

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



А.Ю. Григорьев, Ю.С. Молчанов

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

Учебно-методическое пособие



Санкт-Петербург

2014

УДК 621.01

Григорьев А.Ю., Молчанов Ю.С. Теория механизмов и машин. Структурный анализ механизмов: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 30 с.

Изложены основные виды звеньев и кинематических пар, а также структурные формулы механизмов. Рассмотрена классификация плоских механизмов по методу Ассура-Артоболевского. Приведён пример структурного анализа механизма.

Пособие адресовано студентам технических специальностей, проходящим подготовку по программам бакалавров направлений 141200, 190600, 220700, 151000, 140700.

Рецензент: доктор техн. наук, проф. А.В. Арет

**Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Института холода и биотехнологий**



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики, 2014

© Григорьев А.Ю., Молчанов Ю.С., 2014

ВВЕДЕНИЕ

Теория механизмов и машин (ТММ) – общинженерная наука, изучающая общие законы и принципы построения машин. Она изучает свойства отдельных типовых механизмов, применяемых в различных машинах, приборах и устройствах. При этом анализ и синтез механизмов осуществляется независимо от конкретного назначения, однотипные механизмы (рычажные, кулачковые и другие) исследуются одними и теми же приёмами для двигателей, насосов, компрессоров и других типов машин.

В ТММ под машиной понимается техническое устройство, осуществляющее механические движения, связанные с преобразованием энергии, свойств, размеров, формы или положения материалов или объектов труда или информации с целью облегчения физического и умственного труда человека, повышения его качества и производительности.

С точки зрения выполняемых машинами функций все машины делятся на следующие классы [5]:

- энергетические машины,
- рабочие машины,
- информационные машины,
- кибернетические машины.

Техническая система, состоящая из одной или нескольких машин, соединённых последовательно или параллельно, предназначенная для определённых функций, называется машинным агрегатом. Машина выполняет свои функции с помощью механизмов, входящих в её состав.

Система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других тел, называется механизмом. Механизмы, входящие в состав машины, весьма разнообразны. По функциональному назначению все машины делятся на следующие виды [5]:

- механизмы двигателей и преобразователей,
- передаточные механизмы,
- исполнительные механизмы,
- механизмы управления, контроля и регулирования,
- механизмы подачи, транспортировки, питания и сортировки обрабатываемых сред и объектов,

- механизмы автоматического счета, взвешивания и упаковки готовой продукции.

Несмотря на разницу в функциональном назначении механизмов отдельных видов, в их строении, кинематике и динамике много общего.

Например, механизм поршневого компрессора (насоса, двигателя), кривошипного пресса, механизм привода пилы и др. в основе имеют один и тот же кривошипно-ползунный механизм.

Движение механизмов зависит от их строения и сил, действующих на звенья механизма. Поэтому, традиционно, при изложении теории механизмов анализ механизмов разбивается на две части:

- структурный и кинематический анализ механизмов,
- динамический анализ механизмов.

Структурный и кинематический анализы механизмов сводятся к изучению теории строения механизмов, исследования движения тел, их образующих, с геометрической точки зрения, независимо от сил, вызывающих движение.

Структурный анализ механизмов является одним из основных видов анализа механизма и традиционно является введением в лабораторный практикум и расчётно-графические работы по курсу теории механизмов и машин.

Для синтеза и проектирования машин существенное значение имеет классификация механизмов, позволяющих строить расчёт машин на основе общих теорем теоретической механики и математических дисциплин. Поэтому целью структурного анализа механизмов является их классификация. В теории механизмов и машин эта проблема ещё не получила полного разрешения. Наиболее удачной считается классификация Ассура-Артоболевского [1], которая позволяет построить предметно кинематический и динамический расчёт плоских механизмов для конкретного их класса.

Данное учебно-методическое пособие служит дополнением к лекционному материалу по теории механизмов и машин и руководством по лабораторному изучению структуры механизмов.

1. Основные определения

Механизмом называется искусственно созданная система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемом движении других тел.

Одно или несколько жёстко соединённых между собой тел, входящих в состав механизма называется звеном. Звено, принимаемое за неподвижное, называется стойкой.

Звенья, положение которых определяется значением выбранных называемых параметров – обобщённых координат, называются ведущими. Звенья, положение которых определяется перемещением ведущих звеньев, называются ведомыми.

Кинематической парой называются соединения двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение.

Кинематической цепью называются система звеньев, образующих между собой кинематические пары, они могут быть простыми, сложными, замкнутыми и незамкнутыми.

Простой кинематической цепью называется такая цепь, у которой каждое звено входит не более чем в две кинематические пары.

Сложная кинематическая цепь имеет хотя бы одно звено, входящее более чем в две кинематические пары.

Замкнутая кинематическая цепь имеет каждое звено входящее, по крайней мере, в две кинематические пары.

Незамкнутая кинематическая цепь – имеет звенья, входящие только в одну кинематическую пару.

Большинство механизмов, применяемых в технике, образовано замкнутыми кинематическими цепями.

Число степеней свободы механизма относительно стойки называется его степенью подвижности.

По классификации И. И. Артоболевского все кинематические пары разделяются на пять классов. Класс кинематической пары определяется числом условий связи, которые наложены на движение одного звена пары относительно другого. Отсюда следует, что пара первого класса может быть названа пятиподвижной. Для определения класса кинематической пары можно поступать следующим образом: одно из звеньев пары принять за неподвижное, связать с ним систему координат *Oxuz*, ориентируясь по которой проследить, какие

движения другого звена не возможны (из шести движений), которые оно могло бы совершать, не входя в пару, являясь свободным. Число этих невозможных движений $1 \leq S \leq 5$ представляет номер подвижности пары, класс пары определится формулой $H=6-S$.

Основные виды звеньев приведены в таблице (приложение 1). Условные обозначения кинематических пар на структурных (принципиальных) схемах механизмов и их классификация приведены в таблице (приложение 2).

Кинематические пары, в которых происходит соприкосновение звеньев по поверхностям, называются низшими, пары в которых соприкосновение звеньев происходит по линиям или точкам, называются высшими.

2. Классификация механизмов

2.1. Механизмы разделяются на плоские и пространственные. У плоских механизмов точки их звеньев описывают траектории, лежащие в параллельных плоскостях. У пространственных механизмов точки звеньев описывают пространственные траектории или траектории, лежащие в пересекающихся плоскостях.

2.2. Механизмы разделяются ещё по семействам, которых по определению И.И. Артоболевского существует пять, от нулевого до четвёртого номера. Номер семейства равен числу общих условий связи, которые наложены на все звенья механизма. Например, плоские механизмы относятся к третьему семейству, т.к. они ограничены перемещениями вдоль одной координаты и вращениями вокруг двух осей.

2.3. Число степени подвижности (свободы) замкнутой кинематической цепи с одним неподвижным звеном, можно найти с помощью структурных формул, имеющих для различных семейств, следующий вид:

для механизмов нулевого семейства (формула Сомова-Мальшева):

$$W=6n-5p_5-4p_4-3p_3-2p_2-p_1, \quad (2.1)$$

для механизмов первого семейства:

$$W=5n-4p_5-3p_4-2p_3-p_2, \quad (2.2)$$

для механизмов второго семейства:

$$W=4n-3p_5-2p_4-p_3, \quad (2.3)$$

для механизмов третьего семейства:

$$W=3n-2p_5-p_4, \quad (2.4)$$

для механизмов четвертого семейства:

$$W=2n-p_5. \quad (2.5)$$

В формулах (2.1) ÷ (2.5) обозначено:

W – степень подвижности механизма;

n – число подвижных звеньев;

p_5, p_4, p_3, p_2, p_1 – число кинематических пар соответствующих классов, так например,

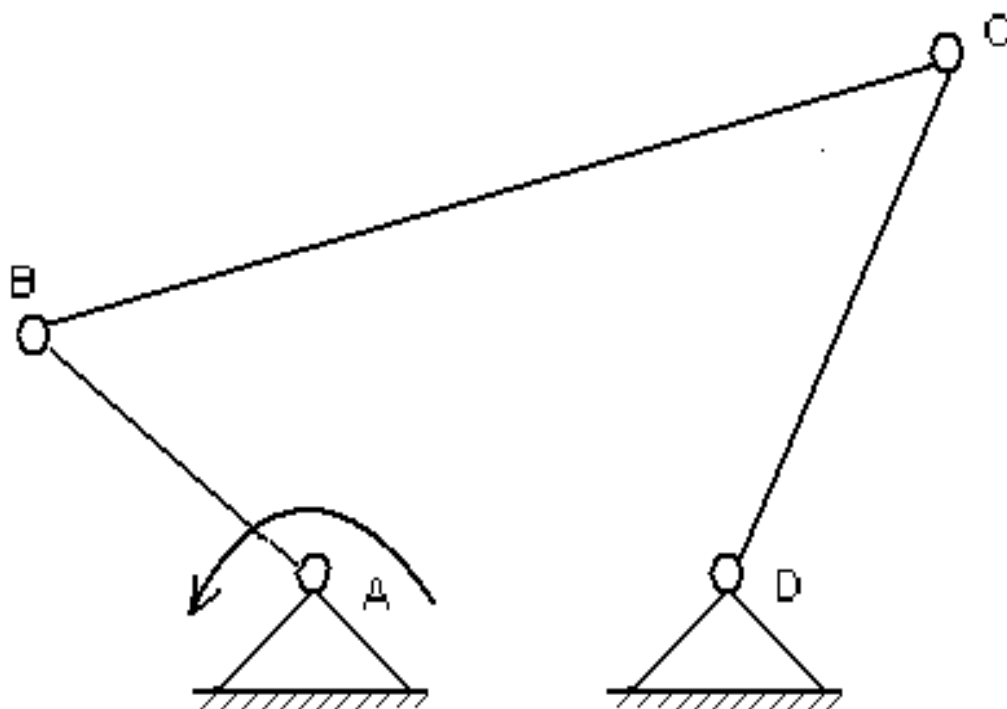
p_5 – число кинематических пар 5^{го} класса,

p_4 – число кинематических пар 4^{го} класса и т.д.

Для использования этих формул нужно установить, сколько общих условий связи наложено на движение звеньев исследуемого механизма. Число этих связей соответствует номеру семейства.

После этого нужно установить – не содержит ли механизм звенья, которые вносят лишние степени свободы, не влияющие на кинематику остальных звеньев механизма. При расчёте по формулам (2.1) ÷ (2.5) эти звенья должны исключаться из общего числа подвижных звеньев.

В качестве примера, на рисунке показан плоский механизм. На его звенья наложены следующие ограничения: звенья АВ, ВС, СD перемещаются только в плоскости чертежа, вращения их возможны только вокруг осей, перпендикулярных к плоскости чертежа. Следовательно, механизм относится к третьему семейству.



В состав механизма входят две стойки. При расчёте степени подвижности механизма, все стойки считаются за одно звено, однако, кинематические пары, которыми механизм крепится к стойкам, считаются по числу стоек.

Тогда:

число подвижных звеньев:

$$n=3;$$

число кинематических пар 5^{го} класса:

$$P_5=4 (A, B, C, D);$$

число кинематических пар 4^{го} класса:

$$P_4=0;$$

число степеней подвижности (свободы) механизма:

$$W=3n-2P_5-P_4=3\cdot 3-2\cdot 4-1\cdot 0=9-8=1$$

Для движения механизма нужно задать закон движения звена АВ, тогда движение ведомого звена CD будет определено полностью.

3. Составление структурной схемы механизма

3.1. Структурная схема даёт представление о работе механизма, если задано движение ведущего звена. Для кинематического анализа она дополняется размерами звеньев и законом движения ведущего звена.

На структурной схеме звенья механизма изображаются отрезками прямых линий или условными обозначениями зубчатых колёс или кулачков, в соответствии с приложением 1, и нумеруются арабскими числами. Кинематические пары изображаются в соответствии с принятыми обозначениями (приложение 2) и обозначаются заглавными буквами латинского алфавита.

3.2. Для построения структурной схемы механизма в [2] рекомендуется следующий порядок действий:

1. Установить основное кинематическое назначение механизма, например, на рисунке, представленном выше, механизм предназначен для преобразования вращательного движения ведущего звена АВ во вращательное движение ведомого звена CD.

2. Подсчитать общее число звеньев K , включая стойку. Число подвижных звеньев будет равно $n=K-1$

3. Выяснить, сколько наложено на подвижные звенья механизма общих условий связи, и по их числу установить номер семейства механизма.

4. Подсчитать и установить класс кинематических пар, а по их числу установить число степеней свободы (подвижности) механизма.

5. Вычертить схему механизма, начиная с неподвижных элементов кинематических пар, т.е. элементов, принадлежащих стойке.

Далее вычерчиваются ведущие звенья, входящие в кинематические пары со стойкой, затем наносится на чертёж кинематическая цепь, образующая ведомую часть механизма.

При составлении схемы плоских механизмов чертёж должен совпадать с плоскостью, параллельно которой движутся точки звеньев механизма. Исключения составляют передачи с зубчатыми колёсами, когда для наглядности схема вычерчивается в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения колёс.

4. Классификация плоских механизмов по методу Ассура-Артоболевского

4.1. К механизмам, отнесённым по этой классификации к одному классу, в дальнейшей части курса применяется методика кинематического и силового анализа, специально разработанная для этого класса механизмов.

По определению Ассура [3], механизм можно образовать присоединением к стойке и ведущему звену кинематических цепей, удовлетворяющих условию – степень их подвижности равна нулю.

Такие цепи, содержащие только низшие кинематические пары, называются структурными *группами Ассура*. Они подразделяются на классы, определяемые наивысшим классом группы Ассура, образующей ведомую часть механизма.

Определить класс плоского механизма по Ассуру-Артоболевскому можно только тогда, когда предварительно выявлена структура механизма, определена степень его подвижности, число ведущих звеньев, входящих в кинематические пары $5^{го}$ класса со стойкой, и когда все кинематические пары механизма являются только парами $5^{го}$ класса. Если исследуемый механизм имеет кинематические пары $4^{го}$ класса, то они предварительно должны быть заменены одним звеном, включающим две кинематические пары $5^{го}$

класса. Получившийся после такой замены механизм называется *замещающим*. Такая замена не меняет значений перемещений, скоростей и ускорений основного механизма.

4.2. Ведущее звено, входящее в кинематическую пару 5^{го} класса, образует механизм 1^{го} класса.

4.3. Степень подвижности присоединённой группы Ассур

$$W=3n_r-2P_5=0, \quad (4.1)$$

где:

n_r – число звеньев в группе;

P_5 – число кинематических пар 5^{го} класса,

отсюда
$$P_5 = \frac{3n_r}{2}. \quad (4.2)$$

Согласно требованию (4.2), так как число кинематических пар P_5 должно быть целым, в структурных группах Ассур могут быть следующие наборы звеньев и кинематических пар 5^{го} класса:

$$n_r = 2, 4, 6, \dots \quad (4.3)$$

$$P_5 = 3, 6, 9, \dots$$

В приложении 3 приведены основные группы Ассур, определяющие класс плоского механизма в зависимости от старшего класса группы в нём.

Для первого набора (4.3):

$n_r = 2, P_5 = 3$ возможны пять разновидностей групп из двух звеньев и трёх кинематических пар, они определяют механизмы 2^{го} класса.

Для второго набора (4.3):

$n_r=4$, $P_5=6$, образуются группы третьего порядка, имеющие три присоединительные кинематические пары, они образуют механизмы 2^{го} класса.

Класс группы Ассура выше второго определяется числом внутренних кинематических пар, образующих исходный контур.

Класс механизма определяется высшим классом группы Ассура, которая входит в состав его ведомой кинематической цепи.

4.4. Определение класса плоского механизма выполняется в следующей последовательности:

1. Изображается структурная схема механизма и вычисляется по формуле (2.4) степень его подвижности. Звенья, вносящие лишние степени свободы, при расчёте не учитываются.

Кинематические пары 4^{го} класса заменяются звеном с двумя кинематическими парами 5^{го} класса. При наличии замены, изображается отдельно схема заменяющего механизма, содержащая только кинематические пары 5^{го} класса.

2. Выбирается ведущее звено (звенья), входящее в кинематическую пару 5^{го} класса со стойкой.

3. Отделяется группа Ассура 2^{го} класса, при этом у оставшегося механизма степень подвижности не должна измениться.

Если не удаётся отделить группу Ассура 2^{го} класса, следует попытаться отделить группу Ассура более высокого класса. Разделение механизма ведётся до тех пор, пока останется ведущее (ведомое) звено и стойка.

4. Выписать структурную формулу механизма в виде цепочки групп Ассура получившихся классов. По номеру старшей группы Ассура назначается класс исследуемого механизма.

5. Порядок выполнения структурного анализа

5.1. Работа состоит из двух разделов:

1. Составление структурной схемы механизма (см. п. 3.2) по его лабораторному макету или планшету.

2. Определение класса механизма по классификации Ассура-Артоболевского.

5.2. Результаты работы представляются в виде отчёта, форма титульного листа которого приведена в приложении 4, пример выполнения работы - в приложении 5.

6. Вопросы для самоконтроля

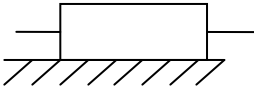
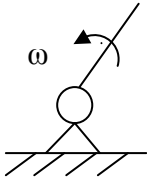
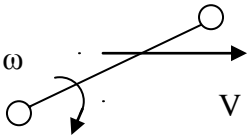
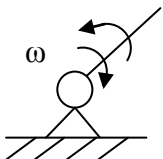
1. Что такое механизм и его звено?
2. Какие звенья называются кривошипом, коромыслом, ползуном, кулисой, камнем, шестернёй, колесом, кулачком?
3. Что такое кинематическая пара?
4. Как определяется класс кинематической пары?
5. Какие кинематические пары относятся к 4^{му} и 5^{му} классам?
6. Какие пары называются низшими, какие высшими?
7. Какие звенья называются ведущими, какие ведомыми?
8. Что такое пассивные звенья и звенья свободного движения, для чего они применяются в механизмах?
9. Что называется степенью свободы (подвижности) механизма?
10. Сколько входных звеньев у механизмов с одной степенью свободы и у механизмов с двумя степенями свободы?
11. В чём состоит задача структурного анализа?
12. Что такое группа Ассура?
13. Как определяется класс группы Ассура?
14. Как определяется класс механизма по Ассуру-Артоболевскому?
15. Каков порядок разделения механизма на группы Ассура?
16. Зачем выполняется классификация плоских механизмов по методу Ассура-Артоболевского?
17. Как определяется в ТММ понятие – машина?
18. Что такое машинный агрегат?

Список литературы

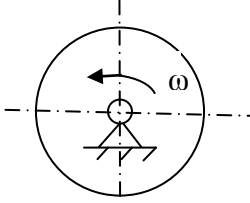
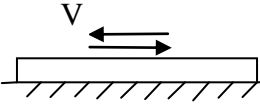
1. **Фролов К.В.** и др. Теория механизмов и машин: Учебник для втузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 498 с.
2. **Тимофеев Г.А.** Теория механизмов и машин. – М.: ЮРАЙТ, 2011, WWW.urait.ru.
3. **Артоболевский И.И., Эдельштейн Б.В.** Сборник задач по теории механизмов и машин. – М.: Наука, 1975.
4. **Кулаев Д.Х., Солопова К.Е.** Теория механизмов и машин. Лабораторные работы 1–3: Метод. указания. – Л.: ЛТИХП, 1989.
5. **Артоболевский И.И.** Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1975.

Приложение 1

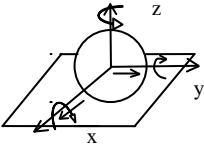
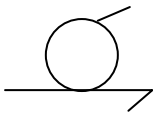
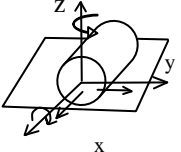
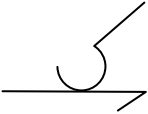
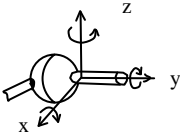
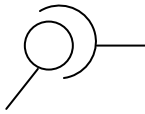
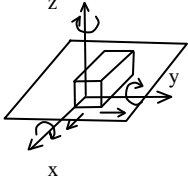
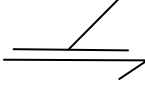
Основные виды звеньев механизмов

№	Название	Условное изображение на схемах	Движение	Особенности
1	2	3	4	5
1	Стойка		Отсутствует	
2	Стойка		Отсутствует	
3	Кривошип		Вращательное	Полный оборот
4	Шатун		Сложное	Нет пар, связанных со стойкой
5	Коромысло		Качательное	Неполный оборот, возвратно-вращательное движение
6	Ползун		Возвратно-поступательное	Направляющая неподвижна

1	2	3	4	5
7	Кулиса (1) Камень (2)		Сложное	Направляющая подвижна
8	Кулиса (1) Камень (2)		Возвратно – поступательное	Направляющая подвижна
9	Кулачок (1) Толкатель (2)		Вращательное, колебательное	Профиль определяет закон движения ведомого звена
10	Кулачок (1) Толкатель (2)		Возвратно - поступательное	Профиль определяет закон движения ведомого звена
11	Зубчатое колесо		Вращательное, колебательное	Зубчатый контур

1	2	3	4	5
12	Фрикционное колесо		Вращательное, колебательное	Может иметь зубчатый контур
13	Рейка		Возвратно-поступательное	

Кинематические пары и их условные обозначения

Название пары	Рисунок пары	Условное обозначение пары	Число степеней свободы звена в относительном движении	Вид пары	Число наложенных	Класс пары
1	2	3	4	5	6	7
Шар-плоскость			5	Пяти-подвижная	1	1
Цилиндр-плоскость			4	Четырёх-подвижная	2	2
Сферическая			3	Трёх-подвижная	3	3
Плоскостная			8	Трёх-подвижная	3	3

1	2	3	4	5	6	7
Цилиндрическая			2	Двух-подвижная	4	4
Зубчатое зацепление			2	Двух-подвижная	4	4
Кулачок-толкатель (кулачковая пара)			2	Двух-подвижная	4	4
Сферическая с пальцем			2	Двух-подвижная	4	4

1	2	3	4	5	6	7
Поступательная			1	Одно-подвижная	5	5
Вращательная			1	Одно-подвижная	5	5

Приложение 3

Основные группы Ассур

Схема групп Ассур	Число звеньев	Число кинематических пар	Класс
	2	3	II
	4	6	III
	4	6	IV

Приложение 4
Форма титульного листа отчёта

**Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики**

Институт холода и биотехнологий

Кафедра механики и прочности

Теория механизмов и машин

**Лабораторная работа № 1:
Структурный анализ механизмов**

Работу выполнил

Студент _____

Факультета _____

_____ **группы**

_____ **дата**

Работу проверил _____

2014 г.

Приложение 5

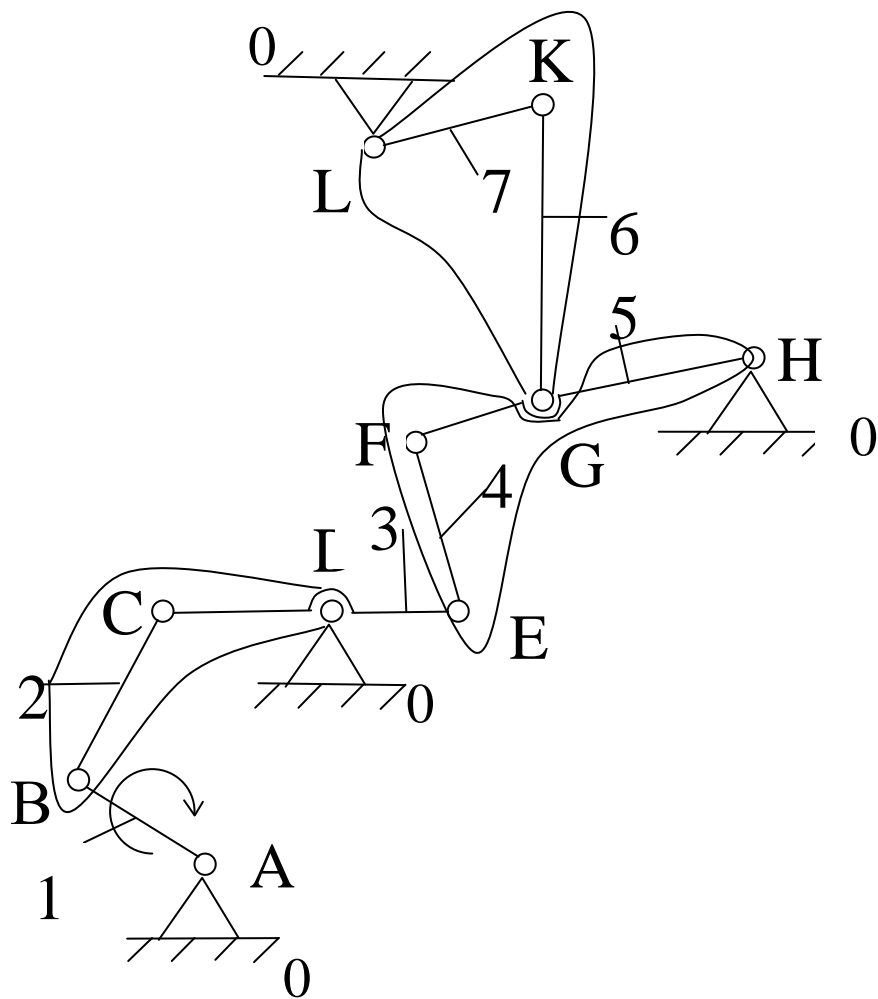
Пример структурного анализа механизма

Пусть задан механизм автомата, контролирующего перекоп вертолѐта [3]. На рисунке приведена его структурная схема. В таблице 1 показаны звенья механизма и характеристика их движения.

Таблица 1

№ звена	Название звена	Вид движения	Общее число звеньев	Число подвижных звеньев
0	Стойка	Неподвижна		
1	Кривошип	Вращательное		
2	Шатун	Плоско-параллельное		
3	Коромысло	Неполное вращательное		
4	Шатун	Плоско-параллельное		
5	Коромысло	Вращательное		
6	Шатун	Плоско-параллельное		
7	Кривошип	Колебательное	K=8	n=K-1=7

Кинематические пары, их обозначение и классификация приведены в таблице 2. Общее число кинематических пар 5^{го} класса $P_5=10$; число кинематических пар 4^{го} класса $P_4=0$. Звеньев, дающих дополнительные степени подвижности механизму, нет.



Механизм автомата-перекоса вертолѐта

Таблица 2

Обозначение пар	Характеристика	Класс пары
А	Низшая	5
В	Низшая	5
С	Низшая	5
Д	Низшая	5
Е	Низшая	5
F	Низшая	5
G	Низшая	5
Н	Низшая	5
К	Низшая	5
L	Низшая	5

1. Степень подвижности механизма:

$$W=3n-2 P_5- P_4=3\cdot 7-2\cdot 10-1\cdot 0=1.$$

2. Ведущее звено одно, т.к. $W=1$.

3. Разделение звеньев механизма на группы Асура:

Звенья 7 и 6 – группа 2^{го} класса;

Звенья 5 и 4 – группа 2^{го} класса;

Звенья 3 и 2 – группа 2^{го} класса;

Звенья 0 и 1 – группа 1^{го} класса.

4. Структурная формула строения механизма:

$$1_{(0,1)} \rightarrow 2_{(2,3)} \rightarrow 2_{(4,5)} \rightarrow 2_{(6,7)}.$$

5. Старшая группа Ассур в формуле строения механизма – вторая. Класс механизма 2^й.

Примечание: при наличии макета механизма степень его подвижности можно установить экспериментально, по методу «задерживания ведомого звена». Если при его задерживании ведущее звено теряет подвижность, то механизм имеет одну степень подвижности. Аналогично можно установить более высокие степени подвижности механизма.

Содержание

Введение	3
1. Основные определения	5
2. Классификация механизмов	6
3. Составление структурной схемы механизма.....	9
4. Классификация плоских механизмов по методу Ассура-Артоболевского	10
5. Порядок выполнения структурного анализа	13
6. Вопросы для самоконтроля	13
Список литературы.....	14
Приложение 1. Основные виды звеньев механизмов.....	15
Приложение 2. Кинематические пары и их условные обозначения	18
Приложение 3. Основные группы Асура	21
Приложение 4. Форма титульного листа отчёта	22
Приложение 5. Пример структурного анализа механизма	23



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



Институт холода и биотехнологий является преемником Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ), который в ходе реорганизации (приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 2209 от 17 августа 2011г.) в январе 2012 года был присоединен к Санкт-Петербургскому национальному исследовательскому университету информационных технологий, механики и оптики.

Созданный 31 мая 1931года институт стал крупнейшим образовательным и научным центром, одним из ведущих вузов страны в области холодильной, криогенной техники, технологий и в экономике пищевых производств.

В институте обучается более 6500 студентов и аспирантов. Коллектив преподавателей и сотрудников составляет около 900 человек, из них 82 доктора наук, профессора; реализуется более 40 образовательных программ.

Действуют 6 факультетов:

- холодильной техники;
- пищевой инженерии и автоматизации;
- пищевых технологий;
- криогенной техники и кондиционирования;
- экономики и экологического менеджмента;
- заочного обучения.

За годы существования вуза сформировались известные во всем мире научные и педагогические школы. В настоящее время фундаментальные и прикладные исследования проводятся по 20 основным научным направлениям: научные основы холодильных машин и термотрансформаторов; повышение эффективности холодильных установок; газодинамика и компрессоростроение; совершенствование процессов, машин и аппаратов криогенной техники; теплофизика; теплофизическое приборостроение; машины, аппараты и системы кондиционирования; хладостойкие стали; проблемы прочности при низких температурах; твердотельные преобразователи энергии; холодильная обработка и хранение пищевых продуктов; тепломассоперенос в пищевой промышленности; технология молока и молочных продуктов; физико-химические, биохимические и микробиологические основы переработки пищевого сырья; пищевая технология продуктов из растительного сырья; физико-химическая механика и тепло-и массообмен; методы управления технологическими процессами; техника пищевых производств и торговли; промышленная экология; от экологической теории к практике инновационного управления предприятием.

В институте создан информационно-технологический комплекс, включающий в себя технопарк, инжиниринговый центр, проектно-конструкторское бюро, центр компетенции «Холодильщик», научно-образовательную лабораторию инновационных технологий. На предприятиях холодильной, пищевых отраслей реализовано около тысячи крупных проектов, разработанных учеными и преподавателями института.

Ежегодно проводятся международные научные конференции, семинары, конференции научно-технического творчества молодежи.

Издаются журнал «Вестник Международной академии холода» и электронные научные журналы «Холодильная техника и кондиционирование», «Процессы и аппараты пищевых производств», «Экономика и экологический менеджмент».

В вузе ведется подготовка кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре по 11 специальностям.

Действуют два диссертационных совета, которые принимают к защите докторские и кандидатские диссертации.

Вуз является активным участником мирового рынка образовательных и научных услуг.

www.ihbt.edu.ru
www.gunipt.edu.ru

Григорьев Александр Юрьевич

Молчанов Юрий Семёнович

**ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН
СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Компьютерная верстка
Д.Е. Мышковский

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 20.01.2014. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 1,86. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,75
Тираж 150 экз. Заказ № С 8

НИУ ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
ИИК ИХиБТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Санкт-Петербургский национальный исследова-
тельный университет
информационных технологий,
механики и оптики
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
Институт холода и биотехнологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

