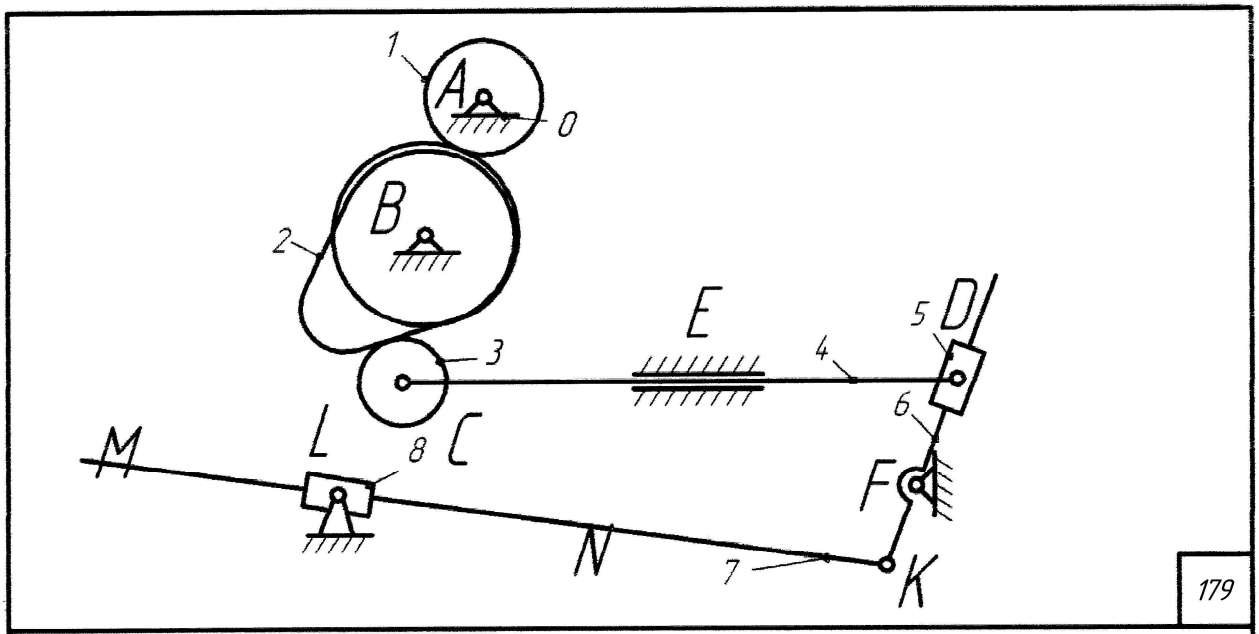
176


M
8
7
N
L
E
5
D
B
4
2
1
K
6
C
3
F
A
0

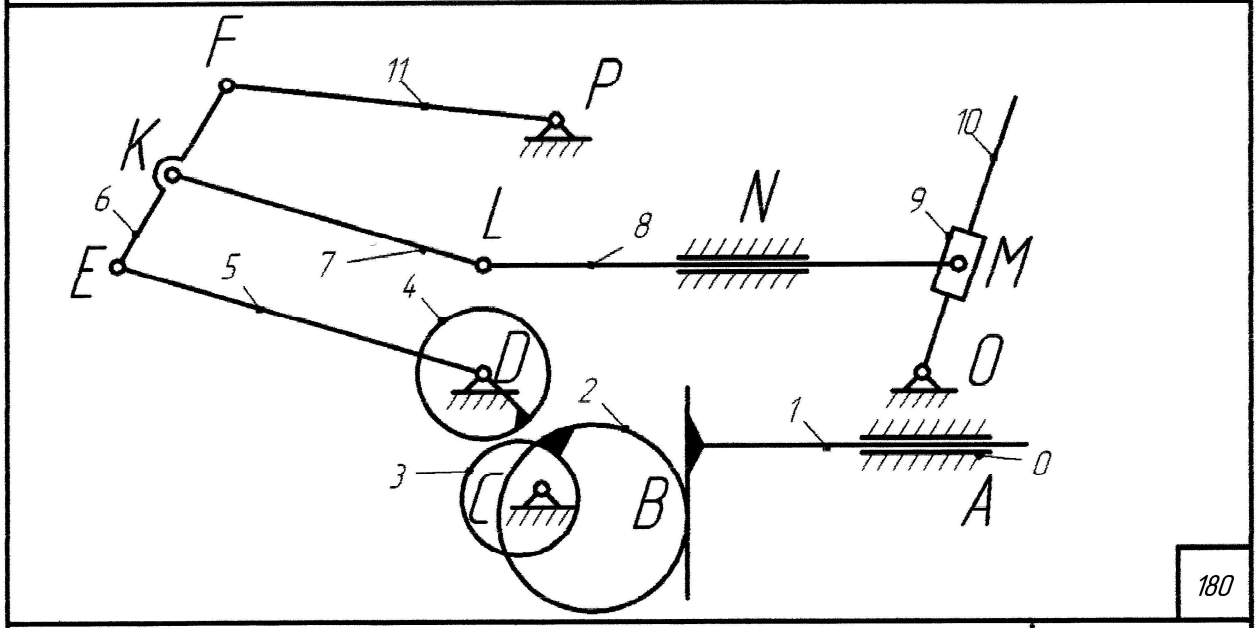
177


F
8
L
9
7
C
K
4
3
6
2
D
5
E
B
1
A
0

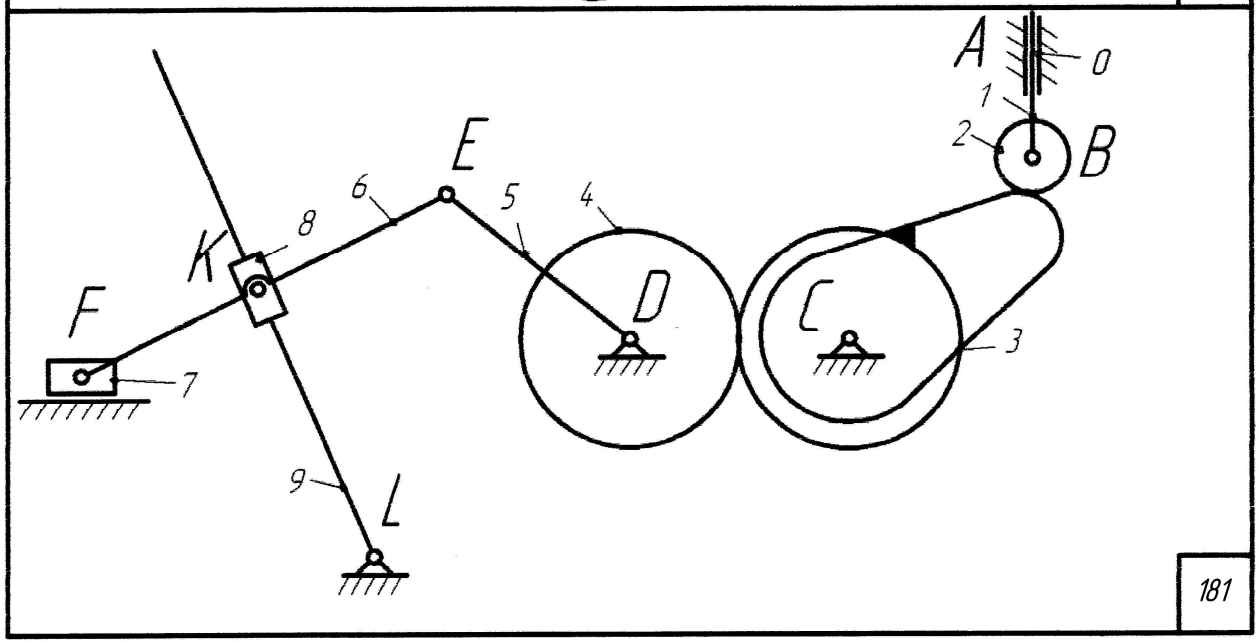
178


1
A
0
B
2
E
5
D
3
4
6
M
L
8
C
F
N
7
K

179


F
11
P
K
10
6
L
8
N
9
E
7
5
M
4
D
O
2
1
3
C
B
0
A

180


A
0
1
2
B
E
6
5
4
8
K
D
C
F
3
7
9
L

181

Луганцева Татьяна Анатольевна,

доцент кафедры АППиЭ (механика) АмГУ, канд. техн. Наук;

Волков Сергей Петрович,

профессор кафедры АППиЭ (механика) АмГУ, канд. техн. наук

Введение в строение механизмов. *Учебное пособие.*

Изд-во АмГУ. Формат 60х84/16. Усл. печ. Л..5,11. Тираж 100. Заказ 203.

Отпечатано в типографии АмГУ.