

Б. Б. Косенок

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МОДУЛЬНОГО
ВЕКТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
В КУРСОВОМ ПРОЕКТЕ
ПО ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН**

Учебное пособие

Самара, 2017

УДК 621.01(075.8)

ББК 34.41

Т34

Б.Б. Косенок. Применение теории модульного векторного моделирования в курсовом проекте по теории механизмов и машин. - Самара: АНО ВО Университет "МИР", 2017. -100 с.

ISBN 978-5-98972-114-6

Пособие содержит сведения об основных положениях теории векторных контуров и их стандартных контуров – элементарных модулей, приведены решения задач о функциях, первых и вторых производных функций элементарных плоских модулей - математических моделей контурных систем, приводятся примеры векторного моделирования кинематических схем по сборнику заданий КП ТММ федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева" (Самарского университета).

Пособие предназначено для студентов, выполняющих курсовое проектирование по теории машин и механизмов.

Рецензенты: д.т.н., профессор Кленбанов Я.Н.,
д.т.н., профессор Фалалеев С.В.

ISBN 978-5-98972-114-6

© Косенок Б.Б.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. Теоретическая основа векторное модульного моделирования.....	6
1.1. Основные понятия векторных моделей	9
1.2. Характеристики векторного контура	10
1.3. Одноконтурные Элементарные векторные модули	13
1.4. Кинематические модульные векторные модели.....	16
1.5. Функции элементарных плоских модулей	18
2. Использование векторных моделей в учебном процессе.....	21
2.1. Порядок применения векторного моделирования в курсовой работе.....	22
2.2. Примеры векторного моделирования в курсовой работе	23
2.3. Синтез профиля кулачкового механизма	26
2.4. Синтез профиля кулачкового механизма с роликовым толкателем ..	26
2.5. Синтез профиля кулачкового механизма с коромысловым толкателем	28
2.6. Синтез профиля кулачкового механизма с тарельчатым толкателем	30
3. Задания на курсовой проект и их векторные модели	32
3.1. Задание №1 Шасси самолета Ан-10	32
3.2. Задание №2 Механизм шасси	33
3.3. Задание №3 Механизм шасси (к самолету Ту-154).....	34
3.4. Задание №4 Шасси самолета Ан-10.....	35
3.5. Задание №5 Компрессор.....	36
3.6. Задание №6 Механизм шасси	37
3.7. Задание №7 Механизм шасси	38

3.8.	Задание №8 Механизм управления малой створкой передней ноги .	39
3.9.	Задание №9 Шасси лунника.....	40
3.10.	Задание №10 Механизм поворота кабель-мачты.....	41
3.11.	Задание №11 Механизм установщика	42
3.12.	Задание №12 Механизм V-образного двигателя внутреннего сгорания	43
3.13.	Задание №13 Механизм V-образного двигателя внутреннего сгорания	44
3.14.	Задание №14 Механизм регулировки сопла	45
3.15.	Задание №15 Механизм регулировки сопла	46
3.16.	Задание №16 Механизм 2-х цилиндрового компрессора	47
3.17.	Задание №17 Насос масляный	48
3.18.	Задание №18 Механизм 2-х ступенчатого компрессора.....	49
3.19.	Задание №19 Зубодолбежный станок для авиац.колес	50
3.20.	Задание №20 Механизм раскрытия створок солнечной батареи	51
4.	Заключение	52
	Список использованных источников	53
	Приложение А Краткая инструкция по работе с программой Кинематического и динамического анализа (КДАМ)	55

ВВЕДЕНИЕ

Математические модели контурных систем создаются при решении различных по содержанию задач теоретической механики, теории механизмов, систем управления, теории размерных цепей и других теоретических и инженерных дисциплин.

Контурные системы рационально моделировать векторными моделями, используя стандартные векторные блоки(модули).

Практический интерес для разработки методики композиции механизмов представляет модульное моделирование механизмов, которое является развитием метода векторного замкнутого контура, известного в нашей стране, как метод В. А. Зиновьева [1], [2] и получившим дальнейшее развитие Б.П. Семеновым, внесшим большой вклад в создание теории векторного моделирования. [3]-[5].

Основная кинематическая модель механизма создаётся для определения движений его звеньев, т.е. их положений, скоростей и ускорений при заданном законе движения ведущих его звеньев.

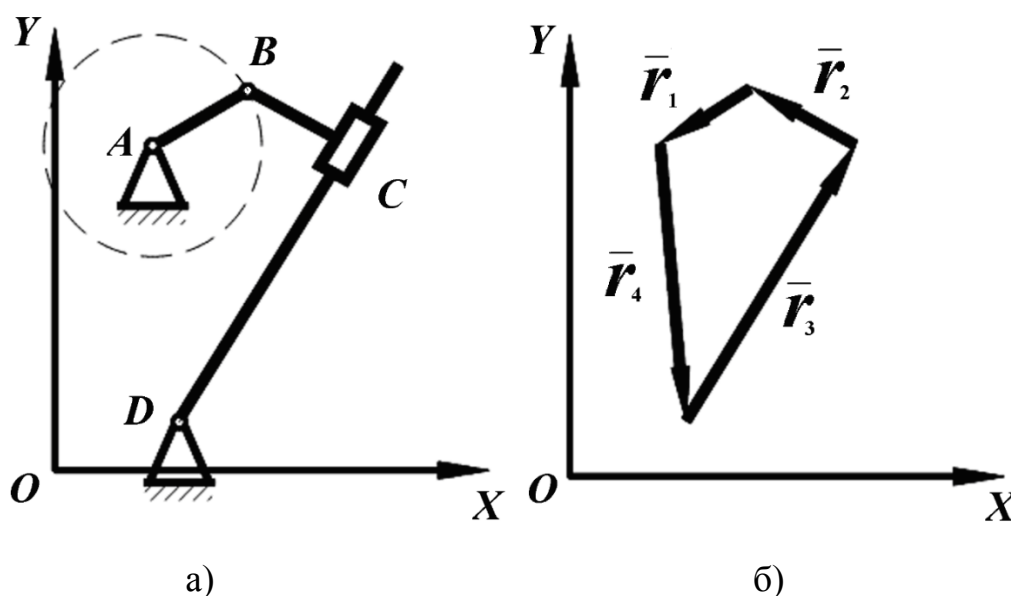
Кинематическая схема любого стержневого механизма может быть отображена одним или системой взаимосвязанных векторных замкнутых контуров. Модульное моделирование кинематической схемы механизма, т.е. компоновка его векторной модели из стандартных векторных контуров(модулей), имеющих отлаженное аналитическое и программное обеспечение, сокращает время и трудоемкость создания основной кинематической модели механизма.

Использование модульного моделирования позволяет в зависимости от конкретной задачи исследования механизма перейти от основной кинематической к различным расчётным математическим моделям. Например, дополняя основную модель контурами, определяющими движения центров масс звеньев и точек приложения внешних нагрузок, обеспечивается переход от основной кинематической к основной динамической модели механизма.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ВЕКТОРНОЕ МОДУЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Модульный метод математического моделирования контурных систем, позволяет создавать для существующих и возможных рычажных механизмов математические модели в виде систем векторных замкнутых контуров, которые при решении многих научных и инженерных задач могут компоноваться из стандартных плоских и пространственных векторных блоков /модулей/.

Переход от кинематической схемы конкретных механизмов к их векторным моделям представляет практический пример углубления уровня абстракции (см. рис.1.1.).



а) б)
Рис. 1.1. Структурная схема механизма(а) и соответствующий ей векторный контур(б)

Динамические модели механизма создаются на основе кинематических моделей, аналитический аппарат которых отличается большим многообразием.

Практическую ценность представляет совершенствование аналитического аппарата стандартных расчетных векторных блоков(модулей), допускающих возможность компоновки кинематических и динамических моделей различных по структуре механизмов. Практическая ценность для подобных поисковых работ представляли бы методики структурного синтеза механизма по кинематическим и

динамическим критериям оптимизации. Общие методы исследования механизмов должны учитывать многообразие механизмов и задач их исследования.

Многообразие механизмов определяется теоретически неограниченным множеством структурных и кинематических схем, для каждой из которых есть множество вариантов конструктивной реализации.

Многообразие задач расчета (исследования) механизмов определяет существование двух задач теории механизмов и машин - анализа и синтеза, а также множество вариантов постановки конкретной задачи исследования.

Традиционно существуют три синтеза, которые, как правило, проводятся последовательно. Структурный синтез - определение структуры механизма подходящей для выполнения заданного назначения. Кинематический синтез - определение параметров схемы по заданным кинематическим свойствам. Динамический синтез - определение параметров схемы по заданным динамическим свойствам.

Однако на этапе эскизного проектирования механизма, предназначенного для решения определенной задачи с учетом габаритных, кинематических, динамических и прочих ограничений, часто бывает, не известна его структурная схема. При выборе принципиальной и структурной схемы анализируются прототипы - механизмы, используемые в других отраслях техники, источники патентной информации и т.д. Выбор вариантов для эскизной проработки проводится чаще всего путем субъективных качественных оценок.

Как правило, кинематический синтез механизма рассматривается как выбор его кинематических параметров при наличии различных ограничений или условий, например, достижения коэффициента изменения скорости хода ведомого звена механизма, равного отношению промежутка времени холостого хода к промежутку времени рабочего хода. Основными задачами проектирования механизмов с низшими парами являются задача об осуществлении заданного закона движения и задача о достижении заданной траектории.

Кинематический и динамический синтез механизма, при заданной структурной схеме, и структурный синтез, как по кинематическим, так и по динамическим условиям, можно рассматривать, как частные случаи композиции

механизмов - поиска механизмов с требуемыми функциональными свойствами при заданных ограничениях.

Наиболее сложной задачей композиции является задача структурного синтеза механизма с требуемыми характеристиками при геометрических и динамических ограничениях.

Общие методики композиции механизмов определяют необходимость разработки математического аппарата для всех класса механизмов. Однако достаточно широкое практическое применение могут иметь и методики композиции механизмов второго класса.

Кроме того, при проектировании приходится анализировать различные аспекты, сопутствующие основной задаче композиции механизма. Например, при проектировании авиационных механизмов приходится учитывать, как кинематические и динамические характеристики, так и геометрические ограничения, как на общие габариты, так и на зоны возможных перемещений отдельных его деталей. Учет внешних факторов при создании механизма может привести к необходимости размещения его частей в плоскостях, не соответствующих базовым координатным плоскостям (XY , YZ , ZX общей системы координат механизма), иногда возникает необходимость дополнительных перемещений отдельных звеньев или точек не связанного с общим движением механизма. Иногда требуется получить значения относительных перемещений, например, груза или створки люка относительно неподвижных плоскостей или элементов летательного аппарата.

Проведение различных расчетов при анализе и синтезе механизмов, а также различных сопутствующих им задач, удобнее всего проводить в рамках одной математической модели. Можно почти любой класс задач, любые машины или физические процессы, траектория движения каких-либо тел, задачи точности или надежности, возможно, описать математической моделью с любой точностью, достижимой на данном этапе развития науки. Но описание каждой конкретной задачи или системы приводит к значительным затратам труда ученых и инженеров, да и не дает возможности оценить отличающиеся, иногда даже незначительно, объекты. На практике возможность точного моделирования процесса, как правило,

игнорируется, и исследуются лишь частные задачи кинематики и динамики механизмов с идеальными звеньями и связями без учета деформации, процессов трения, износа, температурных деформаций и т.д. Поэтому только достаточно глубокий уровень абстракции позволяет увидеть общность систем или задач при всех их различиях.

Векторные контуры, позволяют моделировать большое множество механизмов (см. работы [5]-[10], [85]-[91]), потому метод модульного моделирования представляется перспективным, в частности, применительно к задачам динамического синтеза механизмов.

1.1. Основные понятия векторных моделей

Вектор - направленный отрезок, характеризуемый длиной и углами направления. В плоскости основными параметрами вектора являются длина r_i и угол направления α_i (см. рис.1.2.а), а в пространстве основными параметрами вектора являются длина r_i , угол возвышения над плоскостью XZ α_i , и угол поворота вокруг оси Y β_i (см. рис.1.2.б).

Контур векторной модели – замкнутая или разомкнутая система (цепь) векторов.

Модуль векторной модели - векторный замкнутый контур или совокупность векторных замкнутых контуров с определенностью между функциями и аргументами.

Элементарный модуль - контур векторной модели, с числом функций, равным числу его измерений контура, не содержащий дополнительных к условию замкнутости внутриконтурных связей, и с аргументами, значения которых известны к моменту начала расчета.

В общем случае, параметры вектора \vec{r}_i пространственного векторного контура могут изменяться в следующий пределах:

$$0 \leq r_i < \infty,$$

$$0 \leq \beta_i \leq \pi \quad \text{или} \quad 0 \leq \alpha_i < 2\pi (-\pi < \alpha_i \leq \pi), \quad \text{при} \quad -\frac{\pi}{2} < \beta_i \leq \frac{\pi}{2},$$

или

$$0 \leq \beta_i < 2\pi \text{ или } 0 \leq \alpha_i \leq \pi \left(-\frac{\pi}{2} < \alpha_i \leq \frac{\pi}{2}\right), \text{ при } -\pi < \beta_i \leq \pi.$$

В плоском контуре основные параметры вектора \bar{r}_i могут изменяться в следующий пределах:

$$0 \leq r_i < \infty, \quad 0 \leq \alpha_i < 2\pi \left(-\pi < \alpha_i \leq \pi\right),$$

или

$$0 \leq \alpha_i \leq \pi \left(-\frac{\pi}{2} < \alpha_i \leq \frac{\pi}{2}\right).$$

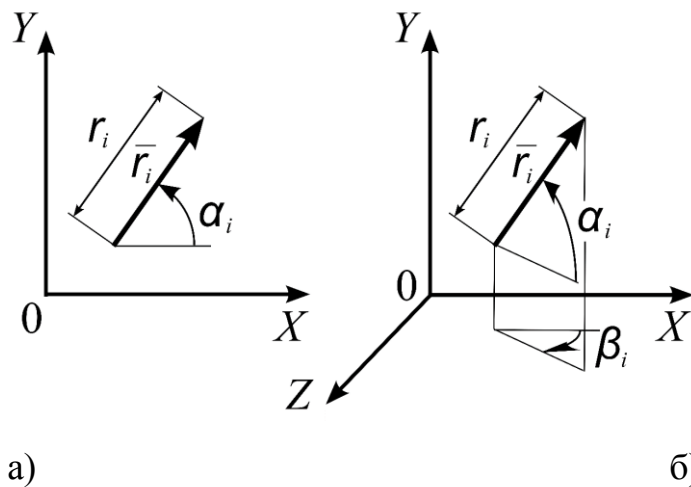


Рис. 1.2. Основные параметры плоского и пространственного векторов

Параметры векторного контура могут быть аргументами, функциями или константами.

Аргумент контура - параметр контура, значение которого изменяется по заданному закону и известно к моменту начала расчета контура.

Функция контура - параметр контура, значение которого неизвестно и изменяется в зависимости от значения аргумента контура.

Константа контура - параметр контура, значение которого не зависит от аргумента контура и не изменяется в процессе расчета контура.

1.2. Характеристики векторного контура

Векторный контур достаточно полно характеризуют следующие основные параметры:

1. Число измерений - n ($n=2$ - плоский контур; $n=3$ - контур пространственный).
2. Количество векторов - m . ($m=2$ замкнутый контур вырождается в линию).

3. Величина суммарного вектора - \bar{r}_s

(при $\bar{r}_s = 0$ контур замкнут, $\bar{r}_s \neq 0$ - контур разомкнут). Любой разомкнутый векторный контур можно обратить в замкнутый путем добавления замыкающего вектора $r_z = -r_s$ при этом $\alpha_z = \alpha_s + \pi$.

4. Дополнительные внутриконтурные связи. Свободный векторный замкнутый контур не имеет дополнительных (к условию замкнутости) связей между векторами контура, его внутриконтурные связи определяют условие замкнутости контура.

5. Список функций - выходных параметров неизвестных к моменту начала расчета параметров контура.

Если количество функций контура n_v равно числу его измерений n , для определения функций достаточно использовать лишь условие его замкнутости.

Если количество функций контура n_v превышает числу измерений n , то для определения функций, кроме условия его замкнутости, необходимо задать и $n_v - n$ дополнительных внутриконтурных взаимосвязей между параметрами контура.

6. Список аргументов - входных параметров, известных к моменту начала расчета изменяющихся параметров контура. В общем случае все параметры, кроме функций контура, могут быть его аргументами, т.е. параметрами, величины которых изменяются и известны к моменту начала его исследования (расчета).

В большинстве реальных структур количество аргументов значительно меньше максимально возможного их числа, так как многие параметры векторов контура являются константами, т.е. не изменяются в процессе исследования контура.

7. Вариант решения. При заданных значениях констант и аргументов некоторые контуры имеют не одно, а несколько значений функций. Как будет показано далее, вариант решения контура может изменяться в процессе исследования.

Приведенные выше параметры векторного контура дают представление о его структуре и задаче исследования.

Число измерений n , количество векторов в контуре m , величина суммарного вектора \bar{r}_s , список дополнительных внутриконтурных связей $\{\Delta\alpha\}$ составляют *структурную характеристику контура*.

Структурная характеристика не содержит списка аргументов, и, следовательно, не изменяется при переходе к другой задаче исследования.

Отсутствие в структурной формуле сведений о величине суммарного вектора означает, что контур замкнут, т.е. $\bar{r}_s = 0$.

Структурная характеристика, дополненная списками аргументов и функций, а также сведениями о варианте решения контура, составляет *параметрическую характеристику контура*.

Примеры

Структурная характеристика

Структурная формула

Плоский, 4-х векторный замкнутый контур без дополнительных внутриконтурных связей.

$n=2, m=4$

Параметрическая характеристика

Параметрическая

формула

Плоский, 3-х векторный замкнутый контур без дополнительных внутриконтурных связей, с функциями α_1, α_3 и аргументом α_2 , с первым вариантом решения задачи о функциях.

α_2	$n=2, m=3$
\longrightarrow	α_1, α_3
	$V=1$

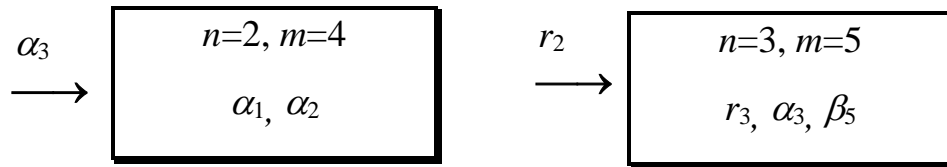
Параметрические характеристики и формула математической модели исследуемого объекта, в частности механизма, могут быть составлены на основе анализа задачи его исследования при знании его структуры. Например, основой для составления параметрической формулы модели механизма может служить его кинематическая схема.

Параметрическая характеристика, дополненная значениями аргументов и констант контура, составляет *расчётную характеристику контура*.

Если при заданном списке функций не известны значения аргументов и констант контура, то не всегда заранее можно определить вариант решения

контура. В этом случае нужно рассматривать *структурно-параметрическую характеристику контура*, т.е. структурную характеристику контура, дополненную списками функций и аргументов, но без указания варианта его решения.

Например,



Все многообразие векторных модулей можно разделить на одноконтурные (простые) и многоконтурные (с обратными связями) [6-8].

1.3. Одноконтурные Элементарные векторные модули

Элементарный векторный модуль - одноконтурный модуль с числом функций, равным числу измерений контура. Элементарные плоские и пространственные векторные модули, отображающие замкнутые векторные контура со списками функций, приведены в табл.2.1. Практический интерес для определения точных формул частных производных представляют одно- и(или) двухаргументных модули, для многоаргументных модулей проще использовать численное дифференцирование.

Условие замкнутости полностью определяет все взаимосвязи параметров векторов элементарного модуля.

Действительно, условие замкнутости пространственного m -векторного контура в скалярной форме представляет собой систему трех уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m r_i \cos \alpha_i \cos \beta_i = 0 \\ \sum_{i=1}^m r_i \sin \alpha_i = 0 \\ \sum_{i=1}^m r_i \cos \alpha_i \sin \beta_i = 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

а, следовательно, и возможность определения любых трех параметров, входящих в ее состав. Аналогично система двух уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m r_i \cos \alpha_i = 0 \\ \sum_{i=1}^m r_i \sin \alpha_i = 0 \end{cases} \quad (1.2)$$

позволяет определить две любые функции плоского векторного замкнутого контура.

Таблица 2.1 Элементарные пространственные и плоские векторные модули

Модуль	Функции			Число решений	Основные аргументы - любые параметры векторов не равные функциям модуля																		
	u_1	u_2	u_3		r_i	α_i	β_i	r_j	α_j	β_j	r_k	α_k	β_k	r_l	α_l	β_l	r_m	α_m	β_m				
Пространственные																							
Пр1	r_i	α_i	β_i	1														x	x	x	x	x	x
Пр2	r_i	α_i	r_j	1			x		x	x								x	x	x	x	x	x
Пр3	r_i	α_i	α_j	2			x	x		x								x	x	x	x	x	x
Пр4	r_i	α_i	β_j	2			x	x	x									x	x	x	x	x	x
Пр5	r_i	β_i	r_j	2		x			x	x								x	x	x	x	x	x
Пр6	r_i	β_i	α_j	4		x		x		x								x	x	x	x	x	x
Пр7	r_i	β_i	β_j	2		x		x	x									x	x	x	x	x	x
Пр8	α_i	β_i	r_j	2	x				x	x								x	x	x	x	x	x
Пр9	α_i	β_i	α_j	2	x			x		x								x	x	x	x	x	x
Пр10	α_i	β_i	β_j	2	x			x	x									x	x	x	x	x	x
Пр11	r_i	r_j	r_k	1		x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Пр12	r_i	r_j	α_k	2		x	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Пр13	r_i	r_j	β_k	2		x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Пр14	r_i	α_j	α_k	4		x	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Пр15	r_i	α_j	β_k	4		x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Пр16	α_i	α_j	α_k	8	x		x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Пр17	α_i	α_j	β_k	8	x		x	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Пр18	β_i	β_j	r_k	2	x	x		x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Пр19	β_i	β_j	α_k	4	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Пр20	β_i	β_j	β_k	∞	x	x		x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Плоские																							
	u_1	u_2			r_i	α_i	r_j	α_j	r_k	α_k	r_l	α_l											
Пл1	r_i	α_i	1						x	x	x	X											
Пл2	r_i	r_j	1			x		x	x	x	x	X											
Пл3	r_i	α_j	2			X	X		x	x	x	X											
Пл4	α_i	α_j	2	x			X		x	x	x	X											

Примеры элементарных модулей приведены на рис. 1.3, где функции модулей выделены кружками, а аргументы - обозначены стрелками.

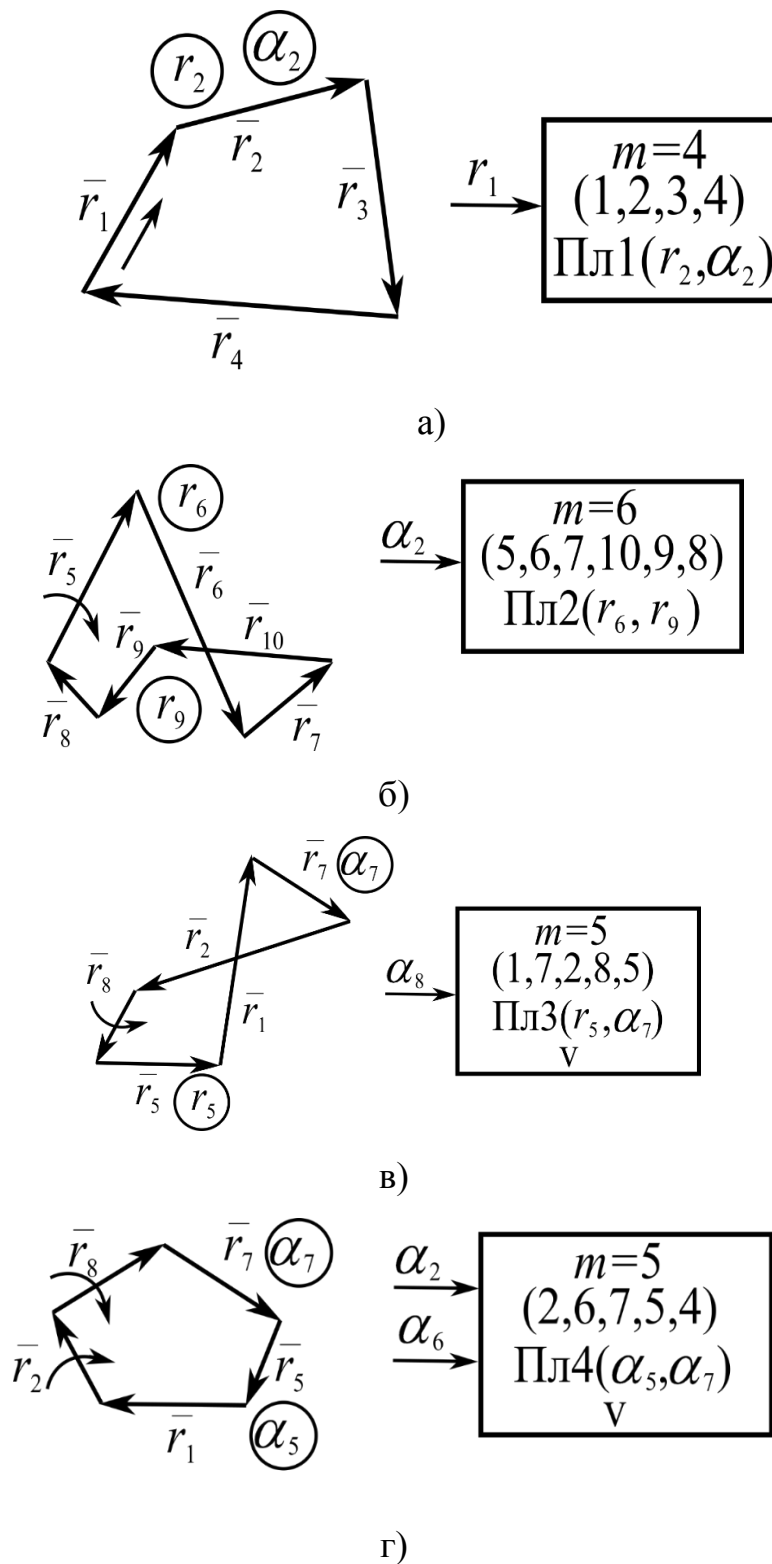


Рис. 1.3. Примеры элементарных модулей

1.4. Кинематические модульные векторные модели

Переход от кинематической схемы к векторной модели механизма связан, прежде всего, с отображением подвижно соединенных звеньев механизма системой взаимосвязанных векторных замкнутых контуров. Анализ списков функций векторных замкнутых контуров этой модели позволяет использовать для их определения аналитику элементарных модулей. На этом этапе создания модели механизма избыточная информация, в частности о положении центров масс звеньев и точек приложения внешних нагрузок, игнорируется.

Основная кинематическая модульная модель механизма - один или система взаимосвязанных векторных контуров, отображающая его кинематическую схему.

Основная кинематическая модель обеспечивает решение задачи о движении звеньев механизма. Векторный образ этой модели отображает кинематическую схему исследуемого механизма в наиболее удобной для аналитического описания форме. Кроме того, создаются и различные модификации основной кинематической модели для решения различных дополнительных задач, например, для определения положений, скоростей и ускорений звеньев какой-либо точки одного из звеньев механизма достаточно ввести в основную кинематическую модель дополнительный векторный контур.

В общем случае, решение любой дополнительной задачи кинематического анализа механизмов приводит к развитию его основной кинематической модели за счет введения дополнительных векторных контуров.

Характеристика типовой математической модели, в общем случае, представляет собой:

- исходные данные /аргументы/;
- математические зависимости /аппарат, формулы/;
- результаты /функции/.

На этапе формирования задачи композиции определяются:

- списки аргументов, связи векторов;
- характеристики всей модели;
- характеристики векторных контуров.

Варианты векторного отображения во многих случаях могут быть скомпонованы из четырех плоских и двадцати пространственных элементарных векторных контуров - модулей, описывающих множество решений векторных замкнутых контуров. Объектами анализа в этом случае являются значения неизвестных параметров векторов - функций модулей.

Описание основной кинематической модульной модели механизма, в состав которой входят лишь элементарные, без дополнительных к условию замкнутости внутриконтурных связей, модули с однородными постоянными межконтурными связями приведено ниже.

1. Общая характеристика модели:

1.1. Число контуров модели;

1.2. Список аргументов модели;

1.3. Тип решаемой задачи: определение положений, определение положений, скоростей, и ускорений;

1.4. Для каждого аргумента модели: массивы значений аргументов, их первых и вторых производных или минимальные и максимальные значение и число равноотстоящих значений.

2. Характеристика контура:

2.1. Тип контура: плоский или пространственный;

2.2. Число векторов контура;

2.3. Список номеров векторов, составляющих контур;

2.4. Описание функций: U_1, U_2 - для плоского,

U_1, U_2, U_3 - для пространственного;

2.5. Число межконтурных связей; для каждой межконтурной связи:

$r_i = r_j + \Delta r_{j-i}, \alpha_i = \alpha_j + \Delta \alpha_{j-i}$ - для плоского контура,

$r_i = r_j + \Delta r_{j-i}, \alpha_i = \alpha_j + \Delta \alpha_{j-i}$ или $\beta_i = \beta_j + \Delta \beta_{j-i}$ - для пространственного контура,

где i - номер вектора контура,

j - номер вектора одного из предыдущих контуров модели.

1.5. Функции элементарных плоских модулей

В данном пособии приведём аналитические решения только для элементарных плоских модулей.

Аналитические решения для функций элементарных плоских модулей табл.2.2 получим из скалярной записи (2.4) и (2.5) условия замкнутости.

Используем вариант индексации векторов: $i = 1, j = 2$ и $k = 3$

Плоский модуль Пл1 (функции r_1 и α_1)

Преобразуем (1.2): $r_1 \cos \alpha_1 = -X$; $r_1 \sin \alpha_1 = -Y$;

где $X = \sum_{i=2}^m r_i \cdot \cos \alpha_i$, $Y = \sum_{i=2}^m r_i \cdot \sin \alpha_i$;

$$\text{тогда } r_1 = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (1.3)$$

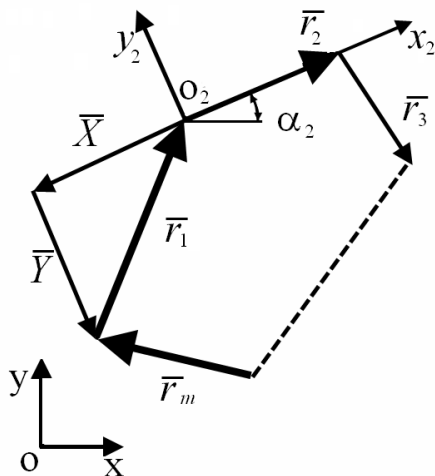
$$\text{и } \alpha_1 = \sin(-Y) \cdot \arccos(-X / r_1). \quad (1.4)$$

Плоский модуль Пл2 (функции r_1 и r_2)

Преобразуем (1.2):

$$r_1 \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + r_2 + X = 0; \quad (1.5)$$

$$r_1 \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha_2) + Y = 0; \quad (1.6)$$



где

$$X = \sum_{i=3}^m r_i \cdot \cos(\alpha_i - \alpha_2);$$

$$Y = \sum_{i=3}^m r_i \cdot \sin(\alpha_i - \alpha_2),$$

т.е. перейдем к системе координат $x_2O_2y_2$ (рис.1.4), тогда из уравнения (1.6) получим

$$r_1 = -Y / \sin(\alpha_1 - \alpha_2), \quad (1.7)$$

затем из уравнения (1.5)

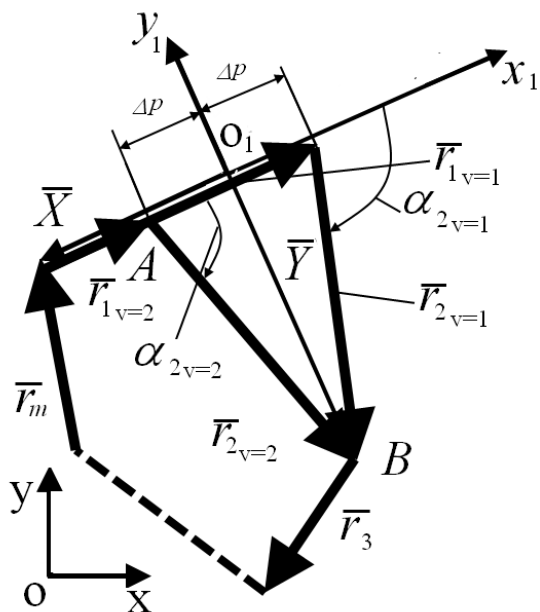
$$r_2 = -X - r_1 \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (1.8)$$

Рис. 1.4. Схема модуля Пл2

Плоский модуль Пл3 (функции r_1 и α_2)

В системе координат $x_1O_1y_1$ (рис.1.5)

$$X = \sum_{i=3}^m r_i \cos(\alpha_i - \alpha_1); \quad Y = \sum_{i=3}^m r_i \sin(\alpha_i - \alpha_1).$$



Первый вариант решения ($V=1$) принимаем при $|\varphi_2| > \pi/2$.

Пусть $k=1$ при $V=1$ и $k=-1$ при $V=2$.

В треугольнике ABO_1 $\Delta p = \sqrt{r_2^2 - Y^2}$, тогда

$$r_1 = -X + k \cdot \Delta p; \quad (1.9)$$

$$\alpha_2 = \text{sign}(-Y) \cdot \arccos(k \cdot \Delta p / r_2) + \alpha_1. \quad (1.10)$$

Рис. 1.5. Схема модуля Пл3

Плоский модуль Пл4 (функции α_1 и α_2)

Предварительно определим параметры суммарного вектора $\bar{p}_{1-2} = \bar{r}_1 + \bar{r}_2$:

$$p_{1-2} = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad \alpha_{1-2} = \text{sign}(-Y) \cdot \arccos(-X/p_{1-2}),$$

где
$$X = \sum_{i=3}^m r_i \cdot \cos \alpha_i, \quad Y = \sum_{i=3}^m r_i \cdot \sin \alpha_i$$

Перейдем к системе координат $x_{1-2}O_{1-2}$ (рис.1.6). В треугольнике со сторонами a, b, c , и противолежащими соответственно

углами A, B, C : $A = 2 \cdot \arccos \sqrt{p \cdot (p - a) / bc}$

и $B = 2 \cdot \arccos \sqrt{p \cdot (p - b) / ac}$,

где $p = 0,5 \cdot (a + b + c)$ или

при $a = r_1, b = r_2$ и $c = p_{1-2}$ (рис.1.6)

$$A = 2 \cdot \arccos \sqrt{s \cdot (p - r_1) / r_2}; \quad B = 2 \cdot \arccos \sqrt{s \cdot (p - r_2) / r_1};$$

где $p = 0,5 \cdot (r_1 + r_2 + p_{1-2}); s = p / p_{1-2}$.

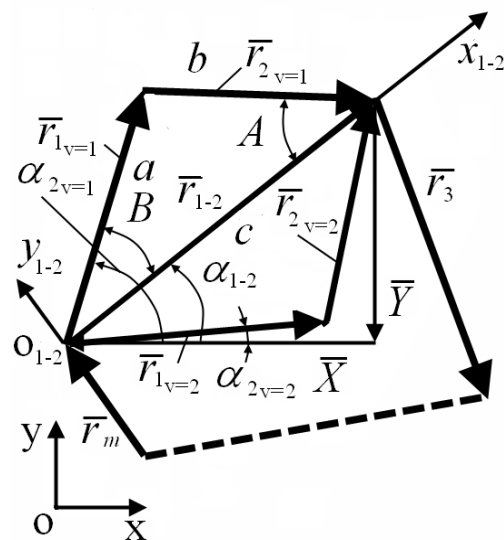


Рис. 1.6. Схема модуля Пл4

Принимаем первый вариант решения $v=1$ при $\alpha_{1-2} \geq 0$.

Пусть $k = 1$ при $v = 1$ и $k = -1$ при $v = 2$, тогда

$$\alpha_i = \alpha_{1-2} + \Delta\alpha_i, \quad \text{где } i = 1 \text{ или } 2, \Delta\alpha_1 = k \cdot B, \Delta\alpha_2 = -k \cdot A.$$

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕКТОРНЫХ МОДЕЛЕЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Рассмотрим применение теории векторного моделирования в учебном процессе, как в рамках курсового проекта, так и при проведении лабораторных работ по теории механизмов и машин (ТММ). Если традиционный курс ТММ [10], [11] дает понимание об основных элементах механизмов структуры механизмов и о том, как рассчитываются параметры кинематики, кинестатики и динамики механизмов, то использование теории векторного моделирования позволяет обучать студентов пониманию основ анализа и синтеза механизмов.

На кафедре “Основы конструирования машин” Самарского государственного аэрокосмического университета создан пакет программ **КДАМ** представляющий собой математическую векторную модель кинематического и динамического поведения механизмов. Для полноценного освоения КДАМ используется цикл лабораторных работ, где студенты рассматривают различные приемы кинематического и динамического анализа и синтеза механизмов.

Инструкция по работе с пакетом программ КДАМ приведена в Приложении А.

Использование векторных моделей при моделировании задач кинематики и динамики механизмов позволяет, во-первых ещё на этапе эскизного проектирования проводить исследование работы механизма и оптимизацию основных параметров механизма (длин звеньев, углы давления, приведённые нагрузки и массовые характеристики, реакции в шарнирах и т.д.), во-вторых позволяет решать сопутствующие задачи проектирования, ну и в-третьих, предсказуемость математического аппарата и его воплощение в программном комплексе по расчёту кинематики и динамики механизмов (КДАМ) позволяет это делать достаточно просто и быстро.

Именно это обуславливает возможность и необходимость применения теории векторного моделирования в учебном процессе, как в рамках курсового проекта, так и при проведении лабораторных работ по теории механизмов и машин (ТММ). Если традиционный курс ТММ дает понимание об основных элементах

механизмов [3,4,5], структуры, как рассчитываются параметры кинематики, кинетостатики и динамики механизмов, то использование K DAM позволяет обучать студентов пониманию основ анализа и синтеза механизмов.

2.1. Порядок применения векторного моделирования в курсовой работе

1. Согласно заданию, выбираются схемы рычажного, зубчатого и кулачкового механизма. В главе 3 настоящего пособия приведены структурные схемы рычажных механизмов из сборника типовых заданий на курсовой проект по ТММ [12] и соответствующие им векторные модели.
2. Анализируется геометрическое построение всех звеньев механизма и, если необходимо проводятся дополнительные построения или вычисления для получения всех параметров. За ведущее звено принять звено со стрелочкой.
3. Строится векторная модель механизма.
4. Установить размеры векторов и другие параметры согласно заданию.
5. Провести проверку кинематической цепи на разрыв.
6. Проанализировать кинематические характеристики выходного звена.
7. Ввести массовые характеристики, силовые и моменты, действующие на механизм.
8. Проанализировать динамические характеристики механизма.
9. Создать отчёт в составе:
 - a. Параметры модели (Векторную схему механизма в промежуточном положении);
 - b. Расчетная формула;
 - c. График «Приращение и его 1 и 2-я производные» для параметра выходного звена;
 - d. График «Разность углов» для всех звеньев;
 - e. График «Зависимости параметров» ведомого звена от параметра ведущего звена;
 - f. Массовые характеристики, силы и моменты, действующие на механизм;
 - g. Приведённые нагрузки и инерционные характеристики;
 - h. Реакции в кинематических парах;

- i. Координаты центр масс.
10. Сделать вывод о работе механизма.
11. Записать отчёт в виде файла с расширением pdf.

2.2. Примеры векторного моделирования в курсовой работе

На рисунках 2.1-2.4 приведены примеры использования векторных моделей в курсовом проектировании:

1. В кинематическом исследовании механизма (1-й лист КП ТММ) (рис. 2.1).
2. В динамическом исследовании механизма (2-й лист КП ТММ) (рис. 2.2).
3. В проектировании зубчатой передачи (3-й лист КП ТММ) (рис. 2.3).
4. В синтезировании профиля кулачкового механизма (4-й лист КП ТММ) (рис. 2.4).

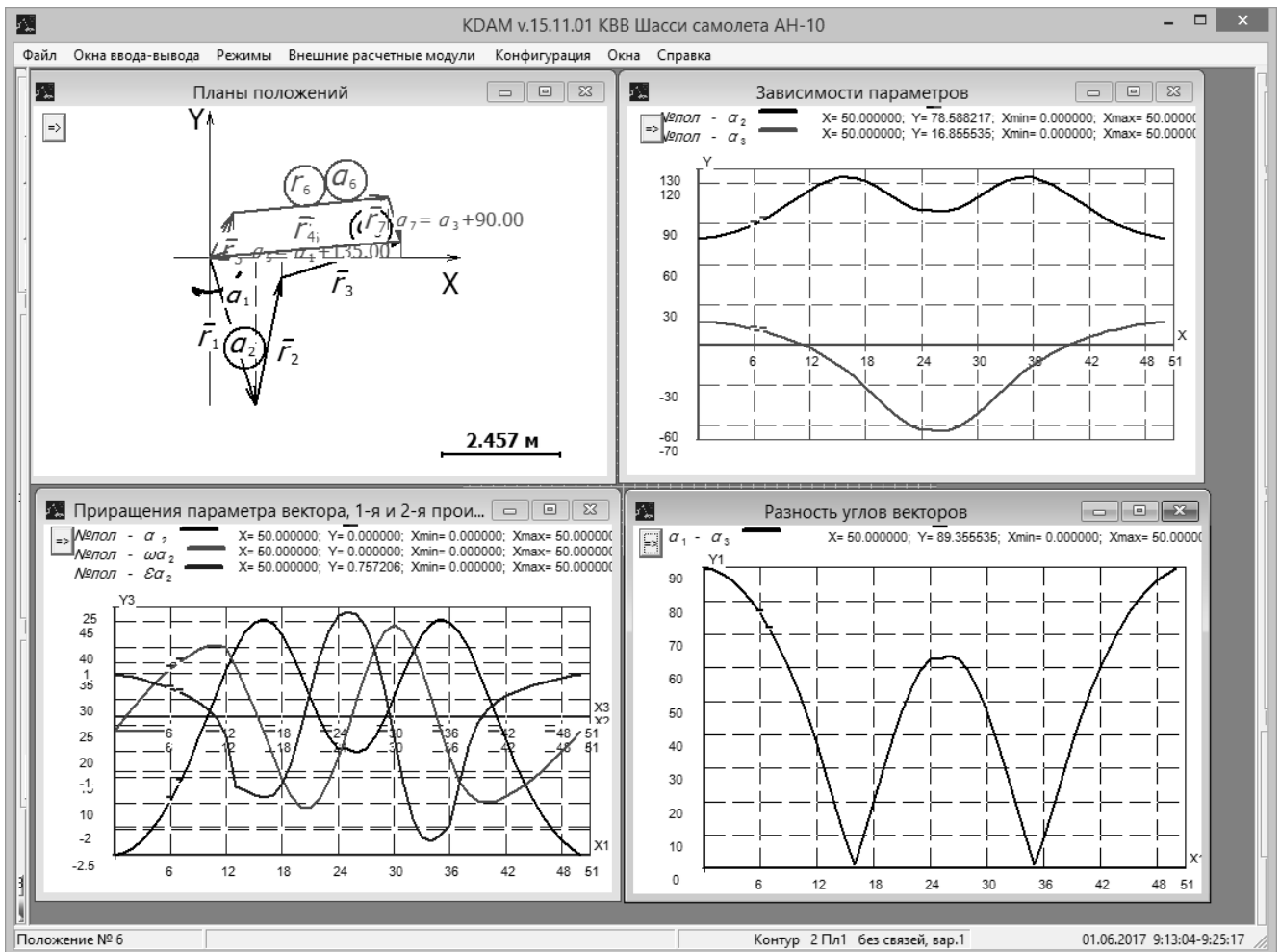


Рис. 2.1. Пример векторного моделирования механизма шасси в K DAM

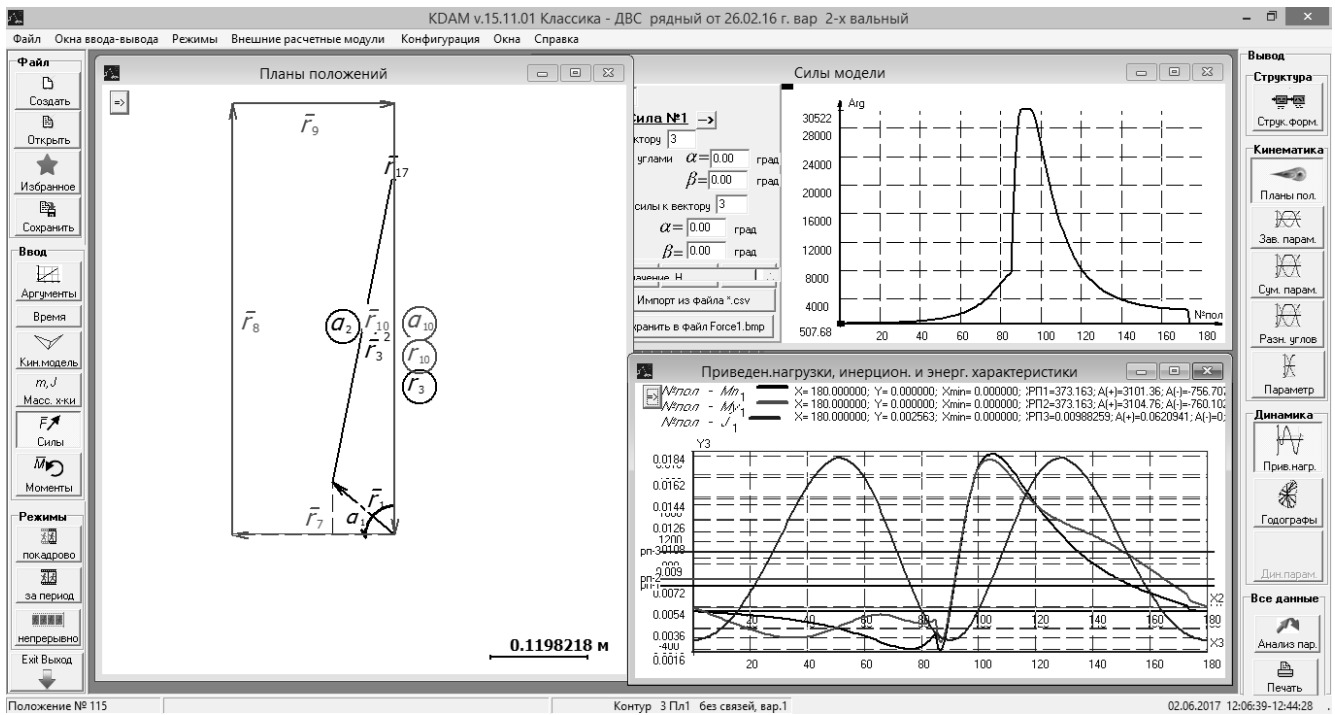


Рис. 2.2. Пример нахождения приведённых нагрузок механизма ДВС в KDM

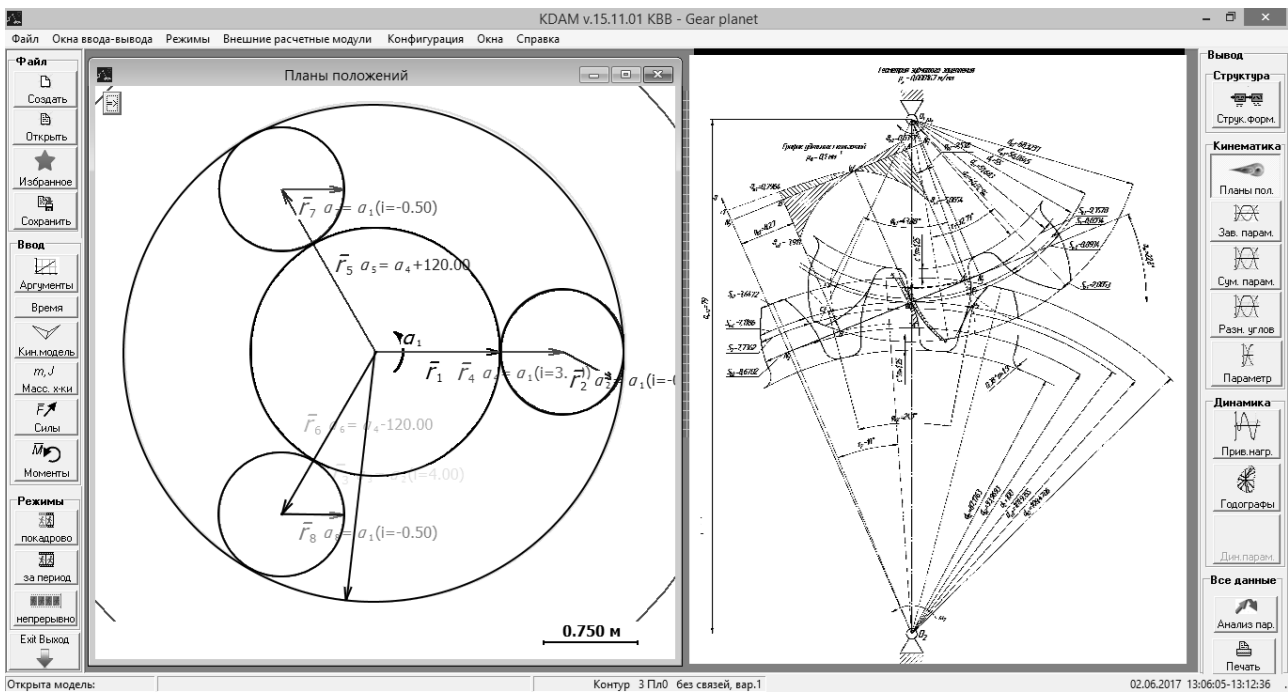


Рис. 2.3. Пример моделирования планетарного редуктора в KDM

Проведение кинематического и динамического анализов рычажного механизма, выполняется в KDM с использованием панели Параметрический анализ.

На рисунке 2.5 для примера показаны зависимости уравновешивающего момента от оборотов коленвала двигателя внутреннего сгорания на

установившемся режиме из панели параметрического анализа КДАМ-а.

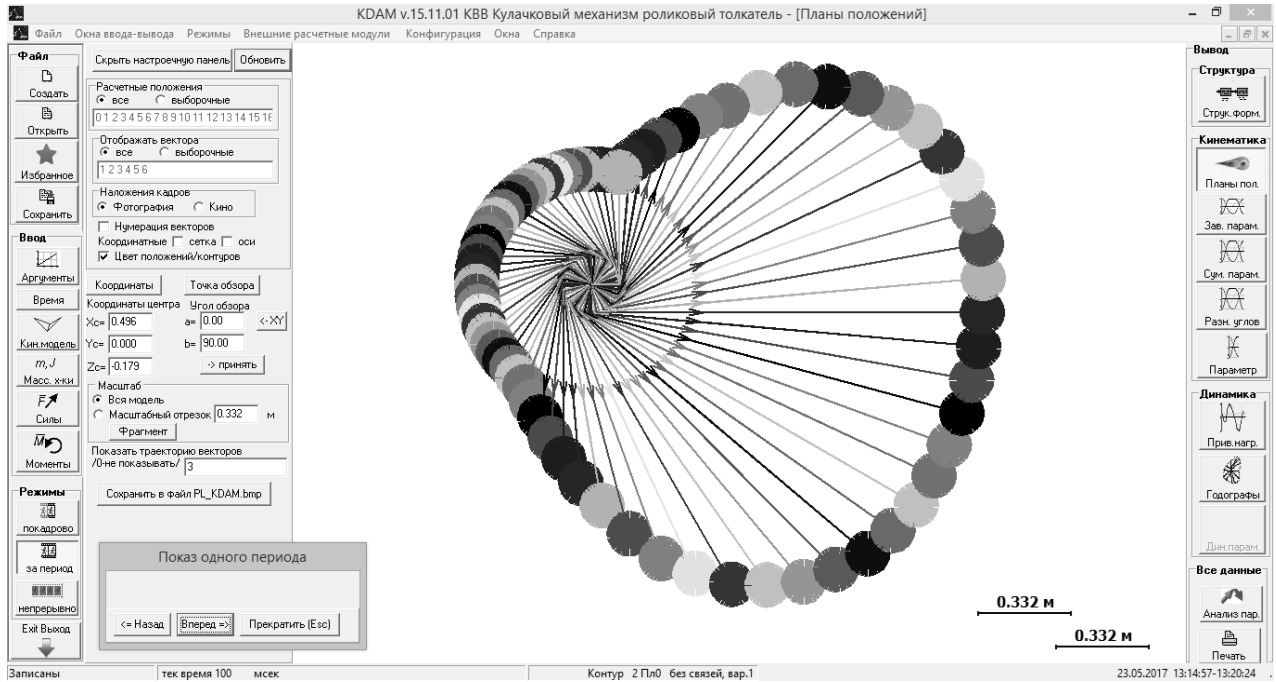


Рис. 2.4. Пример векторного моделирования профиля кулачкового механизма с роликовым толкателем в КДАМ

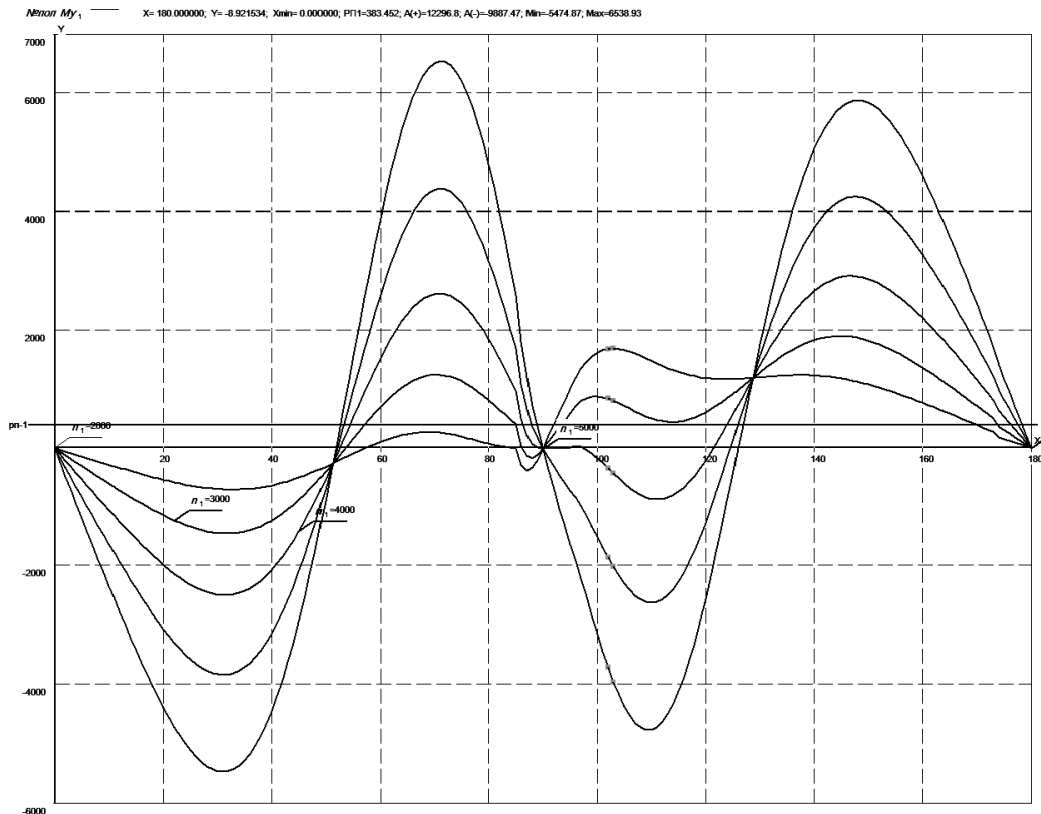


Рис. 2.5 Зависимости уравнивающего момента от оборотов коленвала двигателя внутреннего сгорания

Важно понимать, что векторные модели обладают глубокой абстракцией и не могут быть использованы в специфических расчетах или отобразить конструкцию механизма, поэтому, там, где это необходимо, например, при выполнении расчёта зубчатой передачи и вычерчивании геометрии зацепления (лист 3 курсового проекта) используются другие методы и способы - в электронных таблицах и CAD-системах, например, в Microsoft Excel-е и Компасе.

2.3. Синтез профиля кулачкового механизма

Создание профиля кулачка (лист 4 курсового проекта) можно выполнить в K DAM-е, если знать закон движения толкателя и создавать векторные модели с использованием «промежуточных аргументов». На рисунке 2.6 приведены структурные схемы из типовых заданий кулачкового механизма с роликовым толкателем (рис.2.6, а), кулачкового механизма с роликовым толкателем (рис.2.6, б), и кулачкового механизма с тарельчатым толкателем (рис.2.6, в).

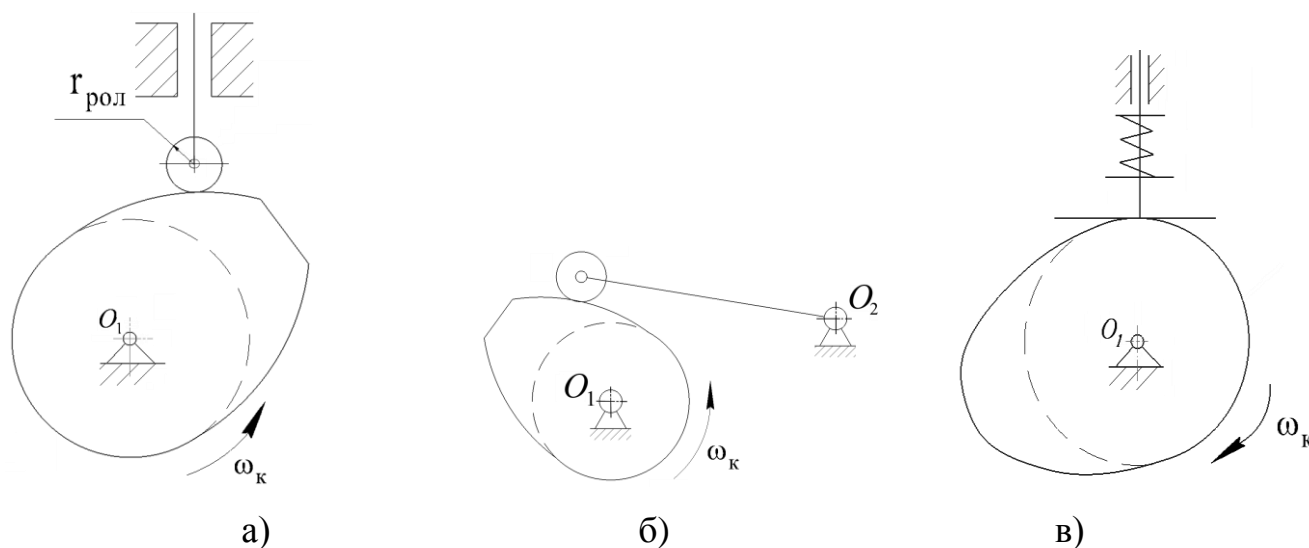


Рис. 2.6. Структурные схемы кулачковых механизмов:

- а) с роликовым толкателем, б) коромысловым толкателем,
- в) с тарельчатым толкателем

2.4. Синтез профиля кулачкового механизма с роликовым толкателем

Рассмотрим формирование векторной модели профиля кулачкового механизма с роликовым толкателем. Первоначально создаётся векторная модель

перемещения толкателя (см. рис.2.7). Параметрическая формула данной векторной модели приведена на рис.2.8.

Выбирается закон перемещения роликового толкателя и задаётся как аргумент модели (рис. 2.9).

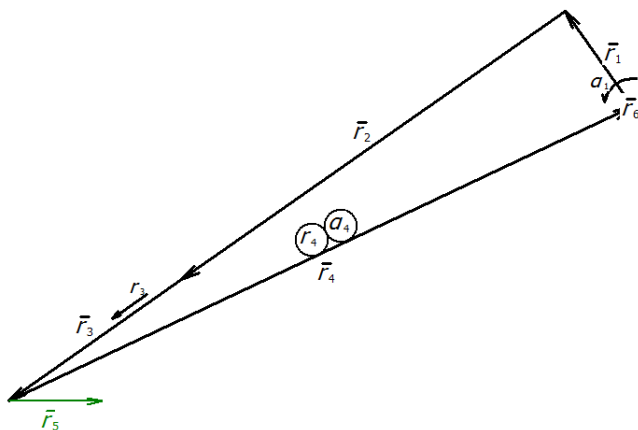


Рис. 2.7. Векторная модель перемещения роликового толкателя

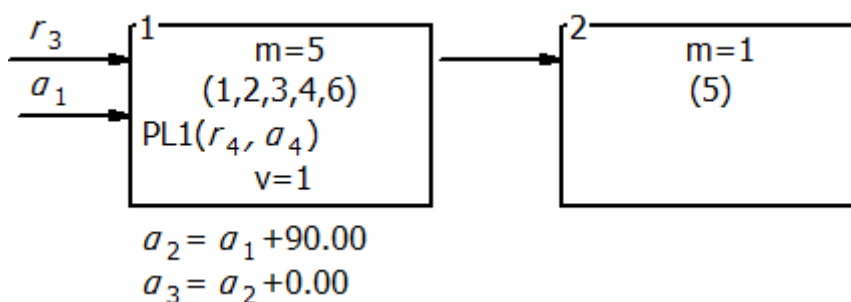


Рис. 2.8. Параметрическая формула векторной модели

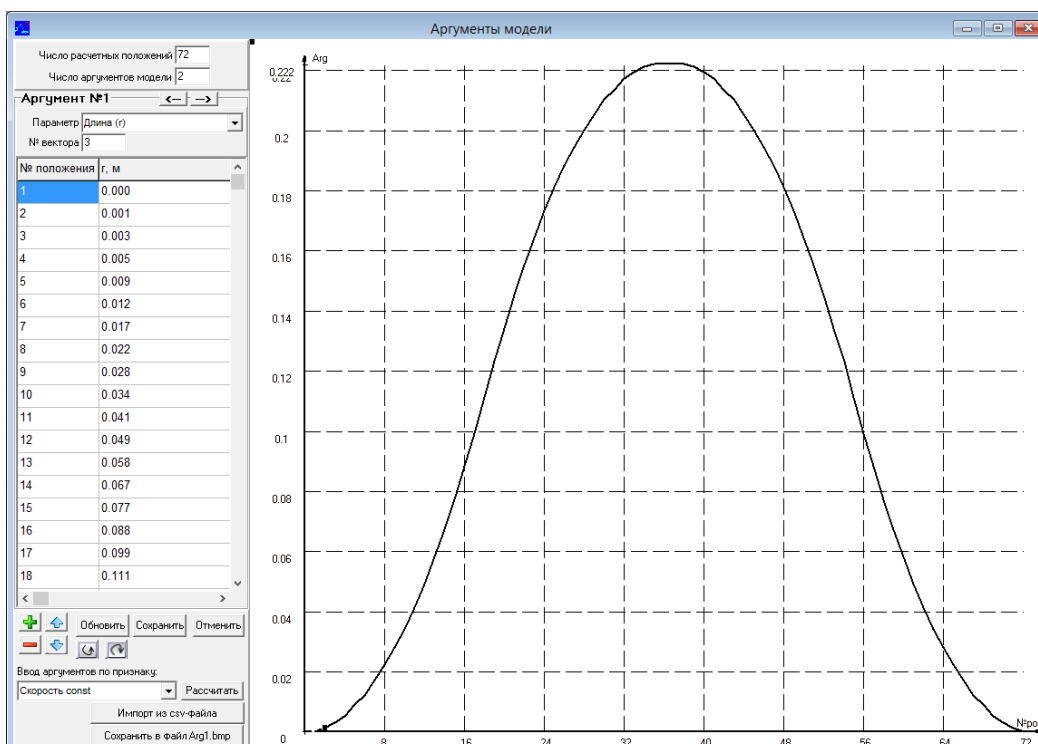


Рис. 2.9. Аргумент модели – изменение длины 3-его вектора в КДАМ

Также, как и в обычном проектировании, методом обращенного движения придаём всей системе – ω_1 , то есть для всей векторной модели кроме первого аргумента модели задающего перемещение роликового толкателя добавляем ещё один аргумент модели, задающий поворот 1-го вектора на 360° . Для каждого расчётного положения механизма с использованием «промежуточных аргументов, задаётся вращение вектора 5 на 360° , тем самым моделируется изображение ролика, сам профиль кулачка получается построением дополнительной кривой, проходящей касательно к ролику по внутреннему контуру. На рисунке 2.10 показано сформированная векторная модель профиля кулачка с роликовым толкателем. В показанной модели убраны для получения наглядности дополнительные контуры Пл2, которые требуется для получения более точных координат профиля кулачка.

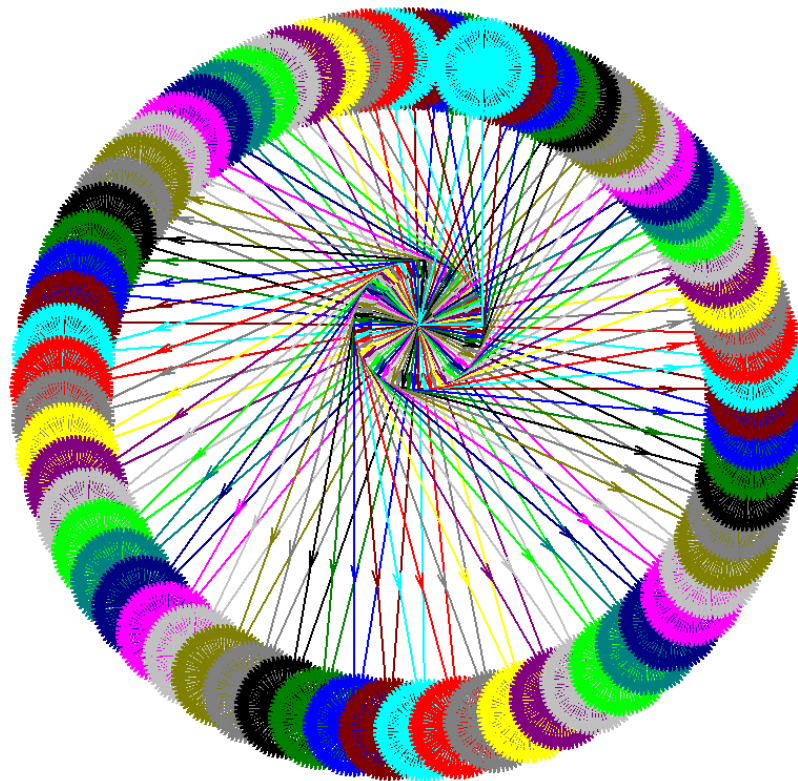


Рис. 2.10. Формирование векторной модели профиля кулачкового механизма с роликовым толкателем

2.5. Синтез профиля кулачкового механизма с коромысловым толкателем

Векторная модель перемещения коромыслового толкателя приведена на рис.2.11.

Параметрическая формула векторной модели приведена на рис.2.12.

Закон поворота коромыслового толкателя задаётся как аргумент модели, аналогично как задавалось перемещение роликового толкателя, только в этой модели задаётся угол поворота вектора 2 в зависимости от расчётного положения.

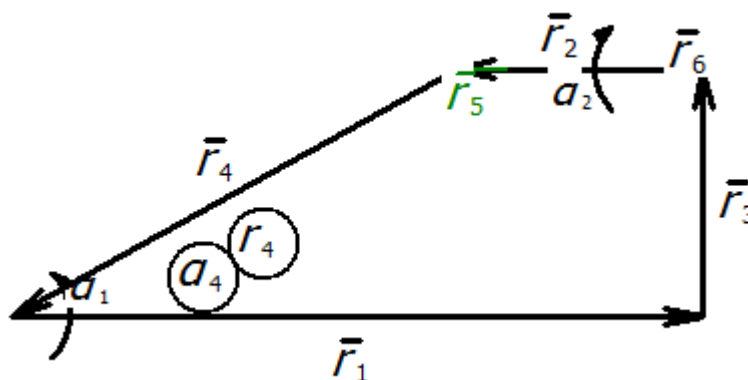


Рис. 2.11. Векторная модель перемещения коромыслового толкателя кулачкового механизма

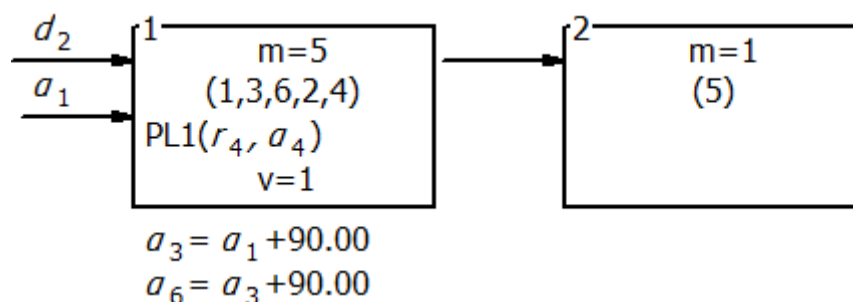


Рис. 2.12. Параметрическая формула векторной модели

Также, как и в обычном проектировании, методом обращенного движения придаём всей системе $-\omega_1$, то есть для всей векторной модели кроме первого аргумента модели задающего поворот коромыслового толкателя задаём аргумент модели, формирующий поворот 1-го вектора на 360° . С использованием «промежуточных аргументов, задаётся вращение вектора 5 на 360° в каждом расчётном положении, тем самым моделируется изображение ролика, а профиль кулачка получается построением дополнительной кривой, проходящей касательно к ролику по внутреннему контуру. На рисунке 2.13 показано сформированная векторная модель профиля кулачка с коромысловым толкателем. В показанной модели убраны для получения наглядности дополнительные контуры Пл2, которые требуется для получения более точных координат профиля кулачка.

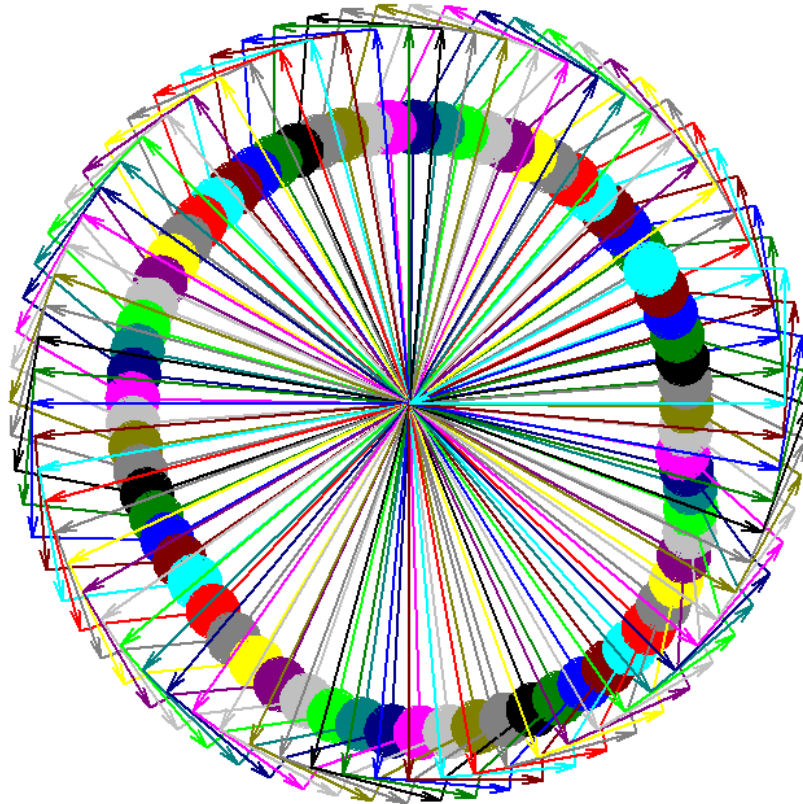


Рис. 2.13. Формирование векторной модели профиля кулачкового механизма с коромысловым толкателем

2.6. Синтез профиля кулачкового механизма с тарельчатым толкателем

Формирование профиля кулачка с тарельчатым толкателем проводится аналогично. Создаётся векторная модель перемещения толкателя.

Параметрическая формула векторной модели приведена на рис.2.14.

На рисунке 2.15. показано формирование векторной модели для построения профиля кулачка с тарельчатым толкателем.

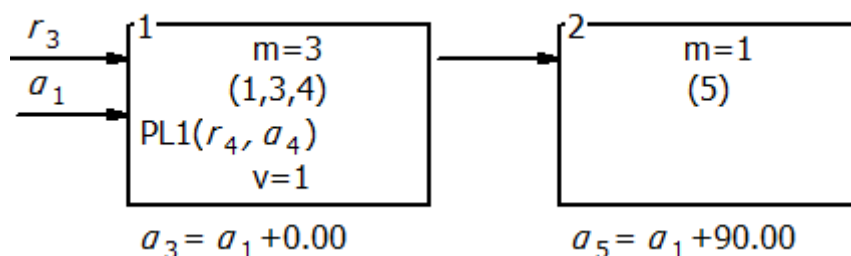


Рис. 2.14. Параметрическая формула векторной модели механизма

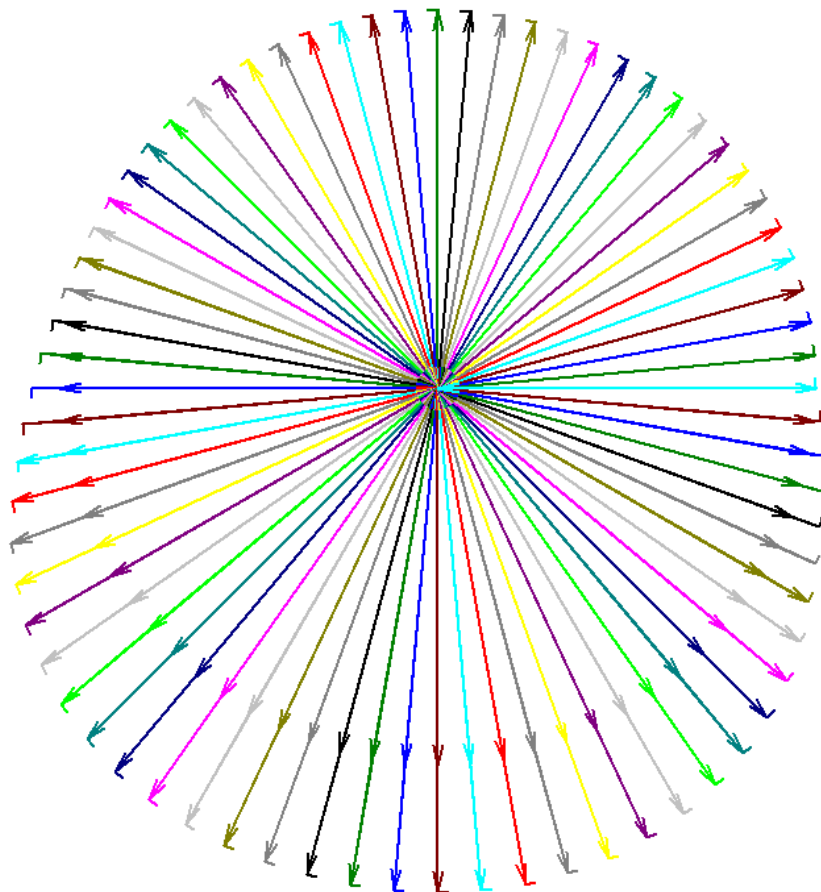


Рис. 2.15. Пример векторного моделирования профиля кулачкового механизма с тарельчатым толкателем в KDAM

В показанной модели убраны для получения наглядности дополнительные контуры Пл2, которые требуется для получения более точных координат профиля кулачка.

3. ЗАДАНИЯ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ И ИХ ВЕКТОРНЫЕ МОДЕЛИ

В данном разделе приведены структурные схемы заданий на курсовой проект из сборника заданий [12], их векторные модели и параметрические формулы необходимые для построения векторных моделей данных схем.

3.1.Задание №1 Шасси самолета Ан-10

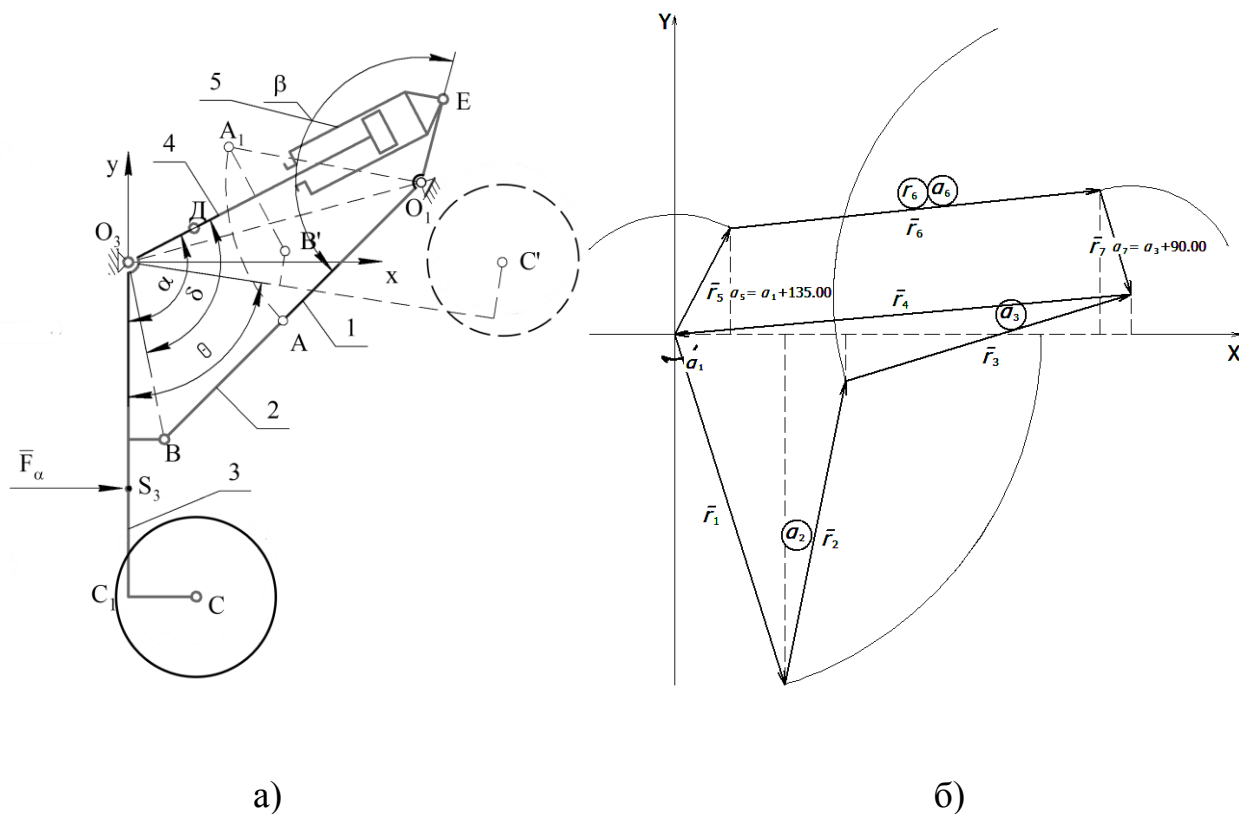


Рис. 3.1. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

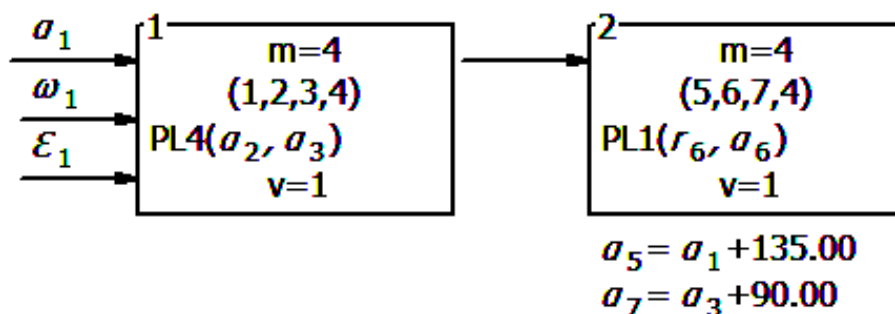


Рис. 3.2. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.2.Задание №2 Механизм шасси

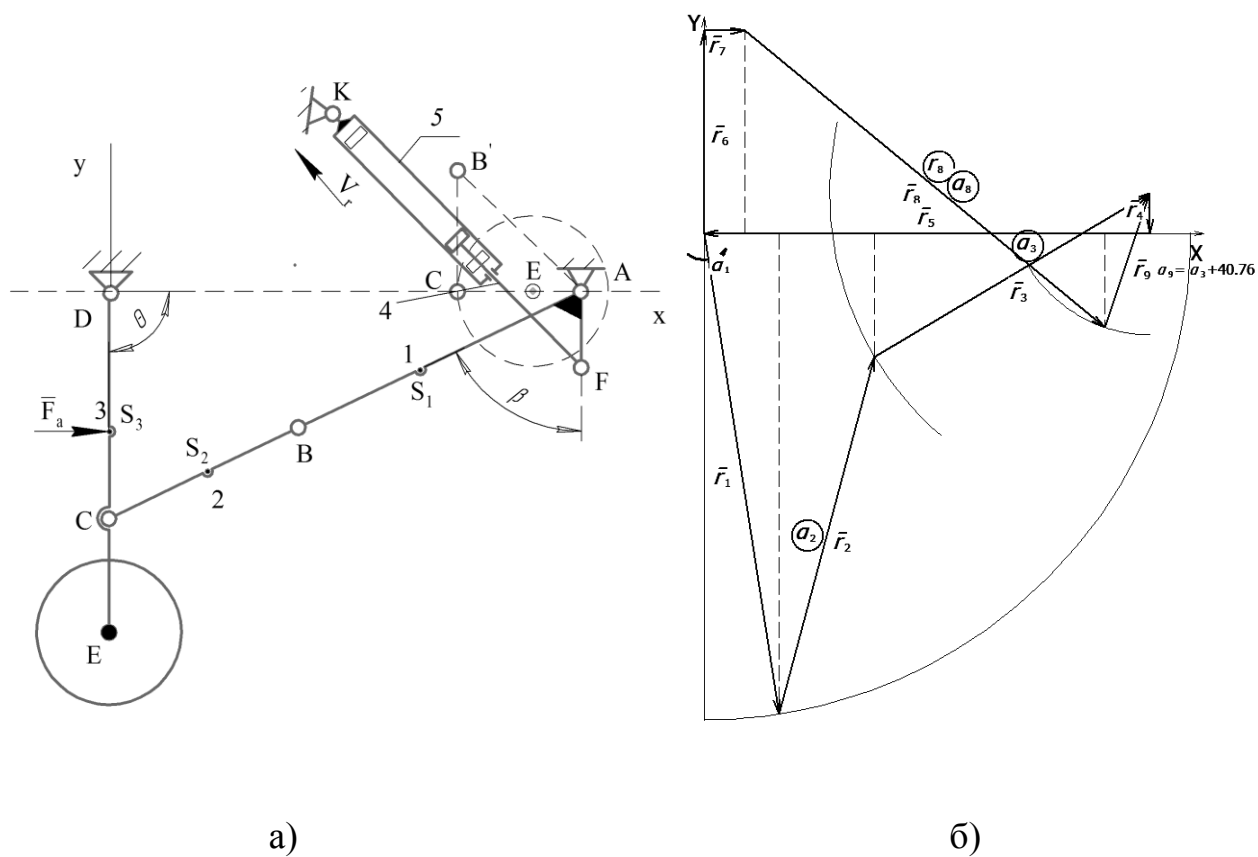


Рис. 3.3. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

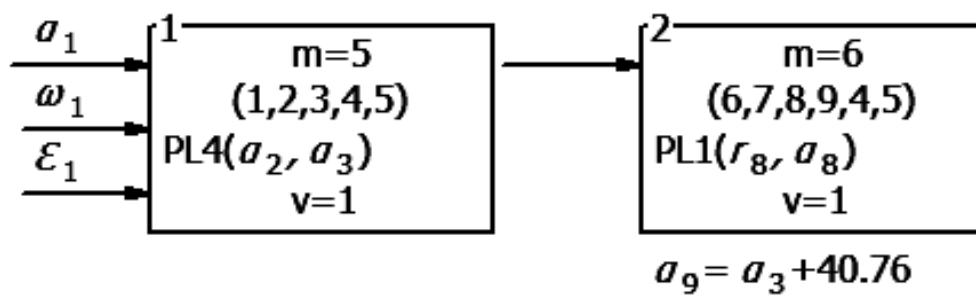


Рис. 3.4. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.3.Задание №3 Механизм шасси (к самолету Ту-154)

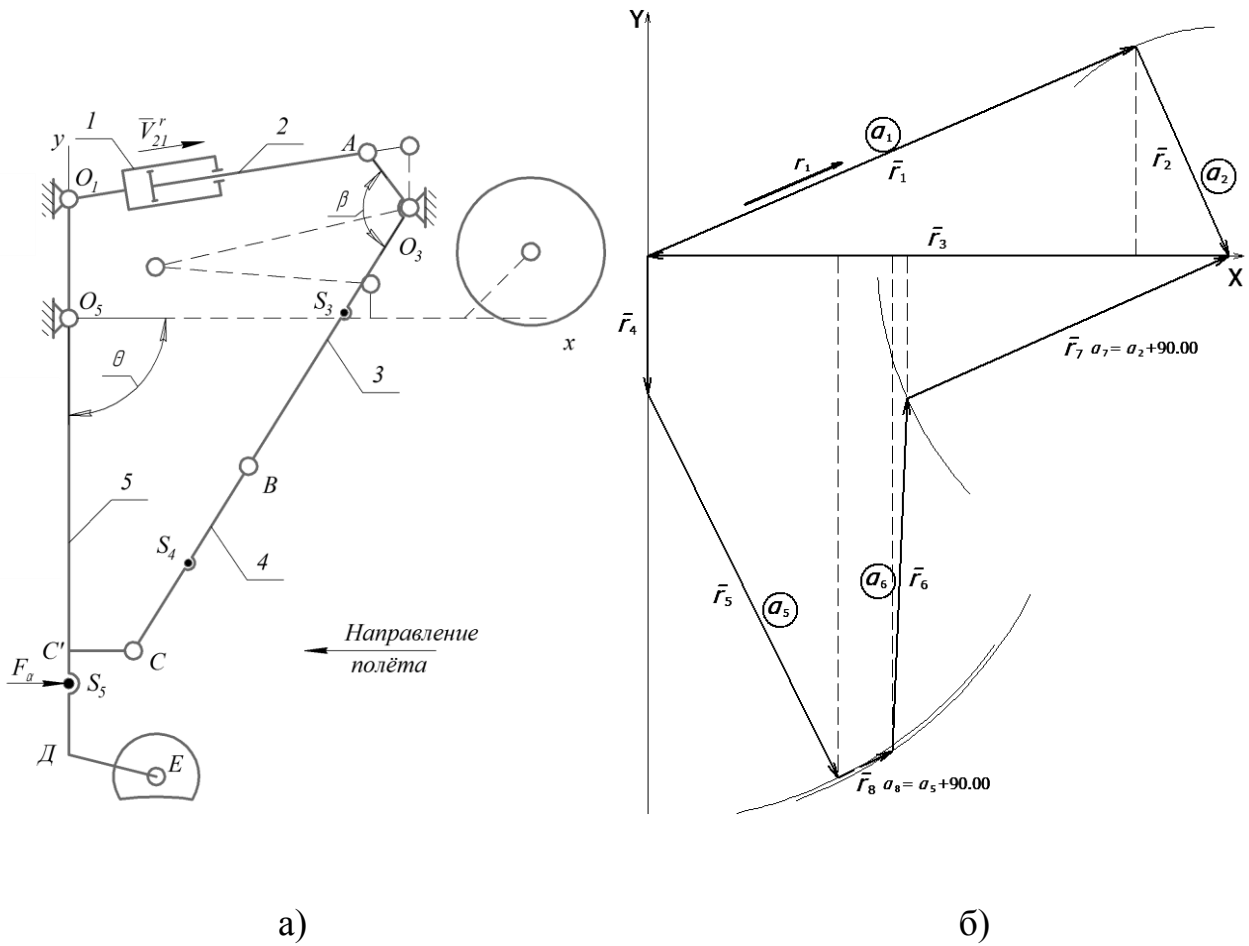


Рис. 3.5. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

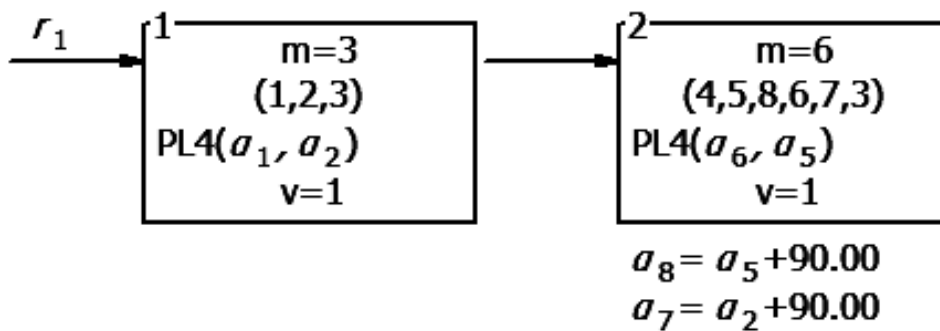


Рис. 3.6. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.4.Задание №4 Шасси самолета Ан-10

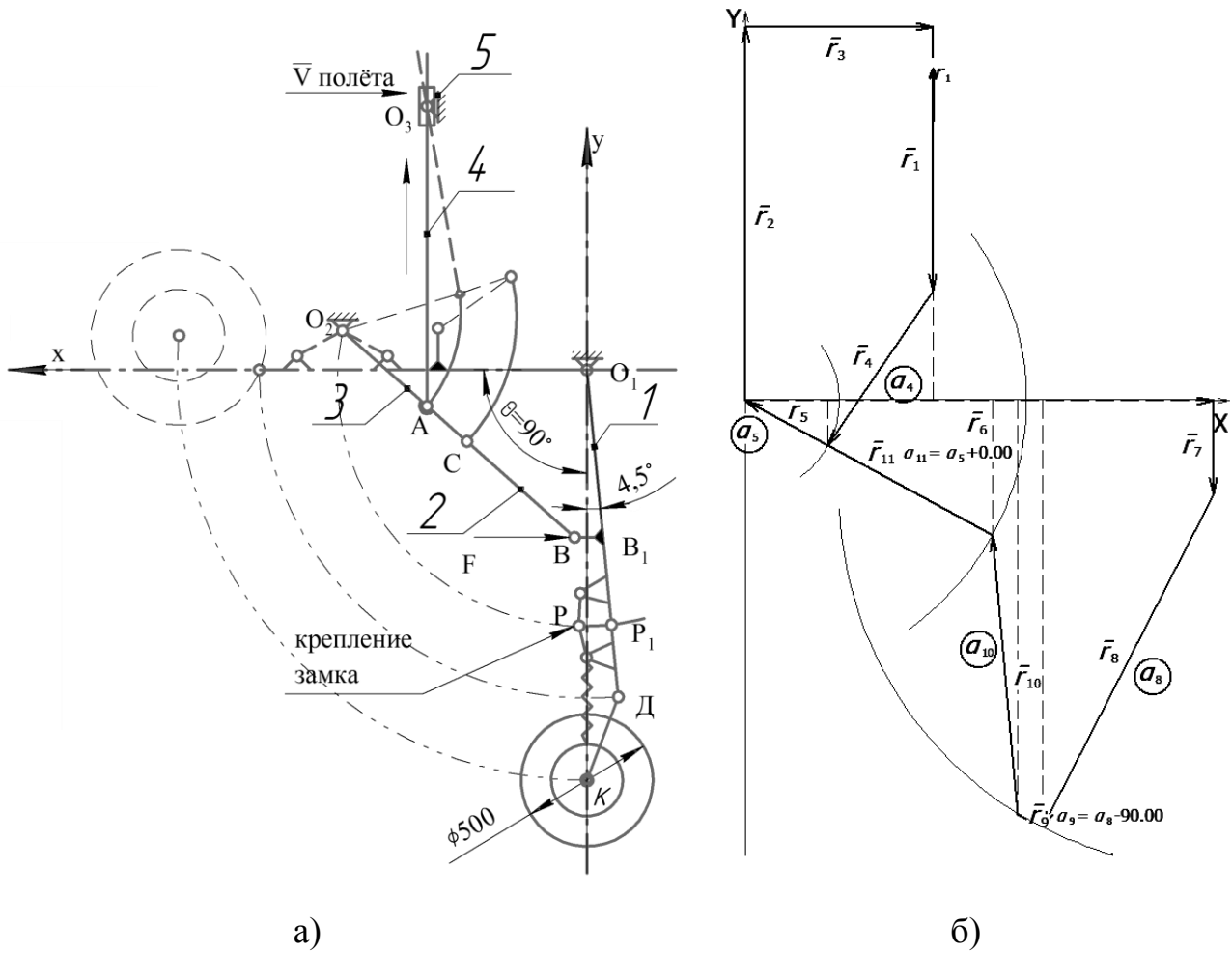


Рис. 3.7. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

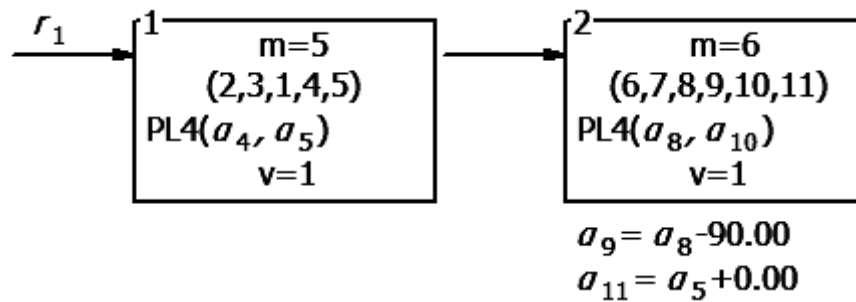
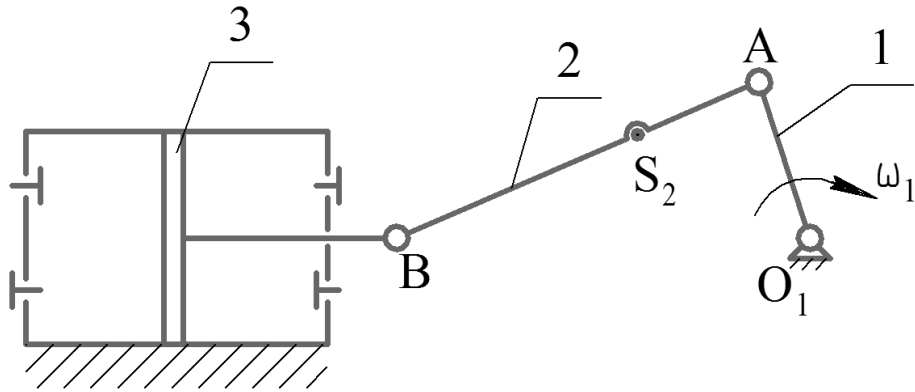
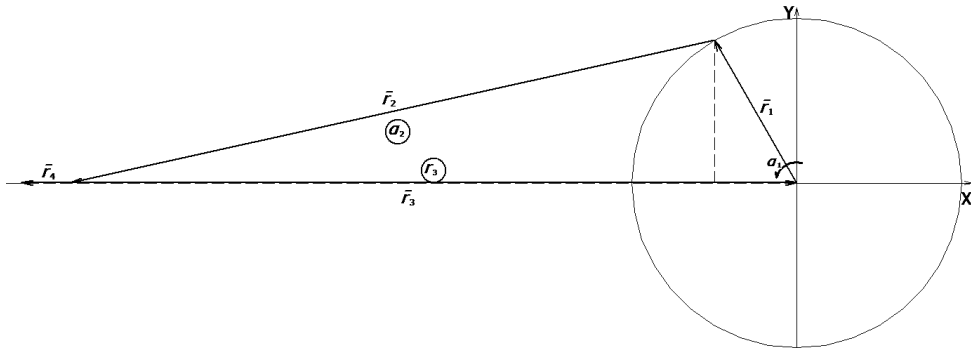


Рис. 3.8. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.5.Задание №5 Компрессор



а)



б)

Рис. 3.9. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

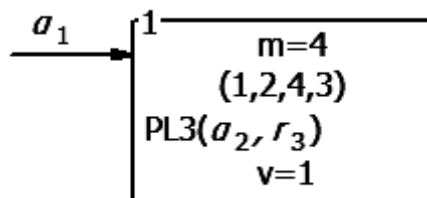


Рис. 3.10. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.6.Задание №6 Механизм шасси

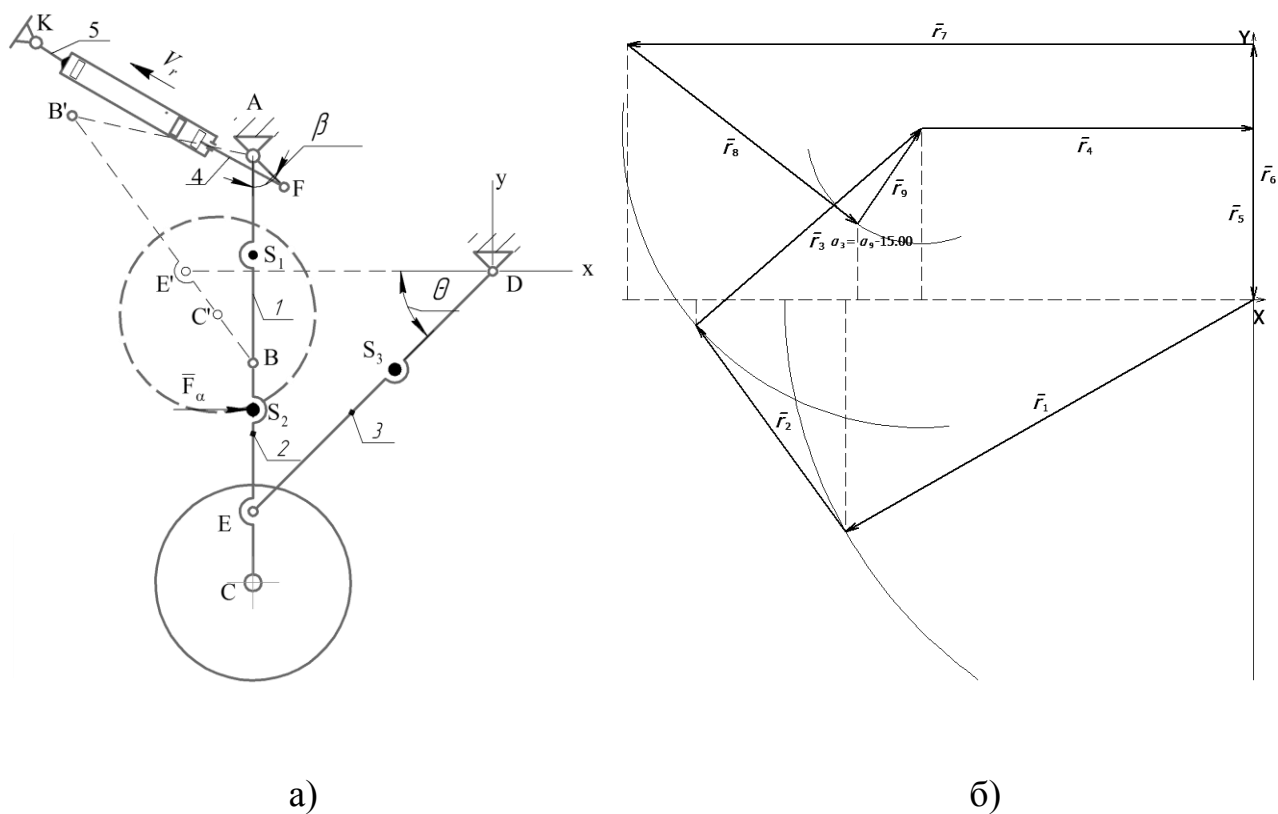


Рис. 3.11. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

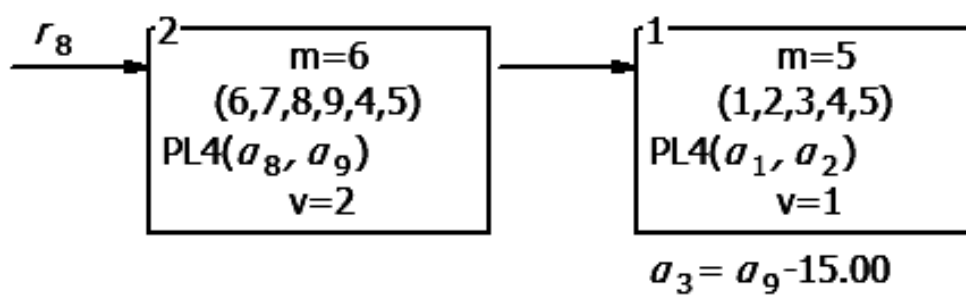


Рис. 3.12. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.7.Задание №7 Механизм шасси

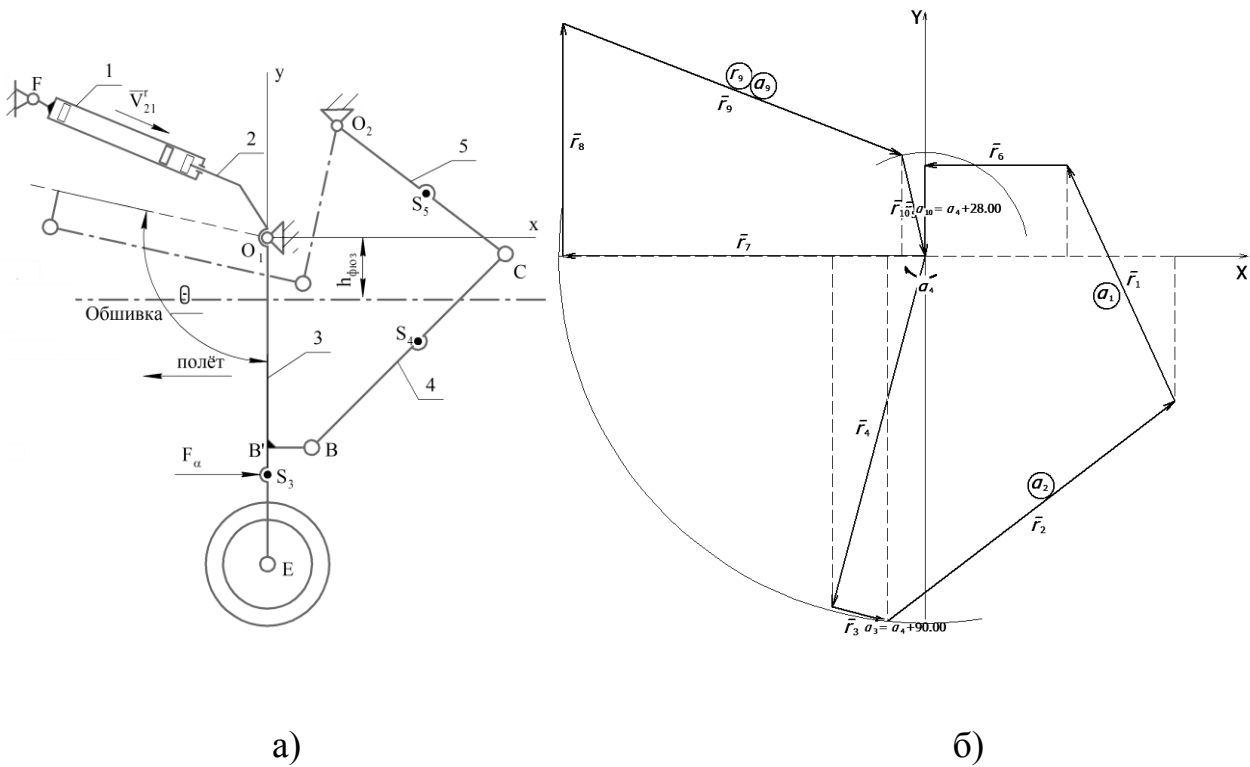


Рис. 3.13. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

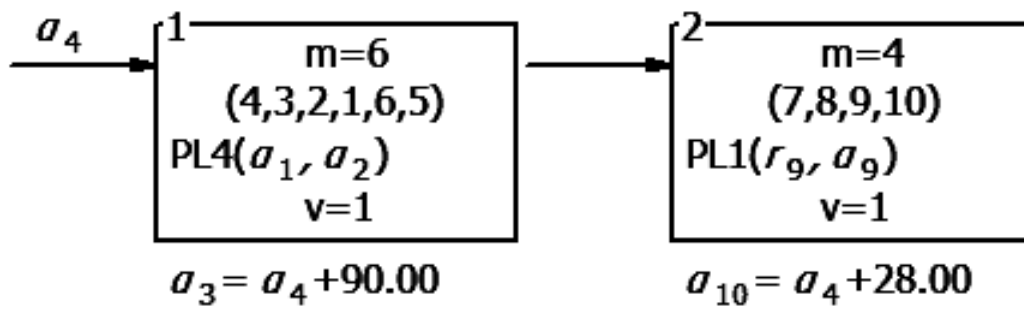


Рис. 3.14. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.8.Задание №8 Механизм управления малой створкой передней ноги

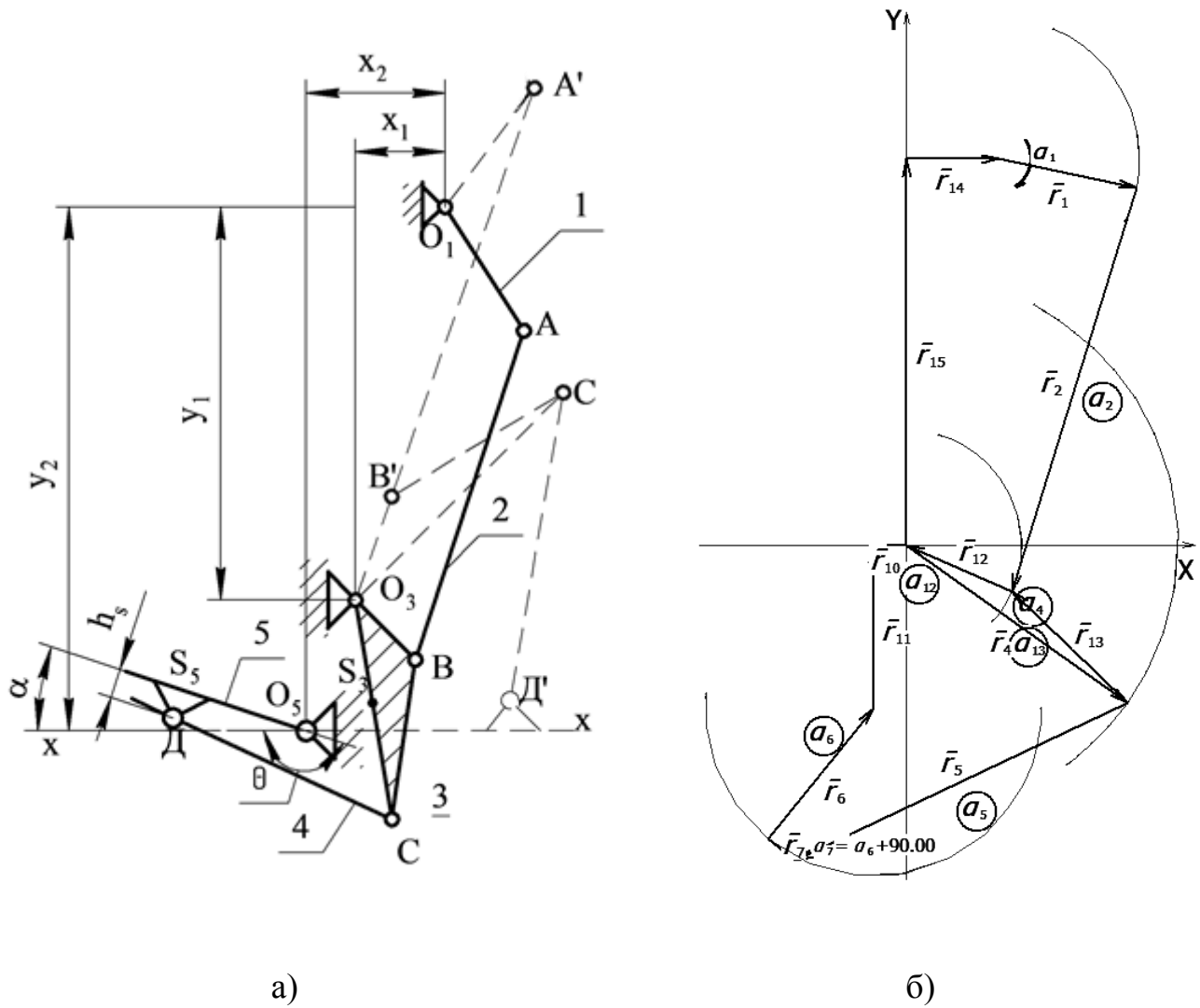


Рис. 3.15. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

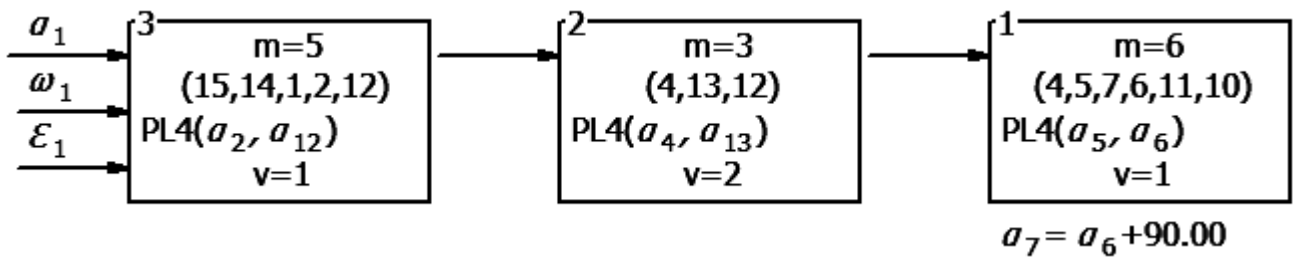
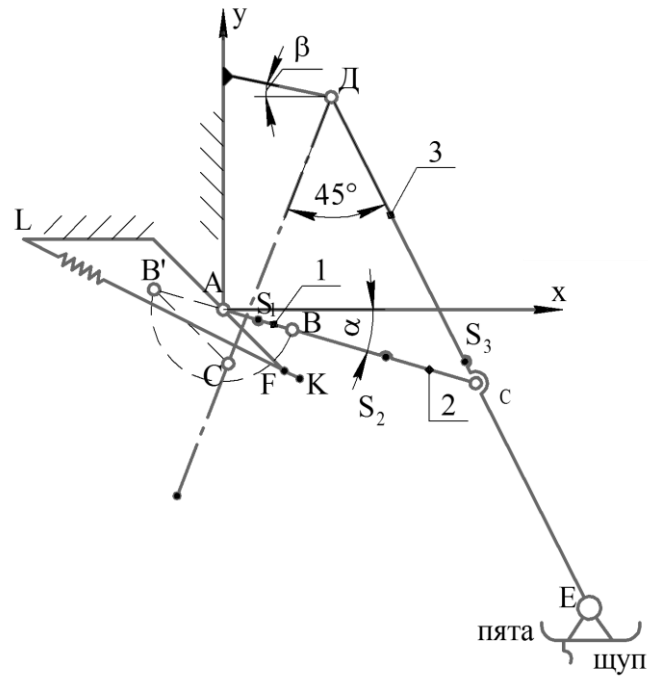
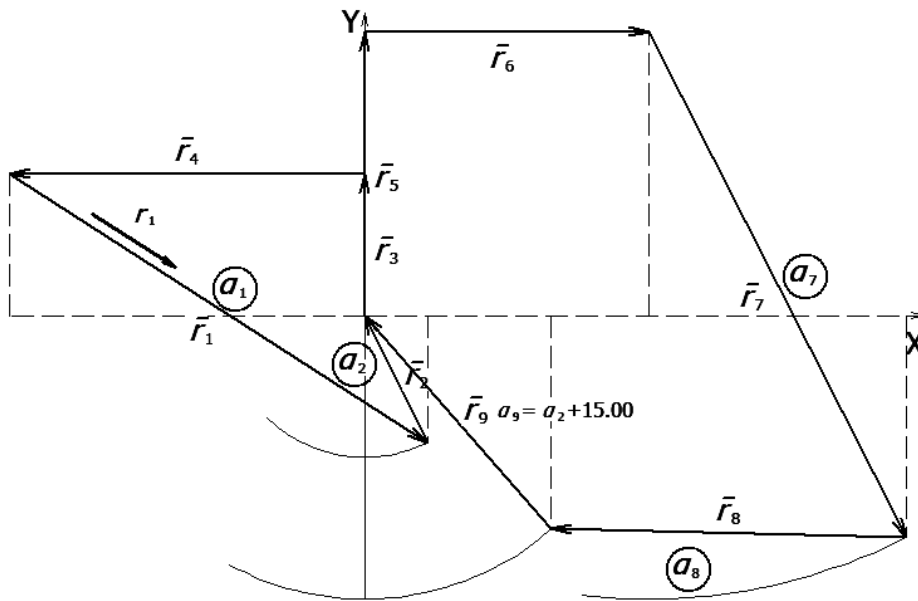


Рис. 3.16. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.9.Задание №9 Шасси лунника



а)



б)

Рис. 3.17. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

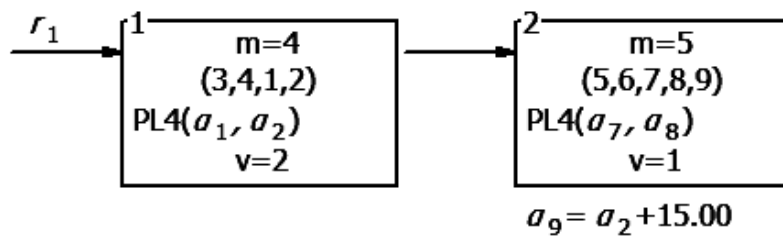
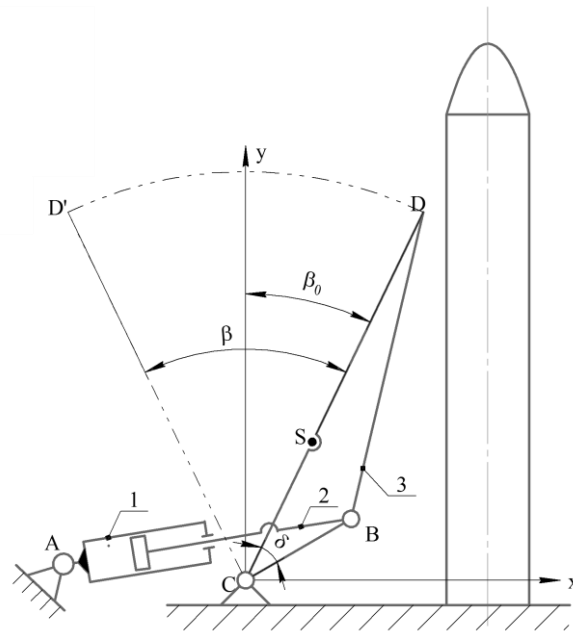
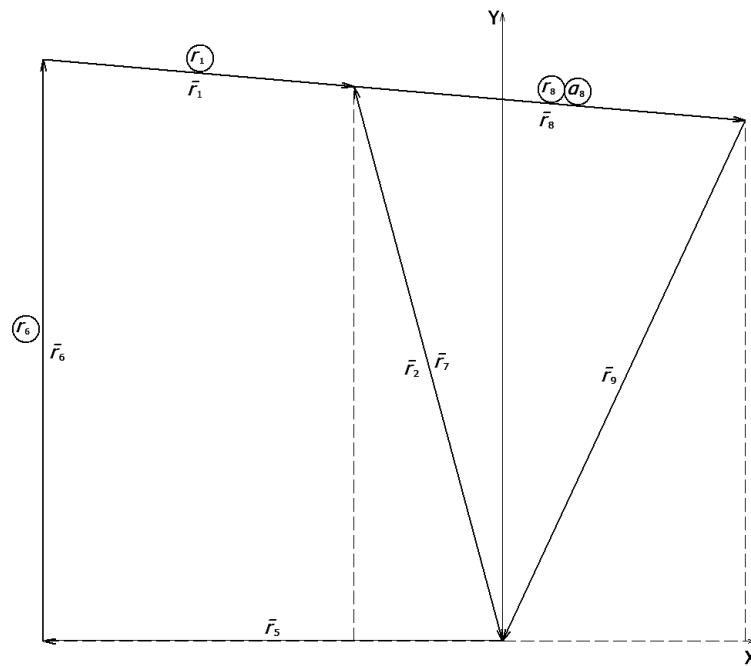


Рис. 3.18. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.10. Задание №10 Механизм поворота кабель-мачты



а)



б)

Рис. 3.19. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

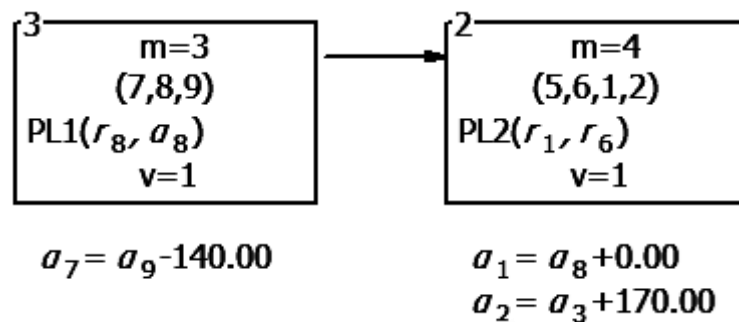
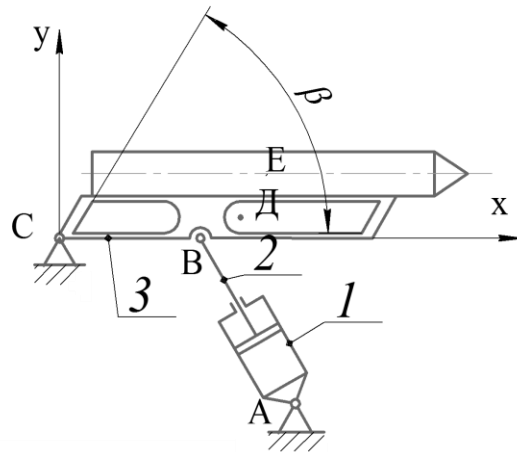
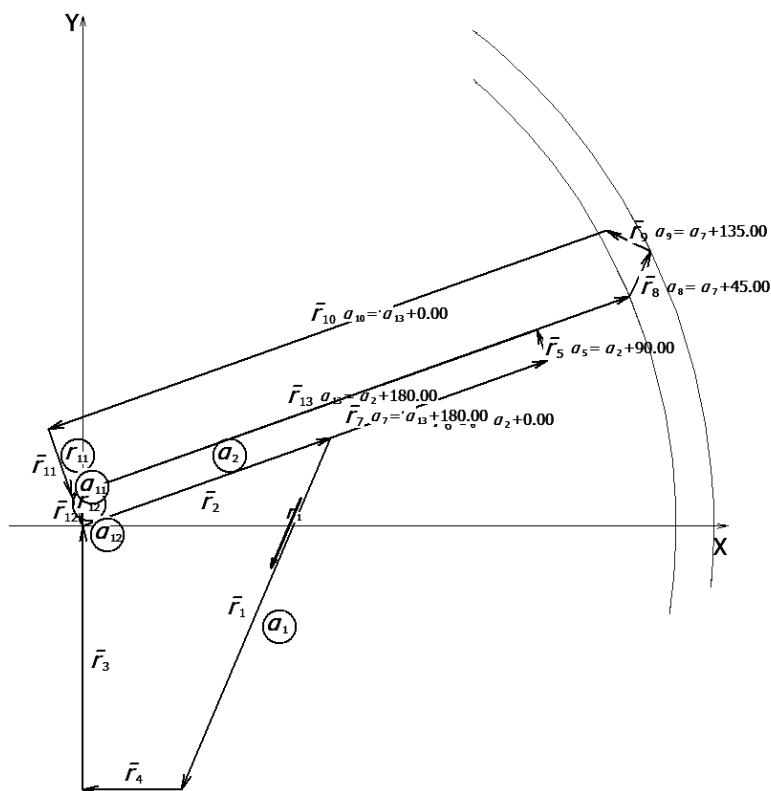


Рис. 3.20. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.11. Задание №11 Механизм установщика



а)



б)

Рис. 3.21. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

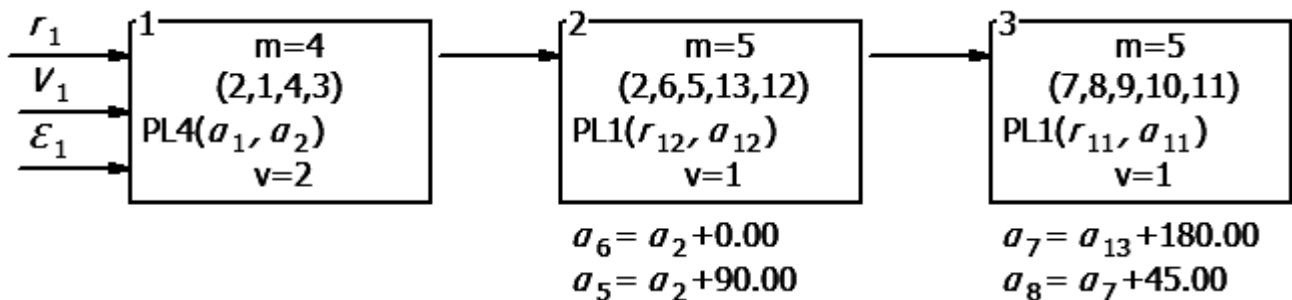


Рис. 3.22. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.12. Задание №12 Механизм V-образного двигателя внутреннего сгорания

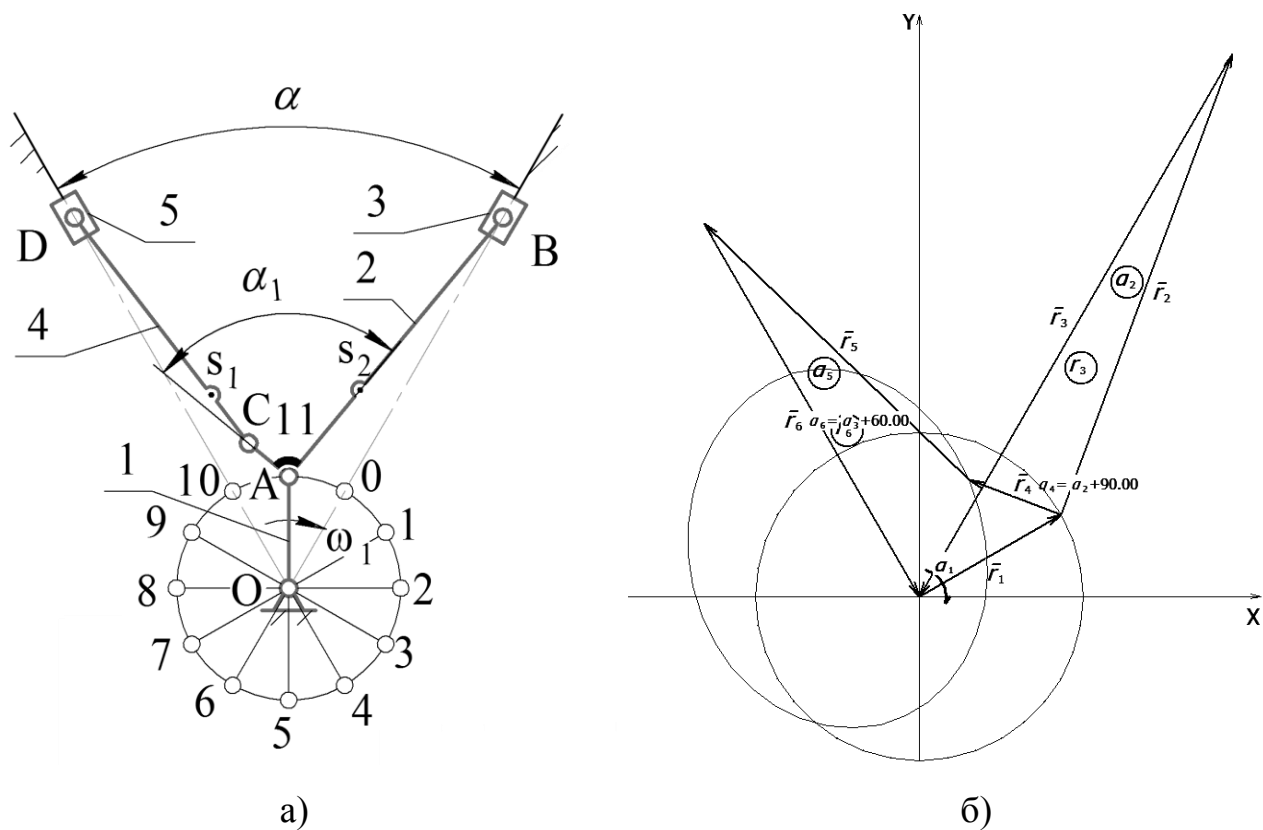


Рис. 3.23. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

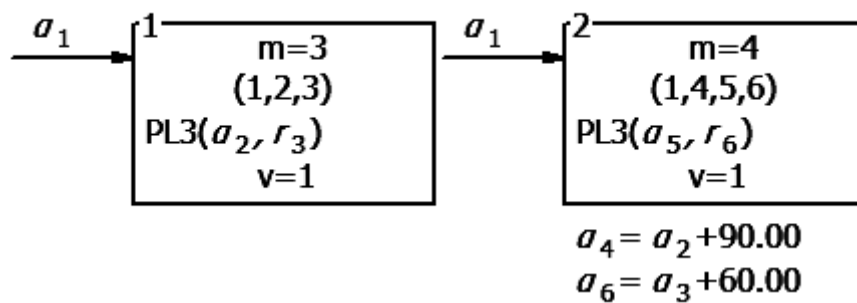


Рис. 3.24. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.13. Задание №13 Механизм V-образного двигателя внутреннего сгорания

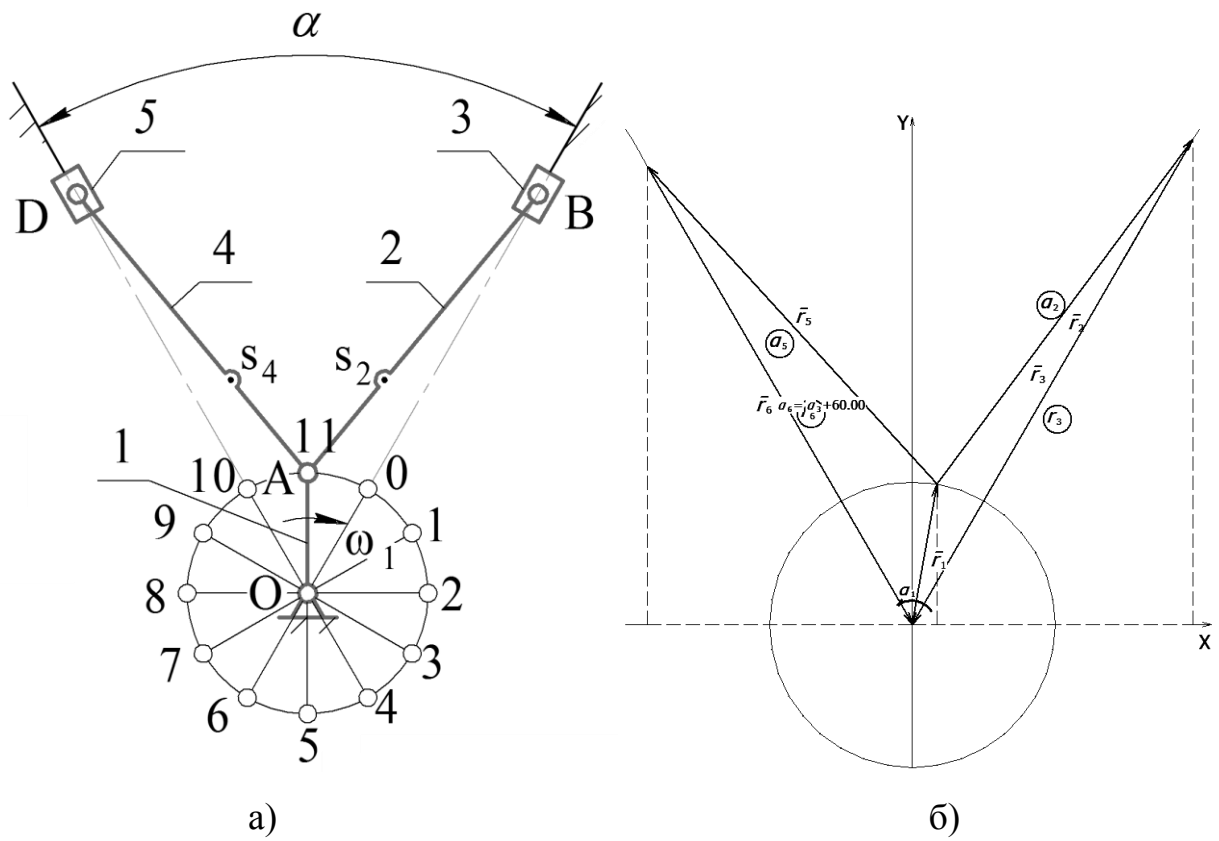


Рис. 3.25. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

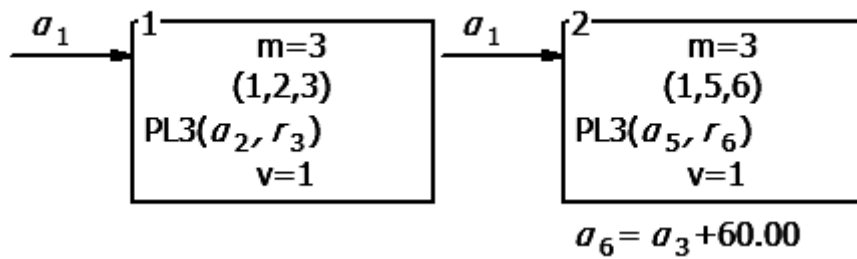
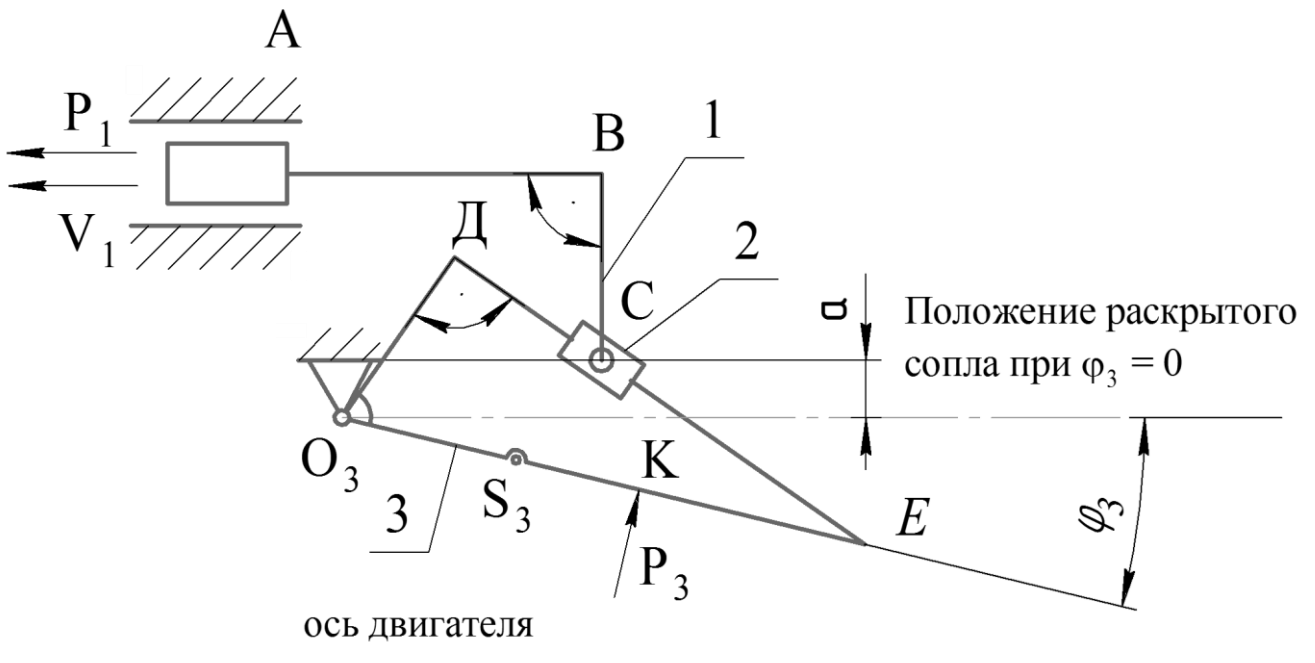
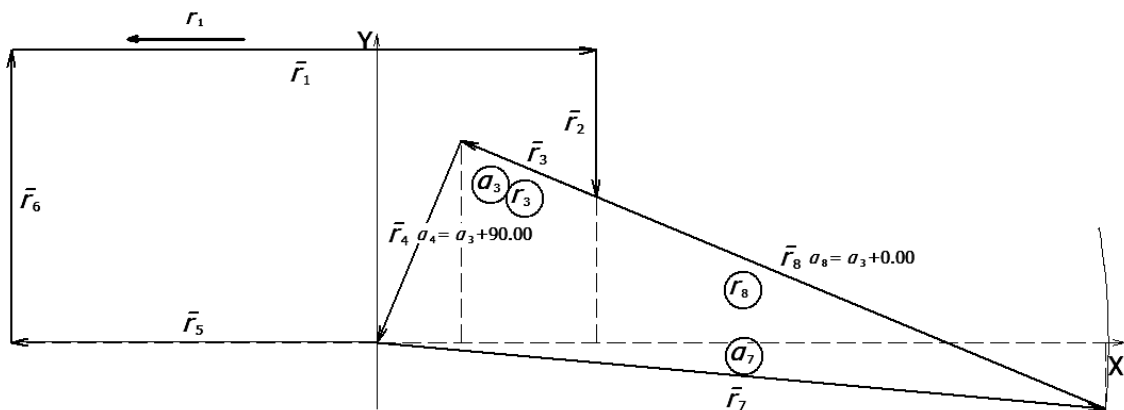


Рис. 3.26. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.14. Задание №14 Механизм регулировки сопла



а)



б)

Рис. 3.27. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

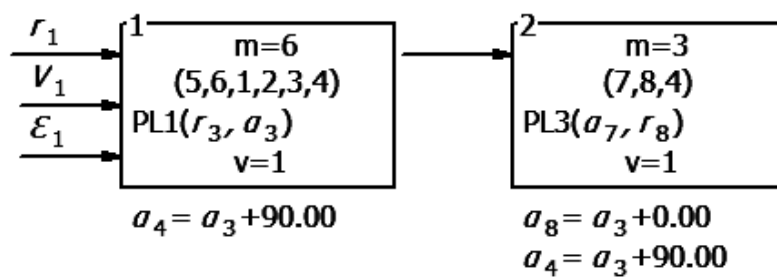
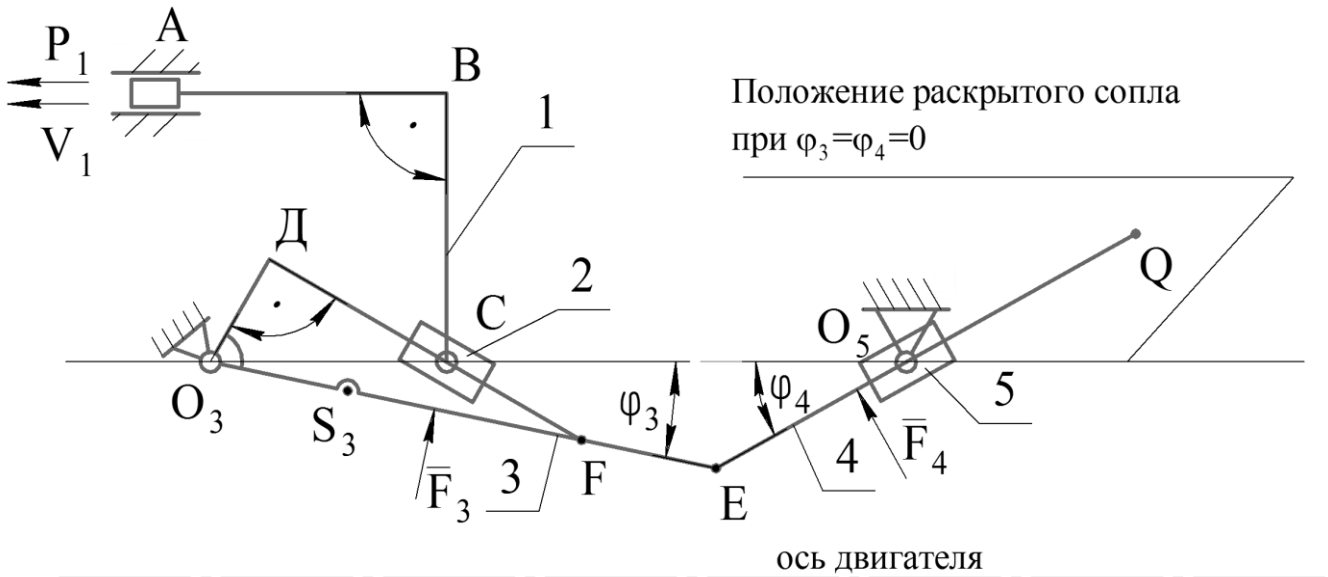
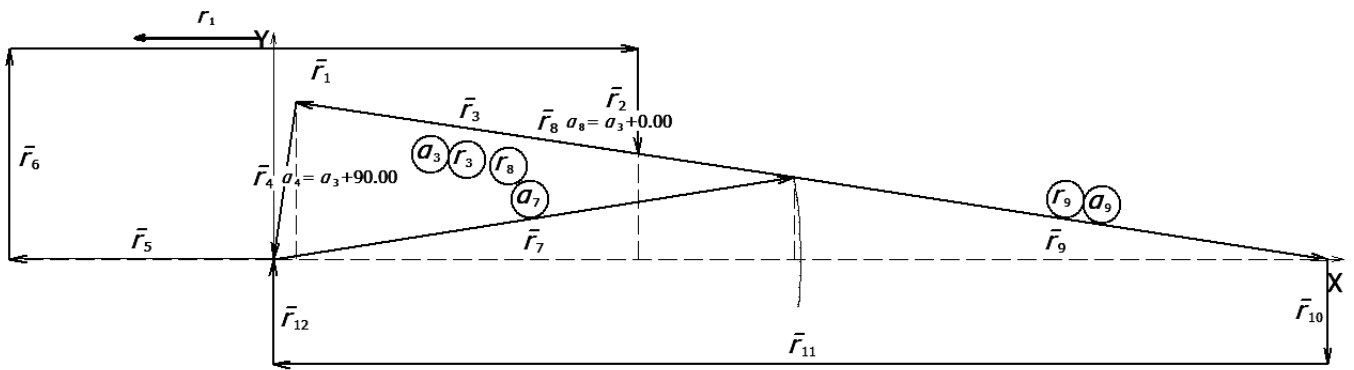


Рис. 3.28. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.15. Задание №15 Механизм регулировки сопла



а)



б)

Рис. 3.29. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

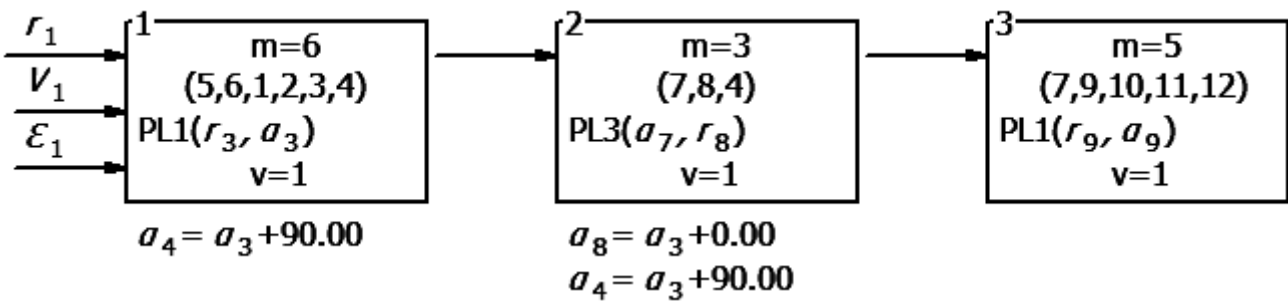


Рис. 3.30. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.16. Задание №16 Механизм 2-х цилиндрического компрессора

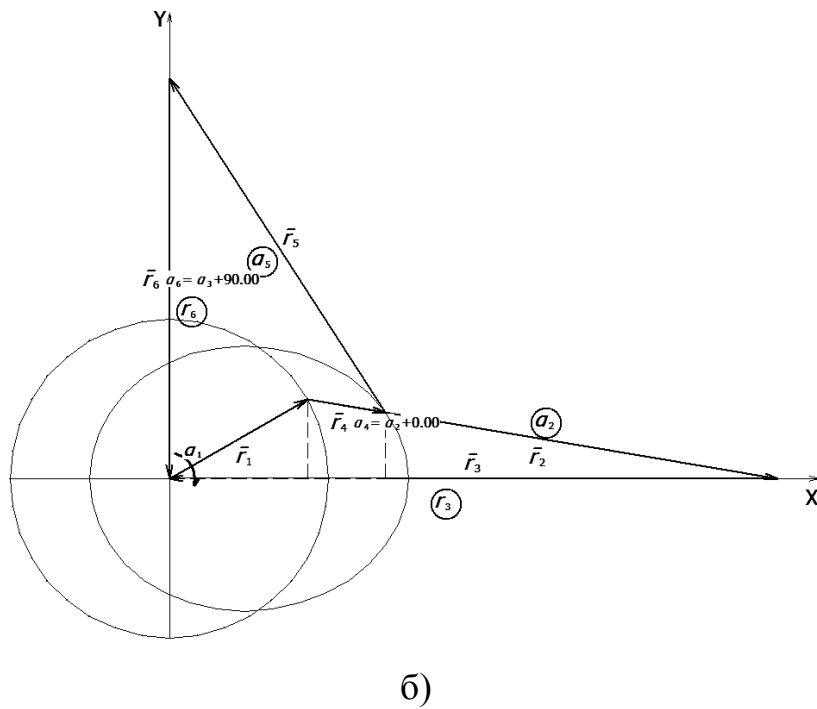
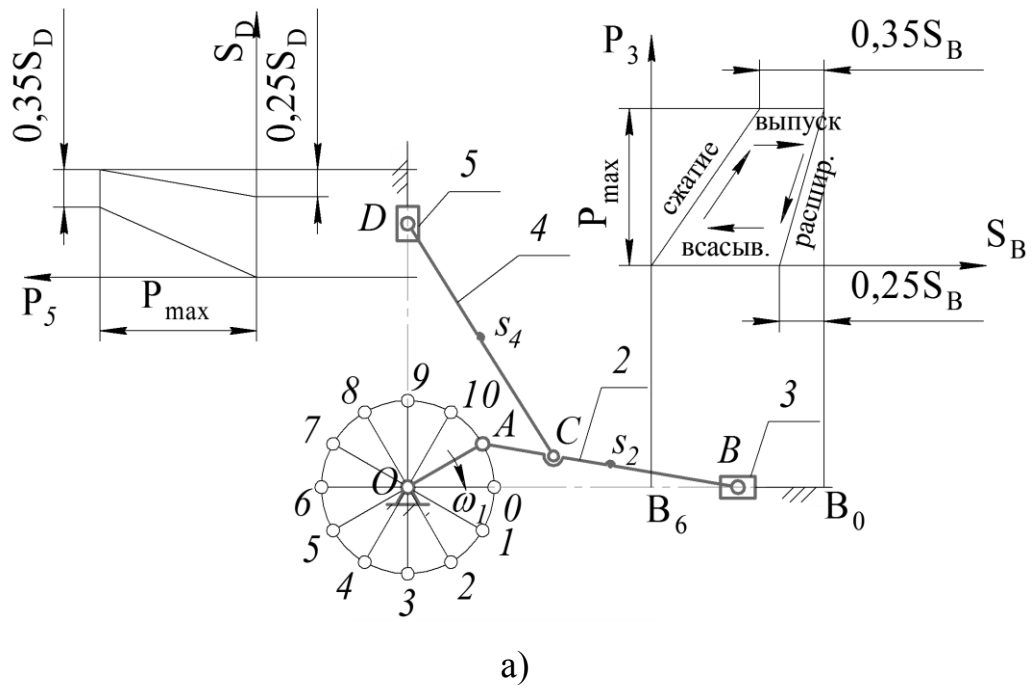


Рис. 3.31. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

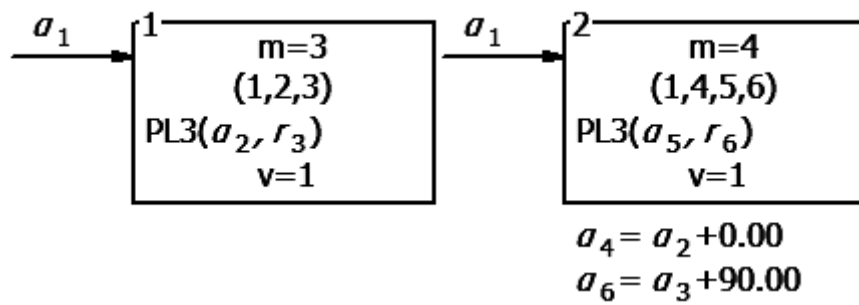


Рис. 3.32. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.17. Задание №17 Насос масляный

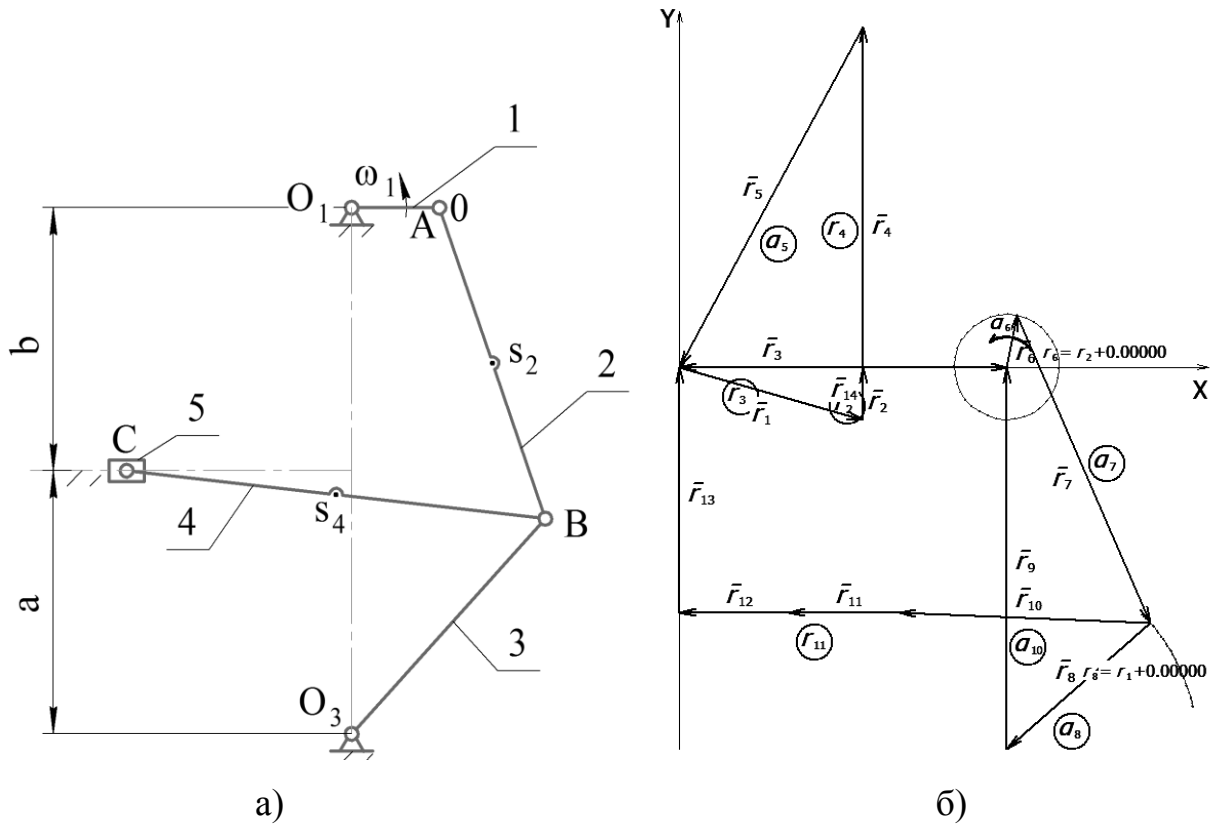


Рис. 3.33. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

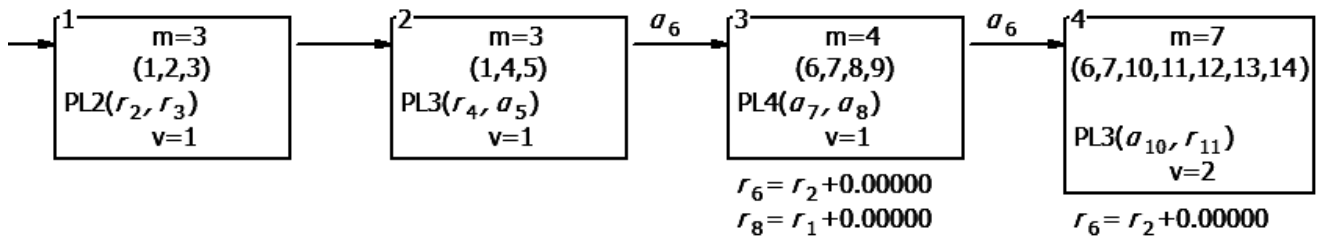
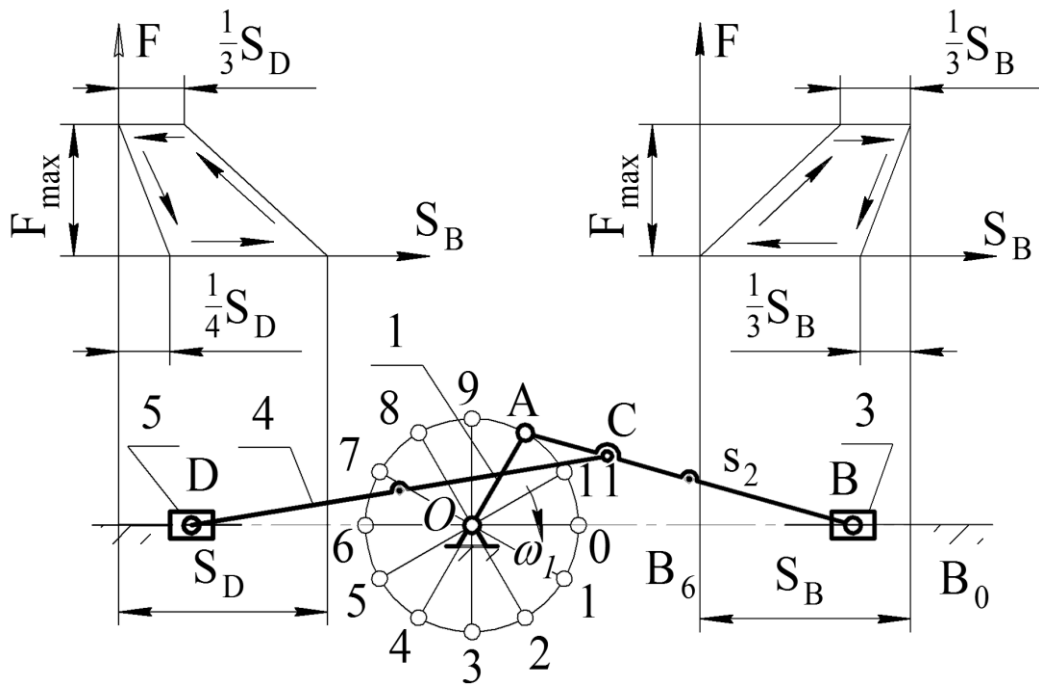
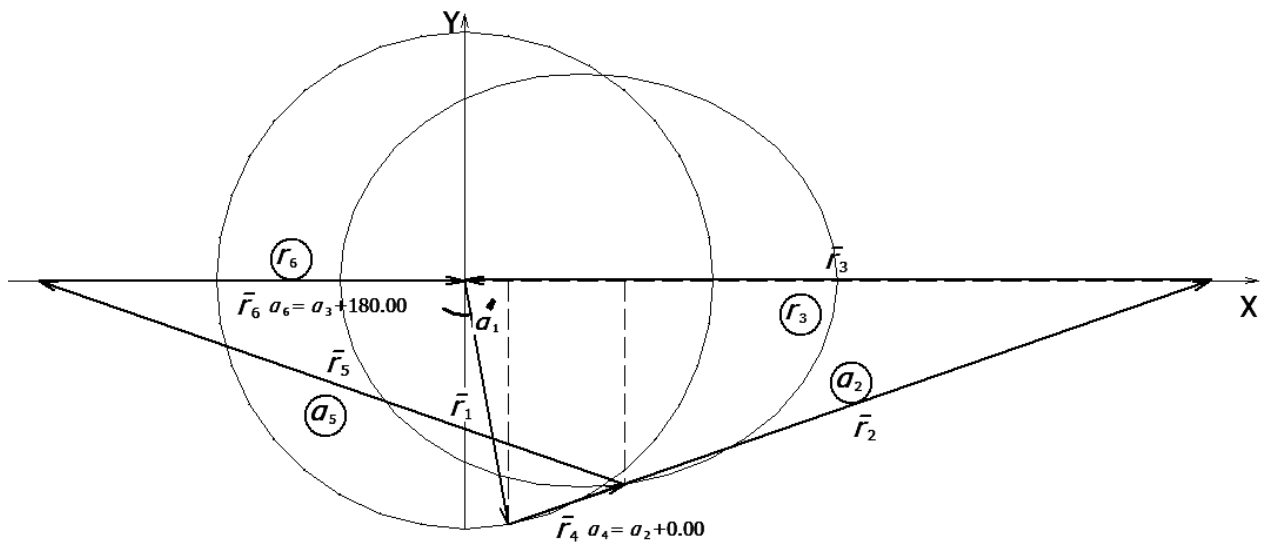


Рис. 3.34. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.18. Задание №18 Механизм 2-х ступенчатого компрессора



а)



б)

Рис. 3.35. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

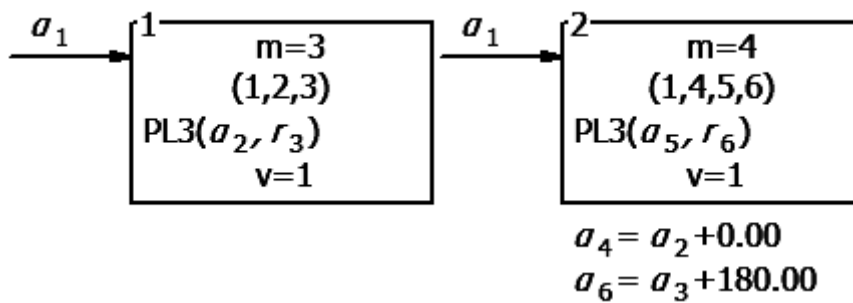
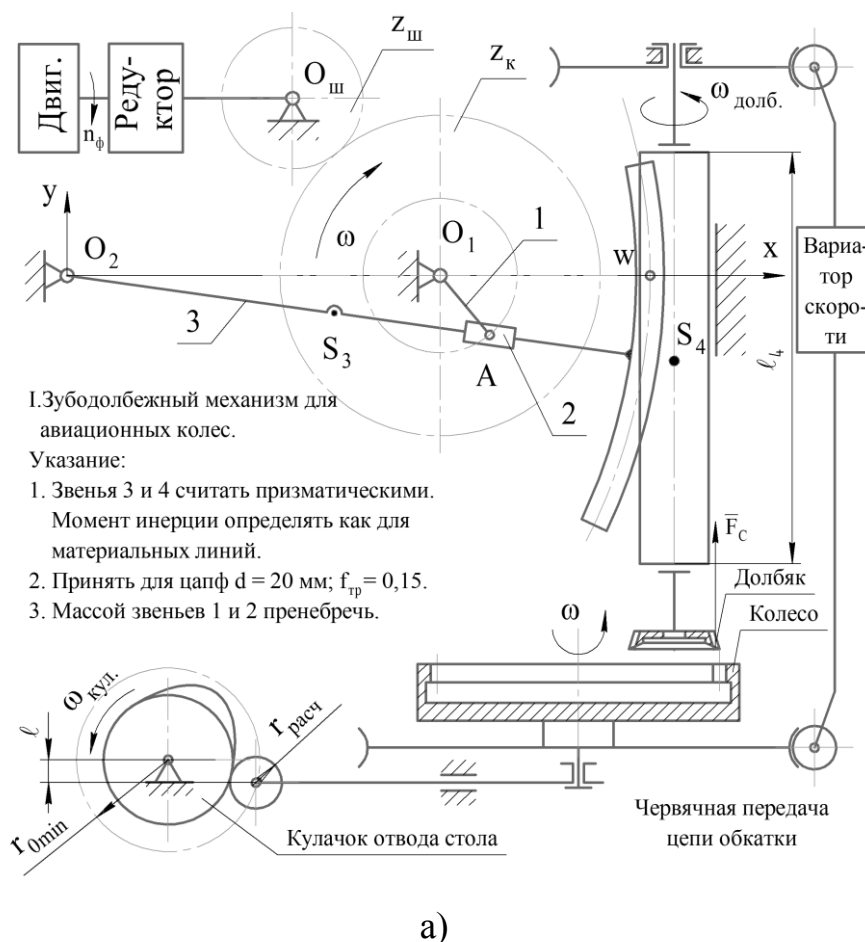
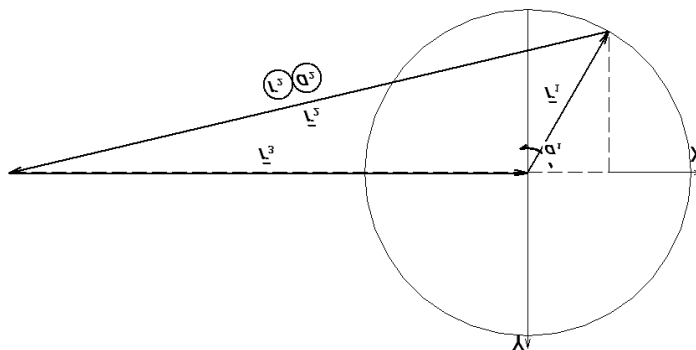


Рис. 3.36. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.19. Задание №19 Зубодолбежный станок для авиа.колес



а)



б)

Рис. 3.37. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

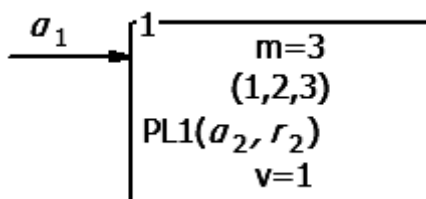


Рис. 3.38. Параметрическая формула векторной модели механизма

3.20. Задание №20 Механизм раскрытия створок солнечной батареи

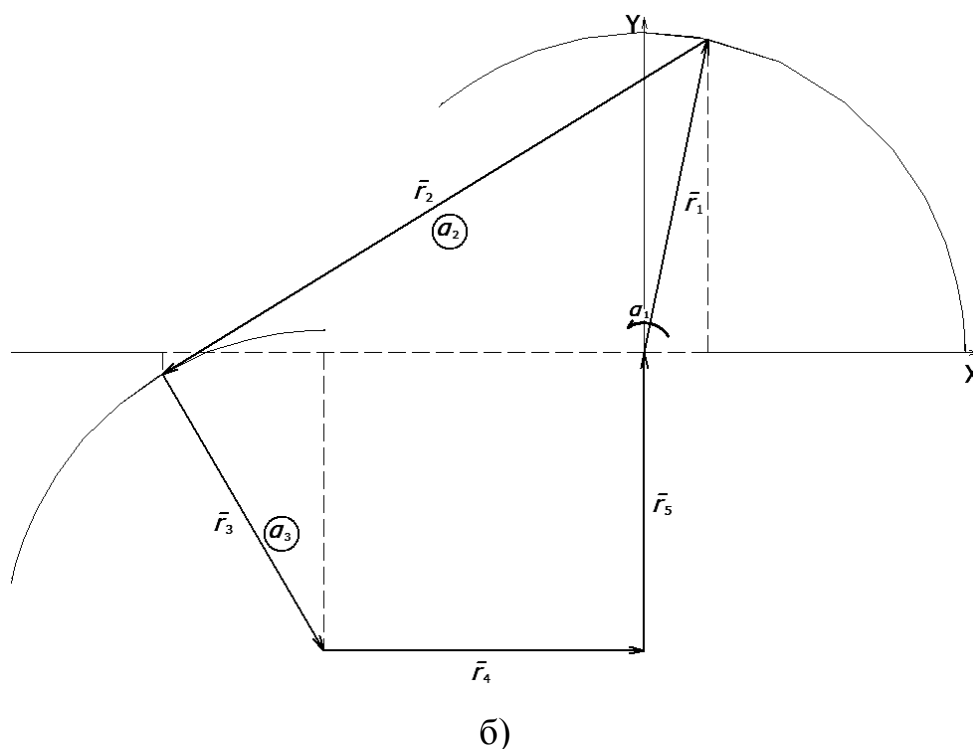
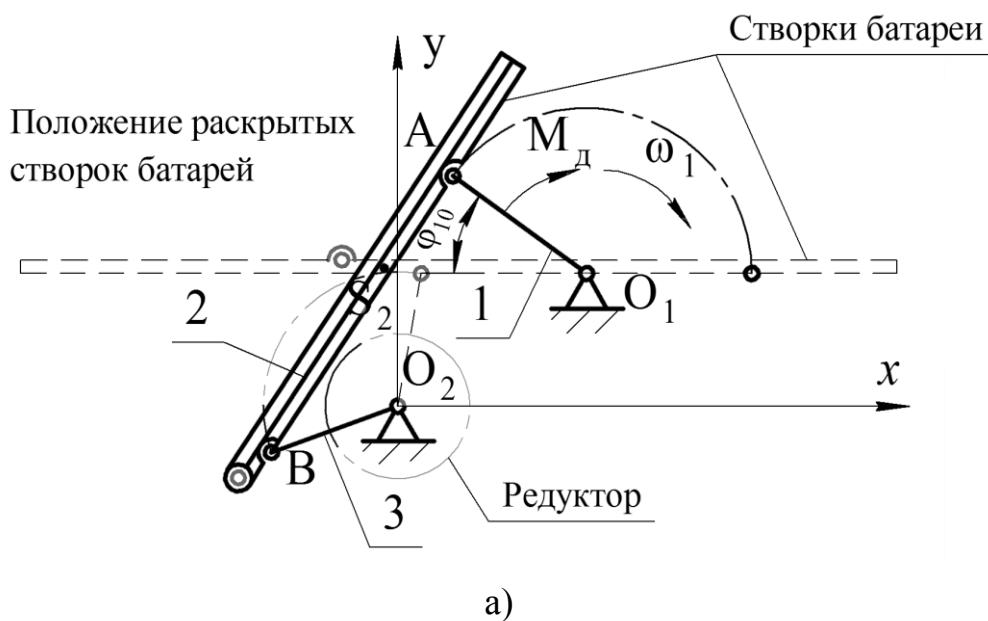


Рис. 3.39. Структурная схема(а) и векторная модель(б) механизма

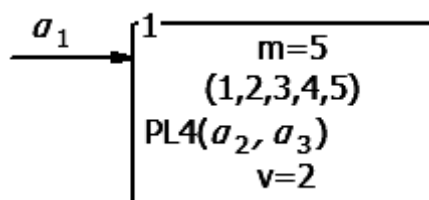


Рис. 3.40. Параметрическая формула векторной модели механизма

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные преимущества такого подхода к освоению теории механизмов и машин, заключается в том, что при использовании программного обеспечения K DAM, нет необходимости длительного обучения, как самого метода векторного моделирования, так и программному комплексу. Это объясняется тем, что все элементы однотипны и освоение программы сводится к одному занятию длительностью в академический час. Остальное время отдаётся как классическим методам расчета, так и использованию возможностей K DAM для полноценного кинематического и динамического анализа проектируемых механизмов, что приближает обучение к реальным задачам проектирования и даёт студентам более полное представление не только о механизмах, но и умению анализировать множество параметров механизмов, обучает приёмам кинематической и динамической оптимизации с минимальными трудозатратами и надёжностью получаемых результатов, что может пригодится им в повседневной работе инженера, как проектировщиков, так и при проведении технической экспертизы предлагаемых механизмов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зиновьев В.В. Аналитические методы расчета плоских механизмов. [Текст] / В.В. Зиновьев // М.-Л.: ГТТИ, 1949.
2. Зиновьев В.В. Векторный метод в структурном и кинематическом исследовании механизмов [Текст] / В.В. Зиновьев // Изв.вузов. Машиностроение. - 1958. - №6.- С. 3-9.
3. Семенов Б.П. Модули математических моделей. [Текст] / Б.П. Семенов // Куйбышев: КуАИ, 1985.
4. Семенов Б.П. Аналитика элементарных плоских модулей. [Текст] / Б.П. Семенов // М.: МАИ, 1989.
5. Семенов Б.П. Функции элементарных пространственных векторных модулей. [Текст] / Б.П. Семенов // Самара: СГАУ, 1992.
6. Семёнов Б.П. Модульное моделирование механизмов. [Текст] / Б.П. Семёнов, А.Н. Тихонов, Б.Б. Косенок // Самара: СГАУ, 1996.
7. Семенов Б.П. Методы и средства динамического синтеза механизмов авиационных энергоустановок [Текст] / Б.П. Семенов, Б.Б. Косенок // Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – 281 с.
8. Косенок Б.Б. Теория модульного векторного моделирования плоских и пространственных механизмов[Текст] /Б.Б. Косенок // Самара: изд. НОУ «МИР», 2017. – 120 с.
9. Косенок Б.Б. Программа КДАМ (Кинематический и динамический анализ механизмов) / Б.Б. Косенок, В.П. Тукмаков // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2010616342 по заявке № 2010614593 от 29 июля 2010 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 24 сентября 2010 г.
10. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: [Учеб.для вузов]. / 4-е изд., перераб. и доп. // М.: Наука, 2009. – 639 с.
11. Савинов, А.П. и др. Теория механизмов и машин в авиастроении: Учебное пособие [Текст] /А.П. Савинов, В. М. Ястребов, Н.П. Коробова. // Самара: СГАУ, 2006. – 173 с.

12. Сборник заданий на курсовой проект по ТММ / подготовил Семенов Б.П // Куйбышев. КуАИ, 1987. – 42 с.
13. Семенов Б.П. Кинематика двигателей внутреннего сгорания и трансмиссий. [Текст]/Курс лекций. 2-е изд. // Самара: СГАУ, 2003, 116 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
КРАТКАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ
КИНЕМАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА (КДАМ)

Оглавление

Список использованных сокращений	57
ВВЕДЕНИЕ	59
1. Общие положения программы	60
1.1. Назначение программы.....	60
1.2. Возможности программы	60
1.3. Состав и системные требования	62
1.4. Правила ввода массивов аргументов, сил и моментов.....	63
1.5. Пример построения модели.....	64
2. НАЧАЛО РАБОТЫ	65
3. ОСНОВНЫЕ МЕНЮ, ПАНЕЛИ И ОКНА ПРОГРАММЫ	70
3.1. Главное и выпадающие меню программы.....	70
3.1.1. Выпадающее меню Файлы.....	70
3.1.2. Выпадающее меню Ввод.....	73
3.1.2.1. Блок ввода кинематических характеристик	73
3.1.2.2. Блок панелей ввода динамических характеристик.....	77
3.1.2.3. Блок панелей для ввода «промежуточных аргументов».....	79
3.1.2.4. Блок панелей для ввода Дополнительных динамических характеристик и внешнего вида отличного от векторов.....	79
3.1.3. Выпадающее меню Вывод	79
3.1.3.1. Блок панелей для вывода структурных характеристик.....	79
3.1.3.2. Блок панелей вывода кинематических характеристик.....	81

3.1.3.3.	Блок панелей вывода динамических характеристик	85
3.1.4.	Выпадающее меню Режимы.....	89
3.1.5.	Выпадающее меню Расширения.....	90
3.1.6.	Выпадающее меню Конфигурация.....	90
3.1.7.	Выпадающее меню Окна	94
3.1.8.	Выпадающее меню Помощь	96
3.2.	Боковые панели быстрого доступа (Ввод, Вывод) программы	96
4.	Ограничения, свободнораспространяемой версии "КДАМ"	98
5.	Горячие клавиши КДАМ (Keyboard Shortcuts).....	99

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

KDAM (или КДАМ) – название программы «Kinematic and Dynamic Analysis of Mechanical» (или «Кинематический и Динамический Анализ Механизмов»)

СК – Система координат;

ЦСК – Центральная система координат;

ЛСК – Локальная система координат;

N - Расчетные положения положения модели.

Кинематические параметры вектора:

r - длина;

α - угол наклона в плоскости XY;

β - угол поворота в плоскости XZ;

V - линейная скорость;

$\omega\alpha$ - угловая скорость в плоскости XY (для плоскости просто ω);

$\omega\beta$ - угловая скорость в плоскости XZ;

W - линейное ускорение;

$\epsilon\alpha$ - угловое ускорение в плоскости XY (для плоскости просто ϵ);

$\epsilon\beta$ - угловое ускорение в плоскости XZ;

Δr , $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$ - значения связи параметров векторов.

Массовые характеристики векторов:

m - приведенная масса;

J - приведенный момент инерции;

dm - производная приведенной массы;

dJ - производная прив.момента инерции.

Динамические параметры:

F - сила;

M - момент;

F_p - приведенная сила;

M_p - приведенный момент;

F_y - уравновешивающая сила;

M_y - уравновешивающий момент.

Принятый положительный обход углов - против часовой стрелки.

В руководстве обозначение => означает переход к другому пункту меню, например, **Файл=>Открыть**, означает, что сначала надо выбрать пункт меню **Файл**, потом в открывшемся меню выбрать **Открыть**.

ВВЕДЕНИЕ

Теоретические основы моделирования кинематики и динамики механизмов на основе векторных моделей были заложены советским учёным Зиновьевым в 30-х годах 20 века, и были серьёзно развиты учёным нашего вуза Семёновым Борисом Петровичем начиная с 70-х годов. На основе исследований и методов, разработанных в эти и последующие годы в конце 80-х годов 20 века, был создан программный пакет KDAM™ (Kinematic and Dynamic Analysis of Mechanical).

В настоящее время под названием KDAMr распространяется 17-я версия этого программного пакета. Он используется как для проектирования и расчета плоских и пространственных механизмов или для описания любого объекта в виде векторной модели, так и в рамках учебного процесса в курсовом проектировании по ТММ(Теории машин и механизмов) и при изучении курса «Кинематика ДВС и трансмиссии» в Самарском университете. Основные расчёты КДАМ-а моделируют кинематическое и динамическое поведение реальных механизмов. Среди преимуществ - возможности обмена с CAD/CAE системами, системами конечноэлементного анализа или универсальными системами компьютерного моделирования сложных систем. В состав пакета входят специализированные модули, предназначенные для разработки, анализа и синтеза механизмов. Структура пакета позволяет пользователю в параметрическом виде исследовать поведение механизмов ещё на стадии эскизного проектирования. Пакет работает на операционных система семейства Windows и имеет локализацию как на русском языке, так и на английском языке.

Данное руководство предназначено для самостоятельного изучения основ работы с основными модулями KDAM. В руководстве рассмотрены основные разделы меню, элементы построения геометрии модели, оснащение граничными условиями, проведение различных типов расчета и обработка результатов. По структуре руководство построено как справочник, что позволяет легко и быстро отыскать в нем информацию по интересующему вопросу. Для сложных объектов приведены примеры правильного применения.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГРАММЫ

1.1. Назначение программы

КДАМ основан на методе моделирования векторных контурных систем и позволяет моделировать как рычажные механизмы, так и различные по своему назначению объекты, поддающиеся геометрическому разложению на вектора. КДАМ предназначен для проектирования и расчета плоских и пространственных механизмов или для описания любого объекта в виде векторной модели. Основные расчёты КДАМ-а моделируют кинематическое и динамическое поведение реальных механизмов.

1.2. Возможности программы

Программа позволяет оценить внешний вид объекта, показать статическую или динамическую картину различных положений модели в процессе движения, оценить параметры модели в табличной или графической форме, представить графики совмещенных параметров модели.

Программное обеспечение основной модульной кинематической модели механизма используется для решения следующих задач:

1. Создание параметрической и расчетной формул векторной модели.
2. Определение значений функций и их 1-х и 2-х производных.
3. Построение планов положений механизма в векторной форме.
4. Построение диаграмм различных зависимостей параметров и их 1-х и 2-х производных векторов.
5. Определение разности углов между векторами и т.д.

Работа с программным обеспечением динамического анализа механизмов состоит из создания основной динамической модульной модели механизма, состоящей из его основной кинематической модульной модели, дополненной для каждого звена относительными координатами центра масс и точки приложения внешней нагрузки, а также значениями массовых характеристик m и J_S и внешних нагрузок \bar{F} и \bar{M} . Основная кинематическая модель автоматически самой программой дополняется контурами, определяющими движения точек приложения внешних сил и центров масс звеньев вдоль координатных осей OX и OY расчетной

системы координат. При силовом анализе для каждого звена производится определение суммарной нагрузки, её разнос по элементам кинематических пар, и определение нагрузок на элементы кинематических пар. Основная динамическая модульная модель механизма для выбранного звена приведения позволяет определить приведенную массовую характеристику m_{Σ} или J_{Σ} , приведенную нагрузку F_{Σ} или M_{Σ} , нагрузки на элементы кинематических пар и используется для оценки динамического совершенства вариантов механизмов в процессе их композиции.

Программное обеспечение основной динамической векторной модульной модели механизма используется при решении следующих задач:

1. Определение значения координат общего центра масс механизма и центра масс каждого звена в отдельности.
2. Определение уравновешивающих силы и момента.
3. Определение реакций в шарнирах механизма.
4. Построение годографов реакций в шарнирах механизма.
5. Определение разности углов между направлением векторов и направлением действия реакций в шарнирах.
6. Построение графиков приведенных моментов сил и инерции и реакций в шарнирах.

Реализовано в КДАМе:

- Моделирование элементарных плоских и пространственных векторных модулей;
- Моделирование плоских векторных модулей со связями от функций модуля;
- Возможность использования «промежуточных» аргументов;
- Кинематический анализ - решение задач о положениях, скоростях и ускорениях;
- Учет инерционных характеристик и трения в кинематических парах;
- Учет активных сил и моментов, прикладываемых к векторам;
- Нахождение реакций в кинематических парах;
- Параметрический анализ кинематики и динамики.

Кроме того, в состав программы входят специализированные блоки необходимые для выполнения отличных от решаемых в КДАМ-е задач:

1. Построение индикаторной диаграммы для двух и четырехтактного рабочего цикла ДВС;
2. Построение гармонического закона движения для аргумента модели;
3. Расчет компрессора;
4. Расчет параметров зубчатого соединения;
5. Параметрический синтез модели механизма по кинематическим и динамическим критериям.

1.3. Состав и системные требования

Программа состоит из каталога **KDAM**, в котором располагаются следующие каталоги(папки):

DATA - исходные данные для печати;

default - папка модели по умолчанию;

Help - папка размещения руководства пользователя;

Models - папка с папками моделей (можно хранить и в другом месте);

PIС - папка с шаблонами печати;

REP - папка с отчетами, подготовленными для печати;

TEMP - папка для временных файлов.

В том же каталоге **KDAM** расположены файлы:

ARIALUNI.TTF - шрифт, необходимый для работы программы (если его нет в **Windows**, то необходимо скопировать его в папку **Windows\Fonts**);

base.ini - список избранных моделей;

ColorVC.ini - конфигурационный файл, по цветовой окраске контуров, векторов, графиков;

config.ini - конфигурационный файл, различные параметры модели;

Kdam_17.exe - исполняемый файл программы;

print.cfg - конфигурационный файл с параметрами печати.

Перечень необходимого для выполнения программы оборудования:

1. Компьютер **IBM PC**-совместимый;
2. 64 Мбайта оперативной памяти;

3. Не меньше 100 Мбайтов свободного пространства на диске размещения программы;
4. VGA-монитор, желательно с разрешением не менее 640x480;
5. Клавиатура;
6. Мышь.
7. Операционная система, начиная с **Windows 98** и выше.

1.4.Правила ввода массивов аргументов, сил и моментов

В любой таблице (массиве) программы значения можно вводить двумя способами.

Первым - вводить значения для **всех** расчетных положений модели, или **вторым** способом - вводить значения для выборочных расчетных положений, следуя следующим правилам:

1. Значения массива устанавливаются для любых выборочных расчетных положений векторной модели;

2. Если первое положение массива значений не является первым расчетным положением модели, то значение в этом положении устанавливается для всех расчетных положений до него;

3. Если промежуточное положение не задается в массиве, то его значения экстраполируются по двум ближайшим заданным;

4. Если последнее положение массива значений не является последним расчетным положением, то значение в этом положении устанавливается для всех расчетных положений после него.

Пример ввода данных:

Задаётся число расчётных положений равное 12, а в таблице значение параметров в трёх положениях – в 3-ем, 6-м и 10-м(табл.3.1).

Таблица 3.1.

N	Значение
3	0.12
6	0.26
10	0.18

После пересчёта в программе получаем таблицу 3.2, согласно приведённым выше правилам.

Таблица 3.2.

N	Значение
0	0.12
1	0.12
2	0.12
3	0.12
6	0.26
7	0.24
8	0.22
9	0.20
10	0.18
11	0.18
12	0.18

1.5. Пример построения модели

Если у вас нет опыта работы с векторными моделями, необходимо прежде, чем приступить к работе в программе, построить вручную векторную модель исследуемого механизма. Для примера построим векторную модель основного механизма двигателя внутреннего сгорания, так называемый кривошипно-ползунный механизм. Возьмём структурную схему данного механизма (рис. 1.1, а) и заменим все звенья механизма векторами (рис. 1.1, б).

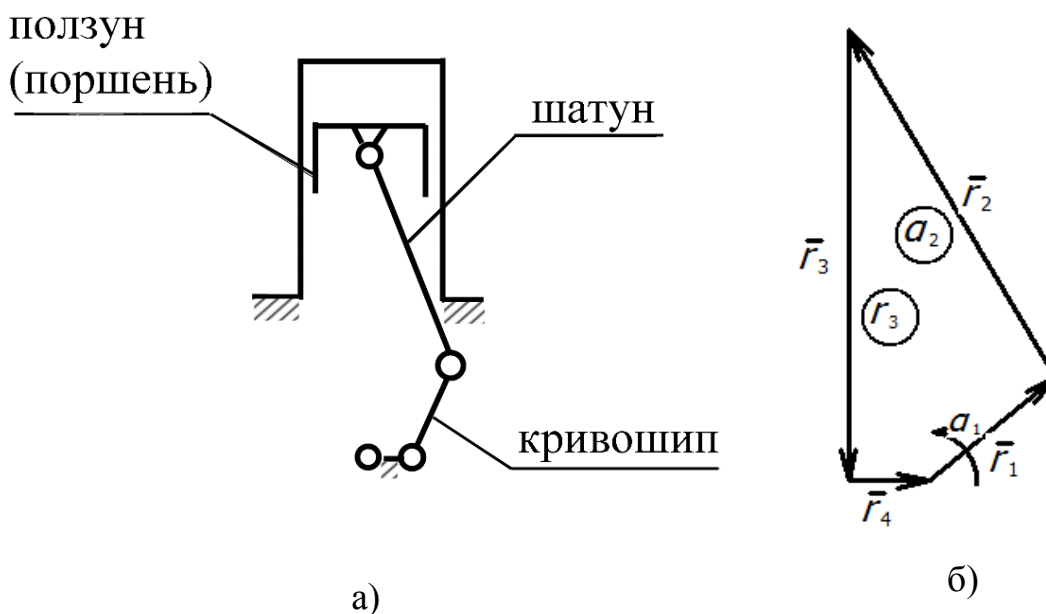


Рис. 1.1. Структурная схема механизма(а) и его векторная модель(б)

Вектора заменяют звенья:

1-й – кривошип, 2-й – шатун, 3-й – линию перемещения поршня,
Вектор 4, замыкает кинематическую цепь (необходим для вычислений).

α_1 - угол 1-го вектора – аргумент модели ¹

Все параметры, обведённые кружочком, означают функции контура, – неизвестные параметры, которые собственно и требуется найти в процессе вычислений. Поэтому α_2 - угол 2-го вектора – функция, и r_3 - длина хода поршня тоже функция.

2. НАЧАЛО РАБОТЫ

При запуске программы появляется приглашение открыть существующую модель (см. рис.2.1), это сделано, чтобы в дальнейшем не тратить время на лишние действия, если выбрать **Yes**, то появится панель выбора пути к файлам существующей модели (см. рис.2.2), но если выбрать **No**, то появляются последовательно панель ввода автора и внутреннего названия новой модели(рис.2.3) и панели ввода файлового имени каталога с файлами модели и их размещения на диске (рис. 2.4).

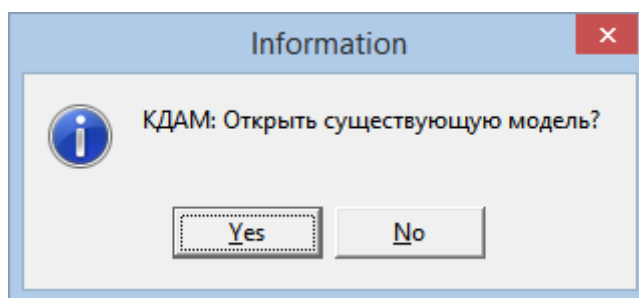


Рис. 2.1. Окно входа в программу

¹ В КДАМ все углы имеют абсолютную величину и откладываются от 0X. Положительные углы откладываются в противоположную от оси абсцисс сторону.

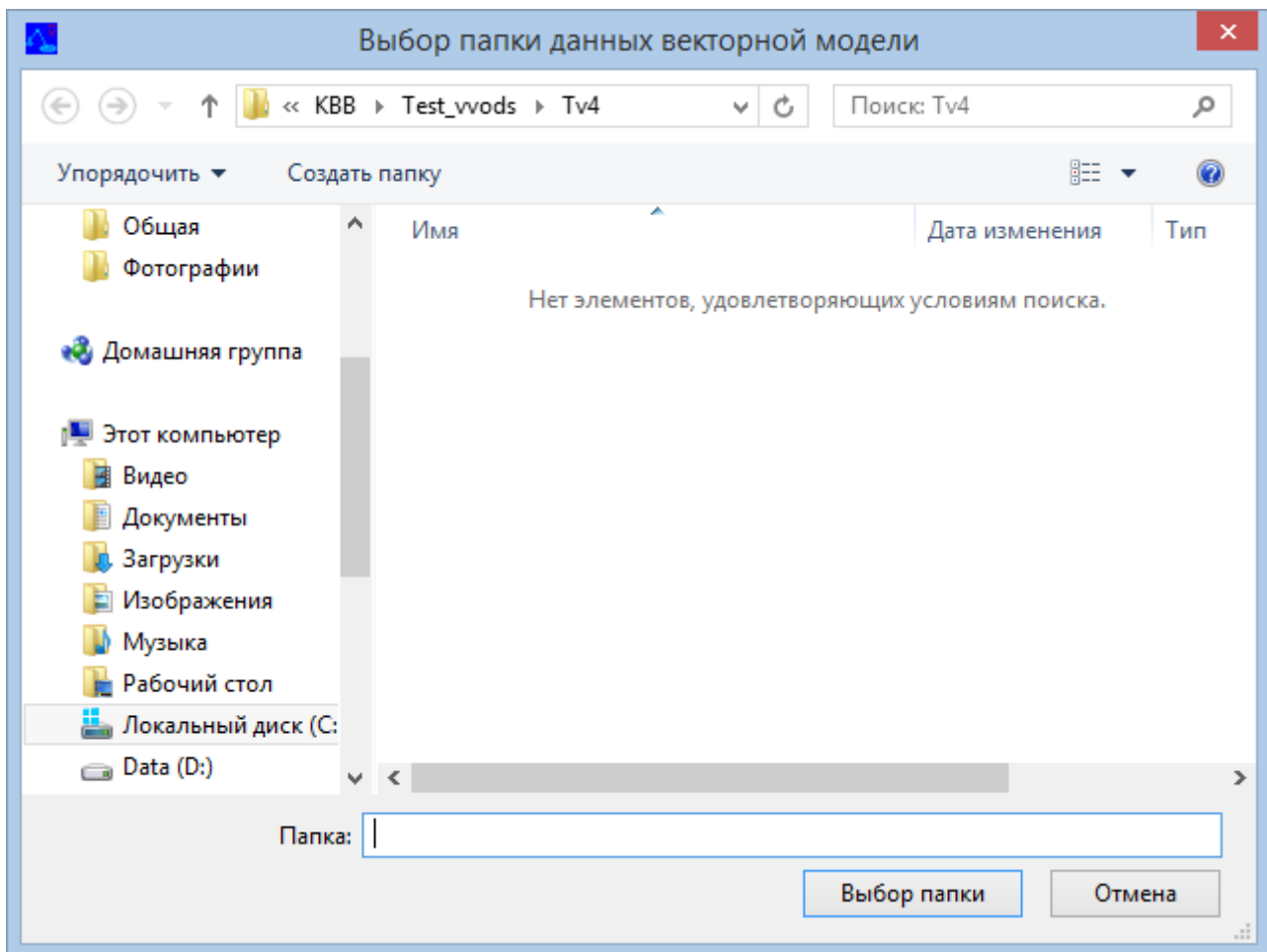


Рис. 2.2. Окно выбора папки ранее созданной модели

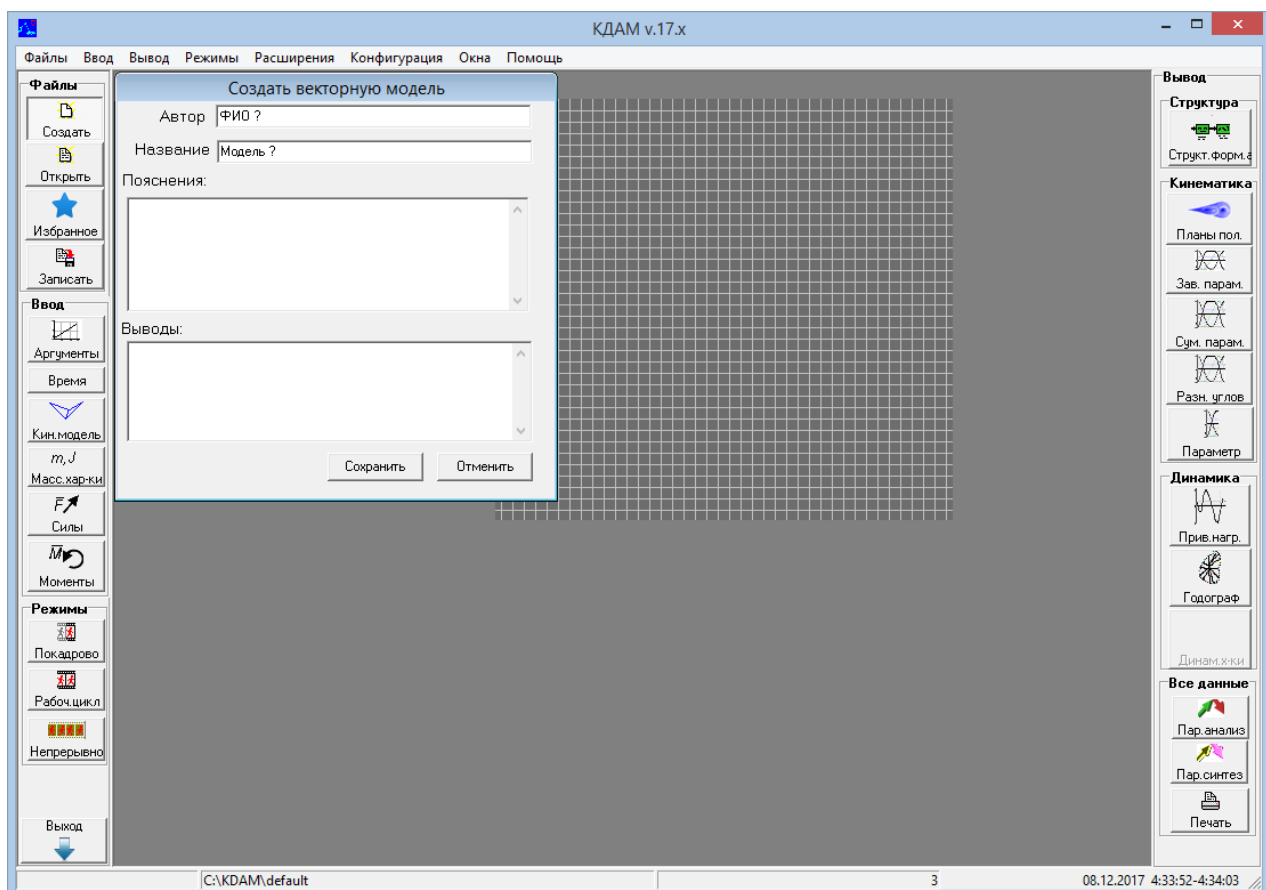


Рис. 2.3. Окно ввода параметров вновь создаваемой модели

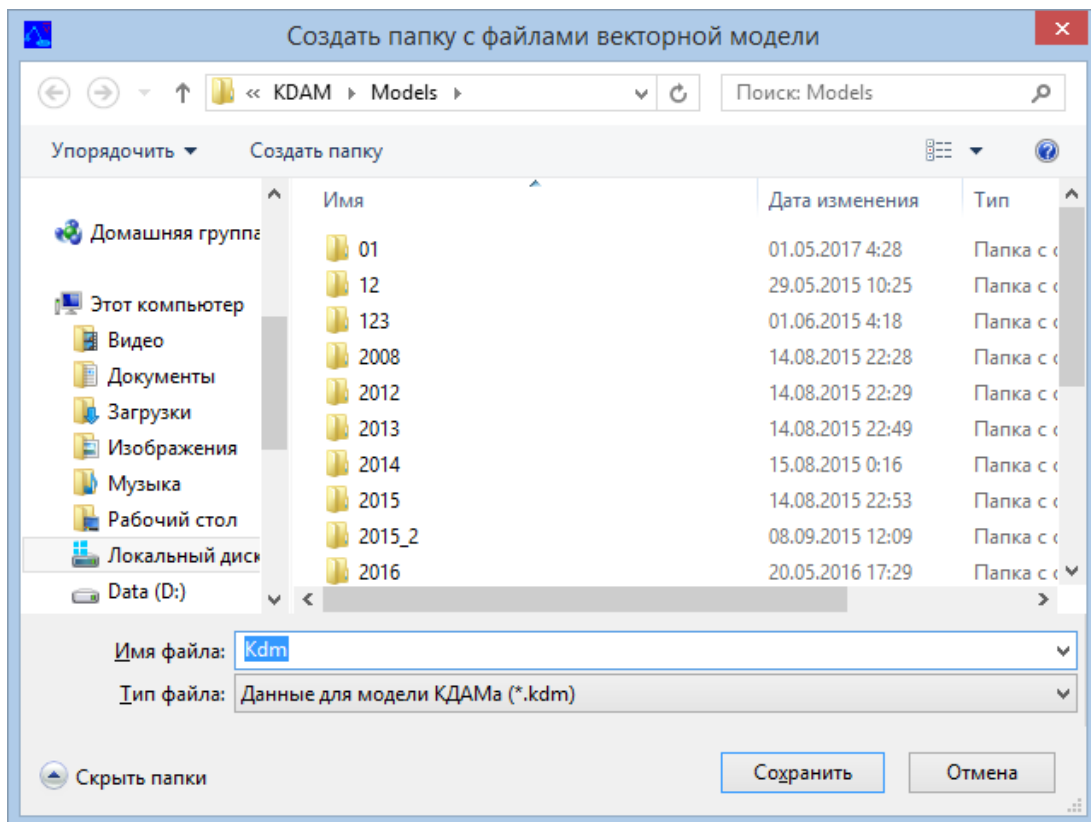


Рис. 2.4. Окно выбора создания папки для вновь создаваемой модели

После выбранных действия мы попадаем в основное окно программы (см. рис. 2.5).

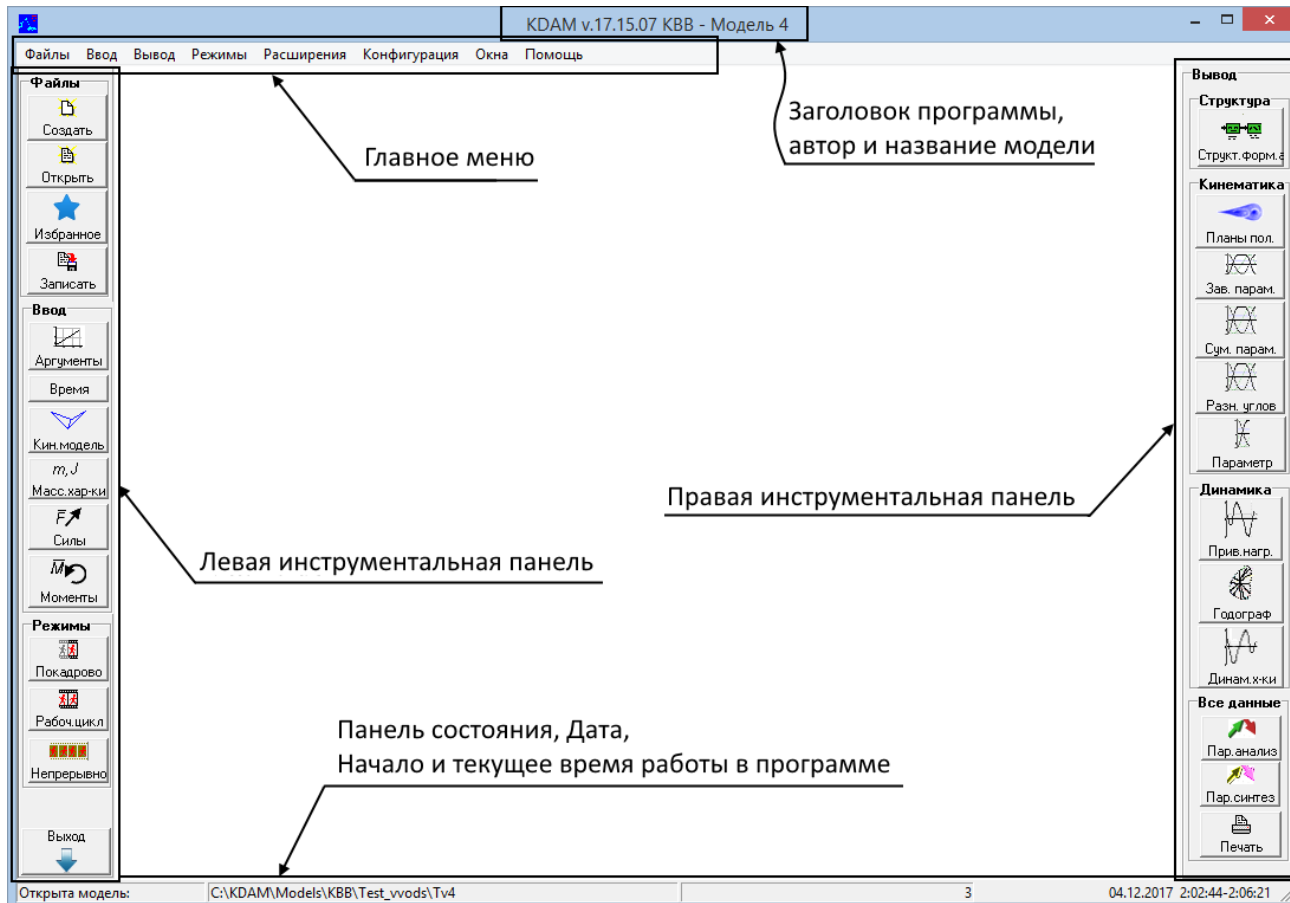


Рис. 2.5. Основное окно программы

ВНИМАНИЕ!!

Когда Вы впервые запускаете КДАМ, программа автоматически создает папку **default**, в которой создаются файлы для модели по умолчанию. Названы они так:

default.kdm - структура модели,

default.twr - время модели,

default.vct - вектора модели,

default.aX - аргумент модели,

default.fX - сила модели,

default.mX – момент модели;

где X - номер аргумента (или силы, или момента).

ВНИМАНИЕ! Суммарное имя папки (например, **C:\KДАМ\Models\Kdm**) может содержать не более 256 знаков, при этом нельзя использовать тире, кавычки и пробелы, использование русских символов возможно, но замечено, что не на всех компьютерах такие файлы считываются нормально, поэтому во избежание проблем лучше в наименовании каталогов и имён их не применять.

Кроме варианта начала работы описанным ранее способом, Вы всегда можете создать собственную модель уже находясь в программе, для этого достаточно нажать на кнопку **Создать** в левой инструментальной панели в разделе **Файлы** или же зайти в главное меню, выбрать **Файлы=>Создать**. Высветится запрос имени автора и названия модели (рис. 2.3), а затем будет предложено сохранить новую папку (введите любое имя, например - как название модели) в стандартном интерфейсе Проводника Windows (рис. 2.4). В примере модель названа **Kdm**, так же, как и папка.

Тогда внутри этой папки создадутся файлы с именами:

Kdm.kdm- структура модели, Kdm.twr - время модели, Kdm.vct - вектора модели, Kdm.aX - аргумент модели, Kdm.fX - сила модели, Kdm.mX - момент модели;

где X - номер аргумента (или силы, или момента).

Также вы всегда сможете сменить выбранную модель достаточно нажать на кнопку **Открыть** в левой панели в разделе **Файлы** или же зайти в главное меню и

выбрать **Файлы=>Открыть**.

РЕКОМЕНДАЦИЯ Перед тем, как начинать описывать модель желательно провести некоторые настройки. Зайдите в меню **Конфигурация** выберите **Единицы измерения**. После выбора единиц измерения в **Конфигурация=>Текущие допуски** выбираем число значащих цифр и число цифр после точки для всех отображаемых программой параметров.

3. ОСНОВНЫЕ МЕНЮ, ПАНЕЛИ И ОКНА ПРОГРАММЫ

3.1. Главное и выпадающие меню программы

Главное меню находится сверху окна программы и выглядит как показано на рис. 3.1.

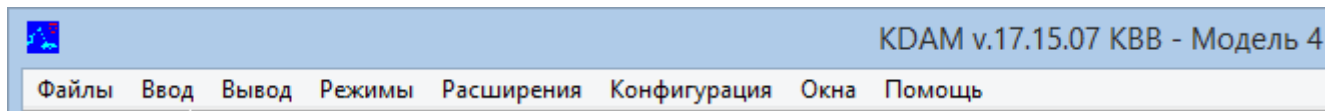


Рис. 3.1. Главное меню

3.1.1. Выпадающее меню **Файлы**

Обычный набор команд, характерный для приложения MS Windows (см. рис. 3.2).

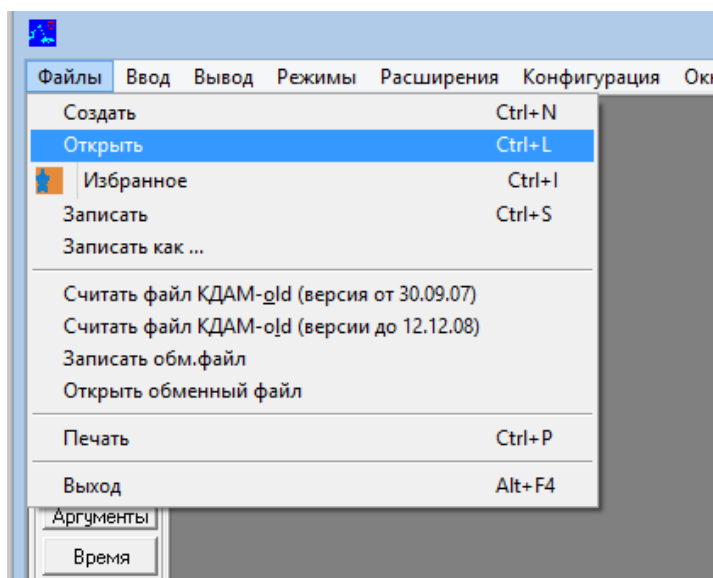


Рис. 3.2. Выпадающее меню **Файл**


Пункты меню **Файлы**:



Создать – см. главу 2.

Открыть – см. главу 2.

Избранное – вызывается панель программы со списком избранных моделей (далее «список моделей»), например, вы к ним часто обращаетесь и(или) нужно, дополнительная информация, также тут можно распределить модели по категориям, или если вам трудно запоминать папки с моделями на жестком диске. (см. рис. 3.3)

Кнопкой  мы можем ввести текущую модель в список моделей, с помощью

кнопки  убрать модель (на строке, которой стоит синий курсор) из списка моделей.

Кнопками  и  можем переместить модель в другое положение в списке моделей.

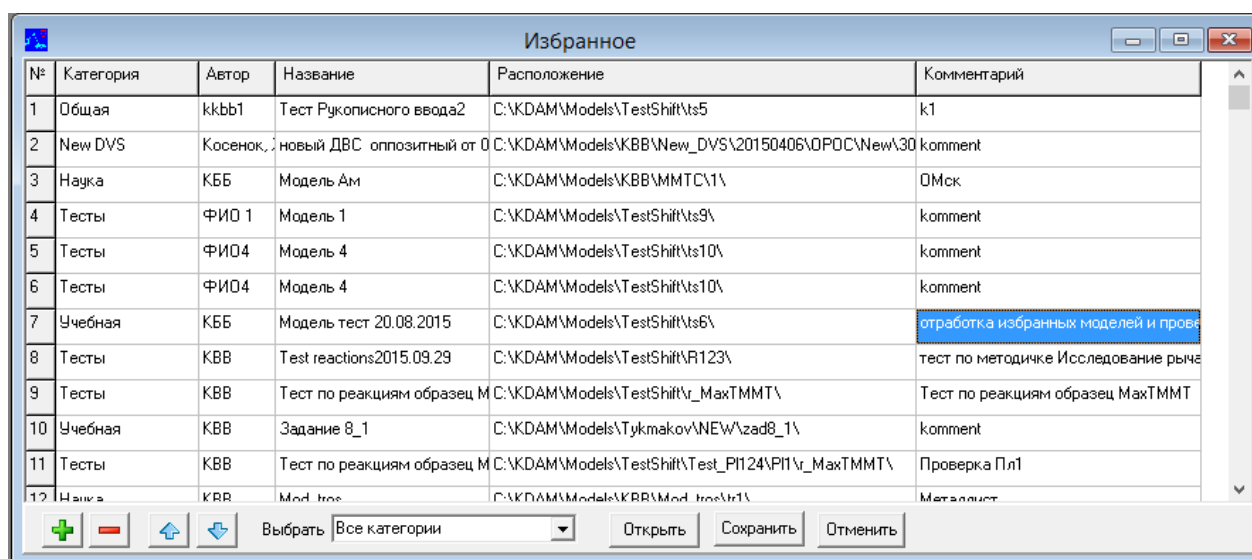
Выпадающий список **Выбрать** позволяет отсортировать список для просмотра моделей нужной категории.

Кнопка **Открыть** - позволяет заменить текущую модель в программе на выбранную из списка.

Кнопка **Сохранить** сохраняет список моделей.

Кнопка **Отменить** только закрывает панель **Избранное**, без сохранения изменений в списке моделей.

Любое поле в таблице данной панели можно редактировать, но Вы обязательно если хотите сохранить изменения должны нажать кнопку **Сохранить**.



№	Категория	Автор	Название	Расположение	Комментарий
1	Общая	kkbb1	Тест Рукописного ввода2	C:\KDAM\Models\TestShift\ts5	k1
2	New DVS	Косенок,	новый ДВС оппозитный от 0	C:\KDAM\Models\KBB\New_DVS\20150406\OPDC\New\30	komment
3	Наука	КББ	Модель Ам	C:\KDAM\Models\KBB\MMTC\1\	OMск
4	Тесты	ФИО4	Модель 1	C:\KDAM\Models\TestShift\ts9\	komment
5	Тесты	ФИО4	Модель 4	C:\KDAM\Models\TestShift\ts10\	komment
6	Тесты	ФИО4	Модель 4	C:\KDAM\Models\TestShift\ts10\	komment
7	Учебная	КББ	Модель тест 20.08.2015	C:\KDAM\Models\TestShift\ts6\	отработка избранных моделей и прове
8	Тесты	KBB	Test reactions2015.09.29	C:\KDAM\Models\TestShift\R123\	тест по методичке Исследование рыне
9	Тесты	KBB	Тест по реакциям образец M	C:\KDAM\Models\TestShift\MaxTMMT\	Тест по реакциям образец MaxTMMT
10	Учебная	KBB	Задание 8_1	C:\KDAM\Models\Tykakov\NEW\zad8_1\	komment
11	Тесты	KBB	Тест по реакциям образец M	C:\KDAM\Models\TestShift\Test_PI124\PI1_MaxTMMT\	Проверка Пл1
12	Наука	KBB	Mod. tree	C:\KDAM\Models\KBB\Mod. tree\tr1\	Металлоуст

Рис. 3.3. Панель **Избранное**

Записать – сохранить все изменения в модели.

Записать как - Необходима для сохранения модели под другим именем. В открывшемся окне выберите другую папку (Внимание! Важно), введите новое имя модели и нажмите ОК (программа автоматически перенесёт файлы модели под новым именем в выбранную папку).

Пункты **Считать файл KDAM_old**, **Считать файл KDAM_old**, **Записать обменный файл**, **Открыть обменный файл** необходимы для совместимости со старыми версиями КДАМ-а.

Печать – вызывается панель **Печати** (см. рис. 3.4).

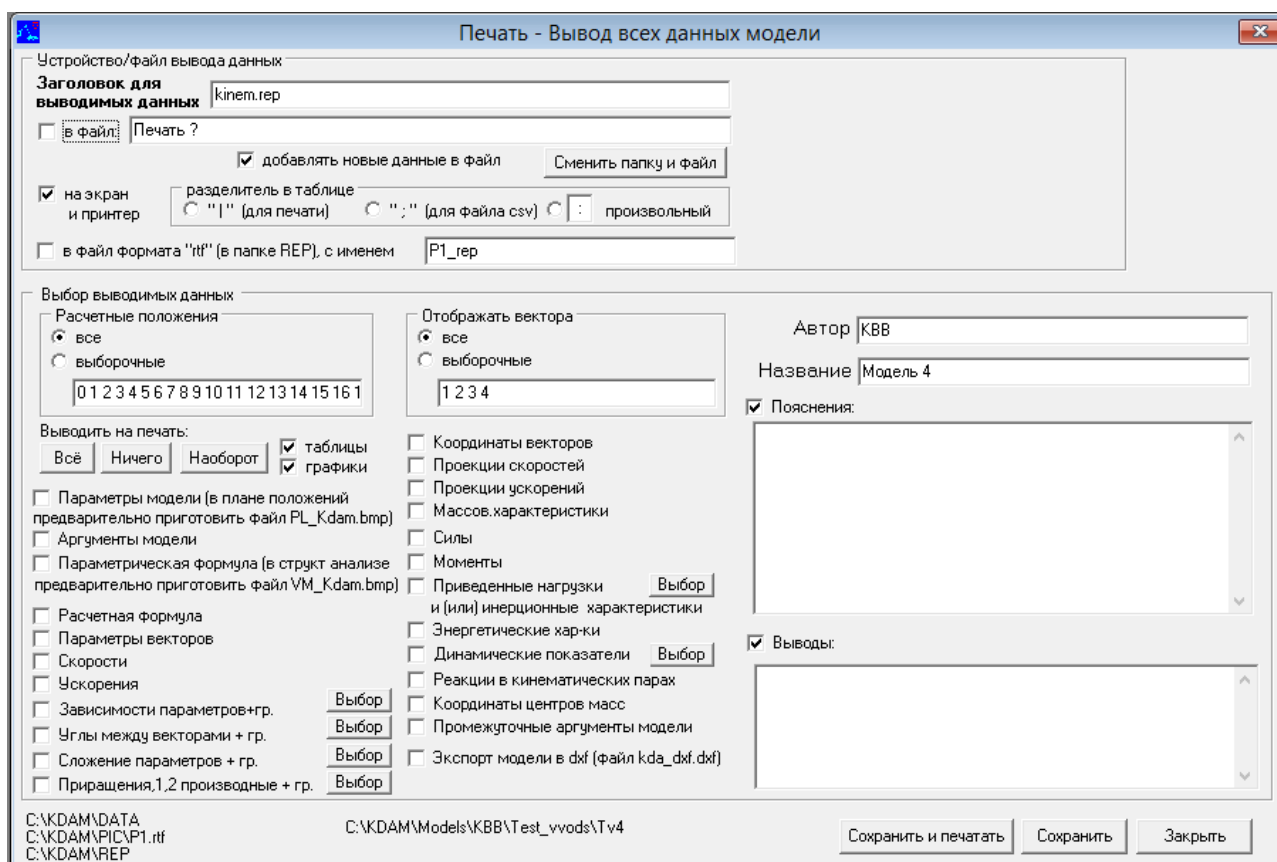
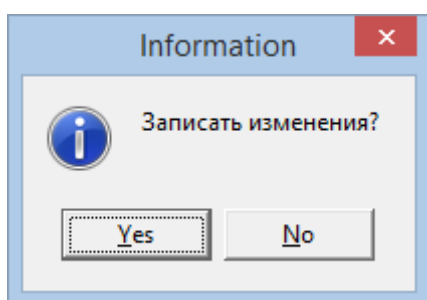
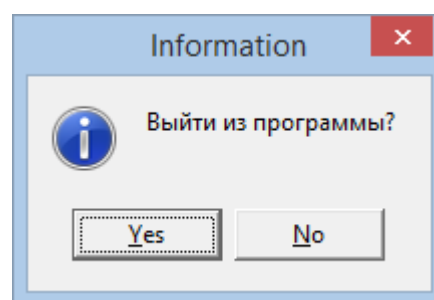


Рис. 3.4. Панель **Печать**

Выход – пункт меню выхода из программы состоящий из двух этапов – запроса на сохранение данных модели (см. рис. 3.5,а), и собственно запроса на выход из программы (см. рис. 3.5,б).



а)



б)

Рис. 3.5. Этапы выхода из программы

3.1.2. Выпадающее меню **Ввод**

Выпадающее меню **Ввод** (рис.3.6) содержит все панели, которые требуются для ввода модели и сформированы таким образом, чтобы, можно было переходя сверху-вниз данное выпадающее меню заполнять данные модели, необходимые для выполнения задач кинематики и динамики.

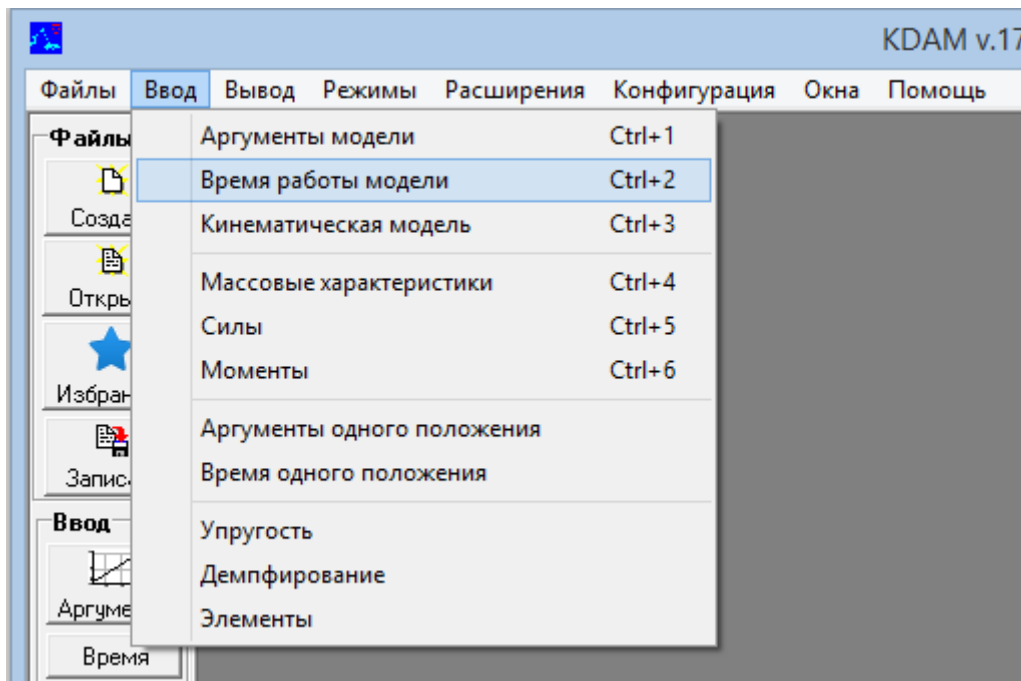




Рис. 3.6. Выпадающее меню **Ввод**

3.1.2.1. Блок ввода **кинематических характеристик**

Аргументы модели – вызывается панель ввода количество расчётных положений, в которых будет отображаться модель, количество аргументов модели и вводом для каждого номерного аргумента модели следующих параметров: типа аргумента, номера вектора к которому прикладывается аргумент и таблица с заполнением значений аргумента (см. рис. 3.7).

Стрелки   позволяют переходить к другому аргументу.

Кнопкой  можно добавить строку с номером положения и значением аргумента, а с помощью кнопки  убрать строку из таблицы, на которой в текущий момент стоит синий курсор.

Кнопками  и  можем переместить строку вверх или вниз по таблице.

Кнопка **Обновить** позволяет обновить находящийся справа от текстового блока графическое представление аргумента (по оси X номера положений, по оси

У откладываются значений аргумента).

Кнопка **Сохранить** сохраняет полученные изменения и закрывает панель **Аргументы модели**.

Кнопка **Отменить** только закрывает панель **Аргументы модели**, без сохранения изменений в списке моделей.

На рисунке 3.7 отображена панель **Аргументов модели** с уже измененными параметрами под наш пример. Тип аргумента – угол « α » (угол « β » - для пространственных расчетов). Число расчетных положений = 36, аргумент модели = 1, (с 0-го по 360-й градус с шагом в 10 градусов). Относительно нулевого номера положения поэтому ставим 0, относительно 36-го – 360. На этом настройка аргументов модели закончена.

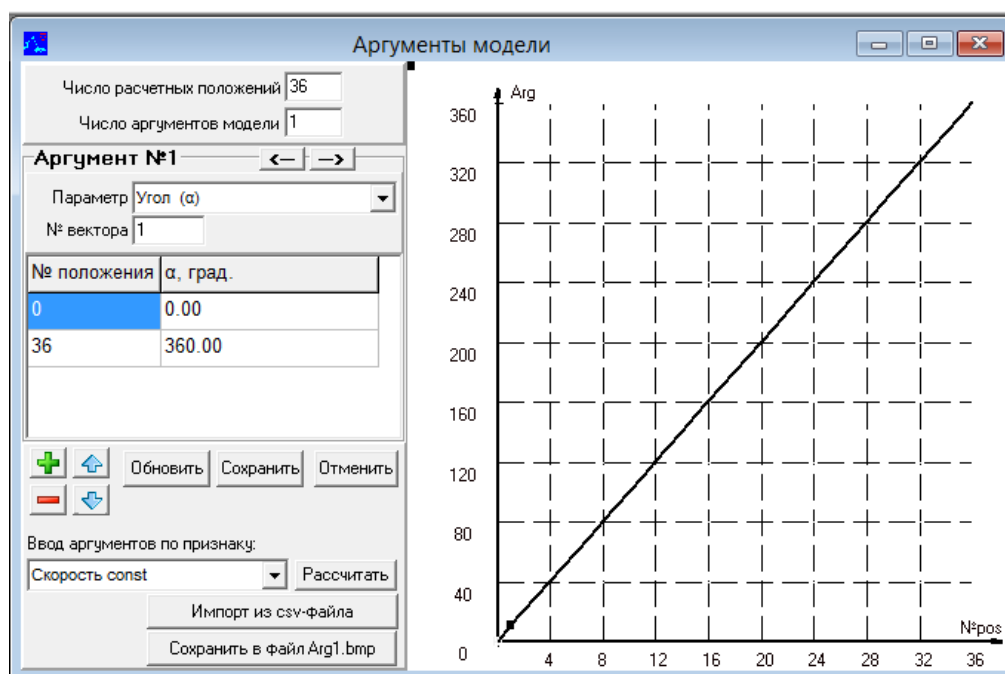


Рис. 3.7. Панель **Аргументы модели**

Можно провести ввод параметров с использованием **Ввода аргументов по признаку**=> **Рассчитать**, для этого достаточно, чтобы перед этим в таблице были выставлены два крайних положения, по данной операции создаются закон движения и его 1-я и 2- производные (перед эти необходимо заполнить время в панели **Время работы панели**). Кнопка **Импорт из csv- файла** предназначена для получения данных в таблицу из обменного текстового файла формата csv.

Кнопка **Сохранить в файл Arg1.bmp** предназначена для сохранения графика в виде файла в папке **Rep**, номер в имени файла соответствует номеру текущего

(отображаемого в панели) аргумента.

Время работы модели – панель ввода параметров рабочего цикла работы модели (см. рис. 3.8).

Два режима ввода: **Первый**, непосредственно в таблицу, например, вводим две строчки в первой нулевое положение – 0 секунд, во второй строчке 36-ое положение (полный цикл), и 0.03 секунды. При нажатии кнопки «Обновить» справа мы видим график времени относительно расчётных положений модели.

Или **второй** режим ввода - в поле частота вращения вводим число и нажимаем кнопку **n → t**, и наоборот если мы хотим узнать сколько оборотов будет для выбранного нами времени нажимаем кнопку **t → n**.

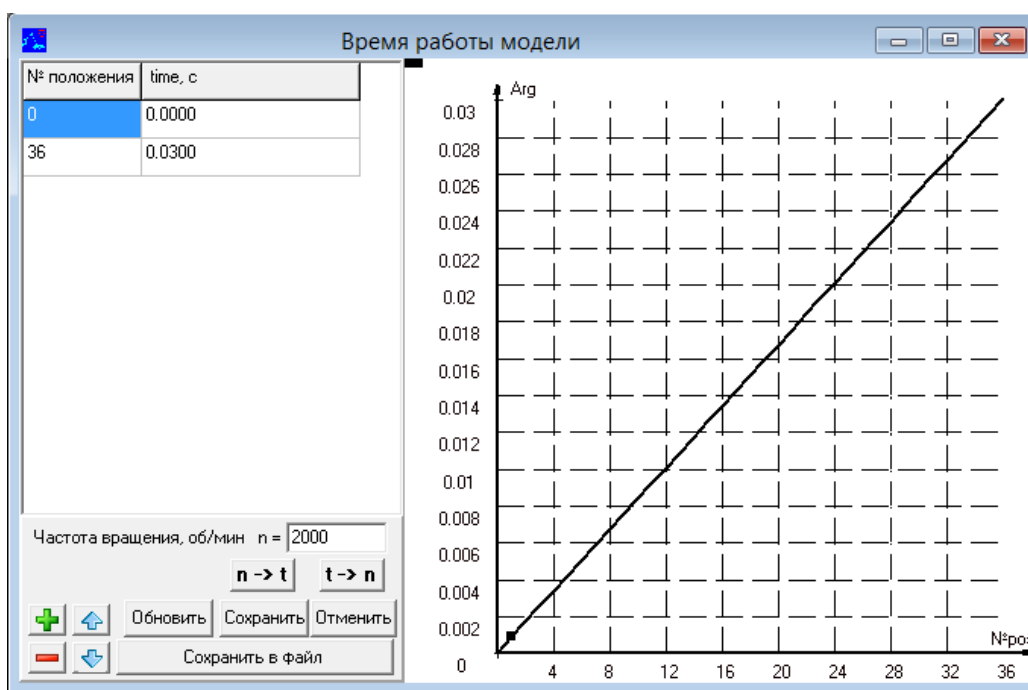




Рис. 3.8. Панель **Время работы модели**

Все остальные кнопки аналогичны таким же кнопкам в панели **Аргументы модели**.

Кинематическая модель –панель ввода основной кинематической модели (см. рис. 3.9).





Изначально выбираем тип модели плоская или пространственная, для смешанных моделей необходимо выбрать вариант пространственная. Затем в произвольном порядке задаются контуры модели заполняя поле **Список контуров**. В этом поле вводятся номера контуров, через пробел или запятую.

Ниже следующие поля вводятся для каждого контура, переход к полям ввода

другого контура проводится посредством нажатия кнопок  , находящихся по обе стороны заголовка Контур №XX, где XX номер текущего контура.

Для **Функций контура** вводим параметр и номер вектора (см. главу 1 Описание модели), например:

1. Угол α к вектору №2;
2. Длина (r) вектора №3.
3. Прочерк, так как для элементарного плоского контура мы вводим только два неизвестных параметра.

Затем в находящейся ниже таблице в закладке **Параметры векторов** введем известные параметры заданных векторов. Вектора в таблицу добавляются при помощи кнопки  (при помощи кнопки , номера векторов присваиваются автоматически, но их всегда можно изменить, редактируя их в первом столбце таблицы. Кнопками  и  можно переместить вектор вверх или вниз по таблице.

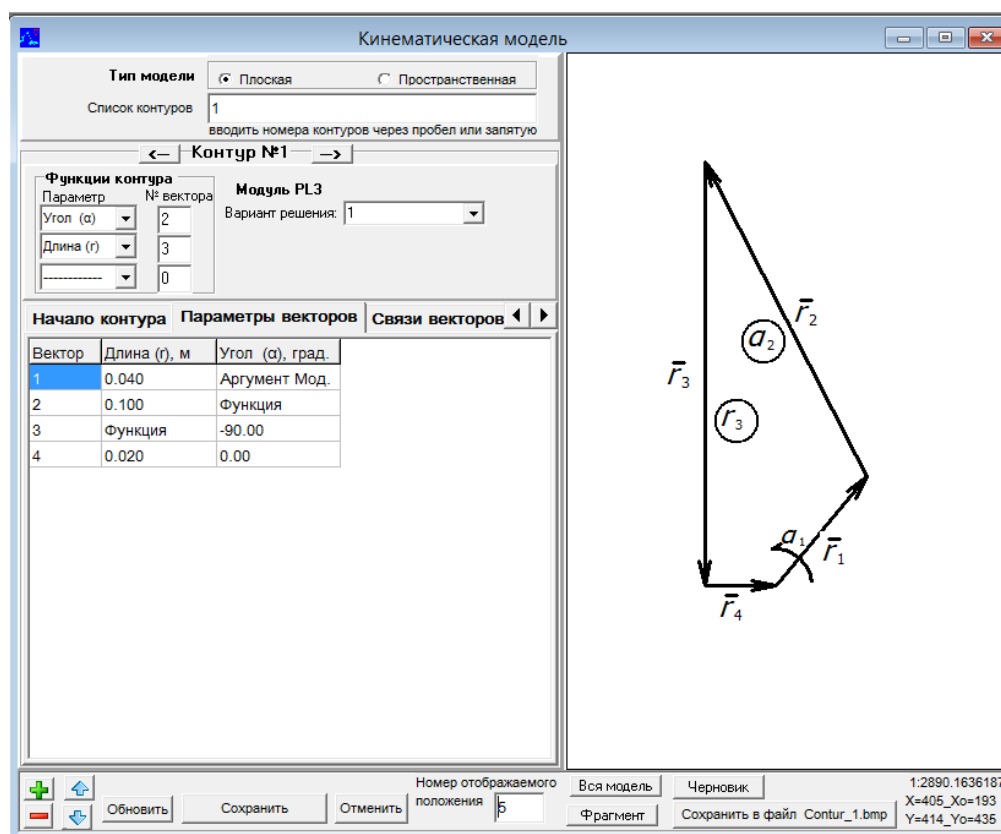


Рис. 3.9. Панель **Кинематическая модель**

Поля параметров векторов, которые являются аргументами модели, аргументами или функциями, содержат соответствующие надписи, а в остальные поля (параметры, которые являются величинами постоянными) вводим цифры, так,

например, для 1-го и 2-го векторов введём длины – «0.04» и «0.1», для 3-его вектора угол – «-90»; для 4-го вектора – и длину «0.2» и угол «0». После ввода данных значений необходимо нажать кнопку **Обновить**, и в правой части панели можно увидеть графическое отображение модели в положении, которое указано в поле **Номер отображаемого положения**. Изменить номер положения, можно введя или цифру в этом поле (после нажать **Обновить** или клавишную кнопку **Enter**, или находясь в нём нажимая кнопки на клавиатуре **Вверх**, **Вниз**, или прокручивая колёсико мышки» и будем отображаться модель в требуемом положении (в нашем случае – «5»).

Кнопка **Сохранить** сохраняет полученные изменения и закрывает панель.

Кнопка **Отменить** только закрывает панель.

3.1.2.2. Блок панелей ввода динамических характеристик

Массовые характеристики – в данной панели вводятся массы векторов-звеньев, их моменты инерции, точки привязки центров масс к положению самих векторов (см. рис. 3.10). Есть возможность ввода массы или момента инерции по упрощенной формуле и посредством двух кнопок **m->Js** и **Js->m**. Остальные кнопки работают аналогично ранее описанным.

Рис. 3.10. Панель **Массовые характеристики**

Силы – работа с панелью аналогична работе с Аргументами модели (см. рис. 3.11).

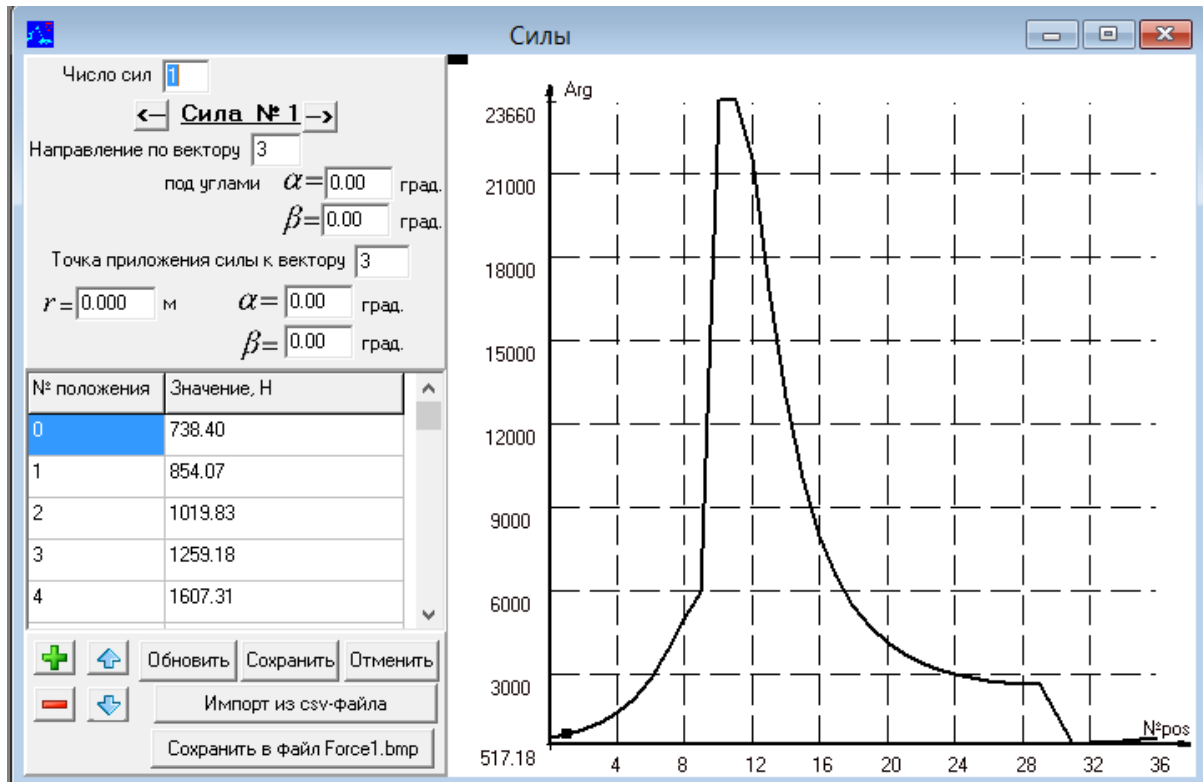


Рис. 3.11. Панель Силы

Моменты – работа с панелью аналогична работе с Аргументами модели (см. рис. 3.12).

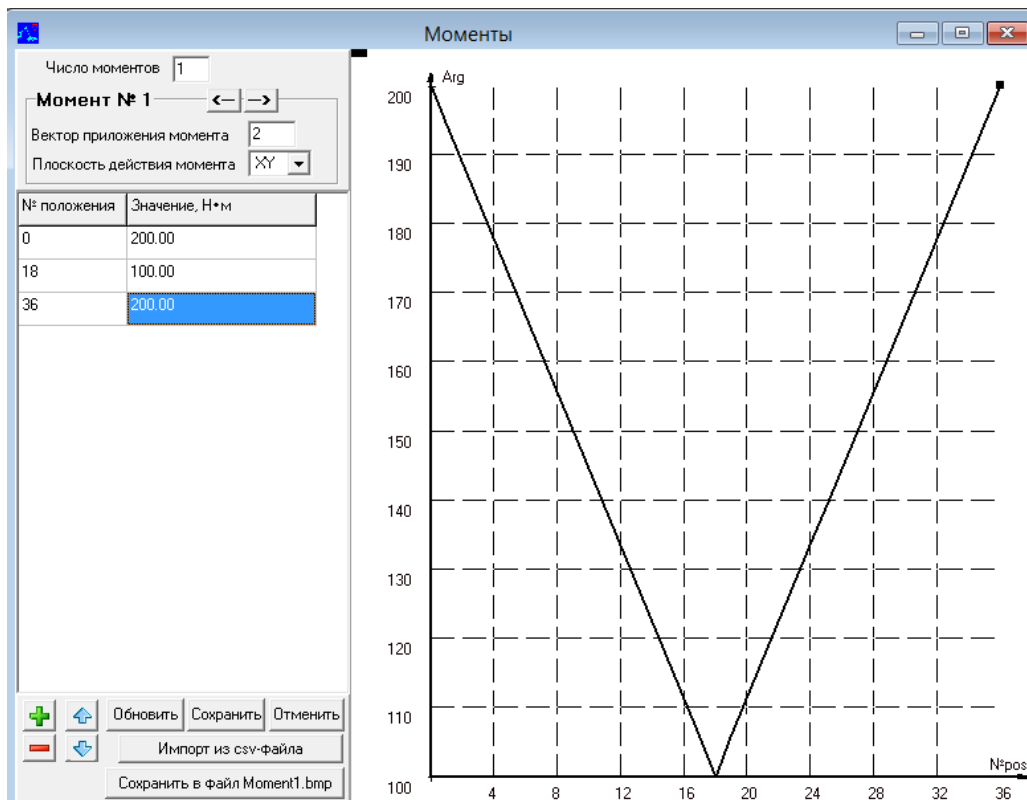


Рис. 3.12. Панель Моменты

3.1.2.3. Блок панелей для ввода «промежуточных аргументов»

В данном блоке можно вводить данные по аргументам одного положения и времени одного положения. Работа с этими данными аналогично вводу аргументов и времени работы модели.

3.1.2.4. Блок панелей для ввода **Дополнительных динамических характеристик и внешнего вида отличного от векторов**

В данном блоке можно вводить данные по характеристикам упругости, демпфирования и внешним отображениям векторов. В данном руководстве не описывается (см. Полное руководство пользователя КДАМ).

3.1.3. Выпадающее меню **Вывод**

Выпадающее меню **Вывод** (см. рис. 3.13) содержит все панели, которые требуются для проведения анализа и синтеза как кинематических, так и динамических параметров механизмов, кроме того можно формировать различные бумажные и экранные отчёты (пункт меню Печать (см. стр.71)).

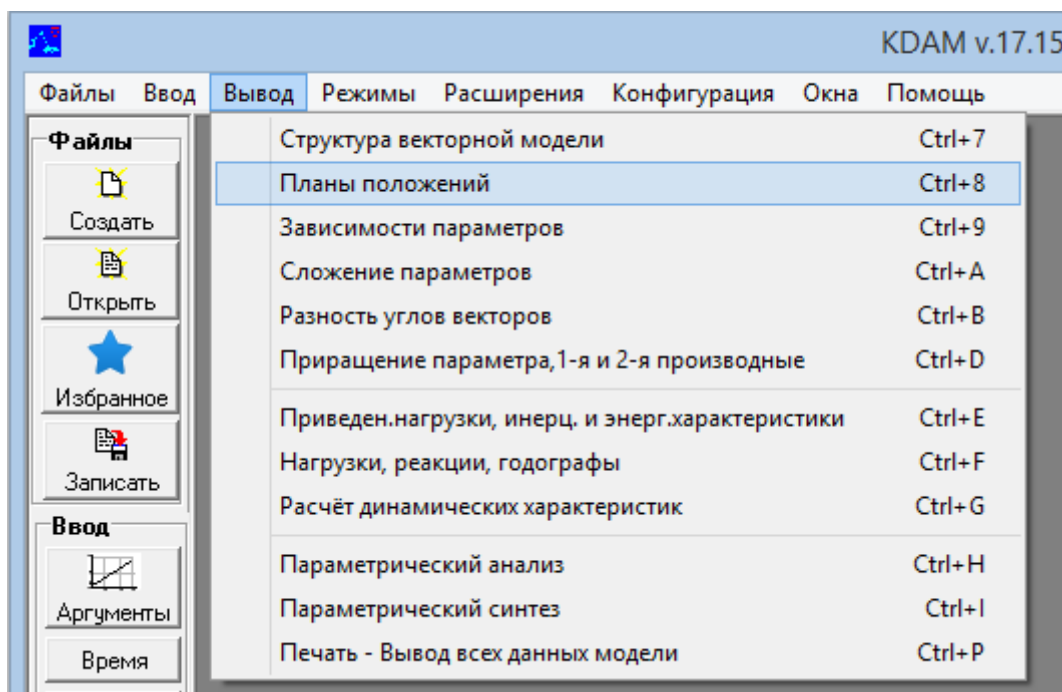


Рис. 3.13. Выпадающее меню **Вывод**

3.1.3.1. Блок панелей для вывода **структурных характеристик**

Структура векторной модели – панель предназначена для отображения, как планов положений векторной модели, так и автоматического формирования, и

отображения структурно-параметрической формулы векторной модели, что позволяет в сжатом виде увидеть количество контуров, список входящих в них векторов, количество и типы связи между векторами (рис. 3.14).

Чтобы подробнее анализировать поведение модели неудобно использовать рассмотренную выше панель **Кинематическая модель**, она больше ориентирована на ввод значений, лучше использовать панель **Структура векторной модели** и рассматриваемую далее в руководстве панель **Планы положений**.

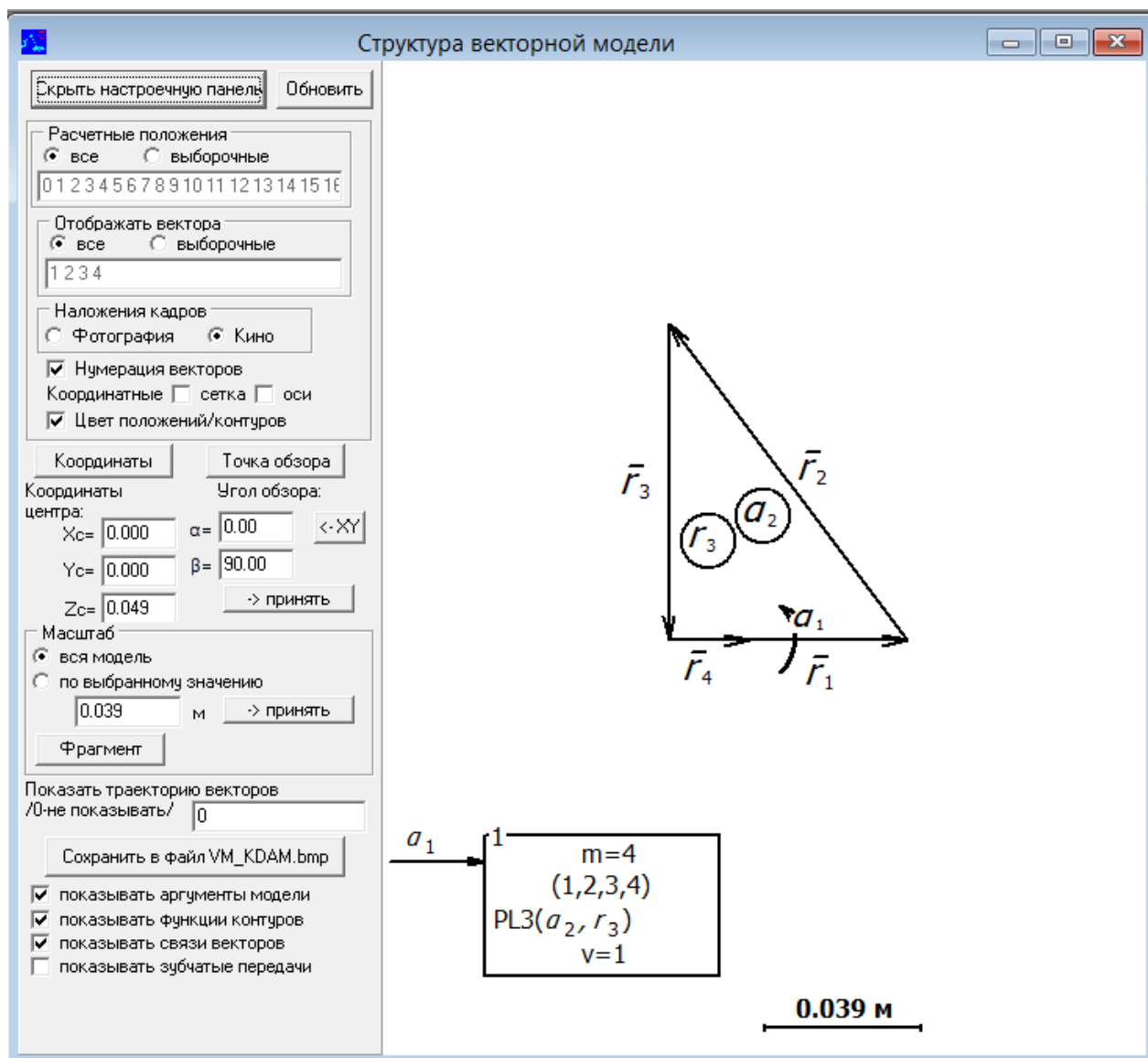


Рис. 3.14. Панель **Структура векторной модели**

Здесь можно выбрать различные опции просмотра – отображать не все положения, и выборочные вектора, использовать режимы наложения кадров, отображать нумерацию векторов, отображать сетку, координатные оси, выбирать произвольный масштаб или формируемый автоматически, рассматривать

траектории движения векторов. Для пространственных векторных моделей устанавливать различные углы обзора. Также можно показывать обозначения основных параметров контуров (аргументов, функций, связей, передач).

3.1.3.2. Блок панелей вывода кинематических характеристик

Планы положений – панель предназначена также для отображения планов положений векторной модели (см. рис. 3.15), но в отличие от панели **Структура векторной модели**, здесь кроме общих опций, можно также накладывать векторную модель на любой одноцветный фон или фон из файла (для этого необходимо заранее зайти в **Конфигурация=> Параметры расчёта и отображения** и там настроить данные параметры). На рис. 3.15 показано отображение векторной модели режиме наложения кадров **Фото**, а на рис. 3.16 в режиме **Кино**.

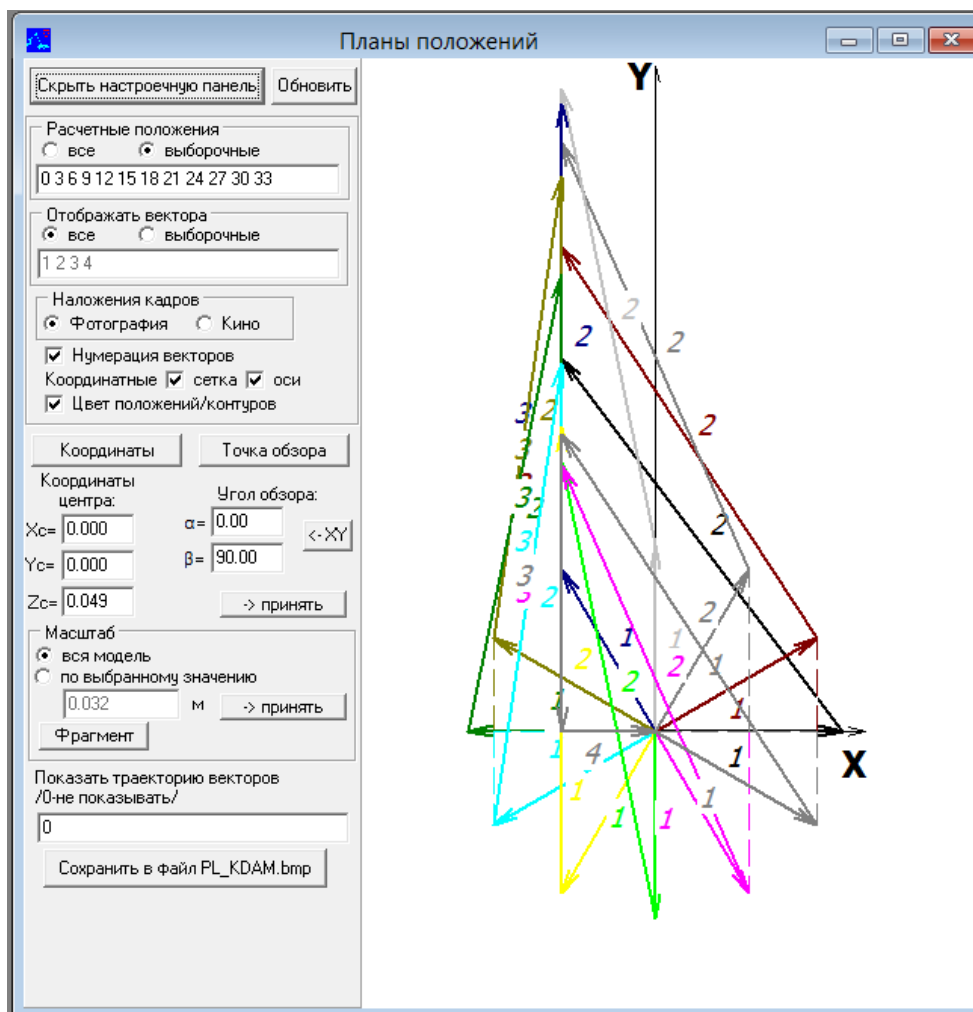


Рис. 3.15. Панель **Планы положений**
выбран режим **Наложения кадров - Фотография**

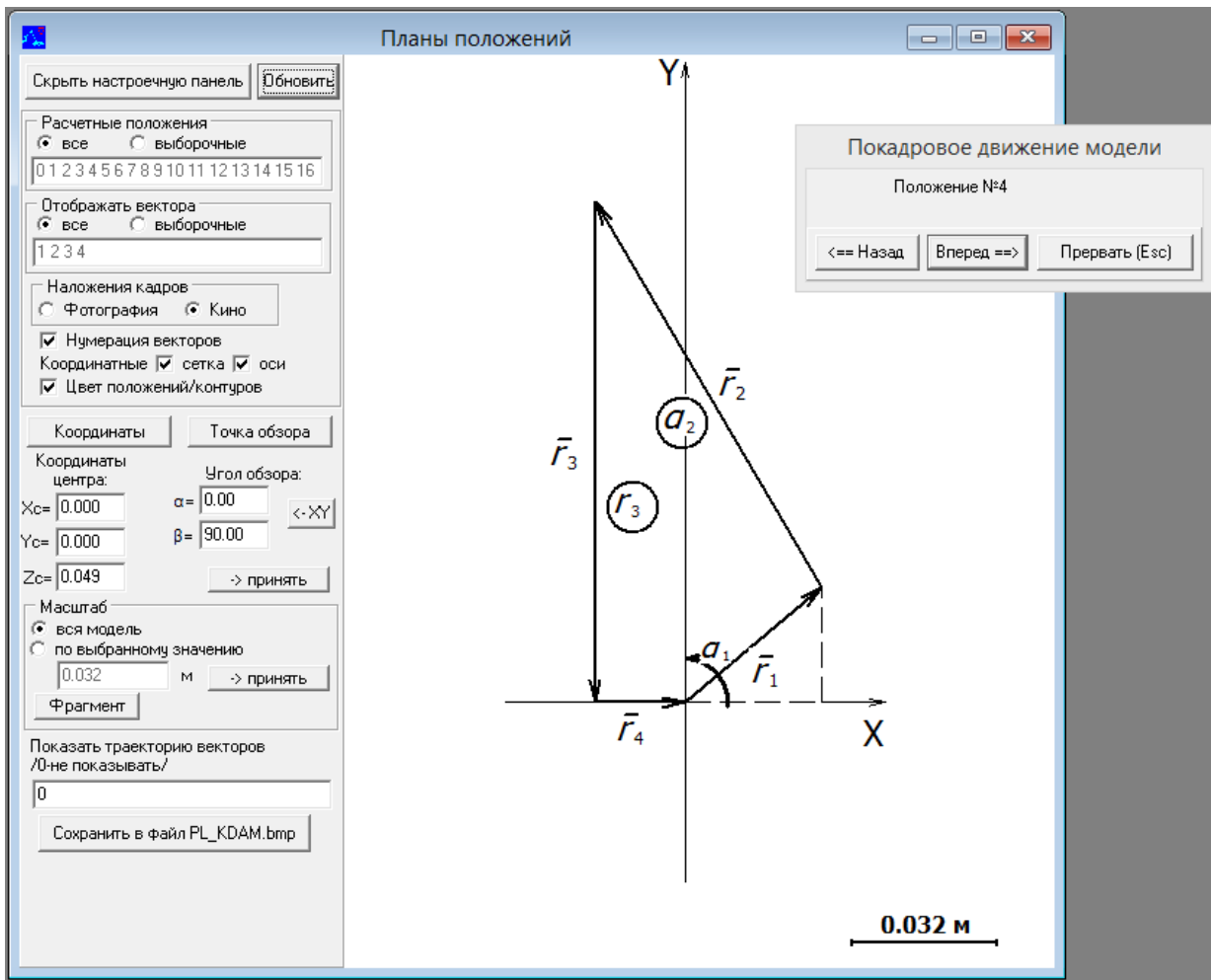


Рис. 3.16. Панель **Планы положений**
выбран режим **Наложения кадров – Кино**

Зависимости параметров – панель предназначена для отображения зависимостей кинематических параметров векторной модели (см. рис. 3.17).

На рисунке 3.17 слева расположена настроечная панель, позволяющая настраивать вид, масштаб, количество отображаемых графиков, их временное отключение и настраиваемые параметры, также на ней находятся кнопки **Скрыть настроечную панель**, **Обновить** и **Сохранить в файл GrKDAM_1.bmp**. Кнопка **Скрыть настроечную панель** – позволяет убирать панель, при нехватке места на экране. Кнопка **Обновить** необходима для применения вводимых настроек на графике. При нажатии кнопки **Сохранить в файл GrKDAM_1.bmp** в папке REP создаётся файл **GrKDAM_1.bmp**.

Сложение параметров – панель предназначена для отображения зависимости суммы (разности, произведения, деления, возведения в степень) двух

кинематических параметров векторной модели, откладываемой по оси Y от расчётных положений модели, откладываемых по оси X(см. рис. 3.18). Работа с настройками графиков в этой панели аналогична панели **Зависимости параметров**.

Разность углов векторов – панель предназначена для отображения разности, углов между двумя векторами, откладываемой по оси Y от расчётных положений модели, откладываемых по оси X(см. рис. 3.19). Работа с настройками графиков в этой панели аналогична панели **Зависимости параметров**.

Приращение параметра, 1-я и 2-я производные – панель предназначена для отображения разности параметра от его же значения в заданном расчётном положении, а также его первой и второй производных, откладываемой по оси Y от расчётных положений модели, откладываемых по оси X (см. рис. 3.20). Работа с настройками графиков в этой панели аналогична панели **Зависимости параметров**.

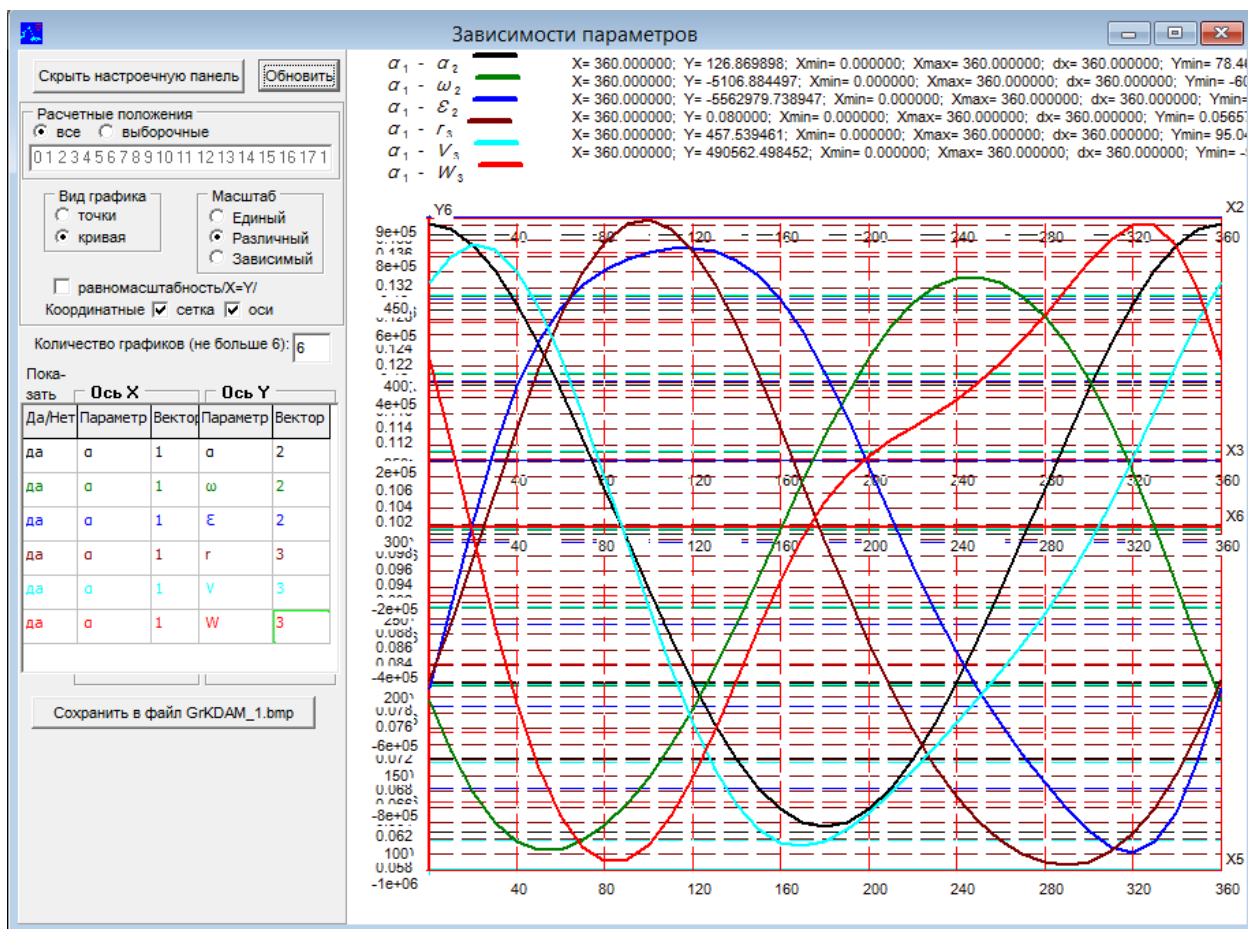


Рис. 3.17. Панель **Зависимости параметров**

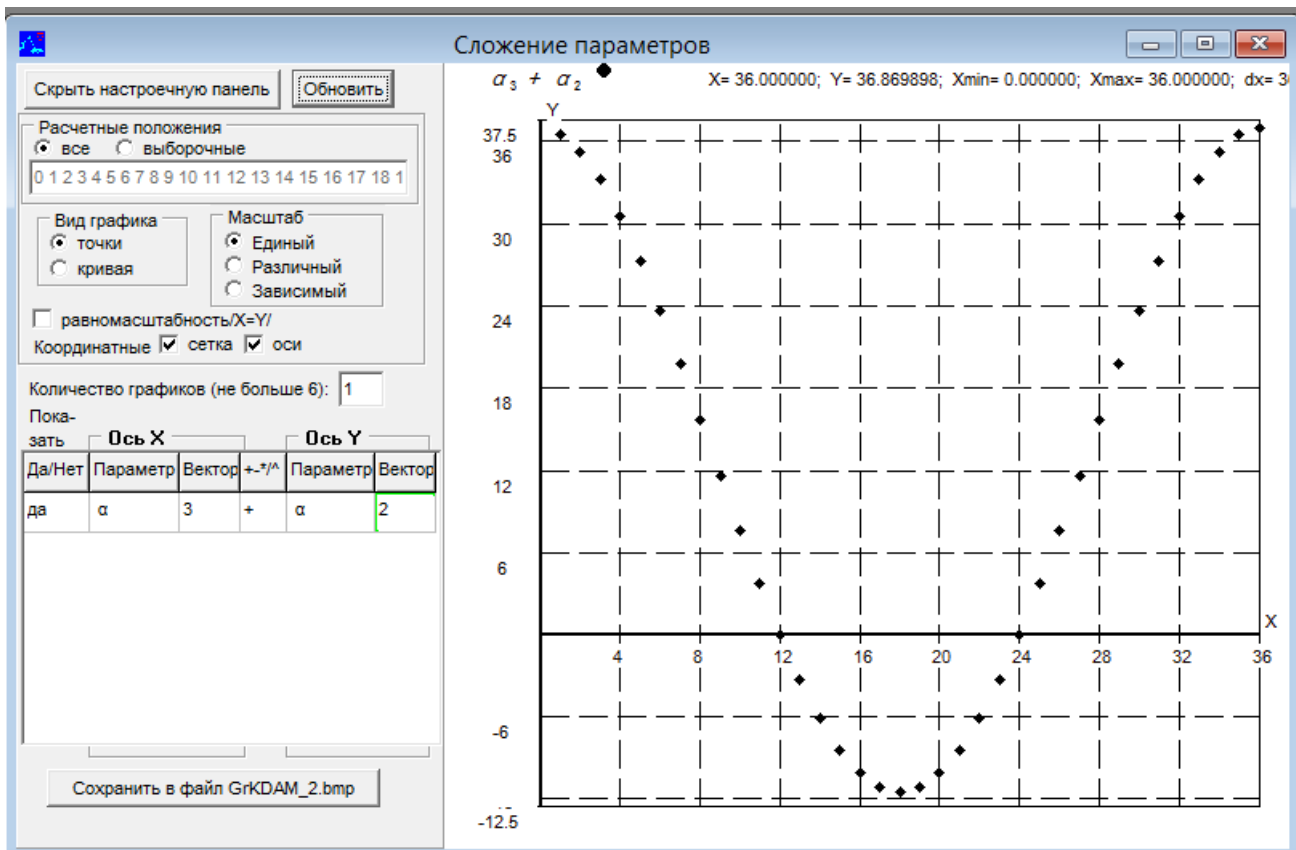


Рис. 3.18. Панель Сложение параметров

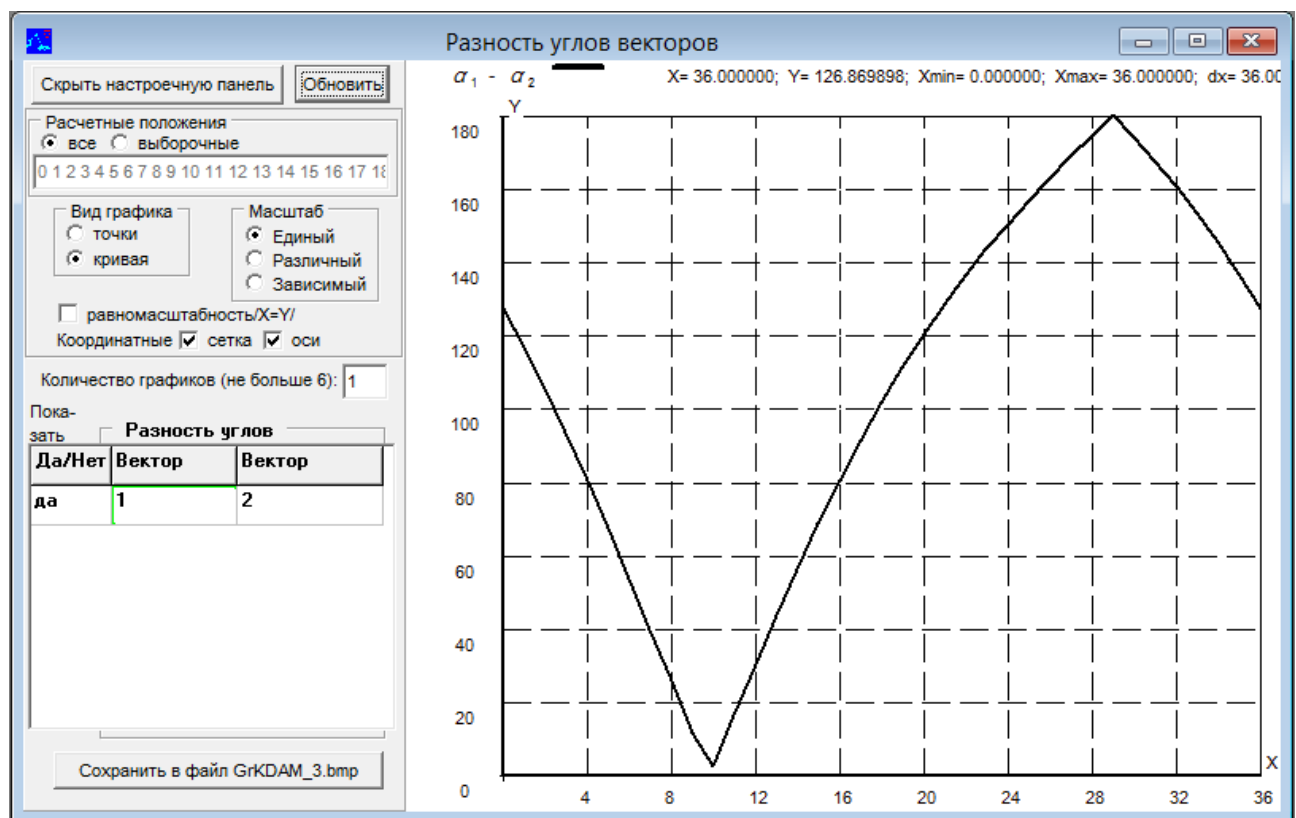


Рис. 3.19. Панель Разность углов векторов

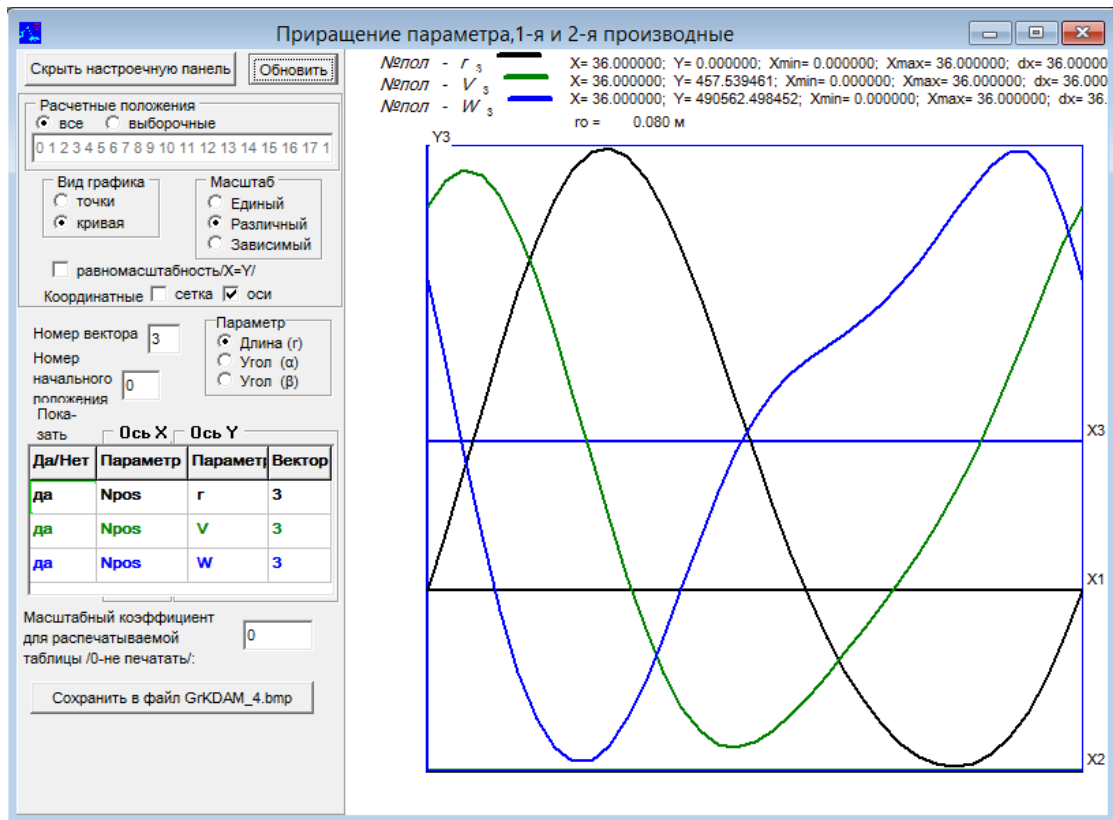


Рис. 3.20. Панель Приращение параметра, 1-я и 2-я производные

3.1.3.3. Блок панелей вывода динамических характеристик

Панель Приведенные нагрузки, инерционные и энергетические характеристики (см. рис.3.21).

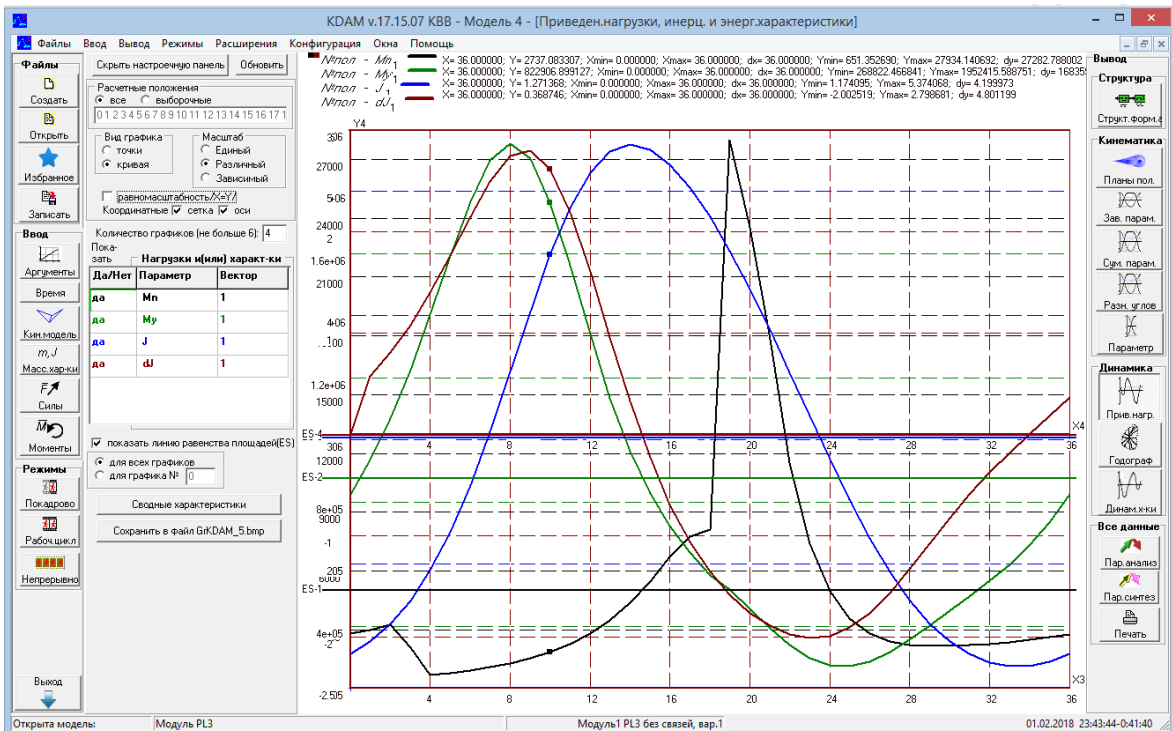


Рис. 3.21. Панель Приведенные нагрузки, инерционные и энергетические характеристики

Из этой панели также можно вызвать панель **Сводные характеристики** (см. рис.3.22).

Сводные характеристики		Мощность, $N=Fv (-M\dot{\omega})$							
График	линия равенс	Полож. площадь	Отриц. площадь	Макс. значение	Мин. значение	Мощность,	Удел. мощность	Кэффициент	Механический
№	ES	A(+)	A(-)	Max	Min	N, Вт	Nd, Вт /кг	мех. потеря, %	КПД, %
1	4979.39	179258	0	27934.1	651.353	1.04288e+06	1.48983e+06	0	100
2	873098	3.14315e+07	0	1.95242e+06	268822	1.82861e+08	2.6123e+08	0	100
3	3.00949	108.342	0	5.37407	1.17409	-	-	-	-
4	-0.00512148	23.7642	-23.9486	2.79868	-2.00252	-	-	-	-

Рис. 3.22. Панель **Сводные характеристики**

Панель **Нагрузки, реакции, годографы** (см. рис.3.23)

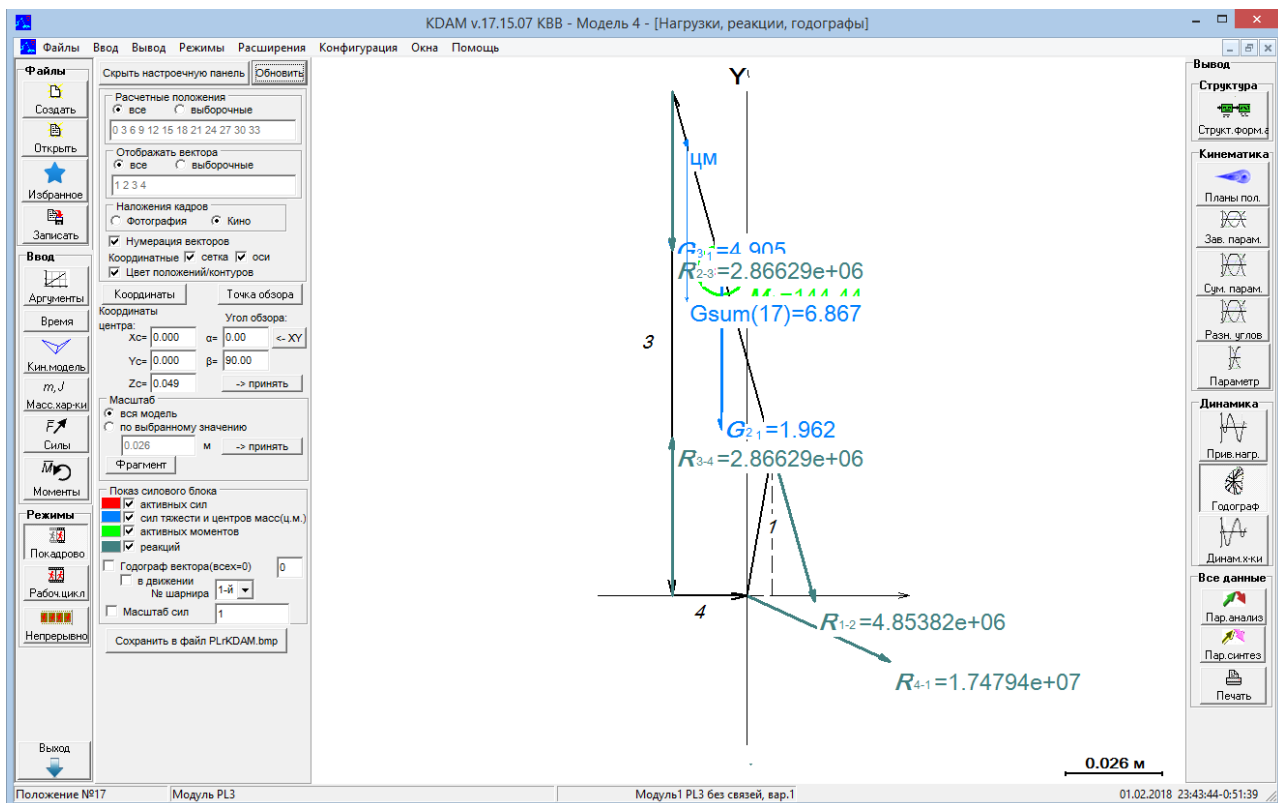


Рис. 3.23. Панель **Нагрузки, реакции, годографы**

Панель **Параметрический анализ** (см. рис.3.24, 3.25) позволяет рассмотреть изменение различных кинематических и динамических параметров на выбранные для анализа кинематические или динамические параметры. На рис. 3.24 приведён вид панели **Параметрический анализ** для ввода Изменяемых и Анализируемых параметров и графика изменяемых параметров. На рис. 3.25 приведен вид панели **Параметрический анализ** для вывода графиков анализируемых параметров.

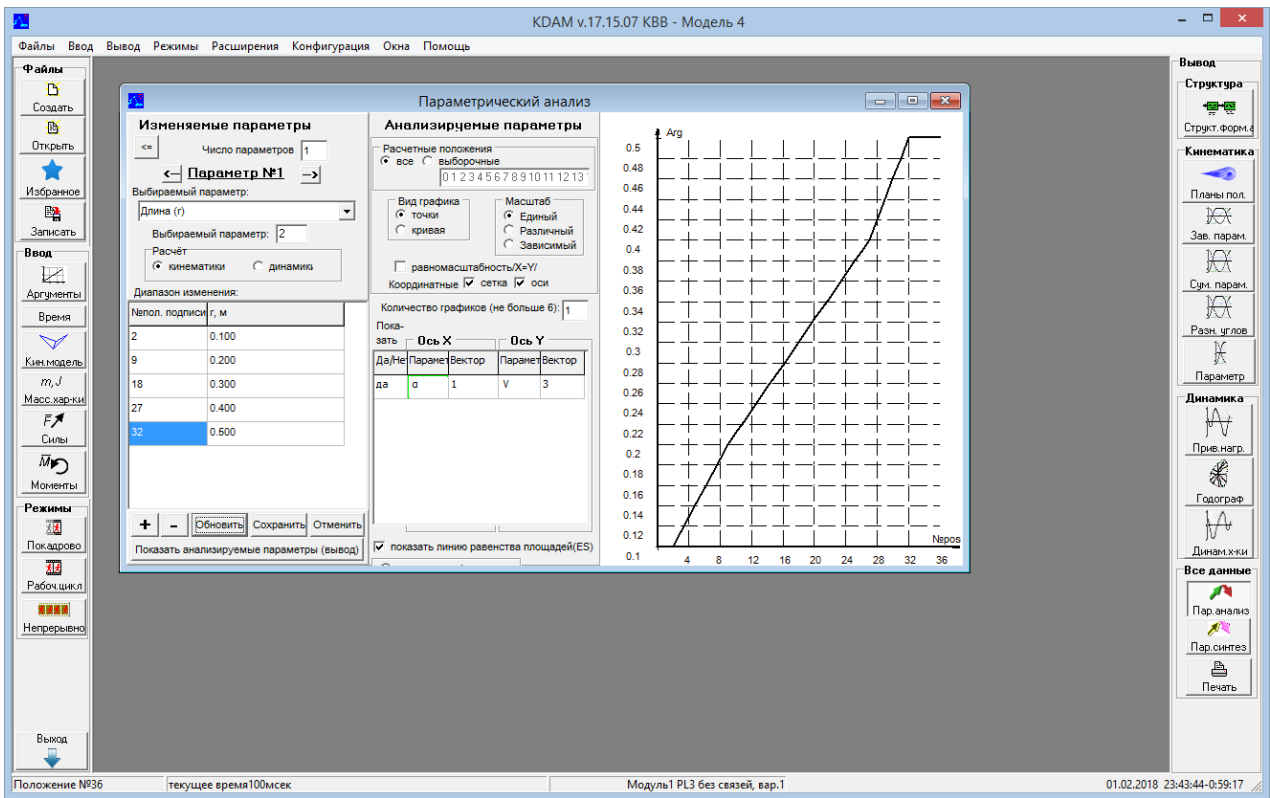


Рис. 3.24. Вид панели **Параметрический анализ** для ввода Изменяемых и Анализируемых параметров и графика изменяемых параметров

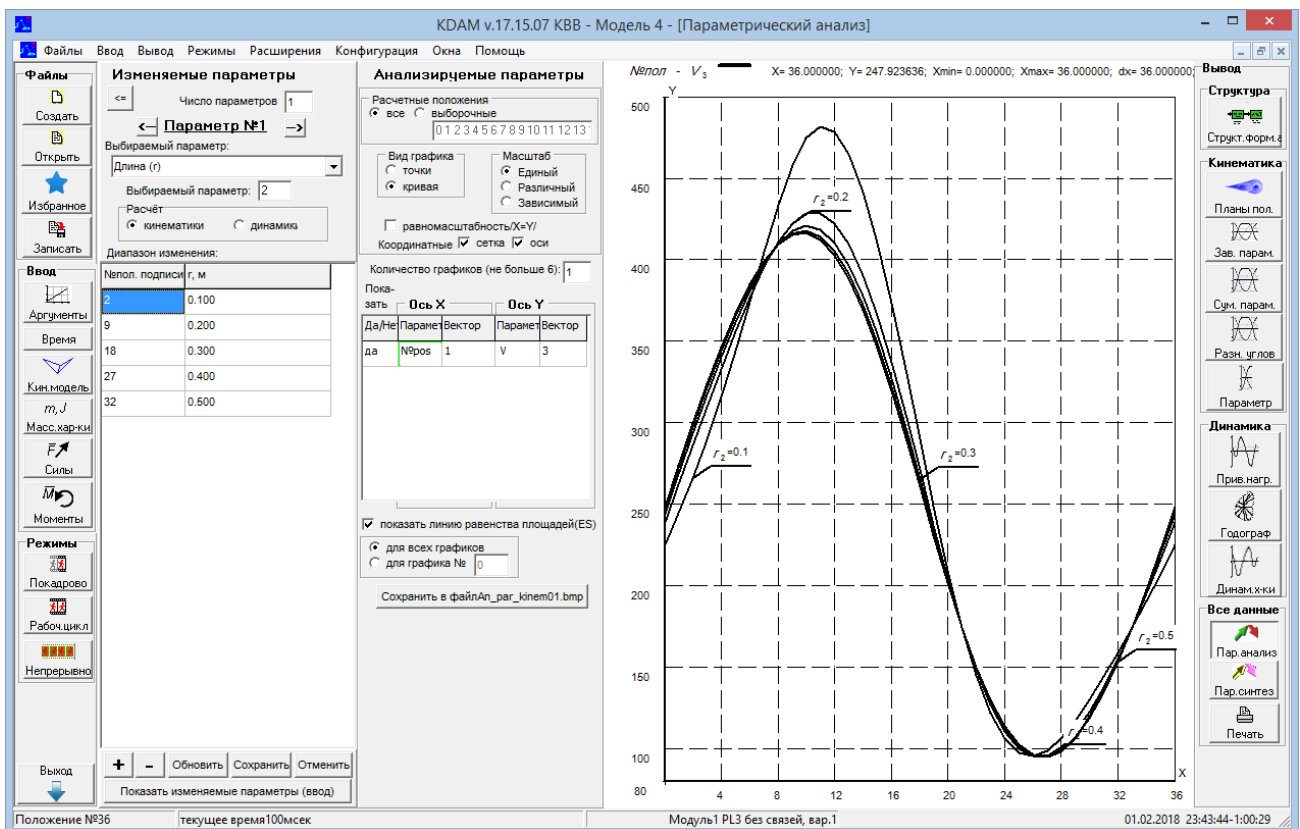


Рис. 3.25. Вид панели **Параметрический анализ** для вывода графиков анализируемых кинематических параметров

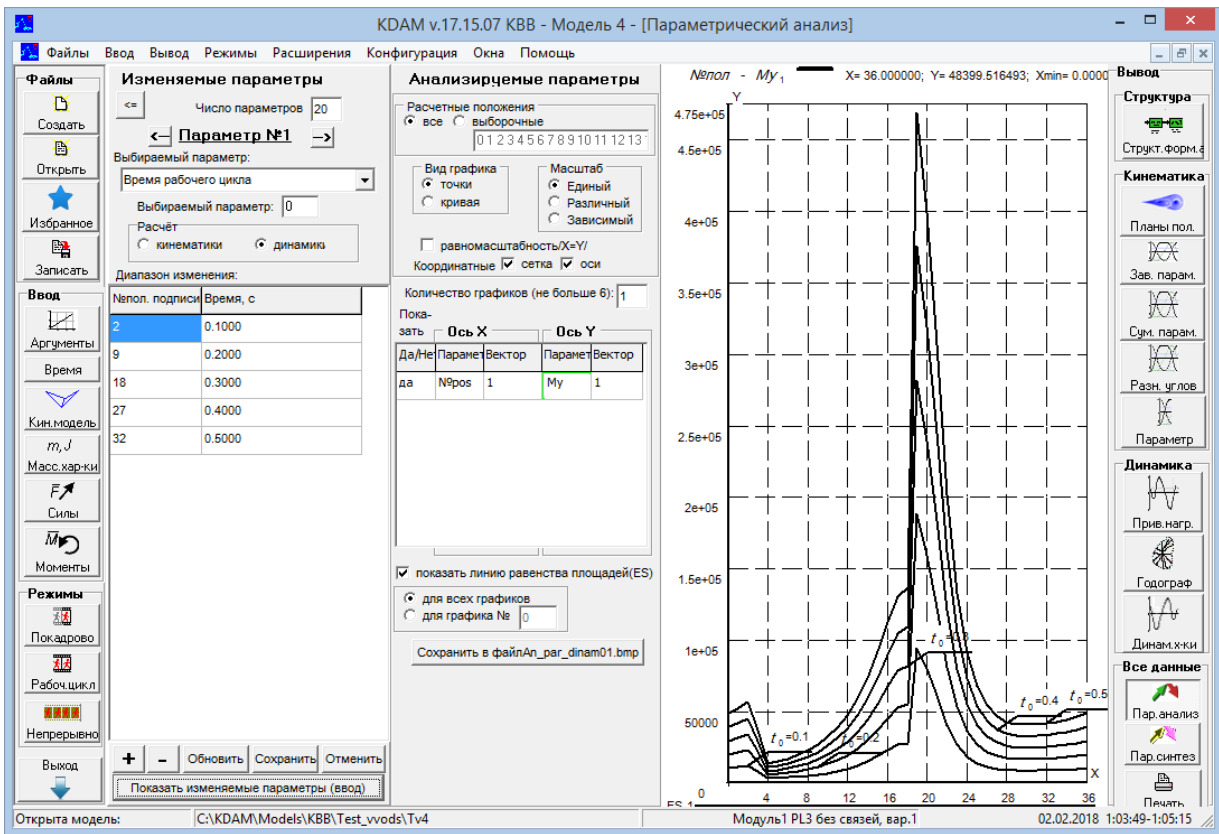


Рис. 3.26. Вид панели **Параметрический анализ** для вывода графиков анализируемых динамических параметров

Панель **Параметрического синтеза** (см. рис. 3.27).

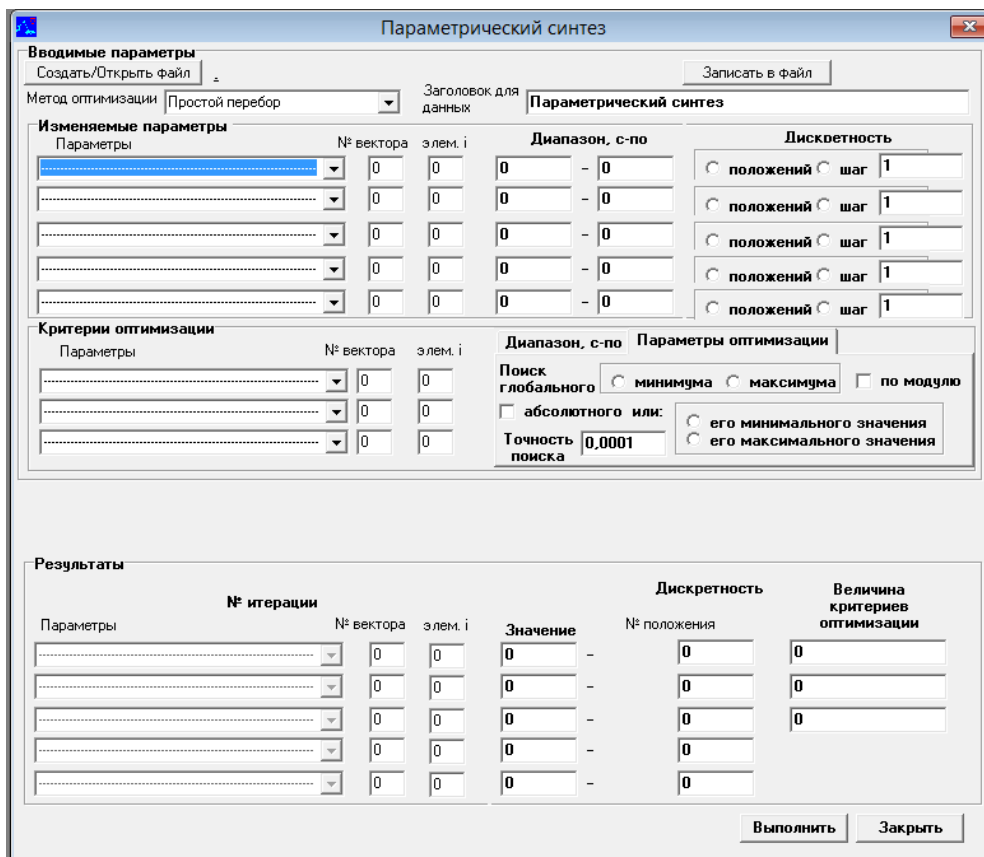


Рис. 3.27. Панель **Параметрического синтеза**

Панель **Печать** – вывод всех данных модели опасна ранее см. стр. 71.

3.1.4. Выпадающее меню **Режимы**

Использование данного меню при вызванных панелях блоков Ввода вывода позволяет в определённом режиме отслеживать влияние изменения поведения векторной модели в каждом расчётном положении на изменение различных параметров. Используются три различных режима:

Панель **Покадровое движение модели** (рис. 3.29), в этом режиме смена положений происходит исключительно по нажатию на кнопки панели или на клавиши пробел или Enter.

Панель **Один цикл движения модели** (рис. 3.30), в этом режиме смена положений происходит автоматически до прохода всего рабочего цикла, переход в новый цикл проводится по нажатию на кнопки панели или на клавиши **Пробел** или **Enter**.

Панель **Непрерывное движение модели** (рис. 3.31), в этом режиме смена положений происходит автоматически и непрерывно. Направление движения задаётся при нажатии на кнопки **Назад** или **Вперёд**. А прерывание работы данного режима проходит по кнопке **Esc**.

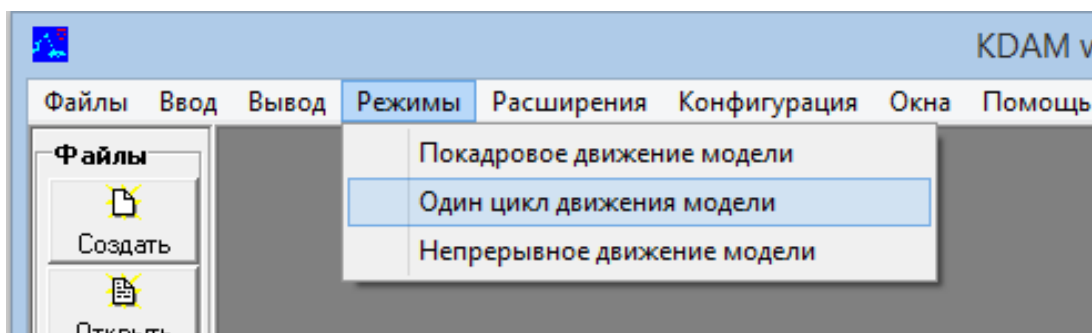


Рис. 3.28. Выпадающее меню **Режимы**

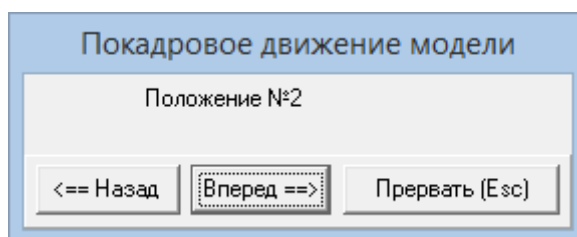


Рис. 3.29. Панель **Покадровое движение модели**

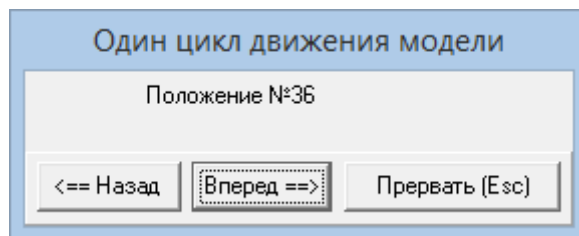


Рис. 3.30. Панель **Один цикл движения модели**

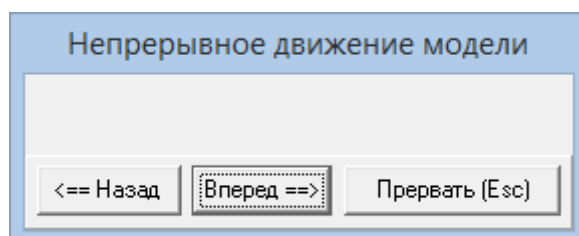


Рис. 3.31. Панель **Непрерывное движение модели**

3.1.5. Выпадающее меню **Расширения**

В меню расширения находятся специализированные блоки, описание их выходит за рамки данного описания (см. Полное руководство пользователя КДАМ).

3.1.6. Выпадающее меню **Конфигурация**

В меню Конфигурация находятся панели настройки программы (см. рис. 3.32).

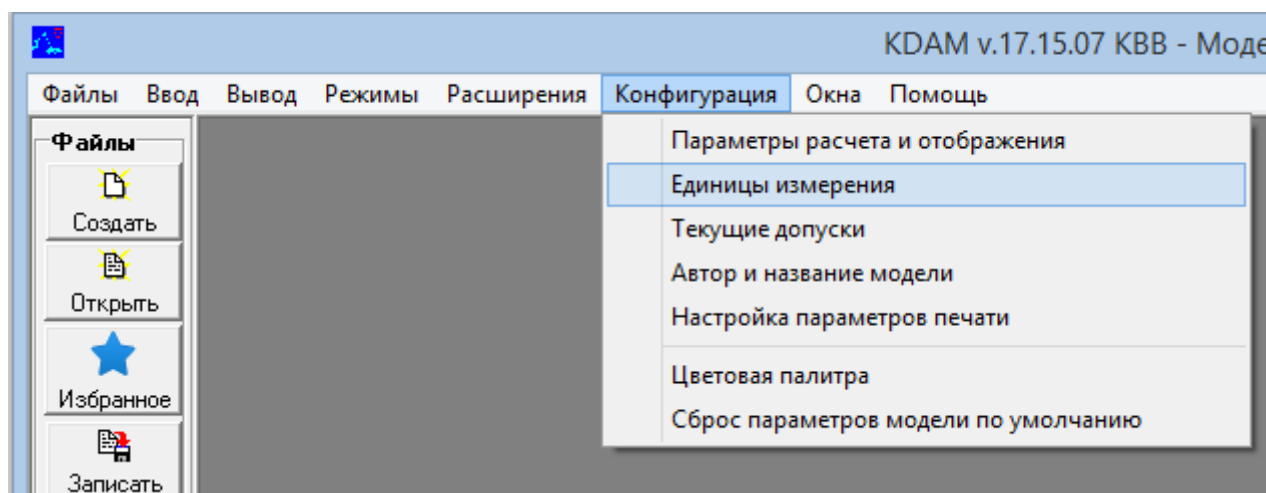


Рис. 3.32. Выпадающее меню **Конфигурация**

Панель **Параметры расчёта и отображения** (см. рис. 3.33).

Сведены в данную панель параметры особенностей расчёта, обозначений, настроек панелей и смены языка интерфейса программы.

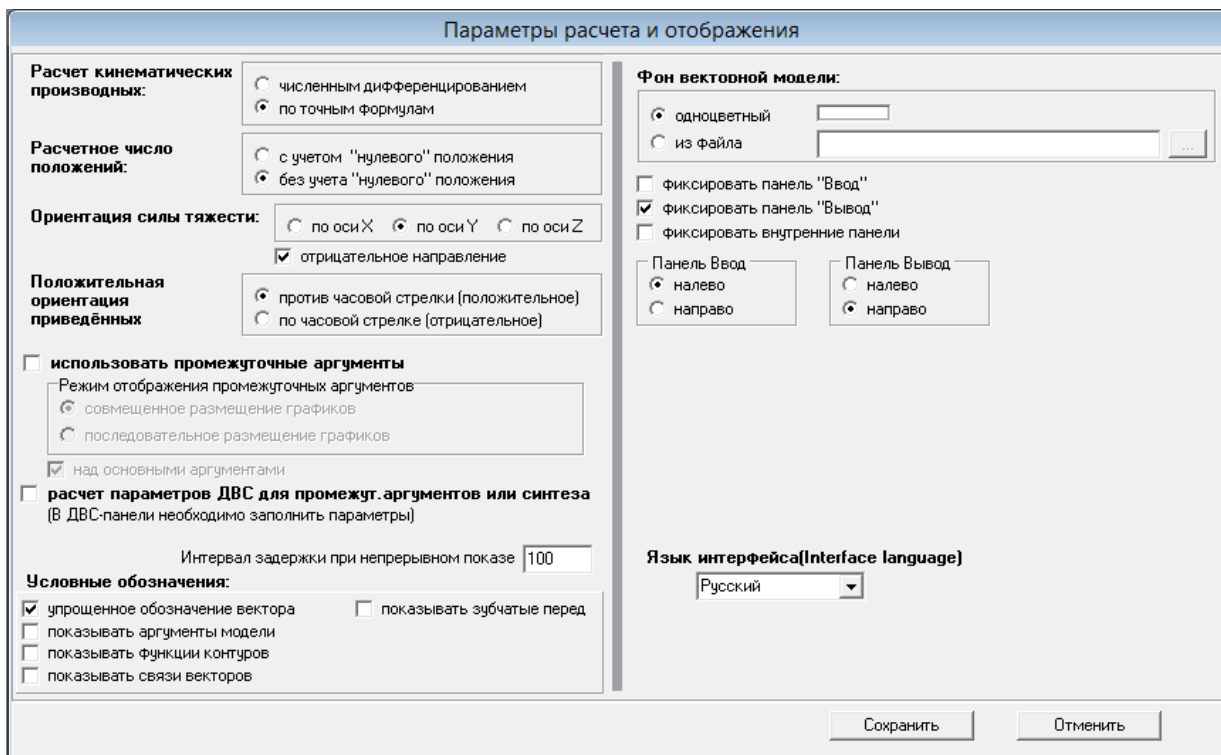


Рис. 3.33. Панель **Параметры расчёта и отображения**

Панель **Единицы измерения** (см. рис. 3.34).

В этом диалоговом окне Вы можете выбрать измерения, с которыми Вам будет удобнее работать. Изначально установлены наиболее часто используемые измерения. Вы можете поменять единицы измерения и при готовой модели, если забыли установить их сначала.

Панель **Текущие допуски** (см. рис. 3.35).

Это окно **НЕОБХОДИМО** запускать **до создания модели**. По умолчанию во время создания модели будут восприниматься восьмизначные числа с двумя цифрами после запятой. Часто бывает нужно ввести значение, с тремя-четырьмя цифрами после запятой. При этом при введении, скажем, аргументов модели, вы сможете ввести такое число, но при сохранении третий и четвертый знаки после запятой не будут учтены. Поэтому нужно выставить порядок чисел и знаков после запятой заранее.

Единицы измерения

<p>Длина, l</p> <input type="radio"/> миллиметр (мм) <input type="radio"/> сантиметр (см) <input checked="" type="radio"/> метр (м)	<p>Угол, α(β)</p> <input checked="" type="radio"/> градус (град) <input type="radio"/> град (грд) <input type="radio"/> радианы (рад)	<p>Масса, m</p> <input type="radio"/> грамм (г) <input checked="" type="radio"/> килограмм (кг) <input type="radio"/> тонна (т)
<p>Скорость линейная, V</p> <input type="radio"/> мм/с <input type="radio"/> см/с <input checked="" type="radio"/> м/с	<p>Скорость угловая, ω</p> <input type="radio"/> град/с <input type="radio"/> грд/с <input checked="" type="radio"/> рад/с	<p>Момент инерции, J</p> <input type="radio"/> г·см ² <input type="radio"/> кг·см ² <input checked="" type="radio"/> кг·м ²
<p>Ускорение линейное, W</p> <input type="radio"/> мм/с ² <input type="radio"/> см/с ² <input checked="" type="radio"/> м/с ²	<p>Ускорение угловое, ε</p> <input type="radio"/> град/с ² <input type="radio"/> грд/с ² <input checked="" type="radio"/> рад/с ²	<p>Время, t</p> <input type="radio"/> миллисекунда (мс) <input checked="" type="radio"/> секунда (с) <input type="radio"/> минута (м) <input type="radio"/> час (ч) <input type="radio"/> сутки (сут)
<p>Сила, F</p> <input type="radio"/> дина (дин=гг·см/с ²) <input type="radio"/> килограмм-сила(кгс=даН) <input checked="" type="radio"/> Ньютон (Н=кг·м/с ²)	<p>Момент, M</p> <input type="radio"/> дин·см <input type="radio"/> кгс·мм <input checked="" type="radio"/> Н·м	
<p>Мощность, N</p> <input checked="" type="radio"/> Ватт (Вт) <input type="radio"/> киловатт (кВт) <input type="radio"/> мегаватт (МВт) <input type="radio"/> килограмм-сила·метр в секунду (кгс·м/с) <input type="radio"/> эрг в секунду (эрг/с) <input type="radio"/> лошадиная сила (метрическая) [л.с.(мет.)] <input type="radio"/> лошадиная сила (английская) [л.с.(анг.)]	<p>Энергия, E</p> <input checked="" type="radio"/> Джоуль (Дж) <input type="radio"/> эрг (эрг) <input type="radio"/> Калория междунар. (кал) <input type="radio"/> кгс·метр (кгс·м) <input type="radio"/> киловатт в час (кВт·ч)	
<p>Удельная мощность, Nd</p> <input checked="" type="radio"/> прямая (N/m) <input type="radio"/> обратная(m/N)	<p>КПД</p> <input checked="" type="radio"/> в процентах (%) <input type="radio"/> в долях (0.xx)	

Рис. 3.34. Панель **Единицы измерения**

Текущие допуски

Число цифр	Образец	Значащих	После точки
Длин	12345.678	8	3
Углов	123456.78	8	2
Скоростей	1234.5678	8	4
Ускорений	1234.5678	8	4
Масс	123456.78	8	2
Моментов инерции	1234.5678	8	4
Сил	123456.78	8	2
Моментов	123456.78	8	2
Времени	1234.5678	8	4
Энергии	12345.678	8	3
Мощности	12345.678	8	3
Удельной мощности	12345.678	8	3
КПД	123	3	0

Рис. 3.35. Панель **Текущие допуски**

Автор и название модели - см. главу 2.Начало работы, рис.2.3.

Панель Настройка параметров печати (см. рис. 3.36).

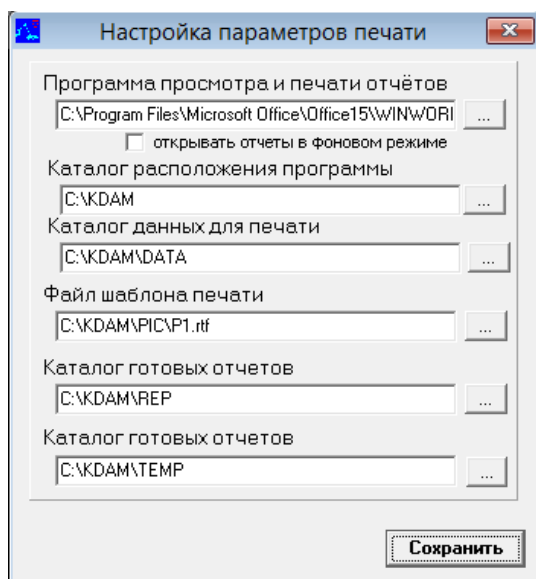
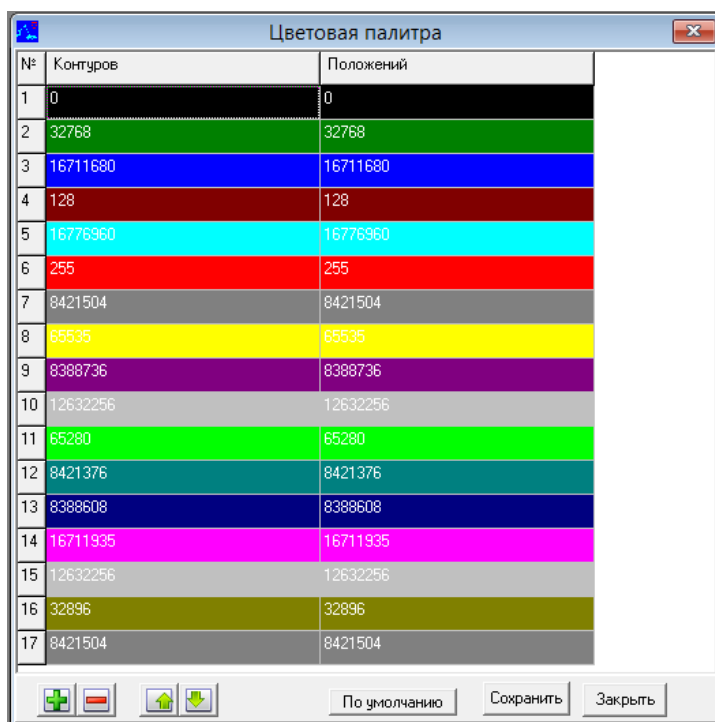
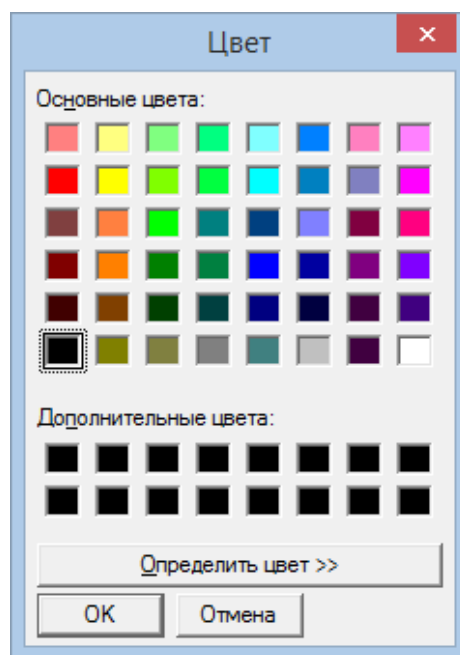


Рис. 3.36. Панель **Настройка параметров печати**

Панель **Цветовая палитра** – панель настройки цветов отображения контуров или расчётных положений модели (см. рис. 3.37,а), номер строки этой таблицы соответствует номеру контура или положения, номер во втором и третьем столбце это номер цвета, изменять его можно прямо в ячейке таблицы, а можно дважды щелкнув мышкой сменить через панель **Цвет**(см.рис.3.29,б).



а)



б)

Рис. 3.37. Панели **Цветовая палитра** (а) и **Цвет** (б)

Сброс параметров модели по умолчанию – приводит к изменению всех настроечных параметров модели к параметрам по умолчанию, данные кинематической модели, массовые характеристики, значения сил и моментов не затрагиваются.

3.1.7. Выпадающее меню Окна

Автоматическое выстраивание всех открытых панелей программы в три режима отображения панелей (см. рис.3.38).

Каскад – см. рис.3.39, **Паркетом** – см.рис.3.40, **Минимизировать всё** (выбор данного пункта повторно приведёт к разворачиванию панелей до нормального размера) – см.рис.3.41.

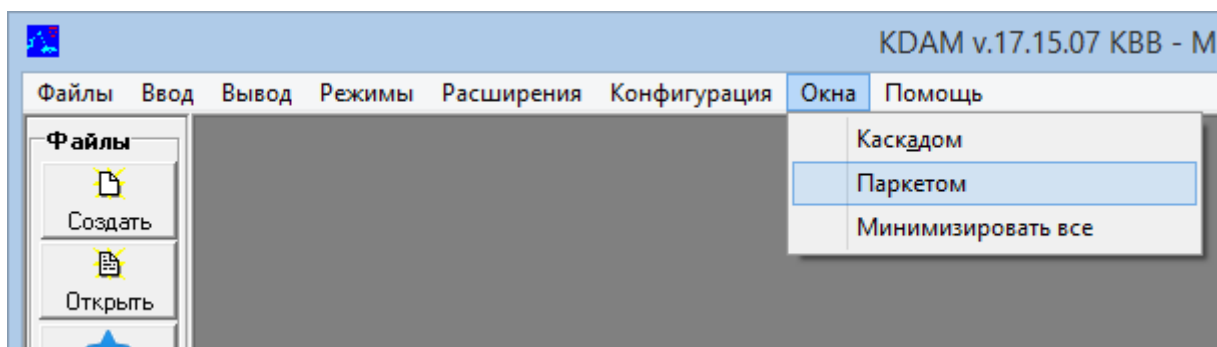


Рис. 3.38. Выпадающее меню **Окна**

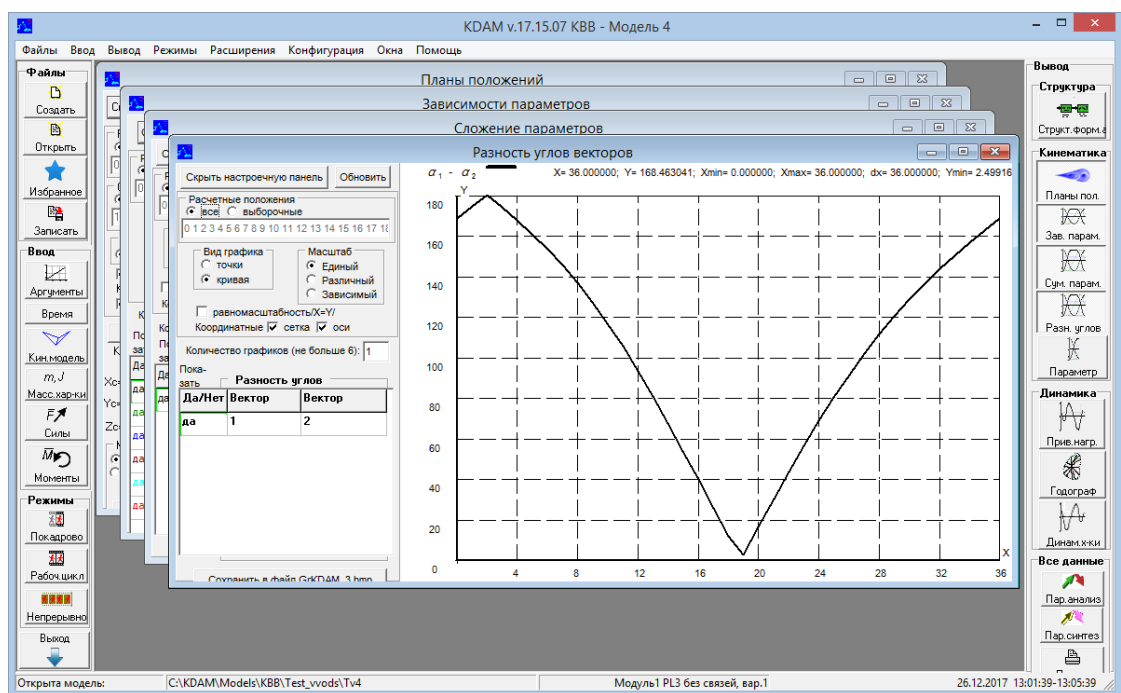


Рис. 3.39. Режим **Каскад**

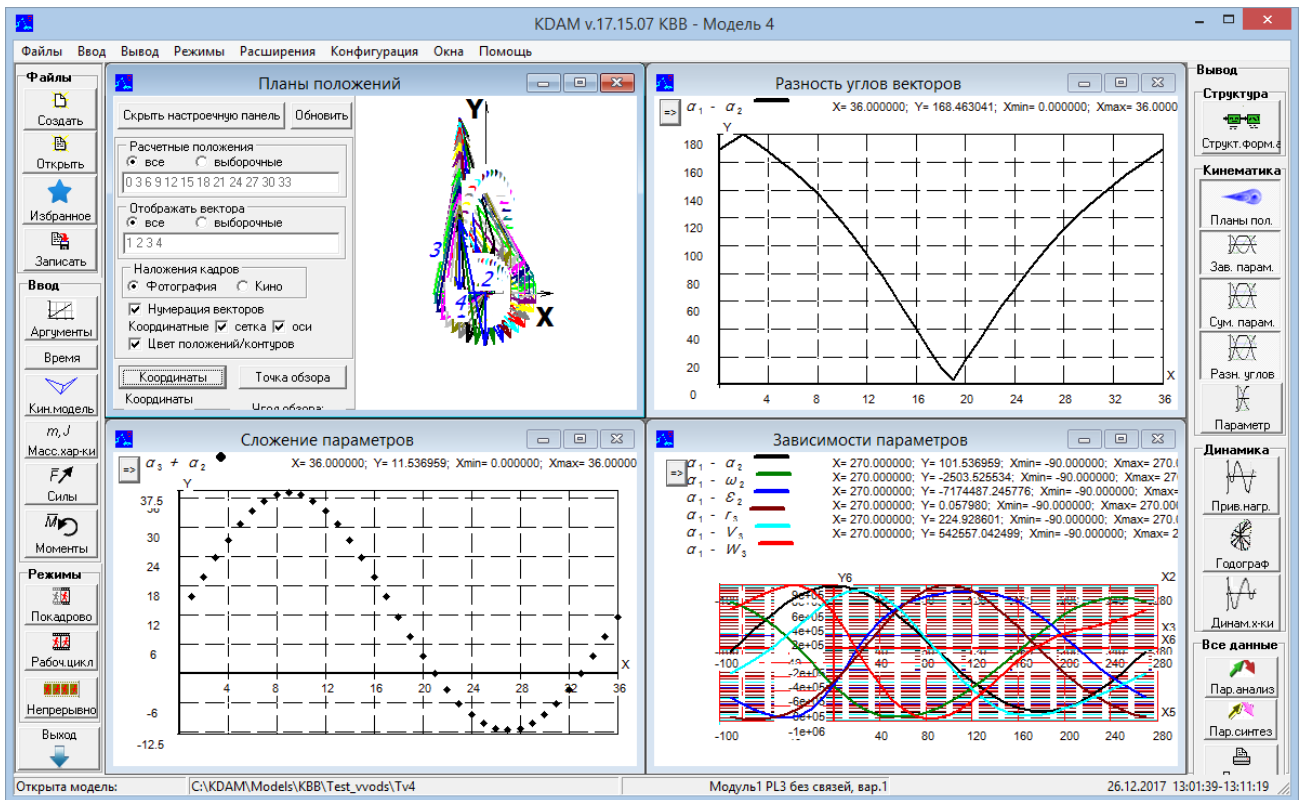


Рис. 3.40. Режим Паркет

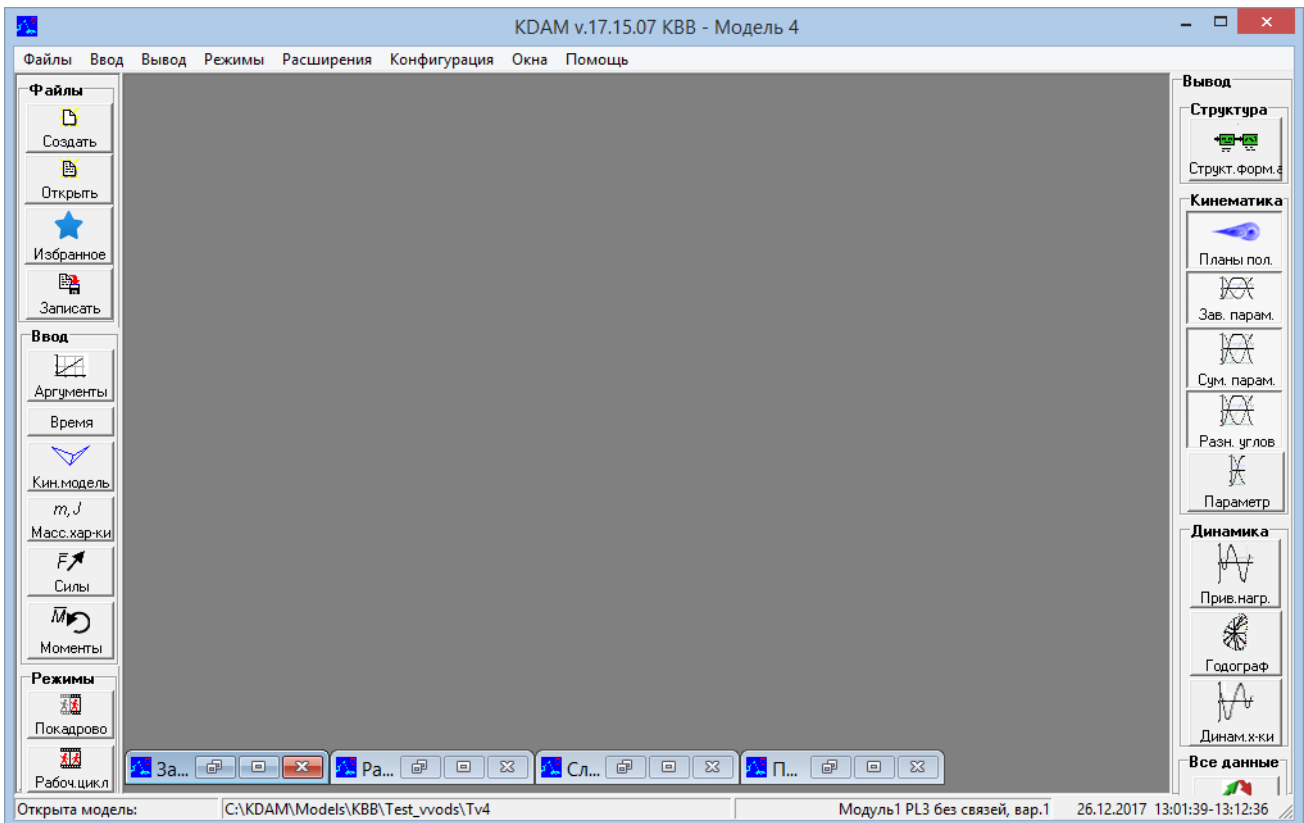


Рис. 3.41. Режим Минимизировать всё

3.1.8. Выпадающее меню Помощь

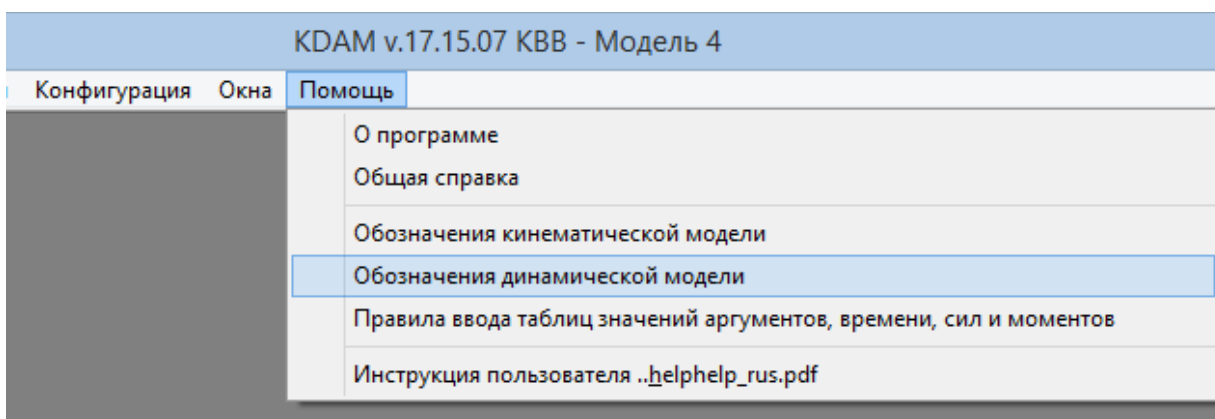


Рис. 3.42. Выпадающее меню Помощь

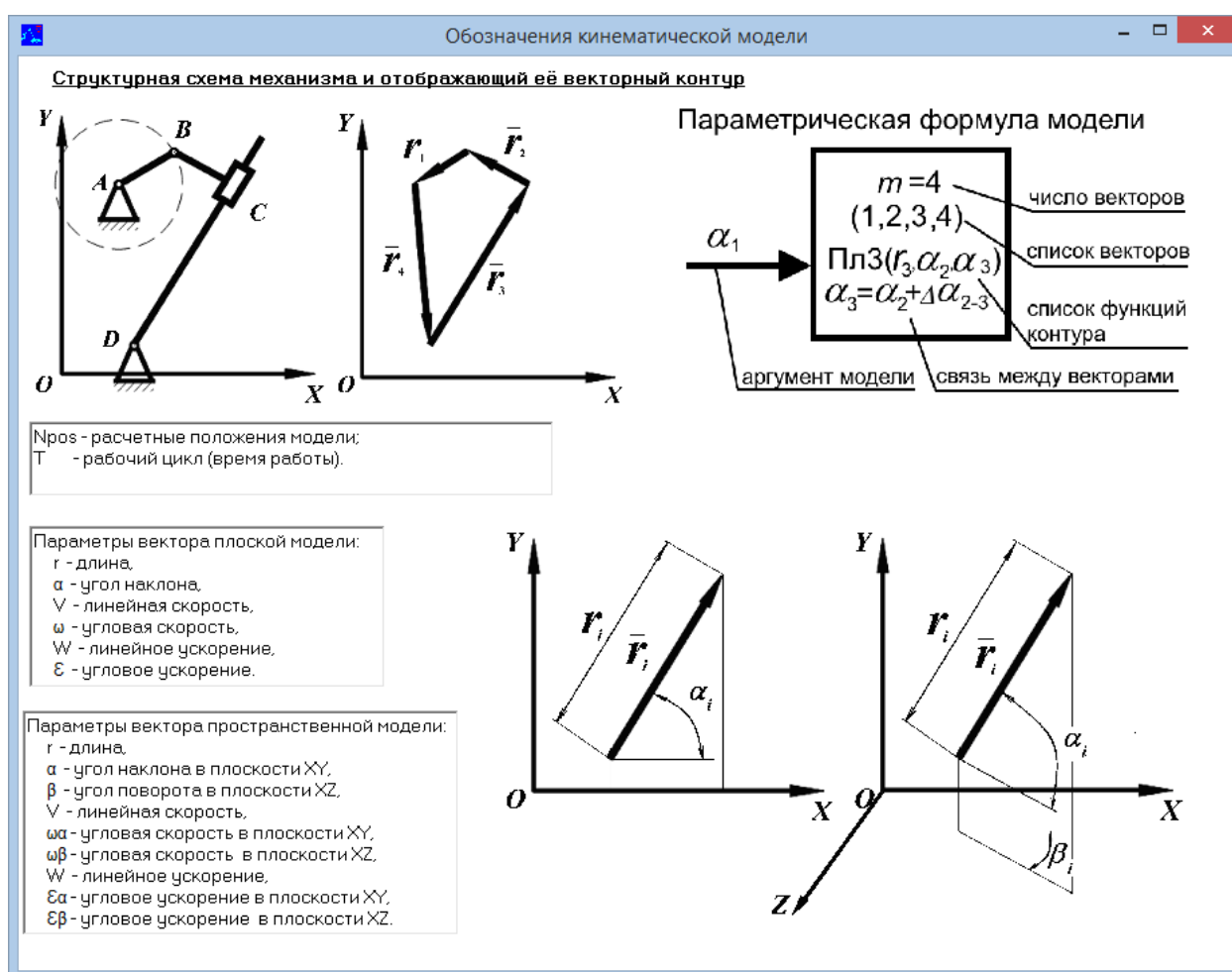


Рис. 3.43. Панель Обозначения кинематической панели

3.2. Боковые панели быстрого доступа (Ввод, Вывод) программы

Иконки панелей аналогичны главному и выпадающему меню, поэтому при нажатии на иконки, вызывается соответствующая панель, при отжатой иконке

панель закрывается. Кроме того, если нажать на заголовок соответствующего раздела боковой панели, производится свёртывание или развертывание данного раздела, в зависимости от состояния. Сами панели можно прятать, нажав мышкой на место в панелях не занятое иконками.

Также можно поменять изначальное положение панелей или зафиксировать их (см. **Конфигурация -> Параметры расчёта и отображения**).

4. ОГРАНИЧЕНИЯ, СВОБОДНОРАСПОСТРАНЯЕМОЙ ВЕРСИИ

"КДАМ"

Расчёт может производиться с использованием плоских модулей (Пл1-Пл4) и пространственных модулей Пр1-Пр6, Пр7-Пр13, Пр18, Пр19.

Количественные ограничения, не более:

- 200 расчётных положений,
- 20 аргументов модели,
- 50 контуров в модели,
- 501 вектор в модели,
- 20 векторов в контуре,
- 2 центра масс у вектора,
- 3 внешних силы,
- 3 внешних момента,
- 6 совмещённых графиков в панелях графиков.

5. ГОРЯЧИЕ КЛАВИШИ КДАМ (KEYBOARD SHORTCUTS)

В КДАМ «горячие» клавиши делятся на 4 группы, при работе с горячими клавишами, требуется переключиться на латинскую раскладку клавиатуры. (см. таблицу 5.1.)

Таблица 5.1.

Операции с пунктами меню для вызова панелей	
Создание новой модели	Ctrl + N
Открытие созданной модели	Ctrl + O
Сохранение текущей модели	Ctrl + S
Избранные модели	Ctrl + F
Печать	Ctrl + P
Выход	Alt+F4
Аргументы модели	Ctrl + 1
Время работы панели	Ctrl + 2
Кинематическая модель	Ctrl + 3
Массовые характеристики	Ctrl + 4
Ввод сил	Ctrl + 5
Ввод моментов	Ctrl + 6
Структура векторной модели	Ctrl + 7
Планы положений	Ctrl + 8
Зависимости параметров	Ctrl + 9
Сложение параметров	Ctrl + A
Разность углов векторов	Ctrl + B
Приращения параметра вектора, 1-я и 2-я производная	Ctrl + D
Приведен.нагрузки, инерц. и энерг.характеристики	Ctrl + G
Реакции в шарнирах	Ctrl + H
Расчет динамических параметров	Ctrl + K
Анализ параметров	Ctrl + L
Параметрический синтез	Ctrl + Z
Редактирование	
Вырезание выделенного объекта в буфер обмена	Ctrl + x
Копирование выделенного объекта в буфер обмена	Ctrl + c
Вставка объекта из буфера обмена	Ctrl + v
Отмена текущего действия	Esc
Редактирование в таблицах	
Вставка новой строки	Insert
Удаление выбранной строки;	Ctrl + Delete

Обновить график, отображающего таблицу	F5
Перебор символьный полей в таблицах графиков (также можно использовать левую кнопку мышки)	Пробел
Отмена текущего действия	Ctrl +Esc
Встроенный арифметический калькулятор в полях (на одно действие)	
Суммирование	X+Y
Вычитание	X-Y
Умножение	X*Y
Деление	X/Y
Возведение в степень	X^Y
Вычисление введенного арифметического действия	Eenter

Издательство АНО ВО Университета «МИР»

Адрес: 443030, Самара, ул. Желябова, 21

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Печать оперативная. Усл.печ.л. 6,25. Усл. изд. Л.26.

Отпечатано в ООО «КВАДРА»

Заказ № 282 от 17 июня 2017 г. Тираж 100 экз.

Адрес: 443023, Самара, Брусчатый переулок, 23