

4187



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Теория механизмов и машин»

**СИНТЕЗ
КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Учебно-методическое пособие

Минск
БНТУ
2012

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Теория механизмов и машин»

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию по дисциплине
«Теория механизмов, машин и манипуляторов»

3-е издание, исправленное

Минск
БНТУ
2012

УДК 621.01:531.3:681.3.060(075.8)

~~ББК 34.42~~

С 38

Издается с 2010 года

Авторы:

*П.П. Анципорович, В.К. Акулич,
Е.М. Дубовская, А.Б. Дворянчикова*

Рецензенты:

А.М. Статкевич, М.В. Логачев

С 38 Синтез кулачковых механизмов: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплине «Теория механизмов, машин и манипуляторов / П.П. Анципорович [и др.]. – 3-е изд., испр. – Минск: БНТУ, 2012. – 80 с.

ISBN 985-978-525-889-7.

Издание включает раздел «Синтез кулачковых механизмов» курсового проекта по дисциплине «Теория механизмов, машин и манипуляторов».

Дано описание основных этапов синтеза кулачковых механизмов с применением программы «Синтез кулачковых механизмов». Включено руководство пользователя программы, рекомендации по подготовке исходных данных, изложены особенности диалога с программой. Приведены примеры синтеза механизмов с использованием ЭВМ и порядок выполнения расчетно-графических работ.

Рекомендуется студентам инженерно-технических специальностей.

Второе издание выпущено в БНТУ в 2011 году.

УДК 621.01:531.3:681.3.060(075.8)

ББК 34.42

ISBN 985-978-525-889-7

© БНТУ, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЗАДАЧИ СИНТЕЗА КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ	4
2. ПРОГРАММА «СИНТЕЗ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ»	5
2.1. Назначение программы. Необходимые аппаратные и программные средства	5
2.2. Работа пользователя с программой	7
3. ПРИМЕРЫ СИНТЕЗА КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ В КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ	31
3.1. Механизм с возвратно-поступательным движением роликового толкателя	31
3.2. Механизм с коромысловым толкателем	47
3.3. Механизм с тарельчатым толкателем	63
4. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ТОЛКАТЕЛЯ	73
ЛИТЕРАТУРА	80

1. ЗАДАЧИ СИНТЕЗА КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Основная задача синтеза кулачкового механизма заключается в определении профиля кулачка по заданным законам движения кулачка (входного звена) и толкателя (выходного звена). Исходными данными для синтеза являются:

1. Структурная схема механизма.
2. Закон движения кулачка.
3. Законы движения толкателя $S_T(\varphi_1)$.
4. Максимальный линейный или угловой ход толкателя.

Перечисленные данные задаются для обеспечения требований технологического процесса, выполняемого проектируемой машиной.

Кроме этого, необходимо либо задаться, либо определить некоторые линейные параметры механизма – минимальный радиус кулачка r_0 и смещение линии движения толкателя e (длину коромысла l_K и межосевое расстояние a в коромысловом механизме).

Если эти основные размеры кулачкового механизма задаются из кинематических, динамических и конструктивных условий, то синтез механизма называется кинематическим, требуется получить только профиль кулачка. Если основные размеры не заданы, их необходимо определить либо из условия неперевышения допускаемого угла давления, который задается (динамический синтез механизма), либо из условия выпуклости кулачка (при тарельчатом толкателе).

Учитывая, что при синтезе кулачкового механизма в курсовом проектировании важной целью обучения студента является привитие навыков составления алгоритмов расчетов и умения их использовать, работа студента разделена на 3 этапа:

1. Работа, выполняемая до выхода на ЭВМ:

а) составление алгоритмов расчета кинематических характеристик и определение их для двух контрольных положений (на фазе удаления и возвращения);

б) составление алгоритма определения основных размеров кулачкового механизма и их расчет;

в) составление алгоритма определения координат центрального профиля кулачка и определение координат для рассмотренных ранее положений.

2. Синтез механизма с помощью ЭВМ.

3. Обработка результатов вычислений и их анализ:

а) построение графиков кинематических характеристик (перемещения, аналога скорости и аналога ускорения толкателя) в зависимости от угла поворота кулачка;

б) построение упрощенной и полной совмещенных диаграмм $S_T^I(S_T)$ для схем механизмов с роликовым толкателем или диаграммы $S_T^{II}(S_T)$ для механизма с тарельчатым толкателем. Определение основных размеров механизма графически и сравнение с полученными с помощью ЭВМ;

в) построение центрального профиля кулачка;

г) определение радиуса ролика и сравнение его величины с машинным расчетом;

д) построение действительного профиля кулачка графическим методом;

е) построение графика угла давления;

ж) определение жесткости пружины при силовом замыкании.

Рассмотрим примеры выполнения работ для различных схем кулачковых механизмов.

2. ПРОГРАММА «СИНТЕЗ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ»

2.1. Назначение программы. Необходимые аппаратные и программные средства

Программа «Синтез кулачковых механизмов» предназначена для проектирования кулачковых механизмов, имеющих следующие схемы преобразования движения:

а) вращательное движение кулачка преобразуется в возвратно-поступательное движение роликового толкателя;

б) вращательное движение кулачка преобразуется в возвратно-качательное движение роликового толкателя;

в) вращательное движение кулачка преобразуется в возвратно-поступательное движение тарельчатого толкателя.

Имеется возможность выполнения двух видов синтеза:

1) кинематического синтеза, когда проектируется профиль кулачка при известных основных размерах механизма (минимальный радиус кулачка и смещение линии движения толкателя – для схем *а*, *в*; минимальный радиус кулачка и межосевое расстояние – для схемы *б*;

2) динамического синтеза для схем преобразования *а* и *б*, позволяющего спроектировать механизм минимальных размеров, когда кинематическому синтезу предшествует определение основных размеров механизма по заданному максимально допускаемому углу давления.

Для схемы *в* механизм минимальных размеров проектируют по условию выпуклости кулачка.

Программа рассчитана на проектирование кулачковых механизмов с последовательностью движения ведомого звена «подъем – выстой – опускание – выстой». Однако можно спроектировать механизмы с более сложным видом движения толкателя (несколько участков подъема, выстоя и т. д.).

Кулачок может быть спрофилирован для обеспечения движения толкателя по следующим законам:

- 1) закон постоянного ускорения (параболический);
- 2) синусоидальный закон изменения ускорения;
- 3) косинусоидальный закон изменения ускорения;
- 4) трапецеидальный закон изменения ускорения;
- 5) закон линейно убывающего (или возрастающего) ускорения;
- 6) треугольный закон изменения ускорения;
- 7) модифицированный линейный закон изменения ускорения.

Проектируемые механизмы могут иметь как кинематическое замыкание высшей пары, так и силовое. Во втором случае имеется возможность расчета пружины.

После окончания расчетов пользователь может просмотреть результаты в виде цифровых таблиц на экране дисплея, а также в виде графического изображения спроектированного механизма. Динамическая графика позволяет привести механизм в движение и пронаблюдать характер изменения угла давления и кинематических харак-

теристик движения толкателя. Кроме того, результаты расчетов сохраняются в файле SAM.REZ.

Программа предназначена для курсового проектирования по теории механизмов, машин и манипуляторов, прикладной механике, дипломного проектирования, а также для инженерных расчетов.

Данный пакет работает на IBM-совместимых персональных компьютерах. Для поддержки русского шрифта в пакете рекомендуется использовать русификаторы типа MTV291.

В состав пакета входят следующие файлы: SAMMAIN.EXE – исполняемый файл (при запуске пакета нужно, чтобы файл SAMMAIN.EXE находился в текущем каталоге);

TMM.INI – файл инициализации пакета;

SAM1.EXE, SAM2.EXE, SAM3.EXE – оверлейные файлы, используемые программой в процессе работы;

SAM.REZ – текстовый файл с результатами работы программы.

Для работы пакета нужно, чтобы все эти файлы находились в одном каталоге.

2.2. Работа пользователя с программой

После запуска программы на экране демонстрируется информационная заставка (рис. 1). Прекратить работу программы можно нажатием клавиши Esc (кноп), продолжить – Enter (ввод). В последнем случае появляется информационное окно (рис. 2) с описанием возможностей программы. На основании этой информации пользователь должен установить, какой вид синтеза (кинематический или динамический) будет в дальнейшем выполняться, и нажать клавишу Enter. В случае перехода с помощью курсора на клавишу «Выйти из программы» и нажатия клавиши Enter работа программы прекращается.

Если был выбран режим «Продолжить работу» появляется регистрационное окно (рис. 3), в котором пользователь должен ввести свою фамилию и инициалы, номер учебной группы и дату работы. Следует обратить внимание, что клавиши ↑ или ↓ позволяют сменить поле ввода без окончания регистрации. После ввода даты выполнения работы и нажатия клавиши Enter осуществляется переход в меню выбора схемы проектируемого механизма (рис. 4). Клави-

шами управления курсором обеспечивается перемещение мигающей красной рамки (на рисунке показана черным цветом).

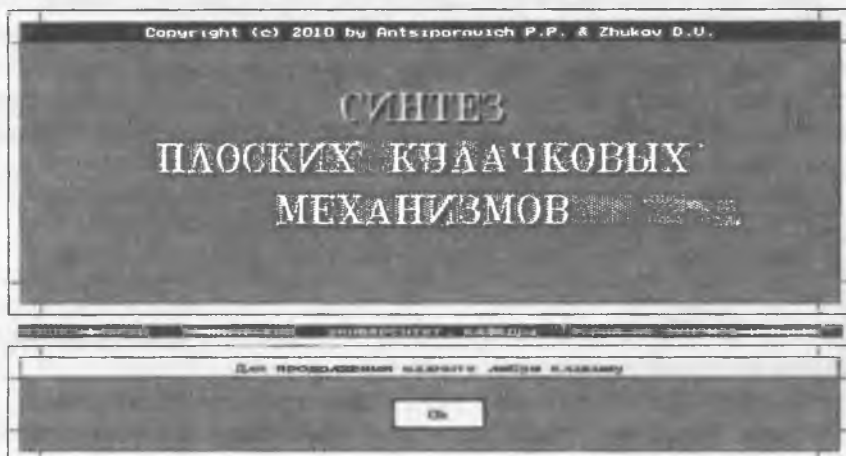


Рис. 1. Заставка программы

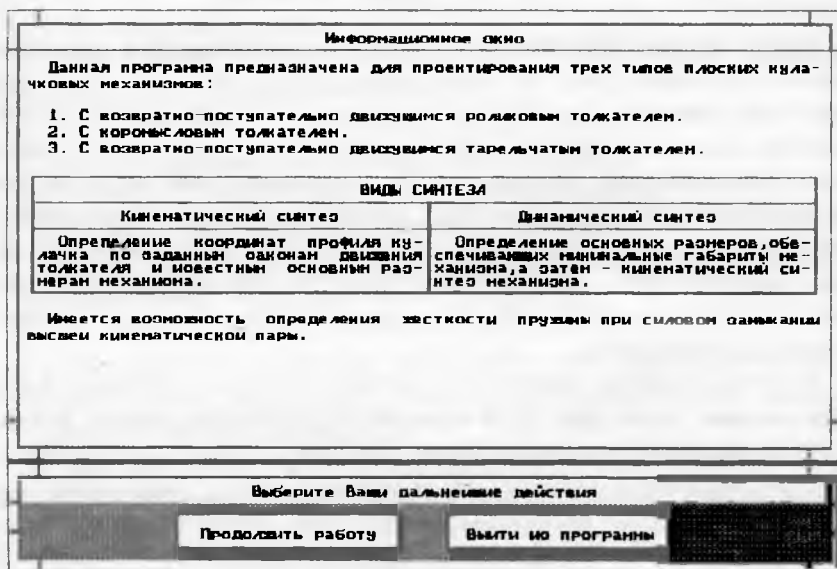


Рис. 2. Информационное окно

Регистрация пользователя

Введите Вашу фамилию и имя:

Сидоров И.И.

Введите номер Вашей группы:

103121

Введите дату выполнения работы:

28 ноября 1994 года.

Помощь

Перед вводом фамилии переключитесь на русский алфавит. Ввод данных заканчивается нажатием клавиши Enter (Ввод). Нажатие этой клавиши в последнем поле ввода приводит к завершению регистрации пользователя. Клавиша Курсор влево/право используется сменить поле ввода без окончания регистрации. Клавиша Esc (Выс) – возврат к заставке программы.

Рис. 3. Окно регистрации пользователя

Клавишами управления курсором выберите Вашу схему и нажмите Ввод.

1

2

3

Типы кулачковых механизмов

1. С возвратно-поступательно движущимися роликовыми толкателем.
2. С корончатым толкателем.
3. С возвратно-поступательно движущимися тарельчатым толкателем.

Выберите вид синтеза механизма

Кинематический синтез

Динамический синтез

Рис. 4. Окно выбора схемы механизма

После установки рамки на требуемую схему нажимают клавишу Enter, в результате чего в нижней части появляется дополнительное меню, предлагающее выбрать необходимый вид синтеза (динамический или кинематический). С помощью клавиш → или ← выбирается требуемый вид и нажимается клавиша Enter.

2.2.1. Механизм с возвратно-поступательным движением роликового толкателя

2.2.1.1. Динамический синтез

Выбор режима «Динамический синтез» (рис. 4) приводит к появлению на экране схемы механизма (рис. 5), на которой стрелкой показано направление вращения кулачка (против часовой стрелки). Если требуется спроектировать механизм с вращением кулачка по часовой стрелке, необходимо нажать клавишу «пробел», при этом на схеме будет вычерчен кулачок в положении начала вращения по часовой стрелке. Выбор направления вращения кулачка заканчивается нажатием клавиши Enter, что приводит к появлению подменю (рис. 6) для уточнения вида замыкания высшей кинематической пары (кинематическое или силовое). Кинематическое замыкание выбирается при наличии геометрической связи между кулачком и толкателем, а также, если направление вращения кулачка в процессе работы машины периодически меняется на противоположное. Такой выбор делается даже в том случае, когда в реальной схеме установлена пружина.

Выбрав вид замыкания, нажимают клавишу Enter, после чего появляется уточняющий вопрос: «Задано ли смещение линии толкателя?» (рис. 7).

Положительный ответ «задано» вводится тогда, когда в задании на проектирование задана величина смещения линии движения толкателя. Если по условию задания требуется спроектировать центральный механизм (на схеме линия движения толкателя проходит через центр вращения кулачка), то смещение считается заданным и равным нулю. Ответ на поставленный вопрос завершается нажатием клавиши Enter, что приводит к появлению окна ввода исходных данных для проектирования (рис. 8).

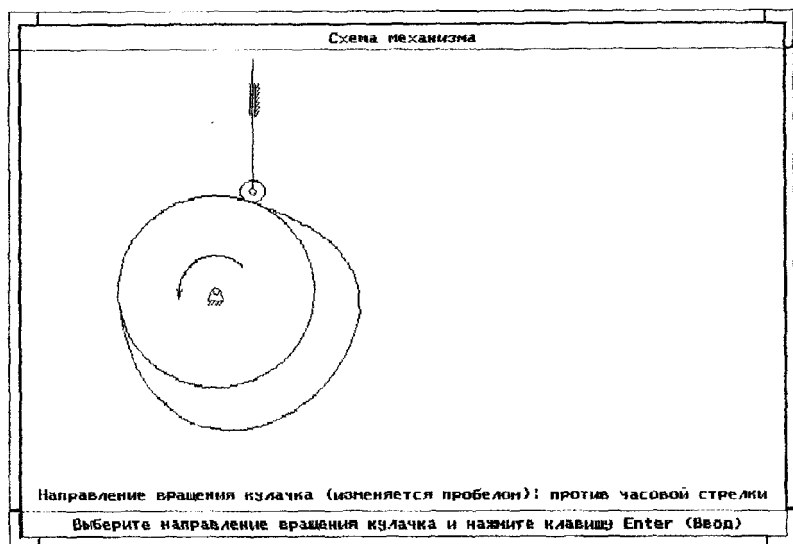


Рис. 5. Выбор направления вращения кулачка

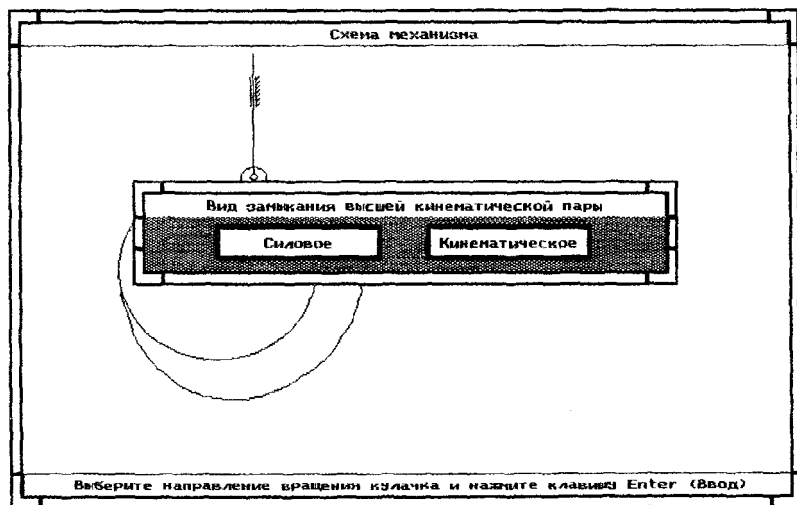


Рис. 6. Выбор вида замыкания высшей кинематической пары

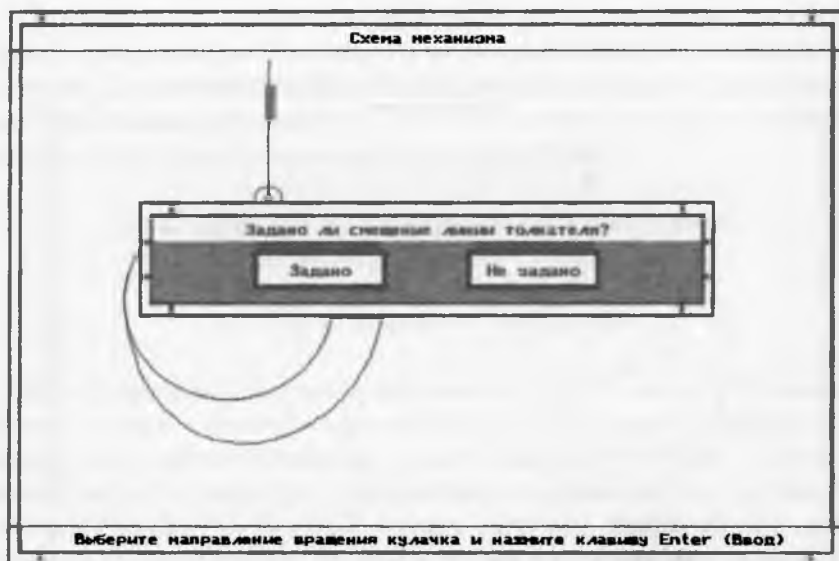


Рис. 7. Запрос о положении линии движения толкателя

1. Ход толкателя h , м;
2. Фазовые углы:
 - удаления φ_u , град.;
 - дальнего стояния $\varphi_{ДС}$, град.;
 - возвращения φ_v , град.;
3. Максимально допустимый угол давления $\theta_{доп}$, град.

Если было известно смещение толкателя, то будет затребована его величина. Из рис. 8 видно, что поскольку начало системы координат находится в центре вращения кулачка, то смещение линии движения толкателя e положительно, если направляющая находится справа от оси y . Клавиши курсора \uparrow , \downarrow позволяют сменить поле ввода без выхода из окна. Ввод данных будет закончен после ввода последнего параметра и нажатия клавиши Enter.

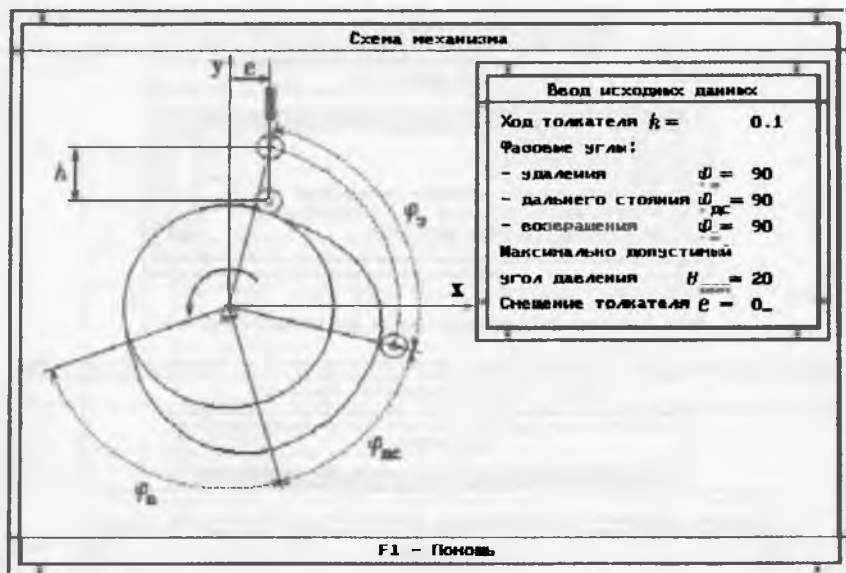


Рис. 8. Окно ввода исходных данных

Далее осуществляется выбор закона движения толкателя на фазе удаления (рис. 9) переводом светового курсора на требуемый закон и нажатием клавиши Enter либо вводом номера закона и нажатием клавиши Enter. В случае задания параболического закона запрашивается (рис. 10) величина отношения максимального ускорения к минимальному a_1/a_2 (при симметричном параболическом законе $a_1/a_2 = 1$). Затем аналогичным образом производится выбор закона для фазы возвращения (рис. 11) и переход в окно демонстрации графиков кинематических характеристик движения толкателя (S_T — перемещение толкателя; \dot{S}_T — аналог скорости толкателя; \ddot{S}_T — аналог ускорения) в зависимости от угла поворота кулачка (рис. 12).

Если в задании на проектирование не заданы законы движения толкателя и их должен выбрать сам пользователь, то имеется возможность возврата в меню выбора законов движения и их просмотра (рис. 9 – 12) нажатием клавиши Esc.

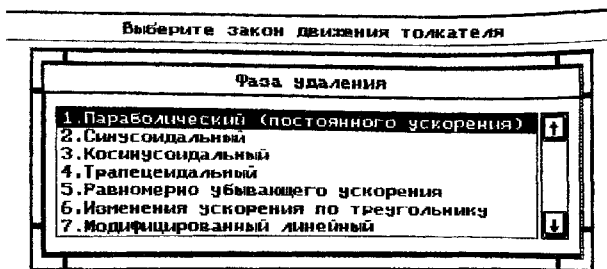


Рис. 9. Меню для выбора закона движения толкателя

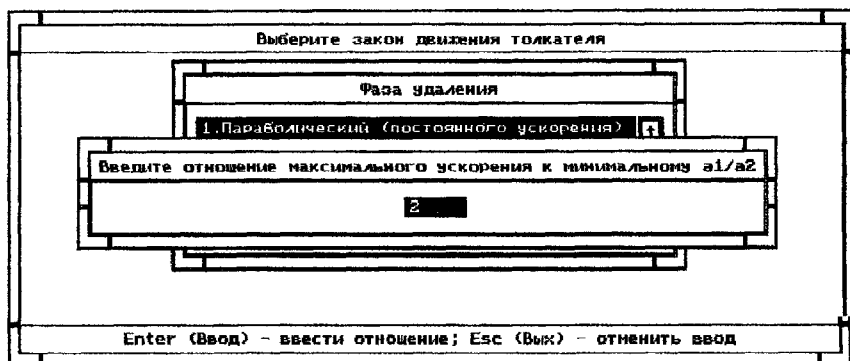


Рис. 10. Уточнение данных для параболического закона

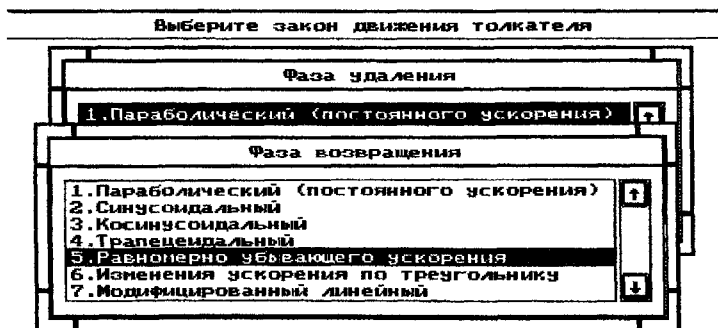


Рис. 11. Меню для выбора закона движения толкателя для возвращения

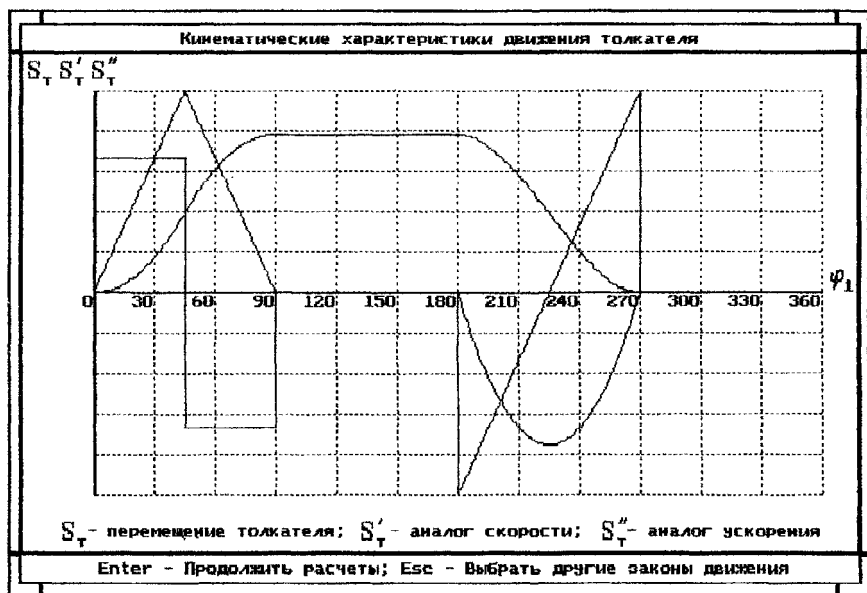


Рис. 12. Окно демонстрации графиков кинематических характеристик

После нажатия клавиши Enter на экране появляется сообщение об окончании проектирования профиля кулачка и вопрос о необходимости расчета жесткости пружины. Ответ «Отменить» возвращает в предыдущее окно (рис. 12). В случае выбора ответа «Да» появляется окно «Введите следующие параметры» (рис. 13):

1. Угловая скорость вращения кулачка, рад/с;
2. Масса толкателя, кг.

Если пользователь не может ввести данные параметры в связи с их отсутствием, необходимо принять оба параметра равными нулю либо нажать клавишу Esc. Во втором случае произойдет возврат программы в меню выбора законов движения и потребуются повторение их ввода.

После окончания расчета жесткости пружины или после ввода ответа «Нет» (рис. 12) происходит переход в окно, демонстрирующее результаты синтеза (рис. 14).

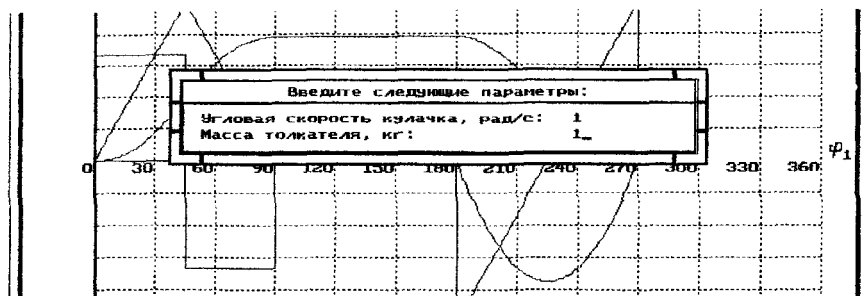


Рис. 13. Окно ввода параметров для расчета пружины

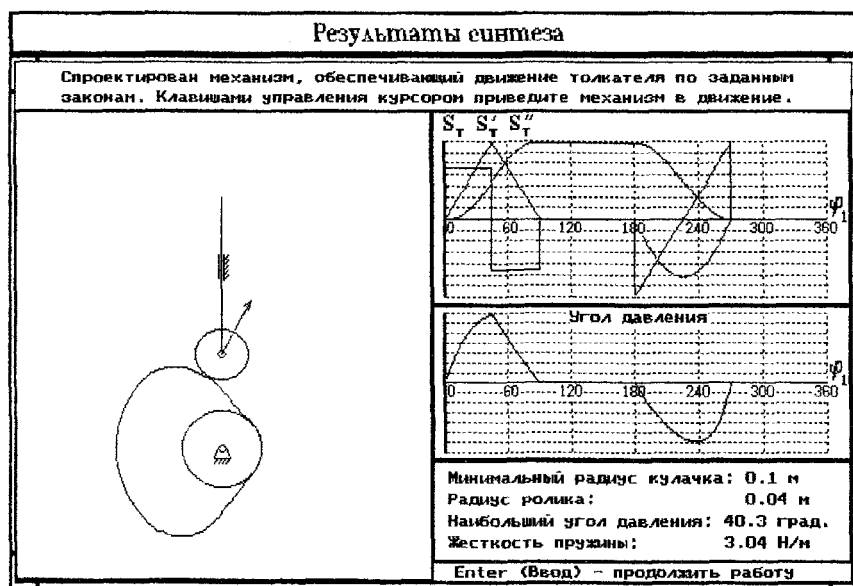


Рис. 14. Окно демонстрации результатов синтеза

В левой части окна находится изображение спроектированного кулачкового механизма. Стрелка, выходящая из центра ролика, показывает направление реакции со стороны кулачка на толкатель. Острый угол между вектором реакции и линией движения толкате-

ля является углом давления. Нажатием клавиш управления курсором пользователь имеет возможность привести механизм в движение и наблюдать за изменением величины угла давления. В процессе вращения кулачка справа от механизма вычерчиваются графики кинематических характеристик S_T , S_T' , S_T'' и угла давления. На графиках кинематических характеристик находятся движущиеся мерцающие точки, позволяющие уточнять обобщенную координату кулачка.

При выходе из окна просмотра графической информации (клавиша Enter) происходит переход в меню вывода (просмотра или печати) результатов вычислений (рис. 15). Меню содержит следующие пункты:

1) «Выход» – результаты не распечатываются и не выводятся на монитор, происходит возврат в начальную заставку программы, после чего можно начать работу заново или выйти из программы (клавиша Esc). После выхода из программы результаты вычислений хранятся в файле SAM.REZ.

2) «Монитор» – результаты вычислений, содержащиеся в файле SAM.REZ, выводятся на экран дисплея. Перемещение текста вверх-вниз производится клавишами \downarrow , \uparrow . Вывод результатов на печать – клавишей F2. Выход в начальную заставку – клавишей Esc.

3) «Принтер» – результаты вычислений, содержащиеся в файле SAM.REZ, выводятся на печать. Перед выводом на печать необходимо подготовить принтер к работе, т.е. установить лист бумаги формата А4 и нажать клавишу принтера ON LINE. После печати программа возвращается в начальную заставку.



Рис. 15. Меню вывода результатов вычислений

Файл результатов вычислений SAM.REZ показан на рис. 16.

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА С ПОСТУПАТЕЛЬНО ДВИЖУЩИМСЯ ТОЛКАТЕЛЕМ

Исполнитель - студент гр. 121134 Иванов Н И 3 мая 2010 г

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

Ход толкателя - 0.070 м
 Эксцентриситет толкателя - -0.0200 м
 Закон движения толкателя:
 на фазе удаления - ПОСТОЯННОГО УСКОРЕНИЯ (ПАРАВОЛИЧЕСКИЙ)
 на фазе возвращения - КОСИНОСИДАЛЬНЫЙ
 Фазовый угол удаления - 90.0 градусов
 Фазовый угол дальнего стояния - 120.0 градусов
 Фазовый угол возвращения - 80.0 градусов
 Максимально допустимый угол давления - 35.0 градусов
 Направление вращения кулачка - по часовой стрелке
 Замыкание пары "кулачок-толкатель" - кинематическое
 AU= 1.40 AV= 0.00

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ:

Миним. радиус центрального профиля кулачка - 0.1079 м
 Минимальный радиус кривизны профиля 0.0831 м
 Радиус ролика - 0.0432 м³

N	EP	S	H2	H2P	ALF	R	TE	XC	YC	XD	YD
1	0.0	0.0000	0.0000	0.1362	0.0	0.1079	-10.7	0.0000	0.1079	0.0000	0.0647
2	7.5	0.0012	0.0178	0.1362	7.4	0.1080	-1.2	-0.0140	0.1081	-0.0155	0.0650
3	15.0	0.0047	0.0357	0.1362	14.6	0.1125	8.0	-0.0293	0.1089	-0.0311	0.0658
4	22.5	0.0105	0.0535	0.1362	21.6	0.1182	16.0	-0.0434	0.1100	-0.0466	0.0669
5	30.0	0.0187	0.0713	0.1362	28.4	0.1263	22.4	-0.0601	0.1111	-0.0624	0.0680
6	37.5	0.0292	0.0891	-0.0973	35.2	0.1367	27.1	-0.0788	0.1116	-0.0780	0.0685
7	45.0	0.0400	0.0764	-0.0973	42.1	0.1474	21.1	-0.0988	0.1093	-0.0890	0.0673
8	52.5	0.0492	0.0637	-0.0973	49.2	0.1585	15.7	-0.1184	0.1023	-0.0994	0.0636
9	60.0	0.0567	0.0509	-0.0973	56.3	0.1639	10.8	-0.1364	0.0809	-0.1095	0.0571
10	67.5	0.0625	0.0382	-0.0973	63.6	0.1697	6.2	-0.1520	0.0755	-0.1186	0.0481
11	75.0	0.0667	0.0255	-0.0973	70.9	0.1739	1.8	-0.1643	0.0668	-0.1260	0.0369
12	82.5	0.0692	0.0127	-0.0973	78.3	0.1763	-2.4	-0.1727	0.0557	-0.1312	0.0239
13	90.0	0.0700	-0.0000	-0.0973	85.8	0.1772	-6.5	-0.1767	0.0430	-0.1336	0.0098
14	210.0	0.0700	-0.0000	-0.1772	205.8	0.1772	-6.5	0.0771	-0.1595	0.0563	-0.1206
15	216.7	0.0688	-0.0174	-0.1711	212.5	0.1760	-13.0	0.0946	-0.1484	0.0674	-0.1149
16	223.3	0.0653	-0.0394	-0.1534	219.3	0.1725	-19.1	0.1093	-0.1335	0.0754	-0.1068
17	230.0	0.0597	-0.0557	-0.1253	226.2	0.1670	-24.5	0.1205	-0.1156	0.0818	-0.0966
18	236.7	0.0525	-0.0682	-0.0886	233.2	0.1598	-29.1	0.1279	-0.0968	0.0862	-0.0847
19	243.3	0.0441	-0.0761	-0.0459	240.2	0.1514	-32.6	0.1314	-0.0752	0.0884	-0.0716
20	250.0	0.0350	-0.0787	0.0000	247.4	0.1424	-35.0	0.1315	-0.0548	0.0885	-0.0580
21	256.7	0.0259	-0.0761	0.0459	254.6	0.1335	-36.1	0.1287	-0.0354	0.0965	-0.0444
22	263.3	0.0175	-0.0682	0.0886	261.8	0.1251	-35.5	0.1239	-0.0177	0.0829	-0.0312
23	270.0	0.0103	-0.0557	0.1253	269.1	0.1180	-33.1	0.1180	-0.0019	0.0781	-0.0183
24	276.7	0.0047	-0.0394	0.1534	276.2	0.1125	-28.2	0.1118	0.0122	0.0725	-0.0055
25	283.3	0.0012	-0.0204	0.1711	283.2	0.1091	-20.6	0.1062	0.0249	0.0665	0.0079
26	290.0	0.0000	0.0000	0.1772	290.0	0.1079	-10.7	0.1014	0.0369	0.0608	0.0221

Идентификаторы таблицы:

S, H2, H2P - перемещение, аналог скорости и аналог ускорения толкателя;
 ALF и R - полярный угол и радиус-вектор центрального профиля кулачка;
 TE - угол давления;
 XC и YC - координаты центрального профиля кулачка;
 XD и YD - координаты действительного профиля кулачка.

Рис. 16. Файл результатов вычислений

В начальной части файла приведены исходные данные для синтеза механизма. Результаты расчетов содержат вычисленные значения минимального радиуса кулачка r_0 , минимального радиуса кривизны выпуклой части профиля кулачка ρ_{\min} , радиуса ролика r_p , смещения линии движения толкателя e (если смещение не было задано), а также таблицу. В таблице в зависимости от обобщенной координаты приведены кинематические характеристики, полярные координаты центрального профиля кулачка, угол давления, декартовы координаты центрального и действительного профиля кулачка. Если выполнялся расчет жесткости пружины, то ниже приводится линейная жесткость пружины.

2.2.1.2. Кинематический синтез

При выборе режима «Кинематический синтез» (рис. 4) пользователь, как и при динамическом синтезе (см. п.2.2.1.1), задает направление вращения кулачка (рис. 5), после чего происходит переход в окно ввода исходных данных для проектирования (рис. 17).

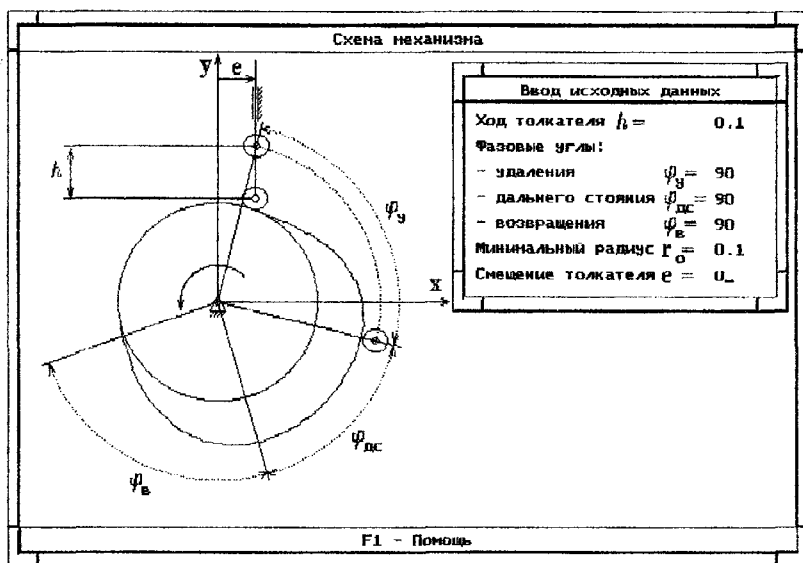


Рис. 17. Окно ввода исходных данных

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА С ПОСТУПАТЕЛЬНО ДВИЖУЩИМСЯ ТОЛКАТЕЛЕМ
 Исполнитель - студент гр. 120243 Сидоров А П 5 мая 2010 г
 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

Ход толкателя - 0.100 м
 Минимальный радиус кулачка - 0.1000 м
 Эксцентриситет толкателя - 0.0000 м
 Закон движения толкателя:
 на фазе удаления - СИНУСОИДАЛЬНЫЙ
 на фазе возвращения - ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫЙ
 Фазовый угол удаления - 90.0 градусов
 Фазовый угол дальнего стояния - 90.0 градусов
 Фазовый угол возвращения - 90.0 градусов
 Направление вращения кулачка - против часовой стрелки
 Замыкание пары "кулачок-толкатель" - кинематическое

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ:

Минимальный радиус кривизны профиля 0.0875 м
 Радиус ролика - 0.0400 м

N	F1	S	H2	H2P	AF	R	TE	XC	YC	XD	YD
1	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.1000	0.0	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000
2	7.5	0.0004	0.0085	0.1273	7.5	0.1004	4.9	0.0131	0.0995	0.0113	0.0596
3	15.0	0.0029	0.0318	0.2205	15.0	0.1029	17.2	0.0266	0.0994	0.0282	0.0594
4	22.5	0.0091	0.0637	0.2546	22.5	0.1091	30.3	0.0417	0.1008	0.0472	0.0511
5	30.0	0.0196	0.0955	0.2205	30.0	0.1196	38.6	0.0598	0.1035	0.0688	0.0600
6	37.5	0.0337	0.1188	0.1273	37.5	0.1337	41.6	0.0814	0.1061	0.0943	0.0562
7	45.0	0.0500	0.1273	-0.0000	45.0	0.1500	40.3	0.1061	0.1061	0.1028	0.0662
8	52.5	0.0663	0.1188	-0.1273	52.5	0.1663	35.5	0.1319	0.1012	0.1203	0.0630
9	60.0	0.0804	0.0955	-0.2205	60.0	0.1804	27.9	0.1563	0.0902	0.1350	0.0563
10	67.5	0.0809	0.0637	-0.2546	67.5	0.1909	18.4	0.1764	0.0731	0.1462	0.0468
11	75.0	0.0971	0.0318	-0.2205	75.0	0.1971	9.2	0.1904	0.0510	0.1539	0.0346
12	82.5	0.0996	0.0085	-0.1273	82.5	0.1996	2.4	0.1979	0.0261	0.1595	0.0191
13	90.0	0.1000	0.0000	0.0000	90.0	0.2000	0.0	0.2000	-0.0000	0.1600	-0.0000
14	180.0	0.1000	0.0000	0.0000	180.0	0.2000	0.0	-0.0000	-0.2000	-0.0000	-0.1600
15	187.5	0.0996	-0.0094	-0.1441	187.5	0.1996	-2.7	-0.0261	-0.1979	-0.0190	-0.1585
16	195.0	0.0968	-0.0354	-0.2162	195.0	0.1968	-10.2	-0.0509	-0.1901	-0.0339	-0.1539
17	202.5	0.0903	-0.0637	-0.2162	202.5	0.1903	-18.5	-0.0728	-0.1758	-0.0466	-0.1456
18	210.0	0.0801	-0.0920	-0.2162	210.0	0.1801	-27.0	-0.0900	-0.1560	-0.0566	-0.1342
19	217.5	0.0663	-0.1179	-0.1441	217.5	0.1663	-35.3	-0.1012	-0.1319	-0.0630	-0.1201
20	225.0	0.0500	-0.1273	0.0000	225.0	0.1500	-40.3	-0.1061	-0.1061	-0.0662	-0.1028
21	232.5	0.0338	-0.1179	0.1441	232.5	0.1338	-41.4	-0.1061	-0.0814	-0.0662	-0.0841
22	240.0	0.0199	-0.0920	0.2162	240.0	0.1199	-37.5	-0.1038	-0.0600	-0.0642	-0.0662
23	247.5	0.0097	-0.0637	0.2162	247.5	0.1097	-30.1	-0.1014	-0.0420	-0.0617	-0.0473
24	255.0	0.0032	-0.0354	0.2162	255.0	0.1032	-18.9	-0.0997	-0.0267	-0.0598	-0.0294
25	262.5	0.0004	-0.0094	0.1441	262.5	0.1004	-5.4	-0.0996	-0.0131	-0.0596	-0.0116
26	270.0	0.0000	0.0000	0.0000	270.0	0.1000	0.0	-0.1000	0.0000	-0.0600	0.0000

Идентификаторы таблицы:

S, H2, H2P - перемещение, аналог скорости и аналог ускорения толкателя;
 AF и R - полярный угол и радиус-вектор центрального профиля кулачка;
 TE - угол давления;
 XC и YC - координаты центрального профиля кулачка;
 XD и YD - координаты действительного профиля кулачка.

Рис. 18. Файл результатов вычислений

Необходимо ввести следующие параметры:

1. Ход толкателя h , м;

2. Фазовые углы:

– удаления φ_U , град.;

– дальнего стояния $\varphi_{ДС}$, град.;

– возвращения φ_B , град.;

3. Минимальный радиус кулачка r_0 , м;

4. Смещение линии движения толкателя e , м.

Дальнейшие действия пользователя по выбору законов движения толкателя, расчету жесткости пружины, просмотру результатов вычислений аналогичны приведенным в п. 2.2.1.1.

Файл результатов вычислений представлен на рис. 18. При просмотре результатов кинематического синтеза пользователю следует обратить особое внимание на полученные величины угла давления, поскольку может иметь место существенное превышение величины допускаемого угла давления $\theta_{доп}$.

2.2.2. Механизм с возвратно-качательным движением коромысла

2.2.2.1. Динамический синтез

Выбрав для проектирования механизм с коромысловым толкателем (рис. 4) и уточнив, что выполняется динамический синтез, пользователь переходит к указанию направления вращения кулачка. При этом следует учитывать, что основной расчетной схемой в программе является схема, показанная на рис. 19, *а*. Схема на рис. 19, *б* аналогична ей, но повернута на некоторый угол. Пользователь вводит для указанных двух схем то направление вращения, которое указано в задании. Схемы на рис. 19, *в* и на рис. 19, *г* являются соответственно зеркальными отражениями схем *а* и *б*, поэтому для них положительным направлением вращения кулачка считается вращение по часовой стрелке и пользователь должен задать направление, противоположное показанному в задании на проектирование.

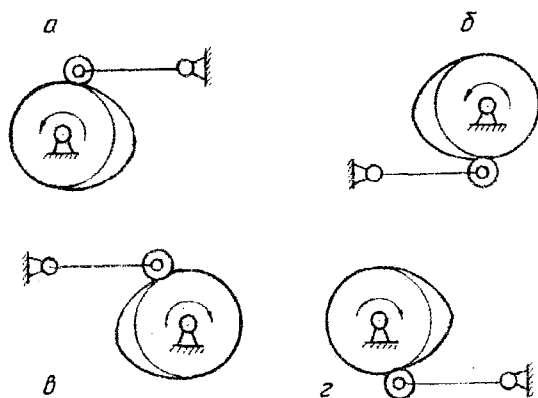


Рис.19. Схемы механизмов с коромысловым толкателем

Затем, как и для механизма с возвратно-поступательным движением толкателя (рис. 6), указывается вид замыкания высшей кинематической пары. Рекомендации по выбору вида замыкания изложены в п. 2.2.1.1.

Далее осуществляется ввод исходных данных (рис. 20):

1. Угловой ход коромысла ψ_{\max} , град.;
2. Длина коромысла l_K , м;
3. Фазовые углы:
 - удаления φ_y , град.;
 - дальнего стояния $\varphi_{дс}$, град.;
 - возвращения $\varphi_в$, град.;
4. Максимально допускаемый угол давления $\theta_{доп}$, град.

После этого, как и в п. 2.2.1.1, производится выбор законов движения коромысла (рис. 9 – 12) и их просмотр.

В случае необходимости расчета жесткости пружины пользователь должен ввести следующие параметры:

- а) угловую скорость вращения кулачка, рад/с;
- б) момент инерции коромысла относительно оси его качания, кг м².

После ввода указанных параметров или отказа от ввода происходит переход в окно демонстрации результатов синтеза (рис. 21).

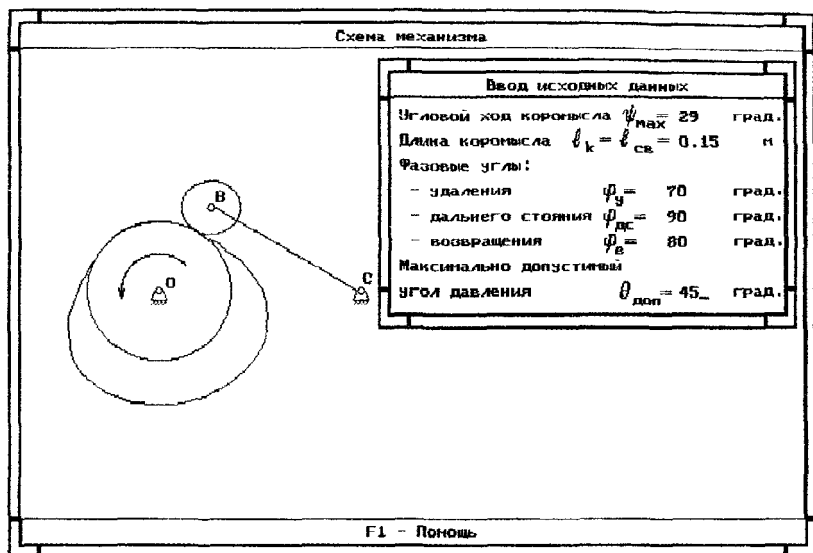


Рис. 20. Окно ввода исходных данных

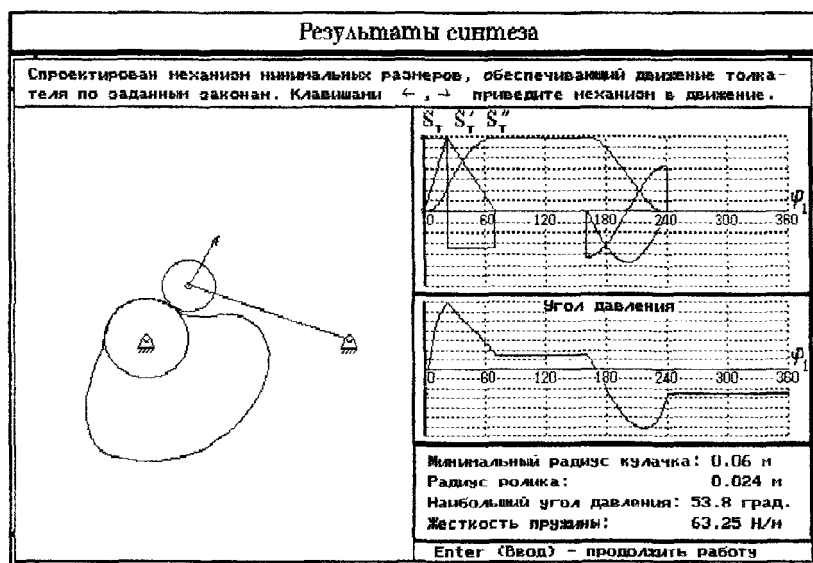


Рис. 21. Окно демонстрации результатов синтеза

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА С КАЧАЮЩИМСЯ ТОЛКАТЕЛЕМ
 Исполнитель - студент гр. 301234 Петров П П 6 мая 2010 г
 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

Угловой ход коромысла - 25.000 градусов
 Длина коромысла - 0.160 м
 Закон движения на фазе удаления - СИНУСОИДАЛЬНЫЙ
 Закон движения на фазе возвращения - ПОСТОЯННОГО УСКОРЕНИЯ (ПАРАБОЛИЧЕСКИЙ)
 Фазовый угол удаления - 60.0 градусов
 Фазовый угол дальнего стояния - 10.0 градусов
 Фазовый угол возвращения - 60.0 градусов
 Максимально допустимый угол давления - 40.0 градусов
 Направление вращения кулачка - против часовой стрелки
 Замыкание пары "кулачок-толкатель" - кинематическое
 AU= 0.00 AV= 1.00

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ:

Минимальный радиус центрального профиля кулачка - 0.1243 м
 Расстояние между осями кулачка и коромысла - 0.2255 м
 Минимальный радиус кривизны профиля 0.0715 м
 Радиус ролика - 0.0497 м

N	FI1	SI	S	H2	H2P	ALF	R	XC	YC	XD	YD	TE
1	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.1243	0.0000	0.1243	0.0000	0.0746	-14.2
2	5.0	0.1	0.0003	0.0089	0.2000	5.0	0.1246	0.0108	0.1241	0.0100	0.0744	-10.1
3	10.0	0.7	0.0020	0.0333	0.3464	9.8	0.1263	0.0215	0.1244	0.0262	0.0749	2.0
4	15.0	2.3	0.0063	0.0667	0.4000	14.4	0.1305	0.0324	0.1264	0.0450	0.0783	17.8
5	20.0	4.9	0.0136	0.1000	0.3464	18.8	0.1377	0.0445	0.1303	0.0614	0.0836	30.5
6	25.0	8.4	0.0235	0.1244	0.2000	23.4	0.1475	0.0586	0.1354	0.0744	0.0882	37.7
7	30.0	12.5	0.0349	0.1333	0.0000	28.3	0.1589	0.0752	0.1400	0.0853	0.0913	40.0
8	35.0	16.6	0.0463	0.1244	-0.2000	33.4	0.1703	0.0937	0.1422	0.0949	0.0924	38.7
9	40.0	20.1	0.0562	0.1000	-0.3464	38.7	0.1801	0.1126	0.1406	0.1027	0.0918	34.4
10	45.0	22.7	0.0635	0.0667	-0.4000	44.0	0.1873	0.1302	0.1347	0.1086	0.0899	27.8
11	50.0	24.3	0.0678	0.0333	-0.3464	49.3	0.1916	0.1452	0.1250	0.1133	0.0869	20.2
12	55.0	24.9	0.0696	0.0089	-0.2000	54.4	0.1933	0.1571	0.1126	0.1180	0.0819	13.9
13	60.0	25.0	0.0698	0.0000	-0.0000	59.4	0.1936	0.1666	0.0986	0.1238	0.0733	11.4
14	70.0	25.0	0.0698	0.0000	-0.2546	69.4	0.1936	0.1812	0.0682	0.1346	0.0507	11.4
15	75.0	24.7	0.0688	-0.0222	-0.2546	74.3	0.1926	0.1854	0.0521	0.1363	0.0442	4.5
16	80.0	23.6	0.0659	-0.0444	-0.2546	79.2	0.1898	0.1864	0.0357	0.1367	0.0380	-3.3
17	85.0	21.9	0.0611	-0.0667	-0.2546	83.9	0.1850	0.1839	0.0196	0.1358	0.0321	-11.9
18	90.0	19.4	0.0543	-0.0889	-0.2546	88.6	0.1782	0.1782	0.0043	0.1336	0.0263	-21.1
19	95.0	16.3	0.0456	-0.1111	-0.2546	93.4	0.1696	0.1693	-0.0100	0.1299	0.0204	-30.6
20	100.0	12.5	0.0349	-0.1333	-0.2546	98.3	0.1589	0.1573	-0.0228	0.1241	0.0143	-40.0
21	105.0	8.7	0.0242	-0.1111	0.2546	103.4	0.1482	0.1442	-0.0343	0.1115	0.0031	-39.4
22	110.0	5.6	0.0155	-0.0889	0.2546	108.7	0.1396	0.1322	-0.0448	0.0995	-0.0073	-37.7
23	115.0	3.1	0.0087	-0.0667	0.2546	114.2	0.1329	0.1212	-0.0544	0.0883	-0.0171	-34.7
24	120.0	1.4	0.0039	-0.0444	0.2546	119.6	0.1281	0.1114	-0.0633	0.0775	-0.0268	-29.9
25	125.0	0.3	0.0010	-0.0222	0.2546	124.9	0.1253	0.1027	-0.0717	0.0671	-0.0369	-23.2
26	130.0	0.0	0.0000	0.0000	0.2546	130.0	0.1243	0.0952	-0.0799	0.0571	-0.0479	-14.2

Идентификаторы таблицы:

FI1 - угол поворота кулачка
 S - перемещение толкателя
 PSI - угловое перемещение толкателя
 H2 и H2P - аналоги скорости и ускорения
 ALF и R - полярные координаты профиля
 XC, YC, XD, YD - координаты центрального и действительного профиля
 TE - угол давления

Рис. 22. Файл результатов вычислений

Действия пользователя при просмотре аналогичны изложенным в п. 2.2.1.1. В дальнейшем пользователь работает с меню вывода (просмотра или печати) результатов вычислений (рис. 15).

Файл результатов вычислений показан на рис. 22. Отличие файла, содержащего результаты синтеза механизма с коромысловым толкателем от результатов синтеза механизма с возвратно-поступательно движущимся толкателем, состоит в том, что дополнительно выводится межосевое расстояние l_{OC} между центром вращения кулачка и осью качания коромысла.

2.2.2.2. Кинематический синтез

При выборе режима «Кинематический синтез» (рис. 4) пользователь, как и при динамическом синтезе (см п. 2.2.2.1), задает направление вращения кулачка, после чего происходит переход в окно ввода исходных данных для проектирования (рис. 23).

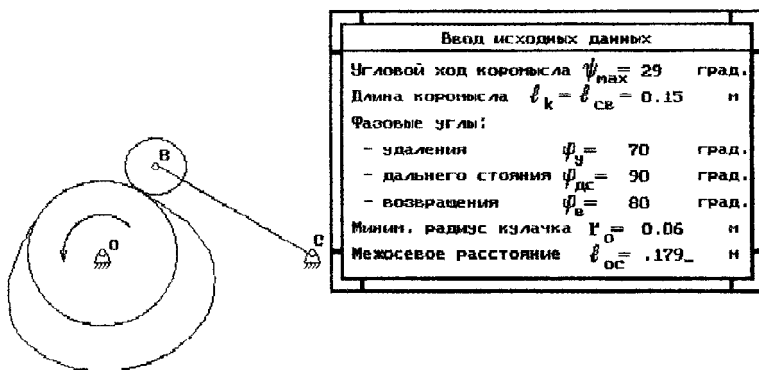


Рис. 23. Окно ввода исходных данных

Необходимо ввести следующие параметры:

1. Угловой ход коромысла ψ_{\max} , град.;
2. Длина коромысла l_k , м;
3. Фазовые углы:
 - удаления ψ_y , град.;
 - дальнего стояния ψ_{dc} , град.;
 - возвращения ψ_v , град.;
4. Минимальный радиус кулачка r_0 , м;
5. Межосевое расстояние l_{oc} , м.

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА С КАЧАЮЩИМСЯ ТОЛКАТЕЛЕМ
 Исполнитель - студент гр. 108234 Иванов П П 10 мая 2010 г
 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

Угловой ход коромысла - 29.000 градусов
 Длина коромысла - 0.150 м
 Минимальный радиус кулачка - 0.0600 м
 Расстояние между осями кулачка и коромысла - 0.1790 м
 Закон движения на фазе удаления - СИНУСОИДАЛЬНЫЙ
 Закон движения на фазе возвращения - КОСИНУСОИДАЛЬНЫЙ
 Фазовый угол удаления - 70.0 градусов
 Фазовый угол дальнего стояния - 90.0 градусов
 Фазовый угол возвращения - 80.0 градусов
 Направление вращения кулачка - против часовой стрелки
 Замыкание пары "кулачок-толкатель" - кинематическое

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ:
 Минимальный радиус кривизны профиля 0.0484 м
 Радиус ролика - 0.0240 м

N	FI	PSI	S	H2	H2P	ALF	R	XC	YC	XD	YD	TE
1	0.0	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.0600	0.0000	0.0600	0.0000	0.0360	-19.3
2	5.8	0.1	0.0003	0.0083	0.1598	5.7	0.0603	0.0060	0.0600	0.0069	0.0360	-11.3
3	11.7	0.8	0.0022	0.0311	0.2768	11.0	0.0621	0.0119	0.0609	0.0194	0.0362	11.6
4	17.5	2.6	0.0069	0.0621	0.3196	15.7	0.0666	0.0180	0.0641	0.0315	0.0443	35.0
5	23.3	5.7	0.0148	0.0932	0.2768	20.1	0.0743	0.0255	0.0698	0.0402	0.0509	47.5
6	29.2	9.8	0.0256	0.1160	0.1598	24.9	0.0850	0.0358	0.0771	0.0486	0.0568	52.0
7	35.0	14.5	0.0380	0.1243	-0.0000	30.4	0.0973	0.0492	0.0840	0.0581	0.0617	51.9
8	40.8	19.2	0.0503	0.1160	-0.1598	36.4	0.1097	0.0652	0.0883	0.0684	0.0645	48.6
9	46.7	23.3	0.0611	0.0932	-0.2768	42.8	0.1204	0.0819	0.0883	0.0785	0.0645	42.6
10	52.5	26.4	0.0690	0.0621	-0.3196	49.3	0.1282	0.0972	0.0937	0.0868	0.0620	34.0
11	58.3	28.2	0.0737	0.0311	-0.2768	55.5	0.1329	0.1095	0.0753	0.0931	0.0578	24.1
12	64.2	28.9	0.0756	0.0083	-0.1598	61.5	0.1347	0.1184	0.0643	0.0960	0.0516	15.7
13	70.0	29.0	0.0759	0.0000	0.0000	67.3	0.1350	0.1246	0.0520	0.1024	0.0428	12.4
14	160.0	29.0	0.0759	-0.0000	-0.1922	157.3	0.1350	0.0520	-0.1246	0.0428	-0.1024	12.4
15	166.7	28.5	0.0746	-0.0221	-0.1856	163.9	0.1337	0.0371	-0.1285	0.0343	-0.1046	2.5
16	173.3	27.1	0.0708	-0.0427	-0.1664	170.2	0.1300	0.0220	-0.1281	0.0259	-0.1044	-8.1
17	180.0	24.8	0.0646	-0.0604	-0.1359	176.4	0.1241	0.0077	-0.1238	0.0175	-0.1019	-18.5
18	186.7	21.7	0.0569	-0.0740	-0.0961	182.6	0.1163	-0.0053	-0.1162	0.0091	-0.0970	-27.7
19	193.3	18.3	0.0478	-0.0825	-0.0497	188.8	0.1072	-0.0165	-0.1059	0.0013	-0.0897	-35.4
20	200.0	14.5	0.0380	-0.0854	0.0000	195.4	0.0973	-0.0258	-0.0939	-0.0057	-0.0806	-41.3
21	206.7	10.7	0.0281	-0.0825	0.0497	202.2	0.0875	-0.0331	-0.0810	-0.0116	-0.0704	-45.5
22	213.3	7.3	0.0190	-0.0740	0.0961	209.6	0.0784	-0.0387	-0.0682	-0.0163	-0.0596	-47.7
23	220.0	4.2	0.0111	-0.0604	0.1359	217.3	0.0707	-0.0429	-0.0562	-0.0200	-0.0490	-47.6
24	226.7	1.9	0.0051	-0.0427	0.1664	225.3	0.0648	-0.0461	-0.0456	-0.0231	-0.0388	-44.1
25	233.3	0.5	0.0013	-0.0221	0.1856	232.9	0.0612	-0.0489	-0.0369	-0.0263	-0.0287	-35.5
26	240.0	0.0	0.0000	0.0000	0.1922	240.0	0.0600	-0.0520	-0.0300	-0.0312	-0.0180	-19.3

Идентификаторы таблицы:

FI1 - угол поворота кулачка
 S - перемещение толкателя
 PSI - угловое перемещение толкателя
 H2 и H2P - аналоги скорости и ускорения
 ALF и R - полярные координаты профиля
 XC, YC, XD, YD - координаты центрального и действительного профиля
 TE - угол давления

Рис. 24. Файл результатов вычислений

Дальнейшие действия пользователя по выбору законов движения толкателя, расчету жесткости пружины, просмотру результатов вычислений аналогичны приведенным в п. 2.2.2.1.

Файл результатов вычислений представлен на рис. 24. Как и в п. 2.2.1.2, при просмотре результатов кинематического синтеза, следует обратить внимание на полученные величины угла давления, чтобы избежать превышения допустимого угла давления.

2.2.3. Механизм с тарельчатым толкателем

2.2.3.1. Синтез механизма по условию выпуклости кулачка

Как и при динамическом синтезе механизма с возвратно-поступательным движением толкателя, после выбора режима «Динамический синтез» (рис. 4) пользователь указывает направление вращения кулачка. Затем осуществляется ввод следующих исходных данных (рис. 25):

1. Ход толкателя h , м;
2. Фазовые углы:
 - удаления φ_u , град.;
 - дальнего стояния $\varphi_{дс}$, град.;
 - возвращения φ_v , град.

Дальнейшие действия пользователя, вплоть до вывода результатов вычислений, аналогичны изложенным в п. 2.2.1.1. Окно демонстрации результатов синтеза показано на рис. 26. Файл результатов синтеза представлен на рис. 27.

2.2.3.2. Кинематический синтез

Действия пользователя при выборе режима «Кинематический синтез» отличаются от изложенных в п. 2.2.1.2 тем, что при входе в окно ввода исходных данных необходимо дополнительно ввести минимальный радиус кулачка r_0 , м;

Файл результатов вычислений представлен на рис. 28.

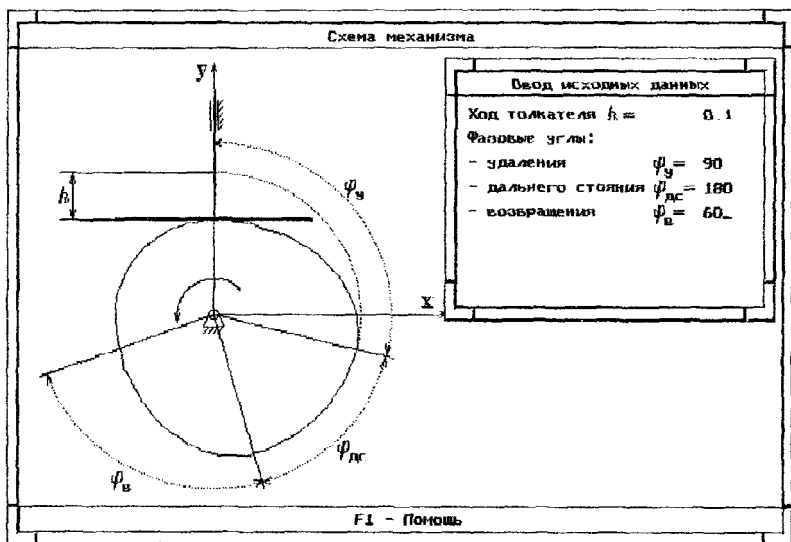


Рис. 25. Окно ввода исходных данных



Рис. 26. Окно демонстрации результатов синтеза

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА С ТАРЕЛЬЧАТЫМ ТОЛКАТЕЛЕМ

Исполнитель Чернов В. М- студент гр. 304117 11 мая 2010 г

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

Ход толкателя - 0.040 м

Закон движения на фазе удаления - ИЗМЕНЕНИЯ УСКОРЕНИЯ ПО ТРЕУГОЛЬНИКУ

Закон движения на фазе возвращения - РАВНОМЕРНО УБЫВАЮЩЕГО УСКОРЕНИЯ

Фазовый угол удаления - 90.0 градусов

Фазовый угол дальнего стояния - 120.0 градусов

Фазовый угол возвращения - 90.0 градусов

Направление вращения кулачка - против часовой стрелки

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ:

Минимальный радиус кулачка - 0.1209 м

Максимальный радиус кулачка - 0.1609 м

N	FI1	S	H2	H2P	ALF	R	XC	YC
1	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.1209	0.0000	0.1209
2	7.5	0.0001	0.0028	0.0432	8.8	0.1211	0.0186	0.1197
3	15.0	0.0010	0.0113	0.0865	20.3	0.1224	0.0425	0.1148
4	22.5	0.0033	0.0255	0.1297	34.1	0.1268	0.0711	0.1051
5	30.0	0.0077	0.0396	0.0865	47.1	0.1346	0.0986	0.0916
6	37.5	0.0135	0.0481	0.0432	57.2	0.1427	0.1200	0.0773
7	45.0	0.0200	0.0509	-0.0000	64.9	0.1499	0.1357	0.0636
8	52.5	0.0265	0.0481	-0.0432	70.6	0.1551	0.1463	0.0516
9	60.0	0.0323	0.0396	-0.0865	74.5	0.1583	0.1525	0.0423
10	67.5	0.0367	0.0255	-0.1297	76.7	0.1596	0.1553	0.0368
11	75.0	0.0390	0.0113	-0.0865	79.0	0.1603	0.1574	0.0305
12	82.5	0.0399	0.0028	-0.0432	83.5	0.1608	0.1598	0.0182
13	90.0	0.0400	0.0000	0.0000	90.0	0.1609	0.1609	-0.0000
14	210.0	0.0400	0.0000	-0.0973	210.0	0.1609	-0.0805	-0.1394
15	217.5	0.0392	-0.0117	-0.0811	213.3	0.1606	-0.0882	-0.1342
16	225.0	0.0370	-0.0212	-0.0648	217.3	0.1594	-0.0967	-0.1267
17	232.5	0.0338	-0.0286	-0.0486	222.0	0.1573	-0.1053	-0.1169
18	240.0	0.0296	-0.0340	-0.0324	227.3	0.1543	-0.1134	-0.1047
19	247.5	0.0250	-0.0371	-0.0162	233.2	0.1505	-0.1206	-0.0901
20	255.0	0.0200	-0.0382	0.0000	239.8	0.1460	-0.1262	-0.0734
21	262.5	0.0150	-0.0371	0.0162	247.2	0.1410	-0.1300	-0.0546
22	270.0	0.0104	-0.0340	0.0324	255.5	0.1356	-0.1313	-0.0340
23	277.5	0.0063	-0.0286	0.0486	264.8	0.1304	-0.1298	-0.0118
24	285.0	0.0030	-0.0212	0.0648	275.3	0.1257	-0.1252	0.0116
25	292.5	0.0008	-0.0117	0.0811	287.0	0.1223	-0.1169	0.0358
26	300.0	0.0000	0.0000	0.0973	300.0	0.1209	-0.1047	0.0605

□ Идентификаторы таблицы:

S, H2, H2P - перемещение, аналог скорости и аналог ускорения толкателя;

ALF и R - полярный угол и радиус-вектор центрального профиля кулачка;

TE - угол давления;

XC и YC - координаты профиля кулачка;

Рис. 27. Файл результатов вычислений

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВОГО МЕХАНИЗМА С ТАРЕЛЬЧАТЫМ ТОЛКАТЕЛЕМ

Исполнитель - студент гр. 224123 Смолякова А Ф 12 июня 2009

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

Ход толкателя - 0.050 м

Минимальный радиус кулачка - 0.1500 м

Закон движения на фазе удаления - СИНУСОИДАЛЬНЫЙ

Закон движения на фазе возвращения - КОСИНУСОИДАЛЬНЫЙ

Фазовый угол удаления - 90.0 градусов

Фазовый угол дальнего стояния - 60.0 градусов

Фазовый угол возвращения - 90.0 градусов

Направление вращения кулачка - против часовой стрелки

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ:

Максимальный радиус кулачка - 0.2000 м

N	FI1	S	H2	H2P	ALF	R	XC	YC
1	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0	0.1500	0.0000	0.1500
2	7.5	0.0002	0.0043	0.0637	9.1	0.1502	0.0238	0.1483
3	15.0	0.0014	0.0159	0.1103	21.0	0.1523	0.0546	0.1422
4	22.5	0.0045	0.0318	0.1273	34.1	0.1578	0.0885	0.1306
5	30.0	0.0098	0.0477	0.1103	46.6	0.1668	0.1212	0.1145
6	37.5	0.0169	0.0594	0.0637	57.1	0.1771	0.1487	0.0962
7	45.0	0.0250	0.0637	-0.0000	65.0	0.1862	0.1688	0.0787
8	52.5	0.0331	0.0594	-0.0637	70.5	0.1925	0.1815	0.0644
9	60.0	0.0402	0.0477	-0.1103	74.1	0.1961	0.1886	0.0538
10	67.5	0.0455	0.0318	-0.1273	76.7	0.1980	0.1928	0.0454
11	75.0	0.0486	0.0159	-0.1103	79.6	0.1992	0.1959	0.0360
12	82.5	0.0498	0.0043	-0.0637	83.7	0.1999	0.1987	0.0219
13	90.0	0.0500	0.0000	0.0000	90.0	0.2000	0.2000	-0.0000
14	150.0	0.0500	0.0000	-0.1000	150.0	0.2000	0.1000	-0.1732
15	157.5	0.0491	-0.0129	-0.0966	153.8	0.1996	0.0882	-0.1790
16	165.0	0.0467	-0.0250	-0.0866	157.8	0.1982	0.0750	-0.1835
17	172.5	0.0427	-0.0354	-0.0707	162.1	0.1959	0.0602	-0.1864
18	180.0	0.0375	-0.0433	-0.0500	167.0	0.1924	0.0433	-0.1875
19	187.5	0.0315	-0.0483	-0.0259	172.6	0.1878	0.0242	-0.1862
20	195.0	0.0250	-0.0500	0.0000	179.1	0.1820	0.0030	-0.1820
21	202.5	0.0185	-0.0483	0.0259	186.5	0.1753	-0.0199	-0.1742
22	210.0	0.0125	-0.0433	0.0500	195.1	0.1682	-0.0438	-0.1624
23	217.5	0.0073	-0.0354	0.0707	204.8	0.1612	-0.0677	-0.1463
24	225.0	0.0033	-0.0250	0.0866	215.7	0.1554	-0.0908	-0.1261
25	232.5	0.0009	-0.0129	0.0966	227.6	0.1514	-0.1118	-0.1021
26	240.0	0.0000	0.0000	0.1000	240.0	0.1500	-0.1299	-0.0750

□ Идентификаторы таблицы:

S, H2, H2P - перемещение, аналог скорости и аналог ускорения толкателя;

ALF и R - полярный угол и радиус-вектор центрального профиля кулачка;

TE - угол давления;

XC и YC - координаты профиля кулачка;

Рис. 28. Файл результатов вычислений

3. ПРИМЕРЫ СИНТЕЗА КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ В КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

3.1. Механизм с возвратно-поступательным движением роликового толкателя

3.1.1. Исходные данные для проектирования. Алгоритмы расчетов и расчеты для контрольных положений

Требуется спроектировать кулачковый механизм, схема которого показана на рис. 29, а исходные данные приведены в табл.3.1.1.

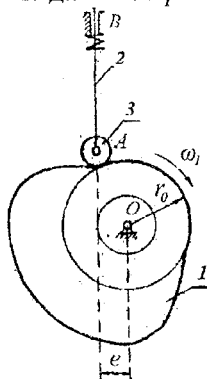


Рис. 29. Схема проектируемого механизма

Таблица 3.1.1

Ход толкателя, $h, \text{ м}$	Фазовые углы, град			Допускаемый угол давления $\theta_{\text{доп}}, \text{ град}$	$e, \text{ м}$	Законы движения толкателя	
	φ_U	$\varphi_{ДС}$	φ_V			при удалении	при возвращении
0.07	90	120	80	35	-0.02	параболический $a_1/a_2 = 1,4$	косинусоидальный

Угловая скорость вращения кулачка $\omega_1 = 30 \text{ рад/с}$.

Масса толкателя $m_T = 0,5 \text{ кг}$.

3.1.1.1. Кинематические характеристики

Переведем значения фазовых углов в радианную меру:

$$\begin{aligned}\varphi_Y^P &= \frac{\varphi_Y \cdot \pi}{180} = \frac{90 \cdot \pi}{180} = 1,57 \text{ рад}; \\ \varphi_{ДС}^P &= \frac{\varphi_{ДС} \cdot \pi}{180} = \frac{120 \cdot \pi}{180} = 2,09 \text{ рад}; \\ \varphi_B^P &= \frac{\varphi_B \cdot \pi}{180} = \frac{80 \cdot \pi}{180} = 1,40 \text{ рад}.\end{aligned}$$

Рабочий угол кулачка

$$\varphi_P^P = \varphi_Y^P + \varphi_{ДС}^P + \varphi_B^P = 5,06 \text{ рад}.$$

Так как при вычислении с помощью ЭВМ фазовые углы удаления и возвращения разделены на 12 участков каждый, вычислим приращения угла поворота кулачка (шаг) на обеих фазах:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi_Y^P &= \frac{\varphi_Y^P}{12} = \frac{1,57}{12} = 0,131 \text{ рад}; \\ \Delta\varphi_B^P &= \frac{\varphi_B^P}{12} = \frac{1,4}{12} = 0,117 \text{ рад}.\end{aligned}$$

Кинематические характеристики вычисляются по формулам из табл. 4.1. Они вычисляются с учетом номера положения i (на фазе удаления номера меняются от 1 до 13, при возвращении – от 14 до 26), входящего в позиционный коэффициент k .

В контрольном положении 3 позиционный коэффициент равен

$$k_3 = \frac{(i-1)}{12} = \frac{(3-1)}{12} = \frac{2}{12} = 0,167.$$

Поскольку на фазе удаления толкатель движется по параболическому закону кинематические характеристики определяются в следующем порядке.

Величина угла φ_{y1} , соответствующая точке сопряжения парабол на графике перемещения толкателя, вычисляется по формуле

$$\varphi_{y1} = \frac{\varphi_y}{1 + a_1/a_2}. \quad (1)$$

$$\varphi_{y1} = \frac{\varphi_y}{1 + a_1/a_2} = \frac{1,57}{1 + 1,4} = 0,654 \text{ рад};$$

$$k_{y1} = \frac{\varphi_{y1}}{\varphi_y} = \frac{0,654}{1,57} = 0,417;$$

Так как $k_3 < k_{y1}$, то перемещение толкателя

$$S_{T3} = h \frac{k_3^2}{k_{y1}} = 0,07 \cdot \frac{0,167^2}{0,417} = 0,0047 \text{ м.}$$

Аналог скорости движения толкателя

$$S'_{T3} = \frac{2k_3 \cdot h}{k_{y1} \cdot \varphi_y} = \frac{2 \cdot 0,167 \cdot 0,07}{0,417 \cdot 1,57} = 0,0357 \text{ м.}$$

Аналог ускорения

$$S''_{T3} = \frac{2h}{k_{y1} \cdot \varphi_y^2} = \frac{2 \cdot 0,07}{0,417 \cdot 1,57^2} = 0,1362 \text{ м.}$$

Кинематические характеристики получены для фазового угла

$$\varphi_3 = (i-1)\Delta\varphi_y = (3-1) \cdot 0,131 = 0,262 \text{ рад.}$$

На фазе возвращения кинематические характеристики вычисляются по формулам из табл. 7, в которые необходимо внести изменения, указанные в разделе 4.

Тогда, приняв за контрольное положение 23, получим

$$k_{23} = \frac{(26-i)}{12} = \frac{(26-23)}{12} = \frac{3}{12} = 0,25;$$

$$S_{T23} = \frac{h}{2} [1 - \cos(\pi \cdot k_{23})] = \frac{0,07}{2} [1 - \cos(\pi \cdot 0,25)] = 0,0103 \text{ м};$$

$$S'_{T23} = -\frac{\pi h}{2\varphi_B} \cdot \sin(\pi \cdot k_{23}) = -\frac{\pi \cdot 0,07}{2 \cdot 1,4} \cdot \sin(\pi \cdot 0,25) = -0,0555 \text{ м};$$

$$S''_{T23} = \frac{\pi^2 h}{2\varphi_B^2} \cdot \cos(\pi \cdot k_{23}) = \frac{\pi^2 \cdot 0,07}{2 \cdot 1,4^2} \cdot \cos(\pi \cdot 0,25) = 0,1246 \text{ м}.$$

Кинематические характеристики получены для фазового угла

$$\begin{aligned} \varphi_{23} &= \varphi_{\text{У}}^{\text{Р}} + \varphi_{\text{ДС}}^{\text{Р}} + (i-14)\Delta\varphi_{\text{В}} = \varphi_{\text{У}}^{\text{Р}} + \varphi_{\text{ДС}}^{\text{Р}} + (23-14)\Delta\varphi_{\text{В}} = \\ &= 1,57 + 2,09 + (23-14) \cdot 0,117 = 4,713 \text{ рад}. \end{aligned}$$

3.1.1.2. Основные размеры кулачкового механизма

Основные размеры механизма определяются из условия ограничения угла давления. При этом приближенно можно принять, что угол давления имеет наибольшую величину в тех положениях механизма, в которых аналог скорости толкателя достигает экстремальных значений на фазах удаления и возвращения. В ряде случаев это может приводить к некоторому превышению максимально допустимой величины угла давления $\theta_{\text{доп}}$ в отдельных положениях.

В качестве расчетной модели принимаем схему механизма (рис. 30, а), в которой кулачок вращается против часовой стрелки. Для определения минимального радиуса кулачка строим упрощенную совмещенную диаграмму $S_{\text{T}} - S'_{\text{T}}$ (рис. 30, б). По оси S_{T} от точки A_1 откладываем отрезок $[A_1A]$, соответствующий перемещению толкателя $S_{\text{А}}$, при котором аналог скорости на фазе удаления имеет наибольшее значение $S'_{\text{У}}{}^{\text{I}}_{\text{max}}$. От точки A влево откладываем

ем отрезок $[Aa]$, соответствующий $S'_{y_{\max}}$. Для фазы возвращения, аналогично, откладываем отрезок $[A_1B]$, соответствующий перемещению толкателя S_T , при котором аналог скорости на фазе возвращения максимален $S'_{B_{\max}}$. От точки B вправо откладываем отрезок $[Bb]$, соответствующий $S'_{B_{\max}}$. Через точки a и b под углами $\theta_{\text{доп}}$ проводим лучи до пересечения и образования заштрихованной зоны. На расстоянии e слева от оси S_T проводим линию, параллельную S_T , до пересечения с лучами, получая точки O_y и O_B , определяющие величину отрезков S_0^y и S_0^B . В качестве S_0 (рис. 30, б) принимаем наибольшую из двух величин:

$$S_0 = \max(S_0^y, S_0^B).$$

Тогда минимальный радиус кулачка равен

$$r_0 = \sqrt{S_0^2 + e^2}. \quad (2)$$

Из рис. 30, б следует, что отрезки S_0^y и S_0^B определяются как

$$S_0^y = \frac{|S'_{y_{\max}}| - k \cdot e}{\text{tg } \theta_{\text{доп}}} - S_A; \quad (3)$$

$$S_0^B = \frac{|S'_{B_{\max}}| + k \cdot e}{\text{tg } \theta_{\text{доп}}} - S_B, \quad (4)$$

где k – коэффициент, учитывающий направление вращения кулачка ($k = +1$ при вращении против часовой стрелки, $k = -1$ при вращении по часовой стрелке).

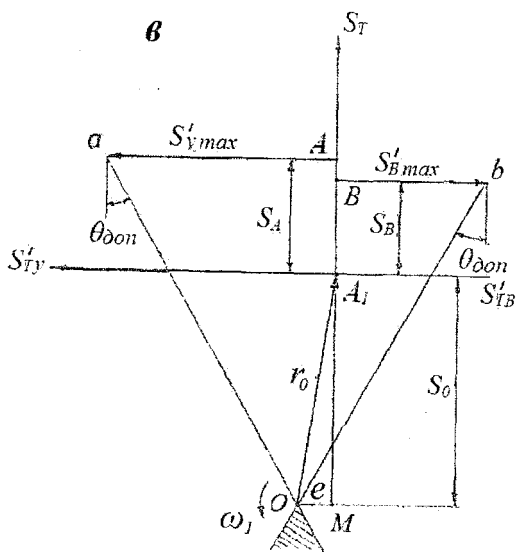
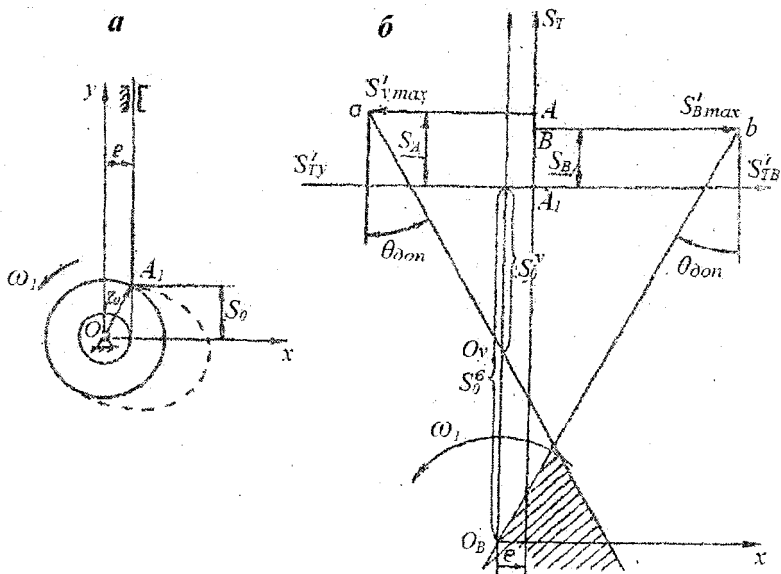


Рис. 30. Упрощенная совмещенная диаграмма

Вычисляем параметры, необходимые для подстановки в формулы (3) и (4).

Для фазы удаления S_A равна S_T при $k = k_{y1}$, поэтому

$$S_A = \frac{k_{y1}^2 \cdot h}{k_{y1}} = h \cdot k_{y1} = 0,07 \cdot 0,417 = 0,0292 \text{ м.}$$

Для фазы возвращения S_B равна S_T при $k = 0,5$ (в середине фазы), поэтому

$$S_B = \frac{h}{2} [1 - \cos(\pi \cdot k)] = \frac{0,07}{2} [1 - \cos(\pi \cdot 0,5)] = 0,035 \text{ м.}$$

Используя табл. 7, определяем максимальные значения аналогов скорости на фазах удаления и возвращения:

$$S'_{y \max} = \frac{2h}{\varphi_y^p} = \frac{2 \cdot 0,07}{1,57} = 0,0891 \text{ м;}$$

$$S'_{B \max} = -\frac{\pi \cdot h}{2 \cdot \varphi_B^p} = -\frac{\pi \cdot 0,07}{2 \cdot 1,4} = -0,0785 \text{ м.}$$

Тогда

$$S_0^y = \frac{S'_{y \max} - k \cdot e}{\operatorname{tg} \theta_{\text{доп}}} - S_A = \frac{0,0891 - (-1)(-0,02)}{0,7} - 0,0292 = 0,0695 \text{ м;}$$

$$S_0^B = \frac{|S'_{B \max}| + k \cdot e}{\operatorname{tg} \theta_{\text{доп}}} - S_B = \frac{0,0785 + (-1)(-0,02)}{0,7} - 0,035 = 0,106 \text{ м.}$$

Получаем $S_0 = \max(0,0695; 0,106) = 0,106 \text{ м.}$

В этом случае

$$r_0 = \sqrt{S_0^2 + e^2} = \sqrt{0,106^2 + 0,02^2} = 0,1079 \text{ м.}$$

Примечание. 1. Приведенная методика определения минимального радиуса кулачка пригодна и для случая, когда по условию задания смещение линии движения толкателя $e = 0$.

2. Если величина эксцентриситета e не задана, то основные размеры механизма определяются следующим образом (рис. 30, в):

$$e = 0,5k \left[S'_{y_{\max}} - \left| S'_{B_{\max}} \right| - (S_A - S_B) \operatorname{tg} \theta_{\text{дон}} \right],$$

$$S_0 = 0,5 \left(\frac{S'_{y_{\max}} + \left| S'_{B_{\max}} \right|}{\operatorname{tg} \theta_{\text{дон}}} - S_A - S_B \right),$$

$$r_0 = \sqrt{S_0^2 + e^2}.$$

В случае если $e > 0$, толкатель должен быть расположен справа от центра вращения кулачка. Если же $e < 0$, толкатель должен быть расположен слева.

3.1.1.3. Полярные координаты центрального профиля

Рассчитаем полярные координаты центрального профиля кулачка для контрольных положений 3 и 23. Расчетная схема для определения координат на фазе удаления приведена на рис. 31, а.

Радиус-вектор профиля

$$r_i = \sqrt{(S_0 + S_{Ti})^2 + e^2}; \quad (3.1.5)$$

$$r_3 = \sqrt{(S_0 + S_{T3})^2 + e^2} = \sqrt{(0,106 + 0,0047)^2 + 0,02^2} = 0,1125 \text{ м.}$$

Полярный угол

$$\alpha_i = \varphi_i - k\beta_i, \quad (3.1.6)$$

где k - коэффициент, учитывающий направление вращения кулачка (см. 3.1.3, 3.1.4);

$$\beta_i = \operatorname{arctg} \frac{S_0 + S_{Ti}}{e} - \operatorname{arctg} \frac{S_0}{e}. \quad (7)$$

В формуле (7) учитывается знак e , поэтому угол β_i может быть как положительным, так и отрицательным. Тогда

$$\beta_3 = \operatorname{arctg} \frac{0,106 + 0,0047}{-0,02} - \operatorname{arctg} \frac{0,106}{-0,02} = -79,75894 + 79,31509 = -0,44 \text{ град}$$

$$\alpha_3 = \varphi_3 - k \cdot \beta_3 = \frac{0,262 \cdot 180}{\pi} - (-1)(-0,44) = 14,58 \text{ град.}$$

Расчетная схема для определения координат на фазе возвращения приведена на рис. 31, б.

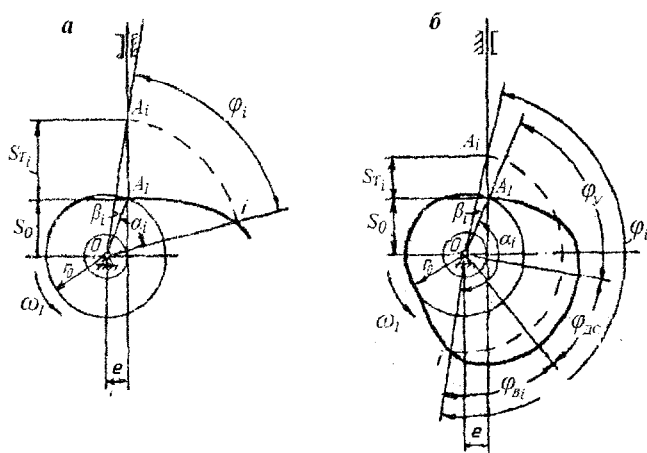


Рис. 31

Радиус-вектор профиля определяется по формуле (5)

$$r_{23} = \sqrt{(S_0 + S_{T23})^2 + e^2} = \sqrt{(0,106 + 0,0103)^2 + 0,02^2} = 0,118 \text{ м.}$$

Полярный угол α_{23} и β_{23} определяются по формулам (6) и (7):

$$\beta_{23} = \operatorname{arctg} \frac{0,106 + 0,0103}{-0,02} - \operatorname{arctg} \frac{0,106}{-0,02} = -80,24234 + 79,31509 = -0,93 \text{ град}$$

$$\alpha_{23} = \varphi_{23} - k \cdot \beta_{23} = \frac{180 \cdot 4,713}{\pi} - (-1)(-0,93) = 269,2 \text{ град.}$$

3.1.2. Обработка результатов вычислений на ЭВМ и их анализ

Файл результатов вычислений приведен на рис. 16. Дальнейшая обработка результатов выполняется в соответствии с пунктами 3.1.2.1 – 3.1.2.5. Пример построений, выполняемых на листе, показан на рис. 32.

3.1.2.1. Построение графиков кинематических характеристик

Для выбора масштабного коэффициента μ_φ по оси абсцисс примем, что рабочий угол кулачка $\varphi_P = 290^\circ$ изображается отрезком $[1 - 26] = 193,3$ мм, тогда

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_P}{[1 - 26]} = \frac{290}{193,3} = 1,5 \text{ град/мм.}$$

Отрезки, соответствующие фазовым углам, равны

$$[1 - 13] = \frac{\varphi_U}{\mu_\varphi} = \frac{90}{1,5} = 60 \text{ мм;}$$

$$[13 - 14] = \frac{\varphi_{ДС}}{\mu_\varphi} = \frac{120}{1,5} = 80 \text{ мм;}$$

$$[14 - 26] = \frac{\varphi_B}{\mu_\varphi} = \frac{80}{1,5} = 53,3 \text{ мм.}$$

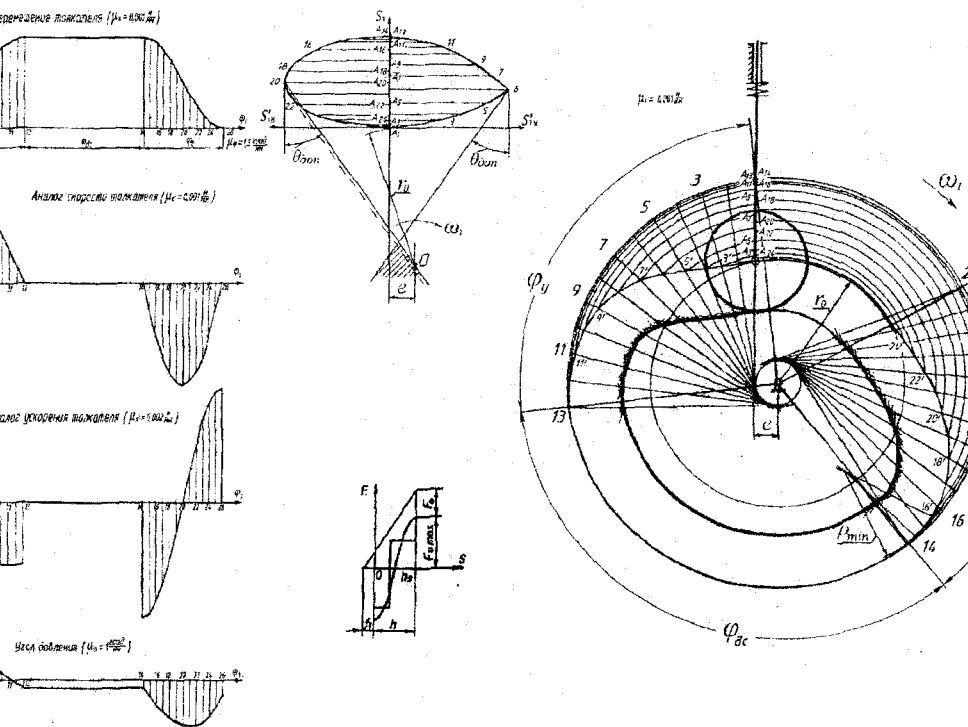


Рис. 32. Пример выполнения графических работ

Каждый из отрезков [1-13], [14-26] делим на 12 равных участков, получая точки 2, 3, 4 и т.д.

Учитывая, что графики $S_T(\varphi_1)$ и $S'_T(\varphi_1)$ должны быть построены в одинаковом масштабе, примем $\mu_S = \mu_{S'} = 0,001$ м/мм.

Ординаты графиков вычисляются как

$$y_{Si} = \frac{S_{Ti}}{\mu_S}; \quad y'_{Si} = \frac{S'_{Ti}}{\mu_{S'}}$$

и сводятся в табл. 2.

Поскольку экстремальные значения аналога ускорений значительно больше перемещения и аналога скорости, примем $\mu_{S''} = 0,002$ м/мм. Ординаты графика, вычисленные как

$$y''_{Si} = \frac{S''_{Ti}}{\mu_{S''}},$$

приведены в табл. 2.

3.1.2.2. Построение графика угла давления

Изображая максимальное значение угла давления (см. положение 22) $\theta_{\max} = 35,5$ град отрезком $y_{\theta\max} = 35,5$ мм, получаем

$$\mu_{\theta} = \frac{\theta_{\max}}{y_{\theta\max}} = \frac{35,5}{35,5} = 1 \text{ град/мм.}$$

Ординаты графика, вычисленные как

$$y_{\theta i} = \theta_i / \mu_{\theta},$$

представлены в табл. 2.

Таблица 2

№ пол.	$y_{S_{Ti}}$,	$y_{S'_{Ti}}$,	$y_{S''_{Ti}}$,	y_{θ_i} ,
	мм	мм	мм	мм
1	0	0	68,1	-10,7
2	1,2	17,8	68,1	-1,2
3	4,7	35,7	68,1	8
4	10,5	53,5	68,1	16
5	18,7	71,3	68,1	22,4
6	29,2	89,1	-48,6	27,1
7	40	76,4	-48,6	21,1
8	49,2	63,7	-48,6	15,7
9	56,7	50,9	-48,6	10,8
10	62,5	38,2	-48,6	6,2
11	66,7	25,5	-48,6	1,8
12	69,2	12,7	-48,6	-2,4
13	70	0	-48,6	-6,5
14	70	0	-88,6	-6,5
15	68,8	-20,4	-85,5	-13
16	65,3	-39,4	-76,7	-19,1
17	59,7	-55,7	-62,6	-24,5
18	52,5	-68,2	-44,3	-29,1
19	44,1	-76,1	-22,9	-32,6
20	35	-78,7	0	-35
21	25,9	-76,1	22,9	-36,1
22	17,5	-68,2	44,3	-35,5
23	10,3	-55,7	62,6	-33,1
24	4,7	-39,4	76,7	-28,2
25	1,2	-20,4	85,5	-20,6
26	0	0	88,6	-10,7

3.1.2.3. Построение полной и упрощенной совмещенных диаграмм $S_T - S'_T$

Используя график $S_T(\varphi_1)$, по оси ординат откладываем перемещения толкателя, получая точки A_1, A_2, \dots, A_{26} . Из них откладываем отрезки, изображающие аналоги скоростей на графике $S'_T(\varphi_1)$.

Учитывая, что кулачок вращается по часовой стрелке, аналоги скорости на фазе удаления $A_2 - 2, A_3 - 3$ и т.д. откладываем вправо от оси S_T , а для фазы возвращения – влево. Концы отрезков соединяем плавной кривой, касательно к которой под углами $\theta_{\text{доп}}$ к оси S_T проводим лучи до пересечения их и получения зоны возможных положений центров вращения кулачка (заштрихованная зона). Поскольку требуется спроектировать механизм с эксцентриситетом $e = -0,02$ м, в направлении S'_{TY} на расстоянии $|e|/\mu_S$ мм проводим линию, параллельную оси S_T , до пересечения с одним из лучей, образующих заштрихованную зону, и получаем точку O' , являющуюся центром вращения кулачка минимальных размеров.

В соответствии с алгоритмом программы для определения положения центра вращения кулачка использована упрощенная совмещенная диаграмма, на которой нанесены только максимальные значения аналогов скорости (в положениях 6 и 20), поэтому под углами $\theta_{\text{доп}}$ проводятся лучи из точек 6 и 20. В этом случае центр вращения кулачка оказывается в точке O и минимальный радиус кулачка равен

$$r_0 = [OA_1] \cdot \mu_S = 108 \cdot 0,001 = 0,108 \text{ м.}$$

Сравнивая полученное значение r_0 с приведенным в файле результатом ($r_0 = 0,1079$ м), видим почти полное их совпадение.

3.1.2.4. Построение центрального профиля кулачка

Используем графический способ построения центрального профиля кулачка по точкам, применяя метод обращения движения. В соответствии с этим методом кулачок в обращенном движении остается неподвижным, а толкатель обкатывается по кулачку, вращаясь в направлении, противоположном вращению кулачка.

Выбрав положение центра вращения кулачка, в масштабе μ_S проводим окружности радиусами r_0 и e . Поскольку смещение e имеет отрицательное значение, линию движения толкателя проводим слева от центра O касательно к окружности радиуса e . Нижнее положение толкателя (точка A_1) характеризуется пересечением линии движения толкателя с окружностью радиуса r_0 . По линии движения толкателя от точки A_1 строим разметку хода толкателя в соответствии с графиком $S_T(\varphi_1)$, получаем точки, A_2, A_3, \dots, A_{13} для фазы удаления. От луча OA_{13} в направлении, противоположном действительному вращению кулачка, откладываем фазовые углы поворота кулачка $\varphi_U, \varphi_{ДС}, \varphi_B$. Дугу, соответствующую углу φ_U , делим на 12 равных частей и получаем точки 1, 2, 3, ..., 13, через которые проводим касательные к окружности радиуса e . Эти касательные являются положениями толкателя в обращенном движении. Затем радиусами $OA_1, OA_2, OA_3, \dots, OA_{13}$ проводим дуги до пересечения с соответствующими касательными в точках $1', 2', 3', \dots, 13'$, которые являются положениями центра ролика в обращенном движении. Соединяя полученные точки плавной кривой, получаем центральный профиль кулачка для фазы удаления.

Для фазы возвращения все построения выполняются аналогичным образом. Профиль дальнего стояния очерчивается по дуге окружности радиуса $r_{\max} = OA_{13}$, а профиль ближнего стояния – по дуге окружности r_0 .

3.1.2.5. Определение радиуса ролика и построение действительного профиля кулачка

Радиус ролика выбирается по двум условиям:

1) $r_p \leq 0,4 \cdot r_0$ (конструктивное условие);

2) $r_p \leq 0,7 \cdot \rho_{\min}$ (условие отсутствия заострения действительного профиля кулачка), где ρ_{\min} – минимальный радиус кривизны выпуклых участков центрального профиля кулачка. Радиус ρ_{\min} определяется с помощью следующего построения. В зоне наибольшей кривизны центрального профиля отмечаем точку b . Вблизи от нее на равном расстоянии отмечаем еще две точки a и c , соединяем их с первой точкой хордами. Через середины полученных хорд проводим к ним перпендикуляры, пересекающиеся в точке, которая является центром окружности, проходящей через все три точки. Радиус этой окружности приближенно можно принять за ρ_{\min} .

По чертежу получаем

$$\rho_{\min} = [ka] \cdot \mu_S = 83 \cdot 0,001 = 0,083 \text{ м.}$$

По расчету на ЭВМ (рис. 16) $\rho_{\min} = 0,0831 \text{ м.}$

Тогда

$$r_p \leq 0,4 \cdot 0,1079 \text{ м или } r_p \leq 0,0432 \text{ м;}$$

$$r_p \leq 0,7 \cdot 0,0831 \text{ м или } r_p \leq 0,0582 \text{ м.}$$

Принимаем радиус ролика равным 0,0432 м.

Действительный профиль кулачка строим в виде эквидистантной кривой по отношению к центральному профилю. Для ее построения из точек центрального профиля описываем ряд дуг радиусом r_p с учетом масштабного коэффициента μ_S . Огибающая всех этих дуг и представляет собой действительный профиль кулачка.

3.1.2.6. Определение жесткости замыкающей пружины

Определение жесткости замыкающей пружины производится из условия, что наибольшая сила упругости пружины должна быть больше максимальной силы инерции толкателя в области, где возможен отрыв толкателя от поверхности кулачка [2]:

$$C_{\text{ПР}} = \frac{F_0 + F_{\text{Имакс}}}{f_1 + h_{\text{Э}}},$$

где $h_{\text{Э}}$ - перемещение толкателя, соответствующее максимальному значению силы инерции $F_{\text{Имакс}}$, в нашем случае $h_{\text{Э}} = h$;

f_1 - предварительное натяжение пружины, примем равным $0,2 \cdot h$;

$F_{\text{Имакс}}$ - максимальная сила инерции, равна

$$F_{\text{Имакс}} = -m_{\text{T}} \cdot S''_{\text{Вмакс}} \cdot \omega_1^2;$$

F_0 - минимальная реакция, примем $F_0 = 0,5 \cdot F_{\text{Имакс}}$,

По расчету на ЭВМ (рис. 16) $S''_{\text{Вмакс}} = 0,1772 \text{ м}$.

Тогда

$$C_{\text{ПР}} = \frac{1,5 \cdot F_{\text{Имакс}}}{0,2 \cdot h + h} = \frac{1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,1772 \cdot 30^2}{0,2 \cdot 0,07 + 0,07} = 1424 \text{ Н}.$$

3.2. Механизм с коромысловым толкателем

3.2.1. Исходные данные для проектирования. Алгоритмы расчетов и расчеты для контрольных положений

Требуется спроектировать кулачковый механизм, схема которого показана на рис. 33, а исходные данные приведены в табл. 3.

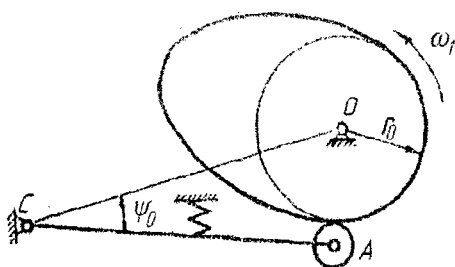


Рис. 33. Схема проектируемого механизма

Таблица 3

Угловой ход коромысла Ψ_K , град	Длина коромысла l_K , м	Фазовые углы, град			Допускаемый угол давления $\theta_{\text{доп}}$, град	Законы движения толкателя	
		Φ_U	$\Phi_{ДС}$	Φ_B		при удалении	при возвращении
25	0,16	60	10	60	40	синусоидальный	параболический $a_1/a_2 = 1$

3.2.1.1. Кинематические характеристики

Переведем значения фазовых углов и угла качания коромысла в радианную меру:

$$\Phi_U^P = \frac{\Phi_U \cdot \pi}{180} = \frac{60 \cdot \pi}{180} = 1,047 \text{ рад};$$

$$\Phi_{ДС}^P = \frac{\Phi_{ДС} \cdot \pi}{180} = \frac{10 \cdot \pi}{180} = 0,174 \text{ рад};$$

$$\Phi_B^P = \frac{\Phi_B \cdot \pi}{180} = \frac{60 \cdot \pi}{180} = 1,047 \text{ рад};$$

$$\Psi_K^P = \frac{\Psi_K \cdot \pi}{180} = \frac{25 \cdot \pi}{180} = 0,436 \text{ рад}.$$

Рабочий угол кулачка

$$\varphi_P^P = \varphi_Y^P + \varphi_{ДС}^P + \varphi_B^P = 1,047 + 0,174 + 1,047 = 2,268 \text{ рад.}$$

Определим дуговой ход центра ролика:

$$h = \psi_K^P \cdot l_K = 0,436 \cdot 0,16 = 0,07 \text{ м.}$$

Так как при вычислении с помощью ЭВМ фазовые углы удаления и возвращения разделены на 12 участков каждый, вычислим приращение угла поворота кулачка (шаг) на обеих фазах:

$$\Delta\varphi_Y = \frac{\varphi_Y^P}{12} = \frac{1,047}{12} = 0,087 \text{ рад;}$$

$$\Delta\varphi_B = \frac{\varphi_B^P}{12} = \frac{1,047}{12} = 0,087 \text{ рад.}$$

Кинематические характеристики вычисляются по формулам из табл. 4.1. Они вычисляются с учетом номера положения i (на фазе удаления номера меняются от 1 до 13, при возвращении – от 14 до 26), входящего в позиционный коэффициент k .

В контрольном положении 3 позиционный коэффициент равен

$$k_3 = \frac{(i-1)}{12} = \frac{(3-1)}{12} = \frac{2}{12} = 0,167.$$

Поскольку на фазе удаления толкатель движется по синусоидальному закону, перемещение толкателя

$$S_{ТЗ} = h \cdot \left[k_3 - \frac{1}{2\pi} \sin(2\pi \cdot k_3) \right] = 0,07 \cdot \left[0,167 - \frac{1}{2\pi} \sin(2\pi \cdot 0,167) \right] = 0,002 \text{ м.}$$

Аналог скорости движения толкателя

$$S'_{T3} = \frac{h}{\varphi_y} [1 - \cos(2\pi \cdot k_3)] = \frac{0,07}{1,047} \cdot [1 - \cos(2\pi \cdot 0,167)] = 0,0336 \text{ м.}$$

Аналог ускорения

$$S''_{T3} = \frac{2\pi \cdot h}{\varphi_y^2} \sin(2\pi \cdot k_3) = \frac{2\pi \cdot 0,07}{1,047^2} \sin(2\pi \cdot 0,167) = 0,3479 \text{ м.}$$

Кинематические характеристики получены для фазового угла

$$\varphi_3 = (i - 1) \Delta\varphi_y = (3 - 1) \cdot 0,087 = 0,174 \text{ рад.}$$

На фазе возвращения кинематические характеристики вычисляются по формулам из табл. 7, в которые необходимо внести изменения, указанные в разделе 4.

Тогда, приняв за контрольное положение 22, получим

$$k_{22} = \frac{(26 - i)}{12} = \frac{(26 - 22)}{12} = \frac{4}{12} = 0,333.$$

Поскольку на фазе возвращения толкатель движется по параболическому закону, кинематические характеристики определяются в следующем порядке.

$$\varphi_{B1} = \frac{\varphi_B}{1 + a_1/a_2} = \frac{1,047}{1 + 1} = 0,5235 \text{ рад;}$$

$$k_{B1} = \frac{\varphi_{B1}}{\varphi_B} = \frac{0,5235}{1,047} = 0,5;$$

Так как $k_{22} < k_{B1}$, то перемещение толкателя

$$S_{T22} = h \cdot \frac{k_{22}^2}{k_{B1}} = 0,07 \cdot \frac{0,333^2}{0,5} = 0,0155 \text{ м.}$$

Аналог скорости движения толкателя

$$S'_{T22} = -\frac{2k_{22} \cdot h}{k_{B1} \cdot \varphi_B} = -\frac{2 \cdot 0,333 \cdot 0,07}{0,5 \cdot 1,047} = -0,0891 \text{ м.}$$

Аналог ускорения

$$S''_{T22} = \frac{2h}{k_{B1} \cdot \varphi_B^2} = \frac{2 \cdot 0,07}{0,5 \cdot 1,047^2} = 0,2554 \text{ м.}$$

Кинематические характеристики получены для фазового угла

$$\begin{aligned} \varphi_{22} &= \varphi_{У}^P + \varphi_{ДС}^P + (i-14) \Delta \varphi_B = \varphi_{У}^P + \varphi_{ДС}^P + (22-14) \Delta \varphi_B = \\ &= 1,047 + 0,174 + (22-14) \cdot 0,087 = 1,917 \text{ рад.} \end{aligned}$$

3.2.1.2. Основные размеры кулачкового механизма

Основными размерами данного механизма (рис. 33) являются: минимальный радиус центрального профиля кулачка r_0 , межосевое расстояние $a = l_{OC}$ и угол ψ_0 , определяющий положение коромысла в начале фазы удаления относительно межосевой линии. Их определение производят, используя упрощенную совмещенную диаграмму $S_T - S'_T$ (рис. 34). Для ее построения вычисляем углы ψ_A и ψ_B , при которых аналоги скоростей имеют максимальное значение $S'_{У\max}$ и $S'_{B\max}$.

Изображаем горизонтально коромысло отрезком CA_1 в начальном положении и под углами ψ_A и ψ_B (положения CA и CB). На линии коромысла в направлении ω_1 откладываем отрезок $[Aa]$, соответствующий $S'_{У\max}$. Аналогично, из точки B противоположно ω_1 откладываем отрезок $[Bb]$, соответствующий

$S'_{B\max}$. Из точек a и b проводим перпендикуляры к линии коромысла и относительно их под углами $\theta_{\text{доп}}$ - лучи до пересечения (точка O) и образования заштрихованной зоны.

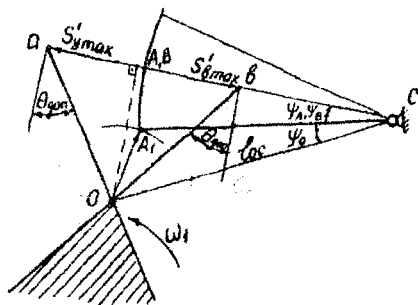


Рис. 34

Из условия ограничения угла давления на фазах удаления и возвращения основные размеры механизма определяются как

$$\psi_0 = \arctg \frac{(k S'_{y\max} + l_K) \cos(\theta_{\text{доп}} + k \psi_B) - (l_K - k |S'_{B\max}|) \cos(\theta_{\text{доп}} - k \psi_A)}{(S'_{y\max} + k l_K) \sin(\theta_{\text{доп}} + k \psi_B) + (k l_K - |S'_{B\max}|) \sin(\theta_{\text{доп}} - k \psi_A)}$$

$$a = \frac{S'_{y\max} + k l_K}{\text{tg } \theta_{\text{доп}} \cdot \sin(\psi_0 + \psi_A) + k \cos(\psi_0 + \psi_A)}, \quad (8)$$

$$r_0 = \sqrt{a^2 + l_K^2 - 2 \cdot a \cdot l_K \cdot \cos \psi_0}, \quad (9)$$

где ψ_0 - угол, определяющий положение толкателя в начале фазы удаления относительно межосевой линии OC ;

ψ_A и ψ_B - угловое перемещение толкателя соответственно при

$S'_y = S'_{y\max}$ и $S'_B = S'_{B\max}$; для симметричных законов движения

$$\text{толкателя } \psi_A = \psi_B = \frac{\psi_K}{2};$$

$k = +1$ при вращении кулачка против часовой стрелки; $k = -1$ при вращении кулачка по часовой стрелке.

Полученные зависимости используются при геометрическом (кинематическом) замыкании высшей пары кулачок - толкатель.

Вычисляем параметры, необходимые для подстановки в формулы (8) и (9).

На фазе удаления для синусоидального закона движения

$$\psi_A = \frac{\psi_K}{2} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ град.}$$

На фазе возвращения для параболического симметричного закона движения

$$\psi_B = \frac{\psi_K}{2} = \frac{25}{2} = 12,5 \text{ град.}$$

Используя табл. 4.1, определяем $S'_{y_{\max}}$ и $S'_{B_{\max}}$, соответствующие углам ψ_A и ψ_B :

$$S'_{y_{\max}} = \frac{2h}{\varphi_y^p} = \frac{2 \cdot 0,07}{1,047} = 0,1333 \text{ м,}$$

$$S'_{B_{\max}} = -\frac{2h}{\varphi_B^p} = -\frac{2 \cdot 0,07}{1,047} = -0,1333 \text{ м.}$$

$$\begin{aligned} \psi_0 &= \text{arctg} \frac{(k S'_{y_{\max}} + l_K) \cos(\theta_{\text{доп}} + k \psi_B) - (l_K - k |S'_{B_{\max}}|) \cos(\theta_{\text{доп}} - k \psi_A)}{(S'_{y_{\max}} + k l_K) \sin(\theta_{\text{доп}} + k \psi_B) + (k l_K - |S'_{B_{\max}}|) \sin(\theta_{\text{доп}} - k \psi_A)} = \\ &= \text{arctg} \frac{(1 \cdot 0,1333 + 0,16) \cos(40 + 1 \cdot 12,5) - (0,16 - 1 \cdot 0,1333) \cos(40 - 1 \cdot 12,5)}{(0,1333 + 1 \cdot 0,16) \sin(40 + 1 \cdot 12,5) + (1 \cdot 0,16 - 0,1333) \sin(40 - 1 \cdot 12,5)} = \\ &= 32,29 \text{ град;} \end{aligned}$$

в радианах $\psi_0^P = \frac{\psi_0 \cdot \pi}{180} = \frac{32,29 \cdot \pi}{180} = 0,5636$ рад.

$$a = \frac{S'_{y \max} + k l_K}{\operatorname{tg} \theta_{\text{доп}} \cdot \sin(\psi_0 + \psi_A) + k \cos(\psi_0 + \psi_A)} =$$

$$= \frac{0,1333 + 1 \cdot 0,16}{\operatorname{tg} 40 \sin(32,29 + 12,5) + 1 \cdot \cos(32,29 + 12,5)} = 0,2255 \text{ м.}$$

$$r_0 = \sqrt{a^2 + l_K^2 - 2a \cdot l_K \cdot \cos \psi_0} =$$

$$= \sqrt{0,2255^2 + 0,16^2 - 2 \cdot 0,2255 \cdot 0,16 \cdot \cos 32,29} = 0,1243 \text{ м.}$$

3.2.1.3. Полярные координаты центрального профиля

Рассчитаем полярные координаты центрального профиля кулачка для контрольных положений 3 и 22. Расчетная схема для определения координат на фазе удаления приведена на рис. 35, а.

Радиус-вектор профиля

$$r_i = \sqrt{a^2 + l_K^2 - 2a \cdot l_K \cdot \cos(\psi_0 + \psi_i)}. \quad (10)$$

Предварительно определяем угол подъема коромысла в положении 3:

$$\psi_3^P = \frac{S_{ГЗ}}{l_K} = \frac{0,002}{0,16} = 0,0125 \text{ рад,}$$

$$r_3 = \sqrt{a^2 + l_K^2 - 2 \cdot a \cdot l_K \cdot \cos(\psi_0^P + \psi_3^P)} =$$

$$= \sqrt{0,2255^2 + 0,16^2 - 2 \cdot 0,2255 \cdot 0,16 \cdot \cos(0,5636 + 0,0125)} = 0,1263 \text{ м.}$$

Полярный угол

$$\alpha_i = \varphi_i - k \beta_i, \quad (11)$$

где k - коэффициент, учитывающий направление вращения кулачка;

$$\beta_i = \arcsin \frac{l_K \cdot \sin(\psi_0 + \psi_i)}{r_i} - \arcsin \frac{l_K \cdot \sin \psi_0}{r_0} \quad (12)$$

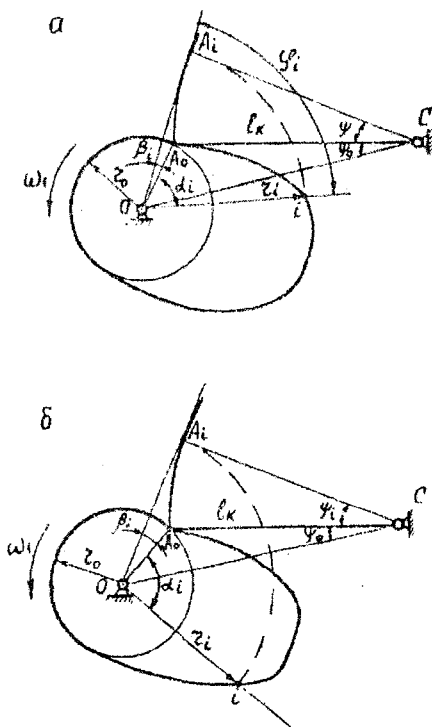


Рис. 35

$$\begin{aligned} \text{Тогда } \beta_3 &= \arcsin \frac{l_K \cdot \sin(\psi_0^P + \psi_3^P)}{r_3} - \arcsin \frac{l_K \cdot \sin \psi_0^P}{r_0} = \\ &= \arcsin \frac{0,16 \cdot \sin(0,5636 + 0,0125)}{0,1263} - \arcsin \frac{0,16 \cdot \sin 0,5636}{0,1243} = \\ &= 43,639 - 43,446 = 0,193 \text{ град.} \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = \varphi_3 - k \beta_3 = \frac{0,174 \cdot 180}{\pi} - 1 \cdot 0,193 = 9,776 \text{ град.}$$

Расчетная схема определения координат на фазе возвращения приведена на рис.35, б.

Определяем угол подъема коромысла в положении 22:

$$\psi_{22}^P = \frac{S_{Г22}}{l_K} = \frac{0,0155}{0,16} = 0,0969 \text{ рад.}$$

Радиус-вектор профиля определяется по формуле (10)

$$\begin{aligned} r_{22} &= \sqrt{a^2 + l_K^2 - 2a \cdot l_K \cdot \cos(\psi_0^P + \psi_{22}^P)} = \\ &= \sqrt{0,2255^2 + 0,16^2 - 2 \cdot 0,2255 \cdot 0,16 \cdot \cos(0,5636 + 0,0969)} = 0,1396 \text{ м.} \end{aligned}$$

Угол β_i определяется по формуле (12)

$$\begin{aligned} \beta_{22} &= \arcsin \frac{l_K \cdot \sin(\psi_0^P + \psi_{22}^P)}{r_{22}} - \arcsin \frac{l_K \cdot \sin \psi_0^P}{r_0} = \\ &= \arcsin \frac{0,16 \cdot \sin(0,5636 + 0,0969)}{0,1396} - \arcsin \frac{0,16 \cdot \sin 0,5636}{0,1243} = \\ &= 44,682 - 43,446 = 1,236 \text{ град.} \end{aligned}$$

Полярный угол равен

$$\alpha_{22} = \varphi_{22} - k \beta_{22} = \frac{1,917 \cdot 180}{\pi} - 1 \cdot 1,236 = 108,6 \text{ град.}$$

3.2.2. Обработка результатов вычислений на ЭВМ и их анализ

Файл результатов вычислений приведен на рис. 22. Дальнейшая обработка результатов выполняется в соответствии с пунктами 3.2.2.1 – 3.2.2.5. Пример построений, выполняемых на листе, показан на рис. 36.

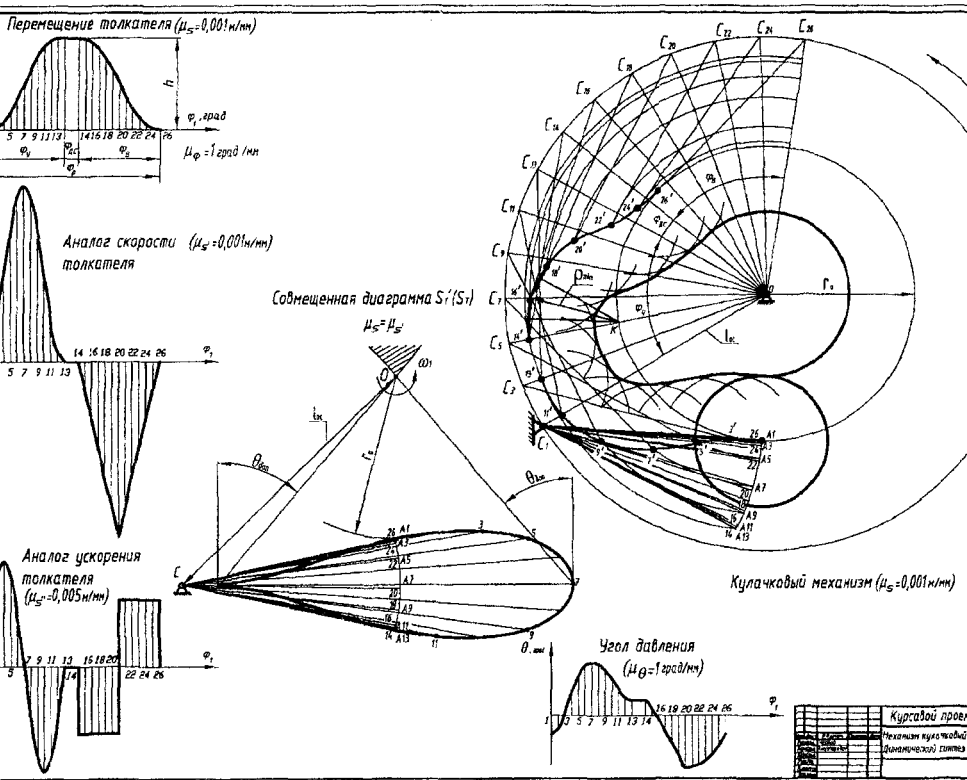


Рис. 36. Пример выполнения графических работ

3.2.2.1. Построение графиков кинематических характеристик

Для выбора масштабного коэффициента μ_φ по оси абсцисс примем, что рабочий угол кулачка $\varphi_P = 130^\circ$ изображается отрезком $[1-26]=130$ мм, тогда

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_P}{[1-26]} = \frac{130}{130} = 1 \text{ град/мм.}$$

Отрезки, соответствующие фазовым углам, равны

$$[1-13] = \frac{\varphi_Y}{\mu_\varphi} = \frac{60}{1} = 60 \text{ мм;}$$

$$[13-14] = \frac{\varphi_{ДС}}{\mu_\varphi} = \frac{10}{1} = 10 \text{ мм;}$$

$$[14-26] = \frac{\varphi_B}{\mu_\varphi} = \frac{60}{1} = 60 \text{ мм.}$$

Каждый из отрезков $[1-13]$, $[14-26]$ делим на 12 равных участков, получая точки 2, 3, 4 и т.д.

Учитывая, что графики $S_T(\varphi_1)$ и $S'_T(\varphi_1)$ должны быть построены в одинаковом масштабе, примем $\mu_S = \mu_{S'} = 0,001$ м/мм.

Ординаты графиков вычисляются как

$$y_{Si} = \frac{S_{Ti}}{\mu_S}; \quad y'_{Si} = \frac{S'_{Ti}}{\mu_{S'}}$$

и сводятся в табл. 3.2.2.

Для построения графика $S''_T(\varphi_1)$ примем $\mu_{S''} = 0,005$ м/мм.

Ординаты графика, вычисленные как

$$y_{Si}^{//} = \frac{S_{Ti}^{//}}{\mu_{S^{//}}}$$

приведены в табл. 4.

Таблица 4

№ пол.	$y_{S_{Ti}}$,	$y_{S_{Ti}^I}$,	$y_{S_{Ti}^{//}}$,	y_{θ_i} ,
	мм	мм	мм	мм
1	0	0	0	-14,2
2	0,3	8,9	40	-10,1
3	2	33,3	69,3	2
4	6,3	66,7	80	17,8
5	13,6	100	69,3	30,5
6	23,5	124,4	40	37,7
7	34,9	133,3	0	40
8	46,3	124,4	-40	38,7
9	56,2	100	-69,3	34,4
10	63,5	66,7	-80	27,8
11	67,8	33,3	-69,3	20,2
12	69,6	8,9	-40	13,9
13	69,8	0	0	11,4
14	69,8	0	-50,9	11,4
15	68,8	-22,2	-50,9	4,5
16	65,9	-44,4	-50,9	-3,3
17	61,1	-66,7	-50,9	-11,9
18	54,3	-88,9	-50,9	-21,1
19	45,6	-111,1	-50,9	-30,6
20	34,9	-133,3	-50,9	-40
21	24,2	-111,1	50,9	-39,4
22	15,5	-88,9	50,9	-37,7
23	8,7	-66,7	50,9	-34,7
24	3,9	-44,4	50,9	-29,9
25	1	-22,2	50,9	-23,2
26	0	0	50,9	-14,2

3.2.2.2. Построение графика угла давления

Изображая максимальное значение угла давления (см. положение 7) $\theta_{\max} = 40$ град отрезком $y_{\theta_{\max}} = 40$ мм, получаем

$$\mu_{\theta} = \frac{\theta_{\max}}{y_{\theta_{\max}}} = \frac{40}{40} = 1 \text{ град/мм.}$$

Ординаты графика, вычисленные как

$$y_{\theta i} = \theta_i / \mu_{\theta},$$

представлены в табл. 4.

3.2.2.3. Построение полной совмещенной диаграммы

Минимальные размеры кулачкового механизма (r_0 и $a = l_{OC}$) определяются из условия, что угол давления в проектируемом механизме во всех положениях не превышает заданного максимально допустимого значения $\theta_{\text{доп}}$. Решение указанной задачи выполняем графическим методом. Для этого на основании графиков $S_T(\varphi_1)$ и $S'_T(\varphi_1)$ строим полную совмещенную диаграмму $S_T(S'_T)$ в масштабе $\mu_S = \mu_{S'}$ с учетом схемы проектируемого механизма (рис. 33).

Из центра качания коромысла проводим дугу радиусом $CA = l_K / \mu_S$. От горизонтального положения коромысла отклады-

ваем углы $\psi_A = \psi_B = \frac{\psi_K}{2}$, получая точки A_1 и A_{13} . На дуге

$A_1 - A_{13}$, равной ходу h центра ролика, от точки A_1 откладываем перемещения толкателя в соответствии с графиком $S_T(\varphi_1)$, в результате получаем разметку хода толкателя (точки A_3, A_5 и т.д.).

Соединяя их с точкой C строим положения коромысла на фазе удаления ($CA_1, CA_3, \dots, CA_{13}$) и на фазе возвращения ($CA_{14}, CA_{16}, \dots, CA_{26}$). На лучах, изображающих коромысло, откладываем ординаты графика $S'_T(\varphi_1)$, повернутые на 90° в направлении вращения кулачка для фазы удаления (точки 3,5 ... 13) и в противоположном направлении - для фазы возвращения. Полученные точки соединяем плавной кривой.

Минимальные размеры кулачкового механизма определяем из упрощенной совмещенной диаграммы $S_T(S'_T)$. Для этого из точек 7 и 20, в которых аналоги скоростей имеют максимальные значения $S'_{У\max}$ и $S'_{В\max}$, проводим перпендикуляры к положениям коромысла и лучи под углами $\theta_{\text{доп}}$ относительно перпендикуляров. Лучи пересекаются в точке O , образуя заштрихованную зону, внутри которой можно выбирать центр вращения кулачка. Наименьшие габариты механизма получаются, если центр вращения кулачка выбрать в точке O . Из чертежа находим

$$r_0 = [OA_1] \cdot \mu_S = 124 \cdot 0,001 = 0,124 \text{ м};$$

$$a = [OC] \cdot \mu_S = 225,5 \cdot 0,001 = 0,2255 \text{ м}.$$

3.2.2.4. Построение центрового профиля кулачка

Используем графический способ построения центрового профиля кулачка по точкам, применяя метод обращения движения. В соответствии с этим методом кулачок в обращенном движении остается неподвижным, а толкатель обкатывается по кулачку в направлении, противоположном вращению кулачка. Построения выполняем в масштабе μ_S . Из центра вращения кулачка (точки O) проводим окружности радиуса r_0 и a . На окружности радиуса a выбираем центр качания коромысла (точку C) в соответствии со схемой проектируемого механизма (рис. 33). Из нее радиусом, рав-

ным длине коромысла l_K , проводим дугу до пересечения с окружностью радиуса r_0 и получаем точку A_1 . Эта точка определяет положение центра ролика коромысла, соответствующее началу фазы удаления. От точки A_1 откладываем перемещения центра ролика, согласно графику $S_T(\varphi_1)$ и получаем разметку хода коромысла на фазе удаления (точки A_3, A_5, \dots, A_{13}) и возвращения (точки $A_{14}, A_{16}, \dots, A_{26}$). От межосевой линии OC в сторону, противоположную вращению кулачка, откладываем фазовые углы $\varphi_U, \varphi_{ДС}, \varphi_B$. Дуги, стягивающие углы φ_U и φ_B , делим на 12 равных частей и получаем точки C_3, C_5, \dots, C_{26} , которые определяют положение центра качания коромысла в обращенном движении. Вторую точку коромысла (центр ролика) в обращенном механизме найдем, если проведем из центра вращения кулачка O радиусами OA_3, OA_5 и т.д. дуги окружностей, а из точек C_3, C_5, \dots, C_{26} длиной коромысла l_K сделаем засечки на соответствующих дугах и получим точки $3', 5', \dots, 26'$. Соединив их плавной кривой получаем центральный профиль кулачка.

3.2.2.5. Определение радиуса ролика и построение действительного профиля кулачка

Радиус ролика выбирается по двум условиям:

- 1) $r_p \leq 0,4 \cdot r_0$ (конструктивное условие);
- 2) $r_p \leq 0,7 \cdot \rho_{\min}$ (условие отсутствия заострения действительного профиля кулачка), где ρ_{\min} – минимальный радиус кривизны выпуклых участков центрального профиля кулачка. Радиус ρ_{\min} определяется с помощью следующего построения. В зоне наибольшей кривизны центрального профиля отмечаем точку b . Вблизи от нее на

равном расстоянии отмечаем еще две точки a и c , соединяем их с первой точкой хордами. Через середины полученных хорд проводим к ним перпендикуляры, пересекающиеся в точке, которая является центром окружности, проходящей через все три точки. Радиус этой окружности приближенно можно принять за ρ_{\min} .

По чертежу получаем

$$\rho_{\min} = [ka] \cdot \mu_S = 71 \cdot 0,001 = 0,071 \text{ м.}$$

По расчету на ЭВМ (рис. 22) $\rho_{\min} = 0,0715 \text{ м.}$

Тогда

$$r_p \leq 0,4 \cdot 0,1243 \text{ м или } r_p \leq 0,0497 \text{ м;}$$

$$r_p \leq 0,7 \cdot 0,0715 \text{ м или } r_p \leq 0,05 \text{ м.}$$

Принимаем радиус ролика равным $0,0497 \text{ м.}$

Действительный профиль кулачка строим в виде эквидистантной кривой по отношению к центральному профилю. Для ее построения из точек центрального профиля описываем ряд дуг радиусом r_p с учетом масштабного коэффициента μ_S . Огибающая всех этих дуг и представляет собой действительный профиль кулачка.

3.3. Механизм с тарельчатым толкателем

3.3.1. Исходные данные для проектирования

Требуется спроектировать кулачковый механизм, схема которого показана на рис.37, а исходные данные приведены в табл. 5.

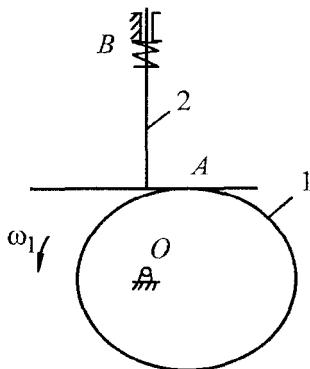


Рис. 37. Схема проектируемого механизма

Таблица 5

Ход толкателя, $h, \text{м}$	Фазовые углы, град			Законы движения толкателя	
	$\varphi_{\text{У}}$	$\varphi_{\text{ДС}}$	$\varphi_{\text{В}}$	при удалении	при возвращении
0.04	90	120	90	треугольный	равномерно убывающего ускорения

3.3.2. Кинематические характеристики

Переведем значения фазовых углов в радианную меру:

$$\varphi_{\text{У}}^{\text{Р}} = \frac{\varphi_{\text{У}} \cdot \pi}{180} = \frac{90 \cdot \pi}{180} = 1,571 \text{ рад};$$

$$\varphi_{\text{ДС}}^{\text{Р}} = \frac{\varphi_{\text{ДС}} \cdot \pi}{180} = \frac{120 \cdot \pi}{180} = 2,094 \text{ рад};$$

$$\varphi_{\text{В}}^{\text{Р}} = \frac{\varphi_{\text{В}} \cdot \pi}{180} = \frac{90 \cdot \pi}{180} = 1,571 \text{ рад.}$$

Рабочий угол кулачка

$$\varphi_{\text{Р}}^{\text{Р}} = \varphi_{\text{У}}^{\text{Р}} + \varphi_{\text{ДС}}^{\text{Р}} + \varphi_{\text{В}}^{\text{Р}} = 5,236 \text{ рад.}$$

Так как при вычислении с помощью ЭВМ фазовые углы удаления и возвращения разделены на 12 участков каждый, вычислим приращение угла поворота кулачка (шаг) на обеих фазах:

$$\Delta\varphi_{\text{У}} = \frac{\varphi_{\text{У}}^{\text{Р}}}{12} = \frac{1,571}{12} = 0,131 \text{ рад};$$

$$\Delta\varphi_{\text{В}} = \frac{\varphi_{\text{В}}^{\text{Р}}}{12} = \frac{1,571}{12} = 0,131 \text{ рад}.$$

Кинематические характеристики вычисляются по формулам из табл. 7. Они вычисляются с учетом номера положения i (на фазе удаления номера меняются от 1 до 13, при возвращении – от 14 до 26), входящего в позиционный коэффициент k .

В контрольном положении 8 позиционный коэффициент равен

$$k_8 = \frac{(i-1)}{12} = \frac{(8-1)}{12} = \frac{7}{12} = 0,583.$$

Поскольку на фазе удаления толкатель движется по треугольному закону, то перемещение толкателя

$$S_{\text{T8}} = h \left[\frac{1}{6} - 2k(1-4k) - \frac{16k^3}{3} \right] = 0,04 \cdot \left[\frac{1}{6} - 2 \cdot 0,583 \cdot (1 - 4 \cdot 0,583) - \frac{16 \cdot 0,583^3}{3} \right] = 0,0265 \text{ м}.$$

Аналог скорости движения толкателя

$$S'_{\text{T8}} = \frac{h}{\varphi_{\text{У}}} [16k(1-k) - 2] = \frac{0,04}{1,571} \cdot [16 \cdot 0,583 \cdot (1 - 0,583) - 2] = 0,0481 \text{ м}.$$

Аналог ускорения толкателя

$$S''_{\text{T8}} = \frac{h}{\varphi_{\text{У}}^2} [16 \cdot (1 - 2k)] = \frac{0,04}{1,571^2} \cdot [16 \cdot (1 - 2 \cdot 0,583)] = -0,043 \text{ м}.$$

Кинематические характеристики получены для фазового угла

$$\varphi_8 = (i-1)\Delta\varphi_y = (8-1) \cdot 0,131 = 0,917 \text{ рад.}$$

На фазе возвращения кинематические характеристики вычисляются по формулам из табл. 7, в которые необходимо внести изменения, указанные в разделе 4.

Тогда, приняв за контрольное положение 21, получим

$$k_{21} = \frac{(26-i)}{12} = \frac{(26-21)}{12} = \frac{5}{12} = 0,417;$$

$$S_{T21} = h \cdot k^2 (3-2k) = 0,04 \cdot 0,417^2 \cdot (3-2 \cdot 0,417) = 0,0151 \text{ м;}$$

$$S'_{T21} = -\frac{6h}{\varphi_B} \cdot k(1-k) = -\frac{6 \cdot 0,04}{1,571} \cdot 0,417 \cdot (1-0,417) = -0,0371 \text{ м;}$$

$$S''_{T21} = \frac{6h}{\varphi_B^2} \cdot (1-2k) = \frac{6 \cdot 0,04}{1,571^2} \cdot (1-2 \cdot 0,417) = 0,0161 \text{ м.}$$

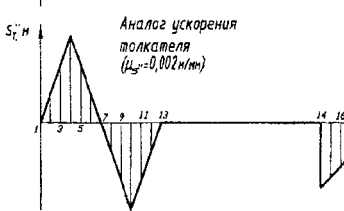
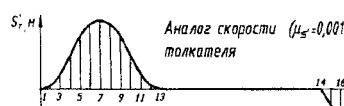
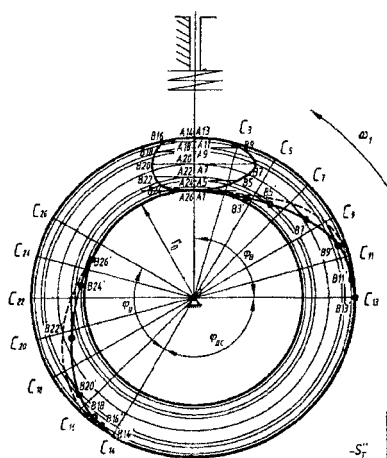
Кинематические характеристики получены для фазового угла

$$\begin{aligned} \varphi_{21} &= \varphi_y^P + \varphi_{ДС}^P + (i-14)\Delta\varphi_B = \varphi_y^P + \varphi_{ДС}^P + (21-14)\Delta\varphi_B = \\ &= 1,571 + 2,094 + (21-14) \cdot 0,131 = 4,582 \text{ рад.} \end{aligned}$$

3.3.3. Обработка результатов вычислений на ЭВМ и их анализ

Результаты определения кинематических характеристик для всех положений механизма приведены в файле результатов вычислений (см. рис. 28), на основании которого построены графики перемещения толкателя $S_T(\varphi_1)$, аналога скорости $S'_T(\varphi_1)$ и аналога ускорения $S''_T(\varphi_1)$. Пример построений, выполняемых на листе, показан на рис. 38.

Кулачковый механизм ($\mu_s = 0,001 \text{ м/мм}$)



Совмещенная диаграмма $S_1 - S_1''$

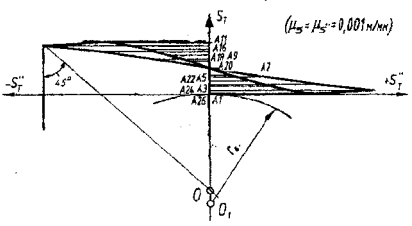


Рис. 38. Пример выполнения графических работ

3.3.3.1. Построение графиков кинематических характеристик

Для выбора масштабного коэффициента μ_φ по оси абсцисс примем, что рабочий угол кулачка $\varphi_P = 300^\circ$ изображается отрезком $[1-26]=300$ мм, тогда

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_P}{[1-26]} = \frac{300}{300} = 1 \text{ град/мм.}$$

Отрезки, соответствующие фазовым углам, равны

$$[1-13] = \frac{\varphi_Y}{\mu_\varphi} = \frac{90}{1} = 90 \text{ мм;}$$

$$[13-14] = \frac{\varphi_{ДС}}{\mu_\varphi} = \frac{120}{1} = 120 \text{ мм;}$$

$$[14-26] = \frac{\varphi_B}{\mu_\varphi} = \frac{90}{1} = 90 \text{ мм;}$$

Каждый из отрезков $[1-13]$, $[14-26]$ делим на 12 равных участков, получая точки 2, 3, 4 и т.д.

Примем $\mu_S = \mu_{S'} = 0,001$ м/мм, тогда ординаты графиков вычисляются как

$$y_{Si} = \frac{S_{Ti}}{\mu_S}; \quad y'_{Si} = \frac{S'_{Ti}}{\mu_{S'}}$$

и сводятся в табл. 6.

Для построения графика $S''(\varphi_1)$ примем $\mu_{S''} = 0,002$ м/мм.

Ординаты графика, вычисленные как

$$y_{Si}^{//} = \frac{S_{Ti}^{//}}{\mu_{S^{//}}},$$

приведены в табл. 6.

Таблица 6

№ пол.	$y_{S_{Ti}}$,	$y_{S'_{Ti}}$,	$y_{S^{//}_{Ti}}$,
	мм	мм	мм
1	0	0	0
2	0,1	2,8	21,6
3	1	11,3	43,3
4	3,3	25,5	64,9
5	7,7	39,6	43,3
6	13,5	48,1	21,6
7	20	50,9	0
8	26,5	48,1	-21,6
9	32,3	39,6	-43,3
10	36,7	25,5	-64,9
11	39	11,3	-43,3
12	39,9	2,8	-21,6
13	40	0	0
14	40	0	-48,7
15	39,2	-11,7	-40,6
16	37	-21,2	-32,4
17	33,8	-28,6	-24,3
18	29,6	-34	-16,2
19	25	-37,1	-8,1
20	20	-38,2	0
21	15	-37,1	8,1
22	10,4	-34	16,2
23	6,3	-28,6	24,3
24	3	-21,2	32,4
25	0,8	-11,7	40,6
26	0	0	48,7

3.3.3.2. Построение совмещенной диаграммы $S_T - S_T''$ и определение основных размеров механизма

В основу определения минимального радиуса кулачка r_0 положено условие, что профиль кулачка должен быть выпуклым во всех его точках. Задача решается построением диаграммы $S_T''(S_T)$ в масштабе $\mu_{S''} = \mu_S$ (см. рис. 38).

На основании файла результатов вычислений по оси S_T откладываются перемещения толкателя от начального положения A_1 , в результате получаем точки A_2 , A_3 и т.д. Из этих точек перпендикулярно оси S_T откладываем отрезки, изображающие аналог ускорения толкателя S_T'' в соответствующих положениях. Отрицательные значения S_T'' откладываются влево, положительные – вправо. Концы этих отрезков соединяются плавной кривой, в результате чего в одной системе координат получаем два графика: один – для фазы удаления, другой – для фазы возвращения. К построенной диаграмме в зоне наибольших отрицательных значений S_T'' проводим касательную под углом 45° к оси S_T до пересечения с осью S_T в точке O . По условию выпуклости центр вращения кулачка может быть выбран ниже этой точки, например в точке O_1 . Тогда

$$r_0 = 1,3 \cdot (O_1A_1) \mu_S = 1,3 \cdot 93 \cdot 0,001 = 0,1209 \text{ м.}$$

Аналитически минимальный радиус r_0 определяется из той же диаграммы $S_T''(S_T)$ по формуле

$$r_0 = 1,3 \cdot \left(\left| S_{\min}'' \right| - S_C \right), \quad (13)$$

где S''_{\min} – минимальное значение аналога ускорения толкателя,
 S_C – перемещение толкателя в том положении, в котором
 $S'' = S''_{\min}$.

Тогда

$$r_0 = 1,3 \cdot (0,1297 - 0,0367) = 0,1209 \text{ м.}$$

Диаметр тарелки толкателя

$$d_T = 2 \cdot |S'_{\max}| = 2 \cdot 0,0509 = 0,1018 \text{ м.}$$

3.3.3.3. Определение полярных координат профиля кулачка

Расчетная схема для определения полярных координат точек
 профиля кулачка приведена на рис. 39. На основании этой схемы
 радиус-вектор профиля кулачка равен

$$r_i = \sqrt{(r_0 + S_{Ti})^2 + (S'_{Ti})^2}. \quad (14)$$

Полярный угол

$$\alpha_i = \varphi_i + \beta_i, \quad (15)$$

где

$$\beta_i = \arctg \frac{S'_{Ti}}{S_{Ti} + r_0}, \quad (16)$$

причем при удалении $S'_{Ti} > 0$, а при возвращении $S'_{Ti} < 0$.

Выполняем расчет полярных координат для контрольных поло-
 жений 8 и 21.

$$r_8 = \sqrt{(0,1209 + 0,0265)^2 + 0,0481^2} = 0,155 \text{ м;}$$

$$\beta_8 = \operatorname{arctg} \frac{0,0481}{0,0265 + 0,1209} = 18,1 \text{ град.}$$

$$\alpha_8 = \varphi_8 + \beta_8 = \frac{0,917 \cdot 180}{\pi} + 18,1 = 70,6 \text{ град.}$$

$$r_{21} = \sqrt{(0,1209 + 0,0151)^2 + (-0,0371)^2} = 0,141 \text{ м.}$$

$$\beta_{21} = \operatorname{arctg} \frac{-0,0371}{0,0151 + 0,1209} = -15,3 \text{ град.}$$

$$\alpha_{21} = \varphi_{21} + \beta_{21} = \frac{4,582 \cdot 180}{\pi} - 15,3 = 247,2 \text{ град.}$$

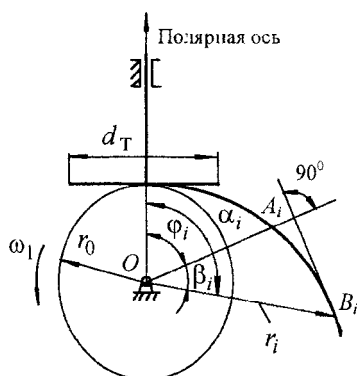


Рис. 39

Полученные значения практически совпадают с результатами, полученными с помощью ЭВМ (см. рис. 28).

3.3.3.4. Построение профиля кулачка

Профиль кулачка строим следующим образом (рис. 38). Проводим окружность радиуса r_0 и через ее центр O линию движения толкателя, на которой наносим разметку хода толкателя в соответствии с графиком $S_T(\varphi_1)$ – точки A_1, A_3, A_5 и т.д. Используя метод обращения движения, от линии движения толкателя в направ-

лении, противоположном вращению кулачка, откладываем фазовые углы $\varphi_y, \varphi_{дс}, \varphi_B$. Дуги, стягивающие углы φ_y и φ_B , делим на 12 равных частей в соответствии с графиком $S_T(\varphi_1)$ и отмечаем точки C_3, C_5 и т.д. Из этих точек проводим лучи в центр O , а из точек $A_3, A_5, A_7 \dots$ проводим дуги с центром в точке O до пересечения с соответствующими лучами. Из точек пересечения проводим перпендикуляры к лучам. Эти перпендикуляры определяют положения плоскости толкателя в обратном движении. На них откладываем отрезки, равные соответствующим аналогам скоростей S_{Ti}' , получая точки B_3', B_5' и т.д. Соединив их плавной кривой, получаем профиль кулачка.

4. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ТОЛКАТЕЛЯ

На рис. 40 изображены графики изменения аналога ускорения толкателя $S_T''(\varphi_1)$ для наиболее распространенных законов движения толкателя, а в таблице 4.1 представлены аналитические зависимости для этих законов, выраженные через позиционный коэффициент

$k = \frac{\varphi_i}{\varphi_y}$, представляющий собой отношение текущего угла

поворота кулачка φ_i к фазовому углу φ_y . Этот коэффициент изменяется от 0 до 1 и для фазы удаления может быть вычислен по формуле $k = \frac{(i-1)}{12}$, где i – номер положения механизма ($1 \leq i \leq 13$),

При использовании представленных формул для фазы возвращения следует угол φ_y заменить на φ_B , формулы для S_T' использовать со знаком «минус», а отсчет коэффициента k брать с конца фазы, т.е. принимать $k = \frac{(26-i)}{12}$, причем $14 \leq i \leq 26$.

Во всех формулах углы берутся в радианах.

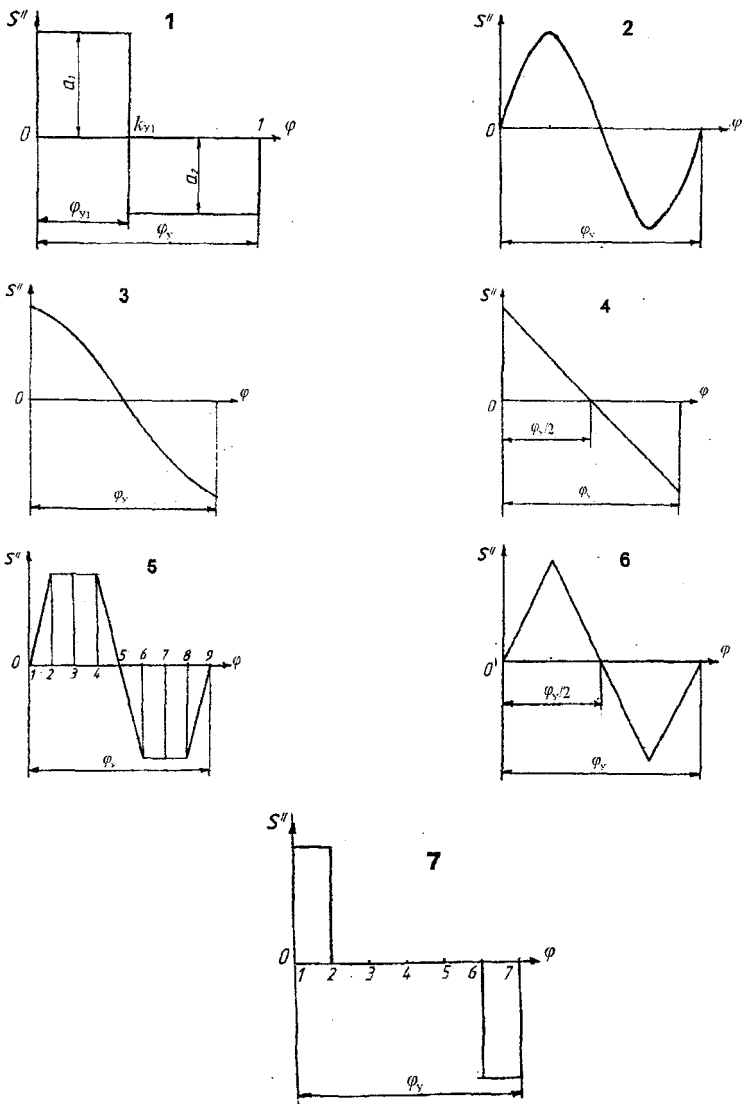


Рис. 40. Законы изменения аналога ускорения толкателя $S''_T(\varphi_1)$

(1 – постоянного ускорения (параболический); 2 – синусоидальный; 3 – косинусоидальный; 4 – линейного изменения ускорения; 5 – трапецидальный; 6 – треугольный; 7 – модифицированный линейный закон изменения перемещения)

Формулы	Экстремальные значения
<p>1. Закон постоянного ускорения (параболический закон изменения ускорения)</p> $S'' = \begin{cases} \frac{2h}{k_{y1} \cdot \varphi_y^2} & \text{при } 0 \leq k \leq k_{y1} \\ \frac{2h}{(k_{y1} - 1) \cdot \varphi_y^2} & \text{при } k_{y1} \leq k \leq 1 \end{cases}$	$\frac{2h}{\varphi_{y1} \cdot \varphi_y}$ $\frac{2h}{\varphi_y \cdot (\varphi_{y1} - \varphi_y)}$
$S' = \begin{cases} \frac{2k \cdot h}{k_{y1} \cdot \varphi_y} & \text{при } 0 \leq k \leq k_{y1} \\ \frac{2 \cdot (1 - k) \cdot h}{(1 - k_{y1}) \cdot \varphi_y} & \text{при } k_{y1} \leq k \leq 1 \end{cases}$	$\frac{2h}{\varphi_y}$
$S = \begin{cases} h \cdot \frac{k^2}{k_{y1}} & \text{при } 0 \leq k \leq k_{y1} \\ h \cdot \left[1 - \frac{(1 - k)^2}{1 - k_{y1}} \right] & \text{при } k_{y1} \leq k \leq 1 \end{cases}$ <p>где $k_{y1} = \frac{\varphi_{y1}}{\varphi_y}, \quad \varphi_{y1} = \frac{\varphi_y}{1 + a_1/a_2}$</p>	h

Формулы	Экстремальные значения
2. Синусоидальный закон изменения ускорения $S'' = \frac{2\pi \cdot h}{\varphi_y^2} \cdot \sin(2\pi \cdot k)$	$\frac{2\pi \cdot h}{\varphi_y^2}$
$S' = \frac{h}{\varphi_y} \cdot [1 - \cos(2\pi \cdot k)]$	$\frac{2h}{\varphi_y}$
$S = h \cdot \left[k - \frac{1}{2\pi} \cdot \sin(2\pi \cdot k) \right]$	h
3. Косинусоидальный закон изменения ускорения $S'' = \frac{\pi^2 \cdot h}{2\varphi_y^2} \cdot \cos(\pi \cdot k)$	$\frac{\pi^2 \cdot h}{2\varphi_y^2}$
$S' = \frac{\pi \cdot h}{2\varphi_y} \cdot \sin(\pi \cdot k)$	$\frac{\pi \cdot h}{2\varphi_y}$
$S = \frac{h}{2} \cdot [1 - \cos(\pi \cdot k)]$	h
4. Закон линейного изменения ускорения $S'' = \frac{6h}{\varphi_y^2} \cdot (1 - 2k)$	$\frac{6h}{\varphi_y^2}$
$S' = \frac{6h}{\varphi_y} \cdot k(1 - k)$	$\frac{3h}{2\varphi_y}$
$S = h \cdot k^2(3 - 2k)$	h

Формулы	Экстремальные значения
<p>5. Трапецидальный закон изменения ускорения</p> $S'' = \begin{cases} \frac{128k \cdot h}{3\varphi_y^2} & \text{при } 0 \leq k \leq 0,125 \\ \frac{16h}{3\varphi_y^2} & \text{при } 0,125 \leq k \leq 0,375 \\ \frac{h \cdot (64 - 128k)}{3\varphi_y^2} & \text{при } 0,375 \leq k \leq 0,625 \\ -\frac{16h}{3\varphi_y^2} & \text{при } 0,625 \leq k \leq 0,875 \\ \frac{128h \cdot (k - 1)}{3\varphi_y^2} & \text{при } 0,875 \leq k \leq 1 \end{cases}$	$\frac{16h}{3\varphi_y^2}$
$S' = \begin{cases} \frac{64k^2 \cdot h}{3\varphi_y} & \text{при } 0 \leq k \leq 0,125 \\ \frac{h \cdot (16k - 1)}{3\varphi_y} & \text{при } 0,125 \leq k \leq 0,375 \\ \frac{h \cdot [64k \cdot (1 - k) - 10]}{3\varphi_y} & \text{при } 0,375 \leq k \leq 0,625 \\ \frac{h}{\varphi_y} \cdot \left(5 - \frac{16k}{3}\right) & \text{при } 0,625 \leq k \leq 0,875 \\ \frac{64h \cdot (1 - k)^2}{3\varphi_y} & \text{при } 0,875 \leq k \leq 1 \end{cases}$	$\frac{2h}{\varphi_y}$

Формулы	Экстремальные значения
$S = \begin{cases} \frac{64k^3 \cdot h}{9} & \text{при } 0 \leq k \leq 0,125 \\ h \cdot \left[\frac{k \cdot (8k-1)}{3} + \frac{1}{72} \right] & \text{при } 0,125 \leq k \leq 0,375 \\ h \cdot \left[\frac{7}{18} - k \cdot \left(\frac{64k^2}{9} + \frac{10-32k}{3} \right) \right] & \text{при } 0,375 \leq k \leq 0,625 \\ h \cdot \left[k \cdot \left(5 - \frac{8k}{3} \right) - \frac{97}{72} \right] & \text{при } 0,625 \leq k \leq 0,875 \\ h \cdot \left[1 - \frac{64 \cdot (1-k)^3}{9} \right] & \text{при } 0,875 \leq k \leq 1 \end{cases}$	h
<p>6. Треугольный закон изменения ускорения</p> $S'' = \begin{cases} \frac{32k \cdot h}{\varphi_y^2} & \text{при } 0 \leq k \leq 0,25 \\ \frac{16h \cdot (1-2k)}{\varphi_y^2} & \text{при } 0,25 \leq k \leq 0,75 \\ \frac{32h \cdot (k-1)}{\varphi_y^2} & \text{при } 0,75 \leq k \leq 1 \end{cases}$	$\frac{8h}{\varphi_y^2}$

Формулы	Экстремальные значения
$S' = \begin{cases} \frac{16k^2 \cdot h}{\Phi_y} & \text{при } 0 \leq k \leq 0,25 \\ \frac{h \cdot [16k \cdot (1-k) - 2]}{\Phi_y} & \text{при } 0,25 \leq k \leq 0,75 \\ \frac{16h \cdot (1-k)^2}{\Phi_y} & \text{при } 0,75 \leq k \leq 1 \end{cases}$	$\frac{2h}{\Phi_y}$
$S = \begin{cases} \frac{16k^3 \cdot h}{3} & \text{при } 0 \leq k \leq 0,25 \\ h \cdot \left[\frac{1}{6} - 2k \cdot (1-4k) - \frac{16k^3}{3} \right] & \text{при } 0,25 \leq k \leq 0,75 \\ h \cdot \left[1 - \frac{16 \cdot (1-k)^3}{3} \right] & \text{при } 0,75 \leq k \leq 1 \end{cases}$	h
<p>7. Модифицированный линейный закон изменения перемещения</p> $S'' = \begin{cases} \frac{7,2h}{\Phi_y^2} & \text{при } 0 \leq k \leq \frac{1}{6} \\ 0 & \text{при } \frac{1}{6} \leq k \leq \frac{5}{6} \\ \frac{-7,2h}{\Phi_y^2} & \text{при } \frac{5}{6} \leq k \leq 1 \end{cases}$	$\frac{7,2h}{\Phi_y^2}$

Формулы	Экстремальные значения
$S' = \begin{cases} \frac{7,2k \cdot h}{\varphi_y} & \text{при } 0 \leq k \leq \frac{1}{6} \\ \frac{1,2h}{\varphi_y} & \text{при } \frac{1}{6} \leq k \leq \frac{5}{6} \\ \frac{7,2h \cdot (1-k)}{\varphi_y} & \text{при } \frac{5}{6} \leq k \leq 1 \end{cases}$	$\frac{1,2h}{\varphi_y}$
$S = \begin{cases} 3,6k^2 \cdot h & \text{при } 0 \leq k \leq \frac{1}{6} \\ h \cdot (1,2k - 0,1) & \text{при } \frac{1}{6} \leq k \leq \frac{5}{6} \\ h \cdot [3,6k \cdot (2-k) - 2,6] & \text{при } \frac{5}{6} \leq k \leq 1 \end{cases}$	h

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – 4-е изд. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / В.К. Акулич [и др.] под общ. ред. Г.Н. Девойно. – Минск: Вышэйшая школа, 1986. – 286 с.
3. Программа «Синтез кулачковых механизмов»: методические указания к курсовому проектированию / сост. П.П. Анципорович [и др.]. – Минск: БГПА, 1998. – 56 с.

Учебное издание

АНЦИПОРОВИЧ Петр Петрович
АКУЛИЧ Валерий Константинович
ДУБОВСКАЯ Елена Михайловна
ДВОРЯНЧИКОВА Алла Борисовна

СИНТЕЗ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию по дисциплине
«Теория механизмов, машин и манипуляторов»

Подписано в печать 23.03.2012.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,71. Уч.-изд. л. 3,68. Тираж 500. Заказ 346.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.