

РЯЗАНСКИЙ ВОЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
им. ГЕНЕРАЛА АРМИИ В.П. ДУБЫНИНА

А.М. КРАВЧЕНКО, Н.В. КРАВЧУК

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ**

Рязань 2008

ББК Ц4,6(2)39+32.81

К 78

Рецензенты:

Пашуков С.А. - заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» Рязанского института Московского государственного открытого университета, кандидат технических наук, профессор

Борычев С.Н. - заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, кандидат технических наук, доцент

К 78 Кравченко, А. М.

Информационные технологии в инженерном образовании [Текст]: монография / А.М. Кравченко, Н.В. Кравчук; под ред. Г.Г. Воробьева. – Рязань: РВАИ, 2008. – 169 с.
ISBN-978-5-98942-018-6

В монографии обобщается опыт применения прикладных программных средств общего и специального назначения в интересах формирования инженерных знаний и навыков в условиях высшей военной школы. Отдельные разделы представлены в форме руководства пользователя и могут быть полезны преподавательскому и инженерному составу, исследователям и обучаемым при выполнении научно-исследовательских работ, контрольных заданий, курсовых и дипломных проектов.

В последнем разделе авторы предлагают систему терминологии, которой пользуются обучаемые, преподаватели, ученые и инженерно-технический персонал в контексте ее соответствия блоку общеинженерных дисциплин. Использование данной терминологии поможет достичь единства в подходах к изложению учебного и научного материала и по другим техническим и специальным дисциплинам.

ББК Ц4,6(2)39+32.81

РВАИ, 2008

ISBN-978-5-98942-018-6

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Информационные технологии в инженерном образовании.	5
2 Программные продукты в инженерном образовании.	7
2.1 Система DIADA. Руководство пользователя.	7
2.2 Расчетный модуль APM Slider. Руководство пользователя.	31
2.3 Система ТММ-2. Руководство пользователя	49
2.4 Компьютерное моделирование механических систем в среде «Model Vision»	57
2.5 Табличный процессор Excel.	63
2.6 Система MathCAD.	69
2.7 Система автоматизированного контроля знаний Assistant.	73
3 Перспективы использования информационных технологий в инженерном образовании.	83
4 Терминологический словарь по дисциплине «Теория механизмов и машин».	84
Заключение	163
Список использованных источников	164
Приложение - Пример вывода результатов расчетов кривошипно-ползунного механизма в среде «DIADA»	165
Приложение - Перечень фонда цифрового видео по технической тематике	168

ВВЕДЕНИЕ

Достижение необходимой глубины усвоения учебного материала невозможно без ясного понимания той роли, которую играет современное информационное обеспечение и информационные технологии (ИТ) в решении задач качественного инженерного образования. В данной монографии рассматривается ограниченный спектр информационных технологий, которым пользуются ученые, преподаватели и инженерно-технический персонал, а также курсанты в процессе занятий по дисциплинам общеинженерного блока и на отдельных этапах выполнения военно-научной работы. Представленный материал может быть полезен ученым и преподавателям, занимающимся исследованиями и разработками в области машиноведения, инженерии, информационных и педагогических технологий и информационным поиском по данному направлению. Кроме того, использование представленной информации поможет достичь единства в подходах к изложению учебного материала по другим техническим дисциплинам. В совокупности с информацией, полученной из различных источников, в том числе и из глобальной информационной сети Интернет, данные сведения будут полезны при разработке учебных изданий и учебно - методической документации, научных статей и методических трудов.

Отдельные узкоспециализированные программные продукты представлены в виде руководств пользователя, разработанных автором ввиду их отсутствия в библиотеках, а также в связи с возможностью их использования инженерными, научными и педагогическими работниками других структурных подразделений.

1 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Основным объектом в системе образования является обучаемый. При этом основная задача образования заключается в предоставлении ему необходимой информации по изучаемой дисциплине, обеспечении её запоминания и выработке умения использовать знания на практике.

ИТ применительно к обучаемому дополнительно реализуются в следующих типах автоматизированных обучающих систем (АОС):

- 1) информационно-справочных, обеспечивающих изучение материала и консультации. Данные системы могут быть полнотекстовыми, документальными, фактографическими;
- 2) генерирующих для адаптивного обучения под управлением системы;
- 3) гипертекстовых для формирования знаний под управлением пользователя;
- 4) инструктивных, обеспечивающих отработку навыков (тренаж, деловые игры и т.п.);
- 5) экспертных, используемых для контроля знаний и самотестирования.

Концептуальными основами для создания АОС являются адаптивные алгоритмы обучения по заранее определенным схемам и методы искусственного интеллекта для управления учебными процедурами.

Для преподавателей ИТ могут применяться при решении следующих задач:

- подготовки материала к занятиям;
- разработки электронных учебных изданий;
- создания информационно-методического обеспечения по изучаемым курсам;
- подготовки демонстрационных средств поддержки проведения занятий;
- автоматизации проверки знаний обучаемых;
- сбора и анализа статистики для совершенствования обучения.

АОС создаются прямым программированием или с использованием инструментальных средств:

- электронных таблиц;
- средств подготовки презентаций (Power Point);
- конструкторов электронных учебных пособий (Easy Help) и т.п.

АОС довольно многочисленны и к их числу можно отнести как простейшие средства изучения курсов дисциплин (справочные системы программ, демонстрационные системы), так и гипертекстовые и мультимедийные (например, по Windows).

Информационные технологии, направленные на формирование инженерного образования, объединены единым учебным планом и тесно интегрируются между собой, что видно из модели, представленной на рисунке 1.

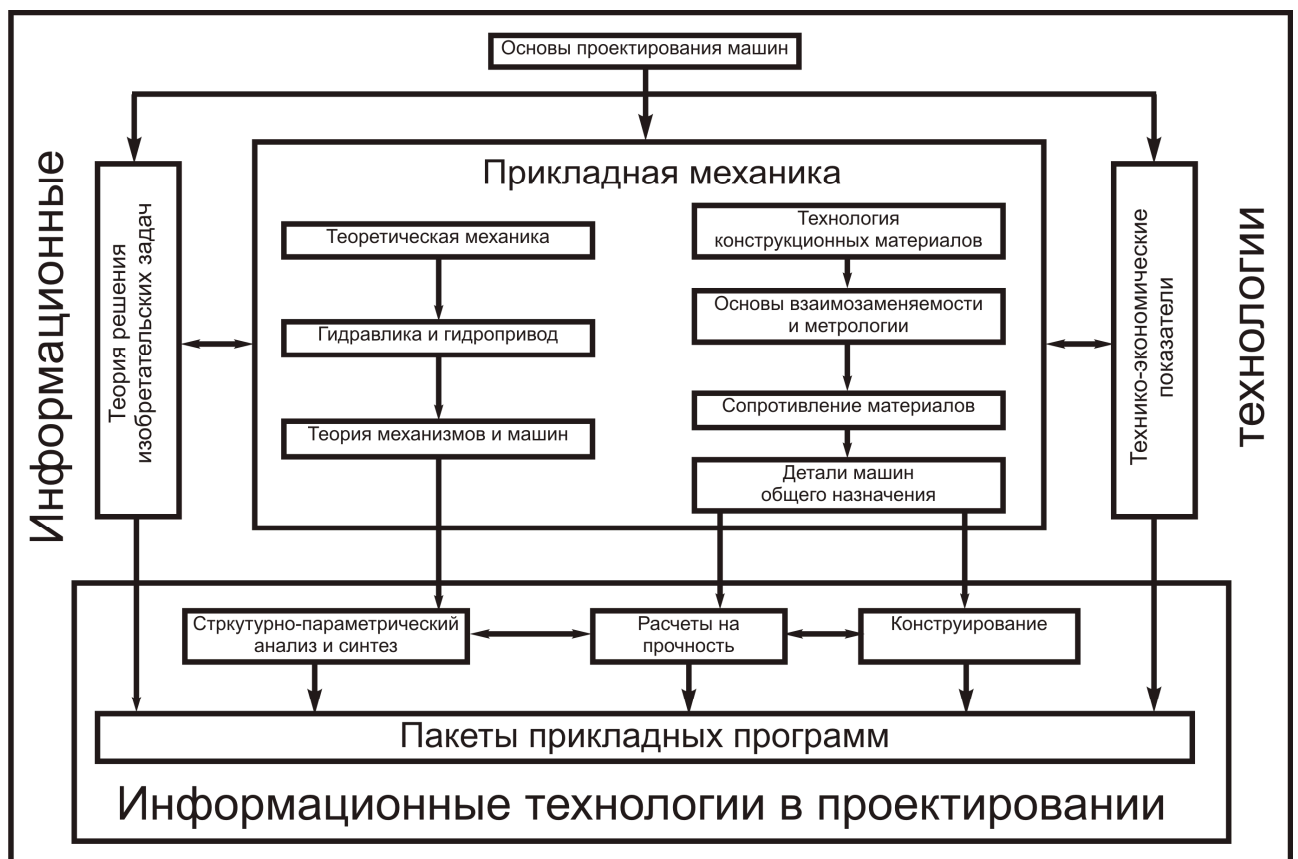


Рисунок 1 – Модель интеграции инженерных дисциплин
в условиях развития информационных технологий

2 ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

2.1 Система DIADA. Руководство пользователя

Программное средство (далее «программа») «DIADA» предназначено для кинематического и кинетостатического расчета плоских рычажных механизмов 2-го класса. Сложность механизма и число его степеней свободы при этом ограничена только объемом оперативной памяти ПЭВМ.

Данная программа применяется при изучении дисциплины «Теория механизмов и машин» на групповом занятии №2 «Силовой расчет механизмов» при объяснении возможностей автоматизации силовых расчетов с использованием современных вычислительных средств. Кроме того, данное программное обеспечение может быть использовано при проектировании новых технических средств и оборудования в рамках курсовых и дипломных проектов, а также диссертационных исследований соискателями ученых степеней в инженерной области знаний. Программа работает под управлением DOS и использует шрифты в кодировке ASCII.

Исследуемый механизм описывается командами (словами) в диалоге с машиной. Необходимо заполнить с клавиатуры возникающие на экране таблицы и ответить на вопросы машины. Вопросы машины и ответы пользователя на экране различаются цветом. В данном тексте они выделены курсивом.

2.1.1 Предварительные действия при работе с программой

1 На схеме механизма нужно нанести оси системы координат. Положения всех пар, точек и звеньев будут отсчитываться в этой системе. В ней же будут рассчитываться и все остальные кинематические характеристики механизма. Удобно начало координат связать с одной из вращательных пар стойки.

2 Затем необходимо обозначить все кинематические пары и звенья, а при силовом анализе также и центры масс звеньев (для тех звеньев, у которых будет задана масса), и точки приложения внешних сил, и другие точки на звеньях, представляющие интерес (обозначенные в задании). Это значит, что парам,

звеньям и точкам нужно дать имена, состоящие из одной или двух букв или цифр. По традиции, пары и точки обозначаются латинскими буквами, а звенья - цифрами. Имена не должны повторяться. При этом следует иметь в виду, что даже в случае совпадения положения какой-либо отмеченной точки с вращательной кинематической парой, они все равно должны иметь разные имена, то есть точка должна быть обозначена другой буквой. Также разными буквами должны быть обозначены центр масс и точка приложения внешней силы, даже если задано, что сила приложена в центре масс.

Особенно внимательно нужно относиться к обозначению пар на группах с поступательными парами, то есть группам 4, 3 и 2-го видов, поскольку очень часто все пары на схемах, геометрически совпадающие в одной точке, для простоты обозначаются одной буквой. На рисунке 2 приведен пример группы 4-го вида, все кинематические пары которой помечены на схеме одной буквой D.

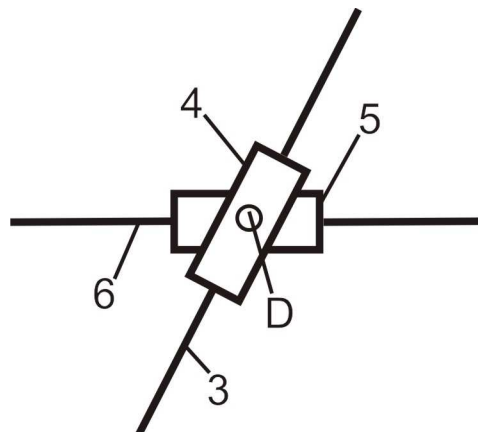


Рисунок 2 - Группа (4 - 5) четвертого вида

В этом фрагменте механизма в точке D совпали три разные пары, соединяющие разные звенья (3 - 4, 4 - 5 и 5 - 6), им, естественно, нужно дать разные имена. Удобно для этого использовать в имени пары номер звена или признак типа пары. Например, в данном случае пары можно обозначить D3, DR и D6. Могут быть и любые другие обозначения, лишь бы они были понятны пользователю и легко запоминались. Поэтому вряд ли целесообразно, хотя и возможно, именовать пары новыми буквами (K, N) или давать произвольные цифровые индексы, не связанные непосредственно с номерами звеньев (D1, D2).

3 На каждой поступательной паре механизма необходимо провести вектор положительного направления отсчета. Вектор совпадает с направляющей поступательной пары и может быть повернут вдоль нее в произвольную сторону. Этот вектор потребуется для задания ориентации поступательной пары в системе координат.

4 Далее нужно выписать или посчитать, если необходимо, длины всех звеньев, расстояния от шарниров до заданных точек, относительные координаты шарниров стойки и направляющих поступательных пар.

5 При проведении силового анализа нужно также выписать или посчитать, если необходимо, массы и моменты инерции звеньев, а также внешние силы. Среди внешних сил нет необходимости указывать силы веса и инерционные силы, поскольку они рассчитываются автоматически внутри программы после задания массы звена. При расчетах реакций, связанных с силами веса, принимается, что ось X параллельна земле, а ось Y направлена вертикально вверх.

2.1.2 Пример диалога работы с программой "DIADA"

2.1.2.1 Начальный этап

На этом этапе решается вопрос о том, откуда будет вводиться информация - с клавиатуры или из файла, содержащего описание механизма, исследование которого уже проводилось когда-либо ранее. Если ввод будет осуществляться с клавиатуры, то есть механизм описывается впервые, то машина сразу переходит к первому этапу диалога. В противном случае на экране появляется список файлов с механизмами, имеющихся на диске (в той же директории, откуда загружалась программа). После выбора необходимого файла осуществляется его загрузка, после чего происходит выход на главное меню. О разделах этого меню будет рассказано позже при описании четвертого этапа, а сейчас приведем примерный диалог с машиной при непосредственном описании механизма с клавиатуры.

Схема механизма приведена на рисунке 3.

Это дезаксиальный кривошипно-ползунный механизм с начальным звеном 1, с одной внешней силой F и двумя звеньями (2 и 3), массу которых следует учитывать. При этом центр масс звена 2 расположен в точке S_2 , а центр масс звена 3 совпадает с парой В. Также в паре В звена 3 приложена и сила F .

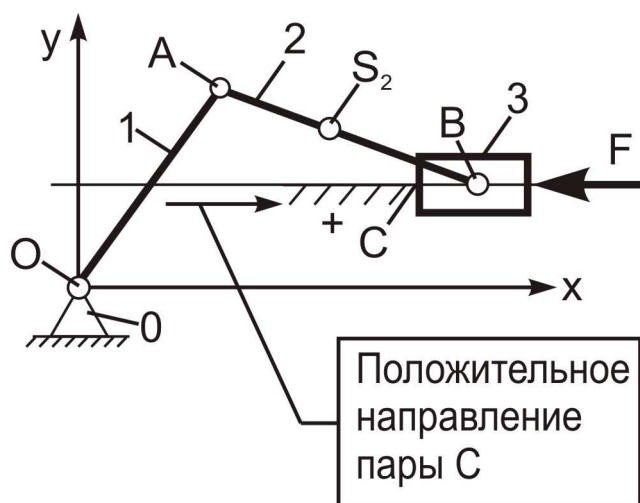


Рисунок 3 - Схема механизма

2.1.2.2 Первый этап - описание структуры механизма

Этап 1. Заполняется таблица пар (пары могут перечисляться в любом порядке).

Тип пары отмечается латинскими буквами R (вращательная) или P (поступательная). Имена пар (не длиннее двух букв или цифр) можно набирать в любом регистре - они автоматически преобразуются в верхний регистр. Звенья традиционно обозначаются цифрами - 1, 11, хотя допустимо и буквенное их обозначение - АВ, ВС и т.д.

Таблица 1 - Таблица пар

Тип	Имена звеньев		Имя пары
R	1	2	A
R	2	3	B
P	3	0	C
R	1	0	O

На этапе описания механизма, как и на всех последующих этапах, осуществляется текущий контроль правильности ввода, правильности структурного описания механизма, исключающий некоторые явные ошибки типа повтора имен, дублирования информации и некоторые другие. Крупные ошибки описания структуры машина, естественно, выявить не может. На экран выводится сообщение о типе ошибки, которое заканчивается служебной фразой "*Информация не принята*". Это означает, что введенная ошибочная строка диалога машиной проигнорирована и поэтому новую, теперь правильную информацию, следует ввести заново, а не исправлять ошибочную средствами редактора. Некоторые виды небольшой коррекции структуры механизма, например, смену типа пары или изменение порядка записи звеньев в строке описания пары можно проводить без предварительного исключения заменяемой пары. Проведенная замена сопровождается служебной фразой "*Информация принята*", которая в данном случае является просто справочной.

При повторе имени пары при описании пар машина предполагает, что задается кратная пара, о чем на экране появляется соответствующее сообщение. Если повтор имени произошел в результате ошибки, то ошибочную пару следует удалить, однако нужно иметь в виду, что одновременно удалится и ранее введенная пара с тем же именем, и, следовательно, ее ввод необходимо будет повторить. В сложных случаях при многократных удалениях, повторных вводах, исправлениях ошибок и тому подобное, структуру механизма, которая хранится в таблицах памяти машины, всегда можно просмотреть, набрав пробел в столбце "ТИП", то есть временно выйти из режима описания пар, оценить уже введенную информацию и продолжить, если необходимо, набор.

При технических ошибках набора следует поступать в соответствии с рекомендациями, приведенными в конце этого пособия в разделе по исправлению ошибок.

После окончания описания механизма (признаком чего служит пробел, набранный в столбце "ТИП") на экран выводятся последовательно две таблицы - таблица введенных пар и таблица звеньев механизма, сформированная маши-

ной по введенным парам. В таблице пар поступательные пары для большей заметности помечаются дополнительным тире "Р-". Убеждаемся, что число степеней свободы $W=1$ (если описывается механизм с одной степенью свободы). Теперь на вопрос *"Все пары перечислены ?"* отвечаем утвердительно "Y". В противном случае ($W \neq 1$) либо были перечислены не все пары ($W > 1$), либо указаны лишние ($W < 1$). Тогда ответ "N" вернет нас на этап заполнения таблицы пар. Неправильность описания можно выявить, анализируя таблицу введенных пар и справочную таблицу звеньев, показывающих, какие звенья соединяет пара и какие пары находятся на звене.

Лишние пары можно исключить, введя в столбце "ТИП" символ "Е" и затем имя исключаемой пары.

Этап 2. Выбор стойки. На подсказку *"Стойка – звено__"* вводим номер звена "0" (согласно схеме механизма).

Этап 3. Выбор начального звена. На подсказку *"Начальное звено - звено__"* вводим номер звена "1".

Этап 4. На этом этапе требуется задать имена дополнительных точек на звеньях.

Существуют две группы дополнительных точек: одна группа связана с силовым анализом (центры масс, точки приложения сил), а другая – это точки, специально отмеченные на звеньях, например, для анализа их траекторий. В случае, если на вопрос о проведении силового анализа был дан утвердительный ответ, дальнейший порядок диалога будет следующим:

Этап 5. Отмечаем центры масс на звеньях. Для этого последовательно вводим имена точек, обозначающих центры масс, после появляющихся номеров звеньев:

На звене 1 точка _
На звене 3 точка S3
На звене 2 точка S2

Вместо имени точки на первом звене был введен пробел, поскольку для этого звена нам не была задана масса и, следовательно, в силовом анализе оно участвовать не будет. Будьте внимательны, поскольку точки появляются не в

порядке возрастания номеров звеньев и не в порядке последовательности их ввода, а в том порядке, в каком они хранятся в таблицах машины, которые могут и не совпадать.

Этап 6. Отмечаем точки приложения сил на звеньях. Для этого последовательно вводим имена звеньев, к которым приложены силы, и даем имена точкам их приложения:

На звене 3 точка F3

На звене _

Вместо имени последнего звена был введен пробел, так как других сил, приложенных к звеньям нашего механизма, нам не задано. Силы, если их несколько, могут задаваться в любой последовательности.

Этап 7. Отмечаем прочие точки, представляющие интерес. В нашем примере таких точек нет. При наличии же таких точек диалог мог бы иметь вид:

На звене 2 точка T

На звене _

Если бы на вопрос о проведении силового анализа был бы дан отрицательный ответ, то этапы 5 и 6 программой бы пропустились, однако в этом случае и центры масс звеньев, и точки приложения сил можно было бы описать на этапе 7 как обычные точки, если бы мы хотели, чтобы они участвовали в кинематическом расчете с целью определения, например, их скоростей или ускорений.

Следует обратить внимание на то, что при повторных выходах на этап описания точек, например, при редактировании, система предваряет свои вопросы о точках таблицей уже введенных точек. Это сделано для исключения дублирования. Если ошибочно повторить задание какой-либо точки, то это не будет выявлено системой как ошибка, но информация при счете не всегда будет верной.

Этап 8. Заполняем таблицу групп Ассура, то есть перечисляем структурные группы механизма, начиная с группы, связанной с начальным звеном.

Таблица 2 - Таблица групп Ассура

Тип	Имена звеньев		Номер диады
Диада	2	3	1

Имена звеньев могут перечисляться в любом порядке, то есть допустим ввод:

Диада / 3 / 2 / 1

Номера диад вводить не нужно - этот столбец заполняется системой автоматически. Группы перечисляются в порядке возможности их анализа. Это означает, что внешние пары вводимой группы должны находиться или на начальном звене, или на стойке, или быть на звеньях уже введенных ранее групп. Первая группа, как правило, связывает стойку и начальное звено. За правильностью порядка ввода система следит сама, выдавая соответствующие сообщения.

Имеется одна особенность при вводе группы 3-го вида (кулисы). Звено, имя которого названо первым в таблице групп, будет изображаться на схеме механизма охватывающим звено, имя которого названо вторым. На рисунке 3, приведенном ниже, показана разница в изображении кулисного механизма при разном порядке описания групп.

Обе схемы отличаются только изображением, структурно и кинематически они тождественны. На рисунке 4 звено 1 - начальное, стойка не имеет номера, а пара В - поступательная пара.

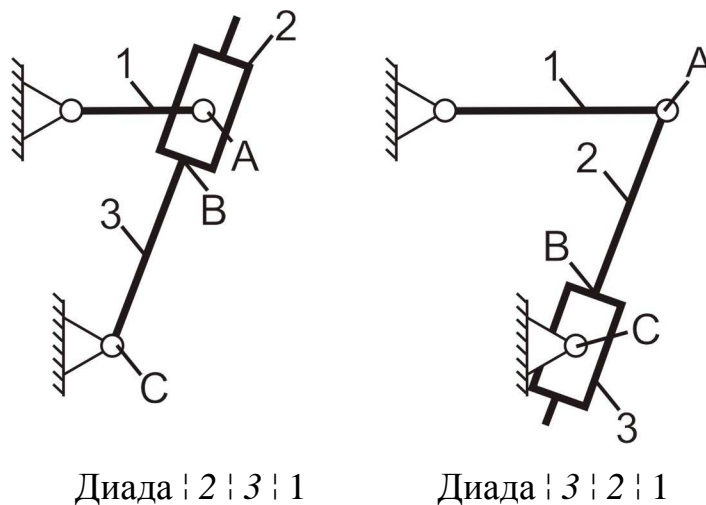


Рисунок 4 - Варианты изображения группы (2 - 3) третьего вида

Если все правильно и ничего не забыто, то на вопрос "*Описание структуры механизма сделано верно ?*" можно ответить утвердительно "Y". При отрицательном ответе система автоматически возвращается на начальный этап 1.1.

В качестве итога ввода на экране появляется таблица, перечисляющая порядок анализа механизма системой, в которой кроме групп будут и стойка, и начальное звено, и все описанные точки. Эта таблица носит сугубо справочный характер.

2.1.2.3 Второй этап - задание размеров механизма

Этап 9. Первыми задаются координаты пар стойки.

Диалог будет иметь вид:

для вращательной пары

(Тип R) Координаты пары O: $x=0$ $y=0$

для поступательной пары

(Тип P) Координаты какой-либо точки, лежащей на направляющей пары C: $x=0$ $y=0.2$.

Угол до положительного направления пары C от оси абсцисс (в град): $F_i=0$.

Здесь видно, что поступательная пара задается вектором своего положительного направления - точкой его приложения и его ориентацией. Точка на направляющей поступательной пары может быть любой, мы выбрали точку C1, лежащую на пересечении направляющей пары C с осью ординат.

Еще раз напоминаем, что угол F_i имеет знак - положительный при отсчете против часовой стрелки и отрицательный при противоположном направлении отсчета.

Так, если бы схема механизма имела вид, как на рисунке 5, то описание пары C изменилось бы:

(Тип P) Координаты какой-либо точки, лежащей на направляющей пары C: $x=0.2$ $y=0$.

Угол до положительного направления пары C от оси абсцисс (в град) равен $F_i = -90$.

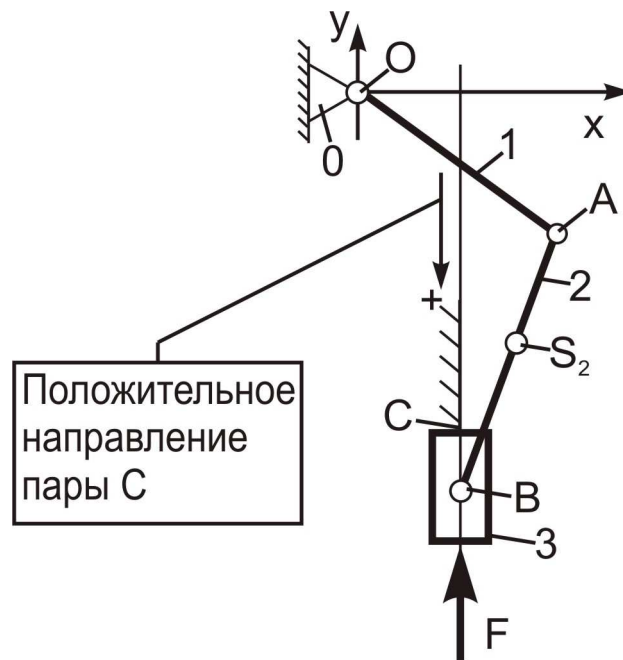


Рисунок 5 - Схема повернутого механизма

Здесь и другое значение координат точки на направляющей пары С и, что более существенно, другое значение угла Φ_i .

Этап 10. На этом этапе задаются размеры звеньев.

Расстояния задаются в метрах, а углы в градусах. Диалог в нашем случае будет иметь вид:

Звено 1

Расстояние между шарнирами O и A равно $0,4$.

Звено 3

Лежит ли вращательная пара B на направляющей поступательной пары C ? Y .

Для случая, когда вращательная пара не лежит на линии, совпадающей с направляющей поступательной пары, системой будет задан вопрос о расстоянии между вращательной парой и направляющей поступательной пары. Вариант такой схемы показан на рисунке 6.

Диалог описания поступательной пары «с поводком» будет следующий:

Звено 3

Лежит ли вращательная пара В на направляющей поступательной пары С ? N.

Длина перпендикуляра, опущенного из пары В на направляющую пары С, равна 0,2.

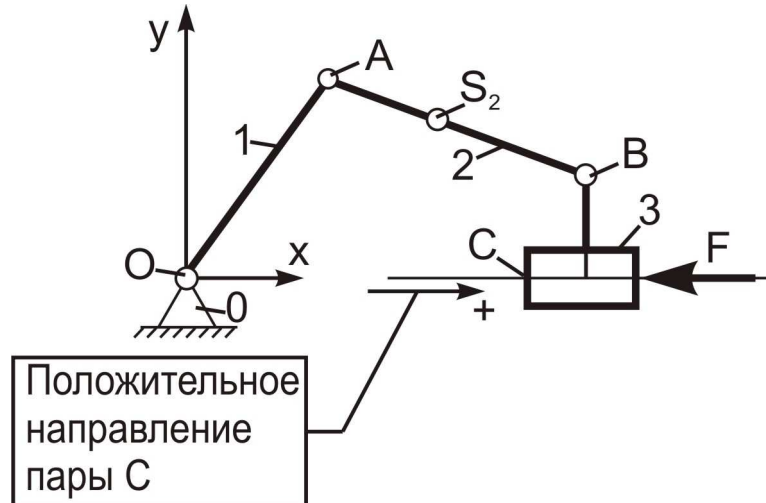


Рисунок 6 - Вариант поступательной пары с «поводком»

Длина перпендикуляра - это расстояние BC_2 , которое, конечно, совпадает с расстоянием OC_1 из схемы рисунка 2, поскольку кинематически это полностью эквивалентные механизмы.

Кстати, для варианта схемы по рисунку 5 диалог описания пары С на этапе 9 также будет другим (из-за смещения положения направляющей пары):

(Тип Р) Координаты какой-либо точки, лежащей на направляющей пары С: $x=0$; $y=0$

Угол до положительного направления пары С от оси абсцисс (в град) равен $\varphi_i=0$

Вернемся к исходному механизму по рисунку 2. Далее диалог задания размеров будет продолжаться так:

Звено 2

Расстояние между шарнирами А и В равно 1.0.

Этап 11. Это этап выбора нужной сборки для каждой из описанных структурных групп.

Диалог для схемы по рисунку 2 будет иметь вид:

Группа (2-го вида) А -В -С :

Вектор АВ составляет ОСТРЫЙ угол с положительным направлением пары С ? Y.

Случай совпадения вектора звена и вектора положительного направления пары (следовательно, в этом случае угол между ними равен нулю) трактуется системой как острый угол.

Если вращательная пара не лежит на направляющей поступательной пары (схема на рисунке 5), то есть длина звена 3 с поступательной парой не нулевая (есть «поводок»), то перед вопросом об остром или тупом угле системой будет задан вопрос о направлении ориентации поводка ВС звена 3 относительно направляющей пары С:

Пара В, основание перпендикуляра, опущенного из пары В на направляющую пары С, и точка на направляющей пары С строится по часовой стрелке? Y? N?

Для схемы по рисунку 5 это точки В, С2 и С3. Точка С3 - это произвольная удаленная в положительном направлении точка. Выбор направления обхода фактически определяет сборку механизма с группой данного вида. Для механизма с конфигурацией по рисунку 5 направление обхода - против часовой стрелки.

Положительный ответ на вопрос о направлении обхода, то есть принятие его по часовой стрелке, приведет к другой, ошибочной конфигурации механизма (рисунок 7).

Если бы на вопрос о признаке, определяющем сборку группы (2 - 3) механизма по рисунку 2, то есть на вопрос об остром или тупом угле между вектором АВ и положительным направлением пары С, был бы дан отрицательный ответ (то есть угол был бы выбран тупым), то конфигурация механизма по сравнению с исходной изменилась бы и приняла бы вид, показанный на рисунке 8.

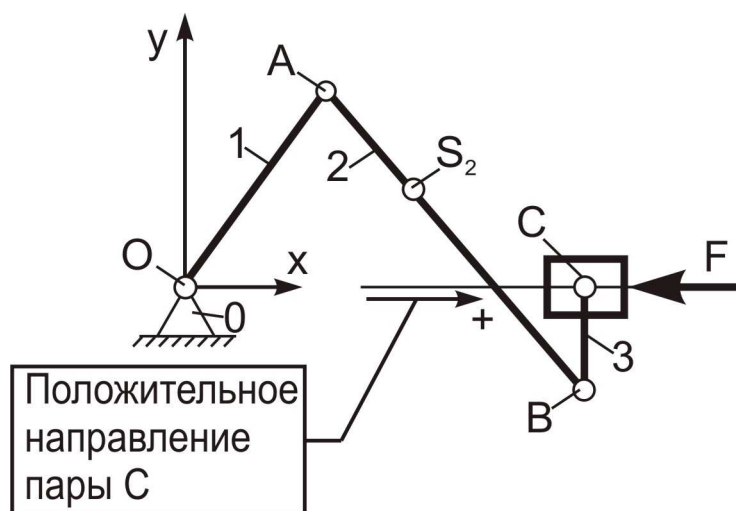


Рисунок 7 - Вариант механизма с положительным направлением обхода

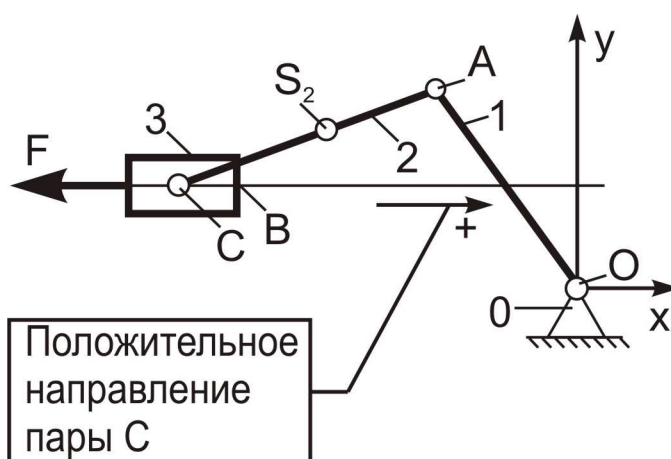


Рисунок 8 - Вариант сборки группы второго вида

Задание признаков сборки для групп других видов обычно не вызывает затруднений. Для группы первого вида с тремя вращательными парами вопрос о направлении обхода шарниров легко идентифицируется, а для групп с поступательными парами 3 и 4-го видов выбор правильной сборки достигается после ответов на вопросы, аналогичные разобранным (об остром или тупом угле между некоторыми векторами и о направлении обхода некоторых точек), причем и векторы и точки выбирает машина.

Необходимо обратить внимание на то, что при конфигурации групп третьего вида, аналогичных показанным на рисунке 3, машина также сама вы-

бирает и положительное направление, о чем появляется соответствующее сообщение.

Сборка группы 5-го вида со звеном с двумя поступательными парами определяется углом между векторами положительных направлений и направляющими поступательных пар. Здесь, как и в остальных случаях, для правильного задания важно правильно выбрать знак этого угла. На рисунке 9 приведен пример такой группы.

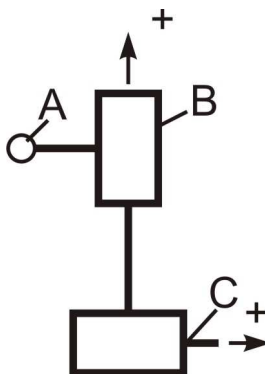


Рисунок 9 - Группа пятого вида

Диалог, правильно ее описывающий, имеет вид:

Группа (5-го вида) A - B - C :

Пара A, основание перпендикуляра, проведенного из пары A на направляющую пары B, и точка на положительном направлении пары B обходятся по часовой стрелке? Y? N?

Угол от положительного направления пары C до положительного направления пары B равен 90° .

Знак угла между положительными направлениями пар C и B, как видно, выбран положительным (отсчет угла ведется от вектора C до вектора B). Задание этого угла - отрицательным, то есть задание соответствующей строки диалога в виде:

Угол от положительного направления пары C до положительного направления пары B, равный -90° ,

приведет к совсем другому механизму (рисунок 10).

В обоих механизмах (рисунок 8 и рисунок 9) направление обхода точек

А, В и удаленной точки на положительном направлении пары В принято одинаковым (против часовой стрелки).

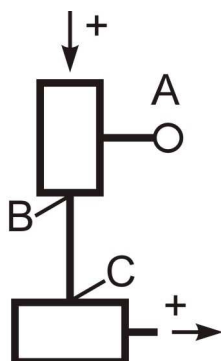


Рисунок 10 - Группа пятого вида альтернативной сборки

Этап 12. Здесь задается положение выделенных точек на звеньях. Диалог для механизма по рисунку 2 будет иметь вид:

Звено 2

Расстояние от пары А до точки S2 равно 0.5

Угол от вектора АВ до вектора AS2 равен 0

Звено 3

Расстояние от пары В до точки S3 равно 0

Расстояние от пары В до точки F3 равно 0

Поскольку расстояния до точек S3 и F3 нулевые, то вопросов об углах ориентации векторов до этих точек машиной не задается. (Для определенности в системе они принимаются нулевыми). В противном случае были бы заданы дополнительные вопросы об угле от перпендикуляра из В на С (то есть от вектора BC2) до вектора BS2. Углы, как и раньше, задаются в градусах и имеют знак.

Последним вопросом этого этапа будет:

Положение всех точек на звеньях задано правильно? Y.

Этот вопрос задается системой, чтобы можно было, еще не приступая к анализу механизма, скорректировать некоторые заведомо неверно введенные размеры и признаки.

Этап 13. Этот этап диалога появляется только при силовом анализе.

Этап 14. Задание инерционных характеристик тех звеньев, для которых на этапе 5 были заданы центры масс.

Масса звена 3 равна 100 кг

*Момент инерции звена 3 равен 0 кг*м*м*

Масса звена 2 равна 50 кг

*Момент инерции звена 2 равен 10 кг*м*м*

Для звена 3 момент инерции не был задан, поэтому в расчете мы им пренебрегаем, то есть приравниваем к нулю. Звенья появляются в том же порядке, в каком давались имена центрам масс.

Этап 15. Задание внешних сил.

Сила, приложенная в точке F3 звена 3, равна 1000 Н

Наклон вектора силы к оси абсцисс равен 180 град

Этап 16. Задание внешних моментов, действующих на звенья.

*Внешний момент на звене 3 равен 0 Н*м*

*Внешний момент на звене 2 равен 0 Н*м*

На этом этапе автоматически перечисляются все подвижные звенья, кроме начального звена (в нашем случае звена 1). Это исключение начального звена связано с тем, что при кинетостатическом расчете определяется уравновешивающий момент именно на начальном звене и наличие дополнительного внешнего момента на нем просто скорректирует величину расчетного уравновешивающего момента, поэтому его можно специально не задавать.

Звенья перечисляются в том порядке, в каком они хранятся в таблицах системы.

Последним вопросом описания механизма будет вопрос:

"Заданы размеры всех звеньев и точек ?".

Отвечая на него утвердительно "Y", мы выходим из этапа задания размеров, и исправить что-либо в механизме можно будет только через строку главного меню ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ.

2.1.2.4 Третий этап – визуальная проверка правильности описания механизма

Этот этап является последним при описании механизма с клавиатуры, при вводе механизма из файла он пропускается. На нем требуется ввести угол поворота начального звена для того, чтобы машина смогла воспроизвести механизм на экране. Это самый эффективный способ самопроверки. Угол можно вводить любой, при котором механизм существует, но лучше всего ввести тот, который соответствует схеме, приведенной в задании, или на том эскизе, с которого собственно и описывался механизм. После этого будет изображена схема механизма, сгенерированного машиной по введенным данным в процессе диалога. Нажатие затем любой клавиши выведет на главное меню программы.

Если схема механизма на экране соответствует заданной, то можно переходить на следующий этап - собственно расчет кинематических и силовых характеристик, если же нет, то придется вернуться на один из начальных этапов. Особенность программы такова, что возвратившись, например, на этап описания структуры механизма, необходимо будет затем повторить и весь диалог с заданием размеров механизма.

При сравнении машинной схемы механизма с заданной следует иметь в виду, что изображение структурной схемы на экране не всегда тождественно совпадает со схемой из задания, главным образом, из-за некоторой неоднозначности в изображении ряда структурных групп. Это касается в первую очередь групп 5, 4 и 3-го вида с поступательными парами. Поэтому всякое расхождение изображения схем следует внимательно анализировать. Если все-таки машина нарисовала схему, принципиально отличную от заданной, то ошибки нужно искать в первую очередь в описании сборок и в задании углов между векторами. В этом последнем случае еще раз следует напомнить, что угол задается со зна-

ком (положительный угол - при отсчете против часовой стрелки). Для коррекции механизма необходимо выйти из этапа, нажав любую клавишу, и перейти на пункт меню ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ, где повторить ввод размеров, внимательно следя за направлением отсчета углов и правильностью задания признаков сборки. Для облегчения проведения этого этапа машина выдает подсказку о тех значениях параметров, которые были ранее введены. С ними можно согласиться, набрав клавишу <Enter>, или отказаться и набрать новое значение, возможно, с другим знаком.

Иногда ошибки описания механизма столь велики, что машина не в состоянии по введенным данным нарисовать механизм. На экран выводится сообщение "Механизм не собирается". Единственной надежной рекомендацией в этом случае может быть только тщательный критический анализ всей введенной информации: размеров, сборки или даже структуры. Можно также попробовать изменить угол поворота начального звена, главным образом, для того, чтобы все-таки увидеть механизм, который получился по введенным данным, и тем самым выявить место неправильности задания, поскольку ясно, что механизм описан неверно.

Если структура механизма задана правильно, то есть его изображение получилось похожим с заданным, то обычно бывает полезным сохранить механизм на диске, прежде чем переходить к следующему этапу. Это важно для того, чтобы не потерять всю введенную информацию из-за случайного сбоя при выводе результатов на печать или при просмотре движения механизма и экспериментами с масштабами. Для сохранения нужно выбрать опцию "ВЫХОД" в главном меню и утвердительно ответить на вопрос о сохранении файла диалога. Файлы диалога имеют расширение .di . В файле диалога сохраняется именно диалог со всеми имевшими место неправильностями ввода информации и последующими их исправлениями. Никакой модификации его программа не делает.

Теперь можно снова запустить программу, выбрав в самом ее начале режим ввода данных из файла. При отсутствии в файле фатальных ошибок про-

грамма после его загрузки выйдет на главное меню (на строку ДВИЖЕНИЕ МЕХАНИЗМА), которое и можно посмотреть, нажав клавишу <Enter>. Движение механизма можно сделать пошаговым (через 5 градусов), если воспользоваться клавишей <ПРОБЕЛ>. Если при каких-либо положениях начального звена механизм не существует или положение его звеньев неопределенное, то на экране появляется предупреждающая надпись, а вместо полной схемы механизма изображается положение только одного начального звена, которое будет продолжать вращаться. Естественно, что в этом случае можно просто сузить диапазон движения начальному звену, задав начальное и конечное его положения, в пределах которых и будет осуществляться качательное движение кривошипа.

Одновременно с механизмом на экране изображаются планы скоростей и ускорений. При этом масштабы планов постоянны для всего диапазона движения механизма. Поэтому в случае, если имеется значительный перепад значений скоростей или ускорений, то в некоторых положениях механизма планы могут вырождаться - практически превратиться в точку и не давать поэтому никакой информации. Если все-таки для этих положений форма плана скоростей или ускорений представляет интерес, то можно или сузить диапазон движения кривошипа вблизи интересующего положения, или изменить масштаб изображения соответствующего плана, для чего имеются экранные средства, или, наконец, изучать планы для этого положения в другом разделе главного меню - АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ. Для изменения масштаба любого плана на экране следует вначале выбрать соответствующий план клавишами <M>, <V> или <A> (механизм, скорость или ускорение), а затем многократным нажатием клавиш > (больше) или < (меньше) увеличить или уменьшить соответствующий план до необходимой величины, при этом стрелками его можно переместить в нужное место экрана. Делать это необходимо осторожно, так как при беспредельном увеличении масштаба машина может «зависнуть». Если механизм не был сохранен, то он пропадет. Отметим попутно, что клавишей <-> (минус) корректи-

руемый план можно вообще убрать с экрана, а затем клавишей <+> (плюс) восстановить.

2.1.2.5 Четвертый этап - кинематический и силовой анализ

Этот этап начинается после выбора строки меню АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ. При этом рассчитываются и выводятся в файл и (или) на экран положение, скорость и ускорение всех вращательных пар механизма и всех точек на звеньях. В некоторых версиях программы для точек приложения сил и центров масс кинематические характеристики не выводятся, если только эти точки не были помечены специально как точки, кинематика которых представляет интерес, и им были даны поэтому дополнительные имена. Также рассчитываются и выводятся угловые положения, угловые скорости и ускорения всех подвижных звеньев. Система не выявляет специально поступательное движение звена, о таком можно судить косвенно по тождественно нулевым значениям его угловой скорости и ускорения.

При силовом анализе данная строка меню имеет вид АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ И СИЛ, и при этом дополнительно рассчитываются реакции во всех кинематических парах и уравновешивающий момент на ведущем звене. Для поступательных пар кроме самой силы реакции выводятся также координаты точки ее приложения (как правило, это основание перпендикуляра, опущенного из вращательной пары на направляющую поступательной пары) и момент сил реакции в паре, при этом положение точки нулевого момента не определяется. Для сил реакции дается также информация о том, с какого звена на какое звено действует сила.

Положения всех кинематических пар, точек, их скоростей, ускорений и сил определяются во введенной системе координат. Скорости, ускорения и силы реакции заданы модулями их векторов, их угловым положением относительно оси абсцисс, а также дополнительно и величинами проекций на оси координат.

На этом же этапе можно увидеть изображение механизма на экране для любого положения начального звена и для этого же положения получить планы скоростей, ускорений и сил.

До начала собственно кинематического анализа предлагается определиться, куда выводить результаты - цифровые значения на печать (в файл), на экран или сформировать на экране графическое изображение механизма для заданного положения начального звена. Можно выбирать любые комбинации вывода результатов.

При выводе на печать результаты записываются в файл, который имеет расширение .dif в текстовом виде и который может быть впоследствии или распечатан, или просто просмотрен на экране средствами редактора. Сделать, правда, это можно только после окончания анализа, то есть выйдя из программы. Числовые результаты в файле организованы таблицами по 6 значений в строке, при этом данные сгруппированы по звеньям, парам или точкам, имена их выводятся в левом столбце таблицы. При формировании файла для печати для уменьшения его размера можно отказаться от вывода всех сосчитанных параметров и выводить в файл только часть их, хотя рассчитываться системой они все равно будут все без исключения, и поэтому скорость работы программы этим не увеличится.

Диалог для случая вывода в файл (на печать) или для вывода на экран значений всех кинематических параметров механизма, например, для трех значений углового положения начального звена (0, 45 и 90) градусов будет иметь вид:

Задайте число анализируемых положений начального звена : 3

Начальное значение угла поворота звена 1 (в град): 0

Угловая скорость звена 1 (рад/с) : 10

Угловое ускорение звена 1 (рад/с/с): 12

Шаг изменения положения начального звена (в град): 45

В некоторых версиях программы при выводе на печать (в файл) перед вопросом о числе анализируемых положений задается вопрос:

-Будут выводиться аналоги скоростей и ускорений в стандартном варианте?

(Начальное звено совершает полный поворот против часовой стрелки. Выводятся 12 точек через 30 градусов)

Слово «аналоги» на экране выделено цветом.

При утвердительном ответе "Y" остальные вопросы не задаются. Начальное положение кривошипа при выводе аналогов - 0 градусов. Угловая скорость - 1 рад/с, ускорение - 0.

После задания точек расчета задается серия вопросов о полноте вывода, то есть, все ли сосчитанное нужно выводить в файл, после чего и происходит собственно запись в файл пока со служебным именем DIADA.DIF. При неполном выводе предлагается перечислить имена звеньев, пар и точек, кинематические характеристики которых будут храниться в файле. При силовом анализе предлагается также перечислить пары, реакция в которых только и будет записываться. Никакой проверки на правильность имен не проводится и ошибочные имена просто игнорируются.

Просмотреть предварительно числовые результаты кинематического анализа, не выходя из программы, можно, задав опцию ВЫВОД НА ЭКРАН. При выводе не в файл, а на экран числовые значения выводятся по одному последовательно для каждого положения начального звена (а не таблицей по шесть, как в файл для печати), при этом кинематические характеристики центров масс и точек приложения сил не выводятся.

При отказе от вывода на печать и таблиц значений на экран и при выводе на экран одного только изображения схемы механизма вопросов о значении угловой скорости и ускорения начального звена не задается. Они принимаются машиной, равными 1 рад/с для скорости и 0 для ускорения, то есть фактически рассматриваются аналоги. Эту особенность следует иметь в виду при анализе плана ускорений, форма которого при этом, естественно, будет отличаться от плана с заданным угловым ускорением начального звена. Если все-таки есть необходимость проанализировать план с ненулевым значением углового ускорения начального звена, то следует кроме изображения механизма задать фор-

мально еще и вывод, например, таблицы значений на экран или на печать (в файл) - в этом случае пункты диалога о скорости и ускорении начального звена не будут опущены. Файл этот потом можно не сохранять.

При изображении схемы механизма на экране для данного положения отдельно рисуются планы скоростей и ускорений (и планы сил). Переход к соответствующему плану естественен - через клавиши <M>, <V> или <A>, (а также <F> при силовом анализе). Планы рисуются на весь экран в максимально крупном масштабе, и поэтому этот режим более удобен для анализа планов скоростей, ускорений и сил, чем рассмотрение их в режиме ДВИЖЕНИЕ МЕХАНИЗМА. Характерно, что в каждом плане есть специальный режим расшифровки по нажатию клавиши <R>. В этом режиме каждый вектор плана последовательно выделяется цветом и в углу экрана дается его буквенное обозначение (например, VAB, akDB(3), R21 и т.п.). В некоторых версиях программы одновременно приводится и числовое значение модуля соответствующего вектора.

Рассмотрим последний рабочий пункт главного меню ГРАФИКИ АНАЛОГОВ (при силовом анализе этот пункт меню имеет наименование ГРАФИКИ АНАЛОГОВ И СИЛ). Каких-либо особенностей, требующих специальных разъяснений, этот раздел не имеет. Числовое значение любой величины при любом значении угла поворота кривошипа (с дискретностью 5 градусов) можно узнать, передвигая с помощью стрелок вертикальную черту-указатель темного цвета. Графики линейных величин воспроизводятся в проекциях, то есть для них выводятся одновременно два графика проекций на оси координат разными цветами с указателями тех же цветов. Для вырожденных положений механизма на соответствующих участках график не изображается совсем, а вместо числовых величин выводятся звездочки.

Как уже указывалось, любой параметр механизма может быть изменен. Это делается после перехода на пункт меню ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ. При этом программа в диалоге последовательно показывает значения всех уже введенных размеров. Если этот размер нет намерения изменять, то достаточно нажать клавишу <Enter>, то есть согласиться. Для изменения параметра нужно

непосредственно вводить новое его значение прямо поверх старого, ничего не стирая. Если после изменения какого-либо параметра остальные параметры предполагается сохранить, то можно или последовательно для каждого из них после подсказки нажимать клавишу <Enter>, или просто набрать клавишу-ускоритель <F10>, и тогда все остальное автоматически сохранится без промежуточного вывода на экран. Все введенные изменения автоматически запишутся в файл диалога (с расширением .di), старые параметры механизма сохраняются в резервной копии (со стандартным расширением .bak).

Можно изменить и структуру механизма, перейдя на пункт меню ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ. В этом случае система переходит к таблице ввода пар. Дальнейшие действия практически совпадают с действиями при первичном вводе механизма с той лишь разницей, что на этапе ввода размеров система показывает, что за величина хранится у нее для соответствующего размера. При этом надо внимательно следить за этими цифрами, так как они могут измениться по сравнению с параметрами предыдущей версии механизма. Если цифры совпадают, то с ними можно соглашаться (клавиша <Enter>). Очень осторожно нужно работать и в случае изменения типа пар, поскольку для описания их и для задания размеров звеньев с ними требуется разное количество информации. В некоторых случаях система при попытках подсказки может «наложить» служебные сообщения файла на числовые переменные и «вылететь», пытаясь преобразовать текст в числа. Файл диалога (.di) при этом пропадет, хотя резервный файл (.bak) сохранится.

Подсказки для выбора типа сборки при работе на этой строке меню не появляются - их приходится вводить заново, также не действует и ускоряющая клавиша <F10>.

При анализе нескольких положений механизма нужно иметь в виду, что начальное звено по умолчанию вращается против часовой стрелки, то есть в положительном направлении. Если же есть необходимость провести анализ при вращении его по часовой стрелке, то со знаком минус нужно ввести не только значение угловой скорости, но и шаг изменения положения начального звена.

После окончания счета происходит переход в главное меню, выхода из системы не происходит и любой этап диалога может быть повторен. Можно, например, не выходя из программы, получить серию распечаток кинематики семейства механизмов одной структуры, но с разными длинами звеньев или разными инерционными характеристиками и вариациями параметров. Понятно, что каждому файлу серии нужно давать разные имена.

При нажатии строки ВЫХОД главного меню задаются вопросы о сохранении как файла диалога (.di), так и файла для печати (.dif), если этот режим был заказан, и о задании им имен. При отказе от сохранения редактируемого файла диалога восстанавливается исходный файл, с которого началось редактирование, если же механизм вводился с клавиатуры, то, естественно, никаких файлов не сохраняется.

До выхода из программы любой этап можно повторить, то есть просчитать кинематику с новыми начальными условиями, просмотреть графики аналогов или сил, изменить размеры звеньев и положения точек или вообще изменить структуру механизма: ввести новые звенья, пары или точки на звеньях, перейти к силовому анализу и т.д. Для этого необходимо просто выбрать соответствующий этап работы в главном меню.

В приложении А представлен пример вывода результатов расчетов кривошипно-ползунного механизма в среде «DIADA»

2.2 Модуль APM Slider. Руководство пользователя

2.2.1 Общая характеристика модуля

Модуль «APM Slider», входящий в состав САПР «APM Win Machine», - это система, предназначенная для расчета рычажных механизмов первого и второго класса.

При помощи данной системы могут быть рассчитаны наиболее часто встречающиеся типовые плоские механизмы с одной степенью свободы:

- четырёхзвенники;
- кривошипно-ползунные механизмы;

– кулисные механизмы;
и механизмы на их основе.

Для изучения движения механизма необходимо знать его структуру, то есть число звеньев, число и классы кинематических пар, а также размеры и взаимное положение звеньев, влияющих на движение. Поэтому при изучении движения звеньев механизма составляют кинематическую схему механизма, которая является его кинематической моделью.

Кинематическая схема механизма строится с точным соблюдением всех размеров и форм, от которых зависит движение того или другого звена; другими словами, с соблюдением тех размеров и форм, при изменении которых изменяются положения, скорости и ускорения точек механизма.

Для определения движения всех звеньев механизма, образованного кинематической цепью с одной степенью свободы, необходимо и достаточно иметь заданным закон движения одного из звеньев, которое далее будет называться ведущим звеном.

Процесс образования механизма можно представить как последовательное присоединение к начальному звену, состоящему из стойки и входного звена, кинематической цепи с нулевой степенью свободы. Эта кинематическая цепь может принимать любой вид и иметь произвольное количество кинематических пар, если выполняется условие по количеству степеней свободы.

При последовательном присоединении групп необходимо пользоваться следующими правилами:

- первая группа присоединяется свободными элементами к начальному звену и к стойке;
- последующие группы могут присоединяться к любым звеньям полученного механизма так, чтобы обладали подвижностью друг относительно друга (группа не может быть присоединена свободными концами к одному звену).

Кинематическое исследование механизма состоит в решении следующих задач:

- определении перемещений звеньев и траекторий, описываемых точками звеньев;
- определении скоростей отдельных точек звеньев и угловых скоростей звеньев;
- определении ускорений отдельных точек звеньев и угловых ускорений звеньев.

Так как механизм имеет одну степень свободы, то перемещения, скорости и ускорения звеньев и точек механизма являются функциями перемещений, скоростей и ускорений ведущего звена .

Функция перемещений (закон движения начального звена) может быть задана в аналитической форме в виде функции, связывающей перемещение ведущего звена со временем.

Если ведущее звено образует вращательную пару со стойкой, то задается функция

$$j=j(t), \quad (1)$$

где j - угол поворота начального звена относительно неподвижной системы координат, связанной со стойкой, град;

t – время, с.

Если начальное звено образует со стойкой поступательную пару, то задается функция

$$s=s(t), \quad (2)$$

где s - перемещение произвольно выбранной точки ведущего звена относительно неподвижной системы координат, связанной со стойкой, м;

t – время, с.

Функции (1) и (2) могут также быть заданы графически в виде кривых, где по осям ординат отложены углы поворота j или перемещения s , а по осям абсцисс - время.

В некоторых задачах закон движения начального звена может быть задан в виде функций скоростей

$$w=w(t) \quad (3)$$

или

$$v=v(t) \quad (4)$$

Тогда переход от функции скорости к функциям перемещений может осуществляться путем интегрирования.

Если закон движения начального звена задан в виде функций ускорений

$$e=e(t) \quad (5)$$

или

$$a=a(t), \quad (6)$$

то переход к функциям скоростей также осуществляется путем интегрирования, а, определив функции скоростей, можно определить и функции положений.

Для кинематического исследования механизма вначале рассматривается движение ведущего звена, причем оно может двигаться с переменной скоростью.

Решение задачи о положениях механизма в данной системе производится графическим методом. Рассмотрим этот метод на примере четырехзвенного механизма II класса, показанного на рисунке 11.

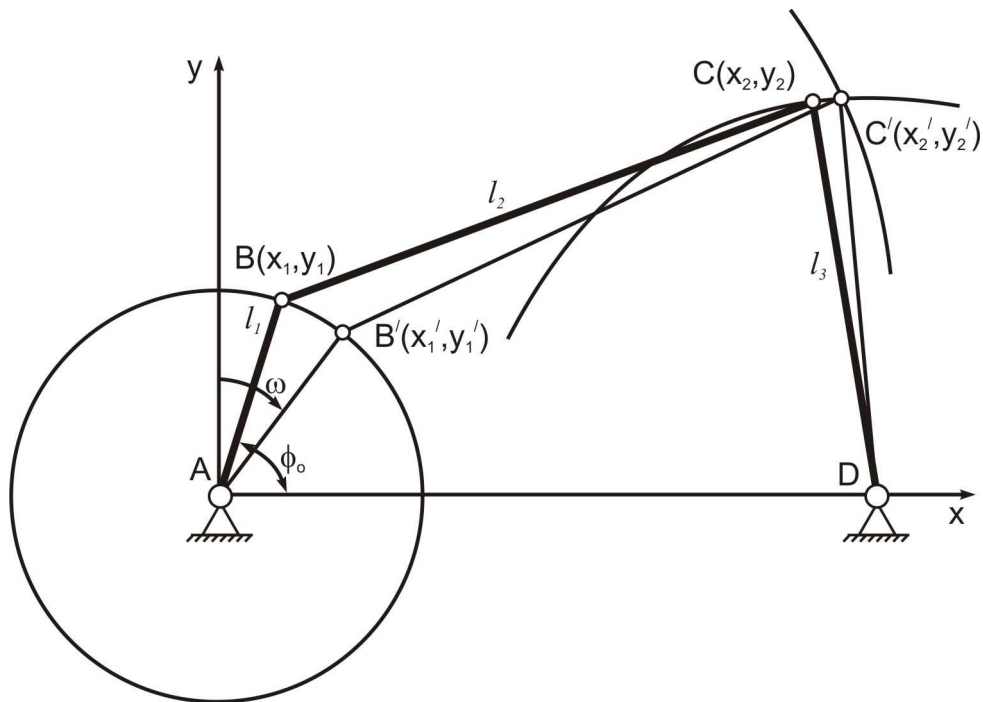


Рисунок 11 – Расчетная схема плоского кривошипно-коромыслового механизма

2.2.2 Работа с модулем

2.2.2.1 Кинематический синтез плоского механизма

Общие положения

Механизм состоит из начального звена 1, вращающегося вокруг неподвижной оси А. Угол поворота ϕ_0 - обобщенная координата механизма. Звено 3 вращается около оси D. Звено 2 входит во вращательные пары В и С на звеньях 1 и 3.

Если рассматривать движение ведущего звена 1, то точка В будет занимать положения, лежащие на окружности радиуса l_1 , описанной из точки А. Точка С, принадлежащая звену 3, будет всегда лежать на окружности радиуса l_3 , проведенного из точки D. В то же время, она лежит на окружностях, проведенных из точки В, радиусом l_2 . Таким образом, рассматривая точки пересечения окружностей 2 и 3, можно найти положение точки С в любой момент времени. Нетрудно заметить, что при заданных длинах l_2 и l_3 точка С может занимать два положения, лежащие на противоположных точках пересечения окружностей 2 и 3. Правильное ее положение выбирается из условия ближайшего расположения точки от ее предыдущего положения.

Если найдены положения звеньев механизма для достаточно большого числа заданных положений начального звена, то можно построить траектории, описываемые отдельными точками механизма.

Если вставляется первый шарнир механизма, то он становится стойкой, а звено, которое с ним связано, - ведущим .

В разделе «Число позиций» отмечается число положений механизма. В секции «Ход ведущего звена» отмечается максимальный угол в градусах, на который может переместиться ведущее звено. Приращение угла для ведущего звена при постоянной скорости перемещения будет вычисляться по формуле (ход/число позиций). При переменной скорости перемещения ведущего звена приращение будет зависеть от закона движения и вычисляется как

$$(F(x_i) - F(x_{i-1})), \quad (7)$$

где i - текущее положение механизма.

Ведущее звено позже может быть заменено другим (см. «Заменить водило»). После того как вставлен входной шарнир, появится следующее окно (рисунок 12).

Параметры Ведущего Звена

Число позиций: 40 [-]

Ход ведущего звена: 360 [град]

Угол ведущего звена: 0 [град]

Расст. между опорами (L0): 0 [мм]

Длина водила (L1): 0 [мм]

Длина второго звена (L2): 0 [мм]

Длина третьего звена (L3): 0 [мм]

Buttons: Ok, Отмена, Справка, Выбрать схему <<|>>

Рисунок 12 - Интерфейс окна «Параметры ведущего звена»

Можно нарисовать механизм вручную либо выбрать из стандартных (четырёхзвенник, кривошипно-ползунный механизм либо механизм первого класса с кулисой), для чего отметить «Выбрать схему >>», пользуясь ползуном, выбрать нужный механизм и щелкнуть мышкой по его пиктограмме. После этого необходимо ввести параметры ведущего звена механизма («Число положений» и «Ход ведущего звена»), начальный угол ведущего звена и длины звеньев механизма. После ввода всех параметров выбранный механизм появится на экране. Полученный механизм можно дорабатывать и изменять.

В готовом механизме можно заменить ведущее звено на другое (рисунок 13).

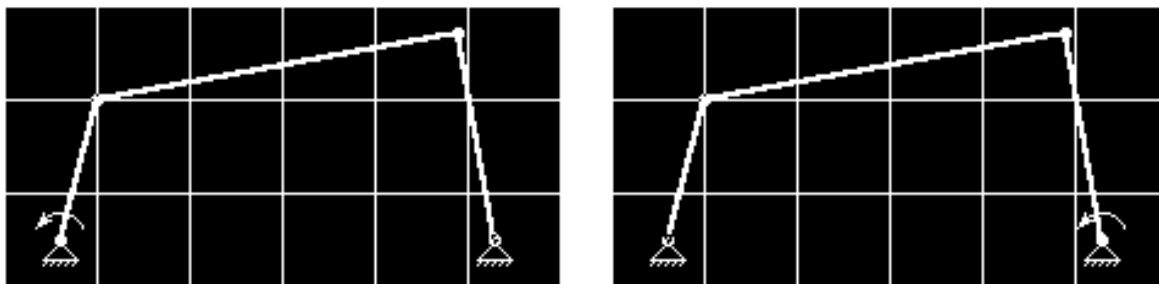


Рисунок 13 - Интерфейс окна «Замена ведущих звеньев»

Для этого:

- выберите команду «Механизм | Водило»; курсор примет вид вопросительного знака;

- щелкните на шарнире, который будет стойкой нового водила.

Стрелка над стойкой входного звена указывает направление вращения.

Водилом можно сделать только звено, связанное со стойкой.

Данный диалог позволяет ввести параметры четырехзвенника, после чего этот механизм будет построен автоматически.

После вставки опоры четырехзвенника располагаются на горизонтальной прямой на расстоянии L_0 .

Угол ведущего звена - это угол наклона водила к горизонтали в градусах, отсчитываемый по часовой стрелке.

Длины всех звеньев должны быть введены в миллиметрах.

Элементы интерфейса и их назначение

Диалоговое окно «Параметры звена»

Данная команда вызывает диалоговое окно «Параметры звена» (рисунок 14), что позволяет просмотреть и изменить положение звена, в частности, координаты его концов, его длину и угол наклона, а также координаты одного узла звена относительно другого.

В данном окне отображается положение звена. При необходимости любые из этих параметров можно поменять. При изменении любых двух параметров,

например, координат одного из узлов, остальные, связанные с ними, значения заменяются символом «-».

Параметры Звена			
Первый узел	0.	[.]	Ok Отмена Справка
X	90.	[мм]	
Y	61.	[мм]	
Второй узел	1.	[.]	
X	95.9519	[мм]	
Y	141.191	[мм]	
DX	5.95188	[мм]	
DY	80.1909	[мм]	
Длина звена	80.4114	[мм]	
Угол наклона	85.7552	[град]	

Рисунок 14 - Интерфейс окна «Параметры звена»

При вычислении относительных значений за начало относительной системы принимается первый узел (в данном примере кинематическая пара с номером 1).

После нажатия кнопки «Ok» рабочая область системы будет перерисована.

Команда «Редактор | Вставить шарнир»

Данная команда позволяет вставить шарнир: подвижный или неподвижный - это программа решает сама. Однако, если появился шарнир неверного типа (неподвижный вместо подвижного), в результате расчетов программа сама определит его тип и исправит. Поэтому перед печатью механизма рекомендуется провести расчеты и, если нужно, вернуть механизм в исходное положение (команда «Вернуть в начало»).

Вставка шарнира происходит следующим образом. Выберите команду «Редактор | Вставить шарнир», нажмите левую кнопку мыши на позиции экрана, где должен стоять шарнир (если нет ни одного), либо на шарнире, к которому он будет привязан. Шарнир можно перемещать, не отпуская кнопку мыши,

при этом в строке состояния отображается текущее положение шарнира (в абсолютной и относительной системах координат, при этом ноль относительной системы координат будет находиться в точке, в которой была нажата левая кнопка мыши). При перемещении шарнира рисуется «резиновый» механизм. Отпустив кнопку мыши, Вы добавите новый шарнир.

Если вставляется первый шарнир, то он является стойкой, а звено, с ним связанное, - ведущее. После вставки стойки появляется окно ввода параметров ведущего звена (см. «Вставка главного звена»). Ведущее звено можно позже заменить (см. Заменить Водило).

Нумерация шарниров начинается с нуля. Стойка имеет нулевой номер.

Если удаляется стойка, то весь механизм удаляется без запроса подтверждения удаления.

Команда «Редактор | Перемещать шарнир»

Этой командой нужно пользоваться для того, чтобы переместить шарнир, направляющую ползуна или основание кулисы в новую позицию. Этой командой можно воспользоваться также для того, чтобы изменить очертания тела или перемещать шарниры, принадлежащие нескольким телам. При этом шарнир можно перемещать за пределы тела, но он будет по-прежнему относиться к звену, к которому был привязан, и рассчитываться соответственно.

Команда «Редактор | Удалить шарнир»

Эта команда удаляет шарнир. Этой командой можно воспользоваться для удаления ползуна, кулисы, узла тела или шарнира в теле звена. Для того чтобы удалить какой-нибудь элемент механизма, необходимо выбрать эту команду, подвести курсор мыши к нужному элементу и нажать левую кнопку мыши.

Для удаления ползуна можно воспользоваться этой командой на конце направляющей.

Для удаления кулисы необходимо удалять ее основание.

После удаления шарнира звенья, которые к нему относились, становятся привязанными к родителю этого шарнира (шарниру, к которому он относился).

Если удаляется стойка, то весь механизм удаляется без дополнительного предупреждения.

Команда «Редактор | Вставить тело»

Эта команда позволяет создать тело для какого-либо звена. Для этого выберите команду, подведите курсор к звену, к которому будет привязано тело и, нажав и не отпуская левую кнопку мыши, перемещайте ее. Тело необходимо для того, чтобы шарнир можно было вставить в любом месте вне звена. Для этого необходимо воспользоваться командой «Редактор | Вставить шарнир в тело». Выбрав эту команду, также можно поставить шарнир непосредственно на звено.

В тело можно вставить любое количество шарниров. К одному шарниру можно привязывать несколько звеньев. Тело можно сделать прозрачным или видимым (команда «Показать тело»). При этом, если тело не прозрачное, то звенья, которые находятся за ним, не будут видны. Тело может иметь любую форму, состоящую из линий. Для этого, нажав левую кнопку мыши на линии, обозначающей тело, перемещайте мышь. Для удаления тела воспользуйтесь командой «Удалить шарнир» на точке, обозначающей конец линии тела. Если тело состоит из нескольких линий, необходимо удалить все узлы, обозначающие границы этого тела.

Команда «Механизм | Вставить шарнир в тело»

Эта команда вставляет кинематическую пару в тело звена. Этой парой можно пользоваться как для связи с другими звеньями, так и для исследования перемещения точки тела в процессе перемещения механизма. Выбрав эту команду, также можно поставить шарнир непосредственно на звено или кулису.

В тело можно вставить любое количество шарниров. К одному шарниру можно привязывать несколько звеньев, ползунов или кулис.

Для удаления такого шарнира необходимо воспользоваться командой «Редактор | Удалить шарнир».

2.2.2.2 Кинематический анализ плоских механизмов

Команда «Результаты»

Данная команда выводит на экран диалоговое окно «Выбор результатов» (рисунок 15).

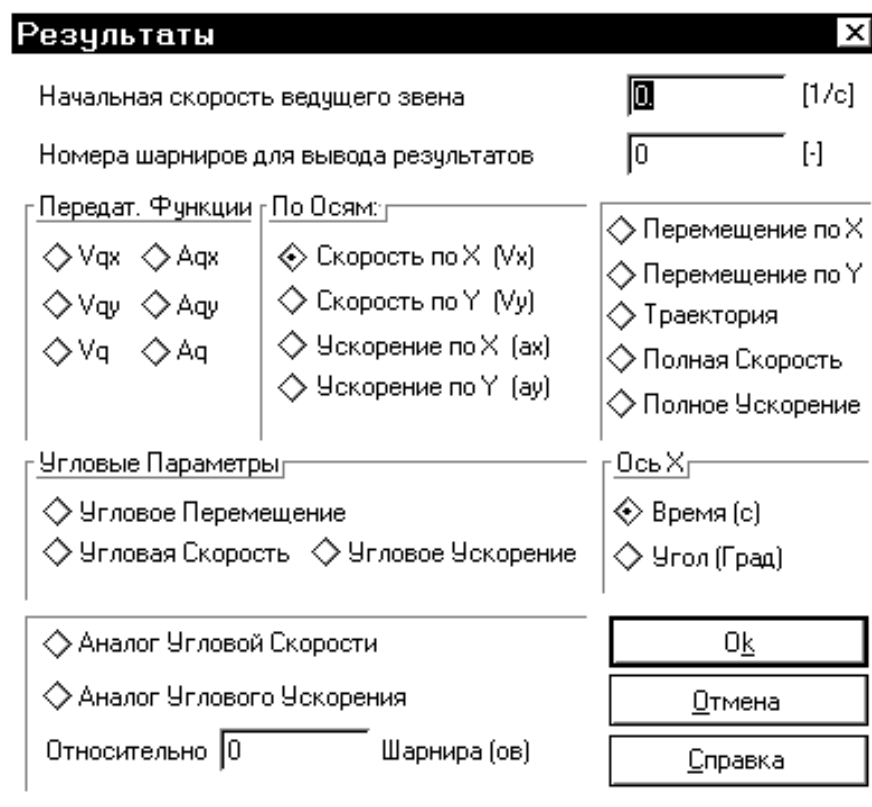


Рисунок 15 – Интерфейс окна «Выбор результатов»

В этом окне необходимо указать следующие параметры:

– время между двумя положениями механизма;

– номера шарниров для вывода графиков; здесь через запятую задаются шарниры, графики результатов расчетов которых необходимо показывать; например, при задании 1,2,4,5,8 в окне результатов появятся графики именно этих шарниров.

Далее следует указать, какие параметры необходимо показывать: передаточные функции, скорости, ускорения, траектории, перемещения или аналогичные угловые параметры.

Если необходимо просмотреть угловые параметры, то нужно указывать, относительно каких шарниров вычисляются значения. Причем для каждого узла должен быть указан шарнир, относительно которого он перемещается. Например, для набора узлов 1,2,4,5,8 в блоке «Относительно» можно указать 2,1,3,4,1, тогда угловые перемещения узла 1 будут считаться относительно шарнира 2, шарнира 8 - относительно первого и т.д.

Далее необходимо указать, что будет откладываться по оси x - время или угол перемещения первого звена.

После того как все параметры заданы, можно нажать «Ввод», после чего программа перейдет в режим просмотра результатов.

Система показа графиков предназначена для представления результатов расчета в графическом виде. Система может одновременно показывать несколько графиков, причем можно управлять как видимостью каждого из них, так и их внешним видом (типом линии, цветом, видом маркера и т.д.).

Кроме графического представления данных можно просмотреть их и в численном виде.

Внешний вид системы представлен на рисунке 16 (щелкнуть на элементе, по которому нужно получить справку).



Рисунок 16 - Интерфейс окна «Графики»

Команда «Рассчитать»

Данная команда начинает выполнение расчетов. При каждом шаге расчетов механизм перерисовывается. В строке состояния отображается состояние расчетов.

Во время расчетов большинство команд недоступно.

Для того чтобы остановить расчеты, воспользуйтесь командой «Стоп».

2.2.3 Пример построения кривошипно-шатунного механизма

V-образного двигателя

Построение кинематической схемы механизма рассмотрим на примере двухцилиндрового V-образного двигателя (рисунок 17).

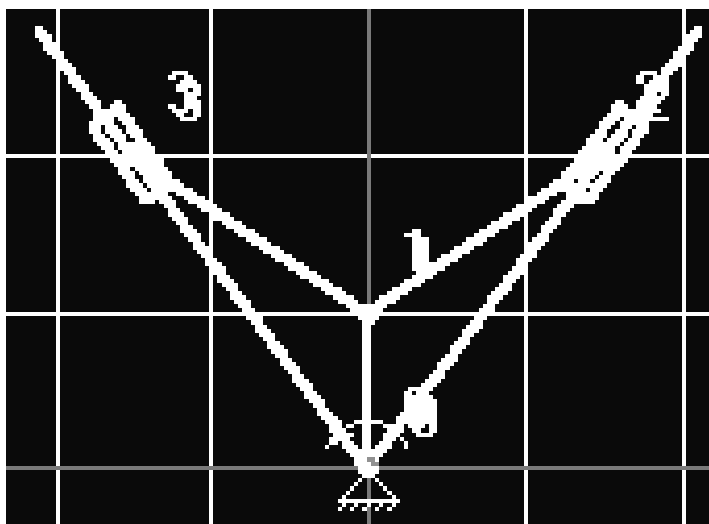


Рисунок 17 - Интерфейс рабочего поля со схемой механизма

В данном двигателе входным звеном является звено, вращающееся вокруг неподвижной точки (стойки, обозначенной цифрой 0). Поэтому сначала выбирается режим рисования шарнира (команда «Механизм | Вставить шарнир»).

Подводим курсор к точке с координатами (0,0) и нажимаем левую кнопку мыши. Координаты курсора отображаются в строке состояния и на линейках в виде цветных засечек. После нажатия кнопки мыши появится диалог выбора существующей кинематической схемы механизма. Поскольку в нем не присут-

ствуется схема нашего двигателя, то нам предстоит нарисовать ее самим, поэтому нажимаем кнопку «Ok».

Появится окно ввода параметров ведущего звена, в котором по умолчанию скорость ведущего звена принята постоянной, ход ведущего звена - 360 градусов и число позиций механизма равно 40. В этом случае приращение ведущего звена будет равно $360/40=9$ градусов. Нажимаем «Ok».

В рабочей области экрана в точке с координатами (0, 0) появилась стойка. Подводим курсор к стойке и снова нажимаем левую кнопку и, не отпуская ее, перемещаем курсор к точке с координатами (0, 20). Механизм перерисовывается «резиновыми» линиями. Отпускаем кнопку и выбираем режим рисования ползуна (команда «Механизм | Вставить ползун»).

Подводим курсор к кинематической паре с координатами (0, 20) и двигаем камень ползуна до точки (30, 40). Аналогично рисуем второй ползун в точке (-30, 40). При этом направляющие ползуна заканчиваются в точке (0, 50), что неверно.

Выбираем режим перемещения узлов (команда «Механизм | Перемещать шарнир») и, хватая направляющие за узлы, отмеченные как шарнир, передвигаем их в точку (0, 0).

Нажав сочетание клавиш «CTRL+B», либо выбрав команду «Показывать | Номера шарниров», увидим номера шарниров.

Воспользовавшись командой «Файл | Сохранить», сохраним текущую кинематическую схему.

2.2.4 Перспективы применения модуля

2.2.4.1 Применение модуля в учебном процессе

Применение модуля «APM Slider» в курсе теории машин и механизмов представляется особо ценным и полезным в рамках изучения темы №2 «Кинематический анализ и синтез механизмов» и, в частности, на групповом занятии №1 «Синтез рычажных механизмов», где обучаемые получают знания кинема-

тического синтеза плоских рычажных механизмов на примере кривошипно - шатунного механизма (КШМ) ДВС.

Исследование кинематики КШМ заключается в выявлении законов движения и выражающих их аналитических зависимостей наиболее характерных точек. Для центрального КШМ такими точками являются ось поршневого пальца, совершающего совместно с поршнем возвратно-поступательное движение вдоль оси цилиндра, и ось шатунной шейки кривошипа, совершающего вращательное движение вокруг оси коленчатого вала.

Схема такого механизма представлена на рисунке 18.

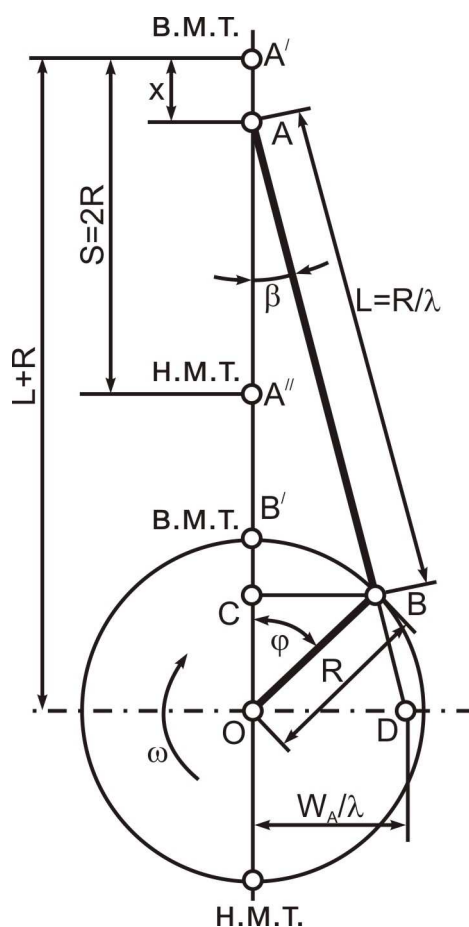


Рисунок 18 - Принципиальная схема центрального КШМ

Основными геометрическими и кинематическими параметрами КШМ согласно рисунку 18 являются следующие:

φ - угол поворота кривошипа в данный момент времени, отсчитываемый от оси цилиндра по направлению вращения коленчатого вала, град.;

β - угол отклонения оси в плоскости его качания в сторону от оси цилиндра, град.;

S - ход поршня, м;

R - радиус кривошипа, м;

L - длина шатуна, м;

$\lambda=R/L$ - отношение радиуса кривошипа к длине шатуна;

ω - угловая скорость коленчатого вала, с^{-1} ;

n – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} .

Ниже представлены основные аналитические зависимости, определяющие кинематические характеристики КШМ:

- зависимость между частотой вращения коленчатого вала и его угловой скоростью, с^{-1}

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}; \quad (8)$$

- зависимость между частотой вращения коленчатого вала, временем и соответствующим ему углом поворота кривошипа, град п.к.в.

$$\varphi = \frac{360nt}{60} = 6nt; \quad (9)$$

-положение поршня, соответствующее любому углу поворота кривошипа определяется расстоянием от его положения в в.м.т. до положения при данном угле поворота кривошипа φ (перемещение оси поршневого пальца), м

$$x_A = R[(1 - \cos \varphi) + \lambda/4(1 - \cos 2\varphi)]; \quad (10)$$

- зависимость между ходом поршня, частотой вращения коленчатого вала и скоростью поршня, м/с

$$c_m = Sn/30. \quad (11)$$

Опираясь на вышеприведенные зависимости, нетрудно синтезировать КШМ с требуемыми кинематическими характеристиками, которые затем можно использовать в дальнейших расчетах в рамках курсового и даже дипломного проектирования.

На первом этапе предполагается реализовать возможности модуля в образовательном процессе при проведении ряда занятий по дисциплине «Теория

механизмов и машин» в интересах привития курсантам первичных навыков проектирования плоских рычажных механизмов по вариантам с индивидуальными исходными данными и своим набором требуемых ограничений и допущений. При этом у курсантов развивается творческое инженерное мышление и пространственное воображение, так как система позволяет немедленно «запустить» собранный в виртуальном пространстве механизм и обучаемый сразу может оценить результат своих усилий.

Этого можно достичь при проведении лабораторных работ с элементами исследования и анализа полученных данных с формулированием выводов и предложений по совершенствованию рассматриваемых конструкций. Полученные результаты и интересные технические решения можно будет использовать в качестве примеров для подражания последующим потокам курсантов и методического материала для возможных научных изысканий.

2.2.4.2 Применение модуля в исследовании новых механизмов

Поскольку все вышеприведенные зависимости, а также общая методика кинематического анализа плоских рычажных механизмов достаточно легко поддаются алгоритмизации и интерпретации в виде программы на одном из алгоритмических языков или электронных таблиц (например, Excel), это позволяет моделировать параметры кинематических цепей и в конечном итоге осуществлять структурный и кинематический синтез новых плоских шарнирных механизмов.

На кафедре в рамках ВНР с использованием модуля «APM Slider» проведено моделирование кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания с нетрадиционной кинематической схемой. Исследование проведено в интересах разработки дипломного проекта по кафедре двигателей.

В настоящее время в среде модуля «APM Slider» синтезирована структурная и кинематическая схема проектируемого ДВС, позволяющая наглядно продемонстрировать принцип работы двухвального КШМ с поршнями, движущимися навстречу друг другу по циклоиде (рисунок 19). Форма поршня и кинема-

тика привода второй половины кривошипно-шатунного механизма показаны условно в связи с незавершенностью патентного оформления.

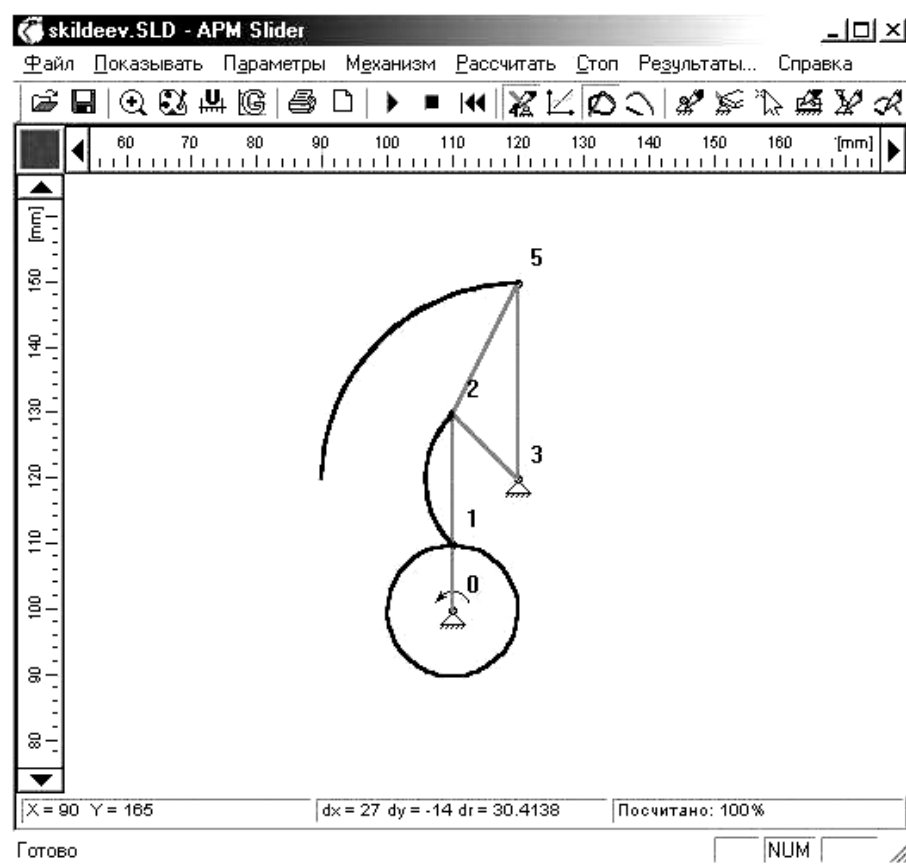


Рисунок 19 - Фрагменты различных положений кинематической схемы синтезируемого кривошипно-шатунного механизма

После выполнения теплового и динамического расчета данного ДВС и получения исходных данных по необходимым динамическим и кинематическим параметрам будет проведено окончательное моделирование и уточнение кинематики нового КШМ (рисунок 20).

Результаты кинематического синтеза нетрадиционного КШМ предполагается использовать в ходе патентных исследований, а также реализовать в ходе курсового и дипломного проектирования по кафедре двигателей.

В результате широкого и планового использования модуля «APM Slider», входящего в САПР «APM Win Machine», ожидается совершенствование уровня инженерного образования в направлении углубления курсантами основ знаний об инженерном проектировании и возможностях исследовательских техноло-

гий, что несомненно пойдет на пользу формированию профессиональных качеств будущего офицера-автомобилиста.

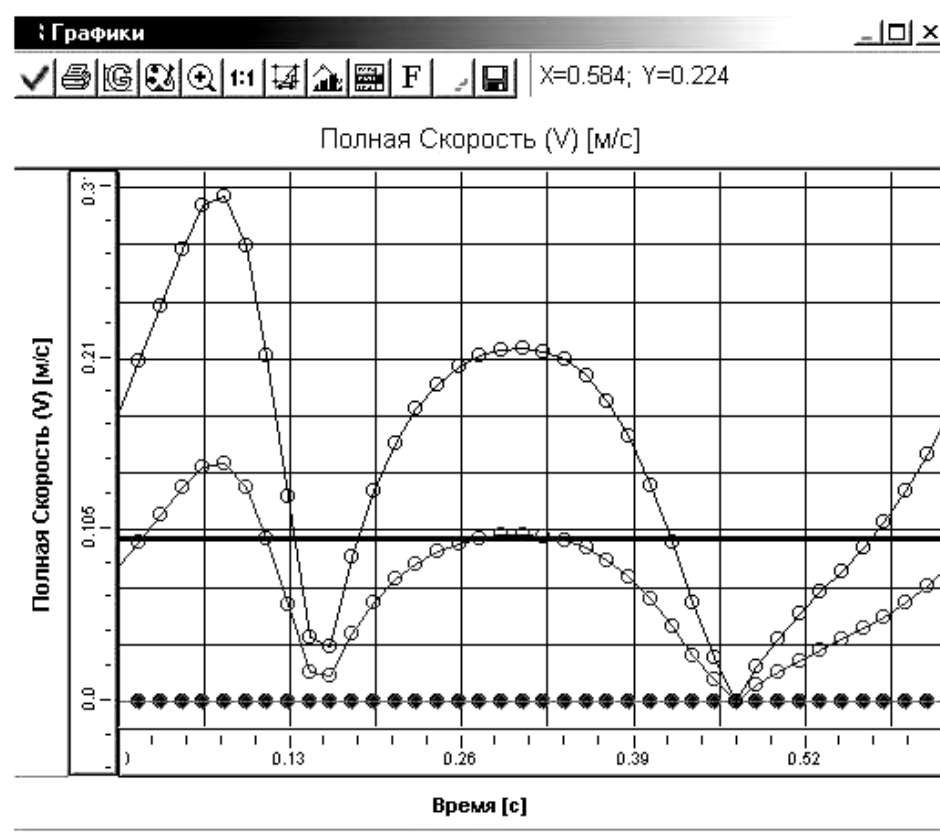


Рисунок 20 - Фрагменты графических зависимостей основных кинематических параметров синтезированного кривошипно-шатунного механизма

Данная система сможет помочь не только в процессе плановых занятий по дисциплинам инженерных кафедр, но и на этапе разработки курсантами и соискателями курсовых и дипломных проектов, а также диссертационных работ соискателей с элементами конструирования механизмов или их фрагментов.

2.3 Система ТММ-2. Руководство пользователя

Данное приложение предназначено для построения и исследования математической модели произвольного механизма и демонстрации его работы. Ниже представлено краткое описание возможностей данной системы. Программа планируется к использованию в ходе изучения темы 2 «Кинематический анализ и синтез механизмов» дисциплины «Теория механизмов и машин». Кроме того, она рекомендуется при выполнении проектных работ в рамках дипломного

курсового проектирования на этапе структурного и кинематического синтеза новых механизмов и машин

2.3.1 Запуск приложения

Для запуска следует запустить файл tmm2.exe. Откроется главное окно приложения, содержащее три кнопки (рисунок 21).



Рисунок 21 - Главное окно приложения

2.3.2 Окно построения механизма

Нажмите "Запуск". Откроется окно построения механизма (рисунок 22).

Данное окно содержит главное меню приложения, кнопки построения механизма и область построения механизма. Здесь будет производиться построение механизма и наглядная демонстрация его работы.

2.3.3 Главное меню приложения содержит четыре основных пункта: Файл, Правка, Функции и Сервис.

Нажмите "Файл". Откроется подменю, содержащее следующие пункты:

- Создать. Создается новый механизм. Если до этого существовал несохраненный механизм в окне построения, то его предлагается сохранить.

- Открыть. Открытие существующего файла с механизмом в формате *.tmm.
- Сохранить. Сохранение текущего механизма в формате *.tmm.
- Печать. Вывод механизма на принтер.
- Выход. Закрытие окна построения механизма.

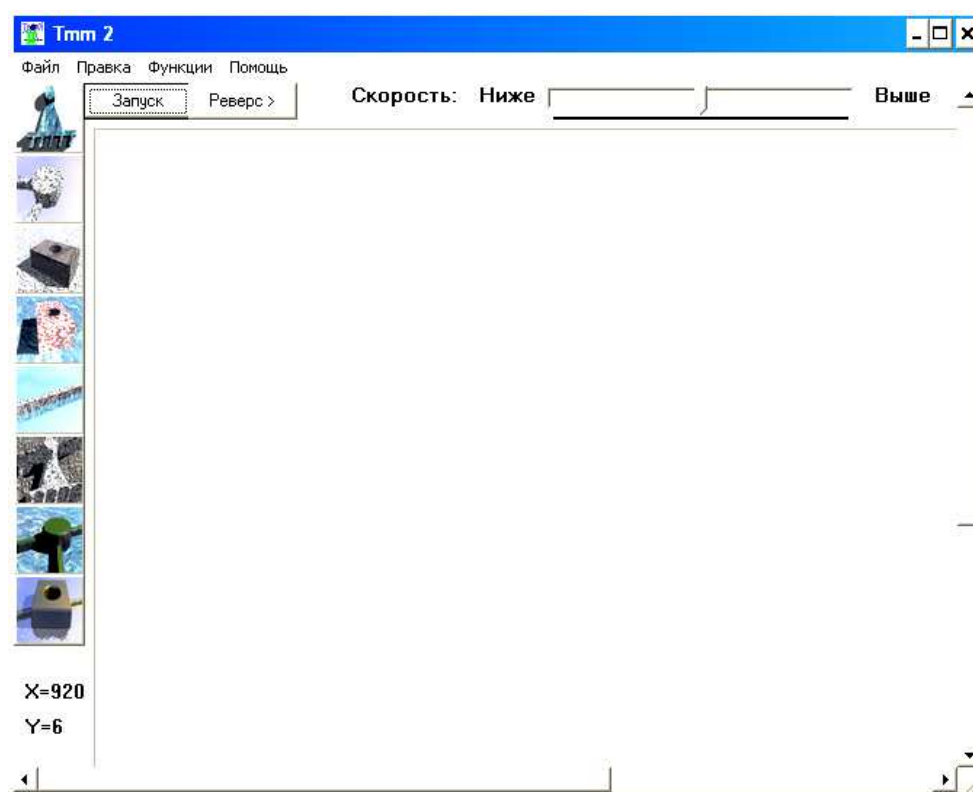


Рисунок 22 - Окно построения механизма

Нажмите "Правка". Откроется подменю, содержащее следующие пункты:

- Отмена. Отмена последнего действия при построении механизма;
- Удалить звено. Удалить последнее созданное звено;
- Удалить точку. Удалить последнюю созданную точку;
- Установить точку. Установка точки в аналитическом режиме.

При нажатии "Функции" откроется подменю, содержащее следующие пункты:

- Кинематика. Исследование механизма на положения, скорости и ускорения.

-Траектории. Режим показа траектории какой-либо точки.

С левой стороны окна находятся кнопки построения механизма, а под ними координаты текущего положения курсора мыши в области построения.

- Опора. Начиная построение механизма, установите эту точку в первую очередь, щелкнув мышкой на кнопке, а потом в области построения, где вы хотите установить данную точку. Вы создали первую точку своего механизма. Именно к ней будет присоединено ведущее звено.

- Шарнир. Установите данную точку следующей таким же образом, как и первую. Желательно где-нибудь поблизости от созданной опоры. Это будет вторая точка ведущего звена.

Нажмите эту кнопку. Указатель мыши примет вид крестика. Теперь подведите его к первой созданной точке (опоре) и щелкните на ней. Вы увидите, как от опоры к указателю проводится линия. Щелкните на второй точке (шарнире). Точки соединятся звеном, и указатель мыши примет прежний вид. Вы создали ведущее звено механизма. Теперь, нажав кнопку Play, можно наблюдать его вращение. Остановить механизм можно, нажав ту же кнопку, теперь имеющую название Stop.

2.3.4 Создание простейшего кривошипно-шатунного механизма

Горизонтальный ползун. Установите эту точку в области построения. И соедините шарнир и данную точку звеном (рисунок 23).

Теперь запустите получившийся механизм. Если звено 2 стало красным, значит механизм нерабочий. Удалите шатун, выбрав два раза "Правка > Отмена". Установите шатун в другом месте и попробуйте еще раз.

Для построения механизма имеется еще один независимый элемент - вертикальный ползун. Отличается от горизонтального тем, что перемещается по вертикали. Установив данный элемент, соедините его звеном с горизонтальным ползуном. Запустите механизм.

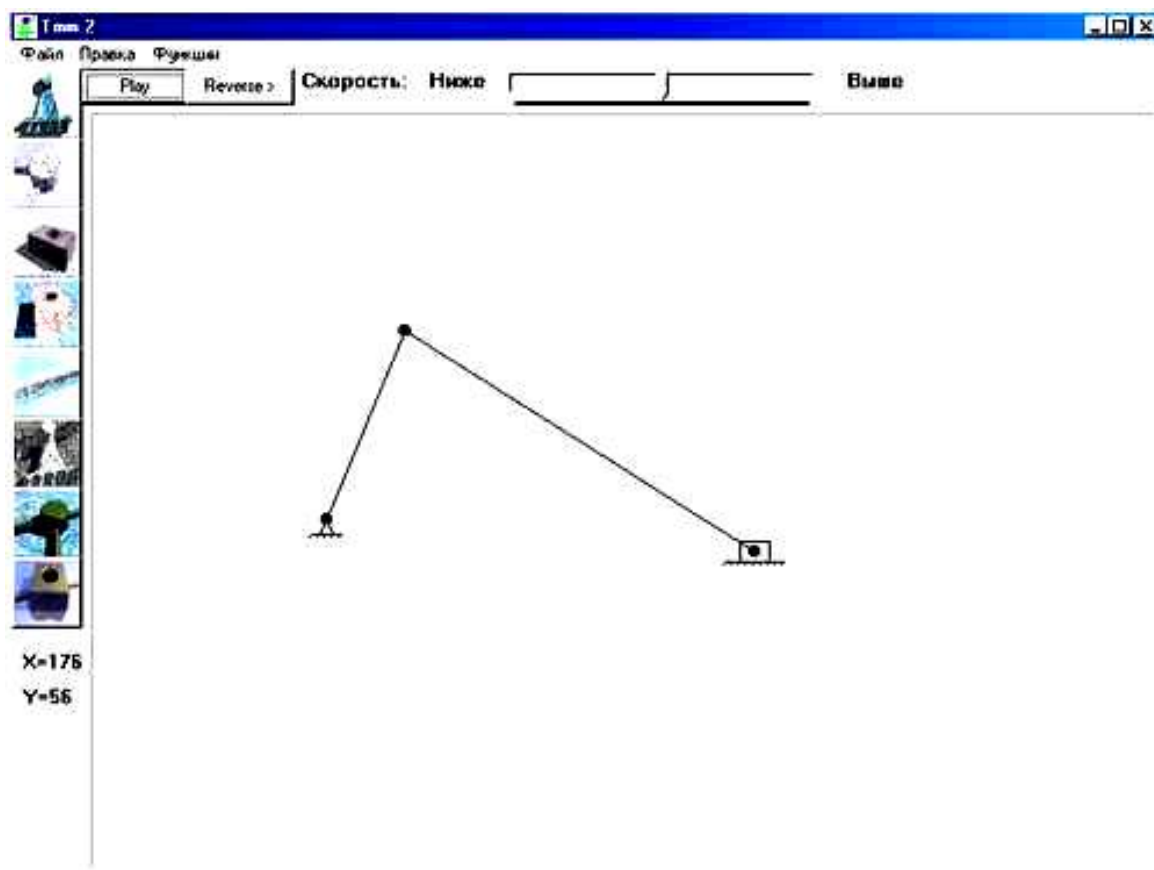


Рисунок 23 - Изображение кривошипно-шатунного механизма

Имеются элементы, которые устанавливаются на звенья. Для установки этих элементов необходимо сначала создать звено, а потом установить на него элемент, либо установить элемент на уже существующее.

Опора на звене. Используется довольно редко. (См. примеры механизмов, прилагающиеся к программе).

Шарнир на звене. Установите его на любое звено механизма. Подсоедините к нему какой-либо элемент, например, горизонтальный ползун и запустите механизм.

Ползун на звене. Может устанавливаться как на подвижное, так и на неподвижное звено.

Существует возможность аналитически устанавливать точки механизма, то есть задавая координаты непосредственно либо относительно какой-либо точки через угол и расстояние. Для этого следует выбрать Правка > Установка точки. В появившемся окне (рисунок 24) можно выбрать тип точки, координаты X и Y

либо, выбрав точку, относительно которой будем устанавливать текущую, ввести расстояние и угол наклона.

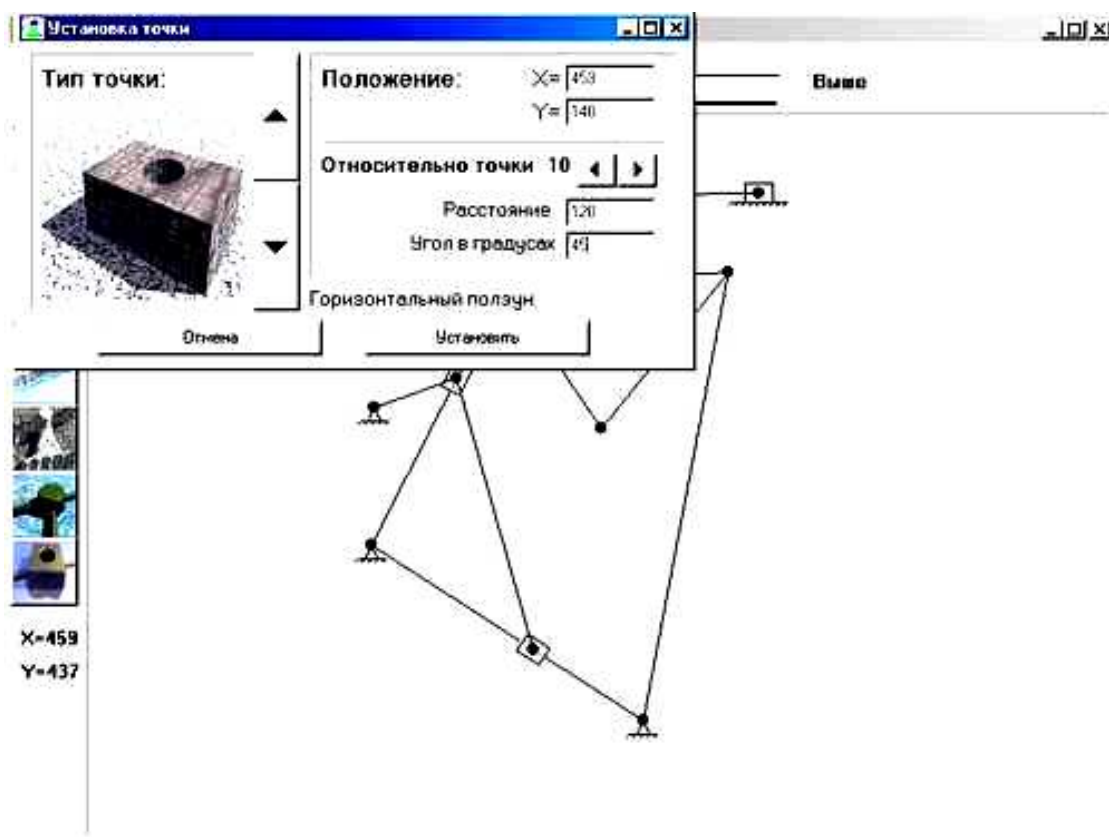


Рисунок 24 - Изображение плоского механизма

В случае установки точки на звено можно выбрать только звено и расстояние от первой точки звена. Все остальное вычисляется автоматически.

Внимание! Если точки не соединяются звеном, то попробуйте соединить в противоположном направлении.

Соединять можно любые точки, но желательно в направлении от уже присоединенных к еще свободным.

Если механизм ошибочен либо имеются лишние степени свободы, то звено, где произошел разрыв, станет красным.

Возможности построения механизма довольно широки. Смотрите примеры механизмов, прилагающиеся к программе.

Если навести указатель мыши на уже созданную точку и сделать щелчок, то откроется окно с номером точки и ее координатами.

2.3.5 Демонстрация работы механизма

Сначала необходимо построить механизм. После построения механизма его можно запускать. Для этого предназначена кнопка Play. Если нажать ее, то механизм начнет работать. Направление вращения ведущего звена можно изменять кнопкой Reverse. Регулировать скорость вращения можно ползунком, находящимся вверху справа.

После запуска кнопка Play приобретает наименование Stop. Для остановки механизма необходимо повторно нажать ее.

2.3.6 Кинематика

Для кинематического анализа механизма следует выбрать Функции>Кинематика. Откроется окно, где можно выбрать точку, которую необходимо проанализировать (рисунок 25).

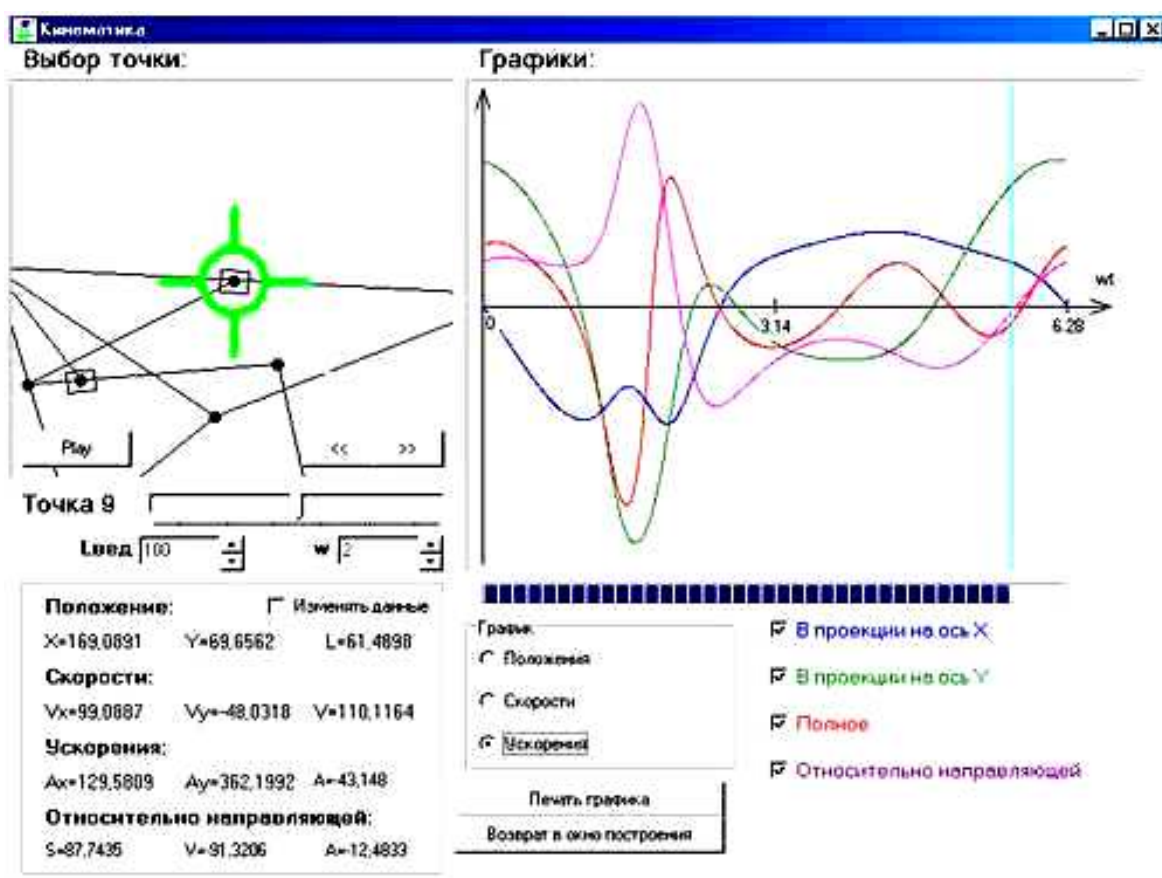


Рисунок 25 - Окно кинематических характеристик в среде TMM-2

Для данной точки можно строить графики изменения положений, скоростей и ускорений. Запускать механизм и смотреть изменение вышеперечисленных величин на графике и аналитически.

Для получения числовых данных необходимо ввести в поля $L_{\text{вед}}$ (длина ведущего звена) и w (угловая скорость ведущего звена) определенные величины в произвольной системе единиц (например $[L_{\text{вед}}]=\text{м}$, $[w]=\text{рад/с}$). Все остальное будет вычислено относительно них в той же системе (длина в метрах, скорость в метрах за секунду, ускорение в метрах за секунду в квадрате). Из данного окна можно распечатать график.

Если поставить переключатель "Изменять данные" во включенное положение и запустить механизм, то при вращении все аналитические данные будут изменяться относительно положения. На графике текущее положение показывается линией, которая при вращении двигается. Скорость вращения можно изменить ползунком под окном выбора.

2.3.7 Траектория точки

Для показа траектории точки следует выбрать Функции > Траектория. Указатель мыши примет вид руки. Щелкнув на любой точке, можно показать ее траекторию. Чтобы убедиться, что траектория правильна, запустите механизм и увидите, что точка будет двигаться по своей траектории (рисунок 26).

Для удаления траектории следует снова выбрать Функции > Траектория. Теперь, если щелкнуть на точке, для которой показана траектория, она будет стерта. Одновременно можно включать произвольное количество траекторий и запускать механизм.

При выводе на принтер нарисованные траектории печатаются вместе с механизмом.

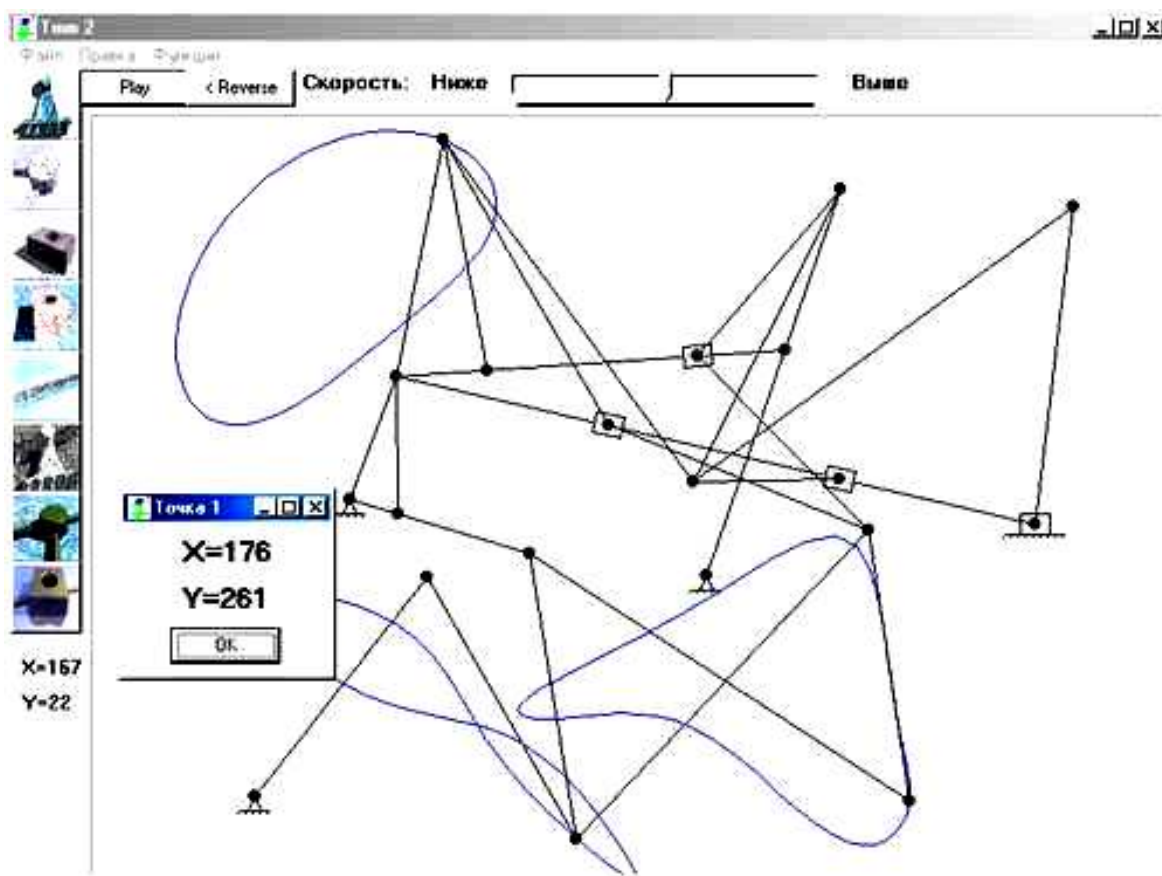


Рисунок 26 - Изображение траекторий плоского механизма

2.4 Компьютерное моделирование механических систем в среде «Model Vision»

2.4.1 Общие положения

Пакет «Model Vision» позволяет:

- проводить вычислительный эксперимент, базирующийся на принципах объектно-ориентированного программирования. Действующая модель может быть разбита на множество отдельных устройств, взятых из имеющейся библиотеки или созданных самим пользователем. Связи между устройствами устанавливаются с помощью легко осваиваемого графического интерфейса;
- решать алгебраические, дифференциальные уравнения. Запись алгебро-дифференциальных уравнений производится на языке, близком по форме к языку пакета MathCAD;

- создавать для каждого устройства карты поведения, которые способны описывать смену поведения динамических систем;
- использовать встроенную в пакет 2D-анимацию. С ее помощью можно создавать «пульт управления» с различными индикаторами, кнопками, бегунками, позволяющими в процессе эксперимента дискретно или плавно менять отдельные параметры модели;
- использовать 3D-анимацию для наблюдения за движением исследуемого объекта в пространстве во время проведения вычислительного эксперимента;
- создавать окна графиков временных и фазовых диаграмм.

Среда легко осваивается, удобна в использовании. Ниже приведены описания двух моделей механических систем, созданных с помощью пакета «Model Vision».

2.4.2 Модель «Задний мост автомобиля»

На рисунке 27 показана панель 2D-анимации, на рисунке 28 – конструктивная схема заднего моста заднеприводного автомобиля.

Кнопками «Корпус» и «Дифференциал» на панели 2D-анимации можно «снять» (сделать невидимыми) корпус моста и крышку автомобильного дифференциала. Соответствующими бегунками можно сместить рисунок по координатам X,Y,Z и изменить масштаб (рисунок 29).

Коэффициент KV («Поворот») показывает соотношение скорости левого колеса и средней скорости моста ($-2 < KV < 2$). Изменяя этот коэффициент, можно наблюдать работу дифференциала при вращении левого и правого колес с разными скоростями. Бегунок «Скорость» позволяет увеличить или уменьшить среднюю скорость двигателя.

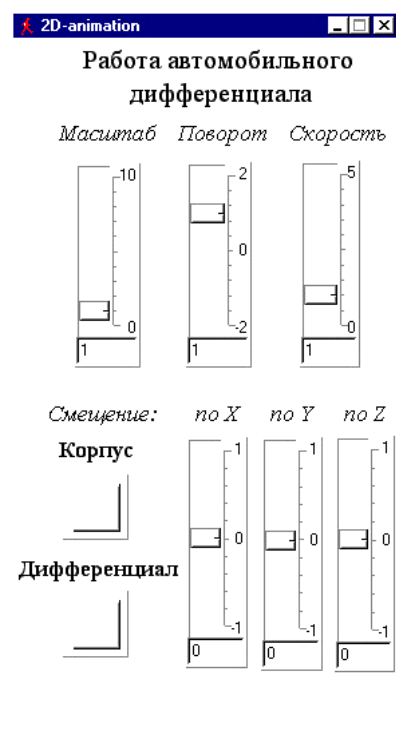


Рисунок 27 - Панель 2D-анимации модели «Задний мост автомобиля»

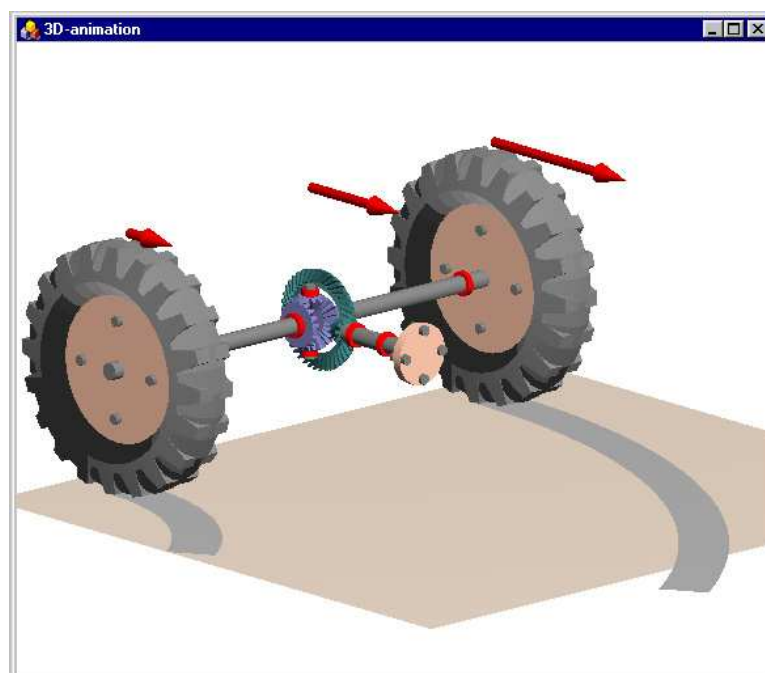


Рисунок 28 - Конструктивная схема заднего моста автомобиля

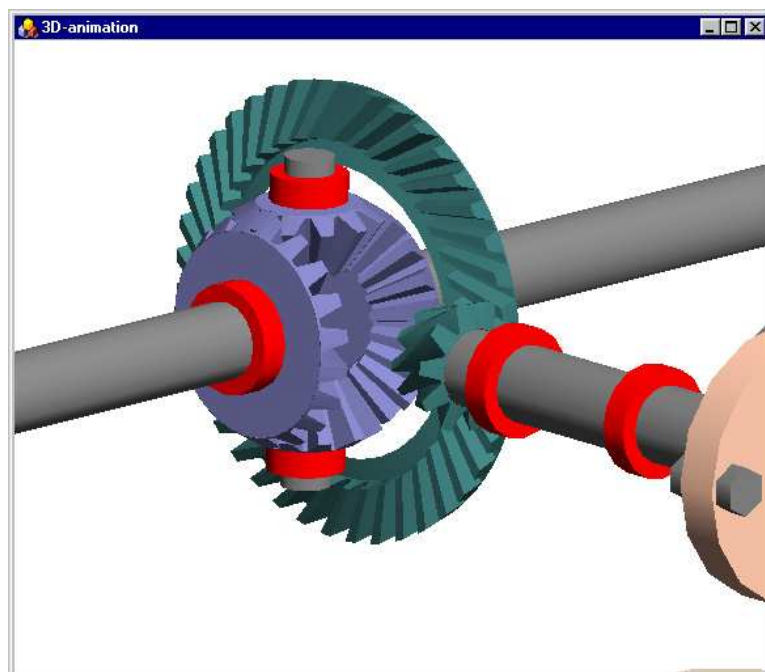


Рисунок 29 - Конструктивная схема межколесного дифференциала автомобиля

Эта модель используется на групповом занятии №10 «Кинематика автомобильного дифференциала и замкнутого планетарного механизма» по дисциплине ТММ в качестве демонстрационного материала при изучении кинематических особенностей автомобильного межколесного дифференциала.

2.4.3 Модель «Зубчатое зацепление»

На рисунке 30 изображено зацепление зубчатого колеса 1 с колесом 2 и зубчатой рейкой 3.

Модуль зубчатого зацепления m принят равным 1мм. С помощью панели 2D-анимации (рисунок 14) можно изменять следующие параметры:

- x_{1n}, x_{2n} - номинальные коэффициенты смещения при нарезании колес (для беззазорного зацепления);
- dx_1, dx_2 - добавочные коэффициенты смещения при нарезании колес (они не приводят к изменению межосевого расстояния, то есть появляется боковой зазор в зацеплении);

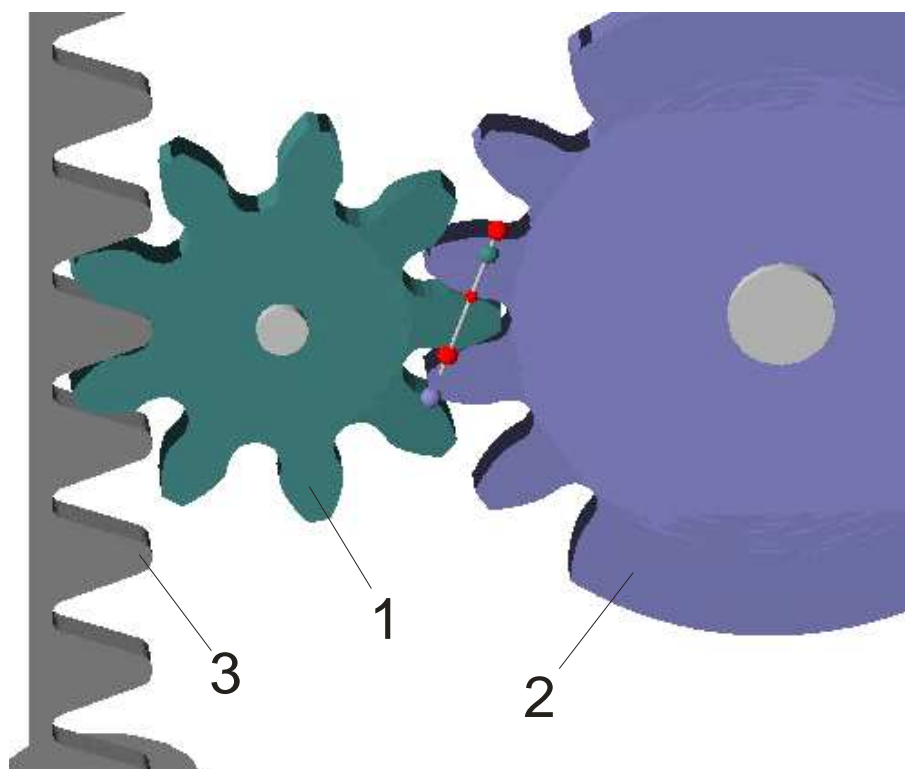


Рисунок 30 - Зацепление зубчатого колеса 1 с колесом 2 и зубчатой рейкой 3

- X,Y, «Масштаб» - можно сместить рисунок по координатам X,Y и изменить масштаб;

- «beta» - угол наклона линии зуба (для косозубого зацепления);

- S – толщина зуба;

- dra1,dra2 – добавки к радиусам вершин.

Нажатием соответствующих кнопок можно сделать видимыми различные радиусы колес, линию зацепления, точки входа профилей в зацепление и пр. На рисунке 5.4 показаны только линия зацепления и точки входа профилей в зацепление.

На панель 2D-анимации (рисунок 31) выводится также следующая справочная информация:

- числа зубьев колес;
- коэффициенты смещения;
- радиусы окружностей: делительных, основных, начальных, вершин, впадин;

2D-animation

Зубчатое зацепление $z1=9$ $z2=16$

Масштаб γ Угол beta S Коэффициенты смещения

$x1=0$ $x2=0$

$x1n$ $x2n$ $dx1$ $dx2$

$X=0$

Радиусы зубчатых колес

радиусы впадин начальн. радиусы мин. рад. эв. радиусы вершин

$rf1$ $rf2$ $rw1$ $rw2$ $m1$ $m2$ $ra1$ $ra2$

3.25 6.75 4.5 8 4.2647E 7.5179E 5.5 9

основные радиусы делительные радиусы

$rb1$ $rb2$ $r1$ $r2$ $dra1$ $dra2$

4.22861 7.51754 4.5 8 0 0

Боковой зазор $dn=0$ Уд. скольжение Коэфф. перекрытия

Подрезание $teta1=5.1350E$ $e=1.4193373$

1 true 2 true к. смещ. $teta2=-7.2449$ $ea=1.4193373$

Интерференция $aw=12.5$ $eb=0$

1 true 2 false л. зацепл.

Рисунок 31 - Панель 2D-анимации

- минимальные радиусы с эвольвентным профилем;
- межосевое расстояние;
- коэффициент перекрытия;
- коэффициенты удельного скольжения;
- наличие интерференции и подрезания.

В среде «Model Vision» (до создания выполняемого файла) можно также задать нужные числа зубьев колес.

2.5 Табличный процессор Excel

2.5.1 Общие положения

Информация для расчетов часто представляется в табличной форме. Обработка такой информации эффективно выполняется с использованием табличных процессоров (ТП) или электронных таблиц (ЭТ). Электронные таблицы применяются на всех этапах выполнения научных исследований (НИ), но наиболее целесообразно их использование при выполнении:

- математических расчетов;
- математическом моделировании;
- численном эксперименте;
- отработке данных.

Выполнение математических расчетов в ЭТ основано на возможности связывания числовых значений клеток с помощью математических операторов и встроенных функций. ТП Excel предоставляет возможность работы с математическими, статистическими, логическими, информационными и другими категориями функции (>250). Выбор необходимой функции выполняется с помощью мастера функций командой Вставка\Функция или «fx». При этом происходит помещение функции в "активную клетку".

В части расчетов Excel позволяет выполнять:

- реализацию численных методов решения дифференциальных, алгебраических уравнений и их систем;
- обработку векторных и матричных массивов информации;
- оптимизационные расчеты, включая методы математического программирования (линейного и т.д.);
- операции с комплексными числами.

При этом расчеты сводятся к вычислению промежуточных результатов в соответствующих колонках таблиц.

Моделирование и численный эксперимент в ЭТ основаны на возможности автоматического пересчета результатов в их связанном графическом отображении.

Для наиболее простых случаев используется анализ по способу "что-если", когда поочередно меняются значения переменных функций $f=f(x, y, z, p, t...)$.

Вариантом названного анализа является метод подбора параметра. Требуемые значения функции при этом находятся за счет варьирования переменными, от которых она зависит. Метод реализуется командой Сервис\Подбор параметра через соответствующее диалоговое окно. При этом может быть выполнено несколько операций с заданием величины числа. Эта операция может быть реализована графически с выделением отображения переменной (Ctrl+ЩЛ) и его последующим изменением.

Более сложный анализ для нахождения рационального численного решения при большем числе условий и ограничений выполняется методом Поиск решения. Эта задача решается диалогом в пункте Сервис\Поиск решения. (Режим должен быть предварительно включен пунктом Сервис\Дополнения).

При обработке данных, полученных по результатам НИ, Excel может быть использован для:

- расчета среднеарифметического и среднеквадратного отклонения наборов данных при выявлении грубых ошибок измерений. Здесь применяются функции СРЗНАЧ, КВАДРОТКЛ и т.п.;

- статистического анализа данных. При этом может быть выполнено:

- а)определение минимального (максимального) значения (функции МИНИ, МАКС) ряда данных, стандартное отклонение (СТАНДОТКЛОН);

- б)корреляционный, дисперсионный анализы, анализ Фурье и тому подобное через команду Сервис-Анализ данных, включаемую через диалог Сервис \ Дополнения;

- графического отображения результатов измерений с использованием прямоугольных и логарифмических шкал осей. Последние могут быть установлены через диалоговое окно "Форматирование оси", открываемое двойным ЩЛ

по соответствующей оси. Для удобства представления результатов на график может быть нанесена сетка - пункт Вставка/Сетка и включены планки погрешностей - пункт Вставка/Планки погрешностей.

- определения коэффициентов эмпирических линейных зависимостей (функция ТЕНДЕНЦИЯ), построения регрессионных зависимостей с различными видами аппроксимации. Эта операция выполняется после выделения необходимых точек диаграммы и использования диалога Диаграмма/Добавить линию тренда, где могут быть выбраны линейное, степенное и другие виды приближений.

В образовательном процессе по дисциплине «Теория механизмов и машин» система Excel используется для осуществления автоматизации контроля правильности выполненных расчетов по лабораторной работе и решения задач в ходе практических занятий.

2.5.2 Применение системы Excel в ходе лабораторной работы по дисциплине «Теория механизмов и машин» (моделирование нарезания зубчатых колес)

Исходными данными для выполнения расчетов являются:

- величина модуля (из характеристики прибора для нарезания зубьев);
- диаметр делительной окружности нарезаемого колеса (из характеристики прибора для нарезания зубьев);
- величина угла профиля рейки;
- инвалюта угла профиля рейки;
- коэффициент высоты головки исходного профиля;
- коэффициент радиального зазора исходного профиля;
- коэффициент уравнивающего смещения.

В ходе предварительных расчетов определяются:

- предельная толщина зуба по окружности выступов (заострение);
- число зубьев колеса;
- шаг по делительной окружности колеса;

- диаметр основной окружности;
- диаметр окружности вершин зубьев (для колеса без смещения);
- диаметр окружности впадин зубьев (для колеса без смещения);
- толщина зубьев по делительной окружности (для колеса без смещения);
- толщина зубьев по основной окружности (для колеса без смещения);
- величина минимального коэффициента смещения инструментальной рейки для коррегирования нарезания колеса с заданным числом зубьев;
- величина смещения инструментальной рейки;
- диаметр окружности вершин зубьев (для колеса со смещением);
- диаметр окружности впадин зубьев (для колеса со смещением);
- толщина зубьев по делительной окружности (для колеса со смещением);
- толщина зубьев по основной окружности (для колеса со смещением).

Процесс вычислений представляет собой занесение массива исходных данных в любой произвольной их комбинации и получение результатов расчетов, выполненных системой Excel по заложенным в нее аналитическим зависимостям.

На рисунке 32 представлен фрагмент документа в среде Excel, который позволяет автоматизировать проверку результатов расчетов в рамках лабораторной работы по дисциплине «Теория механизмов и машин» в соответствии с вариантами индивидуальных заданий.

Реализация расчетов по лабораторной работе с использованием системы Excel позволяет:

- автоматизировать рутинные действия по выполнению математических операций в ходе короткого занятия;
- прививать обучаемым навыки пользователя ПЭВМ;
- осуществлять оперативный контроль за правильностью и точностью выполнения обучаемыми необходимых инженерных расчетов;
- расширять диапазон сочетаний исходных данных и как следствие результатов вычислений;

- осуществлять моделирование геометрических параметров нарезаемых зубчатых колес (автоматизация проектирования).

Microsoft Excel - лабораторная - расчеты.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

Q3 f_x $x=0$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												

дано			расчет	
			$x=0$	$x=x_{min}$
α	20	Sa	4,2	4,2
$\cos\alpha$	0,94	z	9	9
$\text{inv}\alpha$	0,0149	p	44,0	44,0
$\text{tg}\alpha$	0,32	d_b	118,4	118,4
h_a	1	x	0	0,47
c	0,025	χ	0	6,59
Δy	0	d_a	154,0	167,2
		d_f	91,0	104,2
m	14	S	21,98	26,2
d	126	S_b	22,43	26,4

дано			расчет	
			$x=0$	$x=x_{min}$
α	20	Sa	4,5	4,5
$\cos\alpha$	0,94	z	12	12
$\text{inv}\alpha$	0,0149	p	47,1	47,1
$\text{tg}\alpha$	0,32	d_b	169,2	169,2
h_a	1	x	0	0,29
c	0,025	χ	0	4,41
Δy	0	d_a	210,0	218,8
		d_f	142,5	151,3
m	15	S	23,55	26,4
d	180	S_b	24,66	27,3

Рисунок 32 - Фрагмент интерфейса системы Excel с постановкой и решением задачи лабораторной работы по дисциплине ТММ по 10 вариантам

2.5.3 Применение системы Excel в ходе практических работ по дисциплине «Теория механизмов и машин»

Система Excel активно используется при проведении инженерных расчетов в ходе практических занятий №4 «Кинематический анализ зубчатых передач» и №5 «Кинематический анализ зубчатых механизмов» при выполнении кинематического анализа многоступенчатых зубчатых механизмов. В этом случае исходными параметрами являются:

- частота вращения входного вала;
- числа зубьев колес, входящих в механизм.

Кроме того, для наглядности на листе документа Excel могут быть представлены кинематические схемы рассчитываемого механизма и необходимые

аналитические зависимости, лежащие в основе расчетов. По желанию преподавателя исходные данные каждой задачи могут быть легко разбиты на необходимое число вариантов (вплоть до числа обучаемых в группе), что повышает индивидуальность и ответственность при решении задач.

Процесс вычислений заключается в введении в систему исходных данных, сообщении необходимых аналитических зависимостей и получении результатов, представленных в удобной табличной форме.

На рисунке 33 представлен фрагмент документа в среде Excel, который позволяет оперативно проверять результаты расчетов в примерах задач на практическом занятии №4 «Кинематический анализ зубчатых передач» по дисциплине «Теория механизмов и машин» в соответствии с вариантами.

Задача №4

Diagram showing a gear mechanism with gears 1, 2, 3, 3', 4, 4', 5, and 6. Dimensions are given: 1 cm, 2 cm, and 3 cm.

вариант	1	2	3	4	5	6
дано		+1	+1	+1	+1	+1
n ₁	1800	1801	1802	1803	1804	1805
z ₁	11	12	13	14	15	16
z ₃	22	23	24	25	26	27
z _{3'}	15	16	17	18	19	20
z ₄	45	46	47	48	49	50
z _{4'}	20	21	22	23	24	25
z ₅	10	11	12	13	14	15

найди						
n _H	100,0	107,2	114,2	121,0	127,4	133,7

промежуточные вычисления

U ₁₃	2,00	1,92	1,85	1,79	1,73	1,69
U _{3'4}	3,00	2,88	2,76	2,67	2,58	2,50
U _{4'H}	3,00	3,05	3,09	3,13	3,17	3,20
U _{1H}	18,00	16,79	15,78	14,91	14,16	13,50

Formulas shown in the spreadsheet:

$$U_{1H} = \frac{n_1}{n_H}, \quad n_H = n_1 / U_{1H}$$

$$U_{1ст.} = U_{13} = \frac{z_3}{z_1}, \quad U_{2ст.} = U_{34} = \frac{z_4}{z_3}$$

$$U_{3ст.} = U_{4'H} = 1 - U_{46}^H = 1 - \left(-\frac{z_6}{z_4} \right) = 1 + \frac{z_4' + 2z_5}{z_4'}$$

$$z_6 = z_4' + 2z_5, \quad n_H = n_1 / U_{1H}$$

Рисунок 33 - Фрагмент интерфейса системы Excel с постановкой и решением задачи практического занятия №4 по дисциплине ТММ по 6 вариантам

Использование системы Excel в ходе проведения практических занятий по дисциплине «Теория механизмов и машин» позволяет:

- автоматизировать выполнение математических операций в ходе занятия;
- прививать обучаемым навыки пользователя ПЭВМ;
- осуществлять оперативный контроль за правильностью и точностью выполнения обучаемыми необходимых инженерных расчетов;
- расширять диапазон сочетаний исходных данных и как следствие результатов вычислений;
- осуществлять моделирование кинематических характеристик синтезируемых зубчатых механизмов (автоматизацию проектирования).

2.6 Система MathCAD

2.6.1 Общие положения

MathCAD - интегрированная система для проведения математических и инженерно-технических расчетов. Она включает текстовый редактор, вычислитель и графический процессор.

Текстовый редактор служит для подготовки комментариев к расчетам. Используемые при этом зависимости не вычисляются.

Вычислитель за счет набора встроенных функций позволяет решать сложные математические задачи. MathCAD содержит тригонометрические, алгебраические, специальные и другие функции. Имеется возможность создания пользовательских функций.

Графический процессор обеспечивает графическое представление результатов расчетов. При этом функции могут быть отображены в прямоугольной и полярной системах координат, на графиках с обычной и логарифмической шкалой и т.д.

Работа в системе MathCAD выполняется с использованием:

- главного меню системы;
- командной строки с вносимыми в нее командами и параметрами;
- функциональных клавиш и их сочетания.

Для основных операций можно применять:

- F5 - загрузку файла;

- F6 - запись файла;
- Ctrl+Y - выделение фрагмента;
- F2,F3 - копирование, удаление фрагмента в буфер;
- F4 - вставку из буфера.

Алгоритм решения математической задачи набирается в вычислительном блоке с помощью известных арифметических операторов: +, -, *, =, <, > и тому подобное, а также математических символов: Σ ; \int ; $\sqrt{\quad}$ и других, выбираемых из соответствующих шаблонов.

Здесь необходимо также учитывать следующее:

- 1) Переменным присваиваются значения, например, $x = 2.0$.
- 2) Задание числовой последовательности выполняется:
 - с шагом, равным 1, $N := 0..5$;
 - с шагом, не равным 1, задаются: $N := N_{\text{нач}}, N_{\text{след}}, N_{\text{кон}}$.
- 3) Реализация встроенных функций общего назначения выполняется их прямым набором или переносом в соответствующий блок из шаблонов.
- 4) Верхние и нижние индексы могут быть вставлены через соответствующие шаблоны.
- 5) Выражение вычисляется после подстановки знака равенства =.
- 6) Основные функции интерполяции:
 - `linterp (vx, vy, x)` - возвращает значение при линейной интерполяции $y(x)$;
 - `cspline(vx, vy)` - возвращает вектор кубического сплайна;
 - `pspline(vx,vy)` - возвращает вектор параболического сплайна;
 - `interp(vs, vx, vy,x)` - возвращает значение $y(x)$ при сплайн интерполяции.
- 7 Основные функции регрессионного анализа:
 - `corr (vx, vy)` - возвращает коэффициент корреляции;
 - `slopl (vx, vy)` - возвращает коэффициент для линейной регрессии (эмпирической формулы) $y(x) = ax+b$;
 - `intercept (vx, vy)` - возвращает коэффициент b ;
 - `linear (x) = ax+b` - возвращает уравнение линейной регрессии.

Для графического представления числовых последовательностей в MathCAD используются следующие действия:

- курсор устанавливается в место левого верхнего угла блока графики;
- в пункте Вставка/График выбирается необходимый вид графика;
- двойным щелчком левой клавишей мыши (2ЩЛ) открывается окно установки параметров графика;
- в шаблоне графика проставляются имена переменных осей;
- вводится курсор в рамку графика. После нажатия клавиши Enter график будет построен.

2.6.2 Применение системы MathCAD при автоматизации проектных расчетов в рамках выполнения контрольной работы №1 «Узел карданного вала привода агрегата трансмиссии автомобиля КамАЗ-4310» по дисциплине «Детали машин и основы конструирования»

В образовательном процессе по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» система MathCAD используется для автоматизации расчетов и осуществления контроля правильности выполненных контрольных заданий, а также для привития курсантам необходимых навыков применения информационных средств при решении проектных задач.

В этом случае исходными параметрами являются:

- момент вращения на выходном валу редуктора;
- частота вращения выходного вала редуктора;
- передаточное число редуктора;
- внутренний диаметр фланца;
- наружный диаметр фланца;
- диаметр окружности центров болтового соединения;
- материал сварного соединения;
- материал резьбового соединения.

В ходе расчетов определяются:

- частота вращения входного вала;

- силы, действующие на рассчитываемые соединения;
- касательные напряжения в сварном шве;
- допускаемые напряжения в сварном шве при растяжении;
- касательные напряжения в сварных швах при переменной нагрузке;
- напряжения в теле болтов;
- сила затяжки болтового соединения;
- допускаемое напряжение на растяжение для затянутого болта при действии внешней нагрузки;
- внутренний диаметр резьбы болта;
- действующие касательные напряжения в сечении болта;
- наружный диаметр болта соединения;
- коэффициент запаса прочности резьбового соединения;
- амплитудное напряжение болта.

Процесс вычислений заключается в введении в систему исходных данных, сообщении ей необходимых аналитических зависимостей и получении результатов.

На рисунке 34 представлен фрагмент документа в среде MathCAD, который позволяет оперативно проверять результаты расчетов в рамках контрольной работы №1 по дисциплине «Детали машин и основы конструирования».

Использование системы MathCAD в ходе автоматизации расчетов по контрольной работе по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» позволяет:

- автоматизировать выполнение математических операций;
- прививать обучаемым навыки пользователя ПЭВМ;
- осуществлять оперативный контроль за правильностью и точностью выполнения обучаемыми необходимых инженерных расчетов;
- расширять диапазон сочетаний исходных данных и как следствие результатов вычислений;

- моделировать свойства резьбового и сварного соединений в зависимости от требуемых характеристик работы проектируемого узла агрегата трансмиссии (автоматизация проектирования).

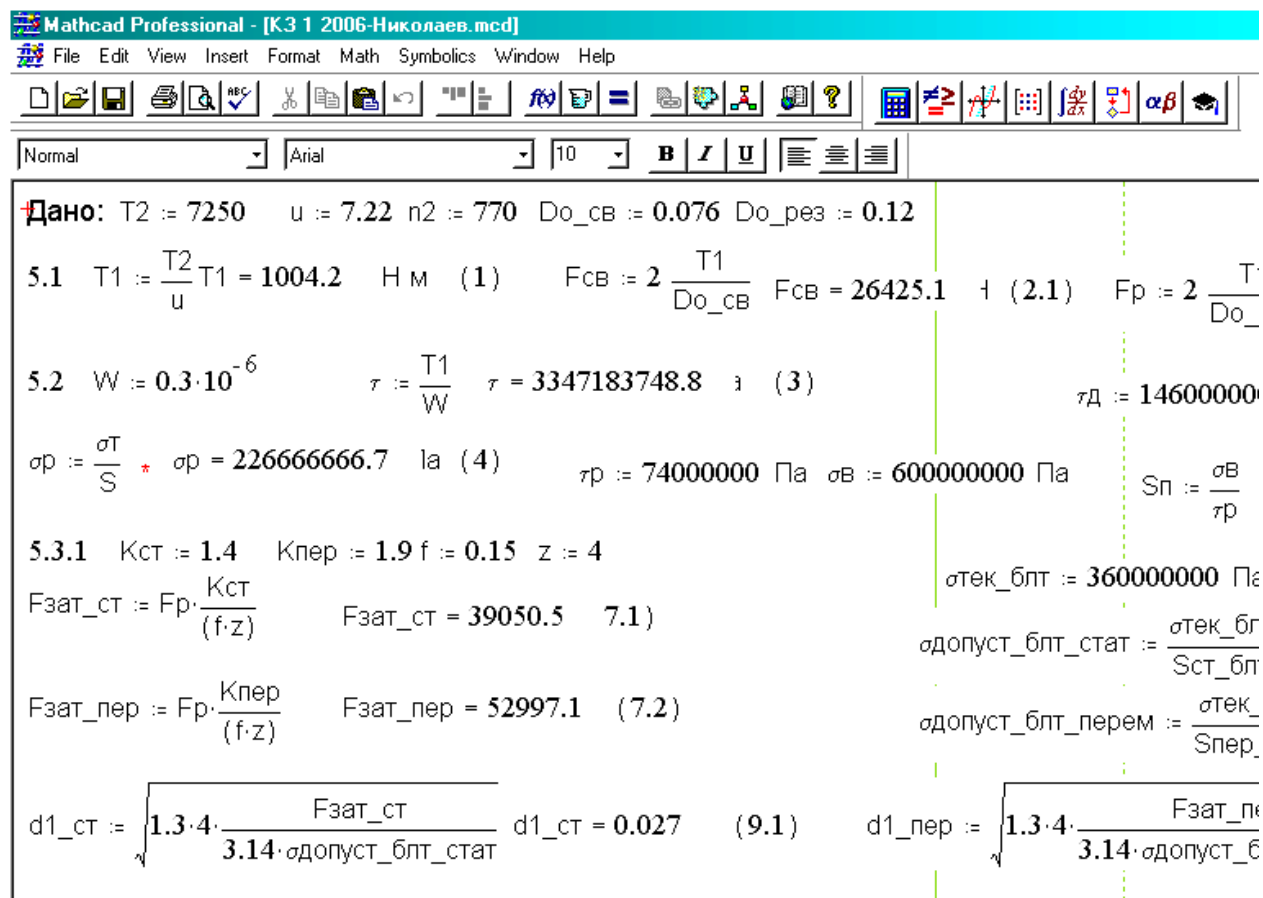


Рисунок 34 - Фрагмент интерфейса системы MathCAD с постановкой и решением задачи контрольного задания №1 по дисциплине ДМиОК

2.7 Система автоматизированного контроля знаний Assistant

2.7.1 Начальные сведения

2.7.1.1 Назначение:

- проведение контроля знаний и тестирования (Assistant);
- создание тестов (Assistant Builder);
- объединение тестов (Assistant Join);
- разработка обучающих программ на основе PowerPoint из пакета Microsoft Office.

2.7.1.2 Возможности:

- использования различных типов вопросов;
- задания критериев оценки;
- использования графических файлов форматов JPG, GIF, BMP, DIB, WMF, EMF, ICO, CUR;
- использования мультимедийных файлов - видео: AVI, MPG; аудио: MP3, WAV, MID;
- учета различной сложности вопросов;
- задания условий формирования выборки вопросов при тестировании;
- накопительного статистического анализа по ответам на каждый конкретный вопрос.

2.7.2 Организация контроля знаний

Преимущества тестов по сравнению с другими формами контроля:

- быстрота;
- технологичность и, как следствие, экономичность;
- исключение влияния субъективных факторов;
- повышенная точность и обоснованность тестовой оценки, вытекающие из возможностей теста как средства педагогического измерения.

Автоматизированный контроль знаний позволяет объективно оценить знания обучаемых при экономии времени занятия (и преподавателя) и стимулирует повышение качества обучения за счет усиления акцента на трудных для усвоения положениях и повышения ответственности обучаемых за результаты самостоятельной работы. Нужно, однако, иметь в виду, что просчеты, допущенные при внедрении этого метода контроля, могут привести к неверной оценке знаний, возникновению конфликтных ситуаций и к полной дискредитации самой идеи автоматизированного контроля.

Наиболее рациональной представляется следующая схема организации автоматизированного контроля знаний:

1 Оценка целесообразности автоматизированного контроля. Автоматизированный контроль эффективен в тех предметных областях, которые поддаются формализации (большинстве естественнонаучных и технических дисциплин). Кроме того, следует учесть, что легко формализуются задания 1-3 уровней сложности (проверка формального знания, типовые задачи, задачи повышенной сложности), задачи же четвертого уровня сложности (нестандартные, творческие задачи) почти не поддаются формализации. Эти обстоятельства ограничивают возможности и область применения метода.

2 Составление заданий кажется очевидным и доступным любому преподавателю. Задания должны разрабатываться специалистом высокого уровня в данной предметной области. Кроме того, тестовая база обязательно должна проходить через апробацию.

3 Проведение автоматизированного контроля. Перед первым для обучаемых тестированием необходимо разъяснить им порядок работы с применяемым программным средством (целесообразно запустить демонстрационный тест). Это позволит избежать технических ошибок. Затем следует объяснить порядок работы.

4 Анализ результатов контроля. Только реальное тестирование может определить восприятие контрольных вопросов обучаемыми. Для подобной оценки необходим только накопительный статистический анализ по ответам на каждый конкретный вопрос. Анализ подобной статистики позволяет выявить недостаточно раскрытые в процессе обучения вопросы, а также некорректно сформулированные задания.

2.7.3 Тип ответа (задания)

Assistent поддерживает несколько типов заданий:

1 Простой выбор предусматривает выбор одного из предложенных вариантов ответа. Этот тип заданий интуитивно понятен учащимся, ввод ответа требует минимального времени, процедура обработки ответа предельно проста. Недостатки простой выборки - существенная вероятность угадывания правильно-

го ответа, возможность запоминания неверных ответов. Зацикливание исключительно на одинарной выборке исключает богатейшие возможности применения педагогических технологий. Пример:

У ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ, ПО СРАВНЕНИЮ С РЕМЕННОЙ

- выше скорость и выше мощность;
- выше скорость, но ниже мощность;
- ниже скорость, но выше мощность;
- ниже скорость и ниже мощность.

2 Множественная выборка - выбор нескольких из предложенных вариантов ответа. Этот тип заданий информативен, дает возможность учесть частично правильные ответы. Недостатки те же, что и у простой выборки, а также отсутствие общепризнанной процедуры обработки ответа. В Assistant используется модифицированный автором метод Хаммера, при этом количество баллов за ответ определяется следующей зависимостью:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n m_i k_i}{n_1 + n_2}, \quad (12)$$

где $m_i=1$, если i -тый вариант ответа выбран ($m_i=0$, если i -тый вариант ответа не выбран),

k_i – количество баллов, назначенное при составлении теста за i -тый вариант ответа,

n_1 – количество вариантов ответа, которым при составлении теста назначен ненулевой балл,

n_2 – количество несовпадений при выборе вариантов ответа.

Затем количество баллов за ответ переводится в % правильных ответов.

Пример:

УКАЖИТЕ ЧЕТНЫЕ ЧИСЛА:

- | | |
|----------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> 5 | $k1 = 0,$ |
| <input type="checkbox"/> 6 | $k2 = 1,$ |
| <input type="checkbox"/> 7 | $k3 = 0,$ |
| <input type="checkbox"/> 8 | $k4 = 2,$ |

При правильном ответе максимально можно получить:

УКАЖИТЕ ЧЕТНЫЕ ЧИСЛА:

- | | |
|---------------------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> 5 | $k1 = 0,$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> 6 | $k2 = 1,$ |
| <input type="checkbox"/> 7 | $k3 = 0,$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> 8 | $k4 = 2,$ |

$n_1=2$ (имеются два варианта ответа с ненулевыми k_i : $k2 = 1$ и $k4 = 2$)

$n_2=0$ (выбраны все правильные варианты ответов и не выбран ни один из неправильных вариантов)

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n m_i k_i}{n_1 + n_2} = \frac{0 \cdot 0 + 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0 + 1 \cdot 2}{2 + 0} \cdot 2 = \frac{3}{2} \cdot 2 = 3.$$

Предположим, дан ответ

УКАЖИТЕ ЧЕТНЫЕ ЧИСЛА:

- | | |
|---------------------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> 5 | $k1 = 0,$ |
| <input type="checkbox"/> 6 | $k2 = 1,$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> 7 | $k3 = 0,$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> 8 | $k4 = 2,$ |

тогда $n_1=2$, $n_2=2$ (имеются 2 несовпадения – ошибочно выбрано число 7, а также не указан один из правильных вариантов – число 6).

3 Ввод с клавиатуры. Наиболее близок к традиционной форме контроля тип заданий. Вероятность угадывания минимальна, методически ценно самостоятельная формулировка ответа. Недостаток - сложность синтаксического (тем более - семантического) анализа ответа, невозможность в ряде случаев предусмотреть ввод учащимся различных синонимов, всех частично правильных ответов и т.п. Указанный тип заданий наиболее эффективен при проверке разного рода терминов, констант, дат. Пример:

СКОЛЬКО КОЛЕС В ПРОСТОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧЕ? (ОТВЕТ ВВЕДИТЕ ЦИФРОЙ)

В этом случае предусмотрено указание на рисунке (то есть требуется соответственно вопросу указать элемент схемы, уравнение, переменную, точку на

графике и т.д.). Задания такого типа практически незаменимы при анализе графических изображений: окон компьютерных программ, схем и графиков функционирования различных объектов и т.д.

Пример:

УКАЖИТЕ НАПРАВЛЕНИЕ ОКРУЖНОЙ СИЛЫ (Файл иллюстрации demo2.gif)

Тип вопроса «Последовательность» предполагает, что обучаемому задается вопрос и дается набор готовых элементов (например, технологических операций). В его задачу входит расстановка этих элементов в правильной последовательности. Вероятность угадывания (при числе элементов более трех) - незначительна. Этот тип вопроса особенно результативен в тех предметных областях, где требуется четкое знание последовательности операций, действий или правильное взаиморасположение объектов.

Пример:

УКАЖИТЕ ОКРУЖНОСТИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА, НАЧИНАЯ С НАИМЕНЬШЕГО ДИАМЕТРА:

- ☐ *впадин*
- ☐ *основная*
- ☐ *начальная*
- ☐ *делительная*
- ☐ *вершин*

2.7.4. Разработка тестов

2.7.4.1 Создание нового теста

Если Вы еще не имеете общего представления о программе, нажмите кнопку Основные сведения.

Запустите программу AssistantBuilder и нажмите кнопку «Создать новый тест». Если требуется загрузить существующий тест, то воспользуйтесь кнопкой «Открыть тест».

2.7.4.2 Редактирование заданий

После создания нового теста (или открытия существующего) необходимо заполнить базу с заданиями, для чего заполнить поля экранной формы:

- Вопрос. Введите формулировку задания. При этом можно использовать буфер Windows - Вы можете копировать (Ctrl-C) или вырезать (Ctrl-X) текст из документа, открытого другой программой - редактором текстов (например, MicroSoft Word или NotePad), и вставлять этот текст в поля экранной формы AssistantBuilder (Ctrl-V).

- Файл иллюстрации. Любое задание может сопровождаться графическим изображением. Введите имя файла (без указания пути!) или воспользуйтесь кнопкой «Обзор». Допустимы форматы графики JPG, GIF, BMP, DIB, WMF, EMF, ICO, CUR.

- Вид ответа. Укажите нужный тип ответа (задания):

Вид ответа:	
<input checked="" type="radio"/>	Простой выбор
<input type="radio"/>	Множественный выбор
<input type="radio"/>	Ввод с клавиатуры
<input type="radio"/>	Указание на рисунке
<input type="radio"/>	Последовательность

Варианты ответов:

- для задания <Простой выбор> введите от 2 до 6 вариантов - один правильный, остальные неправильные (в том числе неполные, неточные, за которые также можно назначить ненулевой балл);

- для задания <Множественный выбор> введите от 2 до 6 вариантов - несколько (хоть все, минимум – один) правильных ответов (каждый из которых может быть оценен разным количеством баллов), остальные - неправильные (с нулевым баллом);

- для задания <Ввод с клавиатуры> введите от 1 до 6 вариантов правильного ответа (можно ввести также и неполные, неточные варианты ответа, за которые назначить ненулевой балл);

- для задания <Указание на рисунке> введите от 1 до 6 вариантов правильного ответа в виде координат соответствующей области рисунка (для чего два-

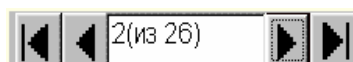
жды щелкнуть в поле ввода, с помощью мыши выделить нужную область рисунка и нажать ОК);

- для задания <Последовательность> введите от 2 до 6 элементов последовательности и от 1 до 6 вариантов правильного ответа в виде правильной последовательности указания элементов (например, 15342).

2.7.4.3 Операции с вопросами

Переход к другому вопросу.

Используется обычный для баз данных объект управления:



с кнопками перехода к первому, предыдущему, следующему и последнему вопросу, а также текстовым полем, которое можно использовать для перехода к вопросу по номеру.

Удаление вопроса: для полного удаления задания – кнопка «Удалить вопрос».

Копирование вопроса: вопрос (все задание) можно скопировать в память (буфер Windows не используется) кнопкой «Копировать вопрос».

Добавление вопроса: новый вопрос добавляется кнопкой «Вставить вопрос» (будет добавлен пустой вопрос или копия вопроса, скопированного кнопкой).

2.7.4.4 Параметры теста

Форма параметров теста активизируется кнопкой «Параметры теста».

Могут быть определены следующие параметры:

- тема (название) теста, комментарий к тесту;
- фамилия автора теста;
- критерии оценки: оценка определяется отношением набранной суммы баллов к максимально возможной в данном сеансе сумме баллов, то есть вводится минимальное количество правильных ответов в %. По умолчанию: от-

лично - 90%, хорошо - 75%, удовлетворительно - 60% (уровни можно задать и другие, имеется возможность ввода комментариев к оценкам).

- примерное число вопросов при тестировании: указывается желаемое количество вопросов, которые будут заданы (не более общего количества вопросов). При запуске теста программа Assistant формирует случайную выборку так, чтобы

$$\sum_{i=1}^n V_i^{\max} \geq \frac{0.97 \cdot K}{N} \sum_{i=1}^N V_i^{\max}, \quad (13)$$

где n – число вопросов в данном сеансе работы;

V_i^{\max} - максимальный балл i -го задания;

K – заданное примерное число вопросов при тестировании;

N – общее число вопросов.

Поэтому число вопросов в данном сеансе работы может не совпадать с заданным. Кроме того, тестирование может быть закончено досрочно в случае, если ответы на оставшиеся вопросы не могут повлиять на оценку (например, уже набрано 90%);

- время прохождения теста: указывается время в секундах (примерно, 40 – 60 с на одно задание). Если ответ не закончен, а время теста истекло, то оценка определяется суммой набранных баллов.

2.7.5 Тестирование

2.7.5.1 Установка и запуск теста

После окончания разработки теста рекомендуется:

а) проверить правильность работы теста. Для выявления возможных ошибок формулировки заданий и/или ошибок ввода целесообразно в параметрах теста указать количество вопросов, равное общему числу вопросов теста. Затем открыть тест программой Assistant. Ответив на все вопросы теста, при необходимости откорректировать файл теста и снова проверить работу тестирующей программы. Изменить в параметрах теста количество вопросов на желаемое значение;

б) установить тест на учебные ПК. Все файлы теста (файл теста *.ask и используемые им графические файлы) нужно скопировать в любой ОДИН каталог.

Файлы демонстрационных тестов sample*.* можно удалять без нарушения работоспособности.

Файл фонового рисунка ass.gif/ass.jpg можно заменить любым файлом с тем же именем;

в) Запуск теста производится любым из перечисленных способов:

- запуск программы Assistant (ярлык на рабочем столе) и открытие файла теста;

- двойной щелчок мышью на файле теста;

- командным файлом типа «Assistant имя_файла_теста».

2.7.5.2 Анализ результатов

Результат последнего теста записывается на диск (в том числе и при прерывании работы) и может быть просмотрен программой Assistant (кнопка «Report»).

Имеется возможность осуществлять накопительный статистический анализ по ответам на каждый конкретный вопрос. При тестировании программой Assistant создаются файлы, содержащие сведения о количестве и правильности ответов на каждый вопрос (файлы имеют расширение .sts, шифруются, защищены от модификации). При открытии теста для редактирования программой AssistantBuilder автоматически загружается файл статистики, данные которого отображаются в форме редактирования вопроса. Анализ подобной статистики позволяет выявить недостаточно раскрытые в процессе обучения вопросы, а также некорректно сформулированные задания.

В настоящее время в среде Assistant авторами созданы обучающе-контролирующие курсы по всему курсу дисциплин «Теория механизмов и машин» и «Детали машин и основы конструирования»

3 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Современный этап развития образования в целом и инженерного в частности требует от преподавательского коллектива освоения и применения в своей педагогической практике новейших достижений ИТ и технических средств их обеспечения. Отдельные направления этого развития сдерживаются уровнем технического оснащения кафедр. В то же время нельзя не признать, что не все педагоги склонны к такому уровню деятельности, как глубокое и эффективное освоение современных программных продуктов.

В настоящее время к программным средствам (ПС), позволяющим повысить эффективность получения инженерного образования, кроме вышеперечисленных, можно отнести такие, как САПР AutoCAD, КОМПАС, АПМ Win Machine и различные системы для создания электронных презентаций и учебников (PowerPoint, Acrobat) и другие.

Сегодня на кафедре ПМ все лекции по дисциплинам «Теория механизмов и машин» и «Детали машин и основы конструирования» читаются с использованием презентационных технологий (Power Point). В ближайшей перспективе ожидается внедрение информационной составляющей на всех групповых и практических занятиях при наличии достаточного машинного времени.

Еще одним немаловажным фактором, ожидающим своего дальнейшего развития, является решение вопроса о своевременном насыщении учебно-научных подразделений вуза современным лицензионным программным обеспечением широкого спектра действия, а также активизация процесса освоения этих программных продуктов под пристальным контролем профессионалов в этой области (лабораторией вычислительной техники и преподавателями информатики) с выработкой концепции о единстве подходов в их использовании.

Наиболее интересным в настоящее время нам представляется разработка электронных учебных изданий и презентационных продуктов по различным видам учебной деятельности, а также справочно-информационных поисковых

систем. Здесь также необходима интеграция различных подразделений и специалистов в данной области с целью выработки единого подхода к реализации таких продуктов как по используемым приложениям, так и по форме представления массивов информации. Полагаем, что цикл показных и открытых занятий ведущих методистов института поможет определиться с приоритетами в этой области.

Обеспечение кафедр современным проекционным оборудованием (мультимедийными проекторами и широкоформатными ЖК-панелями) открыло возможность насытить современным информационным обеспечением и другие виды занятий.

С появлением на рынке современных доступных аппаратных средств захвата видеосигнала и программных продуктов видеомонтажа (Behold-TV, Win Fast TV USB II Deluxe, MiroVideo Studio DC10+ и др.) становится перспективным использование на занятиях видеофрагментов, посвященных современному мировому уровню развития техники и вооружения. В настоящее время у нас накопился значительный фонд цифрового видео по широкому спектру технической информации. В приложении Б представлен далеко не полный его перечень.

Некоторые фрагменты из этого материала уже применяются на занятиях и находят самый живой интерес у обучаемых. Широкое применение образовательного мультимедиа в настоящий момент сдерживает лишь недостаток проекционного оборудования (мультимедиапроекторов, широкоформатных ЖК-панелей).

4 ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН»

А

Автомат (от греч. *autómatos* - самодействующий) - самостоятельно действующее устройство (или совокупность устройств), выполняющее по заданной

программе без непосредственного участия человека процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материала и информации. А. применяются для повышения производительности и облегчения труда человека, для освобождения его от работы в труднодоступных или опасных для жизни условиях.

Автоматическая линия - совокупность машин-автоматов, соединенных между собой автоматическими транспортными устройствами и предназначенных для выполнения определенного технологического процесса.

Автомобиль (от греч. *autós* - сам и лат. *mobilis* - движущийся) - безрельсовое транспортное средство с собственным двигателем.

Автомобильный дифференциал - зубчатый механизм, предназначенный для распределения движения от главной передачи между ведущими колесами.

Агрегат (от лат. *aggrego* - присоединяю) - 1) машинный А. - укрупненный унифицированный узел машины, обладающий полной взаимозаменяемостью и выполняющий определенные функции в технологическом процессе (например, электродвигатель, насос); 2) механическое соединение нескольких машин, работающих в комплексе.

Анализ - проектная процедура использования математической модели, выполняемая для получения информации о свойствах проектируемого объекта. Цель А. – определение внутренних параметров объекта (материалов (если они не заданы ТЗ), наиболее существенных параметров и размеров – модуль зацепления, катет сварного шва, диаметр резьбы).

Анализ механизма - исследование кинематических и динамических свойств механизма по заданной его схеме.

Антирезонанс - явление, при котором вся вынужденная вибрация перекладывается на гаситель колебаний, не вызывая вреда основному механизму. При этом полное гашение колебаний объекта наступает, если антирезонансная частота равна собственной частоте гасителя колебаний.

Ассура закон - всякий механизм представляет собою совокупность одного или нескольких, двухзвенных (первичных) механизмов и одной или нескольких групп нулевой подвижности.

Б

Балансировка - уравнивание вращающихся машинных частей (ротора турбины или электродвигателя, коленчатого вала, шкивов и другие). Для большинства роторов машин осью вращения является ось, проходящая через центры опорных поверхностей цапф изделия. Несовпадение этой оси с главной центральной осью инерции (что может быть результатом погрешностей технологии изготовления изделия либо его конструктивных особенностей) приводит к появлению нескомпенсированных центробежных сил и моментов, вызывающих быстрый износ подшипников, повышенные вибрации машины, изгибные колебания её элементов и др.

Балансировка ротора - определение в выбранных плоскостях коррекции значений и углов дисбалансов и размещение в этих плоскостях корректирующих масс, дисбалансы которых равны по величине и противоположны по направлению найденным дисбалансам ротора.

В

Вал - вращающаяся деталь машины, предназначена для поддержания установленных на нем зубчатых колес, звездочек, шкивов и т.п. для передачи вращающегося момента.

Вариатор - бесступенчатый фрикционный механизм с плавным регулированием передаточного отношения.

Ведомое звено механизма - 1. звено, к которому приложены силы и моменты полезного сопротивления; 2. звено, для которого элементарная работа внешних сил, приложенных к нему, является отрицательной или равна нулю.

Ведущее (движущее) звено механизма - 1. звено, к которому приложены движущие силы и моменты; 2. звено, для которого элементарная работа внешних сил, приложенных к нему, является положительной.

Векторная величина (вектор) - величина, которая характеризуется своим численным значением и своим направлением в пространстве.

Вибрационное транспортирование - процесс направленного перемещения сыпучих и кусковых материалов, пастообразных смесей и жидкостей, поддерживаемый вибрацией рабочих (грузонесущих) органов транспортирующих вибрационных машин.

Вибрационный транспорт - средство механизации для осуществления вибрационного транспортирования. К В.т. относятся: вибрационные конвейеры, которые служат для перемещения в горизонтальном, наклонном и вертикальном направлениях сыпучих и кусковых материалов, заготовок и деталей на расстояния от 0,5 до 100 м (а иногда и более) - на заводах, фабриках, мельницах, стройках, в шахтах, карьерах и т.д.; вибрационные насосы - для подъёма жидкостей (обычно воды) на небольшую высоту или перекачки агрессивных и загрязнённых жидкостей; вибрационные питатели - для подачи различных материалов в весовых и объёмных дозаторах; вибрационные бункеры - для подачи пространственно ориентированных заготовок и деталей в станки и технологические устройства, в том числе расположенные в автоматических линиях; вибрационные хоботы - для подачи бетонной смеси из железнодорожных или иных бункеров в укладываемые массивы.

Вибрация (от лат. *vibratio* - колебание, дрожание) - малые механические колебания, возникающие в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля.

Виброзащита - совокупность методов и средств оценки виброактивности и уменьшения уровня вибрации. Методы В.: динамические гасители или анти-вибраторы, в которых опасные резонансные колебания устраняются изменением соотношения между собственными частотами системы и частотами возмущающих сил; виброизоляторы, в которых за счет их упругих и демпфирующих

свойств уменьшается амплитуда колебаний как на резонансных, так и нерезонансных режимах.

Виброустойчивость - способность конструкций работать в заданном диапазоне режимов без резонансных колебаний.

Винтовая зубчатая передача - зубчатая передача, зубья колес которой образованы винтовыми поверхностями. В В.з.п. начальной поверхностью является средняя часть гиперболоида. В реальных передачах для упрощения изготовления колес гиперболоиды заменены цилиндрами. Зубчатые колеса В.з.п. аналогичны косозубым, но имеют одинаковое направление винтовой линии зубьев. Винтовая передача с эвольвентными зубьями может иметь любой угол переключения (чаще 90°). Она, имея низкую несущую способность, обладает рядом достоинств перед другими видами пространственных передач: высокую технологичность, плавность работы, малый шум. В.з.п. применяют при незначительных нагрузках (в приборах, в приводе стеклоочистителя и т.п.). Разновидностью В.з.п. является червячная передача.

Винтовая кинематическая пара - одноподвижная низшая пара с геометрическим замыканием, допускающая относительное винтовое движение звеньев с постоянным шагом. Угловые и линейные перемещения звеньев винтовой пары имеют однозначное соответствие, в результате чего остаётся только одна степень подвижности.

Винтовой механизм (передача) - механизм, имеющий в своем составе винтовую пару. Винтовые передачи предназначены в основном для преобразования вращательного движения в поступательное и для значительного преобразования нагрузок.

Внешнее трение - возникновение и разрушение связей между трущимися телами, локализующееся в тонком поверхностном слое.

Внутреннее трение - деформации трущихся тел (твердых, жидких или газообразных), а, следовательно, и относительные перемещения отдельных частей одного и того же тела, происходящие во всем его объеме.

Возможные перемещения - виртуальные перемещения, элементарные (бесконечно малые) перемещения, которые точки механической системы могут совершать из занимаемого ими в данный момент времени положения, не нарушая наложенных на систему связей. В. п. - понятия чисто геометрические, не зависящие от действующих сил; они определяются только видом наложенных на систему связей и вводятся как характеристики этих связей, показывающие, какие перемещения при наложенных связях остаются для системы возможными. Понятием В. п. пользуются для определения условий равновесия и уравнений движения механической системы.

Вращательная пара - одноподвижная пара, допускающая лишь относительное вращательное движение звеньев вокруг оси. Звенья В.п. соприкасаются по цилиндрической поверхности, следовательно, это низшая пара, замкнутая геометрически. Роль такой кинематической пары выполняет и более сложная конструкция (кинематическое соединение) - шариковый подшипник.

Вращательное движение - движение твердого тела, при котором все его точки перемещаются по окружностям с центрами, распространенными на перпендикулярной этим окружностям неподвижной прямой.

Вращающий момент - мера внешнего воздействия, изменяющего угловую скорость вращающегося тела. В.м. равен алгебраической сумме моментов всех действующих на вращающееся тело сил относительно оси вращения.

Вспомогательные передаточные функции - передаточные функции тех движений, которые в данном случае не используются как выходные.

Входное звено (вход) - звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев.

Высшая пара - пара, в которой при соединении двух звеньев контакт осуществляется лишь на кривых или точках (в которой элементом является точка или линия).

Выходное звено (выход) механизма - звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм (воспринимающее уравновешивающий момент или силу).

Г

Геометрический элемент (элемент) - место соединения одного звена с другим звеном в паре. Г.э. может являться совокупность поверхностей, линий и точек звена, входящих в соприкосновение (контакт) с другим звеном.

Гидравлический механизм - механизм, в котором передача движения происходит посредством твердых и жидких тел.

Гидропривод машин - совокупность источника энергии и устройства для её преобразования и транспортировки посредством жидкости к приводимой машине. В качестве источника энергии могут использоваться электрический или тепловой двигатель, жидкость под давлением и др. Соответственно Г.м. называют гидроэлектроприводом, паро- (газо-) турбогидроприводом и т.д. В зависимости от вида гидропередачи, то есть устройства, транспортирующего и преобразующего энергию, различают гидростатический (объёмный), гидродинамический и смешанный приводы.

Гиперболоидная передача - передача с перекрещивающимися осями вращения (винтовая и гипоидная передачи). В Г.п. начальные поверхности (гиперболоиды) не только обкатываются, но и одновременно скользят одна по другой, вызывая повышенный износ сопряженных поверхностей и склонность к заеданию.

Гипоидная передача (сокр. от гиперболоидная) - разновидность винтовой зубчатой передачи, осуществляемой коническими колёсами со скрещивающимися осями. В Г.п. начальной поверхностью является расширяющаяся часть гиперболоида. Для упрощения изготовления колес этих передач гиперболоиды заменяют усеченными конусами, и передача вращения осуществляется коническими колесами с косыми или круговыми зубьями. Угол перекрещивания осей чаще всего выполняется равным 90° . В отличие от винтовой передачи Г.п. с криволинейными зубьями может быть выполнена с линейным контактом зубьев, что существенно повышает ее нагрузочную способность. Скорости скольжения в Г.п. меньше, чем в винтовых. На практике опасность заедания, связанная со скольжением, устраняется применением специальной противозадирной

смазки (гипоидного масла) и термообработкой зубьев до высокой твердости. Другой недостаток Г.п. - повышенные требования к точности изготовления и монтажа. Г.п. применяют преимущественно в автомобильном, тракторном и текстильном машиностроении. Размещение карданного вала ниже оси ведущих колес автомобиля позволяет понизить центр тяжести транспортного средства и тем самым повысить его устойчивость. Применение Г.п. в ряде машин позволяет передавать движение от одного вала многим другим валам.

Главные передаточные функции - передаточные функции тех движений, которые в данном случае используются как выходные.

Главный момент дисбаланса ротора - характеристика моментной неуравновешенности. Г.м.д.р. пропорционален главному моменту сил инерции.

Годограф (от греч. *hodós* - путь, движение, направление и *gráphō* - пишу) - кривая, являющаяся геометрическим местом точек концов переменного вектора, значения которого отложены от некоторого общего начала. Понятие Г. было введено английским учёным У. Гамильтоном. Г. даёт наглядное геометрическое представление о том, как изменяется со временем физическая величина, изображаемая переменным вектором, и о скорости этого изменения, имеющей направление касательной к Г.

Графические вычисления - методы получения численных решений различных задач путём графических построений. Г.в. (графическое умножение, графическое решение уравнений, графическое интегрирование и т.д.) представляют систему построений, повторяющих или заменяющих с известным приближением соответствующие аналитические операции. Графическое выполнение этих операций требует каждый раз последовательности построений, приводящих в результате к графическому определению искомой величины. При Г.в. используются графики функций. Г.в. находят применение в приложениях математики. Достоинства Г.в. - простота их выполнения и наглядность. Недостаток - малая точность получаемых ответов. Однако в большом числе задач, особенно в инженерной практике, точность Г.в. вполне достаточна. Графические методы

с успехом могут быть использованы для получения первых приближений, уточняемых затем аналитически.

Группа – в теории механизмов и машин кинематическая цепь, состоящая из подвижных звеньев, связанных между собой кинематическими парами (отношениями), и удовлетворяющая некоторым заданным условиям.

Д

Д'Аламбера принцип [по имени франц. математика и философа Ж. Д'Аламбера (J. D'Alembert, 1717 - 1783)] - один из основных принципов динамики, согласно которому приложенные к точкам материальной системы «задаваемые» (активные) силы могут быть разложены на «движущие» силы, то есть сообщающие точкам системы ускорения, и на «потерянные» силы, которые уравниваются противодействиями (реакциями) связей. Другая формулировка Д.п.: если к действующим на точки материальной системы заданным (активным) силам и силам реакций связей присоединить даламберовы силы инерции, то есть взятую с обратным знаком векторную сумму произведений масс всех материальных точек системы на их ускорения, то полученная система сил будет находиться в равновесии. Третья формулировка Д.п.: если к заданным (активным) силам, действующим на точки механической системы, и реакциям наложенных связей присоединить силы инерции, то получится уравновешенная система сил.

Двигатель - энергосиловая машина, преобразующая какой-либо вид энергии в механическую работу. В зависимости от типа Д. работа может быть получена от вращающегося ротора, возвратно-поступательно движущегося поршня или от реактивного аппарата. Д. приводят в действие рабочие машины, транспортные средства сухопутного, водного, воздушного и космического назначения, производственно-технологической установки, коммунальные и бытовые приборы и т.п. Д., непосредственно преобразующие природные энергетические ресурсы (топливо, энергию ветра, воды и др.) в механическую энергию, называются первичными (паровые, ветряные, гидравлические и др.). Наибольшую

группу среди первичных Д. составляют тепловые двигатели, использующие химическую энергию топлива или атомную энергию. Д., преобразующие энергию первичных Д. в механическую работу, называются вторичными (электрические, пневматические, некоторые типы гидравлических и др.). Устройства, отдающие накопленную механическую энергию, также относят к Д. (инерционные, пружинные, гиревые механизмы). По назначению Д. разделяют на стационарные, то есть установленные неподвижно; передвижные, используемые на движущихся рабочих машинах; транспортные, применяемые на различных видах транспортных средств.

Двигатель внутреннего сгорания - тепловой двигатель, в котором химическая энергия топлива, сгорающего в рабочей полости, преобразуется в механическую работу.

Двигатель электрический - машина, преобразующая электрическую энергию в механическую. Д.э. - основной вид двигателя в промышленности, на транспорте, в быту и т. д. По роду тока различают Д.э. постоянного тока, основное преимущество которых заключается в возможности экономичной и плавной регулировки частоты вращения, и Д.э. переменного тока. К последним относятся: синхронные Д.э., у которых частота вращения жестко связана с частотой питающего тока; асинхронные Д.э., частота вращения которых уменьшается с ростом нагрузки; коллекторные Д.э. с плавной регулировкой частоты вращения в широких пределах.

Движение - основная форма существования всего материального мира; покой и равновесие - частные случаи движения.

Двухзвенный (первичный) механизм - механизм, состоящий из подвижного звена и стойки, образующих обратимую пару.

Дезаксиальный (внеосный) кривошипно-ползунный механизм - кривошипно-ползунный механизм, у которого ось направляющей ползуна не проходит через центр вращения кривошипа (смещена на величину дезаксиала).

Делительная головка - приспособление металлорежущих станков (преимущественно фрезерных), поворачивающее обрабатываемую деталь на опре-

деленный угол. При помощи Д.г. фрезеруются впадины между зубьями зубчатых колес и режущих инструментов, обрабатываются шестигранники и т.д.

Делительная окружность - такая окружность зубчатого колеса, на которой модуль и шаг принимают стандартное значение; воображаемая окружность, по которой происходит номинальное деление зубьев колеса. Если колеса не имеют коррекции (изготовлены без смещения), то начальная и делительная окружности совпадают.

Делительная прямая рейки - прямая рейки, по которой толщина зуба равна ширине впадины.

Делительный конус колеса - для конического зубчатого колеса базовая поверхность, относительно которой формируются размеры и расположение зубьев.

Демпфер (от нем. *dämpfer* - глушитель) - глушитель, устройство для гашения, успокоения (демпфирования) колебаний или предотвращения механических колебаний, возникающих в машинах и приборах при их работе. Применяются гидравлический и пневматический Д. в автоматических регуляторах и измерительных приборах, Д. в виде катушек индуктивности в электрических машинах.

Демпфирование (механических колебаний) - искусственное подавление колебаний механических систем. Д. может осуществляться за счёт увеличения затухания, для чего на системе устанавливаются демпферы (например, поршни, движущиеся в вязкой среде). Другой метод Д. состоит в подавлении колебаний определённой частоты с помощью дополнительной колебательной системы, настроенной на эту частоту и создающей силу, равную по величине силе, вызывающей колебания, но противоположную ей по направлению. Д. играет важную роль в приборостроении для успокоения указательных стрелок, а также в технике при наличии нежелательных колебаний машин, механизмов, станков, сооружений и пр.

Детали машин - 1. отдельные составные части и их простейшие соединения в машинах, приборах, аппаратах, приспособлениях и др.: болты, заклепки,

валы, колеса, цепи, подшипники и т.п.; 2. научная дисциплина о теории, расчете и конструировании Д.м.

Деталь (от франц. *détail* - подробность) - изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций.

Деформация (от лат. *deformatio* - искажение) - изменение формы или размеров тела (части тела) под действием внешних сил, при нагревании или охлаждении, изменении влажности и других воздействиях, вызывающих изменение относительного положения частиц тела.

Динамика (от греч. *dynamikós* - сильный, *dýnamis* - сила) - раздел механики, посвящённый изучению движения материальных тел под действием приложенных к ним сил.

Динамика машин и механизмов - раздел теории механизмов и машин, в котором изучается движение механизмов и машин с учётом действующих на них сил. Д.м.м. решает следующие основные задачи: установление законов движения звеньев механизмов, регулирование движения звеньев, нахождение потерь на трение, определение реакций в кинематических парах, уравнивание машин и механизмов.

Динамическая модель - 1. модель системы, предназначенная для исследования ее свойств в функции времени (модель системы, предназначенная для исследования в ней динамических явлений); 2. математическая модель, которая отражает изменение рассматриваемого явления во времени; 3. звено приведения.

Динамический анализ - метод нахождения истинного значения скорости и ряда других характеристик (ускорения, времени срабатывания, времени останова или времени разгона) механизма. При этом размеры, массы и моменты инерции звеньев известны.

Динамический расчет механизма - задача определения законов движения звеньев с определенной геометрической формой, размерами и массами при действии известных силовых факторов и законов их изменения во времени.

Динамический синтез механизма - метод определения массы, момента инерции, и, следовательно, размеров звеньев, при которых механизм, нагруженный заданными силами, двигался бы в заданном режиме. При этом заданы режим движения механизма и его кинематические характеристики.

Дисбаланс - мера статической неуравновешенности ротора, векторная величина, равная произведению неуравновешенной массы на ее эксцентриситет, где эксцентриситет - радиус-вектор центра этой массы относительно оси ротора. Направление главного вектора дисбаланса совпадает с направлением главного вектора сил инерции, действующих на ротор при вращении.

Дифференциал - дифференциальный зубчатый механизм, у которого центральные колеса связаны кинематической цепью между собой или с сателлитами, а входным звеном является водило. Разновидности Д. - автомобильный (межосевой, межколесный) и станочный.

Дифференциал планетарный - планетарный зубчатый механизм, в котором входной энергетический поток разделяется на два выходных потока; планетарный зубчатый механизм со всеми свободными звеньями.

Дифференциал замкнутый - одноподвижный зубчатый механизм, полученный из двухподвижного (планетарного) путем соединения между собой функционально (например, простой зубчатой передачей) двух подвижных звеньев.

Дифференциальный механизм - устройство, позволяющее получать результирующее движение как сумму или разность составляющих движений. В Д.м. с одной степенью свободы составляющие движения кинематически связаны и осуществляются одним приводом, а результирующее получается как разность этих движений. Д.м. с одной степенью свободы применяют для получения малых точных перемещений или больших сил (например, в приборах, металлорежущих станках и т.п.).

Долбяк - металлорежущий инструмент для нарезания зубьев прямозубых и косозубых зубчатых колёс наружного и внутреннего зацепления, зубчатых венцов шевронных колёс с канавкой и без неё, зубчатых колёс блоков, зубчатых колёс с выступающими фланцами, ограничивающими свободный выход инст-

румента и зубчатых реек. Д. имеет вид зубчатого колеса, снабжённого режущими элементами с соответствующей заточкой. Д. изготавливается из быстрорежущей стали.

Допускаемое напряжение - напряжение, при котором конструкция работоспособна; составляет часть от напряжения, которое является опасным.

Древнейшие механизмы - самым древним механизмом, которым пользуются до сих пор, является *далу*, водоподъёмное устройство, известное ещё во времена шумерской цивилизации, зародившейся около 3500 лет до н.э. на юге современного Ирака. Оно древнее, чем *сакие*, аналогичное сооружение на Ниле.

Ж

Жесткость - способность конструкции (или отдельного элемента) сопротивляться упругим деформациям.

Жесткость звена в данном направлении - сила или момент силы, вызывающие в этом направлении единичное упругое перемещение, определяемое линейной или угловой координатой.

Жесткость механизма - сила или момент силы, приложенные к входному звену и вызывающие его единичное линейное или угловое перемещение.

З

Задача кинематического синтеза механизма - определение параметров (размеров звеньев) кинематической схемы проектируемого механизма по заданным кинематическим характеристикам (траектории, перемещению, скорости и ускорению).

Задача структурного синтеза - задача синтеза структуры нового механизма, обладающего заданными свойствами: числом подвижностей, отсутствием местных подвижностей и избыточных связей, минимумом числа звеньев, с парами определенного вида (например, только вращательными, как наиболее технологичными) и т.п.

Замедленное движение - движение, при котором мгновенная скорость движущегося тела уменьшается.

Замкнутая кинематическая цепь - кинематическая цепь, у которой все звенья входят не менее чем в две пары.

Замкнутый дифференциальный механизм - дифференциальный механизм, в котором два звена, имеющие неподвижные оси вращения, связаны дополнительно зубчатой передачей с неподвижными осями. Такие передачи нашли применение в многоосных автомобилях-тягачах, в грузоподъемных устройствах (например, в электротельфере) и т.п. Это объясняется тем, что они по сравнению с обычными планетарными механизмами имеют повышенный КПД, позволяют разделить или сложить мощности, передаваемые двумя потоками, и реализовать значительно большие вращающие моменты на выходе при меньших габаритах привода.

Заострение зуба - результат нарезания зубьев при слишком больших положительных смещениях рейки, при этом эвольвенты профилей зуба пересекаются ниже окружности вершин.

Звено (механизма) - твердое тело или система жестко связанных твердых тел (может состоять из одной или нескольких деталей), входящая в состав механизма; одно или несколько твердых тел, не имеющих движения друг относительно друга.

Звено приведения - звено, обычно совершающее поступательное или вращательное движение, на которое действуют условные силовые факторы, совершающие механическую работу, равную работе всех сил и моментов сил, действующих на звенья механизма, и оно обладает кинетической энергией, равной кинетической энергии всех звеньев механизма (динамическая модель механизма).

Зубонакатывание - процесс образования или обработки зубьев зубчатых колёс, зубчатых реек и червяков без снятия стружки, путём пластического деформирования металла. Различают 3. формообразующее и упрочняющее. Формообразующее 3. (образование зубьев непосредственно на литых, кованных,

штампованных и др. заготовках) осуществляется на зубонакатном станке с предварительным нагревом заготовки (обычно токами высокой частоты) или без нагрева (для зубчатых колёс малых модулей). Упрочняющее З. (частичное или по всему профилю зубьев) - обработка уже имеющихся зубьев поверхностным пластическим деформированием с целью повышения их усталостной прочности, износостойкости и долговечности осуществляется на специальных зубонакатных станках. З. производят зубонакатным инструментом - зубчатыми накатниками (валками), работающими по методу обкатки, или роликами, дисковыми фасонными валками и др. - по методу копирования.

Зубонарезание - процесс обработки зубьев зубчатых колёс и других деталей, имеющих зубья, на зубообрабатывающем станке путём снятия стружки зуборезным инструментом. З. бывает черновое (предварительное) и чистовое. При черновом З. снимается большая часть припуска, а профиль зуба ещё не получает окончательной формы. Чистовое З. бывает либо окончательным процессом, либо после него производят упрочняющую обкатку зубьев, термическую обработку с последующим зубошлифованием или доводкой. Черновое З. осуществляют методами обкатки или копирования, чистовое З. - обычно методом обкатки. При копировании инструментом является дисковая или пальцевая фреза, которая в радиальной плоскости имеет профиль, соответствующий впадине между зубьями нарезаемого зубчатого колеса. При обкатке используют червячные фрезы, зубонарезные гребёнки, долбяки, зубострогальные резцы с режущей частью, производящая поверхность которой представляет собой как бы профиль зуба сопряжённой зубчатой рейки (колеса). Профиль зуба, получаемый после З. по методу обкатки, близок к огибающей линии, образованной последовательными положениями режущей кромки инструмента.

Зубообрабатывающий станок - металлорежущий станок для обработки зубчатых колёс, червяков и зубчатых реек. В зависимости от применяемого инструмента различают зубофрезерные, зубодолбёжные, зубострогальные, зубоотделочные (зубошевинговальные, зубошлифовальные, зубохонинговальные, зубопритирочные, зубообкаточные и зубозакругляющие) станки. На З.с. осуще-

ствляют: черновую обработку зубьев, чистовую обработку зубьев, приработку зубчатых колёс, доводку зубьев, закругление торцов зубьев. На зубофрезерных станках нарезают цилиндрические прямозубые, косозубые и с шевронными зубьями колёса, червячные зубчатые колёса. Наиболее распространённые в промышленности вертикальные зубофрезерные станки выпускаются с подвижным столом и неподвижной стойкой и с подвижной стойкой и неподвижным столом. При нарезании зубчатых колёс заготовка жестко связана с делительным червячным колесом, получающим вращение от делительного червяка, который сменными зубчатыми колёсами кинематически связан с червячной фрезой. Соотношение частоты вращения червячной фрезы и заготовки определяется передаточным отношением набора сменных зубчатых колёс.

Зуборезный инструмент - металлорежущий инструмент для обработки зубчатых колёс, червячных и храповых колёс, шлицевых валиков и др. деталей с зубьями. В зависимости от метода зубонарезания применяют модульные дисковые или пальцевые фрезы и зуборезные головки для работы методом копирования, зуборезные гребёнки, червячные фрезы, долбяки, зубострогальные резцы и резцовые головки для работы методом обкатки.

Зубчатая передача – механизм для передачи вращательного движения между валами и изменения частоты вращения, состоящий из зубчатых колес или из зубчатого колеса и рейки, или из червяка и червячного колеса. Простейшая одноступенчатая З.п. состоит из ведущего и ведомого колес. Многоступенчатая З.п. образуется последовательным соединением нескольких одноступенчатых. По виду зубчатых зацеплений различают З.п. цилиндрические, конические, червячные, винтовые, гипоидные и другие, а также комбинированные. З.п. могут быть встроены в механизм, прибор, машину или выполнены в виде самостоятельного агрегата – редуктора. К З.п. относятся коробки скоростей, планетарные передачи, дифференциальные механизмы и др.

Зубчатое зацепление – взаимодействие двух зубчатых колес, зубья которых при последовательном соприкосновении между собой передают заданное движение от одного колеса к другому. Различают цилиндрическое З.з. при па-

параллельных осях, коническое – при пересекающихся осях и гиперболоидное – при перекрещивающихся осях. Зубчатое колесо может входить в зацепление с зубчатой рейкой, преобразующей вращательное движение в поступательное. Наибольшими эксплуатационными и технологическими преимуществами обладает эвольвентное зацепление, при котором профили зубьев выполнены по эвольвентам. Применяют также циклоидальное З.з. и зацепление Новикова, в котором профили зубьев колес очерчиваются дугами окружностей.

Зубчатое колесо - основная деталь зубчатой передачи в виде диска с зубьями на цилиндрической или конической поверхности, входящими в зацепление с зубьями другого З.к. Цилиндрические З.к. могут иметь наружные или внутренние зубья. Зубья выполняются прямыми, винтовыми, шевронными (угловыми) или криволинейными. Наиболее распространённый профиль зубьев З.к. - эвольвентный, реже - циклоидальный и др. В редукторостроении принято малое ведущее З.к. независимо от числа зубьев называть шестерней, а большое (ведомое) - колесом. Конструкция З.к. зависит от его назначения, размеров и способа получения заготовки.

И

Идеальный механизм - механизм, в котором нет потерь энергии, то есть КПД которого равен единице.

Избыточные связи - связи, число которых в механизме определяется разностью между суммарным числом связей, наложенных кинематическими парами, и суммой степеней подвижности всех звеньев, местных подвижностей и заданной (требуемой) подвижностью механизма в целом.

Изгибающий момент - составляющие момент, возникающий в плоскостях перпендикулярных поперечному сечению звена.

Износостойкость - сопротивление трущихся деталей изнашиванию.

Инволюта - тригонометрическая функция $inv = tg\alpha - \alpha$, где α - угол зацепления в зубчатой передаче.

Инерция (от лат. *inertia* - бездеятельность, косность) - свойство тел сохранять свою скорость при отсутствии действия на него других тел и менять ее только под действием других тел.

Инженерная интуиция - способность устанавливать истину без применения логических приемов. По существу И.и. является неосознанной, замаскированной логикой, основанной на личном практическом опыте проектировщика.

Инженерное проектирование – творческий процесс, в котором научная и техническая информация используется для создания новой системы, устройства или машины, приносящих обществу определенную пользу.

Инструментальная зубчатая рейка - трапецевидная гребенка с режущими кромками, перемещающаяся на зубонарезном станке в направлении, перпендикулярном плоскости заготовки колеса (чертежа детали).

Информационная машина - машина, предназначенная для преобразования информации, регулирования и управления технологическими процессами за счет использования механического движения своих звеньев. Если информация представлена в форме чисел, то информационная М. называется счётной или вычислительной, например арифмометры, механические интеграторы, бухгалтерские М. Электронная вычислительная машина, строго говоря, не является М., так как в ней механические движения служат для выполнения лишь вспомогательных операций (название сохранено за ней в порядке исторической преемственности от счётных М. типа арифмометра).

Исполнительный механизм (сервопривод) - устройство, предназначенное для перемещения регулирующего органа в системах автоматического регулирования или дистанционного управления, а также в качестве вспомогательного привода элементов следящих систем, рулевых устройств транспортных машин и т.п. Изменение положения регулирующего органа вызывает изменение потока энергии или материала, поступающих на объект, и тем самым воздействует на рабочие машины, механизмы и технологические процессы, устраняя отклонения регулируемой величины от заданного значения. И. м. не только изменяет состояние управляемого объекта, но и перемещает регулирующий орган в соот-

ветствии с заданным законом регулирования при минимально возможных отклонениях. В большинстве случаев И. м. действуют от посторонних источников энергии, так как непосредственное управление И. м. от первичных элементов регулирования (реле, датчиков и др.) невозможно вследствие их малой мощности, недостаточной для воздействия на регулирующий орган. И. м. обычно состоит из двигателя, передачи и элементов управления, а также элементов обратной связи, сигнализации, блокировки, выключения. И. м. для регулирования потока жидкостей и газов представляет собой клапан, задвижку или затвор, перемещаемые гидравлическим, пневматическим или электрическим приводом. В пневматических системах автоматики применяют мембранные и поршневые пневмоприводы. Электромеханические И. м. широко используют в промышленной автоматике; они имеют обычно привод от асинхронного электродвигателя, иногда от электромагнита (соленоида), применение которого ограничено из-за резких (рывком) воздействий на управляемый орган.

Источник колебаний - часть механической системы, в которой происходят физические процессы, вызывающие колебания.

К

Касательное ускорение - характеристика быстроты изменения направления скорости или неравномерности движения по любой траектории.

Качественные показатели цилиндрической эвольвентной зубчатой передачи - коэффициент торцевого перекрытия; коэффициент полезного действия; коэффициент удельного скольжения; коэффициент удельного давления; коэффициент формы зуба.

Кинематика (от греч. *kinēma*, *kinēmatos* - движение) - раздел механики, в котором изучаются геометрические свойства движения тел без учета их массы и действующих на них сил.

Кинематика механизмов - раздел теории механизмов и машин, в котором изучается движение звеньев механизма независимо от приложенных к ним сил. Основные задачи К.м.: определение движения звеньев механизма по заданному

движению начальных звеньев; проектирование схемы механизма (синтез) по заданным кинематическим условиям. Исследования К. м. основываются на положении о том, что любой механизм состоит из подвижно соединённых твёрдых тел - звеньев, движения которых определяются движением одного или нескольких ведущих звеньев. К. м. решает задачи кинематического анализа и кинематического синтеза.

Кинематическая диаграмма - графическое изображение изменения основных кинематических параметров механизма за полный цикл движения.

Кинематическая пара - подвижное соединение двух звеньев, допускающее их определенное относительное движение. Классификация пар - по подвижности (одно-, двух-, трех, четырех- и пятиподвижные); по геометрии элементов (низшие и высшие).

Кинематическая схема механизма - структурная схема механизма, дополненная размерами звеньев (длинами звеньев, координатами пар, числами зубьев колес, координатами точек на профиле кулачков и т.п.), необходимыми для кинематического анализа механизма.

Кинематическая цепь - система звеньев, образующих между собой кинематические пары.

Кинематические передаточные функции механизма - производные от функции положения по обобщенной координате.

Кинематические характеристики движения - характеристики, определяемые при кинематическом анализе (траектории, перемещения, скорости и ускорения точек и звеньев и передаточные функции механизма).

Кинематические характеристики механизма - производные от функции положения по времени. Первая производная является скоростью, вторая - ускорением.

Кинематические элементы (элементы кинематической пары, элементы) - совокупность точек, линий и поверхностей, которыми звенья непрерывно касаются и характер соприкосновения которых определяет вид относительного движения соединяемых звеньев.

Кинематический анализ зубчатого механизма - определение кинематических параметров: передаточного отношения, угловых скоростей и/или частот вращения отдельных звеньев (колес).

Кинематический анализ механизма - определение характеристик движения (траектории, перемещения, скорости, ускорения) звеньев механизма по заданному движению начальных звеньев.

Кинематический синтез механизма - определение параметров (размеров) звеньев кинематической схемы проектируемого механизма по заданным кинематическим характеристикам. Задача К.с. механизма является обратной задачей его кинематического анализа. К.с. выполняется после структурного синтеза, в результате которого выбирается структурная схема механизма, но предшествует динамическому синтезу, а также выбору материалов, расчётам на прочность и жёсткость и конструктивному оформлению звеньев и кинематических пар. Решение задач К.с. механизмов производится графическими или аналитическими методами. К аналитическим методам К.с. относятся: оптимизационный синтез с применением ЭВМ (случайный поиск, направленный поиск и комбинированный поиск); синтез по методу приближения функций (интерполирование, квадратическое приближение и наилучшее (равномерное) приближение).

Кинематическое соединение - аналог кинематической пары, представляющий компактную конструкцию, выполненную из нескольких подвижных деталей и обеспечивающую такое же относительное движение, что и данная пара.

Кинетическая энергия - энергия механической системы, зависящая от скоростей движения её точек. К. э. материальной точки измеряется половиной произведения массы этой точки на квадрат её скорости. К. э. механической системы равна арифметической сумме К. э. всех её точек. К. э. твёрдого тела, движущегося поступательно, вычисляется так же, как К. э. точки, имеющей массу, равную массе всего тела.

Кинетостатика механизмов - раздел теории механизмов и машин, в котором методом силового расчёта (кинетостатического анализа) определяют реакции элементов кинематических пар механизма при условии, что закон его дви-

жения известен. Методами К.м. пользуются при проектировании новых машин для расчётов их на прочность. Метод кинетостатики - решение задач динамики с помощью принципа Даламбера. Механизм предназначен для выполнения некоторой функции, для реализации которой все его звенья (кроме стойки) должны выполнять определенные движения. Только в этом случае на них и действуют различные силы. Можно мысленно остановить механизм, предполагая при этом что действие всех сил сохранилось (в этом - суть метода кинетостатики).

Класс структурной группы Ассура - число кинематических пар, входящих в замкнутый контур, образованный внутренними кинематическими парами группы.

Колебание (механическое) - такое движение механической системы, при котором обобщенные координаты и их производные изменяются во времени, периодически возрастают или убывают. Различают следующие виды механических колебаний: свободные или собственные колебания - происходящие без переменного внешнего воздействия и поступления энергии извне; периодические - при которых значения обобщенной координаты и ее производных циклически повторяются (если это условие не выполняется, то колебания аperiodические); вынужденные - вызываемые и поддерживаемые переменной во времени внешней силой; параметрические - вызываемые изменением во времени динамических параметров системы (жесткости, массы или момента инерции, демпфирования и др.); автоколебания - стационарные колебания, возбуждаемые и поддерживаемые за счет энергии, поступающей от источника неколебательного характера, в которой поступление энергии регулируется движением самой системы; другие виды колебаний.

Коленчатый вал - вал, состоящий из одного или нескольких колен и нескольких соосных коренных шеек, опирающихся на подшипники. Каждое колено К. в. имеет две щеки и одну шейку для присоединения шатуна. Оси шатунных шеек смещены относительно оси вращения К. в. Для уравнивания К. в. при работе щеки часто имеют противовесы. К. в. - вращающееся звено

кривошипного механизма; применяется в поршневых двигателях, насосах, компрессорах, кузнечно-прессовых машинах и тому подобное. В поршневых машинах число колен К. в. обычно равно числу цилиндров; расположение колен зависит от рабочего цикла, условий уравнивания машин и расположения цилиндров. К. в. изготавливают из углеродистых и легированных сталей или высокопрочного чугуна обычно целыми, литыми или коваными. Однако при использовании целых К. в. невозможно применение подшипников качения, поэтому иногда К. в. делают составными. По условиям технологии составными выполняют также крупные К. в. с диаметром шеек до 1 м. Наиболее просты в изготовлении К. в., у которых оси всех шатунных шеек находятся в одной плоскости. Простейшим К.в. можно считать кривошип.

Количество движения - мера механического движения, равная для материальной точки произведению её массы на скорость. К. д. - величина векторная, направленная так же, как скорость точки. Иногда К. д. называют ещё импульсом. При действии силы К. д. точки изменяется в общем случае и численно, и по направлению; это изменение определяется вторым (основным) законом динамики.

Компрессор - устройство для сжатия и подачи газа (воздуха) под давлением.

Коническая зубчатая передача - зубчатая передача, предназначенная для передачи и преобразования вращательного движения между звеньями, оси вращения которых пересекаются. Преимущества К.з.п.: обеспечение возможности передачи и преобразования вращательного движения между звеньями с пересекающимися осями вращения; возможность передачи движения между звеньями с переменным межосевым углом при широком диапазоне его изменения; расширение компоновочных возможностей при разработке сложных зубчатых и комбинированных механизмов. Недостатки К.з.п.: более сложная технология изготовления и сборки конических зубчатых колес; большие осевые и изгибные нагрузки на валы, особенно в связи с консольным расположением зубчатых колес.

Конструирование - процесс придания техническим объектам (изделиям) и их элементам конкретных геометрических форм и размеров, наиболее эффективно обеспечивающих их изготовление, взаимодействие (сопряжение) и реализацию функционального назначения.

Конструктивная схема - творческая реализация (воплощение) технического замысла изделия, его функциональной структуры и технологии изготовления. В процессе ее обдумывания и отображения осуществляется предварительный выбор материалов и технологии изготовления. К.с. должна обеспечивать возможность экономически целесообразного материального воплощения технической идеи.

Конструкторская документация - графические и текстовые документы, которые содержат данные об изделии, необходимые для его разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и регулировки. К К.д. относятся: чертежи, ведомости комплектующих деталей, схемы, расчеты, пояснительные записки, ТУ и др.

Контактная линия - совокупность геометрических мест точек касания каждого из звеньев зубчатого (фрикционного) механизма.

Контактное напряжение - напряжение, возникающие в месте контакта двух деталей, когда размеры площадки контакта малы по сравнению с размерами деталей.

Коробка передач – многозвенный механизм, в котором ступенчатое изменение передаточного отношения осуществляется при переключении зубчатых передач, размещенных в отдельном корпусе (коробке) или в общем корпусе с другими механизмами.

Коробка скоростей – многозвенный механизм (разновидность коробки передач), предназначенный для изменения частоты вращения ведомого вала при постоянной частоте вращения ведущего путем изменения передаточного отношения.

Коромысло - звено механизма, не совершающее полного оборота. К. образует со стойкой вращательную пару.

Корригирование зубчатых колёс - (от лат. *corrigo* - исправляю, улучшаю), приём улучшения формы зубьев эвольвентного зубчатого зацепления. При нарезании зубчатых колёс исходный стандартный контур производящей рейки смещают в радиальном направлении так, что её делительная прямая не касается делительной окружности колеса. При этом можно использовать нормальный реечный зуборезный инструмент (гребёнку, червячную фрезу и т.п.) или долбяки. Обработку ведут на зубообрабатывающем станке методом обкатки, нарезаая колёса с требуемым смещением исходного контура.

Косозубое зубчатое колесо - зубчатое колесо с винтовой эвольвентной поверхностью зубьев, сформированной образующей основного цилиндра, расположенной под углом к производящей прямой линии.

Косозубая цилиндрическая эвольвентная зубчатая передача - зубчатая передача, образованная косозубыми зубчатыми колесами.

Коэффициент динамичности механизма - отношение максимального углового ускорения звена приведения за цикл установившегося движения к квадрату его средней угловой скорости.

Коэффициент изменения средней скорости выходного звена - отношение скоростей холостого и рабочего хода; служит для оценки степени перегрузки машинной установки, вызванной упругими деформациями звеньев.

Коэффициент неравномерности движения механизма - отношение разности максимальной и минимальной скорости изменения обобщенной координаты звена приведения к величине ее среднего значения за цикл работы. К.н.д.м. характеризует размах колебаний скорости по отношению к ее среднему значению. Чем меньше К.н.д.м. у рассматриваемого механизма, тем относительно меньше размах колебаний скорости, тем спокойнее вращается его начальное звено.

Коэффициент неравномерности средней скорости звена - отношение средней скорости выходного звена при обратном (холостом) ходе к средней скорости прямого (рабочего) хода.

Коэффициент торцевого перекрытия цилиндрической зубчатой передачи - отношение практической части линии зацепления к величине шага зубьев по основной окружности.

Коэффициент полезного действия (КПД) - характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии; определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой. В электрических двигателях КПД - отношение совершаемой (полезной) механической работы к электрической энергии, получаемой от источника; в тепловых двигателях - отношение полезной механической работы к затрачиваемому количеству теплоты. Для вычисления КПД разные виды энергии и механическая работа выражаются в одинаковых единицах на основе механического эквивалента теплоты и других аналогичных соотношений. В силу своей общности понятие КПД позволяет сравнивать и оценивать с единой точки зрения такие различные системы, как атомные реакторы, электрические генераторы и двигатели, теплоэнергетические установки, полупроводниковые приборы, биологические объекты и т. д. Из-за неизбежных потерь энергии на трение, на нагревание окружающих тел и т.п. КПД всегда меньше единицы. Соответственно этому КПД выражается в долях затрачиваемой энергии, то есть в виде правильной дроби или в процентах, и является безразмерной величиной. КПД тепловых электростанций достигает 35 - 40%, ДВС – 40 - 50%, динамо-машин и генераторов большой мощности - 95%, трансформаторов - 98%. У тепловых двигателей в силу второго начала термодинамики КПД имеет верхний предел, определяемый особенностями термодинамического цикла (кругового процесса), который совершает рабочее тело. Наибольшим КПД обладает термодинамический цикл Карно.

Коэффициент трения покоя (коэффициент сцепления) - отношение предельной силы трения покоя к силе нормального давления, равная силе, прижимающей трущиеся тела друг к другу.

Коэффициент удельного давления - в зубчатой передаче отношение модуля зацепления к приведенному радиусу кривизны профилей в зоне их контакта; характеристика влияния геометрической формы зуба на контактную прочность.

Коэффициент удельного скольжения - в зубчатой передаче отношение скорости скольжения в данной точке к тангенциальной составляющей скорости соответствующего профиля. Критерий оценки влияния геометрических и кинематических факторов на величину проскальзывания профилей в процессе их зацепления.

Коэффициент формы зуба (зубчатого колеса) - оценка влияния геометрии зуба на изгибную прочность.

Криволинейное движение (непрямолинейное) – движение тела по траектории, отличающейся от прямой линии.

Кривошип - простейшее звено кривошипного механизма, способное совершать полный оборот. К. как деталь реального механизма имеет цилиндрический выступ - шип, ось которого смещена относительно оси вращения К. на постоянную или регулируемую величину.

Кривошипный механизм - механизм для преобразования одного вида движения в другой, имеет вращающееся звено в виде кривошипа или коленчатого вала, связанное со стойкой и другим звеном вращательными кинематическими парами (шарнирами). К.м. обычно имеют вращательные и поступательные кинематические пары. К.м. делятся на плоские (с движением всех звеньев в параллельных плоскостях) и пространственные, четырёхзвенные и многозвенные. Наиболее распространённые плоские четырёхзвенные К.м. делятся на три группы: шарнирные четырёхзвенные, кривошипно-ползунные, кривошипно-кулисные.

Крутящий момент - составляющая главного момента внутренних сил; момент, возникающий в плоскости поперечного сечения.

Кручение - вид нагружения звена, при котором в его поперечных сечениях возникает только один силовой фактор - крутящий момент.

Кривошипно-ползунный механизм - механизм, предназначенный для преобразования вращательного движения кривошипа в поступательное движение ползуна или наоборот.

Кулачковый механизм - трехзвенный механизм с высшей кинематической парой, входное звено которого называется кулачком, а выходное - толкателем (коромыслом). Часто для замены в высшей паре трения скольжения трением качения и уменьшения износа как кулачка, так и толкателя в схему механизма включают дополнительное звено - ролик и вращательную кинематическую пару. Подвижность в этой кинематической паре не изменяет передаточных функций механизма и является местной подвижностью. К.м. предназначены для преобразования вращательного или поступательного движения кулачка в возвратно-вращательное или возвратно-поступательное движение толкателя. При этом в механизме с двумя подвижными звеньями можно реализовать преобразование движения по сложному закону. Важным преимуществом К.м. является возможность обеспечения точных выстоев выходного звена. Это преимущество определило их широкое применение в простейших устройствах цикловой автоматики и в механических счетно-решающих устройствах (арифмометры, календарные механизмы). К.м. можно разделить на две группы. Механизмы первой обеспечивают перемещение толкателя по заданному закону движения. Механизмы второй группы обеспечивают только заданное максимальное перемещение выходного звена - ход толкателя. При этом закон, по которому осуществляется это перемещение, выбирается из набора типовых законов движения в зависимости от условий эксплуатации и технологии изготовления.

Кулачок - звено кулачкового механизма, которому принадлежит элемент высшей пары, имеющий поверхность переменной кривизны.

Кулиса - звено кулисного механизма, являющееся подвижной направляющей для кулисного камня, может вращаться или совершать качательное движение.

Кулисный камень - звено кулисного механизма, движущееся возвратно - поступательно вдоль кулисы.

Кулисный механизм - механизм, в котором имеются кривошип (коромысло), кулиса (подвижная направляющая) и кулисный камень.

Л

Линия зацепления - геометрическое место точек контакта сопряженных профилей при вращении колес зубчатой передачи.

Линия зуба - для конического зубчатого колеса линия пересечения боковой поверхности зуба с делительным конусом. По ее форме на развертке делительного конуса конические колеса, получившие наибольшее применение в машиностроении, делятся на прямозубые колеса и колеса с круговыми и с косыми (тангенциальными) зубьями.

Линия станочного зацепления - геометрическое место точек контакта эвольвентной части профиля инструмента и эвольвентной части профиля зуба в неподвижной системе координат.

Лобовой фрикционный механизм - фрикционный механизм, в котором вращение передается между катками (дисками), оси которых взаимно перпендикулярны.

М

Манипулятор - совокупность пространственного рычажного механизма и системы приводов, осуществляющая под управлением программируемого автоматического устройства или человека-оператора действия (манипуляции), аналогичные действиям руки человека.

Масштаб плана механизма - отношение отрезка, изображающего звено на плане в миллиметрах, к числовому значению длины изображаемого звена в единицах СИ, [мм/м].

Математическая модель - совокупность математических объектов (чисел, переменных, матриц, множеств, точек и т.д.) и отношений между ними, отражающая свойства моделируемого объекта.

Материальная точка - геометрическая точка, обладающая массой.

Маховик - маховое колесо, массивная деталь (тело вращения в виде диска), устанавливаемая на ведущем валу машины для уменьшения неравномерности его вращения при установившемся движении. М. представляет собой колесо с тяжёлым ободом, соединённым со ступицей прямыми спицами или сплошным диском. Часто М. выполняет также функцию шкива или диска муфты. Установившееся движение большинства машин характеризуется периодическими колебаниями угловой скорости ведущего вала. Это обусловлено, с одной стороны, особенностями конструкции машины, например, наличием в кинематической цепи кривошипно-ползунного механизма, а с другой - периодическим изменением соотношений между движущими силами и силами сопротивления, например, во время холостого и рабочего ходов. Накапливая кинетическую энергию при ускорении и отдавая её при замедлении, М. уменьшает неравномерность вращения вала до величины, допустимой по условиям нормальной работы машины. В инерционных двигателях накопленная М. энергия используется для привода машины.

Машина (франц. *machine*, от латинского *machina*) - устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации. В зависимости от основного назначения (какое преобразование преобладает) различают 3 вида М.: энергетические, рабочие, информационные. М., и в особенности М.-автомат, при правильном её применении облегчает труд человека, увеличивает производительность труда и обеспечивает высокое качество выполнения рабочего процесса.

Машина-автомат (автомат) - машина, в которой все преобразования энергии, материалов, информации выполняются без непосредственного участия человека.

Машинный агрегат - техническая система, состоящая из одной или нескольких соединённых последовательно или параллельно машин и предназначенная для выполнения каких-либо требуемых функций. Обычно в состав М.а. входят: двигатель, передаточный механизм и рабочая или энергетическая ма-

шина. В настоящее время в состав машинного агрегата часто включается контрольно-управляющая или кибернетическая машина.

Мгновенная скорость – средняя скорость, измеренная за столь малый промежуток, что в течение этого промежутка движение представляется для приборов равномерным.

Мгновенный центр скоростей - точка плоского сечения, абсолютная скорость которой равна нулю.

Межосевое расстояние - в передачах вращения (зубчатых, ременных, цепных) длина межосевого отрезка.

Межосевой отрезок – отрезок, соединяющий центры вращающихся звеньев в передачах вращения (зубчатых, ременных, цепных).

Местные подвижности - подвижности механизма, которые не оказывают влияния на его функцию положения (и передаточные функции), а введены в механизм с другими целями (например, подвижность ролика в кулачковом механизме обеспечивает замену в высшей паре трения скольжения трением качения).

Метод наслоения - метод образования механизмов присоединения структурных групп друг к другу и к начальному механизму.

Метод копирования - метод изготовления эвольвентных зубчатых колес, при котором рабочие кромки инструмента по форме соответствуют обрабатываемой поверхности (конгруэнтны ей, то есть заполняют эту поверхность, как отливка заполняет форму). Основные варианты М.к.: 1. нарезание зубчатого колеса профилированной дисковой или пальцевой фрезой (проекция режущих кромок которой соответствует конфигурации впадин). При этом способе резание производится в следующем порядке: прорезается впадина первого зуба, затем заготовка с помощью делительного устройства (делительной головки) поворачивается на угловой шаг и прорезается следующая впадина. Операции повторяются, пока не будут прорезаны все впадины. Производительность данного способа низкая, точность и качество поверхности невысокие; 2. отливка зубчатого колеса в форму. При этом внутренняя поверхность литейной формы кон-

груэнтна наружной поверхности зубчатого колеса. Производительность и точность способа высокая, однако при этом нельзя получить высокой прочности и твердости зубьев.

Метод огибания - метод изготовления эвольвентных зубчатых колес, при котором инструмент и заготовка за счет кинематической цепи станка выполняют два движения - резания и огибания. Основные варианты М.о.: 1. обработка на зубофрезерных или зубодолбежных станках червячными фрезами или долбьяками. Производительность достаточно высокая, точность изготовления и чистота поверхностей средняя. Можно обрабатывать колеса из материалов с невысокой твердостью поверхности; 2. накатка зубьев с помощью специально профилированного инструмента. Обеспечивает высокую производительность и хорошую чистоту поверхности. Применяется для пластичных материалов, обычно на этапах черновой обработки. Недостаток способа - образование наклепанного поверхностного слоя, который после окончания обработки изменяет свои размеры; 3. обработка на зубошлифовальных станках дисковыми кругами. Применяется как окончательная операция после зубонарезания (или накатки зубьев) и термической обработки. Обеспечивает высокую точность и чистоту поверхности. Применяется для материалов с высокой поверхностной прочностью.

Механизм (от греч. *mechané* – машина, орудие, сооружение) – 1. система твердых тел, предназначенная для передачи и преобразования заданного движения одного или нескольких тел в требуемые движения других тел; 2. кинематическая цепь, в состав которой входит неподвижное звено (стойка) и число степеней свободы которой равно числу обобщенных координат, характеризующих положение цепи относительно стойки; 3. устройство для передачи и преобразования движений любого рода; 4. система твердых тел, неподвижно связанных путем соприкосновения и движущихся определенным, требуемым образом относительно одного из них, принятого за неподвижное. М. составляют основу большинства машин, применяются во многих приборах, аппаратах и технических устройствах. Если в преобразовании движения, кроме твёрдых тел

(звеньев), участвуют жидкие или газообразные тела, то М. называют соответственно гидравлическим или пневматическим.

Механика (от греч. *mēchanikē (téchnē)* - наука о машинах, искусство построения машин) - наука о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между телами. М. принято делить на теоретическую и прикладную.

Механическая система - совокупность материальных точек, связанных между собой силами взаимодействия.

Механическая характеристика (машины) - зависимость силы или момента на выходном валу или рабочем органе машины от скорости или перемещения точки или звена ее приложения. М.х. определяют внешние силы и моменты, действующие на входные и выходные звенья рассматриваемой механической системы со стороны взаимодействующих с ней внешних систем и окружающей среды. М.х. определяются экспериментально, по результатам экспериментов получают регрессионные эмпирические модели, которые в дальнейшем используются при проведении динамических расчетов машин и механизмов.

Механический КПД - отношение полезной работы ко всей совершенной работе.

Механическое движение - изменение с течением времени взаимного положения тел или их частиц в пространстве. Примерами таких движений, изучаемых методами механики, являются: в природе - движения небесных тел, колебания земной коры, воздушные и морские течения, тепловое движение молекул и т. п., а в технике - движения различных летательных аппаратов и транспортных средств, частей всевозможных двигателей, машин и механизмов, деформации элементов различных конструкций и сооружений, движения жидкостей и газов и многие др.

Многопоточный зубчатый механизм - зубчатый механизм, в котором кинематические цепи образуют один или несколько замкнутых контуров и в которых входной поток механической мощности в процессе передачи и преобразования делится на несколько потоков, а затем суммируется на выходном звене.

Распределение передаваемых усилий по нескольким кинематическим парам уменьшает нагрузку на элементы пар и позволяет существенно уменьшать габаритные размеры и массу механизмов. Многозонный контакт звеньев механизма существенно увеличивает жесткость механизма, а за счет осреднения ошибок и зазоров уменьшает мертвый ход и кинематическую погрешность механизма. Однако за счет образования в структуре механизма внутренних контуров число избыточных или пассивных связей в механизме увеличивается. Поэтому при изготовлении и сборке механизма необходимо либо повышать точность деталей, либо увеличивать зазоры в кинематических парах.

Модель (франц. *modèle*., итал. *modello*, от лат. *modulus* - мера, образец, норма) - устройство или образ (мысленный или условный: схема, чертеж, система уравнений и т.п.) какого-либо объекта или явления (оригинала данной модели), адекватно отражающий его исследуемые свойства и используемый в качестве заместителя объекта в научных или иных целях; классификация М.: по форме представления - физические; математические: (аналоговые; цифровые); по назначению - функциональные; структурные; геометрические; кинематические; динамические; по методу исследования - графические; численные; графоаналитические; энергетические; кинетостатические; экспериментальные.

Модуль зубчатого зацепления (от лат. *modulus* - мера, образец, норма) - часть делительного диаметра зубчатого колеса, приходящегося на один зуб; отношение диаметра делительной окружности к числу зубьев или шага к π . М. является основным стандартизированным параметром зубчатой передачи, определяющим ее размеры; для пары зацепляющихся колес М. должен быть одинаковым.

Момент инерции - величина, характеризующая распределение масс в теле и являющаяся наряду с массой мерой инертности тела при непоступательном движении. В механике различают М. и. осевые и центробежные. Величина осевого М.и. является мерой инертности тела при его вращении вокруг оси. Центробежным М. и. относительно системы прямоугольных осей называют вели-

чину, являющуюся характеристикой динамической неуравновешенности масс. Единицы измерения - $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Момент количества движения - кинетический момент, одна из мер механического движения материальной точки или системы. Особенно важную роль М.к.д. играет при изучении вращательного движения. Как и для момента силы, различают М.к.д. относительно центра (точки) и относительно оси.

Момент приведенной силы - условный момент, который будучи приложен в какой-либо точке звена приведения, при заданном положении входного звена совершает в единицу времени механическую работу, численно равную сумме работ всех моментов сил, действующих на звенья механизма.

Момент силы - величина, характеризующая вращательный эффект силы при действии её на твёрдое тело. Различают М.с. относительно центра (точки) и относительно оси. М.с. относительно центра величина векторная. М.с. относительно оси величина алгебраическая, равная проекции на эту ось М.с. относительно любой точки оси или же численной величине момента проекции силы на плоскость, перпендикулярную этой оси, взятого относительно точки пересечения оси с плоскостью. Единица измерения - $\text{Н}\cdot\text{м}$

Момент трения - величина, характеризующая тормозящее действие трения качения - отношение коэффициента трения качения, имеющего размерность длины и зависящего от геометрии, материала, состояния трущихся поверхностей в зоне контакта и условий нагружения к силе нормального давления, равной силе, прижимающей трущиеся тела друг к другу.

Мощность - производная от работы по времени; величина, которая определяет количество энергии, развиваемой двигателем; средняя М. - отношение совершенной работы ко времени ее выполнения.

Мультипликатор - зубчатый механизм для увеличения угловых скоростей выходных звеньев.

Н

Нагрузка - равновесная система внешних сил, состоящая из активных сил и реакций связей.

Надежность - свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Наивысший уровень инженерного творчества - деятельность, заключающаяся в выявлении и формулировании законов и закономерностей строения и развития технических систем и сознательном их использовании в поиске улучшенных технических решений. Достаточно редко создаются принципиально новые технические средства, не являющиеся результатом эволюции технических систем. Они создаются на базе пионерных изобретений для удовлетворения новых (возникших) потребностей. В связи с этим к Н.у.и.т. относится изобретение или открытие новых реальных потребностей.

Направляющий механизм - механизм для воспроизведения заданной траектории точки звена. Н.м. делятся на точные и приближённые. В точных механизмах траектория одной из точек звеньев теоретически точно совпадает с заданной кривой на всём её протяжении или на некотором участке. В приближённом механизме траектория одной из точек звеньев мало отличается от заданной кривой на всём её протяжении или на некотором участке.

Напряжение - числовая мера интенсивности внутренних сил.

Насос - устройство (гидравлическая машина, аппарат или прибор) для напорного перемещения (всасывания и нагнетания) главным образом капельной жидкости в результате сообщения ей внешней энергии (потенциальной и кинетической). Устройства для безнапорного перемещения жидкости Н. обычно не называют и относят к водоподъёмным машинам. Основным параметром Н. - количество жидкости, перемещаемое в единицу времени, то есть осуществляемая объёмная подача. Для большинства Н. важнейшими техническими параметрами также являются: развиваемое давление или соответствующий ему напор, потребляемая мощность и КПД.

Начальная кинематическая пара - пара, относительное положение звеньев в которой принято за обобщённую координату.

Начальная прямая - прямая рейки, которая в процессе нарезания зубьев обкатывается без скольжения по делительной окружности нарезаемого колеса.

Начальное звено - звено, координата которого принята за обобщенную.

Начальные окружности зубчатого зацепления - окружности, проведенные через полюс зацепления. Н.о. существуют только для передачи (пары колес); в зубчатом зацеплении Н.о. катятся без скольжения одна по другой.

Начальный механизм - совокупность стойки и начального звена.

Незамкнутая кинематическая цепь - кинематическая цепь, в которой есть звенья, входящие только в одну кинематическую пару.

Необратимая кинематическая пара - пара, допускающая различные виды относительного движения соединяемых звеньев в зависимости от того, какое из них условно принято неподвижным.

Несвободная система - система материальных тел (точек), положения и движения которых подчинены некоторым геометрическим или кинематическим ограничениям, заданным наперед и не зависящим от начальных условий и заданных сил.

Несвободная точка - материальная точка, свобода перемещений которой ограничена наложенными связями.

Несвободное тело - твердое тело, которому перемещения в пространстве ограничено какими-либо другими телами.

Неуравновешенность - такое состояние механизма, при котором главный вектор сил инерции или главный момент сил инерции не равны нулю. Различают Н.: статическую; моментную; динамическую. Н. определяется конструктивными характеристиками ротора или механизма и не зависит от параметров движения.

Неуравновешенный механизм - механизм, в котором главные вектора и моменты сил инерции не равны нулю; в котором при движении центр масс механизма (или звена) движется с ускорением.

Неуравновешенный ротор - ротор, в котором не совпадают ось вращения и главная центральная ось инерции, при этом в его опорах при вращении возник-

нут переменные реакции, вызванные действием инерционных сил и моментов (точнее, движением центра масс с ускорением). Виды неуравновешенности роторов: статическая, когда эти оси параллельны; моментная, когда оси пересекаются в центре масс ротора; динамическая, когда оси либо пересекаются вне центра масс, либо не пересекаются, а перекрещиваются в пространстве.

Неустановившиеся режимы работы механизма - режимы разгона (разбега) и торможения (выбега).

Низшая пара - пара, в которой при соединении двух звеньев контакт осуществляется по поверхностям (в которой элементом является поверхность).

Нормальная (продольная) сила - составляющая главного вектора внутренних сил, направленная перпендикулярно плоскости поперечного сечения звена.

Нормальное ускорение - характеристика криволинейности движения.

Нормальный модуль колеса - для косозубых колес отношение нормального шага на делительном цилиндре к постоянной π .

Нулевая зубчатая передача (равносмещенная) - составленная из зубчатых колес без смещения или с равными, но противоположными по знаку смещениями. При этом делительные окружности колес касаются друг друга.

О

Обобщенные координаты механизма (системы) - независимые друг от друга величины, вполне и однозначно определяющие возможные положения системы в произвольный момент времени.

Обратимая кинематическая пара - пара, допускающая один и тот же вид относительного движения независимо от того, какое из звеньев условно выбрано неподвижным. Если кинематическая пара одноподвижная, то она однозначно обратимая.

Обратная задача динамики - определение требуемого управляющего силового воздействия, обеспечивающего заданный закон движения системы.

Обращенный механизм - планетарный механизм с остановленным водилом и свободными остальными звеньями. Используется при аналитическом методе кинематического анализа планетарного механизма.

Объект виброзащиты - часть механической системы, в которой требуется уменьшить колебания.

Огибание - такое относительное движение заготовки зубчатого колеса и зубонарезного инструмента, которое соответствует станочному зацеплению.

Окружной модуль - для косозубых колес отношение окружного шага к постоянной π .

Окружной шаг - расстояние по дуге делительной окружности зубчатого колеса между одноименными точками профилей соседних зубьев (под одноименными понимаются правые или левые профили зуба).

Окружность вершин зубьев – для зубчатого колеса окружность, ограничивающая высоту зубьев.

Окружность впадин зубьев - для зубчатого колеса окружность, ограничивающая глубины впадин.

Окружность граничных точек - для зубчатого колеса окружность, проходящая через точки сопряжения эвольвентной части профиля зуба с переходной кривой.

Оптимизация - отыскание такого решения рассматриваемой задачи, которое дает экстремальное (минимальное или максимальное) значение некоторой функции, называемой целевой. В инженерном проектировании - выбор наиболее подходящего варианта из нескольких анализируемых или усовершенствование объекта, устранение выявленных в процессе анализа недостатков.

Ортогональная передача - коническая передача с прямым углом между осями колес.

Основная теорема зацепления - 1. поверхности элементов высшей кинематической пары будут сопряженными, если в любой точке контакта общая нормаль к ним будет перпендикулярна вектору скорости их относительного движения; 2. общая нормаль в точке контакта сопряженных профилей делит меж-

севой отрезок на части, обратно пропорциональные угловым скоростям профилей.

Основная окружность - 1. для зубчатого колеса окружность, эвольвентой которой является профиль зуба; 2. окружность, по которой разворачивается эвольвента, очерчивающая профиль зубьев.

Ось - деталь машины, предназначенная только для поддержания установленных на ней деталей.

Ось вращения - неподвижная прямая, на которой лежат центры круговых траекторий точек тела.

Относительное движение - движение некоторой точки по отношению к подвижной системе отсчета.

Отрицательная зубчатая передача - зубчатая передача, составленная из колес с отрицательными смещениями или когда отрицательное смещение одного колеса больше положительного смещения другого. При этом делительные окружности пересекают друг друга.

Ошибка механизма - отклонение в законе движения механизма, вызванное упругостью звеньев или погрешностью изготовления и сборки его звеньев и узлов.

П

Пара сил - система двух параллельных сил, равных по модулю и направленных в противоположные стороны.

Паразитное колесо - колесо, которое не меняет величину передаточного отношения зубчатого механизма, а меняет лишь его знак (направление вращения).

Параметры зубчатого колеса - число зубьев, модуль, параметры исходного контура инструмента, которым оно обрабатывалось, и коэффициент смещения.

Пассивная связь - дополнительное звено, которое не накладывает ограничений на движение механизма. Обычно она вводится для увеличения жёсткости

механизма или перевода механизма через особые положения, в которых наблюдается неопределенность движения звеньев.

Первичный механизм - механизм, состоящий из двух звеньев (одно из которых неподвижное), образующих кинематическую пару с одной или несколькими подвижностями.

Первое свойство эвольвенты - нормаль к эвольвенте является касательной к эволюте.

Передаточная функция звена - математическая зависимость, связывающая отношение скоростей данного звена и входного звена с координатой входного звена.

Передаточное отношение - одна из основных характеристик механизмов, в том числе передач вращательного движения, определяемая как отношение угловых скоростей или частот вращения звеньев. Обычно имеется в виду отношение угловой скорости ведущего звена передачи к угловой скорости ведомого звена. Понятие П.о. распространяется на простые механизмы (пары зубчатых колёс, червячные, ремённые и др. передачи) и на сложные многозвенные (многоступенчатые редукторы, планетарные редукторы, коробки передач и т.д.). П.о. ряда последовательно соединённых передач равно произведению П.о. этих передач.

Передаточное число - отношение числа зубьев колеса к числу зубьев шестерни в зубчатой передаче, числа зубьев колеса к числу заходов червяка в червячной передаче, числа зубьев большой звёздочки к числу зубьев малой в цепной передаче, а также диаметра большего шкива или катка к диаметру меньшего в ремённой и фрикционной передаче (нерегулируемой). П.ч. применяют также при расчётах многоступенчатых редукторов и др. механизмов. В отличие от передаточного отношения, П.ч. всегда больше или равно единице.

Передаточные функции механизма - производные функции положения по обобщенной координате.

Передаточный механизм - 1. механизм для воспроизведения функциональной зависимости между перемещениями звеньев, образующих кинематические

пары со стойкой; 2. часть машины, предназначенная для согласования режима работы (механических характеристик) двигателя с режимом работы (механическими характеристиками) исполнительных органов машины (рабочей или энергетической машины).

Передача - механическое устройство, предназначенное для преобразования вращения с изменением по величине или знаку угловых скоростей вращающихся систем и соответственно крутящих моментов на осях валов. П. находят широкое применение, главным образом, в приводах от двигателя к рабочим органам машин. Различают два основных вида П.: 1) передачи зацеплением: зубчатые; червячные; цепные; передача "винт-гайка"; 2) передачи трением: ременные; фрикционные.

Перемещение - вектор, характеризующий изменение положения движущейся материальной точки относительно системы отсчета и равный приращению радиуса-вектора этой точки за рассматриваемый промежуток времени.

Переносное движение - движение подвижной системы отсчета вместе со всем связанными с ней точками материальной среды по отношению к неподвижной системе отсчета для точки.

План механизма - изображение кинематической схемы механизма в выбранном масштабе, соответствующее определенному положению начального звена (или начальных звеньев для механизмов с несколькими степенями свободы).

План сил механизма (структурной группы) - замкнутый векторный контур, образуемый суммой векторов сил, действующих на звенья механизма (структурную группу).

План скоростей механизма - замкнутый векторный контур, образуемый суммой векторов скоростей звеньев механизма.

План ускорений механизма - замкнутый векторный контур, образуемый суммой векторов ускорений звеньев механизма.

Планетарный механизм - сложный зубчатый механизм, в котором ось хотя бы одного колеса подвижна. К типовым П.м. относятся: однорядный; двухряд-

ный с одним внешним и одним внутренним зацеплением; двухрядный с двумя внешними зацеплениями; двухрядный с двумя внутренними зацеплениями. Элементы П.м. имеют специальные названия: зубчатое колесо с внешними зубьями, расположенное в центре механизма, называется "солнечным"; колесо с внутренними зубьями называют "коронкой" или "эпициклом"; колеса, оси которых подвижны, называют "сателлитами"; подвижное звено, на котором установлены сателлиты, называют "водителем".

Плечо силы - кратчайшее расстояние от центра момента до линии действия силы.

Плоская кинематическая цепь - кинематическая цепь, звенья которой перемещаются в одной плоскости либо в параллельных плоскостях.

Плоская пара - пара, в которой траектории относительного движения любых точек являются плоскими кривыми и располагаются в параллельных плоскостях.

Плоский механизм - механизм, все подвижные точки которого движутся в одной плоскости или параллельных плоскостях.

Плоский шарнирный механизм - механизм, в котором все звенья соединены вращательными парами.

Плоскопараллельное движение - движение твердого тела, при котором все его точки движутся в плоскостях, параллельных некоторой неподвижной плоскости.

Плоскостная пара (цилиндр-плоскость и шар-плоскость) – пары, использующие силовое замыкание, причём первая из них низшая, а две другие высшие. Эти пары практически не применяются в реальных механизмах.

Плоскость действия пары сил - плоскость, в которой расположены силы, образующие пару сил.

Пневматический механизм - механизм, в котором передача движения происходит посредством сжатого газообразного тела (воздуха).

Поводки - конечные звенья групп Ассура, входящие в две кинематические пары, из которых одна имеет свободный элемент звена.

Податливость – величина, обратная жесткости.

Подвижность механизма - число независимых обобщенных координат, однозначно определяющее положение звеньев механизма на плоскости или в пространстве.

Подрез зуба (подрезание) - явление нарезания зубьев колеса, при котором зуб приобретает характерную форму с укороченным эвольвентным профилем и подрезанной ножкой, так как лишний материал заготовки колеса будет удален.

Подшипник качения - сборочная единица, состоящая из наружного и внутреннего колец с дорожками качения и сепаратора, разделяющего и направляющего тела качения (шарики или ролики).

Ползун - звено, образующее со стойкой поступательную пару и совершающее поступательное прямолинейное движение.

Ползунный механизм - механизм, предназначенный для преобразования вращательного движения звена в поступательное движение ползуна или наоборот. В зависимости от наличия кривошипа ползунный механизм подразделяется на кривошипно-ползунный или коромыслово-ползунный.

Положительная зубчатая передача - зубчатая передача, составленная из колес с положительными смещениями или когда положительное смещение одного колеса больше отрицательного смещения другого. При этом делительные окружности не касаются и не пересекаются друг с другом.

Полюс зацепления - точка, в которой пересекаются линия центров и общая нормаль, проведенная в точке контакта двух эвольвентных профилей и являющаяся всегда общей касательной к основным окружностям.

Поперечный момент сопротивления - отношение полярного момента инерции сечения к его радиусу.

Поршень - подвижная деталь поршневой машины, перекрывающая поперечное сечение её цилиндра и перемещающаяся в направлении его оси. В двигателях, силовых цилиндрах, прессах П. передаёт давление рабочего тела (газа, пара, жидкости) движущимся частям. В некоторых типах двигателей (например, двухтактных двигателях внутреннего сгорания) П. выполняет также и га-

зораспределительные функции. В насосах и компрессорах П., приводимый в возвратно-поступательное движение, производит засасывание, сжатие и подачу жидкости или газа.

Поршневая машина - устройство, в котором основные функции по преобразованию энергии рабочего тела выполняет поршень. При его движении вместе с изменением объёма камеры, которую он образует с цилиндром П.м., изменяются параметры (давление, температура и др.) рабочего тела. При работе П.м. энергия рабочего тела может понижаться (двигатель) или повышаться (насос, компрессор и т.п.). Впуск и выпуск рабочего тела в цилиндр П.м. регулируются распределительным устройством с помощью клапанов, золотников или самого поршня. Для П.м. характерна цикличность и прерывистость рабочего процесса. В большинстве П.м. поршень связан с коленчатым валом кривошипным механизмом, с помощью которого возвратно-поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение вала (или наоборот). Из-за цикличности рабочего процесса и наличия кривошипного механизма П.м. не так быстроходны, как лопаточные машины, они имеют большую удельную массу и большие потери на трение. Находят применение бесшатунные П.м., в которых преобразование возвратно-поступательного движения во вращательное осуществляется силовым бесшатунным механизмом, а также роторно-поршневые П.м. с вращательным движением поршня. В некоторых случаях возвратно-поступательное движение поршня П.м.- двигателя непосредственно используется для приведения в действие поршня П.м.- исполнителя или же двигатель и исполнитель komponуются в одной многоцилиндровой П.м. Использование в П.м. в качестве поршня плунжера позволяет осуществить работу насосов при повышенных давлениях. П.м. просты в управлении, экономичны, надёжны и долговечны.

Порядок группы - определяется числом внешних элементов кинематических пар, которыми группа присоединяется к имеющемуся механизму: первая группа присоединяется к первичному механизму, каждая последующая - к полученному механизму (при этом нельзя присоединять группы к одному звену).

Поступательная пара - одноподвижная, низшая пара с геометрическим замыканием, допускающая только прямолинейное поступательное относительное движение входящих в нее звеньев.

Поступательное движение - движение твердого тела, при котором любой выбранный в теле отрезок прямой перемещается, оставаясь параллельным своему первоначальному положению.

Прибор - 1. машина, преобразующая информацию в различных ее формах: графической, электронной, визуальной и т.п. Его звенья не выполняют полезной механической работы, а потребляемая ими энергия расходуется только на преодоление потерь от сопротивления движения звеньев; 2. эксплуатационно-автономное изделие, выполняющее функции измерения, контроля, регулирования, управления.

Приведенная масса механизма - условная масса, которая будучи сосредоточена в какой-либо точке звена приведения, обладает кинетической энергией всех звеньев механизма при заданном положении входного звена; условная масса, сосредоточенная в точке приведения, кинетическая энергия которой равна сумме кинетических энергий всех звеньев механизма.

Приведенная механическая характеристика - механическая характеристика, приведенная к обобщенной координате или скорости.

Приведенная сила - условная сила, которая будучи приложена в какой-либо точке звена приведения, при заданном положении входного звена совершает в единицу времени механическую работу, численно равную сумме работ всех сил, действующих на звенья механизма; условная сила, приложенная в точке приведения, мощность которой равна сумме мощностей всех внешних сил и моментов пар сил, приложенных к звеньям механизма.

Приведенный момент инерции механизма - условный момент инерции, который будучи сосредоточен в какой-либо точке звена приведения, обладает кинетической энергией всех звеньев механизма при заданном положении входного звена; условный момент инерции звена приведения, кинетическая энергии которого равна сумме кинетических энергий всех звеньев механизма.

Приведенный момент сил механизма - условно приложенный к звену приведения момент пары сил, мощность которого равна сумме мощностей всех внешних сил и моментов пар сил, приложенных к звеньям механизма.

Привод - энергосиловое устройство, приводящее в движение машину или механизм. П. состоит обычно из источника энергии, передаточного механизма и аппаратуры управления. Источником энергии служит двигатель (тепловой, электрический, пневматический, гидравлический и др.) или устройство, отдающее заранее накопленную механическую энергию (пружинный, инерционный, гиревой механизм и др.). В некоторых случаях П. осуществляется за счёт мускульной силы (например, в ручных лебёдках, в некоторых счётных, бытовых и др. механизмах и машинах - арифмометрах, швейных машинах, велосипедах). По характеру распределения энергии различают групповой, индивидуальный и многодвигательный П. В групповом П. движение от одного двигателя передаётся группе рабочих машин или механизмов через одну или несколько трансмиссий. Вследствие технического несовершенства групповой П. почти полностью вытеснен индивидуальным П., в котором каждая рабочая машина имеет собственный двигатель с передачей. Такой П. позволяет работать при наиболее выгодной частоте вращения, производить быстрый пуск машины и торможение, осуществлять реверсирование. В многодвигательном П. отдельные рабочие органы машины приводятся в движение самостоятельным двигателем через свою систему передач. Такой П. позволяет получать компактную конструкцию машины, применять автоматическое управление; он используется в сложных металлорежущих станках, прокатных станах, подъёмно-транспортных машинах и др. По назначению П. машин разделяют на стационарный, то есть установленный неподвижно на раме или фундаменте; передвижной, используемый на движущихся рабочих машинах; транспортный, применяемый для различных транспортных средств. В качестве стационарного П. наиболее распространён электропривод, в котором источником механической энергии является электродвигатель. На подвижных рабочих (транспортных) машинах используются главным образом тепловые двигатели (ДВС) с непосредственной

механической или электрической передачей. В производстве применяются также гидропривод машин и пневматический П., в котором энергия вырабатываемого компрессором сжатого воздуха преобразуется в механическую энергию пневмодвигателями.

Прикладная механика - область механики, посвящённая изучению движения и напряжённого состояния реальных технических объектов - конструкций, машин и т.п. с учётом основных закономерностей, установленных в теоретической механике.

Проект (от лат. *projectus* - брошенный вперед) - совокупность документов и описаний на различных языках (графическом - чертежи, схемы, диаграммы и графики; математическом - формулы и расчеты; инженерных терминов и понятий - тексты описаний, пояснительные записки), необходимая для создания какого-либо сооружения или изделия.

Проектирование - процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего объекта на основе первичного описания этого объекта и (или) алгоритма его функционирования с оптимизацией заданных характеристик объекта, устранением некорректности первичного описания и последующим представлением описания на различных языках (заданном языке).

Проектирование зубчатой передачи - выбор типа зубчатого механизма, его передаточного отношения и числа зубьев колес; выполнение проектного прочностного расчета механизма и определение величины межосевого расстояния или модуля зубчатых колес (модуль зубчатых колес округляется до ближайшей величины из стандартного ряда модулей); проведение геометрического расчета зубчатой передачи для выбранных коэффициентов смещения исходного контура, которые обеспечивают исключение подрезания, срезания и заострения зубьев колес и благоприятное или оптимальное сочетание качественных показателей зубчатой передачи.

Проекция вектора силы - произведение модуля вектора на косинус угла между осью и вектором.

Промышленный робот - автоматическая машина, состоящая из манипулятора и устройства программного управления его движением, предназначенная для замены человека при выполнении основных и вспомогательных операций в производственных процессах. П.р. предназначен для замены человека при выполнении основных и вспомогательных технологических операций в процессе промышленного производства. При этом решается важная социальная задача - освобождения человека от работ, связанных с опасностями для здоровья или с тяжелым физическим трудом, а также от простых монотонных операций, не требующих высокой квалификации. Гибкие автоматизированные производства, создаваемые на базе П.р., позволяют решать задачи автоматизации на предприятиях с широкой номенклатурой продукции при мелкосерийном и штучном производстве. Копирующие манипуляторы, управляемые человеком-оператором, необходимы при выполнении различных работ с радиоактивными материалами. Кроме того, эти устройства незаменимы при выполнении работ в космосе, под водой, в химически активных средах. Таким образом, П.р. и копирующие манипуляторы являются важными составными частями современного промышленного производства.

Простая зубчатая передача - передача, в которой два зубчатых колеса соединены со стойкой вращательными парами, а между собой - высшей парой.

Простая замкнутая кинематическая цепь - простая кинематическая цепь, каждое звено которой входит в две кинематические пары.

Простая кинематическая цепь - такая цепь, у которой каждое звено входит не более чем в две кинематические пары.

Простая разомкнутая кинематическая цепь - простая кинематическая цепь, в которой есть звенья, входящие только в одну кинематическую пару.

Простейшая структурная группа (двухповодковая группа, диада) - кинематическая цепь, состоящая из двух звеньев и трех низших пар.

Простейший зубчатый механизм (зубчатая передача) - два зубчатых колеса с одинаковым модулем и с числами зубьев, соответствующими заданному пе-

редаточному отношению. В этом трехзвенном механизме зубчатые колеса образуют между собой высшую пару, а со стойкой - низшие пары.

Пространственная кинематическая цепь - цепь, звенья которой перемещаются в разных плоскостях.

Пространственная кинематическая пара - пара, в которой траектории относительного движения любых точек представляют собой пространственные кривые.

Пространственные колеса - косозубые, шевронные колеса и колеса с криволинейными зубьями.

Пространственный механизм - механизм, точки звеньев которого описывают неплоские траектории или траектории, лежащие в пересекающихся плоскостях. Широкое распространение в технике имеют сферические механизмы, в которых траектории точек звеньев располагаются на концентрических сферах. П.м. применяется для передачи вращения между пересекающимися осями (зубчатые передачи, коническая карданная передача автомобиля, механизм радиолокатора и др.). Для передачи вращения между скрещивающимися осями используются зубчатые П.м. (червячная передача, механизм с винтовыми колёсами, гипоидная передача и др.). В с.-х. машинах рабочие органы вследствие неровностей почвы совершают, как правило, пространственные движения и, соответственно, многие механизмы выполняются как П.м. Рычажные П.м. находят применение в манипуляторах и промышленных роботах для воспроизведения движений, имитирующих движения руки человека, а также в некоторых устройствах космической техники (механизмы пространственной ориентации космических кораблей и механизмы планетоходов).

Противовес (контргруз) - груз, предназначенный для полного или частичного уравнивания сил и моментов, действующих в машинах или их частях. Установка П. на вращающихся деталях (например, на коленчатых валах) позволяет устранить вредное действие центробежных сил от внецентренно расположенных масс. В металлорежущих станках, подъёмниках, глубинных плунжерных насосах и т.п., машинах с вертикально или наклонно движущимися частями

ми применение П. позволяет уменьшить мощность привода. В подъёмных кранах П. обеспечивает их устойчивость. Плечо и массу П. крана выбирают так, чтобы уравновесить момент от массы механизмов и металлоконструкций и половину момента от номинального груза. П. выполняют обычно в виде набора чугунных или бетонных брусьев и плит.

Профильный угол - угол наклона режущих граней рейки.

Прочность - способность конструкции (или отдельного ее элемента) выдерживать заданную нагрузку не разрушаясь и без появления остаточных деформаций.

Прямая задача динамики - определение закона движения системы при заданном управляющем силовом воздействии.

Прямозубое колесо - зубчатое колесо с цилиндрической эвольвентной поверхностью зубьев, сформированной образующей основного цилиндра, параллельной производящей прямой линии.

Прямолинейное движение - движение тела по траектории, представляющей собой прямую линию.

Путь - расстояние, которое проходит точка (тело) при движении (путь всегда положителен).

Р

Работа - интеграл скалярного произведения вектора силы на вектор элементарного приращения перемещения точки ее приложения; процесс превращения одного вида энергии в другой. Термин Р. впервые был введен французским ученым-механиком Ж. Понселе в 1826 г. в курсе механики в приложении к машинам. Это понятие стало мерой количественной связи между различными формами движения.

Работоспособность - состояние изделия, при котором она способна выполнять заданные функции с параметрами, установленными нормативно-технической документацией.

Рабочая машина – машина, использующая механическую энергию для совершения работы по перемещению и преобразованию материалов. Р.м. подразделяются на транспортные машины, которые используют механическую энергию для изменения положения объекта (его координат), и технологические машины, использующие механическую энергию для преобразования формы, свойств, размеров и состояния объекта. К технологическим Р.м. относятся металлообрабатывающие станки, прокатные станы, ткацкие станки, упаковочные машины, полиграфические машины; к транспортным - автомобили, тепловозы, самолёты, вертолёт, подъёмники, конвейеры и др.

Рабочий ход - время выполнения механизмом рабочей операции.

Рабочее тело - газообразное или жидкое вещество, с помощью которого осуществляется преобразование какой-либо энергии при получении механической работы (в двигателях), холода (в холодильных машинах), теплоты (в тепловых насосах). Наиболее распространённые Р.т.: водяной пар в паровых турбинах и паровых машинах; продукты сгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания, газовых турбинах; вода и др. жидкости - в гидравлических двигателях; воздух - в пневматических двигателях; хладагенты - в холодильных машинах.

Равномерное движение - движение, при котором тело проходит равные отрезки пути за любые равные промежутки времени.

Разгон - режим движения механизма, при котором работа движущих сил за цикл работы больше работы сил сопротивления, а также суммарная работа всех сил за цикл больше нуля.

Разомкнутая кинематическая цепь - кинематическая цепь, в которой хотя бы одно из звеньев входит только в одну пару.

Расположения - такие отношения между элементами, которые описывают их геометрические относительные положения.

Расстояние - положение точки на траектории от начала координат (может быть положительным или отрицательным).

Растяжение или сжатие - вид нагруженного звена, при котором в его поперечных сечениях возникает только один внутренний силовой фактор - нормальная сила (растяжение - плюс, сжатие - минус).

Реакция (в кинематических парах) - результат силового взаимодействия звеньев в парах.

Реверсирование (реверс) (от лат. *revertor* - поворачиваю назад, возвращаюсь) - изменение направления основного движения рабочих частей машины (или самой машины) на обратное. Р. у поршневых машин осуществляется либо распределительными механизмами (клапанами, золотниками), с помощью которых можно направлять рабочее тело в цилиндры двигателя в заданной последовательности, либо включением в трансмиссию промежуточного звена, изменяющего направление вращения ведомого вала при неизменном движении ведущего. В авиационных двигателях Р. (создание обратной тяги) достигается поворотом лопастей воздушных винтов или отклонением струи выхлопных газов. На судах с паро- и газотурбинными установками для Р. используют дополнительные турбины заднего хода; Р. судов осуществляется также с помощью гребных винтов с поворотными лопастями. Р. двигателей электрических возможно путём изменения направления тока в обмотке возбуждения (у постоянного тока электродвигателей), а также переключением двух фаз обмотки статора у двигателей переменного тока.

Редуктор (от лат. *reductor* - отводящий назад, приводящий обратно) - механизм, входящий в приводы машин и служащий для снижения угловых скоростей ведомого вала и повышения крутящих моментов. В Р. применяют зубчатые, цепные и червячные передачи, а также используют их в различных сочетаниях - червячные и зубчатые, цепные и зубчатые и т.п. Существуют комбинированные приводы, в которых Р. komponуют с вариатором. Р. используют в транспортных, грузоподъёмных, обрабатывающих и др. машинах.

Режимы движения механизма - в зависимости от того, какую работу совершают внешние силы за цикл движения, машины различают Р.д.м. - разгон, торможение и установившееся движение.

Резонанс (от лат. *resono* - звучу в ответ, откликаюсь) - явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний в какой-либо колебательной системе, наступающее при приближении частоты периодического внешнего воздействия к некоторым значениям, определяемым свойствами самой системы. В простейших случаях Р. наступает при приближении частоты внешнего воздействия к одной из тех частот, с которыми происходят собственные колебания в системе, возникающие в результате начального толчка. Характер явления Р. существенно зависит от свойств колебательной системы. Наиболее просто Р. протекает в тех случаях, когда периодическому воздействию подвергается система с параметрами, не зависящими от состояния самой системы (т.н. линейные системы).

Рейка - зубчатое колесо, число зубьев которого равно бесконечности. Все ее окружности выродились в параллельные линии, а эвольвента приобрела прямолинейное очертание.

Робот (чеш. *robot*, от *robota* - подневольный труд, *rob* - раб) - машина с антропоморфным (человекоподобным) поведением, которая частично или полностью выполняет функции человека (иногда животного) при взаимодействии с окружающим миром. Термин «робот» был впервые введен К. Чапеком в пьесе «R.U.R.» (1920), где Р. называли механических людей. С развитием робототехники определились 3 разновидности Р.: с жесткой программой действий; управляемые человеком-оператором; с искусственным интеллектом (иногда называемые интегральными), действующие целенаправленно («разумно») без вмешательства человека. Большинство современных Р. (всех трёх разновидностей) - Р.-манипуляторы, хотя существуют и другие виды Р. (например, информационные, шагающие и т. п.). Возможно объединение Р. первой и второй разновидностей в одной машине с разделением времени их функционирования. Допустима также совместная работа человека с Р. третьего вида (в так называемом супервизорном режиме). Первые Р. (андроиды, имитировавшие движения и внешний облик человека) использовались преимущественно в развлекательных целях. С 30-х гг. в связи с автоматизацией производства Р.-автоматы

стали применять в промышленности наряду с традиционными средствами автоматизации технологических процессов, в частности в мелкосерийном производстве и особенно в цехах с вредными условиями труда. Промышленный Р.-манипулятор имеет «механическую руку» (одну или несколько) и вынесенный пульт управления или встроенное устройство программного управления, реже ЭВМ. Он может, например, перемещать детали массой до нескольких десятков кг в радиусе действия его «механических рук» (до 2 м), выполняя от 200 до 1000 перемещений в час. Промышленные Р.-автоматы имеют преимущество перед человеком в скорости и точности выполнения ручных однообразных операций. Наиболее распространены Р.-манипуляторы с дистанционным управлением и «механической рукой», закрепленной на подвижном или неподвижном основании. Оператор управляет движением «руки», одновременно наблюдая её непосредственно либо на телевизионном экране; в последнем случае. Р. снабжается «телевизионным глазом» - передающей телевизионной камерой. Р.-манипуляторы используют для работы в условиях относительной недоступности либо в опасных, вредных для человека условиях, например, в атомной промышленности, где они применяются с 50-х гг. В 60-х гг. появились подводные Р.-манипуляторы разнообразных конструкций и назначения: от глубоководных управляемых аппаратов с «механическими руками» (в частности, для захвата образцов породы со дна моря и т. д.) и ползающих по морскому дну платформ с исследовательской аппаратурой до подводных бульдозеров и буровых установок.

Ротор - звено механизма, совершающее вращательное движение и удерживаемое при этом своими несущими поверхностями в опорах.

Рычаг - устройство для уравнивания большей силы меньшей. Представляет собой твердое тело с точкой опоры, находящейся под действием сил, расположенных в плоскости, проходящей через эту точку. Если силы расположены по обе стороны от опоры, то такой Р. Называется Р. 1-го рода, если же силы расположены по одну сторону от опоры – то это Р. 2-го рода. При равновесии сумма моментов сил, действующих относительно точки опоры, должна

быть равна нулю. При действии на Р. двух сил (движущей Р и сопротивления Q) условие равновесия дает $Pa=Qb$, где а и b – плечи рычага. Следовательно, движущая сила будет во столько раз меньше силы сопротивления, во сколько раз плечо а больше плеча b (т.н. правило рычага). Применение Р. В машинах и механизмах дает выигрыш в силе, при этом столько же проигрывается в перемещении. В работе Р. выигрыша не дает.

Рычаг Жуковского - повернутый на 90° план скоростей механизма, рассматриваемый как жесткий одноплечий рычаг с точкой вращения в своем полюсе и предназначенный для определения неизвестных уравнивающих сил (моментов), действующих на механизм с использованием уравнения равновесия тела.

Рычажный механизм - механизм, состоящий из звеньев (рычагов), входящих в низшие кинематические пары. Простейший Р.м. – двухзвенный – состоит из неподвижной оси (стойки) и подвижной детали, вращающейся вокруг нее (электродвигатели, вентиляторы, молотильные барабаны и др.). Более сложные Р.м. – 3-звенные, 4-звенные (напр., шарнирный четырехзвенник) и т.д. – широко применяются в различных конструкциях машин. Р.м. бывают плоские и пространственные. В плоских Р.м. звенья соприкасаются по окружности (шарниры, вращательные пары) и по линии (поступательные пары). В пространственном Р.м. звенья соединяются по цилиндрическим или сферическим поверхностям (вращательные пары) и по плоскости (поступательные пары). Часто в технической литературе Р.м. называют стержневыми шарнирными механизмами. К ним относят также кулисные и кривошипно-ползунные механизмы. Преимущества Р.м. перед кулачковыми и зубчатыми: простота изготовления, высокая прочность и износоустойчивость, что позволяет применять Р.м. для передачи значительных усилий в двигателях, прессах, ковочных машинах и др

соединённых между собой в низшие кинематические пары. Р.м. бывают плоские и пространственные. В плоских Р.м. звенья соприкасаются по окружности (шарниры, вращательные пары) и по линии (поступательные пары). В

пространственном Р.м. звенья соединяются по цилиндрическим или сферическим поверхностям (вращательные пары) и по плоскости (поступательные пары). Часто в технической литературе Р.м. называют стержневыми шарнирными механизмами. К ним относят также кулисные и кривошипно-ползунные механизмы. Р.м. проще в изготовлении, прочнее и более износостойки, чем кулачковые и зубчатые механизмы, поэтому Р.м. применяют для передачи больших усилий в прессах, ковочных машинах, двигателях внутреннего сгорания, погрузчиках и т.п.

Рядный зубчатый механизм - сложный зубчатый механизм с неподвижными осями колес, образованный последовательным соединением нескольких простых зубчатых механизмов. Передаточное отношение сложного рядного зубчатого механизма, образованного из нескольких соединенных последовательно простых зубчатых механизмов равно произведению передаточных отношений этих механизмов.

С

Самоторможение - режим движения механизма, при котором работа движущих сил меньше работы, затраченной на преодоление всех видов трения (трения в кинематических парах и сил сопротивления среды) за цикл установившегося движения.

Свободное тело - твердое тело, которое может перемещаться в пространстве в любом направлении.

Свободная точка - материальная точка, движение которой не ограничено наложенными связями.

Связи - тела, которые ограничивают перемещение данного тела.

Сила - мера механического воздействия одного материального тела на другое, характеризующая величину и направление этого воздействия. \vec{S} - векторная величина, характеризуемая величиной и направлением действия. Если одно тело действует с некоторой \vec{S} на другое тело, то на него со стороны последнего также действует \vec{S} , равная по величине и противоположно по направлению

(третий закон Ньютона). С. всегда действуют парами, то есть каждой силе, действующей с одного тела на другое тело, соответствует противодействующая С. Согласно действующей договоренности в индексе обозначения на первом месте указывается тело, на которое действует С., на втором - с которого. Единицей измерения С. служит ньютон [Н].

Сила инерции - сила, численно равная произведению массы материальной точки на приобретенное ее ускорение и направленная в сторону, противоположную ускорению.

Сила трения - сила сопротивления относительному перемещению соприкасающихся тел, лежащая в общей касательной плоскости к поверхностям контакта; касательная составляющая реакции в парах (составляющая, направленная по касательной к контактирующим поверхностям), которая всегда направлена против вектора скорости относительного движения звеньев.

Силовая передача - устройство для передачи механической энергии, обычно с преобразованием сил, моментов и скоростей, а в некоторых случаях - характера движения. С.п. в приводах машин позволяет согласовать режимы работы двигателя и исполнительных органов машины, приводить в движение несколько механизмов от одного двигателя, осуществлять реверсирование движения, изменять вращающие моменты и частоты вращения при сохранении постоянного момента и частоты вращения двигателя, преобразовывать вращательное движение в поступательное, винтовое и др. Наибольшее распространение в машиностроении получили механические С.п. с твердыми звеньями, нередко используются также гидравлические, пневматические и другие С.п. Иногда в одной машине для привода различных механизмов могут одновременно применяться С.п. разных типов или их комбинации (например, гидромеханические С.п.). Экономическая целесообразность использования в машинах быстроходных двигателей (в связи с их меньшими габаритом, массой и стоимостью) определяет преимущественное распространение силовых передач, понижающих частоту вращения ведомого вала по сравнению с ведущим. Наибольшую мощность можно передать с помощью зубчатых С.п. (известны, например, ре-

дукторы к судовым турбинам мощностью свыше 50 МВт). Мощность червячных С.п. ограничена (обычно 200 кВт) недостаточно высоким КПД и нагревом. Цепные С. п. могут передавать мощность до 4 МВт, фрикционные С.п. - до 300, ремённые С.п. - до 1,5 МВт. Механические С.п. компактны, удобны для компоновки машин, обладают высокой надёжностью, позволяют относительно просто осуществлять необходимые преобразования движения и практически любые передаточные отношения; при надлежащем качестве изготовления большинство С.п. имеет высокий КПД.

Силовой расчет (кинетостатический анализ) - метод исследования механизмов, заключающийся в определении неизвестных сил, действующих на звенья механизма при его заданном движении. Виды С.р.: статический - для механизмов, находящихся в покое или движущихся с малыми скоростями, когда инерционные силы пренебрежимо малы, или в случаях, когда неизвестны массы и моменты инерции звеньев механизма (на этапах, предшествующих эскизному проектированию); кинетостатический - для движущихся механизмов при известных массах и моментах инерции звеньев, когда пренебрежение инерционными силами приводит к существенным погрешностям; кинетостатический с учетом трения - может быть проведен, когда определены характеристики трения в парах и размеры элементов пар. Основная задача силового расчета - по заданным значениям внешних сил и законам движения начальных звеньев определить реакции в парах, а также силы или пары сил, приложенные к приводу машины. Методы силового расчета: аналитический; планов сил (наиболее распространенный, несмотря на громоздкость); графостатический; основанный на принципе возможных перемещений; Жуковского.

Силы и моменты, действующие на звенья механизма (машины) в процессе работы - 1) движущие силы и моменты, совершающие положительную работу за время своего действия или за один цикл, если они изменяются периодически; 2) силы и моменты сопротивления совершают отрицательную работу за время своего действия или за один цикл. В свою очередь, силы сопротивления принято разделять на силы полезного сопротивления, совершающие требуемую от

машины работу, и силы сопротивления среды, в которой движутся звенья механизма. Силы сопротивления среды обычно малы по сравнению с силами полезного сопротивления, поэтому при силовом расчете не учитываются; 3) силы тяжести подвижных звеньев и силы упругости пружин, работа которых за один цикл равна нулю, хотя на отдельных участках движения механизма эти силы могут совершать как положительную, так и отрицательную работу; 4) силы и моменты, приложенные к стойке (к корпусу машины) извне. К ним относятся силы тяжести корпуса, реакции основания (фундамента) машины на ее корпус и другие силы. Эти силы работы не совершают, так как они приложены к неподвижному корпусу; 5) силы взаимодействия между звеньями механизма, то есть силы, действующие в кинематических парах. Их нормальные составляющие (реакции в кинематических парах) работы не совершают, а касательные составляющие (силы трения в кинематических парах) совершают отрицательную работу. Силы первых четырех групп являются внешними, так как приложены к механизму извне. Силы пятой группы по отношению ко всему механизму являются внутренними, но по отношению к каждому звену, образующему кинематическую пару, в которой действуют эти силы, оказываются внешними.

Синтез зубчатых механизмов - выбор структурной схемы и определение числа зубьев колес по заданному передаточному отношению.

Синтез механизмов - раздел теории механизмов и машин, в котором рассматриваются методы проектирования кинематических схем механизмов по заданным кинематическим и динамическим свойствам. Наиболее полно разработаны методы С.м. по заданным кинематическим свойствам, то есть кинематический С.м., который состоит в определении кинематической схемы механизма и параметров этой схемы, обеспечивающих требуемые движения; проектирование схемы механизма по заданным его свойствам. Включает выбор структурной схемы (структурный синтез) и определение постоянных параметров выбранной схемы механизма по заданным его свойствам (параметрический синтез).

Система сил - совокупность сил, действующих на какое-либо одно твердое тело.

Скалярная величина - величина, имеющая определенное направление.

Скорость - векторная величина, характеризующая в каждый данный момент времени направление и быстроту движения точки.

Скорость равномерного движения - отношение длины пути, пройденного телом, к промежутку времени, за который этот путь пройден.

Сложная замкнутая кинематическая цепь - кинематическая цепь, каждое звено которой входит, по крайней мере, в две кинематические пары.

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

Сложная разомкнутая кинематическая цепь - сложная кинематическая цепь, в которой имеются звенья, входящие в одну кинематическую пару.

Сложное (абсолютное) движение - движение точки по отношению к неподвижной системе отчета.

Сложный зубчатый механизм - механизм с зубчатыми передачами с числом зубчатых колес больше двух. Это могут быть механизмы с оригинальными структурными схемами (планетарная передача) или механизмы, образованные последовательным и (или) параллельным соединением простейших типовых зубчатых механизмов.

Смазочный материал (смазка) - вещество, подводимое к поверхностям взаимодействия тел для уменьшения силы трения и интенсивности износа с целью предотвращения задира и заедания.

Смещение - в теории зубонарезания кратчайшее расстояние между делительной и начальной прямыми рейки (между делительной прямой рейки и делительной окружностью колеса). С. может быть: нулевым (нарезание без смещения) – при касании делительной прямой рейки делительной окружности колеса в одной точке; положительным – при отсутствии касания (пересечения) делительной прямой рейки делительной окружности колеса; отрицательным –

при пересечении делительной прямой рейки делительной окружности колеса в двух точках.

Сопряженные профили - поверхности элементов звеньев, формы которых (профили) отвечают заданной передаточной функции, реализуемой звеньями.

Средняя скорость движения на данном участке пути - отношение длины этого участка к промежутку времени, за который этот участок пройден.

Срез - сдвиг материала не на участке длины, а в одной плоскости.

Срезающая сила - сила, возникающая в поперечном сечении.

Станочное зацепление - зацепление, образованное заготовкой колеса и инструментом при изготовлении зубчатого колеса на зубообрабатывающем оборудовании по методу обкатки.

Статика (от греч. *statike* - учение о весе, о равновесии) - раздел механики, посвященный изучению условий равновесия материальных тел под действием сил. С. разделяют на геометрическую и аналитическую. В основе аналитической С. лежит принцип возможных перемещений, дающий общие условия равновесия любой механической системы. Геометрическая С. основывается на т. н. аксиомах С., выражающих свойства сил, действующих на материальную частицу и абсолютно твёрдое тело, то есть тело, расстояния между точками которого всегда остаются неизменными. Основные аксиомы С. устанавливают, что: 1) две силы, действующие на материальную частицу, имеют равнодействующую, определяемую по правилу параллелограмма сил; 2) две силы, действующие на материальную частицу (или абсолютно твёрдое тело), уравниваются только тогда, когда они одинаковы по численной величине и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны; 3) прибавление или вычитание уравновешенных сил не изменяет действия данной системы на твёрдое тело. При этом уравновешенными называются силы, под действием которых свободное твёрдое тело может находиться в покое по отношению к инерциальной системе отсчёта. Методами геометрической С. изучается С. твёрдого тела. При этом рассматриваются решения следующих двух типов задач: 1) приведение систем сил, действующих на твёрдое тело, к простейшему виду; 2) определение усло-

вий равновесия сил, действующих на твёрдое тело. Необходимые и достаточные условия равновесия упруго-деформируемых тел, а также жидкостей и газов рассматриваются соответственно в упругости теории, гидростатике и аэростатике. К основным понятиям С. относится понятие о силе, о моменте силы относительно центра и относительно оси и о паре сил.

Статика механизмов - раздел теории механизмов и машин, в котором рассматриваются методы определения реакций элементов кинематических пар при условии, что силами инерции звеньев механизма можно пренебречь. Неизвестные реакции находят из уравнений равновесия неподвижных тел, то есть из уравнений статики.

Статическая устойчивость - способность тела сопротивляться всякому сколь угодно малому нарушению равновесия.

Статическое уравнивание - состояние, при котором скорость центра масс механизма равна нулю. Это возможно, когда центр масс механизма лежит на оси вращения звена или когда он неподвижен. Способы статического уравнивания: выбор симметричной схемы механизма; установка на звеньях механизма противовесов (или корректирующие массы); размещение противовесов на дополнительных звеньях или кинематических цепях.

Степень подвижности кинематической цепи - число обобщенных координат, требуемых для описания определенности движения всех звеньев (возможность тела совершать движение, определяемое одним независимым параметром).

Стойка - неподвижное звено (станина станка, корпус двигателя и т.п.) или звено, принимаемое за неподвижное, если механизм установлен на движущемся основании (например, на шасси автомобиля). В состав С. входят все неподвижные детали. Так, например, корпус двигателя внутреннего сгорания, коренные подшипники и т.п. образуют С. - одно неподвижное звено. Остальные звенья механизма подвижные.

Структура механизма - совокупность его элементов и отношений между ними, то есть совокупность звеньев, групп или типовых механизмов и подвиж-

ных или неподвижных соединений. Геометрическая С.м. полностью описывается заданием геометрической формы его элементов, их расположения, указания вида связей между ними. С.м. 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.

Структурная группа Ассура (группа нулевой подвижности) - кинематическая цепь, образованная только подвижными звеньями механизма, подвижность которой (на плоскости и в пространстве) равна нулю.

Структурная схема механизма - графическое изображение механизма, выполненное с использованием рекомендованных условных обозначений (например, ГОСТ 2.703-68 или ГОСТ 2.770-68) или принятых в специальной литературе, содержащее информацию о числе и расположении элементов (звеньев, пар, групп), а также о виде и классе кинематических пар, соединяющих эти элементы. В отличие от кинематической схемы механизма С.с. не содержит информации о размерах звеньев и вычерчивается без соблюдения масштабов.

Структурная формула - формула, с помощью которой степень подвижности определяют по количеству подвижных звеньев и количеству кинематических пар разных классов.

Структурный анализ - анализ технической системы, основанный на выявлении взаимодействий между элементами, входящими в компонентную модель. Информация, полученная в процессе С.а., используется при построении функциональной модели.

Структурный анализ (механизмов) - метод изучения действующих механизмов и отработки различных вариантов конструкций создаваемых механизмов. Задачей С.а. механизма является определение параметров структуры заданного механизма - числа звеньев и структурных групп, числа и вида пар, числа подвижностей (основных и местных), числа контуров и числа избыточных связей. При проведении С.а. определяется: количество звеньев в механизме; количество и вид кинематических пар в механизме; число степеней подвижно-

сти механизма и число избыточных связей и местных подвижностей; число и вид структурных групп (групп Ассура) в механизме и последовательность их присоединения при образовании механизма.

Структурный синтез - метод образования структурной схемы механизма. Цель С.с. - спроектировать структурную схему механизма, то есть подобрать число звеньев, число и вид кинематических пар и последовательность их соединения по заданным условиям, в числе которых может быть и отсутствие избыточных связей. Наиболее удобным методом С.с. является метод присоединения структурных групп к начальным звеньям и к неподвижному звену (к стойке).

Суммирующий (интегральный) планетарный зубчатый механизм - планетарный зубчатый механизм, в котором входные энергетические потоки суммируются на выходе в один выходной поток.

Сухое трение - трение между звеньями (телами) в отсутствие смазки.

Сферическая пара - трёхподвижная низшая пара с геометрическим замыканием, допускающая три независимых относительных вращения звеньев вокруг трех осей координат.

Сферическая пара с пальцем - двухподвижная, с геометрическим замыканием, низшая пара допускающая два независимых относительных вращения звеньев вокруг осей, определяемых прорезью и пальцем (добавленным к сферической паре).

Схема – документ, на котором показаны в виде условных изображений составные части изделия и связи между ними.

Т

Твердое тело - физическое тело, характеризующееся стабильностью формы; совокупность материальных точек, находящихся на неизменном расстоянии друг от друга.

Теорема об изменении кинетической энергии - работа всех внешних сил, действующих на систему, расходуется только на изменение ее кинетической

энергии. При этом потенциальные силы - силы веса - рассматриваются как внешние. Используется для установления истинного закона движения начального звена механизма.

Теоретическая механика - раздел механики, устанавливающий общие закономерности изучаемых объектов вне связи с их конкретными приложениями.

Теория машин-автоматов - раздел теории механизмов и машин, рассматривающий методы построения их схем по условиям согласованности работы отдельных механизмов и достижения оптимальной производительности, точности и надёжности машин-автоматов.

Теория механизмов и машин (ТММ) - наука (учебная дисциплина), изучающая общие методы структурного и динамического анализа и синтеза различных механизмов, механику машин. Цель ТММ - анализ и синтез типовых механизмов и их систем. Задачи ТММ: разработка общих методов исследования структуры, геометрии, кинематики и динамики типовых механизмов и их систем. Основные разделы курса ТММ: структура механизмов и машин; геометрия механизмов и их элементов; кинематика механизмов; динамика машин и механизмов. Связь курса ТММ с общеобразовательными, инженерными и специальными дисциплинами - курс ТММ базируется на знаниях, полученных при изучении физики, высшей математики, теоретической механики, инженерной графики и информатики. Знания, умения и навыки, приобретенные при изучении ТММ, служат базой для курсов «Детали машин. Основы конструирования» и других инженерных дисциплин.

Техника (от греч. *téchnē* - искусство, мастерство, умение) - общее название различных приспособлений, механизмов и устройств, не существующих в природе и изготавливаемых человеком. Слово «техника» также означает «способ изготовления чего-либо» - например, техника живописи, техника выращивания картофеля и т.п.; совокупность средств человеческой деятельности, создаваемых для осуществления процессов производства и обслуживания непродовольственных потребностей общества. В Т. материализованы знания и опыт, накопленные в процессе развития общества.

Техническая документация - совокупность документов, используемых для организации и осуществления производства, испытаний, эксплуатации и ремонта продукции. Основные виды Т.д.: проектная и рабочая (в строительстве), конструкторская и технологическая (в промышленности), а также нормативно-техническая.

Техническая система - созданная человеком или автоматом совокупность элементов (звеньев), свойства которых взаимосвязаны, скоординированы, подчинены общим для данной системы закономерностям, используемая (совокупность) в различного рода средствах человеческой деятельности, созданных (средствах) для осуществления процессов производства и обслуживания производственных потребностей общества. Например, машина, механизм, структурная группа, узел и т.п.

Технологическая машина - разновидность рабочих машин; машина для преобразования материалов: их размеров, форм, состава, свойств или состояния (металлообрабатывающие станки, прокатные станы, смесители, упаковочные машины и т.д.).

Типовые механизмы - простые механизмы, имеющие при различном функциональном назначении широкое применение в машинах, для которых разработаны типовые методы и алгоритмы синтеза и анализа.

Толкатель - 1. сопряженное с кулачком звено кулачкового механизма, образующее поступательную пару со стойкой; 2. выходное звено кулачкового механизма.

Толщина зуба - расстояние по дуге окружности между разноименными точками профилей зуба зубчатого колеса.

Торможение (выбег) - режим движения механизма, при котором работа движущих сил за цикл работы меньше работы сил сопротивления, а также суммарная работа всех сил за цикл меньше нуля.

Траектория - геометрическое место положений движущейся точки в рассматриваемой системе отсчета.

Траектория относительного движения - траектория, описываемая любой точкой подвижного звена в относительном движении.

Трансмиссия (от лат. *transmissio* - передача, переход) - устройство для передачи механической энергии от двигателя к исполнительным органам машины либо к другим рабочим машинам (станкам, мельницам и т.п.). Передача вращения от Т. (трансмиссионного вала) к рабочим машинам обычно производится приводными ремнями (контрпривод). В современной технике под Т. понимается вся совокупность передаточных устройств от вала двигателя до рабочих органов машины, на которой он установлен. Так, в автомобиле или тракторе в состав механической Т. входят силовая передача, сцепление, карданная передача, дифференциальный механизм и др. устройства. На тепловозах, судах, грузовых автомобилях, тракторах используются также гидромеханические (гидротрансформатор и механическая коробка передач), гидрообъемные (гидронасос с гидромоторами) и электромеханические (генератор и электродвигатели) Т.

Транспортная машина - разновидность рабочих машин; машина, предназначенная для перемещения различных объектов (транспортные средства, подъемники, транспортеры и т.д.).

Трение - сопротивление относительному перемещению соприкасающихся звеньев (тел), возникающее в месте их соприкосновения. Т. обусловлено неидеальным состоянием контактирующих поверхностей (микронеровности, загрязнения, окисные пленки и т.п.) и силами межмолекулярного сцепления. Т. в парах характеризуется силами Т. и моментами сил Т. Виды Т.: Т. покоя проявляется в момент, когда два тела, находящиеся в состоянии относительного покоя, начинают относительное движение (касательную составляющую, возникающую в зоне контакта до возникновения относительного движения, в условиях, когда она меньше силы Т. покоя, называют силой сцепления; максимальная величина силы сцепления равна силе Т. покоя); Т. скольжения появляется в парах при наличии относительного движения звеньев; для большинства материалов Т. скольжения меньше Т. покоя; Т. качения появляется в высших парах при наличии относительного вращательного движения звеньев вокруг оси или точки

контакта; Т. верчения возникает при взаимодействии торцевых поверхностей звеньев вращательных пар (подпятники). Классификация трения движения - трение скольжения; трение качения; трение верчения; трение качения с проскальзыванием; трение при виброперемещениях.

У

Угловая скорость - величина, характеризующая быстроту вращения твёрдого тела. В общем случае У.с. численно равна отношению элементарного угла поворота к соответствующему элементарному промежутку времени. Вектор У.с. направлен вдоль оси вращения в ту сторону, откуда поворот тела виден происходящим против хода часовой стрелки (в правой системе координат). Размерность У.с. [мин^{-1}].

Угловое ускорение - величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости твёрдого тела. При вращении тела вокруг неподвижной оси, когда его угловая скорость растёт (или убывает) равномерно, У.у. численно равно отношению приращения угловой скорости к соответствующему элементарному промежутку времени. Вектор У.у. направлен вдоль оси вращения (в сторону угловой скорости при ускоренном вращении и противоположно угловой скорости - при замедленном). При вращении вокруг неподвижной точки вектор У.у. определяется как первая производная от вектора угловой скорости по времени и направлен по касательной к годографу вектора угловой скорости в соответствующей его точке. Размерность У.у. [мин^{-2}].

Угловой шаг - центральный угол, соответствующий дуге, - окружному шагу по делительной окружности.

Угол давления - угол между вектором силы, действующей в кинематической паре, и вектором скорости относительного движения образующих пару звеньев.

Угол зацепления – в зубчатой передаче острый угол между линией зацепления и прямой, перпендикулярной межосевому отрезку.

Угол наклона зуба - в косозубом колесе острый угол между образующей делительного цилиндра и линией пересечения боковой поверхности зуба с поверхностью делительного цилиндра.

Угол наклона спирали зубьев косозубых колес - угол между осью зуба и образующей делительного цилиндра или конуса.

Угол профиля - острый угол между касательной к профилю в данной точки и радиусом - вектором, проведенным в данную точку из центра колеса.

Угол торцевого перекрытия зубчатого колеса - угол, на который поворачивается колесо за время зацепления одной пары зубьев.

Угол трения - максимальный угол, на который от нормали к поверхности реальной связи отклоняется ее реакция.

Удар твёрдых тел - совокупность явлений, возникающих при столкновении движущихся твёрдых тел, а также при некоторых видах взаимодействия твёрдого тела с жидкостью или газом: удар струи о тело, удар тела о поверхность жидкости, гидравлический удар, действие взрыва или ударной волны на твёрдое тело и др.

Узел - 1) несколько деталей связанных между собой функционально, конструктивно или каким-либо другим образом; 2) часть машины, механизма, установки и т.п., состоящая из нескольких более простых элементов (деталей); 3) совокупность функционально связанных сооружений, машин или других устройств (например, гидроузел, радиоузел).

Упругость - свойство тел восстанавливать свою форму и объем (твердые тела) либо только объем (жидкие и газообразные тела) после прекращения действия внешних сил или других причин (например, нагревания), вызвавших деформацию тела. Тело, обладающее этим свойством, называют упругим. В области упругих деформаций твердых тел справедлив закон Гука.

Упругость при движении звеньев механизма - явление, проявляющееся в возникновении деформаций звеньев и поверхностей элементов кинематических пар.

Уравнительное смещение - условная расчетная величина, введенная в расчет геометрии зацепления с целью обеспечения стандартного радиального зазора в зацеплении (величина, выражающая в долях модуля уменьшение радиуса окружностей вершин колес, необходимое для обеспечения стандартной величины радиального зазора).

Уравновешивание ротора - такое распределение его массы, при котором полностью или частично устраняются динамические реакции на его опоры.

Уравновешенный механизм - механизм, в котором главные вектора и моменты сил инерции равны нулю. Механизм будет находиться в состоянии кинестатического равновесия, если сумма действующих на него внешних сил и моментов сил (включая силы и моменты сил инерции) будет равна нулю.

Ускорение - векторная величина, характеризующая быстроту изменения направления и числового значения скорости; отношение изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло.

Ускоренное движение - движение, при котором мгновенная скорость движущегося тела растет.

Условие связи - ограничение, наложенное на движение твёрдого тела.

Условие собираемости (условие сборки) - один из критериев синтеза планетарных механизмов, заключающийся в том, что при сборке механизма сателлит, поставленный первым, полностью определяет взаимное расположение центральных колес. Остальные сателлиты могут быть установлены в передаче (введены в зацепление).

Условие соосности - один из критериев синтеза планетарных механизмов, заключающийся в совпадении осей центральных колес планетарного механизма.

Условие соседства - один из критериев синтеза планетарных механизмов, заключающийся в требовании, чтобы окружности вершин двух соседних сателлитов не пересекались и не касались друг друга.

Установившееся движение механизма - режим движения механизма, при котором работа движущих сил за цикл работы равна работе сил сопротивления, а также суммарная работа всех сил за цикл равна нулю.

Устойчивость - способность конструкции (или отдельного элемента) сопротивляться упругим деформациям.

Ф

Формула Сомова-Малышева - структурная формула для пространственной кинематической цепи.

Формула Чебышева - структурная формула для плоской кинематической цепи (частный случай формулы Сомова-Малышева).

Фрикционный механизм - механизм, в котором для передачи движения между соприкасающимися звеньями используется сила трения.

Фрикционный механизм с гибкими звеньями - механизм, в котором вращение между шкивами (звездочками) передается гибкими звеньями (ремнем, цепью, канатом).

Функция положения звена - зависимость, связывающая координаты данного и входного звеньев.

Функция положения механизма - зависимость углового или линейного перемещения точки или звена механизма от времени или обобщенной координаты.

Х

Ходовой винт - деталь металлорежущего станка, участвующая в преобразовании вращательного движения, полученного от коробки подач в поступательное движение фартука станка (суппорта, стола и т.п.).

Холостой ход - время возвращения звеньев механизма в исходное состояние (в начало цикла); режим движения механизма, при котором работа движущих сил равна работе, затраченной на преодоление всех видов трения (трения в кинематических парах и сил сопротивления среды) за цикл установившегося

движения. При этом полезной работы не совершается, КПД механизма равен нулю.

Храповой механизм - зубчатый механизм, допускающий передачу вращения только в одном направлении. Х.м. применяют в качестве задерживающего устройства (например, в грузоподъемных машинах) или для получения периодически вращательного движения в одном направлении с остановками (например, механизмы подачи в автоматических линиях).

Ц

Цапфа - часть оси или вала, опирающаяся на подшипники.

Целевая функция – функция одной или нескольких переменных, называемых управляемыми параметрами (изменяемых с целью оптимизации значения целевой функции), характеризующая качество проектируемого (оптимизируемого) объекта.

Центр тяжести - центр параллельных сил тяжести всех частиц тела.

Центроида (полоида) - геометрическое место центров (полюсов) относительного вращения в системах координат, связанных со звеньями механизма. В зубчатом механизме при передаче движения центроиды колес перекатываются друг по другу без скольжения.

Центральный кривошипно-ползунный механизм - кривошипно-ползунный механизм, у которого ось направляющей ползуна проходит через центр вращения кривошипа.

Цикл (работы механизма) - период времени (изменения обобщенной координаты), по истечении которого все параметры системы принимают первоначальные значения.

Цикл двигателя - совокупность последовательных процессов, периодически происходящих в двигателе внутреннего (внешнего) сгорания и обуславливающих его работу. Различают термодинамический и действительный Ц.д. В отличие от термодинамического цикла в действительном цикле учитываются потери (тепловые, гидродинамические и др.). Ц.д. может быть изображен гра-

фически в координатах объём - давление или энтропия - температура рабочего тела в виде замкнутого контура; площадь, ограниченная этим контуром, пропорциональна совершаемой работе.

Цикл напряжения - совокупность последовательных напряжений за один период их изменения.

Цилиндрическая зубчатая передача - передача с параллельными осями.

Цилиндрическая пара - двухподвижная низшая пара с геометрическим замыканием, допускающая независимое вращательное и поступательное относительное движение звеньев.

Ч

Червяк – ведущее звено червячной передачи.

Червячная передача - разновидность винтовой передачи; механическое устройство для передачи вращения между скрещающимися (обычно под прямым углом) валами посредством червяка (винта) и сопряжённого с ним червячного колеса. Червяк (ведущее звено) представляет собой винт с трапецеидальной или близкой к ней резьбой, а червячное колесо является зубчатым колесом, зубья которого имеют особую дугообразную форму. Червячное колесо (ведомое звено) охватывает червяк на некоторой дуге (обычно до 100°). Ведущим в Ч.п. является обычно червяк, ведомым - червячное колесо; в редких случаях (для повышающих передач) ведущим может быть червячное колесо. В наиболее распространённых Ч.п. используются цилиндрические червяки. Червяки с витками на тороидной поверхности (глобоидальные) применяются в глобоидных передачах. Достоинства Ч.п. - плавность и бесшумность работы. Ч.п. могут быть самотормозящими, то есть передающими вращение только от червяка к колесу, что иногда даёт возможность выполнить механизм без тормозного устройства. Недостаток Ч.п. - значительное относительное скольжение сопряжённых элементов - витков червяка и зубьев колеса. Это вызывает усиленное тепловыделение, повышенный износ и склонность к заеданию, определяет сравнительно низкий КПД (в среднем 0,7 - 0,75 в однозаходной передаче,

0,8 - 0,85 в двухзаходной, 0,86 - 0,92 в четырёхзаходной). Пониженный КПД и значительное тепловыделение ограничивают применение Ч.п. областью небольших и ср. мощностей (обычно до 50, реже до 200 кВт). Они используются в подъёмно-транспортных машинах, металлорежущих станках, автотранспортных средствах, металлургических машинах, гидротехнических сооружениях и т.д. Основное применение имеют закрытые хорошо смазываемые Ч.п. в виде червячных редукторов.

Червячное колесо – ведомое звено червячной передачи.

Число заходов червяка - число зубьев червяка.

Число степеней свободы (подвижностей) механизма - число независимых обобщенных координат, однозначно определяющее положение всех его звеньев на плоскости или в пространстве.

Чистый сдвиг - сдвиг, при котором материал равномерно смещается в поперечном сечении и при котором возникают только касательные напряжения.

Ш

Шаг зубьев рейки - расстояние между одноименными профилями соседних зубьев по делительной или по любой параллельной ей прямой.

Шаг колеса - расстояние между одноименными точками соседних зубьев, измеренное по делительной окружности.

Шарнир (нем. *Scharnier*, от франц. *charniere*, от лат. *cardo* - дверная петля) - подвижное соединение двух тел, при котором их относительное движение есть вращение вокруг оси (цилиндрический Ш.) или вокруг точки (шаровой Ш.). Цилиндрический Ш. в механизмах называется вращательной кинематической парой и выполняется в виде цапфы, вращающейся в подшипнике скольжения или качения. Шаровой Ш. в механизмах называется сферической кинематической парой и выполняется в виде шара, входящего в шаровую выточку, или в виде сферического подшипника качения. Шаровой Ш. сложен в изготовлении, и поэтому его часто заменяют карданным механизмом, который состоит из двух или трёх последовательно соединённых цилиндрических Ш., оси вра-

щения которых пересекаются в одной точке. Вместо шарового Ш. можно использовать различные модификации универсального Ш., различающиеся числом промежуточных звеньев и видом кинематических пар, образуемых этими звеньями. Ш. может выполняться открытым и закрытым. Закрытый Ш. кожухом предохраняется от пыли и песка и применяется в машинах, работающих при высокой запылённости воздуха. Ш. используются не только в механизмах машин, но и в строительных конструкциях (фермах) с целью разгрузки элементов от изгибающих усилий и уменьшения температурных напряжений.

Шарнирный механизм - механизм, звенья которого образуют только вращательные кинематические пары (шарниры). По видам движения звеньев Ш.м. подразделяются на плоские, сферические и пространственные общего вида. В плоских Ш.м. оси шарниров параллельны, и поэтому все звенья совершают плоскопараллельное движение. Простейший плоский Ш.м. состоит из 4 звеньев и называется шарнирным четырёхзвенником. В сферической Ш.м. оси шарниров пересекаются в одной точке. Наименьшее число звеньев сферического Ш.м. также равно 4. Сферический четырёхзвенник применяется, например, в многопоршневых насосах и в устройствах стабилизации летательных аппаратов. Частный случай сферического четырёхзвенника, в котором оси двух вращательных пар взаимно перпендикулярны, - карданный механизм. В пространственном Ш.м. оси вращательных пар скрещиваются под различными углами. В общем случае пространств. Ш.м. должен иметь не менее 7 звеньев (пространственный семизвенник). Однако при выполнении определённых соотношений между линейными и угловыми размерами звеньев минимальное число звеньев уменьшается до 4 (например, механизм Беннета). Пространственные Ш.м. применяются в с.-х. машинах, машинах-автоматах (например, в лёгкой и пищевой промышленности) и т.д. По способу задания требуемого движения рабочего звена Ш.м. подразделяются на перемещающие, направляющие, передаточные и механизмы для движения с остановками. Перемещающие Ш.м. предназначены для перемещения рабочего звена из одного положения в другое. Число заданных положений обычно равно 2, реже 3 или 4. Перемещающие Ш.м. применя-

ются в металлургических машинах (кантователи, опрокидыватели, механизмы для закрытия лётков), в машинах-автоматах пищевой промышленности для перемещения рабочих органов и др. Направляющие Ш.м. предназначены для перемещения по заданной кривой одной точки звена, не образующего кинематических пар со стойкой. Наибольшее распространение имеют Ш.м., направляющие по дуге окружности (круговые направляющие механизмы), и прямолинейно-направляющие механизмы (например, параллелограмм Чебышева). Применяются также Ш.м. для черчения и огибания парабол и гипербол (например, Ш.м. для шлифования зеркал астрономических приборов). Передаточные Ш.м. предназначены для преобразования вращательных движений по определённому закону. Иногда их называют механизмами для воспроизведения заданной функции. В счётно-решающих устройствах передаточные Ш.м. служат для выполнения математических операций: сложения, умножения, возведения в степень и т.п. Путём специального подбора длин звеньев в Ш.м. можно получить приближённое воспроизведение разнообразных функций. Ш.м. для движения с остановками применяются в машинах-автоматах для приведения в движение рабочего органа, который, выполнив определённую операцию, должен оставаться неподвижным в течение того времени, когда движутся др. рабочие органы. Широкое распространение Ш.м. в различных областях техники объясняется простотой их изготовления и большой надёжностью. К недостаткам Ш.м. относятся сравнительно большие их габариты и возможность появления значительных усилий, действующих на звенья в тех положениях, когда перемещение какого-либо центра шарнира составляет с действующей силой угол, близкий к 90° . Кроме того, не все требуемые законы преобразования движения могут быть получены с помощью Ш.м.

Шарнирный параллелограмм - частный случай плоского шарнирного четырехзвенника, в котором противолежащие звенья имеют равные длины. Ш.п. нашел применение в механизме стеклоочистителя, в приводах управления подачей топлива и в устройстве закрытия заслонок аварийного останова.

Шатун - 1) звено кривошипно-ползунного механизма, совершающее плоскопараллельное движение; 2) деталь (сборочная единица) кривошипно-шатунного механизма, передающая движение поршня (ползуна) машины на кривошип коленчатого вала. Часть Ш., служащая для присоединения к коленчатому валу, называется кривошипной головкой, а противоположная часть - поршневой (ползунной) головкой.

Шевронное колесо - разновидность косозубого цилиндрического зубчатого колеса, у которого эвольвентную поверхность формирует ломанная линия. Ш.к. представляет собой сдвоенное косозубое цилиндрическое колесо с противоположным направлением зубьев.

Шип - цапфа на конце вала (оси).

Ширина впадины - расстояние по дуге окружности между разноименными точками профилей соседних зубьев зубчатого колеса.

Э

Эвольвента (от лат. *evolvens, evolventis* - разворачивающий) - кривая, которую описывает любая точка прямой, совершающей плоскопараллельное движение при обкатывании по неподвижной окружности, называемой основной. Э. окружности для описания профиля зубьев зубчатых колес предложил Л.Эйлер в 1760 г.

Эвольвентная поверхность - поверхность, формируемая любой кривой (прямой) на производящей плоскости, обкатываемой по основному цилиндру.

Эвольвентная функция - уравнение эвольвенты в полярных координатах.

Эвольвентное зацепление - зубчатое зацепление, в котором профили зубьев очерчены по эвольвенте окружности.

Эвольвентное зубчатое колесо - звено зубчатого механизма, снабженное замкнутой системой зубьев, имеющих эвольвентный профиль активной поверхности.

Эвольвентное коническое зубчатое колесо - колесо, пространственная эвольвентная коническая поверхность которого формируется производящей плоскостью, перекатываемой по основному конусу.

Эволюта и эвольвента (от лат. *evolutus* - развёрнутый и *evolvens*, род. падеж *evolventis* - разворачивающий), понятия дифференциальной геометрии: множество центров кривизны плоской кривой называется эволютой этой кривой; кривая по отношению к своей эволюте называется эвольвентой. Эвольвента кривой может быть получена как траектория конца нити, которая наматывается на линию или разматывается с неё (этим построением эвольвенты и объясняется др. её назв. «развёртка»). Эвольвенту пространственной кривой можно определить как ортогональную траекторию касательных этой кривой.

Энергетическая машина – машина, предназначенная для преобразования любого вида энергии в механическую или наоборот; Э.м., предназначенные для преобразования любого вида энергии в механическую, называются машинами-двигателями. К ним относятся, например, электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, турбины, поршневые, паровые машины. Распространённым видом Э.м. являются также электрогенераторы.

Энергия - способность системы совершать работу или запас работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в монографии опыт использования информационных технологий в инженерном образовании, накопленный в ходе преподавания общеинженерных дисциплин, свидетельствует о громадном образовательном и воспитательном потенциале, которым обладают современные технические средства и программные продукты в неравнодушных и творческих руках. Надеемся на конструктивные и творческие предложения по совершенствованию информатизации инженерного образования в частности и учебного процесса в целом.

Замечания с благодарностью принимаются по электронной почте kam@62.ru.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Литвинов Б.В. Основы инженерной деятельности [Текст]: курс лекций / Б.В.Литвинов. – М.: Машиностроение, 2005.
- 2 Теория механизмов и механика машин [Текст]: учебник для втузов/ под ред. К.В. Фролова. – 4-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2003.
- 3 Белоконев И.М. Теория механизмов и машин [Текст]: конспект лекций: учебное пособие для вузов / И.М.Белоконев. – М.: Дрофа, 2004.
- 4 Марченко С.И. Прикладная механика [Текст]: учеб. пособие / С.И. Марченко. – Ростов н/Д: Феникс, 2006.
- 5 Кулюгин В.И. Теория механизмов и машин [Текст]: учебник / В.И. Кулюгин. - Рязань: РВАИ, 2004.
- 6 Политехнический словарь [Текст]. / под ред. И.И. Артоболевского. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1977.
- 7 Двигатели армейских машин. Конструкция и расчет [Текст]. – М.: Воениздат, 1972. - 2 ч.
- 8 Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей [Текст]: учебник / Д.Н. Вырубов [и др.] – М.: Машиностроение, 1984.
- 9 Опыт использования информационных технологий в инженерном образовании на кафедре прикладной механики [Текст]: справочный бюллетень / А.М. Кравченко. – Рязань: РВАИ, 2008.
- 10 URL – www.tmm-umk.bmtu.ru
- 11 URL – www.window.edu.ru
- 12 URL – www.ipme.ru
- 13 URL – www.psb.ad-sbras.nsc.ru
- 14 URL – www.tmm.spbtu.ru
- 15 URL - www.auto.mini-soft.ru
- 16 URL - www.mechstd.narod.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Пример вывода результатов расчетов кривошипно-ползунного механизма в среде «DIADA»

Program DIADA v4.0 Serial Number 40D400 F D:11.8.2007 T:12.15.0
 KP-----

Угловое положение подвижных звеньев (град, рад/с, рад/с/с)

Имя	1	2	3
1 Fi	0.00	45.00	90.00
Omega	10.000	10.000	10.000
Eps	12.000	12.000	12.000
3 Fi	0.00	0.00	0.00
Omega	0.000	0.000	0.000
Eps	0.000	0.000	0.000
2 Fi	11.54	-4.75	-11.54
Omega	-4.082	-2.838	-0.000
Eps	-1.497	24.306	40.825

Приведенный момент инерции подвижных звеньев
 (кг*м*м)

Имя	1	2	3
3 J(п)	0.6667	9.3853	16.0000
J(вр)	0.0000	0.0000	0.0000
J(пр)	0.6667	9.3853	16.0000
2 J(п)	2.0833	5.3394	8.0000
J(вр)	0.0833	0.2136	0.3200
J(пр)	2.1667	5.5530	8.3200
J(сум)	2.8333	14.9383	24.3200

Уравновешивающий момент на звене 1
 М -350.5274 1326.8529 -520.2479

Подвижные кинематические пары и точки (метры, м/с, м/с/с; углы - в град)

Имя	1	2	3
A X	0.4000	0.2828	0.0000
Y	0.0000	0.2828	0.4000
V	4.0000	4.0000	4.0000
уг. V	90.00	135.00	180.00
пр.Vx	0.0000	-2.8284	-4.0000
пр.Vy	4.0000	2.8284	0.0000
a	40.2870	40.2870	40.2870

```

уг. а 173.16 -141.84 -96.84
пр.ах -40.000 -31.6784 -4.8000
пр.ау 4.8000 -24.8902 -40.0000
В X 1.3798 1.2794 0.9798
  Y 0.2000 0.2000 0.2000
  |V| 0.8165 3.0635 4.0000
уг. V 0.00 -180.00 180.00
пр.Vх 0.8165 -3.0635 -4.0000
пр.Vу 0.0000 -0.0000 0.0000
  |а| 56.0305 37.6924 3.3650
уг. а -180.00 -180.00 0.00
пр.ах -56.0305 -37.6924 3.3650
пр.ау -0.0000 -0.0000 0.0000
S2 X 0.8899 0.7811 0.4899
  Y 0.1000 0.2414 0.3000
  |V| 2.0412 3.2678 4.0000
уг. V 78.46 154.36 180.00
пр.Vх 0.4083 -2.9460 -4.0000
пр.Vу 2.0000 1.4142 0.0000
  |а| 48.0752 36.8504 20.0129
уг. а 177.14 -160.26 -92.05
пр.ах-48.0153 -34.6854 -0.7175
пр.ау 2.4000 -12.4451 -20.0000
S3 X 1.3798 1.2794 0.9798
  Y 0.2000 0.2000 0.2000
  |V| 0.8165 3.0635 4.0000
уг. V 0.00 -180.00 180.00
пр.Vх 0.8165 -3.0635 -4.0000
пр.Vу 0.0000 -0.0000 0.0000
  |а| 56.0305 37.6924 3.3650
уг. а -180.00 -180.00 0.00
пр.ах -56.030 -37.6924 3.3650
пр.ау -0.0000 -0.0000 0.0000
F3 X 1.3798 1.2794 0.9798
  Y 0.2000 0.2000 0.2000
  |V| 0.8165 3.0635 4.0000
уг. V 0.00 -180.00 180.00
пр.Vх 0.8165 -3.0635 -4.0000
пр.Vу 0.0000 -0.0000 0.0000
  |а| 56.0305 37.6924 3.3650
уг. а -180.00 -180.00 0.00
пр.ах-56.0305 -37.6924 3.3650
пр.ау -0.0000 -0.0000 0.0000

```

Реакции в кинематических парах. (Н, Нм)

1 2 3

Пара С стойки. Реакция на звено 3 со стороны звена 0

|R| 2467.8135 661.6156 1078.7323

уг. R 90.00 90.00 90.00

пр.Rx 0.0008 0.0002 0.0004

пр.Ry 2467.8135 661.6156 1078.7323

Реакция приложена в основании перпендикуляра,
опущенного из пары В на направляющую пары С

Момент сил реакции на звено 3 со стороны звена 0

М 0.0000 0.0000 0.0000

Пара О стойки. Реакция на звено 1 со стороны звена 0

|R| 7058.4288 4507.4140 1435.3895

уг. R -172.87 177.61 -25.03

пр.Rx-7003.8189-4503.5072 1300.6199

пр.Ry -876.3207 187.6268 -607.2323

Пара А. Реакция на звено 1 со стороны звена 2

|R| 7058.4288 4507.4140 1435.3895

уг. R 7.13 -2.39 154.97

пр.Rx 7003.8192 4503.5072-1300.6197

пр.Ry 876.318 -187.6268 607.2327

Пара В. Реакция на звено 2 со стороны звена 3

|R| 4837.2240 2787.5953 1340.0635

уг. R 17.90 -6.58 175.82

пр.Rx 4603.0552 2769.2387-1336.4949

пр.Ry 1486.8171 -319.3820 97.7326

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Перечень фонда цифрового видео по технической тематике

Детали машин	
Производство роликовых цепей	Производство шарикоподшипников
Производство болтов и гаек	
Транспортные средства	
Автомобильные галогенные лампы	Производство легкового автомобиля
Автомобили-амфибии	Производство легкого самолета
Бронирование легкового автомобиля	Машина скорой помощи
Бугатти-Вейрон	Производство мотоциклов
Вертолеты	Пожарный автомобиль
Восстановление шин	Поршни ДВС
Защита автомобиля	Автомобильные шины
Автомобильный топливный бак	Судовой дизель
Карьерные самосвалы LIEBHERR	Судовые двигатели
Колесные погрузчики	Утилизация легкового автомобиля
Подушки безопасности	Эволюция автомобильных двигателей
Подвесные моторы	Эволюция внедорожников
Производство автобусов	Эволюция грузовиков
Автомобильный бампер	Эволюция ДВС
Автоматическая коробка передач	Эволюция мотоцикла
Автомобильный термостат	Эволюция спорткаров
Автомобильный радиатор	Эскалатор
Аккумуляторная батарея	Производство блока ДВС
Автомобили с двигателями на альтернативных видах топлива	Производство автомобилей Rolls-Royce, Land-Rover, Ferrari
Производство грузовиков	Грузовики «Peterbilt» (производство)
Технологические машины	
Башенный кран	Подводный лесоруб
Бензопила (производство)	Производство комбайнов
Ветроэлектрогенераторы	Производство роботов
Снегоочиститель (производство)	Производство экскаваторов
Лесозаготовительная машина	Самоходный кран
Лучшие земляные машины	Станки-автоматы
Эволюция насосов	Шагающий экскаватор
Вооружение и военная техника	
Боевые машины EFV, «Striker», «Гризли», «Кугуар»	Оружие России. Неизвестные внуки Калашникова
Боевые винтовки (лучшая десятка)	Ракетные комплексы
Бомбардировщики (лучшая десятка)	С-400 «Триумф»
Вертолет Ми-24	Бомбардировщик Б-2 «Стелс»
Вертолеты Ми-28Н и АН-64	Эволюция боевых кораблей

ЗРК «Панцирь»	Эсминец США
Истребители (лучшая десятка)	Танки (лучшая десятка)
	Боевая машина-робот «Crasher»
Технологии	
Сварочные электроды	Получение золота
Изготовление деталей по макетам	Получение меди
Изготовление кабелей	Получение стали
Компьютерные платы	Получение платины
Литье по выплавляемым моделям	Процессор ПЭВМ
Ножовка по дереву	Роботизированный гараж
Ножовка по металлу	Ручной инструмент
Получение титана	Рулетки