

Н. А. Чусовитин, В. П. Гилета, Ю. В. Ванаг

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СПО

2-е издание, переработанное и дополненное

Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования

**Книга доступна в электронной библиотеке biblio-online.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва ■ Юрайт ■ 2019

УДК 621.01(075.32)

ББК 34.41я723

Ч-94

Авторы:

Чусовитин Николай Анатольевич — кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования технологических машин механико-технологического факультета Новосибирского государственного технического университета;

Гилета Владимир Павлович — доктор технических наук, профессор кафедры проектирования технологических машин механико-технологического факультета Новосибирского государственного технического университета;

Ванаг Юлия Валерьевна — старший преподаватель кафедры проектирования технологических машин механико-технологического факультета Новосибирского государственного технического университета.

Рецензенты:

Коврижных А. М. — доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой общепрофессиональных дисциплин Новосибирского высшего военного командного училища;

Абраменков Д. Э. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой зданий, строительных конструкций и материалов факультета промышленного и гражданского строительства Сибирского государственного университета путей сообщения.

Чусовитин, Н. А.

Ч-94

Теория механизмов и машин : учеб. пособие для СПО / Н. А. Чусовитин, В. П. Гилета, Ю. В. Ванаг. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 175 с. — (Серия : Профессиональное образование).

ISBN 978-5-534-11404-1

Данное пособие ориентировано на совершенствование методики курсового проектирования за счет его активизации в направлении повышения уровня научно-исследовательской направленности выполнения работ, умелого сочетания индивидуального и коллективного труда студентов, обоснованного применения вычислительной техники и современных методов исследования. Издание содержит распространенные математические планы, основы математического редактора MathCad, а также большое количество расчетно-графических заданий.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям

Для студентов, обучающихся по инженерно-техническим специальностям.

УДК 621.01(075.32)

ББК 34.41я723



Delphi Law Company

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Чусовитин Н. А., Гилета В. П., Ванаг Ю. В., 2013

© Чусовитин Н. А., Гилета В. П., Ванаг Ю. В., 2019, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2019

ISBN 978-5-534-11404-1

Оглавление

Введение.....	4
1. Общие требования к оформлению курсовой работы.....	6
1.1. Оформление иллюстраций, графиков и таблиц	6
1.2. Шифр конструкторских документов	8
1.3. Основные надписи и расположение форматов.....	9
1.4. Складывание и подшивка чертежа	10
1.5. Правила оформления формул	11
2. Структурный анализ механизмов.....	13
2.1. Основные сведения	13
2.2. Результаты структурного исследования механизма.....	31
3. Параметрический синтез плоских рычажных механизмов... 34	
4. Кинематический анализ плоского рычажного механизма 42	
4.1. Параметрический синтез механизма.....	45
4.2. Построение положений звеньев механизма	49
4.3. Определение расчетного рабочего положения механизма.....	52
4.4. Аналитическое определение аналогов скоростей и ускорений звеньев и характерных точек звеньев в положении № 5 механизма	57
4.5. Графоаналитическое определение аналогов скоростей и ускорений звеньев и характерных точек звеньев механизма в положении № 5.....	68
4.6. Кинематическое исследование механизмов методом диаграмм	85
4.7. Определение кинематических характеристик механизма, с помощью математического пакета <i>MathCad</i>	91
Примеры	101
Практикум. Расчетно-графические задания.....	112
Технические задания, тип А.....	112
Технические задания, тип Б	122
Список литературы	174
Новые издания по дисциплине «Теория механизмов и машин»	175

ВВЕДЕНИЕ

Современные требования к подготовке специалистов в машиностроении ставят задачу эффективного использования вычислительной техники в учебном процессе. Будущий специалист должен овладеть навыками использования вычислительной техники и основами вычислительной математики, уметь эффективно применять их при решении комплекса задач анализа и проектирования механизмов и машин.

Важным элементом в решении сформулированной задачи является совершенствование методики курсового проектирования за счет его активизации в направлении повышения уровня научно-исследовательской направленности выполнения работ, умелого сочетания индивидуального и коллективного труда студентов, обоснованного применения вычислительной техники и современных методов исследования.

Имеющийся опыт показал, что в условиях большой нагрузки студентов применение ЭВМ способствует выполнению графика расчетно-графического задания (РГЗ) по дисциплине «Теория механизмов и машин» (ТММ), заменяет «ручной счет» работой с машиной, приближает учебный процесс к условиям труда современного инженера.

Для практической реализации этого направления и разработано настоящее пособие, содержащее распространенные математические планы, а также, что немаловажно, основы математического редактора *MathCad*.

Использование электронных методов исследования в РГЗ вызывает повышенный интерес студентов к выполняемой работе, обеспечивает продуманное использование ЭВМ, а также инициативу последующего применения этих методов в курсовом и дипломном проектировании на старших курсах.

Задание структурного и кинематического исследования по дисциплине ТММ включают часто применяемые в машинах общего и специального назначения рычажные одноподвижные механизмы.

В результате изучения данного пособия студенты должны освоить:

трудовые действия

- по проведению расчетов по теории механизмов и механике деформируемого тела;

необходимые знания

- основ проектирования механизмов;
- методов силового анализа механизмов;

- методов структурного, кинематического и параметрического анализа зубчатых, рычажных и кулачковых механизмов;
- методов синтеза механизмов;
- методов проведения динамического анализа;

необходимые умения

- составления и решения уравнений движения рычажных и кулачковых механизмов;
- выполнения силового анализа рычажных и кулачковых механизмов;
- осуществления выбора технологий и средств вычислительной техники для реализации процессов проектирования, изготовления, диагностирования и программных испытаний изделий.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1.1. Оформление иллюстраций, графиков и таблиц

Курсовая работа (проект) выполняется индивидуально в соответствии с заданием, выдаваемым преподавателем, и состоит из сброшюрованной расчетно-пояснительной записки объемом 30—40 страниц формата А4 (210 × 297) и графической части, представленной на листе формата А1 (594 × 841).

Пояснительная записка — документ, содержащий описание исследуемого механизма, обоснования принятых при его разработке методов исследования и технических решений, пояснение и анализ математических моделей механизма, все виды расчетов, схемы, графики, таблицы, диаграммы, поясняющие расчеты и принятые решения [1].

Пояснительная записка курсовой работы (проекта) должна содержать: этикетку (100 × 60 мм) (рис. 1), титульный лист (210 × 297) (рис. 2), задание на курсовую работу, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы, содержание работы и при необходимости приложение.

В пояснительной записке все иллюстрации именуется рисунками. Если их более одной, то они нумеруются в пределах раздела арабскими цифрами. Номер рисунка состоит из номера, раздела и порядкового номера, разделенного точкой. Допускается нумерация рисунков в пределах всего документа. Рисунки должны иметь наименование и поясняющие данные (подрисуночный текст).



Рис. 1. Образец этикетки курсовой работы

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

Новосибирский государственный технический университет

Кафедра проектирования технологических машин

Пояснительная записка РГЗ к расчетно-графической работе по теории
механизмов и машин на тему: «Анализ рычажного механизма»

Направление: 15.03.05

Шифр работы: РГЗ.НГТУ. 2068956.40.КМ-501.15.04.2017.00.00.ПЗ

Выполнил студент: Иванов И. И.

Группа КМ-501

Проверил: Чусовитин Н. А.

дата

Новосибирск, 2017

Рис. 2. Образец титульного листа

Поясняющие расчеты иллюстрации (расчетные схемы, графики и т. д.) выполняются простым карандашом на нелинованном белом листе бумаги формата А1.

Количество рисунков должно быть достаточным для пояснения текста. Их следует расположить по тексту сразу после первого упоминания о них так, чтобы рисунок можно было рассматривать без поворота страницы. Если такое размещение невозможно, то рисунок располагают так, чтобы для его рассмотрения страница поворачивалась по движению часовой стрелки.

На графике должна быть нанесена размерная сетка, обозначены величины и размерности переменных. Для сетки выбирается такой масштаб, чтобы отображаемые зависимости занимали не менее 80 % площади графика.

Цифровой материал результатов расчетов оформляют в виде таблиц, которые нумеруют арабскими цифрами (без знака номера) в пределах раздела. Допускается сквозная нумерация таблиц в пределах всего документа. Надпись «Таблица...» помещается выше заголовка таблицы справа. Заголовок таблицы помещают над таблицей и записывают строчными буквами, начиная с прописной, а подзаголовок — со строчной буквы. В конце заголовка и подзаголовка знаки препинания не ставят. Заголовки записывают в единственном числе. Если в документе только одна таблица, то она не нумеруется и слово «Таблица» не пишется.

Диагональное деление графы не допускается. Если таблица не помещается на лист, то она переносится на следующий, при этом над последующими частями пишется «Продолжение табл. ...», с указанием номера не поместившейся таблицы.

На каждый рисунок и таблицу необходимо дать ссылку в тексте.

Студенты заочной формы обучения графическую часть курсовой работы могут выполнять на миллиметровой бумаге с размерами сторон, удовлетворяющими формату А1. Допускается компьютерный способ оформления таблиц, графиков и иллюстраций.

Все построения необходимо снабжать соответствующим комментарием и масштабным коэффициентом. Значение масштабного коэффициента выбирается произвольным, обеспечивающим четкое представление описываемой части исследований механизма и максимальное итоговое заполнение площади листа.

1.2. Шифр конструкторских документов

Конструкторским документам (пояснительная записка и чертеж) присваивается шифр, который применительно к курсовой работе может быть составлен в соответствии со следующей схемой: КР.НГТУ 2068956.40.ТМ-41.02.10.13.00.00.ПЗ (ГЧ).

Расшифровка обозначений: КР — курсовая работа (или КП — курсовой проект), НГТУ 2068956 — обозначение учебного заведения в системе высших учебных и профессиональных учреждений, 40 — шифр кафедры «Прикладная механика» под руководством преподава-

теля которой студент выполняет данную работу, КМ-41 — структурное обозначение студенческой группы, 02 — номер задания, 10 — вариант задания, 13 — год выполнения КР, 00.00 — свободные ячейки, ПЗ — пояснительная записка (или ГЧ — графическая часть работы).

1.3. Основные надписи и расположение форматов

ГОСТ 2.104—2006 распространяется на чертежи и другие технические документы изделий основного и вспомогательного производства и устанавливает формы и порядок заполнения основной надписи на чертежах.

Содержание, расположение и размеры граф основных надписей, а также размеры рамок на чертежах должны соответствовать форме 1 (рис. 3). Основная надпись для текстовых конструкторских документов, первый или заглавный лист — по форме 2 (рис. 4), последующие листы — форма 2а (рис. 5).

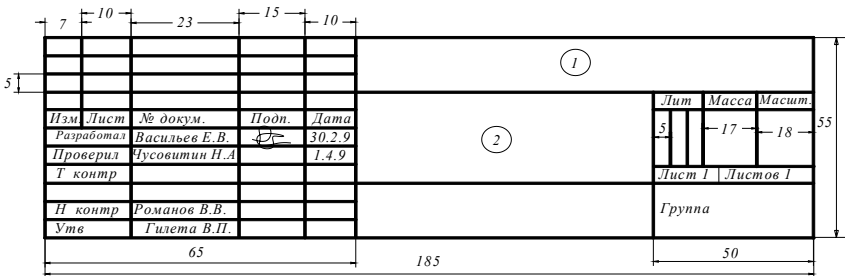


Рис. 3. Содержание, расположение и размеры граф основной надписи по форме 1

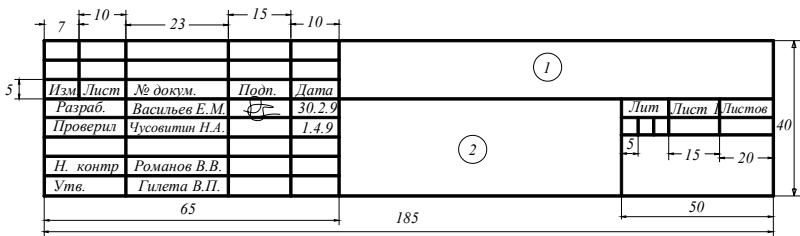


Рис. 4. Основная надпись для текстовых конструкторских документов (первый или заглавный лист), форма 2

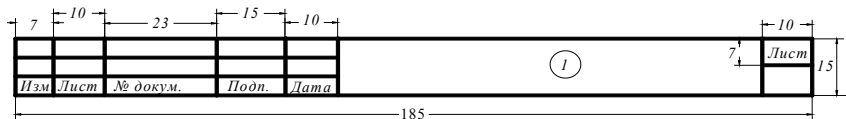


Рис. 5. Основная надпись для текстовых конструкторских документов (последующие листы). Форма 2а

Основные надписи и рамки выполняют сплошными основными и сплошными тонкими линиями по ГОСТ 2.303—68.

Основные надписи располагают в правом нижнем углу чертежа или другого технического документа.

На листах формата А4 по ГОСТ 2.301—68 основные надписи располагают только вдоль короткой стороны листа.

Графа 1 — обозначение документа по ГОСТ 2.201—80.

Графа 2 — наименование изделия (в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109—73), а также наименование документа, если этому документу присвоен шифр.

1.4. Складывание и подшивка чертежа

Складывание чертежа «гармоникой» (рис. 6) проводится после защиты курсовой работы и выполняется в соответствии с ГОСТ 2.501—2013.

Лист складывается изображением наружу («налицо») так, чтобы основная надпись (угловой штамп) оказалась на верхней лицевой стороне сложенного листа в его правом нижнем углу.

Лист в сложенном виде должен иметь формат А4, ГОСТ 2.301—68.

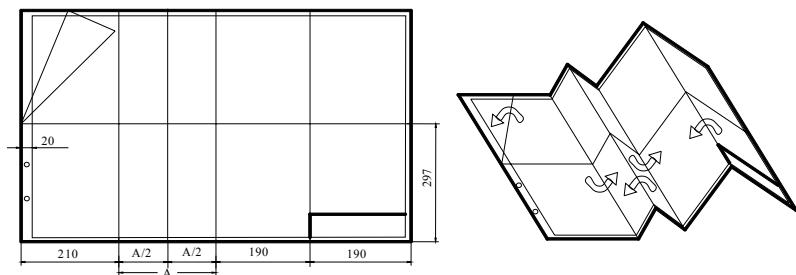


Рис. 6. Складывание листа формата А1 для брошюрования горизонтально

Лист чертежа формата А1 следует складывать вдоль линий, перпендикулярных основной надписи, а затем вдоль линий, параллельных ей, в последовательности, указанной стрелками.

Отверстия для брошюровки пробиваются с левой стороны листа.

Лист графической части подшивается в пояснительную записку внутрь обложки после списка использованной литературы.

1.5. Правила оформления формул

Все расчетные зависимости (нумеруются по тексту) должны быть либо выведены, либо иметь ссылку на источник, из которого они взяты.

Расчетные формулы записывают сначала в символьном виде, затем в них подставляют цифровые значения физических величин и, наконец, приводят окончательный ответ с обязательным указанием размерности, например:

$$S_{3Y}'' = l_{O_2S_3} (\varphi_2'') \cos \varphi_2 - l_{O_2S_3} (\varphi_2')^2 \sin \varphi_2 ;$$

$$S_{3Y}'' = 0,1(-0,0355) \cos 9,69 - 0,1(0,3396)^2 \sin 9,69 = -0,00543 \text{ м} .$$

Если в курсовом проекте (работе) по одной формуле выполняется несколько расчетов, то в записке эта формула и расчеты по ней приводят только один раз, а все остальные результаты расчетов сводят в таблицу.

На все заимствованные из литературы формулы, рекомендации, выводы и другие данные непременно должны быть сделаны ссылки по правилам, определяемым в ГОСТ 7.1—2003. Ссылки на источники следует указывать порядковым номером по списку источников, выделенных квадратными скобками, например [8].

Пример задания на расчетно-графическую работу

Дана схема рычажного механизма (рис. 7, а). Требуется провести структурное и кинематическое исследование механизма, если: $\omega_1 = \text{const}$, $l_{O_1A} = 0,08 \text{ м}$, $X_1 = 0,15 \text{ м}$, $X_2 = 0,075 \text{ м}$, $l_{O_2C} = 0,1 \text{ м}$, $l_{CD} = 0,1 \text{ м}$, $l_{O_2S_3} = 0,1 \text{ м}$, $\alpha = 180^\circ$.

График функции нагружения выходного звена $F_C = f(l_S)$ представлен на рис. 7, б, где $F_{C\text{min}} = 2 \text{ кН}$, $F_{C\text{max}} = 5 \text{ кН}$, а параметр H (м) — перемещение D звена 5.

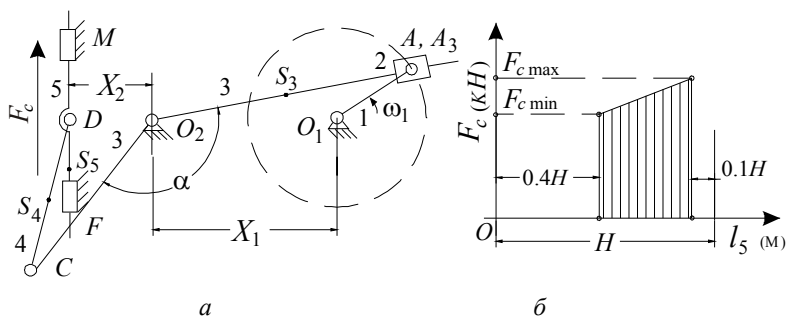


Рис. 7. Схема механизма (а); основная силовая характеристика $F_c = f(l_5)$ (б)

2. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

Цель анализа: ознакомление со строением механизма, особенностями движения звеньев, приобретение практических навыков в классифицировании звеньев, кинематических пар, структурных групп механизма, определении степени свободы механизма, проектирование механизмов выбранной структуры.

2.1. Основные сведения

Теория механизмов и машин является одним из первых специальных предметов для тех студентов, которые учатся на машиностроительных, технологических и других технических факультетах. Важность данного предмета неоспорима, так как она позволяет сформировать первые и основные представления об устройстве различных механизмов, принципах их работы и проектирования.

Проектирование любой современной машины, прибора или механизма проводится на основе целого ряда технических дисциплин и заключается в решении общих вопросов, связанных с выбором кинематических схем механизмов, их расчетом, кинематикой, динамикой, подбором основных параметров двигателя и т. д.

Общие закономерности анализа и синтеза механизмов изучает дисциплина «Теория механизмов и машин» (ТММ).

Машина — это устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека. Основным признаком, отличающим машину от других устройств, — *выполнение механических движений*.

Механизм (mechanism) — это система взаимосвязанных тел (звеньев), предназначенная для преобразования заданных движений одного или нескольких тел в требуемое движение других тел. Основным признаком, отличающим механизм от других устройств, является *преобразование механического движения*.

Механизмы состоят из отдельно изготавливаемых частей — деталей. *Деталь* — это изделие, которое не может быть разделено на более мелкие части без нарушения возможности исполнения своих функций.

Структурной схемой механизма называют безмасштабное графическое изображение механизма с применением условных обозначений звеньев и подвижных соединений. На структурных схемах подвижные

соединения принято обозначать заглавными латинскими буквами, а звенья — арабскими цифрами.

Кинематическая схема механизма представляет собой изображение структурной схемы механизма, выполненное в масштабе μ , м/мм.

Совокупность деталей, не имеющая между собой относительного движения, получила название звено. Звенья механизма (link of mechanism) на схемах изображаются упрощенно в виде линий или геометрических фигур.

В зависимости от характера движения и назначения звенья имеют определенные названия.

Стойка (frame) — неподвижное звено или звено, принимаемое за неподвижное (если механизм установлен на движущемся основании).

Из подвижных звеньев выделяют:

— *кривошип* (crank) — звено, вращающееся с постоянной угловой скоростью вокруг оси, связанной со стойкой;

— *шатун* (coupler, or floating link) — звено механизма, образующее кинематические пары только с подвижными звеньями;

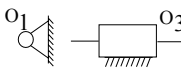
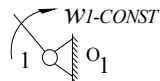
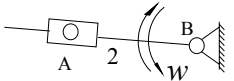
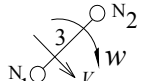
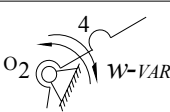
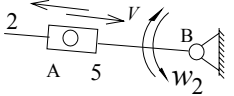
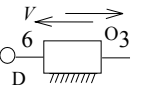
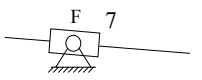
— *ползун, толкатель* (slider) — звено, образующее поступательную пару со стойкой;

— *камень* (stone) — подвижное звено механизма, образующее поступательную пару с кулисой;

— *кулиса* (coulisse) — подвижное звено механизма, являющееся направляющей для камня. Отметим, что кулису и камень различают по степени протяженности, где камень имеет меньшую протяженность элемента кинематической пары, а «направляющая» — большую протяженность элемента поступательной пары;

— *коромысло* (rocker) — звено механизма, которое совершает неполный оборот ($\varphi_4 < 360^\circ$) вокруг неподвижной оси, связанной со стойкой (табл. 1).

Виды звеньев рычажных механизмов

№	НАЗВАНИЕ	УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ	ДВИЖЕНИЕ	ОСОБЕННОСТИ
1	СТОЙКА		ОТСУТСТВУЕТ	
2	КРИВОШИП		ВРАЩАТЕЛЬНОЕ	ПОЛНЫЙ ОБОРОТ
3	КУЛИСА 2		ВРАЩАТЕЛЬНОЕ, КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ	
4	ШАТУН		СЛОЖНОЕ	НЕТ ПАР, СВЯЗАННЫХ СО СТОЙКОЙ
5	КОРОМЫСЛО		КАЧАТЕЛЬНОЕ	НЕПОЛНЫЙ ОБОРОТ
6	КАМЕНЬ 5		СЛОЖНОЕ	НАПРАВЛЯЮЩАЯ 2 ПОДВИЖНА
7	ПОЛЗУН		ВОЗВРАТНО- ПОСТУПАТЕЛЬ- НОЕ	НАПРАВЛЯЮЩАЯ НЕПОДВИЖНА
8	КАЧАЮЩИЙ- СЯ ПОЛЗУН 7		КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ВРАЩАТЕЛЬНОЕ	ПОЛЗУН 7 ВРАЩА- ЕТСЯ

Понятия «входное и выходное подвижное звено» были введены сравнительно недавно. Так, входным звеном стали называть звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев. Выходное звено — это звено, совершающее

движение, для которого предназначен механизм. Остальные звенья рычажных механизмов принято считать соединительными или промежуточными.

Ранее входное звено (input link) называлось ведущим (driving link), а выходное — ведомым (driven link). Замена терминов была обусловлена спецификой понятий ведущего и ведомого звеньев, принятых в разделе динамического исследования механизма (dynamic analysis of a mechanism), в котором входное звено называли ведущим, поскольку элементарная работа внешних сил, приложенных к нему со стороны материальных тел, не входящих в состав механизма, является положительной, а выходное — ведомым, для которого элементарная работа внешних сил, приложенных к нему, является отрицательной или равна нулю.

С целью исключения двойственности в структурной классификации звеньев, связанной с тем, что ведущее звено по признаку действия сил может перестать быть таковым, т. е. стать ведомым, было принято решение перейти к новым, указанным выше обозначениям, — входное, промежуточное и выходное звенья.

Звенья механизма соединяются между собой кинематическими парами, обеспечивающими определенный характер их относительного движения.

Кинематической парой (kinematic pair) называют подвижное соединение (movable connection), в котором имеется возможность относительного перемещения звеньев (табл. 2).

Часто кинематической парой называют идеальную удерживающую связь между двумя подвижными звеньями, которая математически выражается в виде равенства.







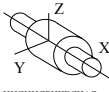

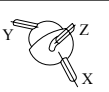

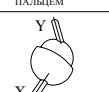







Совокупность поверхностей, линий или точек звена, которыми оно контактирует с другими звеньями, образуя кинематическую пару, называют *элементом кинематической пары*.

Связь называется идеальной, если отсутствуют силы трения на элементах кинематических пар и выполняются условия точности конструктивных размеров и правильности форм сопрягаемых элементов.

Место установки кинематической пары называют вершиной звена, которые обозначают буквой t с указанием числа кинематических пар, входящих в данное звено.

Таблица 2

Кинематические пары и их классификация

№	НАЗВАНИЕ	УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ	ПОДВИЖНОСТЬ ПАРЫ	ВИД КОНТАКТА ЭЛЕМЕНТОВ ПАРЫ	СПОСОБ ЗАМКНУТИЯ Г-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ С-СИЛОВОЙ	КЛАСС ПАРЫ	ЧИСЛО СВЯЗЕЙ
1	 ВРАЩАТЕЛЬНАЯ		1	Н	Г	I	5
2	 ПОСТУПАТЕЛЬНАЯ		1	Н	Г	I	5
3	 ВИНТОВАЯ		1	Н	Г	I	5
4	 ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ		2	Н	Г	II	4
5	 СФЕРИЧЕСКАЯ С ПАЛЬЦЕМ		2	Н	Г	II	4
6	 СФЕРИЧЕСКАЯ		3	Н	Г, С	III	3
7	 ПЛОСКОСТЬ - ПЛОСКОСТЬ		3	Н	С	III	3
8	 ЦИЛИНДР - ПЛОСКОСТЬ		4	В	С	IV	2
9	 ШАР - ПЛОСКОСТЬ		5	В	С	V	1