



**Программное обеспечение**  
**«Моделирование динамических систем»**

**Руководство пользователя**

**Листов 118**

Версия 008  
Москва 2024

## Содержание

1	Описание ПК МДС .....	6
1.1	Основные принципы математического моделирования ПК МДС.....	7
1.2	Подготовка исходных данных для моделирования .....	9
1.3	Методы используемые ПК МДС .....	12
1.4	Правила формирования эквивалентной схемы .....	15
1.5	Модели базовых двухполюсных элементов эквивалентной схемы.....	16
1.6	Модель функционального многополюсного элемента .....	17
1.7	Аналогии фазовых переменных и базовых двухполюсных элементов в различных физических подсистемах.....	18
1.8	Возможные ошибки и способы их устранения .....	19
1.9	Диагностические сообщения математических моделей .....	20
2	Особенности моделей различной физических систем и их применения .....	22
2.1	Механические системы.....	22
2.2	Гидравлические системы.....	22
2.3	Пневматические системы .....	22
2.4	Логические системы.....	23
3	Установка и запуск ПК МДС .....	24
3.1	Установка ПК МДС.....	24
3.2	Запуск ПК МДС и параметры конфигурации .....	24
3.3	Задание параметров конфигурации для апплетов .....	27
4	Схемный графический редактор ПК МДС .....	28
4.1	Описание пользовательского интерфейса .....	28
4.1.1	Окно графического редактора ПК МДС .....	28
4.1.2	Основные принципы моделирования.....	29
4.1.3	Курсоры и фокус ввода.....	31
4.1.4	Использование клавиатуры для перемещения дополнительного курсора	33
4.1.5	Контекстное меню.....	33
4.2	Последовательность операций формирования схемы.....	34

4.2.1	Добавление нового компонента в схему.....	35
4.2.2	Использование в качестве образца ранее установленного компонента....	37
4.2.3	Удаление компонента из схемы.....	37
4.2.4	Восстановление ошибочно удаленного компонента.....	38
4.2.5	Отсоединение компонента от схемы.....	38
4.2.6	Присоединение отсоединенного компонента .....	39
4.2.7	Перемещение компонента в другое место схемы.....	39
4.2.8	Копирование компонента.....	39
4.2.9	Альтернативные способы перемещения и копирования компонента .....	41
4.2.10	Трансформирование компонента .....	41
4.2.11	Добавление в схему связей между компонентами .....	43
4.3	Добавление базового узла .....	44
4.3.1	Удаление связей и базовых узлов.....	44
4.3.2	Соединение / разъединение связей в точке пересечения.....	45
4.4	Просмотр и корректировка атрибутов компонента.....	45
4.5	Просмотр и корректировка атрибутов компонента-образца .....	46
4.5.1	До выбора образца из базы.....	46
4.5.2	После выбора образца из базы.....	47
4.6	Выполнение задания на расчет .....	47
4.7	Команды главного меню и дополнительные функции.....	48
4.8	Краткая сводка команд клавиатуры .....	49
5	Атрибуты.....	51
5.1	Атрибуты элементов и источников сигналов.....	51
5.2	Атрибуты индикаторов.....	52
5.3	Атрибуты операторов .....	54
5.4	Атрибуты комментариев .....	55
5.5	Атрибуты переключателей.....	56
6	Аварийное копирование .....	57
7	Оптимизация в ПК МДС.....	58

7.1	Типовая последовательность действий при подготовке задания на оптимизацию.....	58
7.2	Выходные параметры .....	67
7.2.1	Окно свойств оператора Out .....	67
7.2.2	Синтаксис.....	68
7.3	Функции для расчета выходных параметров .....	70
7.3.1	Подпрограммы, определяющие значение аргумента расчета .....	70
7.3.2	Подпрограммы, определяющие значение расчетной переменной.....	72
7.3.3	Подпрограммы, вычисляющие интегральные значения расчетных переменных .....	72
7.3.4	Подпрограммы, вычисляющие отклонение двух расчетных переменных	73
7.3.5	Включение в ПК МДС новых функций расчета выходных параметров...	73
7.3.6	Функция поиска максимального значения переменной в заданном диапазоне аргумента .....	76
8	Библиотеки компонентов .....	77
8.1	Библиотека «Базовые компоненты».....	77
8.2	Библиотека «Дополнительные операторы».....	78
8.3	Библиотека «Функции» .....	79
8.4	Библиотека «Математика» .....	79
8.5	Библиотека «Логические Элементы».....	80
8.6	Библиотека «TAR» .....	80
8.7	Библиотека «Переключатели» .....	81
8.8	Библиотека «Оптимизация» .....	81
8.9	Библиотека «Механика» .....	82
8.10	Библиотека «2D-модели» .....	82
8.11	Библиотека «Теплофизика» .....	83
8.12	Библиотека «ElMash».....	83
8.13	Библиотека «Асинхронные двигатели» .....	84
8.14	Библиотека «Электроника».....	85
8.15	Библиотека «Гидравлика» .....	86

9	Задачи и примеры работы в ПК МДС .....	87
9.1	Моделирование маятника.....	87
9.2	Моделирование маятника при наличии трения в опоре. ....	96
9.3	Моделирование шарнирного четырехзвенного механизма .....	99
9.4	Исследование частотных характеристик объекта.....	111
9.4.1	Теоретическая часть.....	111
9.4.2	Расчет АЧХ линейной схемы.....	114
9.4.3	Расчет АЧХ нелинейной схемы.....	116
	Приложение 1. Описание компонентов ПК МДС.....	<b>Ошибк</b>
П.1	Простейшие динамические элементы.....	<b>Ошибк</b>
П.2	Элементы механических систем.....	<b>Ошибк</b>
П.3	Элементы гидравлических систем.....	<b>Ошибк</b>
П.4	Элементы пневматических систем .....	<b>Ошибк</b>
П.5	Элементы логических систем .....	<b>Ошибк</b>

## 1 Описание ПК МДС

Программный комплекс моделирования динамических систем ПК МДС является современным универсальным средством анализа технических систем путем математического моделирования и анализа их работы. Он позволяет определять процессы в проектируемых и потому физически еще не существующих устройствах и показатели их качества, оценивать проектируемые устройства на соответствие требованиям технического задания, улучшать показатели качества, осуществлять оптимизацию.

Программный комплекс позволяет анализировать устройства любой, в том числе и смешанной физической природы практически неограниченной сложности, если устройство может быть описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений. При этом пользователь избавляется от необходимости составления и решения систем уравнений, поскольку язык описания устройств максимально приближен к языку описания устройств, используемым проектировщиком.

Адаптированный к области машиностроения программный комплекс позволяет с высокой надежностью, достоверностью и малыми затратами времени рассчитывать детали машин, машины в целом на долговечность по условиям прочности; определять необходимую мощность двигателя привода, затраты энергии во всех элементах, работа которых связана с диссипацией энергии, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности двигателя переменного тока, статические и динамические нагрузки в различных системах, включая и статически неопределимые; рассчитывать профили кулачков в устройствах с приводом от кулачковых механизмов, определять точность механизмов.

Моделируемый объект задается графическим изображением эквивалентной схемы, которая представляет собой совокупность связанных между собой по определенным правилам элементов, являющихся математическими моделями компонентов анализируемой технической системы.

По графическому изображению эквивалентной схемы ПК МДС автоматически формирует математическую модель в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ), описывающей динамические процессы в исходной технической системе. Для интегрирования системы ДАУ в ПК МДС применяются неявные А-устойчивые методы интегрирования: метод Эйлера (1-го порядка точности) и метод трапеций (2-го порядка точности). Графический редактор обеспечивает весь необходимый набор функций для формирования эквивалентной схемы моделируемого технического объекта. Результаты моделирования отображаются в виде графиков зависимостей фазовых переменных моделируемого объекта от времени.

### **1.1 Основные принципы математического моделирования ПК МДС**

Целью моделирования технических объектов, в частности различных устройств, является их анализ путем воспроизведения происходящих в них процессов с последующей оценкой служебных свойств объекта и путей их улучшения. Такое воспроизведение процессов может быть осуществлено с помощью моделей.

Модель - это объект любой физической природы, который способен замещать другой объект таким образом, что его изучение дает информацию о свойствах замещающего объекта.

Объект математического моделирования должен быть описан в его математической модели с полнотой достаточной для того, чтобы задача моделирования была определенной. Качественная определенность задачи моделирования обеспечивается заданием структуры объекта. Структура объекта определяется наличием тех или иных структурных элементов объекта и связей между ними.

В данной версии программного комплекса МК МДС структурные элементы представлены в виде типовых конструктивных элементов машиностроительных объектов (см. Приложение 1). Для выявления структуры объекта моделирования необходимо выполнить его структурный анализ. При этом объект расчленяется на

элементы, с выявлением связей между ними. Для объектов механической природы каждая связь соответствует координате одно-, двух или трехмерного пространства, по которой взаимодействуют элементы.

Структура объекта находит свое отражение в топологическом представлении объекта или просто - топологии. Топология объекта - это совокупность графических образов математических моделей (ММ), соединенных друг с другом с помощью связей.

Для обеспечения простоты и оперативности синтеза ММ при высокой сложности объектов моделирования их разбивают на типовые элементы и для каждого элемента создают ММ. В этом случае ММ объекта может быть синтезирована (собрана) из ММ элементов. С точки зрения разработчика, ММ элемента представляет собой систему уравнений, описывающую существенные свойства элемента. Достаточность полноты и глубины описания существенных свойств элемента в его ММ является необходимым условием достаточности полноты и глубины отражения свойств объекта в его математической модели. С точки зрения пользователя, ММ элемента представляет собой определенность, характеризующаяся: именем модели, полюсами, являющимися средством осуществления связей между элементами, параметрами модели, совокупностью свойств элемента, воспроизводимых его моделью.

Каждая модель имеет, как правило, два имени. Первое имя представляет собой содержательную последовательность символов латинского алфавита (например «Mufta») и предназначено для упоминания в текстовых документах. Другое имя представляет собой графический образ элемента, представленного в модели. С его помощью осуществляется вызов модели из библиотеки математических моделей элементов для использования при моделировании. На графических образах указаны полюса. Каждый полюс соответствует какой-либо одной координате, часто в геометрическом смысле, по которой элемент взаимодействует с другими элементами. Таким образом, в общем случае каждая модель является многополюсником. Положение полюсов, соответствующих



каждой координате строго фиксированы, что следует учитывать при разработке математической модели объекта.

Соединение полюсов моделей образуют узлы топологии. Узел топологии соответствует той же координате пространства, что и координаты полюсов моделей, подключенных к узлу.

Количественная определенность задачи моделирования обеспечивается указанием значений параметров моделей. Число параметров моделей фиксировано и не может изменяться пользователем.

Высокая верность воспроизведения процессов может иметь место лишь при адекватности модели объекту, т.е. при отображении моделью существенных его свойств. Такое отображение является главным требованием к моделям. Другие требования, предъявляемые к моделям, - простота синтеза, достаточность объема получаемой при моделировании информации и невысокие затраты при их разработке реализации.

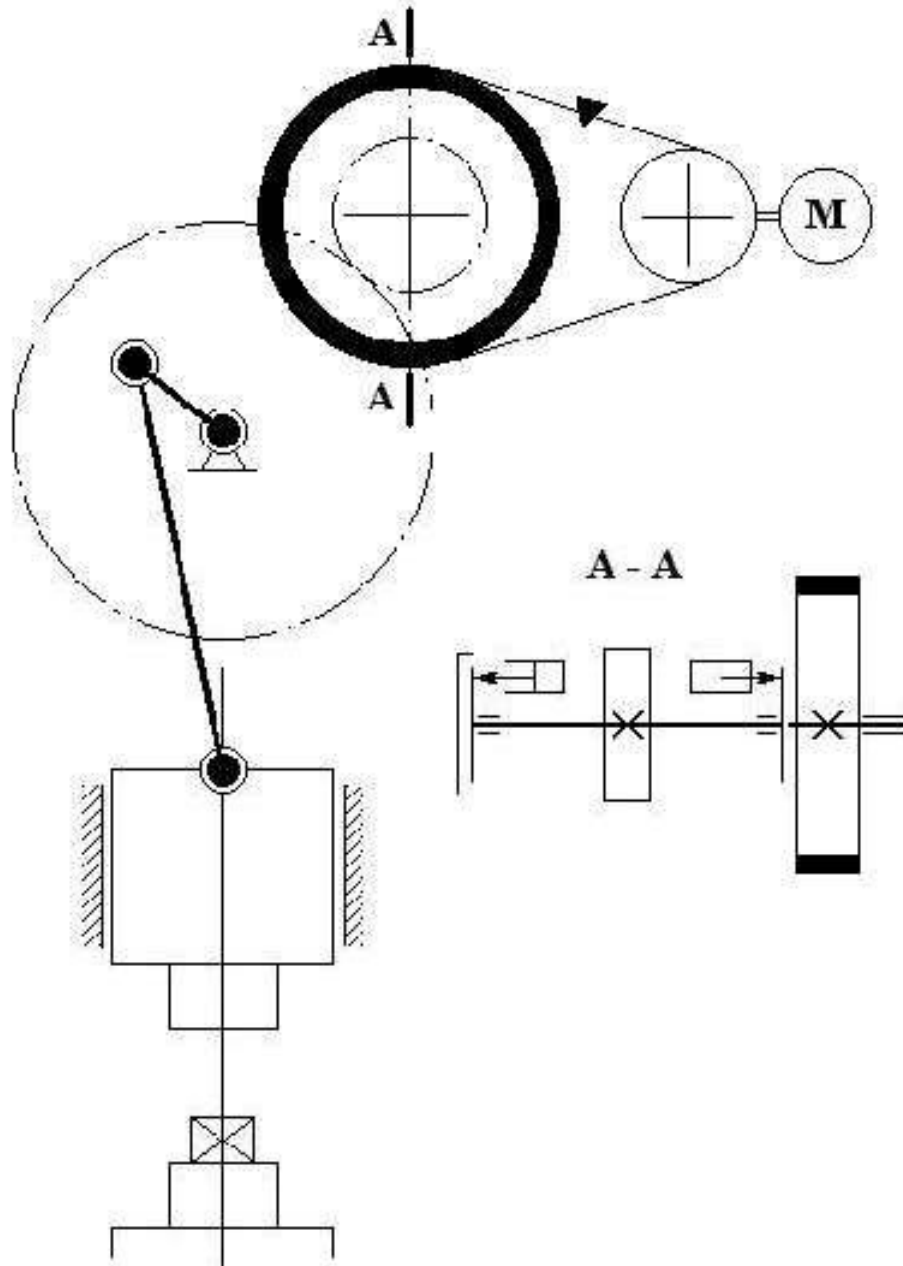
Наиболее полно указанным требованиям удовлетворяют ММ, которые представляют собой совокупность математических объектов, связанных отношений и действий над ними. Чаще всего ММ представляют собой системы дифференциальных уравнений.

Преимущества ММ перед физическими, в частности перед натурными моделями: практически неограниченная возможность их развития за счет глубины и полноты воспроизведения свойств объекта, простота и оперативность синтеза, гибкость модификации, относительно небольшие затраты при моделировании. В дальнейшем здесь под моделью будет всегда пониматься математическая модель.

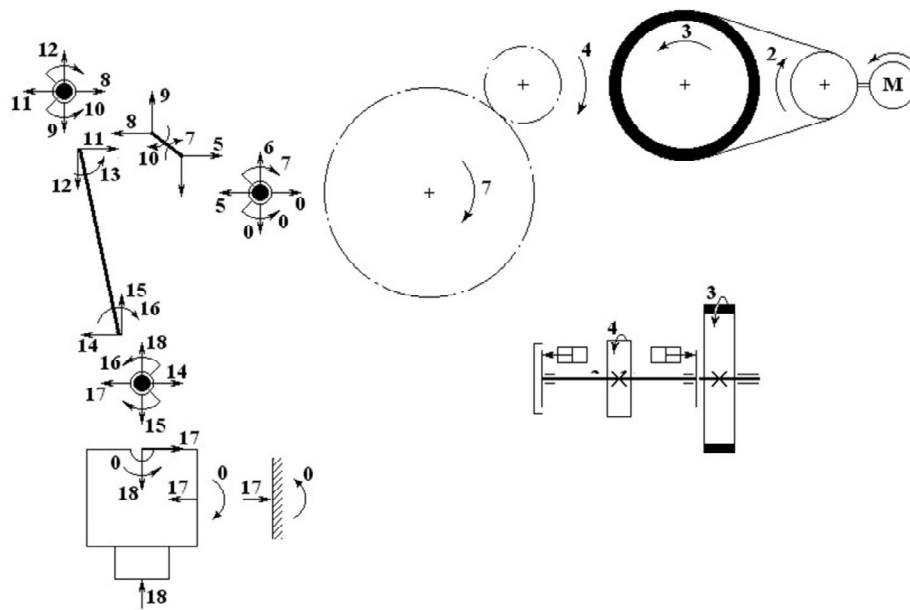
## **1.2 Подготовка исходных данных для моделирования**

Объект моделирования в соответствии с его физической природой представляют в виде кинематической, электрической, гидравлической, пневматической, логической схем или их совокупности. В качестве примера на рис. 1.1 показана кинематическая схема кривошипного пресса. Затем объект расчленяют на элементы с учетом наличия соответствующих математических

моделей в библиотеке моделей элементов. При расчленении выявляют число и характер функциональных связей между элементами. На рис. 1.2 показан пример расчленения того же пресса на элементы. Функциональные связи, представляющие собой в данном случае координаты двухмерного геометрического пространства, пронумерованы.

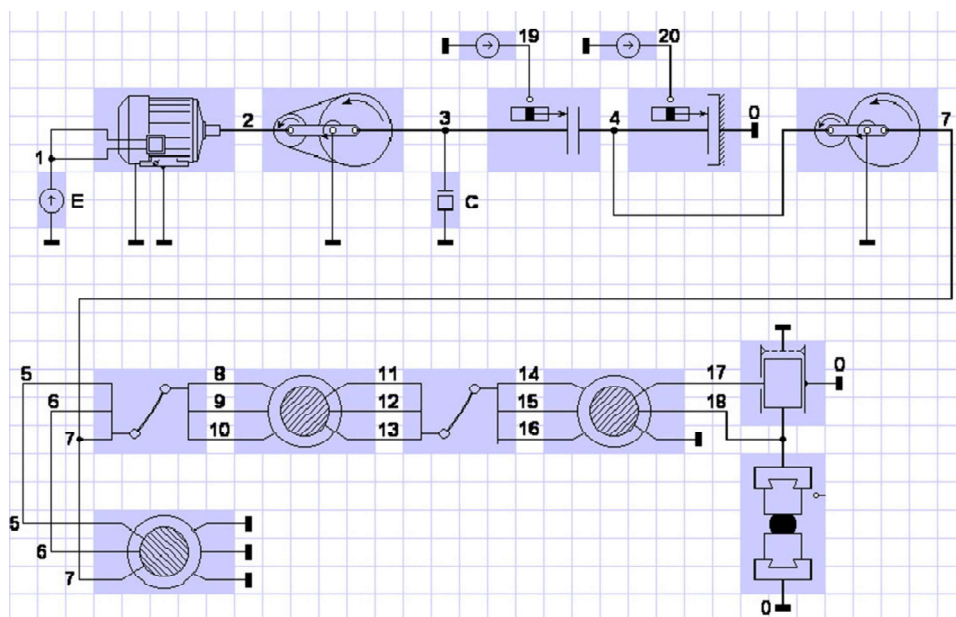


*Рисунок 1.1 Кинематическая схема кривошипного пресса.*



*Рисунок 1.2* Пример расчленения кривошипного пресса на элементы

Далее структуру объекта представляют в виде так называемой топологии, т.е. схемы, содержащей условные обозначения элементов и их связи. Связи создаются соединением полюсов моделей, образующих узлы топологии. Каждая связь соответствует координате, по которой элементы взаимодействуют между собой. Пример топологии кривошипного пресса показан на рис. 1.3. Узлы топологии на рис. 1.3 и соответствующие им связи на рис. 1.2 имеют одинаковые номера.



*Рисунок 1.3* Топология кривошипного пресса

Структурная определенность модели объекта дополняется ее количественной определенностью путем введения параметров моделей элементов. Параметры должны быть заданы в согласованной системе единиц, например, СИ, за исключением случаев, оговоренных особо. Если структура объекта и его количественные характеристики правильно и полно представлены в модели, то процессы, получаемые в моделировании, будут соответствовать процессам, протекающим в объекте. В этом случае модель считается адекватной объекту. Топология и параметры моделей образуют исходное описание объекта. Оно выполняется на языке описания объекта (ЯОО) программного комплекса ПК МДС. Кроме описания объекта необходимо составить задание на расчет, выполняемое на языке описания задания (ЯОЗ). Описание задания на расчет содержит выбранный метод интегрирования, время интегрирования, максимальный, минимальный и стартовый шаг интегрирования, точность интегрирования и некоторые другие параметры. Описание объекта и описание задания на расчет создаются с помощью графического редактора.

Программный комплекс преобразует исходное описание объекта в систему дифференциальных уравнений и решает его. Результаты моделирования получаются в виде графиков и таблиц. Порядок системы уравнений, создаваемой комплексом в зависимости от сложности объекта может достигать сотен и тысяч.

### **1.3 Методы, используемые ПК МДС**

Для формирования математической модели объекта используется метод узловых потенциалов. В каждый момент процесса интегрирования состояние каждого полюса каждой модели определяется фазовой переменной типа потока.

**Состояние каждой ветви определяется фазовой переменной типа потока.**

Фазовой переменной типа потока называется переменная, для которой справедлив первый электрический закон Кирхгофа, или его аналог в системе иной физической природы. Для случая систем электрической природы фазовая переменная типа потока представляет собой электрический ток. В таблице 1.1 указаны фазовые переменные типа «потока» для систем различной физической

природы. Аналогом второго электрического закона Кирхгофа в механических системах является закон сложения скоростей, согласно которому в любой системе тел сумма разностей скоростей между любыми двумя телами равна нулю, если при переходах от одного тела к другому мы возвращаемся к исходному телу. При названном методе формирования математических моделей определяемыми на каждом шаге интегрирования являются узловые потенциалы.

*Таблица 1.1 Фазовые переменные типа потока и типа потенциала для систем различной физической природы*

Физическая природа системы	Фазовые переменные	
	Типа «потока»	Типа «потенциала»
Электрическая	Ток	Напряжение
Механическая	Сила, момент сил	Скорость, угловая скорость
Гидравлическая, пневматическая	Объемный расход, производительность	Давление
Тепловая	Тепловой поток	Температура

Определение узловых потенциалов осуществляется из условия равенства нулю так называемой невязки для каждого узла топологии. Невязка равна сумме фазовых переменных типа потока во всех полюсах моделей, соединение которых образовало узел топологии. Равенство нулю невязки является выражением первого электрического закона Кирхгофа или его аналога в системе иной физической природы. В механических системах равенство нулю невязки является выражением условия равновесия сил взаимодействия элементов. В гидравлических и пневматических системах – условия неразрывности среды.

Интегрирование системы уравнений осуществляется либо неявным методом Эйлера первого порядка, либо методом трапеций – методом второго порядка.

При моделировании линейных систем каждый шаг интегрирования осуществляется за одну итерацию. Для нелинейных систем определение узловых

потенциалов на каждом шаге интегрирования может быть выполнено только в нескольких итерациях. При этом последовательное уменьшение невязки до нуля осуществляется методом Ньютона.

Интегрирование системы дифференциальных уравнений осуществляется путем его алгебраизации. В этом случае на каждой ньютоновской итерации решается соответствующая система линейных алгебраических уравнений (ЛАУ). Решение системы ЛАУ выполняется методом Гаусса.

Условие равенства нулю невязки при численных методах может быть выполнено только приближенно. Поэтому в качестве параметра, управляющего ходом вычислительного процесса, в описании задания на расчет должна быть указана норма невязки – допустимая невязка, по достижении которой процесс итераций заканчивается, и шаг интегрирования считается состоявшимся. Таким образом, норма невязки определяет точность расчета фазовых переменных типа потока в полюсах моделей и должна назначаться с учетом порядка значений фазовых переменных типа потока. Чрезмерное ужесточение нормы невязки увеличивает время интегрирования и может привести к невозможности его выполнения. Порядок значений фазовых переменных типа потока может быть оценен в первых попытках интегрирования или по значениям параметров моделей, определяющих фазовые переменные типа потока.

Можно рекомендовать выбирать норму невязки 0,01 - 0,05 от максимальных значений фазовой переменной типа потока. Окончательное решение вопроса о назначении нормы невязки остается за пользователем.

Другими параметрами, определяющим точность интегрирования являются норма приращений и точность интегрирования. Под приращениями подразумевается изменение фазовой переменной типа потенциала на одной итерации. Как и норма невязки, норма приращений используется для решения вопроса о прекращении итераций. Ее следует, как и норму невязки, назначать в зависимости от ожидаемых значений фазовых переменных потенциала. Можно воспользоваться имеющейся в комплексе возможностью указывать в качестве нормы приращений, как относительные значения приращений, так и абсолютные.

Норму относительных приращений и точность интегрирования рекомендуется выбирать также в пределах 0,01 - 0,05. Окончательное решение вопроса о назначении нормы приращений и точности остается за пользователем.

Непосредственным результатом интегрирования являются массивы значений фазовых переменных типа потока и типа потенциала. Однако пользователя могут интересовать переменные, которые по своей природе не являются фазовыми переменными, например, мощность, работа, КПД, напряжения в деталях, долговечность и др. Эти переменные, как правило, являются функциями фазовых переменных, вычисляются через них в математических моделях элементов и получили название расчетных переменных.

Непосредственным результатом интегрирования являются массивы значений фазовых переменных типа потока во всех полюсах всех моделей и типа потенциала во всех узлах топологии модели. Все полученные фазовые переменные могут быть визуализированы в виде графиков. Для визуализации выбранных для этого фазовых переменных используются индикаторы различных типов. Для визуализации расчетных переменных используются универсальные индикаторы.

#### **1.4 Правила формирования эквивалентной схемы**

Состояние эквивалентной схемы в любой момент времени характеризуется формальными безразмерными переменными двух типов: переменные типа «потока» и переменные типа «потенциала».

а) «Потоки» через внешние узлы элементов эквивалентной схемы:  $I_n(t)$ , где  $n$  - порядковый номер внешнего вывода элемента,  $t$  - модельное время. Этому типу переменных соответствует первое фундаментальное уравнение связей элементов эквивалентной схемы: уравнение равновесия «потоков» в узлах – алгебраическая сумма «потоков», втекающих в любой узел схемы равна нулю.

б) «**Потенциалы**» узлов эквивалентной схемы относительно заранее выбранного базового узла (системы отсчета):  $F_i(t)$ , или «**разности**

**потенциалов»:**  $U_{ij}(t) = F_i(t) - F_j(t)$  между двумя узлами эквивалентной схемы с номерами  $i$  и  $j$ . Этому типу переменных соответствует второе фундаментальное уравнение связей элементов эквивалентной схемы: уравнение совместимости «разностей потенциалов» для любого замкнутого контура – алгебраическая сумма «разностей потенциалов» по любому замкнутому контуру схемы равна нулю.

Эквивалентная схема составляется из пяти базовых двухполюсных элементов (двухполюсников).

### 1.5 Модели базовых двухполюсных элементов эквивалентной схемы

Обозначим номера узлов подключения некоторого двухполюсного элемента через 1 и 2; поток, втекающий в первый узел двухполюсника через  $I_{\varnothing}$  ( $I_{\varnothing} = I_1 = I_2$  - тип элемента); разность потенциалов узлов, к которым он подключен, через  $U_{\varnothing}$  ( $U_{\varnothing} = U_{12} = U_{21}$ ).

Элемент «источник потока» описывается алгебраическим уравнением:

$$I_I = I(V, t).$$

Элемент «источник разности потенциалов» описывается алгебраическим уравнением:

$$U_E = E(V, t).$$

Элемент «емкость» описывается дифференциальным уравнением:

$$I_C = C(V, t) \cdot \frac{dU_C}{dt}.$$

Элемент «индуктивность» описывается дифференциальным уравнением:

$$U_L = L(V, t) \cdot \frac{dI_L}{dt}.$$

Элемент «проводимость» описывается алгебраическим уравнением:

$$I_G = G(V, t) \cdot U_G.$$

**Примечание** - иногда вместо элемента «проводимость» удобнее использовать элемент «сопротивление», уравнение для которого записывается в следующем виде:



$$U_R = R(V, t) \cdot I_R.$$

В этих уравнениях  $I(V, t)$ ,  $U(V, t)$ ,  $C(V, t)$ ,  $L(V, t)$ ,  $G(V, t)$ ,  $R(V, t)$  это некоторые аналитические функции, задающие значения соответствующих коэффициентов уравнений,  $t$  - модельное время,  $V$  - вектор фазовых переменных схемы, включающий в общем случае потенциалы всех узлов эквивалентной схемы, кроме базового, и потоки через все двухполюсные элементы, входящие в эквивалентную схему.

Полная математическая модель эквивалентной схемы состоящей из  $n$  базовых двухполюсных элементов, соединенных между собой в  $m$  узлах, будет содержать  $n$  компонентных уравнений элементов схемы, дополненных  $(m-1)$  топологическими уравнениями (один из узлов всегда принимается в качестве базового, т.е. системы отсчета). В результате этого будет получена замкнутая система ДАУ:

$$H\left(\frac{dV}{dt}, V, t\right) = 0, \quad (1.1)$$

где  $H$  - сформированная вектор-функция, размерность которой равна размерности вектора  $V$ .

Таким образом, с помощью базовых двухполюсных элементов можно получить модель любой технической системы (электрической, механической, гидравлической, тепловой и т.п.), динамика которой описывается системой дифференциально-алгебраических уравнений типа (1.1).

### 1.6 Модель функционального многополюсного элемента

Для реализации возможности многоуровневого моделирования сложных технических систем в составе комплекса ПК МДС помимо базовых двухполюсников имеется большое число функциональных многополюсников. Они заменяют собой фрагменты эквивалентной схемы и могут включать в себя как базовые двухполюсники, так и другие, более простые многополюсники. Система ДАУ, описывающая такой многополюсник не является замкнутой,

поскольку в ней отсутствуют топологические уравнения для внешних узлов. При включении такого многополюсника в эквивалентную схему система уравнений схемы дополняется уравнениями равновесия «потоков» в узлах соединения многополюсника с другими элементами эквивалентной схемы, в результате система ДАУ для всей схемы получается замкнутой.

Следует добавить, что модели функциональных многополюсников, в отличие от базовых двухполюсников, как правило, специфичны для конкретной физической подсистемы.

### **1.7 Аналогии фазовых переменных и базовых двухполюсных элементов в различных физических подсистемах**

*Таблица 1.2 Аналогии между фазовыми переменными для различных физических подсистем*

<b>Подсистема</b>	<b>Поток</b>	<b>Потенциал</b>	<b>Базовый узел</b>
Электрическая	Ток	Электрический потенциал	Шина «земля»
Механическая поступательная	Сила	Скорость	Неподвижная система отсчета
Механическая вращательная	Момент силы	Угловая скорость	Неподвижная система отсчета
Гидравлическая (пневматическая)	Расход	Давление	Атмосфера или абсолютный вакуум
Тепловая	Тепловой поток	Температура	Окружающая среда или абсолютный нуль

*Таблица 1.3 Аналогии базовых двухполюсников для различных физических подсистем.*

Подсистема	Двухполюсники			
	Типа С	Типа L	Типа G	Типа R
Электрическая	Емкость	Индуктивность	проводимость	Сопротивление
Механическая поступательная	Масса	Упругость	Вязкое трение	-
Механическая вращательная	Момент инерции	Вращательная гибкость	Вязкое трение вращения	-
Гидравлическая (пневматическая)	Гидравлическая емкость	Гидравлическая индуктивность	-	Гидравлическое сопротивление
Тепловая	Теплоемкость	-	Теплопроводность	-

### 1.8 Возможные ошибки и способы их устранения

1. Остановлено из-за контроля невязок:
  - увеличить значение нормы невязки  $Dl_i$ ,
  - уменьшить значение минимального шага интегрирования  $S_{mn}$ ,
  - убедиться в отсутствии ошибок в топологии модели,
  - убедиться в отсутствии ошибок при введении параметров,
  - обратиться к разработчику.
2. Остановлено из-за контроля приращений:
  - перейти от задания нормы приращений в абсолютных единицах к заданию нормы приращений в относительных единицах,
  - увеличить значение нормы приращений  $Dl_u$ ,
  - уменьшить значение минимального шага интегрирования  $S_{mn}$ ,
  - убедиться в отсутствии ошибок в топологии модели,

- убедиться в отсутствии ошибок при введении параметров,
- обратиться к разработчику.

3. Остановлено из-за контроля точности:

- увеличить значение нормы точности  $\text{Arg}$ ,
- уменьшить значение минимального шага интегрирования  $\text{Smn}$ ,
- убедиться в отсутствии ошибок в топологии модели,
- убедиться в отсутствии ошибок при введении параметров,
- обратиться к разработчику.

4. Остановлено из-за арифметической ошибки (с указанием узла):

- если к указанному узлу подключена модель источника фазовой переменной типа потенциала (источника скорости, давления, электрического напряжения) ввести в модели ненулевое значение параметра «Внутреннее сопротивление»  $R_i$ .

- обратиться к разработчику.

5. Нулевой элемент на главной диагонали матрицы:

- в моделях элементов проверить отсутствие нулевых значений параметров масс, моментов инерции, объема; при обнаружении таковых ввести их ненулевые значения.

При получении одного из приведенных сообщений, следует щелкнуть по полю  $T = \dots$  (при этом в поле появляется «Статистика») и в открывшемся окне обратить внимание на причины наибольшего числа «отброшенных» шагов (итераций) интегрирования. Следует иметь в виду, что если отсутствуют «отброшенные» по какой-либо причине шаги (контроль невязок, контроль приращений, контроль точности), то это свидетельствует о неоправданной завышенной соответствующей норме.

### **1.9 Диагностические сообщения математических моделей**

Диагностические сообщения моделей могут быть связаны с ошибками, допущенными пользователем, или возникновением ситуации при моделировании, о которой пользователя необходимо известить. Сообщения, вызванные

причинами, при которых продолжение моделирования невозможно, появляются в самостоятельно открывающемся окне «Недопустимая конфигурация системы». При этом вычислительный процесс останавливается. Сообщения, при которых возможно продолжение моделирования, появляются в окне «JAVA», которое пользователю следует активизировать самостоятельно.

## **2 Особенности моделей различной физических систем и их применения**

### **2.1 Механические системы**

Фазовые переменные для линейных координат – сила [Н], скорость [м/с], для угловых координат – момент сил [Нм], угловая скорость [1/с]. Каждый элемент может рассматриваться в локальной системе координат. Положительные направления ее осей должны совпадать с положительными направлениями системы координат объекта моделирования, принимаемой в качестве глобальной.

Система координат двумерных элементов – правосторонняя. Любая пара осей системы координат трехмерных элементов образуют также правостороннюю систему координат, если смотреть со стороны положительного направления третьей оси.

Началом отсчета углов в такой системе принята горизонтальная ось; положительное направление отсчета углов, а также угловых скоростей, крутящих и изгибающих моментов – против часовой стрелки. В этом же направлении проводят при необходимости счет самих осей. Любая ось системы координат может быть принята вертикальной, т.е. осью, вдоль которой действует сила тяжести. В описании моделей в качестве такой оси принята ось ОУ.

### **2.2 Гидравлические системы**

Фазовые переменные – объемный расход [м<sup>3</sup>/с], давление (избыточное, [Мпа]).

### **2.3 Пневматические системы**

Каждое соединение элементов в пневматических системах представлено двумя связями: «гидравлической» и «тепловой». Фазовые переменные для «гидравлических» связей – объемный расход [м<sup>3</sup>/с], давление (избыточное, [Мпа]), для «тепловых» связей – тепловой поток [Дж/с], температура [°С].

В случае если выход пневматического элемента имеет место в атмосферу, он должен быть реализован с помощью модели «Источник рабочего тела пневматических систем» RTPN с указанием параметра «Р – давление рабочего тела, МПа» равного 0. Параметр «Т – температура рабочего тела, °С» следует назначать равным температуре окружающей среды. В моделях пневматических систем и в моделях, содержащих пневматические подсистемы, норму абсолютных приращений  $Dlu$  следует назначать не более 0,01. Предпочтительнее назначать норму относительных приращений в пределах 0.0001 - 0.01, открыв при этом окно параметра  $Mvu$  и назначив его равным 0.01.

#### **2.4 Логические системы**

В моделях логических систем и в моделях, содержащих логические подсистемы норму как абсолютных, так и относительных приращений  $Dlu$ , следует назначать не больше 0.1.

## **3 Установка и запуск ПК МДС**

### **3.1 Установка ПК МДС**

ПК МДС может функционировать на любой платформе Windows, Linux, MacOS и д. р., для которой имеется среда Java.

ПК МДС может использоваться как самостоятельное приложение, так и в виде апплета в среде HTML-браузера. На апплеты налагаются некоторые ограничения, однако основные операции редактирования и моделирования в обоих вариантах совпадают.

Для работы ПК МДС требуется установить JDK или JRE версии **1.19** или более поздней.

Для установки ПК МДС необходимо распаковать архив, содержащий файлы программы в любую директорию, название которой должно быть написана латиницей, не содержать пробелов или специальных символов.

### **3.2 Запуск ПК МДС и параметры конфигурации**

Запуск ПК МДС осуществляется стартовым файлом SDS.bat. В этом же файле находятся и параметры конфигурации ПК МДС.

Строки, задающие параметры конфигурации, начинаются с комбинации символов <+>, все остальные строки в файле пропускаются (в том числе и команды ОС, если стартовый файл и файл конфигурации объединены). Строки с параметрами конфигурации не должны переноситься.

Ниже приведен типовой вид файла запуска/конфигурации ПК МДС для ОС Windows. Все приведенные в нем значения параметров конфигурации являются их значениями по умолчанию.



*get Установка переменных окружения для Java*

**set CLASSPATH=.;SDS.jar**

**set JAVA\_COMPILER=symcjit**

*get Запуск интерпретатора Java*

*get Опцией -c задается файл конфигурации, аргументом без опции - загружаемый файл*

**C:\jdk1.1.5\bin\java SDS -c=SDS.bat %1.SDS**

**goto end**

*get Параметры конфигурации:*

*get Домашний каталог ПК МДС (абсолютный или относительный путь)*

**<+> HomeDirectory=.**

*get Каталог файлов с примерами схем (относительно HomeDirectory)*

**<+> SourceDirectory=Examples/**

*get Начальное положение и размеры окна поля схемы в pix Хлев.вер.,Улев.вер.,W,H*

**<+> MainWindow.Bounds=10,10,750,480**

*get Количество ячеек поля схемы по горизонтали и вертикали и их размер в pix*

**<+> MainWindow.Spots=80,80,24**

*get Цвета окна поля схемы в формате RRGGBB*

*get Фон окна, фон присоед.эл-тов(2), фон отсоед.эл-тов(2), курсор, рамка отс.эл-тов(2)*

**<+>**

**MainWindow.Colors=FFFFFFA,F4F4FA,FFE6E6,FCFFF5,FFF5F5,FF0000,000000**

**,A0A0A0**

*get Имя файла аварийной копии*

**<+> Flush.File=SDS.flush**

*get Промежуток времени для аварийного копирования в сек.*

**<+> Flush.Rate=20**

*get Каталог, где находятся файлы образцов компонентов (относительно HomeDirectory)*

**<+> SampleDirectory=Samples/**

*get Используемые файлы образцов компонентов*

**<+> SampleFiles=Common,Signal,Electro,Mechan,Hydro,Termo,Math**

*get Начальное положение и размеры окна образцов в рix X лев.вер.,Y лев.вер., W - ширина, H - высота*

**<+> SampleWindow.Bounds=15,15,600,450**

*get Размер ячейки окна образцов*

**<+> SampleWindow.Spots=24**

*get Цвета окна образцов (в том же порядке, что и для окна схемы)*

**<+>**

**SampleWindow.Colors=FFFFFF,FFFFFF,FFFFFF,FCFFF5,FFF5F5,FF0000,0000  
00,FFFFFF**

*get Префикс файлов свопинга результатов*

**<+> Buffer.Prefix=./**

*get Размеры буфера результатов в памяти Общ. размер в Mb и размер блока в Kb*

**<+> Buffer.Size=8,512**

*get Язык пользовательского интерфейса*

**<+> Language=English**

*get Цвета связей*

**<+> Color.Wire=000000**

*get Цвета меток*

**<+> Color.Label=0090FF**

*get Цвета элементов различных физических подсистем*

**<+> Color.Signal=000000**

**<+> Color.Electro=969600**

**<+> Color.Mechan=828282**

**<+> Color.Hydro=00AAAA**

**<+> Color.Termo=AA0000**

*get Шрифт меток*

**<+> Font.Label=SansSerif-plain-11**

*get Шрифты, используемые в графических изображениях компонентов*

**<+> Font.Operator=Dialog-italic-12**

**<+> Font.Element=Dialog-plain-12**

**<+> Font.ElementSmall=SansSerif-plain-9**

**:end**

*get Отмена значений переменных среды*

**set CLASSPATH=**

### **3.3 Задание параметров конфигурации для апплетов**

Для апплетов используются те же параметры конфигурации, что и для отдельного приложения (кроме параметров HomeDirectory, SourceDirectory, MainWindowBounds, Flush.\*, Buffer.\*).

Дополнительно используется параметр SourceFile, задающий файл загружаемой в апплет схемы. Значения параметров, отличные от значений по умолчанию задаются в разделах PARAM тега <APPLET>. Пример:

```
<APPLET ARCHIVE = "SDSApp.jar" CODE="AppletSDS" WIDTH=700  
HEIGHT=410>
```

```
<PARAM NAME="SourceFile" VALUE="ESL.SDS">
```

```
<PARAM NAME="MainWindowSpots" VALUE="20,20,32">
```

```
<PARAM NAME="SampleFiles" VALUE="Common,Signal,Electro">
```

```
</APPLET>
```



#### 4.1.2 Основные принципы моделирования

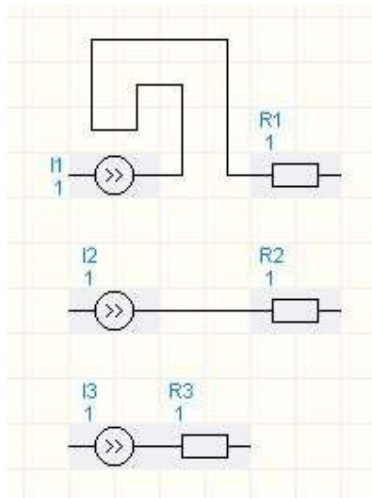
Для моделирования схемы, помимо ее графического изображения, необходима еще и некоторая дополнительная информация, например, информация о том, какие переменные должны выводиться на графики, или какие процедуры и математические методы моделирования следует использовать. Поэтому графическое изображение схемы несколько отличается от стандартных чертежей принципиальных и функциональных схем. На рис. 4.1 показаны основные составные части схемы.

**Элементы:** Наиболее значимые составные части схемы - элементы моделируемого технического объекта. Графические изображения элементов всегда занимают прямоугольную область, ширина и высота которой кратны размеру ячейки сетки. Внешние выводы элементов всегда располагаются по периметру этой области и обязательно по середине стороны квадрата ячейки. Каждому элементу, включенному в библиотеку ПК МДС соответствует математическая модель (или несколько моделей), для которой необходимо задать определенный набор параметров. Для моделирования не важно, в каком месте поля схемы расположен элемент, важна лишь взаимосвязь элементов между собой, а также численные значения их параметров.

**Источники сигналов:** Для задания внешних входных воздействий на моделируемый объект используются источники сигналов.

**Связи:** Для указания того, как элементы технического объекта связаны между собой используются связи. Конфигурация связи не оказывает влияния на моделирование схемы, более того, связь можно вообще не использовать, если поля элементов расположить вплотную друг к другу. На рис. 4.2 все три фрагмента схемы полностью идентичны. Связи всегда проходят через центры ячеек.

**Базовые узлы:** Для указания того, что элемент соединен с системой отсчета (шина «земля» в электронике, неподвижная система координат в механике, атмосфера в гидравлике и т.д.) используются базовые узлы.



*Рисунок 4.2 Визуализация связей технических объектов*

**Метки:** Для идентификации каждого элемента в схеме используются метки. Для моделирования не имеет значения ни местоположение метки, ни ее текст. В графическом редакторе ПК МДС не предусмотрено специальных операций для манипуляции с метками - все действия с метками выполняются автоматически. Так, например, если Вы затрете метку связью или другим элементом, она автоматически переместится на другое свободное место.

**Индикаторы:** Для задания расчетных переменных, которые следует выводить на графики в процессе моделирования, используются индикаторы. Индикаторы потенциала и интеграла потенциала подключаются своим внешним выводом к той точке схемы, потенциал или интеграл потенциала которой предполагается выводить на график. Индикатор потока включается в разрыв связи.

**Операторы:** Для задания последовательности действий по моделированию схемы используются операторы. Для того, чтобы несколько операторов выполнялись последовательно, их надо расположить на поле схемы вертикально один под другим. Так на рис. 2 задание на расчет состоит из трех операторов.

**Переключатели:** Если нужно моделировать несколько различных конфигураций объекта, в схему можно установить переключатели. Математическая модель схемы строится в соответствии с тем положением переключателя, какое он имел на момент запуска задания на расчет.

**Комментарии:** Для включения в схему поясняющей информации используются комментарии. Они не оказывают никакого влияния на расчет.

По набору команд пользовательского интерфейса все составные части схемы можно разделить на три группы:

1) Элементы, источники сигнала, индикаторы, операторы, ключи, комментарии, а также, возможно, и другие компоненты, которые будут разработаны в дальнейшем. Для всех них предусмотрен унифицированный набор операций: создание, удаление, отсоединение/присоединение, перемещение, связанное и несвязанное копирование, трансформирование, задание атрибутов. (Операторы дополнительно имеют операцию выполнения). Далее все эти составные части схемы мы будем называть обобщающим термином **«компоненты схемы»**.

2) Связи и базовые узлы. Для них имеются только операции создания и удаления, причем процедуры формирования и удаления связей отличаются от аналогичных процедур для компонентов.

3) Метки. Для них, как отмечалось выше, в пользовательском интерфейсе вообще не предусмотрено никаких операций - все операции с ними система выполняет автоматически.

#### **4.1.3 Курсоры и фокус ввода**

Помимо обычного системного курсора в форме стрелки в графическом редакторе ПК МДС на экране всегда присутствует еще и **дополнительный курсор**.

Дополнительный курсор всегда перемещается в пределах поля схемы вместе с системным, однако его перемещение дискретно и соотносится с ячейками сетки. Кроме того, дополнительный курсор изменяет свою форму и размер в зависимости от выполняемой операции (или в зависимости от возможности выполнить ту или иную операцию). Так, например, при установке в схему нового компонента «выключатель» дополнительный курсор принимает вид графического изображения этого компонента, что позволяет более точно подобрать его положение в схеме. Кроме того, при невозможности установки

элемента в данной позиции, курсор принимает другой вид. На рис. 4.3 приведены различные формы, которые может принимать дополнительный курсор.



*Рисунок 4.3* Различные формы дополнительного курсора

Система ПК МДС всегда работает в многооконной и многозадачной операционной системе. В процессе работы Вы можете перейти в окно другой программы, а затем вновь вернуться к работе с графическим редактором. При этом Вы должны быть уверены, что все подаваемые Вами команды с клавиатуры и мыши будут восприниматься именно редактором ПК МДС, а не каким-либо другим приложением, иными словами, для работы необходимо, чтобы поле схемы имело **фокус ввода**. Для того, чтобы проверить наличие фокуса ввода достаточно просто переместить системный курсор в пределах поля схемы. При этом, если фокус ввода имеется, дополнительный курсор будет перемещаться вслед за системным. Если дополнительный курсор неподвижен, или его не видно вообще, это означает, что фокус ввода отсутствует. В этом случае для получения фокуса ввода просто щелкните кнопкой мыши в любом месте поля схемы.



#### 4.1.4 Использование клавиатуры для перемещения дополнительного курсора

Перемещать дополнительный курсор в поле схемы можно также и при помощи клавиш со стрелками. При этом надо иметь ввиду следующее:

1) Курсор можно перемещать стрелками только при неподвижной мыши. Как только мышь хоть немного переместится, дополнительный курсор займет ту же позицию, что и основной.

2) Аналог левой кнопки мыши - клавиша «**Enter**», правой кнопки - клавиша «**F1**».

3) При выполнении операций по созданию и удалению связей требуются перемещать мышь, удерживая нажатой ее кнопку и одновременно удерживая одну из клавиш клавиатуры («**Shift**», «**Ctrl**» или «**Delete**»). При использовании клавиатуры в этой ситуации пришлось бы одновременно нажимать три клавиши (стрелка, «**Enter**» и, например, «**Shift**»). Поскольку это весьма затруднительно, то предполагается, что, если курсор перемещается при нажатой клавише «**Shift**», «**Ctrl**» или «**Delete**», клавиша «**Enter**» также нажата. (Это позволяет во всех случаях обойтись максимум двумя клавишами).

#### 4.1.5 Контекстное меню

При работе с редактором для выполнения операций используется левая кнопка мыши. (Далее, говоря «нажмите кнопку мыши» или «щелкните кнопкой мыши», мы будем иметь ввиду именно левую кнопку). Правая же кнопка используется для вызова **контекстного меню**.

Контекстное меню представляет собой маленькое окно с набором иконок, каждая из которых соответствует определенной команде, причем иконки, соответствующие командам, которые не могут быть выполнены в данной конкретной ситуации, будут иметь темный фон (рис. 4.4).



*Рисунок 4.4 Контекстное меню*

Сведения о том, какие иконки каким командам соответствуют, содержатся в последующих разделах. При перемещении курсора мыши по иконкам в верхней части окна диалога появляется подсказка. Для выбора определенной команды щелкните кнопкой мыши на соответствующей иконке.

#### **4.2 Последовательность операций формирования схемы**

Обычно для моделирования схемы нужно выполнить четыре основные этапа работы:

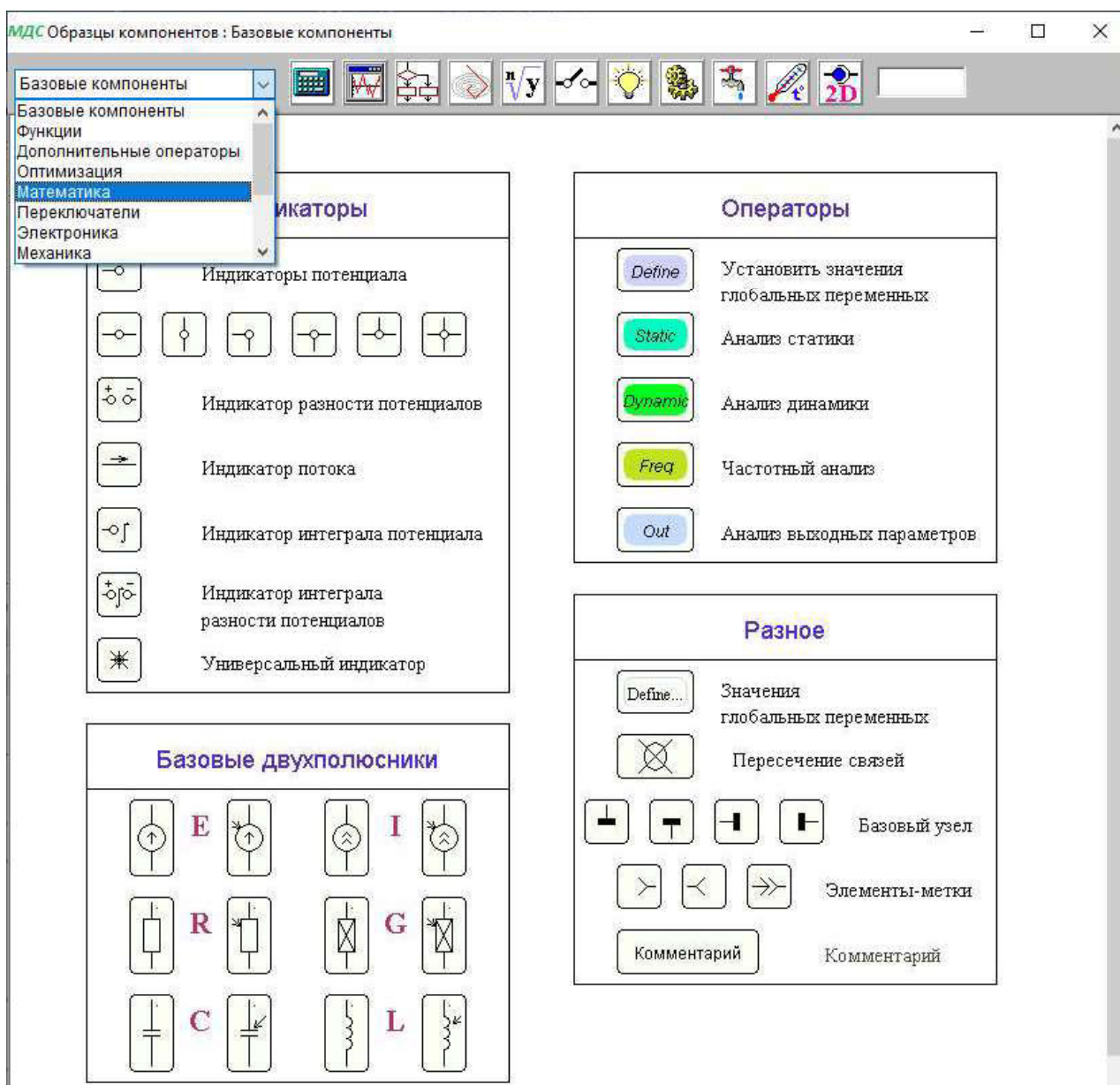
- 1) Выбрать и установить в схему компоненты.
- 2) Соединить компоненты связями.
- 3) Задать атрибуты (параметры) компонентов.
- 4) Сформировать и выполнить задание на расчет.

Однако, в процессе формирования схемы можно переставлять и комбинировать эти этапы так, как сочтете нужным - никаких команд переключения режимов работы в ПК МДС не предусмотрено.

Так, например, можно сначала начертить граф схемы из связей, а затем расставлять компоненты непосредственно на эти связи, при этом соединяться внешние выводы компонентов со связями будут автоматически. Можно также задавать атрибуты включаемых компонентов до того, как они будут установлены в схему. Разумеется, выполнять задание на расчет можно только после завершения формирования схемы. В последующих разделах описана последовательность различных операций, необходимых для формирования схемы.

#### 4.2.1 Добавление нового компонента в схему

- 1) Убедитесь, что поле схемы имеет фокус ввода.
- 2) Нажмите клавишу «**N**» или «**Tab**», или выберите первую иконку в контекстном меню. Откроется окно с образцами компонентов (рис. 4.5).
  - 3) Можно сразу перейти на определенную страницу образцов компонентов, щелкнув мышью на соответствующей ей иконке в верхней части окна или выбрав из выпадающего меню в левом верхнем углу.
  - 4) Установите курсор на компонент, который хотите включить в схему. Элемент выделится другим цветом рамки.
  - 5) Щелкните кнопкой мыши на компоненте (или нажмите клавишу «**Insert**»). Окно с образцами компонентов закроется, а дополнительный курсор примет вид графического изображения образца.
  - 6) Установите курсор в то место схемы, где должен быть добавлен новый компонент. Ориентируйтесь по положению и форме дополнительного курсора; если он принимает вид «пустого» курсора, это означает, что в данном месте установить компонент невозможно. Обращайте также внимание на то, не перекрывает ли образец существующие на схеме связи. Имейте в виду, что большинство компонентов допускают установку в схему поверх существующих связей. (Связи при этом разрываются).



**Рисунок 4.5** Окно с образцами компонентов

7) Убедитесь, что дополнительный курсор имеет форму компонента-образца. Щелкните кнопкой мыши или нажмите клавишу «**Insert**». Новый элемент появится на схеме. Для этой операции можно также использовать третью иконку контекстного меню.

8) Если необходимо установить несколько подобных компонентов, повторите действия п. 6 и 7. Если нужно установить другие компоненты, повторите действия, начиная с п. 2.

9) По окончании процедуры установки рекомендуется убрать с экрана компонент-образец, чтобы случайным нажатием кнопки мыши не установить лишний компонент. Для этого установите курсор в такую позицию, чтобы образец был виден на экране и нажмите клавишу «**Delete**». Дополнительный курсор примет вид «пустого» курсора. Можно также для этой цели открыть контекстное меню и выбрать четвертую иконку.

При выполнении этих действий компоненты, включаемые в схему получают атрибуты, которые разработчик определил для них по умолчанию. Впоследствии, открыв диалог изменения атрибутов компонента (см. ниже), Вы можете их скорректировать. Однако, если Вы считаете более удобным задавать атрибуты компонента еще до включения его в схему, выполните операции, описанные в разделе «Просмотр и корректировка атрибутов компонента-образца».

#### **4.2.2 Использование в качестве образца ранее установленного компонента**

1) Установите курсор на компонент, который хотите взять за образец. Дополнительный курсор примет форму рамки, обрамляющей этот компонент.

2) Нажмите клавишу «**Insert**» или выберите вторую иконку в контекстном меню.

3) Повторите действия предыдущего раздела, начиная с п. 6.

Имейте в виду, что компонент-образец можно взять в одной схеме, затем загрузить другую (или перейти в другое окно) и установить новый компонент уже в другой схеме. Поскольку атрибуты вновь включаемых компонентов будут скопированы у компонента, который был взят за образец, этой особенностью удобно пользоваться для установки в схему элементов с большим количеством параметров: достаточно найти аналогичный в других схемах и взять его за образец.

#### **4.2.3 Удаление компонента из схемы**

1) Установите курсор на удаляемый компонент. Дополнительный курсор примет форму рамки, обрамляющей этот компонент.

2) Нажмите клавишу «**Delete**» или выберите пятую иконку в контекстном меню.

С помощью этой операции удаляются только компоненты схемы, для удаления связей и базовых узлов предусмотрена другая операция.

#### **4.2.4 Восстановление ошибочно удаленного компонента**

Последний удаленный компонент можно восстановить (взяв его в качестве образца). Для этого:

1) Убедитесь, что поле схемы имеет фокус ввода.

2) Нажмите клавишу «**U**» или выберите шестую иконку в контекстном меню. Дополнительный курсор примет форму графического изображения последнего удаленного компонента.

3) Включите компонент в схему в соответствии с указаниями предыдущих разделов.

#### **4.2.5 Отсоединение компонента от схемы**

Иногда при отладке схем возникает необходимость временно исключить из схемы некоторые компоненты, однако не удалять их совсем, чтобы затем вновь не задавать их атрибуты. Кроме того, отсоединение компонентов используется для их перемещения и трансформирования (см. ниже).

Отсоединенные компоненты продолжают оставаться на поле схемы, однако они никак не влияют на процесс моделирования. Для отсоединения компонента:

1) Установите курсор на компонент, который хотите отсоединить. Дополнительный курсор примет форму рамки, обрамляющей этот компонент.

2) Нажмите клавишу «**Space**». Компонент примет другой вид: теперь он как бы изображен на карточке, поднятой над изображением схемы. Для этой операции можно также использовать седьмую иконку контекстного меню.

**ВНИМАНИЕ!** В некоторых случаях отсоединение компонента в соответствии с логикой работы схемы должно сопровождаться соединением связей, которые были к нему подведены. Если это необходимо сделать,

переместите отсоединенный компонент в другое место и добавьте нужные связи. О том, как это сделать см. следующие разделы.

#### **4.2.6 Присоединение отсоединенного компонента**

Присоединение компонента возможно, только если он не перекроет другие компоненты, имеющиеся в схеме. Если присоединяемый компонент перекрывает связи, его присоединение возможно, однако перекрываемые связи будут уничтожены. Исключением являются компоненты, которые не предусматривают подключения к ним связей (например, это комментарии и операторы задания на расчет). Они могут быть установлены в схему только на свободном месте.

1) Установите курсор на отсоединенный компонент, который хотите вновь включить в схему. Рамка, обрамляющая компонент изменит цвет.

2) Нажмите клавишу «**Space**» или, нажав клавишу «**Shift**» или «**Ctrl**», щелкните кнопкой мыши. Компонент примет свой обычный вид. Для этой операции можно также использовать десятую иконку контекстного меню.

#### **4.2.7 Перемещение компонента в другое место схемы**

1) Отсоедините компонент от схемы (см. выше).

2) Установите курсор на перемещаемый компонент. Рамка, обрамляющая компонент изменит цвет.

3) Нажмите клавишу мыши и, не отпуская ее, переместите курсор. Компонент будет перемещаться вместе с курсором.

4) Установив компонент в нужное место, отпустите клавишу мыши.

После перемещения компонент продолжает оставаться отсоединенным, поэтому, если его нужно включить в схему, проделайте действия предыдущего раздела.

#### **4.2.8 Копирование компонента**

В ПК МДС можно использовать два различных способа копирования - **несвязанное и связанное копирование**.

При несвязанном копировании копия наследует от источника все его атрибуты, однако затем «живет самостоятельной жизнью» - любые изменения ее атрибутов никак не влияют на компонент-источник.

В случае же связанного копирования атрибуты копии жестко связаны с атрибутами источника: изменяя атрибуты любого из них, мы изменим и атрибуты всех связанных с ними копий. Связанное копирование удобно, если в схеме имеется несколько элементов, параметры которых должны быть всегда одинаковыми, однако в процессе отладки их нужно изменять. В этом случае достаточно изменить параметры только у одного элемента - у остальных они изменятся автоматически. Проверить, имеет ли компонент связанные копии, можно, открыв для него диалог просмотра / модификации атрибутов (см. ниже). Вместе с данным компонентом также будут выделены другим фоном и все его связанные копии.

Копировать можно только присоединенные компоненты. Если Вам нужно получить копию отсоединенного компонента, временно включите его в схему на свободном месте. Для получения копии:

1) Установите курсор на компонент, копию которого хотите получить. Дополнительный курсор примет форму рамки, обрамляющей этот компонент.

2) Нажмите клавишу «**Shift**», если Вам нужна несвязанная копия, или «**Ctrl**», если связанная.

3) Не отпуская клавиши «**Shift**» или «**Ctrl**», нажмите клавишу «**Space**» или щелкните кнопкой мыши. Над компонентом появится его копия, причем она будет отсоединена от схемы. Для этой операции можно использовать восьмую (несвязанная копия) или девятую (связанная копия) иконки контекстного меню.

4) Переместите копию в нужное место и присоедините ее к схеме, если это необходимо.

Следует добавить, что копирование и связывание атрибутов компонентов не происходит чисто механически. Если дублирование какого-либо атрибута не имеет смысла (например, нет смысла иметь в схеме два элемента с одинаковым



идентификатором или два индикатора с одинаковым цветом графиков), то для этого атрибута копирование и связывание не происходит.

#### 4.2.9 Альтернативные способы перемещения и копирования компонента

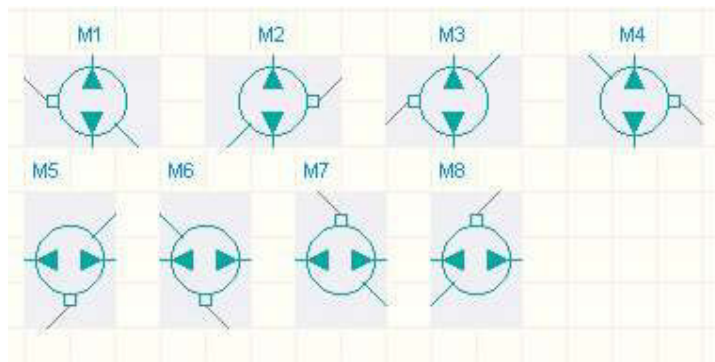
Получить несвязанные копии компонента можно также, просто взяв его в качестве образца (клавиша «**Insert**») и затем установить образец в другое место схемы (возможно, многократно) (клавиша «**Insert**» или кнопка мыши).

Переместить компонент можно, удалив его (клавиша «**Delete**»), затем взять удаленный элемент в качестве образца (клавиша «**U**») и затем установить его на новое место (возможно, многократно) (клавиша «**Insert**» или кнопка мыши).

Альтернативного способа получения связанной копии не существует.

#### 4.2.10 Трансформирование компонента

В общем случае, если изображение компонента несимметрично, оно может быть ориентировано на схеме восемью различными способами (см. рис. 4.6).

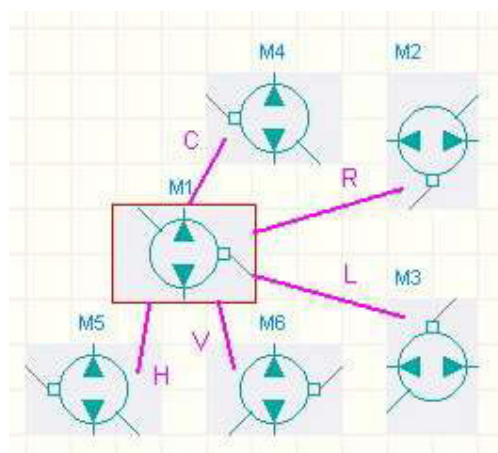


*Рисунок 4.6* Различные ориентации компонентов

Для того, чтобы придать изображению компонента нужную ориентацию, используются операции трансформирования изображений, представленные в таблице 4.1 и показанные на рисунке 4.7.

**Таблица 4.1** Операции трансформирования изображений

Операция	Клавиш	Иконка контекстного меню
	а	
Вращение на 90° против часовой стрелки	L	1-я в нижнем ряду
Вращение на 90° по часовой стрелке	R	2-я в нижнем ряду
Вращение на 180°	C	3-я в нижнем ряду
Горизонтальная симметрия	H	4-я в нижнем ряду
Вертикальная симметрия	V	5-я в нижнем ряду



**Рисунок 4.7** Операции трансформирования изображений

Последовательность действий при трансформировании графического изображения:

1) Установите курсор на компонент, который хотите трансформировать, или установите курсор так, чтобы на экране было видно изображение компонента-образца (если нужно трансформировать его; см замечания Б,В,Г ниже).

2) Нажмите клавишу «L», «R», «C», «H» или «V» (см. таблицу 4.1) или выберите соответствующую иконку контекстного меню. Если данная трансформация возможна, изображение компонента изменит ориентацию.

Замечания:

- Для некоторых компонентов разработчик может запретить любые или некоторые операции трансформирования. Это может определяться, например, требованиями ГОСТа на графическое изображение компонента.

- Если дополнительный курсор имеет вид компонента-образца, операция трансформирования производится над образцом.

- Если курсор указывает на отсоединенный от схемы компонент, операция трансформирования производится над ним.

- Если курсор указывает на присоединенный компонент, операция также производится над ним, однако в этом случае есть исключение: операция не выполняется, если изменяется поле, которое компонент занимает на схеме. (Это происходит при операциях «**L**» и «**R**» в том случае, если высота и ширина компонента различны). Если Вам нужно повернуть присоединенный компонент, временно отсоедините его.

- Для получения некоторых ориентаций изображения могут потребоваться две последовательно выполненные операции трансформирования.

- Для того, чтобы получить полную информацию о том, какие операции трансформирования для компонента возможны, откройте контекстное меню.

#### **4.2.11 Добавление в схему связей между компонентами**

1) Убедитесь, что поле схемы имеет фокус ввода.

2) Установите курсор в точке начала связи. Убедитесь, что дополнительным курсором не выбран никакой компонент схемы (как присоединенный, так и отсоединенный). Иными словами, дополнительный курсор должен иметь вид «пустого» курсора или вид компонента-образца (возможно чередование операций добавления компонентов и проведения связей).

3) Нажмите клавишу «**Shift**» или «**Ctrl**» и не отпускайте ее до завершения операции. Различие между клавишами «**Ctrl**» и «**Shift**» будет только в случае, если в процессе формирования связи Вы пересечете другие существующие связи: при нажатой клавише «**Shift**» в точке пересечения соединения связей не будет, в случае нажатия «**Ctrl**» в точке пересечения связи соединяются. В точках примыкания связи соединяются в любом случае.

4) Нажмите кнопку мыши и не отпускайте ее до конца формирования связи.

5) Перемещайте по полю схемы курсор в соответствии с конфигурацией проводимой связи. В случае, если новая связь пересечет компонент, включенный в схему, она будет разорвана, но после того, как курсор покинет поле элемента формирование связи продолжится. При пересечении отсоединенного компонента, связь будет проведена под ним

6) Отпустите клавишу «**Shift**» или «**Ctrl**» и кнопку мыши.

При проведении новой связи в каждой ячейке поля схемы, через которую она прошла, к ней автоматически присоединяются все ранее существовавшие связи и все внешние выводы присоединенных компонентов, расположенные в смежных ячейках. Если Вы проводите новую связь поверх существующей, то в этом случае фактически только выполняется корректировка соединений связи с соседними ячейками. Связи, не соединенные ни с какими компонентами на процесс моделирования не влияют.

### 4.3 Добавление базового узла

1) Установите курсор в ячейку поля схемы, где нужно добавить базовый узел.

2) Убедитесь, что из четырех смежных с ней ячеек к данной ячейке подведена одна (и только одна) связь или подходит один (и только один) внешний вывод компонента.

3) Нажмите клавишу «**Shift**» или «**Ctrl**» и щелкните кнопкой мыши. На схеме появится изображение базового узла.

Если при выполнении данной операции к ячейке было подведено более одной связи, то в этом случае выполняется коррекция соединений данной ячейки со смежными. Если не было подведено ни одной связи, никакие действия не выполняются. Базовые узлы, не соединенные ни с какими компонентами и связями на процесс моделирования не влияют.

#### 4.3.1 Удаление связей и базовых узлов

1) Убедитесь, что поле схемы имеет фокус ввода.

2) Установите курсор в одной из ячеек, где связь нужно удалить или в соседней свободной ячейке. Убедитесь, что дополнительным курсором не выбран никакой компонент схемы (как присоединенный, так и отсоединенный).

3) Нажмите клавишу «**Delete**» и не отпускайте ее до завершения операции. Убедитесь, что курсор принял соответствующий вид.

4) Нажмите кнопку мыши и не отпускайте ее до конца удаления связи.

5) Перемещайте по полю схемы курсор в соответствии с конфигурацией удаляемой связи (или нескольких связей). В случае, если курсор попадет на компонент, включенный в схему, или пройдет через пустую ячейку, никаких действий не выполняется. При пересечении курсором отсоединенного компонента, удаляются связи, находящиеся под ним. При прохождении курсора через ячейку, где находится базовый узел, он также будет удален.

6) Отпустите клавишу «**Delete**» и кнопку мыши.

При удалении связей соседние с ней ячейки, содержащие связи, модифицируются, отсоединяясь от удаляемой связи. Если Вам нужно удалить связь или базовый узел только в одной ячейке, не затрагивая соседние, то установите курсор в ней, нажмите клавишу «**Delete**» и щелкните кнопкой мыши. В процессе удаления связей компоненты схемы не затрагиваются, для их удаления предусмотрена другая процедура (см. выше).

#### **4.3.2 Соединение / разъединение связей в точке пересечения**

1) Убедитесь, что поле схемы имеет фокус ввода.

2) Установите курсор в точку пересечения связей.

3) Нажмите клавишу «**Ctrl**», если связи нужно соединить, или «**Shift**», если разъединить.

4) Щелкните кнопкой мыши.

#### **4.4 Просмотр и корректировка атрибутов компонента**

1) Установите курсор на компонент, атрибуты которого Вы хотите посмотреть или изменить. Дополнительный курсор примет форму рамки, обрамляющей этот компонент.

2) Нажмите клавишу «**P**», либо щелкните кнопкой мыши, либо выберите шестую иконку нижнего ряда в контекстном меню. На экране появится диалог, позволяющий просмотреть и изменить атрибуты компонента, кроме того компонент и все его связанные копии будут выделены другим фоном. О полях диалогов для различных типов компонентов будет сказано ниже.

3) Для закрытия диалога нажмите кнопку «ОК», если нужно сохранить внесенные изменения, или «Отмена», если изменения сохранять не надо. Кнопка «Применить» сохраняет изменения без закрытия окна диалога.

Можно просматривать и корректировать атрибуты любых компонентов, как присоединенных, так и отсоединенных. На экране может быть открыто одновременно несколько диалогов для различных компонентов схемы (но не для одного и того же и не для связанных копий). Для этого просто повторите действия этого раздела для другого компонента, при этом учтите, что при открытии диалога поле схемы теряет фокус ввода, и сначала его надо вернуть щелчком мыши. Диалоги с атрибутами компонентов являются немодальными, т.е. не закрывая их можно выполнять другие операции. Более подробно диалоговые окна для различных компонентов схемы описаны ниже.

## **4.5 Просмотр и корректировка атрибутов компонента-образца**

### **4.5.1 До выбора образца из базы**

1) Откройте окно с образцами компонентов. (см. раздел «Добавление нового компонента в схему»).

2) Выберите нужную страницу и установите курсор на компонент, который собираетесь включить в схему.

3) Нажмите клавишу «**P**». Откроется диалог просмотра / модификации атрибутов компонента.

4) Установите нужные атрибуты компонента-образца.

5) Сохраните изменения, закрыв диалог кнопкой «ОК» или нажав кнопку «Применить». В последнем случае Вы можете корректировать атрибуты добавляемого компонента многократно, не открывая диалог каждый раз.

6) Вновь установите курсор на включаемый компонент и щелкните кнопкой мыши.

7) Установите компонент в схему.

Примечания:

- если остается открытым хотя бы один диалог перемещаться между страницами окна образцов невозможно;

- внесенные таким способом изменения в базу данных образцов компонентов действуют до конца сеанса работы ПК МДС. При следующем запуске будут восстановлены атрибуты по умолчанию.

#### **4.5.2 После выбора образца из базы**

1) Установите курсор в такую позицию, чтобы образец был виден на экране.

2) Нажмите клавишу «P». Откроется диалог просмотра/модификации атрибутов компонента-образца. (Он будет иметь розовый фон).

3) Установите нужные атрибуты компонента-образца.

4) Сохраните изменения, закрыв диалог кнопкой «ОК» или нажав кнопку «Применить». В последнем случае Вы можете корректировать атрибуты компонента-образца многократно, не открывая диалог каждый раз.

5) Установите компонент в схему.

#### **4.6 Выполнение задания на расчет**

Для моделирования необходимо сформировать задание (или несколько заданий) на расчет. Задание представляет собой группу специальных компонентов - операторов задания на расчет, расположенных в любом месте поля схемы, но обязательно строго один под другим (без пропусков ячеек) в соответствии с порядком выполнения операторов в задании. Чтобы оператор выполнялся, он должен быть обязательно присоединен к схеме. В одной схеме можно сформировать несколько заданий на расчет, расположив их в разных местах. Частным случаем (и достаточно частым) является ситуация, когда в схеме присутствует только одно задание на расчет, причем состоит оно из единственного оператора. Для выполнения задания:

1) Установите курсор на один из операторов задания (не важно какой). Дополнительный курсор примет форму рамки, обрамляющей этот оператор.

2) Нажмите клавишу «X», либо выберите седьмую иконку нижнего ряда в контекстном меню. В случае, если схема не содержит ошибок на экране появится окно с графиками выводимых переменных.

Выполнение задания всегда начинается с первого оператора, не зависимо от того, на какой из операторов указывал курсор.

Моделирование схемы является самостоятельным процессом операционной системы, выполняемым параллельно с процессом редактирования, поэтому запустив задание на выполнение можно продолжить работу с редактором. После закрытия окна графиков не забудьте вернуть полю схемы фокус ввода.

#### **4.7 Команды главного меню и дополнительные функции**

Главное меню присутствует только, если ПК МДС запускается как самостоятельная программа. В апплетах некоторые функции главного меню можно воспроизвести нажатием клавиш на клавиатуре.

Для завершения сеанса работы ПК МДС используйте команду меню **Файл / Завершить работу** или закройте окно схемы. В апплетах функции завершения не предусмотрено, однако Вы можете просто перейти на другой сайт или закрыть окно браузера.

Для очистки схемы и начала формирования новой используйте команду меню **Файл / Создать**. В апплетах для возврата схемы в исходное состояние используйте команду браузера «**Shift**» + «**Reload**».

Для загрузки ранее сохраненной схемы используйте команду меню **Файл / Открыть**. В апплетах эта функция не используется. Загружаемую схему задает разработчик WWW-страницы.

Для сохранения схемы в файле используйте команду меню **Файл / Сохранить** (под тем же именем) или **Файл / Сохранить как** (под другим именем). В апплетах эта функция не используется.



Команда **Вид / Обновить экран** позволяет перерисовать поле схемы, если на ней появятся какие-либо искажения. В апплетах для этой цели можно использовать клавишу «**F**».

Команда **Вид / Перенумеровать** используется для изменения обозначений компонентов схемы - компоненты нумеруются слева направо / сверху вниз в соответствии с их буквенным обозначением. В апплетах для выполнения этой операции нажмите клавишу «**E**».

Для изменения языка пользовательского интерфейса с английского на русский и наоборот (только в апплетах) используется клавиша «**G**».

С помощью команды **Окно / Текстовый редактор** можно посмотреть описание схемы на текстовом входном языке. В апплетах эта функция не используется.

Для того, чтобы взять в качестве образца компонент, который еще не включен в файлы образцов, нажмите клавишу «**F6**». В открывшемся диалоговом окне укажите имя компонента (если оно начинается с префикса EL\$, то этот префикс опускается, в противном случае перед именем надо поставить знак «\$»). Если компонент использует модификатор, укажите также и его. В апплетах эта функция не используется.

#### 4.8 Краткая сводка команд клавиатуры

В фигурных скобках приведены номера иконок контекстного меню, соответствующих данной операции.

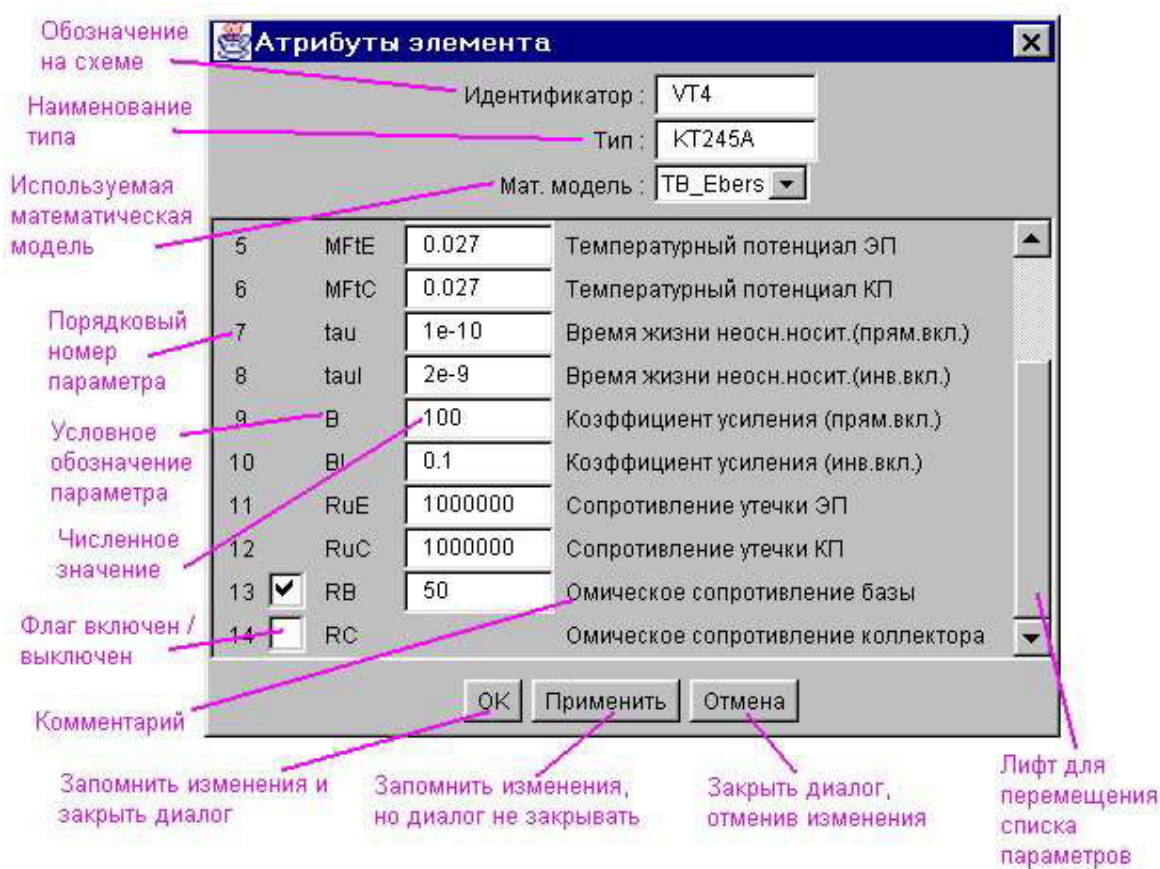
- 1) **N** - Открыть окно с образцами компонентов {1}.
- 2) **Insert** - Установить образец в схему (если образец виден на экране) {3} или взять выделенный компонент в качестве образца {2}.
- 3) **Delete** - Убрать с экрана образец (если образец виден на экране) {4} или удалить выделенный компонент {5}.
- 4) **U** - Взять в качестве образца последний удаленный компонент {6}.
- 5) **Space** - Отсоединить компонент от схемы (если он присоединен) {7}, или присоединить компонент к схеме (если он отсоединен) {10}.

- 6) **Shift+Space** - Получить несвязанную копию компонента {8}.
- 7) **Ctrl+Space** - Получить связанную копию компонента {9}.
- 8) **L** - Повернуть графическое изображение на  $90^\circ$  против часовой стрелки {11}.
- 9) **R** - Повернуть графическое изображение на  $90^\circ$  по часовой стрелке {12}.
- 10) **C** - Повернуть графическое изображение на  $180^\circ$  {13}.
- 11) **H** - Горизонтально отобразить графическое изображение {14}.
- 12) **V** - Вертикальное отобразить графическое изображение {15}.
- 13) **P** - Открыть диалоговое окно просмотра / модификации атрибутов {16}.
- 14) **X** - Выполнить задание на расчет {17}.
- 15) **F** - Обновить поле схемы.
- 16) **E** - Перенумеровать элементы.
- 17) **G** - Изменить язык пользовательского интерфейса.
- 18) **Z** - Загрузить новый компонент-образец.

## 5 Атрибуты

### 5.1 Атрибуты элементов и источников сигналов

Типовой вид диалогового блока просмотра/изменения атрибутов для элементов и источников сигналов приведен на рис. 5.1.



*Рисунок 5.1 Блок просмотра/изменения атрибутов*

Обозначение и наименование типа (если оно используется) служат только для идентификации элемента на схеме и на расчет не влияют. Если элемент имеет несколько математических моделей, можно выбрать для использования при расчете любую из них. При этом, если разные модели имеют одноименные параметры, то их значения при изменении модели будут скопированы. Однако, копироваться будут лишь сохраненные значения, поэтому, если Вы изменяете модель после того, как изменили значения параметров, нажмите сначала кнопку «Применить». Элемент может иметь необязательные параметры, которые всегда могут находиться только в конце списка. Включать и выключать необязательные

параметры можно, устанавливая и сбрасывая флажок напротив них. При этом, если какой-либо параметр включается, также включаются и все предшествующие ему. При выключении параметра также выключаются и все следующие за ним. В окне отображается не более 10 параметров. Если элемент использует большее количество параметров, справа от списка появляется лифт. При редактировании численных значений параметров можно использовать помимо обычных клавиш редактирования, следующие:

- клавиши «**Up**» и «**Down**» перемещают фокус ввода к предыдущему или последующему параметру;

- клавиша «**Esc**» отменяет изменения значения параметра и восстанавливает последнее сохраненное значение;

- клавиши «**PageUp**» («**PageDown**») увеличивают (уменьшают) значение параметра в 10 раз;

- те же клавиши в сочетании с клавишами «**Shift**», «**Ctrl**» или «**Alt**» увеличивают (уменьшают) значение параметра соответственно в 2, 3 и 5 раз.

Если при вводе значения Вы допустили ошибку, кнопки «ОК» и «Применить» становятся неактивными и введенное значение сохранить нельзя. Наиболее вероятная причина этого - неверный формат действительного числа.

При копировании элементов и источников сигналов:

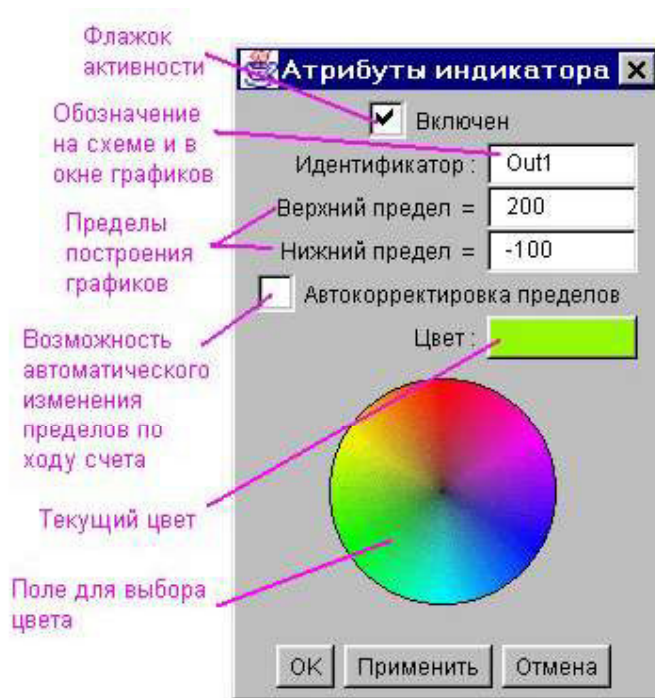
- для обозначения копируется только буквенная часть, цифровая получает следующий порядковый номер (обозначения могут изменяться независимо даже для связанных копий);

- наименование типа и математическая модель копируются и связываются;

- также копируются и связываются значения параметров и их количество (если элемент имеет необязательные параметры).

## **5.2 Атрибуты индикаторов**

Диалоговый блок для задания атрибутов индикаторов приведен на рис. 5.2.



**Рисунок 5.2** Блок для задания атрибутов индикаторов

Обозначение индикатора служит для идентификации на графиках соответствующей расчетной величины. По умолчанию индикаторы получают обозначения Out, Out1, Out2 и т.д. Флажок «Включен» используется для оперативного включения/выключения индикатора, при этом корректность формирования математической модели схемы не нарушается. Верхний и нижний предел задают диапазон, в котором будет строиться график. При задании пределов следите за тем, чтобы верхний предел был больше нижнего. Флажок автокоррекции разрешает автоматическое расширение диапазона построения графиков по ходу счета в случае, если фактические значения выйдут за указанные пределы. Если установлен флажок автокоррекции, пределы вообще можно не указывать, в этом случае они будут подобраны автоматически. Для выбора цвета, которым будет строиться график соответствующей расчетной величины щелкните кнопкой мыши в нужной точке цветового круга. При создании связанной копии индикатора связываются значения пределов и флажок автокоррекции. Флажок активности, обозначение и цвет изменяются независимо.

### 5.3 Атрибуты операторов

Для различных операторов форма диалогового блока может отличаться, однако все они содержат типовые элементы, которые мы рассмотрим на примере оператора анализа динамики (рис. 5.3).

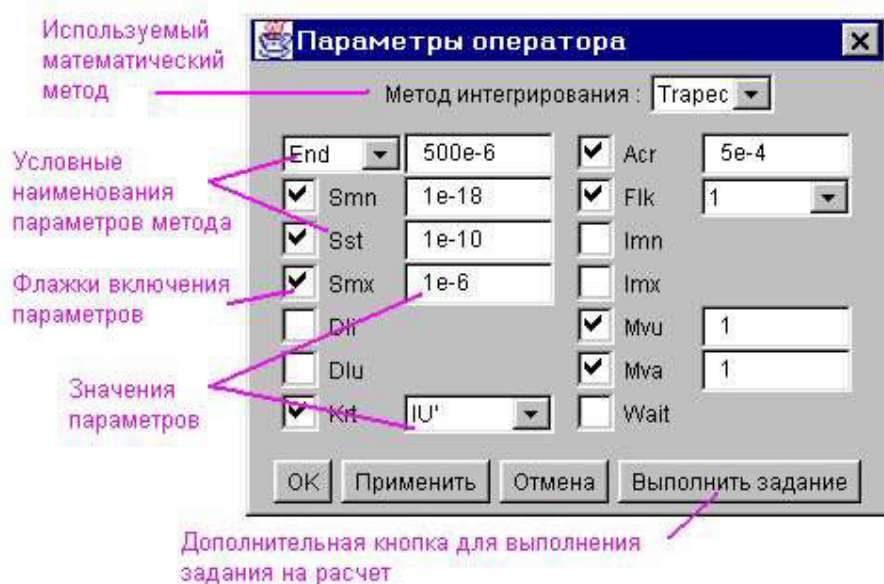


Рисунок 5.3 Блок оператора анализа динамики

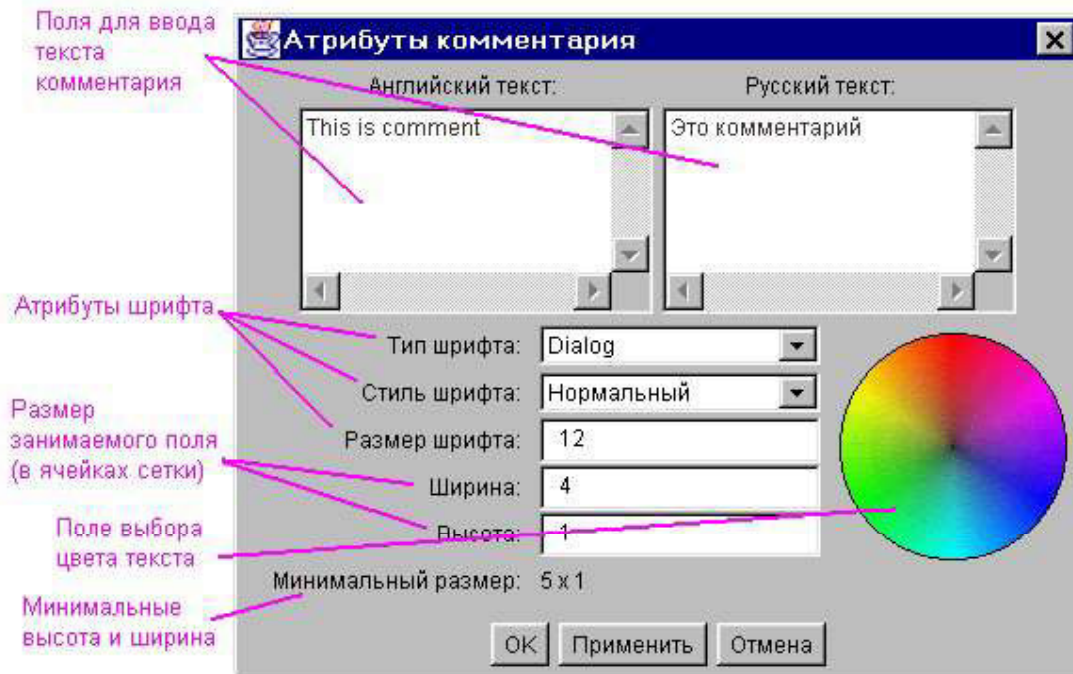
Как правило, большинство параметров операторов задавать не обязательно - можно использовать значения по умолчанию. Если Вы хотите задать значение какого-либо параметра, установите флажок перед его условным обозначением и затем введите численное значение или выберите значение из списка. Обязательные параметры такого флажка не имеют, их значение должно быть задано обязательно. Если оператор имеет альтернативные параметры, то условное имя того, который Вы хотите задать, нужно выбрать из списка.

В диалоговом окне операторов всегда присутствует дополнительная кнопка «Выполнить задание». Ее действие аналогично нажатию клавиши «X», если курсором выбран данный оператор.

При копировании, как правило, копируются все атрибуты оператора, но связывание для них не производится.

## 5.4 Атрибуты комментариев

Для комментариев, включаемых в схему можно задать следующие атрибуты: (см. рис. 5.4).



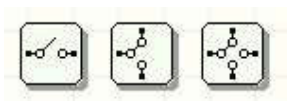
*Рисунок 5.4* Блок для задания атрибутов комментария

Поля ввода используются для задания текста комментария (он может состоять из нескольких строк). Если задан текст на двух языках, то на схеме будет отображаться тот из них, который соответствует языку пользовательского интерфейса. Атрибуты шрифта задаются полями «Тип» (рубленный, пропорциональный, моноширинный), «Стиль» (полужирный, курсив), и размер (при задании размера 24 высота букв примерно равна размеру ячейки сетки). Поля «Ширина» и «Высота» задают размер поля, которое займет комментарий (в ячейках сетки). Выбрать этот размер можно, основываясь на информации в последней строке - здесь вычисляется минимальный необходимый размер, причем с учетом двух возможных вариантов языка. Если Вы укажете фактический размер меньше рекомендуемого, комментарий будет обрезан. Для задания цвета используется такой же цветовой круг, что и для индикаторов.

При связанном копировании комментариев связываются только атрибуты шрифта и цвет.

### 5.5 Атрибуты переключателей

Переключатели имеют единственный атрибут - это их состояние (см. рис. 5.5).



*Рисунок 5.5 Блок с атрибутами переключателей*

Поскольку состояние ключа видно непосредственно на схеме, для него не было смысла создавать специальный диалоговый блок, вместо открытия диалогового блока, ключ просто изменяет свое состояние. Для переключателей возможно связанное копирование - при переключении одной из копий переключатся и все остальные.

В дальнейшем при развитии ПК МДС в состав ее библиотек могут быть включены и другие компоненты.



## **6 Аварийное копирование**

В ПК МДС предусмотрен механизм создания резервной копии схемы на случай внезапного программного или аппаратного сбоя компьютера. При работе с редактором через определенные промежутки времени (по умолчанию 20 сек.) схема сохраняется в специальном файле резервной копии (по умолчанию sds.flush). В случае сбоя компьютера при последующем запуске ПК МДС будет выдано соответствующее сообщение, и пользователь сможет восстановить схему. Таким образом, нет необходимости в периодическом сохранении схемы с целью не потерять результаты своей работы, поскольку максимум, что пользователь может потерять - это последние 20 секунд работы.

В апплетах система аварийного копирования не используется.

## 7 Оптимизация в ПК МДС

Для решения задач параметрической оптимизации в состав программного комплекса ПК МДС включена специальная библиотека «Оптимизация» (см. раздел «Библиотеки»), в состав которой входят:

- оператор одномерного поиска - Opti1 - для решения задач оптимизации с одним управляемым параметром;
- оператор двумерного поиска - Opti2 - для решения задач оптимизации с двумя управляемыми параметрами;
- оператор многомерного поиска - Opti - для решения задач оптимизации с произвольным числом (от 2 до 10) управляемых параметров;
- набор математических методов, реализующих одномерный поиск;
- набор математических методов, реализующих многомерный поиск;
- модуль, реализующий визуализацию одномерного поиска.

Все операторы полностью унифицированы по методике использования, а также по пользовательским и программным интерфейсам. Поэтому все нижесказанное (если иное не оговорено особо) в равной степени относится ко всем операторам. Наиболее существенное отличие операторов одномерного и многомерного поиска заключается в том, что для их реализации используются принципиально разные математические методы, т.е. математические методы, разработанные для одномерного поиска, не могут быть использованы в многомерном, и наоборот. Оператор двумерного поиска представляет собой просто частный случай многомерного поиска.

### **7.1 Типовая последовательность действий при подготовке задания на оптимизацию**

1) С помощью стандартных средств графического редактора ПК МДС соберите исследуемую схему и отладьте ее для случая одновариантного анализа. При этом, в процессе отладки тем параметрам элементов, которые впоследствии предполагается оптимизировать (управляемым параметрам) следует задать

некоторые типовые («среднепотолочные») численные значения, например, такие, при которых полученные результаты можно сравнить с известным решением. В схему должны быть включены индикаторы всех физических величин (потоков, потенциалов и т.д.), которые предполагается использовать для определения критерия оптимальности. Задание на расчет должно быть по возможности простым и выполняться достаточно быстро, поскольку это задание в процессе оптимизации будет выполняться многократно. Далее мы будем рассматривать два случая, показанные на рисунке 7.1:

а) задание состоит только из одного оператора расчета динамики (Dynamic) при нулевых начальных условиях;

б) задание состоит из двух операторов (Static/Dynamic): предварительный расчет статики и затем анализ динамики.

а) Dynamic      б) Static  
Dynamic

*Рисунок 7.1 Примеры задания на расчет*

2) Определите перечень управляемых параметров, т.е. тех величин, которые будут изменяться в процессе оптимизации. Здесь следует иметь ввиду, что «управляемые параметры» и «варьируемые параметры» элементов схемы - не совсем одно и то же, хотя в простых случаях оптимизации эти перечни совпадают. Например, по условиям какой-либо конкретной задачи РАЗНЫЕ параметры РАЗНЫХ элементов хотя и могут изменяться, но должны обязательно оставаться РАВНЫМИ между собой. В этом случае, хотя варьируемых параметров будет несколько, управляемый параметр - один. Более сложный случай - параметры разных элементов хотя и могут варьироваться, но связаны между собой определенным жестким соотношением. Здесь также идет речь только об одном управляемом параметре. Здесь и в дальнейшем нас интересуют только управляемые параметры, т.е. те, которые могут ПРОИЗВОЛЬНО изменяться (в определенных пределах) НЕЗАВИСИМО друг от друга. Самое важное на этом этапе - точно определить число управляемых параметров, т.к. при

формировании задания на оптимизацию количество управляемых параметров задается сразу и в последствии НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ИЗМЕНЕНО.

2.1) Четко определите, сколько управляемых параметров будет в вашей схеме.

2.2) Для каждого управляемого параметра придумайте символическое имя (любая последовательность латинских букв и цифр, начинающаяся с буквы, прописные и строчные буквы различаются).

2.3) Вместо типовых численных значений варьируемых параметров элементов, заданных в п. 1, укажите соответствующие им символические имена управляемых параметров (или формулы для их вычисления на основе управляемых параметров).

2.4) Установите на рабочее поле схемы элемент Default, откройте окно его свойств, и в текстовом поле задайте типовые значения для управляемых параметров. Для каждого управляемого параметра типовое значение задается на одной строке в виде <имя> = <значение> или <имя> = <выражение>. В последнем случае в выражении допустимы только те имена переменных, которые были определены ранее.

2.5) В окне свойств элемента **Default** нажмите экранную кнопку «Применить», чтобы введенные вами значения были зафиксированы, и затем еще раз произведите для проверки одновариантный анализ. Если все было сделано правильно, результат не должен отличаться от полученного в п. 1 (данного раздела).

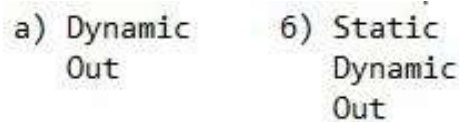
2.6) Определите диапазоны (минимальное и максимальное значение), в которых могут изменяться управляемые параметры, а также их начальное значение. На этом этапе диапазон придется просто написать ручкой на листке бумаги. Начальным значением скорее всего послужит то типовое значение, которое определено в п. 1, если только нет каких-либо серьезных оснований изменить его.

3) Определите перечень выходных параметров, на основе которых будет строиться критерий оптимальности. Такими параметрами могут быть, например,

минимальное или максимальное значение какой-либо переменной в определенном диапазоне времени, время пересечения переменной определенного уровня, время фронта, время спада, среднеквадратичное отклонение сигнала от эталонной формы и т.д. (Перечень сигналов приведен в главе 2 данного раздела).

3.1) Четко уясните для себя, на основе каких выходных параметров схемы будет строиться ваш критерий оптимальности.

3.2) В задание на одновариантный анализ в последнюю позицию добавьте оператор Out. При этом задание на расчет должно выглядеть как показано на рисунке 7.2.



a) Dynamic  
Out

b) Static  
Dynamic  
Out

*Рисунок 7.2 Задание на расчет с выходными параметрами*

3.3) Откройте окно свойств оператора Out, и в текстовом поле запишите правила вычисления выходных параметров. Установите активным флажок «Вывести значения на экран» для того, чтобы вы смогли оценить полученные результаты.

3.4) Снова запустите на выполнение одновариантный анализ. Теперь, помимо графиков, вы увидите окошко с численными значениями выходных параметров, расчет которых вы задали в операторе Out. Посмотрите на эти значения очень внимательно. Реальны ли они? Обязательно добейтесь того, чтобы эти значения выглядели более-менее прилично. Иначе все последующие шаги будут бессмысленны.

4) Не обязательно, но настоятельно рекомендуется: Найдите листок с диапазоном управляемых параметров, заполненную в п. 2.6. Откройте окно свойств элемента **Default**. Попробуйте задавать управляемым параметрам различные критические значения и вновь производить одновариантный анализ. Такими «критическими» значениями могут быть, например, предельные значения управляемых параметров. Другим случаем может быть, например, нулевое значение параметра, если параметр может менять знак. Еще один критический

случай - равные или близкие значения параметров в симметричных ветвях схемы. Исследуйте все возможные «нехорошие» варианты сочетания управляемых параметров и проследите за тем, чтобы при этом заданные вами выходные параметры получали более-менее осмысленное значение.

Обратите внимание на следующее:

- при любых значениях управляемых параметров в пределах заданного диапазона моделирование схемы не должно приводить к критическим ошибкам (несходимость, потеря точности, деление на ноль и т.д.)

- при любых значениях управляемых параметров в пределах заданного диапазона заданные выходные параметры должны получать хоть какие-нибудь численные значения (т.е., например, если одним из выходных параметров является время достижения переменной А уровня В, а при некоторых значениях управляемых параметров переменная А вообще никогда в жизни не достигает уровня В, то следует усомниться либо в выборе выходных параметров, либо в выборе диапазона управляемых переменных).

- при любых значениях управляемых параметров в пределах заданного диапазона одновариантный анализ должен осуществляться в разумных временных пределах (если только вы не хотите положить свою молодую жизнь на алтарь науки).

5) Сформулируйте критерий оптимальности, т.е. целевую функцию. Критериев есть много, они хорошие и разные - аддитивный, мультипликативный, с учетом весовых коэффициентов, штрафных функций, и т.д., и т.п. Какой из них выбрать - решать вам. Единственное, что от вас требуется - это написать формулы для вычисления целевой функции в зависимости от полученных значений выходных параметров. Вновь откройте окно свойств оператора Out и запишите в конце текстового поля формулу (формулы) для вычисления целевой функции. Нажмите кнопку «Применить» для фиксации изменений. Теперь еще несколько раз попытайтесь произвести одновариантный анализ при различных значениях управляемых параметров в пределах выбранных вами диапазонов и внимательно фиксируйте полученные значения целевой функции. Если при этом в разных

вариантах значения целевой функции окажутся одинаковыми, или будут различаться только в 5 - 12 знаке после запятой, то следует рассмотреть следующие варианты:

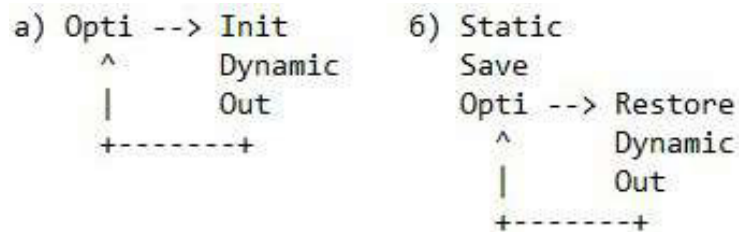
- у вас и так выбраны оптимальные значения параметров, и, поэтому, не стоит дальше проводить расчет;

- вы выбрали неверные критерии для оценки выходных параметров вашей схемы;

- вы неверно сформулировали критерий оптимальности (целевую функцию).

В любом случае, добейтесь на этом этапе, чтобы сколь-нибудь существенное ИЗМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ приводило к сколь-нибудь существенному ИЗМЕНЕНИЮ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ.

6) Измените ваше задание на расчет. Теперь оно должно состоять из двух частей - собственно задание на оптимизацию и задание на одновариантный анализ, который будет выполняться на каждом шаге оптимизации. Пример этого для рассмотренных случаев показан на рисунке 7.3.



*Рисунок 7.3 Пример задания на оптимизацию*

Обратите внимание на то, что последовательность операторов Init-Dynamic-Out (или Restore-Dynamic-Out) будет выполняться многократно - как минимум, столько раз, сколько шагов оптимизации будет выполнено. Первому оператору в этом задании нужно обязательно присвоить какую-либо метку, чтобы оператору Opti было на что ссылаться.

Используйте тот оператор Opti, который соответствует числу управляемых параметров в вашей схеме.

7) Откройте окно свойств оператора Opti. (Если вы использовали оператор для произвольного числа управляемых параметров, то предварительно откроется

диалоговое окно, в котором нужно будет точно указать число управляемых параметров. Будьте внимательны - это значение впоследствии изменить невозможно). Заполните поля этого диалогового окна.

- Метка оператора - необязательно. Вы можете присвоить идентификатор данному оператору Opti. Это имеет смысл только тогда, когда у вас есть несколько разных заданий на оптимизацию.

- Метод оптимизации - выберите из списка математический метод, с помощью которого вы собираетесь производить оптимизацию (но сначала прочитайте п. 9 в этой главе).

- Имя задания - метка первого оператора в том задании, которое будет выполняться многократно на каждом шаге оптимизации (см. п.6).

- Таблица управляемых параметров. (Число строк таблице соответствует числу управляемых параметров). В таблице для каждого управляемого параметра необходимо задать:

- его имя;
- минимальное и максимальное значение его диапазона;
- начальное (типовое) значение данного управляемого параметра. Здесь следует заметить, что, во-первых, это значение может отличаться от заданного в элементе **Default**, во-вторых, некоторые математические методы могут игнорировать это значение, исходя из своих высших «математических» соображений, но в любом случае оно должно быть задано и находиться в пределах от минимального до максимального значения.

- Допустимая относительная погрешность. Этот параметр определяет критерий, по которому принимается решение о завершении процедуры оптимизации. В принципе, каждый математический метод, реализующий ту или иную процедуру оптимизации волен распоряжаться этим критерием по своему усмотрению. Общей (но не строгой) трактовкой этого параметра является следующая: если в качестве данного параметра задано значение  $d$ , а в результате решения задачи оптимизации получен вектор оптимальных управляемых



параметров  $[P_1, P_2, \dots, P_n]$ , то можно гарантировать, что изменение любого оптимального значения параметра  $P_i$  на величину более, чем  $d\%$  от  $(P_i \max - P_i \min)$  заведомо ухудшит значение целевой функции.

- Вторичные выходные параметры. Это текстовое поле можно использовать для записи формул вычисления целевой функции. Нет никакой разницы в том, будут ли эти формулы записаны в конце оператора Out, или в данном поле.

- Ограничения. В задание на оптимизацию можно добавить до пяти косвенных ограничений, причем аргументами этих ограничений могут быть как управляемые переменные, так и выходные параметры, а равно и произвольные математические выражения с их использованием. Ограничения задаются в виде двойных неравенств. Любое поле этого неравенства может содержать константу, переменную или математическое выражение. Если целевая функция на каком-либо шаге оптимизации достигла наилучшего значения, но при этом хотя-бы одно ограничение было нарушено, то данное значение НЕ ФИКСИРУЕТСЯ в качестве оптимального.

- Минимизировать/максимизировать. Здесь нужно указать то, к чему целевая функция должна стремиться.

- значение целевой функции. Здесь нужно указать ту переменную (или в общем случае выражение), которая является целевой функцией.

- кнопки «ОК», «Применить», «Отмена», «Выполнить задание» - стандартные действия для любых операторов ПК МДС.

- кнопка «Параметры метода». Активна только в том случае, если выбранный математический метод имеет дополнительные параметры. Нажатие этой кнопки открывает окно дополнительных параметров метода.

Задайте нужные значения и нажмите кнопку «ОК» или «Применить», но ни в коем случае «Выполнить задание» - пока рано.

8) Откройте окно свойств оператора Dynamic и нажмите кнопку «Параметры окна графиков». В открывшемся окне в поле «Окно графиков» выберите значение в соответствии со следующими рекомендациями:

- не используйте значения «нет» и «временное» - они приведут к ошибке;

- если вы выберете значение «скрытое», то каждый вариант расчета никак не будет отображаться на экране, хотя все выходные параметры будут рассчитаны правильно;

- при использовании значения «новое» каждый вариант расчета будет отображаться в новом окне. Это приведет к тому, что на вашем мониторе расплодится невероятное количество открытых окон. Впрочем, их можно закрыть все сразу, используя функцию меню любого окна «Файл-Заккрыть все». Однако, с эстетической точки зрения все же это не самый удачный вариант;

- если вы выберете варианты «существующее» или «предыдущее», то графики для всех вариантов анализа будут отображаться в одном окне. При этом, если в поле «Очистка окна перед выполнением оператора» вы выберете вариант «нет», то графики всех вариантов накладываются друг на друга, и вы в конце концов увидите бессмысленную кашу, при выборе любого другого варианта в этом поле вы будете видеть последний выполненный вариант анализа. Это наиболее приемлемый выбор.

В поле «После выполнения оператора» обязательно установите значение «выполнять следующий», иначе вам придется давить на кнопку после каждого варианта, чтобы продолжить выполнение задания.

Значение, которое следует выставить в поле «В случае ошибки выполнения» зависит от того, насколько программа, реализующая тот или иной метод оптимизации, способна обрабатывать ошибки, возникающие в процессе моделирования. Если такая возможность в ней заложена, выберите вариант «выполнять следующий», если вы точно уверены, что такой возможности у нее нет, используйте вариант «прекратить выполнение задания». Вариант «пауза» позволит вам самому принять решение о возможности продолжения процесса оптимизации в случае ошибки.

Остальные поля этого окна не критичны для процесса оптимизации. Нажмите кнопку «ОК» для фиксации результатов, и затем также кнопку «ОК» в окне свойств оператора Dynamic.

Теперь все готово для проведения процесса оптимизации, однако, все же рекомендуется предварительно еще выполнить пункт 9.

9) Не обязательно, но настоятельно рекомендуется: Произведите «пробный прогон» процесса оптимизации, используя для начала какой-нибудь простой и тривиальный метод (полный перебор или случайный поиск) с невысокими требованиями к точности. Это с одной стороны, позволит выявить ошибки, допущенные при подготовке задания на оптимизацию, а при удачном исходе, вполне возможно, сузит область поиска, т.к. по этим результатам можно будет сузить диапазон управляемых параметров или подобрать более приемлемые начальные значения.

10) Окончательно скорректируйте параметры оператора оптимизации, задайте «серьезный» математический метод и, при необходимости, его дополнительные параметры.

## **7.2 Выходные параметры**

### **7.2.1 Окно свойств оператора Out**

- Метка оператора - необязательно. Используется только в том случае, если вы хотите сослаться на этот оператор из других заданий.

- Окно и Оператор - необязательны. По умолчанию оператор Out работает с результатами, полученными в ПОСЛЕДНЕМ выполненном перед ним оператором анализа. Если источником данных для оператора Out должны быть какие-либо другие расчеты, то укажите в поле «Окно» имя окна, а в поле «Оператор» - вид анализа (Dynamic, Static, Freq и т.д.). Имя окна результатов можно задать в диалоге «Параметры окна графиков» соответствующего оператора.

- Вариант - необязательно. Имеет смысл только в том случае, если в одном окне отображается несколько вариантов расчета. По умолчанию используются результаты ПОСЛЕДНЕГО рассчитанного варианта. Если это не так, то здесь нужно задать номер варианта.

В подавляющем большинстве задач поля «Метка оператора», «Окно», «Оператор» и «Вариант» следует оставлять пустыми.

- Описание выходных параметров. В этом текстовом окне следует задать функции для расчета выходных параметров. На одной строке задается строго одна функция (синтаксис см. ниже). Помимо функций в любой строке можно также записать и выражение (также одно выражение в строке), при этом сами функции в выражения входить не могут.

- Вывести значения на экран - если этот флажок установлен, все вычисленные в данном операторе выходные параметры, а также результаты вычисления формул (если они используются) будут выведены на экран в специальном окне. Установите этот флажок включенным в процессе отладки схемы, по окончании отладки его можно выключить.

- Запомнить значения - если этот флажок установлен, все переменные, использованные в данном операторе, получают новое значение. Для работы программы оптимизации необходимо, чтобы этот флажок обязательно был включен.

- кнопки «ОК», «Применить», «Отмена», «Выполнить задание» - стандартные действия для любых операторов ПК МДС.

### 7.2.2 Синтаксис

Обращение к функции для расчета выходных параметров задается в следующем виде:

**Res = FuncName [Var1,Var2,...,VarN] (Arg1,Arg2,...,ArgM) ; Comment**

где Res - имя переменной, которой будет присвоено вычисленное значение.

ВНИМАНИЕ! Если по каким-либо причинам функция не сможет быть вычислена, данная переменная получит значение NaN;

FuncName - имя функции расчета выходного параметра (список см. ниже);

Var1 ... VarN - перечень имен расчетных переменных, для которых будут вычислены выходные параметры. Имя расчетной переменной задается в окне свойств элемента-индикатора. Для расчета не имеет значение, был ли данный

элемент-индикатор активен, или нет. Количество имен расчетных переменных строго фиксировано для каждой функции. Даже если функция не предусматривает использование имен расчетных переменных, квадратные скобки «[]» должны быть записаны;

Arg1 ... ArgM - перечень значений параметров функции. В качестве значения может быть задано число, переменная или формула для его вычисления. Количество параметров строго фиксировано для каждой функции (некоторые функции позволяют опускать некоторые параметры и использовать значения по умолчанию). Даже если функция не предусматривает использование параметров, круглые скобки «()» должны быть записаны;

Comment - комментарий. Если комментарий в данной строке не используется, то и символ «;» можно опустить.

Выражения записываются следующим образом:

**Res = Exp ; Comment**

где Res - имя переменной, которой будет присвоен результат вычисления;

Exp - формула для вычисления значения выражения.

**ВНИМАНИЕ!** Если какая-либо переменная, входящая в выражение имела значение NaN, или в выражении есть неопределенности типа 0/0, Inf/Inf, 0\*Inf, результатом вычисления будет NaN;

Comment - комментарий. Если комментарий в данной строке не используется, то и символ «;» можно опустить.

Пример:

$Q1 = \text{Min}[\text{In}] (0, 200)$ ; Вычисляем минимум входного напряжения в интервале от 0 до 200 сек.

$Q2 = \text{Max}[\text{Out}] (300)$ ; Вычисляем максимум выходного напряжения в интервале от 300 до конца расчета.

$Q = (Q1 + Q2)/2$ ; Вычисляем среднее арифметическое.

## 7.3 Функции для расчета выходных параметров

### 7.3.1 Подпрограммы, определяющие значение аргумента расчета

Здесь под аргументом мы будем понимать независимую переменную - время для операторов Dynamic и Static, частоту для оператора Freq.

1. Вычислить последнее значение аргумента:

**LastArgValue** [] ()

Результат будет зависеть от того, доведен ли расчет до конца, или же был прерван по каким-либо причинам.

2. Вычислить значение аргумента, при котором расчетная переменная достигла максимального или минимального значения:

**ArgMax** [VAR] (AStart, AEnd)

**ArgMin** [VAR] (AStart, AEnd)

AStart и AEnd определяют интервал аргумента, в котором производится поиск максимума или минимума. Параметр AEnd можно не указывать; в этом случае концом интервала считается окончание выполнения оператора. Одновременно параметры AStart и AEnd можно не указывать; в этом случае исследуется весь диапазон аргумента.

Значение, возвращаемое подпрограммой не определено, если расчет завершился раньше AStart.

3. Вычислить значение аргумента, при котором расчетная переменная пересекла определенный уровень (при нарастании, при убывании или в произвольном направлении):

**ArgLevelUp** [VAR] (Level, AStart, AEnd)

**ArgLevelDown** [VAR] (Level, AStart, AEnd)

**ArgLevel** [VAR] (Level, AStart, AEnd)

Level определяет уровень, который переменная должна пересечь.

AStart и AEnd определяют интервал, в котором производится поиск момента пересечения. Параметр AEnd можно не указывать; в этом случае концом интервала считается окончание выполнения оператора. Одновременно параметры AStart и AEnd можно не указывать; в этом случае исследуется весь диапазон аргумента.

Значение, возвращаемое подпрограммой не определено, если:

- расчет завершился раньше AStart.
- переменная в указанном диапазоне ни разу не пересекла уровня Level в заданном направлении.

Если указанная расчетная переменная несколько раз пересекала в заданном диапазоне указанный уровень, в качестве результата будет зафиксировано последнее пересечение.

4. Вычислить задержку (разность) между пересечениями двух расчетных переменных определенных уровней (в произвольном направлении):

**Delay [VAR1, VAR2] (Level1, Level2, AStart, AEnd)**

Level1 и Level2 определяют уровни, который расчетные переменные VAR1 и VAR2 соответственно должны пересечь.

AStart и AEnd определяют интервал, в котором производится определение задержки. Параметр AEnd можно не указывать; в этом случае концом интервала считается окончание выполнения оператора. Одновременно параметры AStart и AEnd можно не указывать; в этом случае исследуется весь диапазон аргумента.

Значение, возвращаемое подпрограммой не определено, если:

- расчет завершился раньше AStart.
- переменная VAR1 ни разу в указанном диапазоне не пересекла уровня Level1.
- переменная VAR2 ни разу в указанном диапазоне не пересекла уровня Level2.

Если указанные расчетные переменная несколько раз пересекали в заданном диапазоне указанные уровни, для вычисления результата будет использоваться последние пересечения.

Значение, возвращаемое подпрограммой имеет отрицательное значение, если VAR2 пересекла Level2 раньше, чем VAR1 пересекла Level1.

### **7.3.2 Подпрограммы, определяющие значение расчетной переменной**

1. Вычислить последнее значение переменной:

**LastValue [VAR] ()**

2. Вычислить максимальное или минимальное значение переменной:

**Max [VAR] (AStart, AEnd)**

**Min [VAR] (AStart, AEnd)**

AStart и AEnd определяют интервал, в котором производится поиск максимума или минимума. Параметр AEnd можно не указывать; в этом случае концом интервала считается окончание выполнения оператора. Одновременно параметры AStart и AEnd можно не указывать; в этом случае исследуется весь диапазон аргумента.

Значение, возвращаемое подпрограммой не определено, если расчет завершился раньше AStart.

3. Вычислить значение переменной при определенном значении аргумента (независимой переменной):

**Value [VAR] (Arg)**

Arg определяет значение аргумента, при котором вычисляется значение переменной.

Значение, возвращаемое подпрограммой не определено, если расчет завершился раньше Arg.

### **7.3.3 Подпрограммы, вычисляющие интегральные значения расчетных переменных**

1. Вычислить определенный интеграл:

**Integral [VAR] (AStart, AEnd)**



AStart и AEnd определяют интервал, в котором производится вычисление интеграла.

Значение, возвращаемое подпрограммой не определено, если расчет завершился раньше AStart.

2. Вычислить среднее интегральное значение:

**Average [VAR] (AStart, AEnd)**

AStart и AEnd определяют интервал, в котором производится вычисление среднего значения.

Значение, возвращаемое подпрограммой не определено, если расчет завершился раньше AStart.

Значения, возвращаемые подпрограммами Integral и Average связаны следующим соотношением:

**Average = Integral / (AEnd - AStart)**

#### **7.3.4 Подпрограммы, вычисляющие отклонение двух расчетных переменных**

Вычислить среднее (среднеквадратичное) отклонение:

**AvDiff [VAR1, VAR2] (AStart, AEnd, Step)**

**AvSqDiff [VAR1, VAR2] (AStart, AEnd, Step)**

AStart и AEnd определяют интервал, в котором производится вычисление среднего отклонения.

Step задает шаг, с которым выбираются контрольные точки.

Значение, возвращаемое подпрограммой не определено, если расчет завершился раньше AStart или Step больше заданного интервала вычисления.

#### **7.3.5 Включение в ПК МДС новых функций расчета выходных параметров**

Для включения новой функции расчета выходных параметров необходимо создать новый класс на основе базового абстрактного класса SDS\$Out. Имя класса должно иметь вид OUT\$FuncName, где FuncName - имя новой функции.

В классе `SDS$Out` определены следующие переменные и методы:

**`protected double Param[];`**

Этот массив содержит численные значения параметров функции, заданные пользователем. Во избежание ошибок в работе программы не изменяйте эти значения.

**`protected double Result = Double.NaN;`**

Эта переменная предназначена для хранения результата вычислений. По умолчанию имеет значение `NaN`.

**`public abstract boolean Prepare(int NVAR, double PAR[]);`**

Этот метод будет вызван один раз перед началом вычислений. Его задача - определить правильно ли задал пользователь количество расчетных переменных и количество параметров функции. Кроме того, в нем можно произвести, если это необходимо, установку начальных значений переменных. Поскольку в базовом классе этот метод объявлен как `abstract`, он обязательно должен быть определен.

Параметры:

`NVAR` - число заданных пользователем расчетных переменных;

`PAR` - массив численных значений параметров;

Возвращаемое значение: `true`, если все атрибуты функции заданы корректно, `false`, если обнаружены ошибки. В последнем случае никакие дальнейшие вычисления выполняться не будут.

**`public abstract boolean Values(double VAL[]);`**

Этот метод вызывается многократно - столько раз, сколько шагов было выполнено в процессе анализа, причем при каждом новом вызове методу передаются новые значения переменных, полученные на очередном шаге. По этим данным необходимо вычислять искомое значение функции. Поскольку в базовом классе этот метод объявлен как `abstract`, он обязательно должен быть определен.

Параметры:

- VAL - массив, нулевой элемент которого содержит значение аргумента (независимой переменной) на очередном шаге анализа, а последующие элементы - значения расчетных переменных на соответствующем шаге (в том порядке, в каком их задал пользователь). Таким образом, размер этого массива - NVAR+1;

- Возвращаемое значение: true, если искомое значение функции уже вычислено, и дальнейшие результаты анализа заведомо не окажут влияние на конечный результат, false, если вычисления необходимо продолжать. Если этот метод вернул true, дальнейшие вызовы метода Values не производятся.

```
public void End() {}
```

Этот метод вызывается после последнего вызова метода Values и информирует о том, что достигнут конец набора данных результатов расчета. Метод не будет вызван, если конец набора данных достигнут не был из-за того, что очередной вызов Values вернул true. По умолчанию этот метод не делает ничего.

```
public double GetResult() { return Result; }
```

Этот метод вызывается последним и должен вернуть искомое значение функции. По умолчанию он возвращает значение переменной Result, поэтому если вы использовали именно эту переменную для хранения результата, переопределять данный метод не нужно.

```
protected static double Approx(double A1, double V1, double A2, double V2, double A)
```

Этот метод не должен переопределяться - он предназначен для вычисления аппроксимированного значения расчетной переменной при заданном значении аргумента (независимой переменной) по двум ближайшим известным точкам.

Параметры:

A1, V1 - значения аргумента и переменной в предшествующей точке;

A2, V2 - значения аргумента и переменной в последующей точке;

A - значение аргумента, при котором определяется значение переменной.

### 7.3.6 Функция поиска максимального значения переменной в заданном диапазоне аргумента

```
public class OUT$Max extends SDS$Out {  
  
    private double As = Double.MIN_VALUE, Ae = Double.MAX_VALUE;  
  
    public boolean Prepare(int NVAR, double PAR[]) {  
  
        if(NVAR != 1) return false;  
  
        if(PAR.length >= 1) As = PAR[0];  
  
        if(PAR.length >= 2) Ae = PAR[1];  
  
        if(PAR.length >= 3) return false;  
  
        return true; }  
  
    public boolean Values(double VAL[]) {  
  
        if(VAL[0] < As) return false;  
  
        else if(VAL[0] > Ae) return true;  
  
        if(Double.isNaN(Result) || Result < VAL[1]) Result = VAL[1];  
  
        return false; }  
  
}
```

## 8 Библиотеки компонентов

ПК МДС постоянно развивается, поэтому библиотеки и компоненты, представленные в этом разделе, могут иметь отличия от библиотек и компонентов актуальной версии ПК МДС. В данном разделе представлены библиотеки, входящие в состав текущей версии ПК МДС.

### 8.1 Библиотека «Базовые компоненты»

Содержит базовые компоненты для задания типа расчета, значения глобальных переменных, индикаторов и т.д. (рис. 8.1).

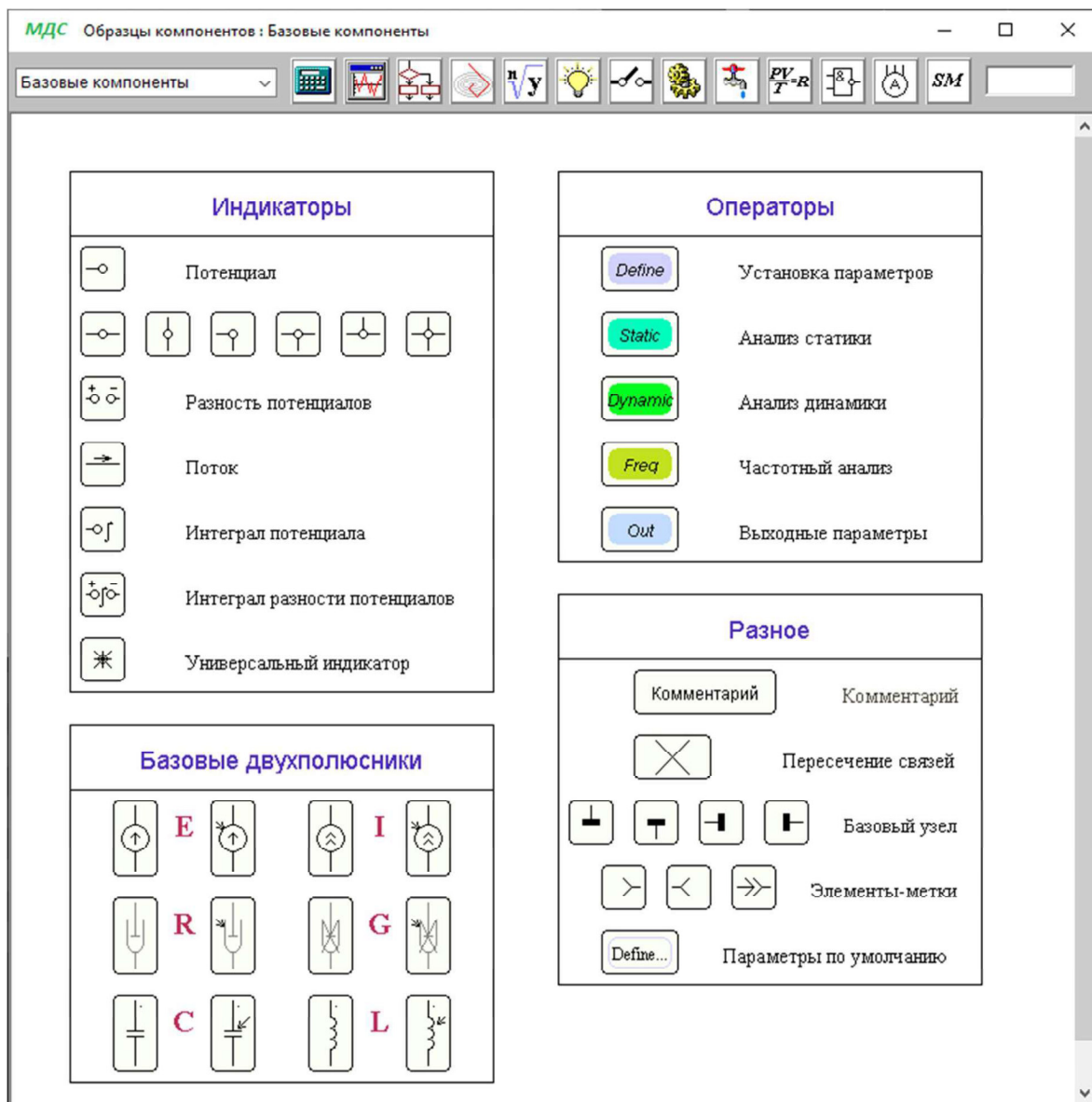


Рисунок 8.1 Общий вид библиотеки базовых элементов

## 8.2 Библиотека «Дополнительные операторы»

Содержит компоненты для управления вариантами анализа (одновариантный / многовариантный), проектной процедурой, управления переменными и состоянием объектов (рис. 8.2).

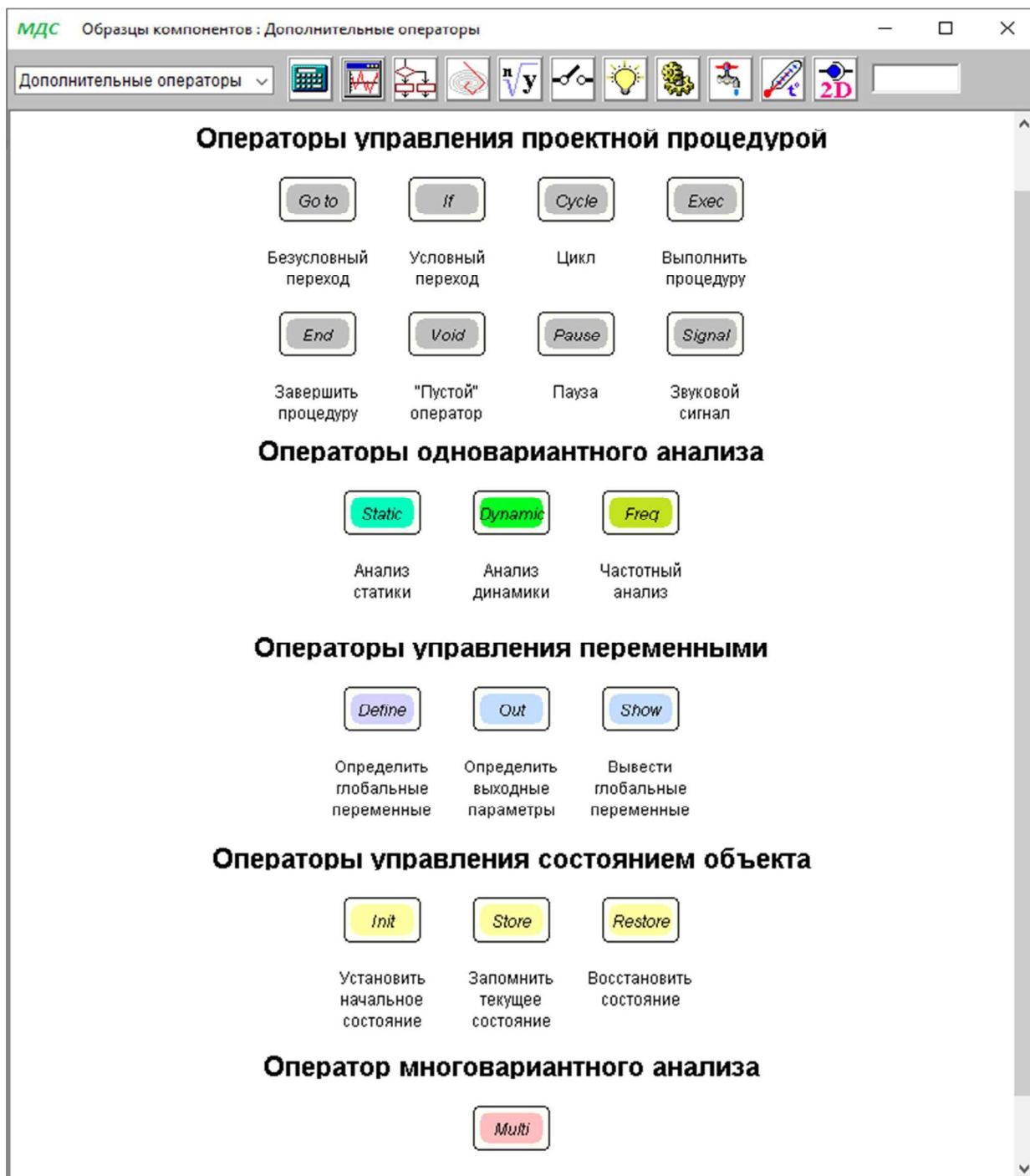


Рисунок 8.2 Общий вид библиотеки дополнительных операторов

### 8.3 Библиотека «Функции»

Содержит компоненты для моделирования источников сигналов, преобразователей и описания функциональных зависимостей (рис. 8.3).

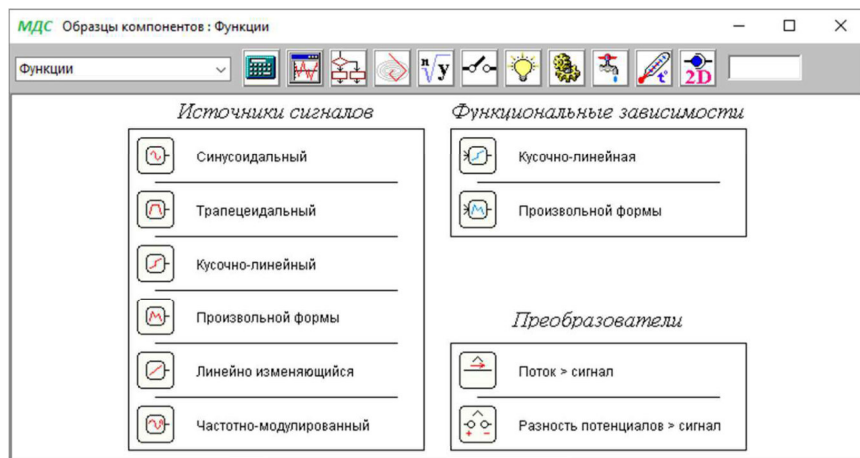


Рисунок 8.3 Общий вид библиотеки функций

### 8.4 Библиотека «Математика»

Содержит компоненты для выполнения математических операций с сигналами (рис. 8.4).

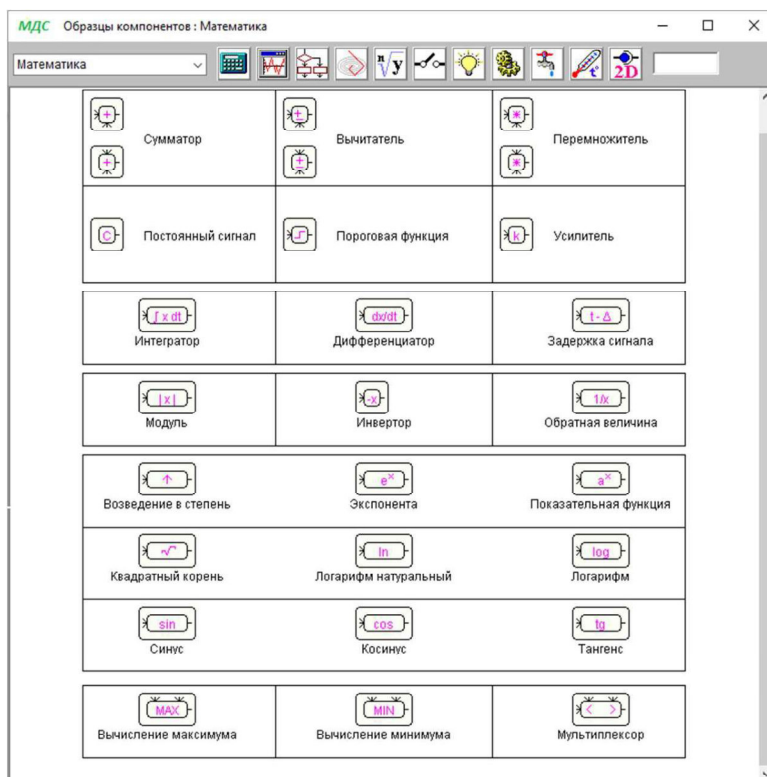


Рисунок 8.4 Общий вид библиотеки математики

## 8.5 Библиотека «Логические Элементы»

Содержит компоненты для описания логических процедур (рис. 8.5).

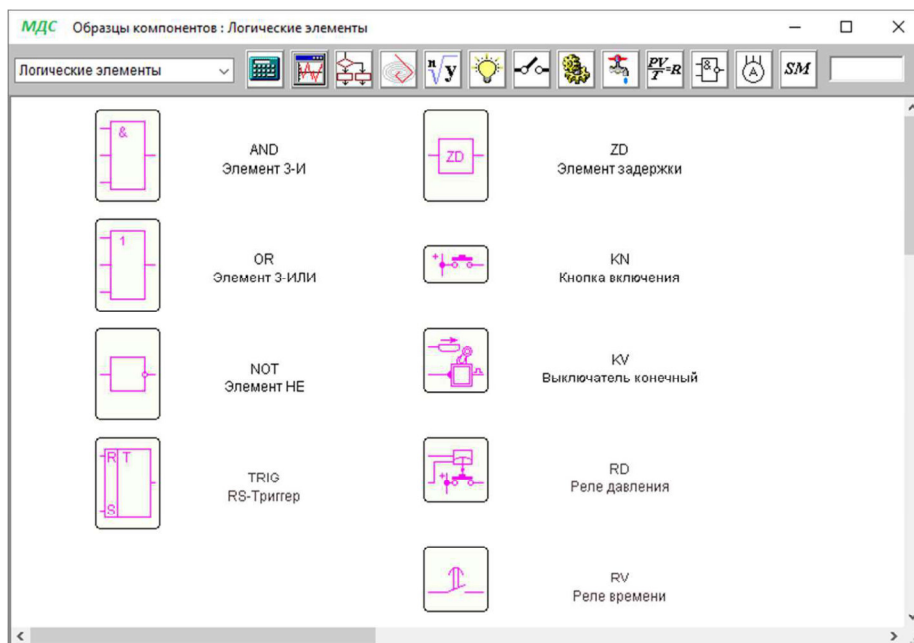


Рисунок 8.5 Общий вид библиотеки логических элементов

## 8.6 Библиотека «TAR»

Содержит компоненты для моделирования систем автоматического регулирования (рис. 8.6).

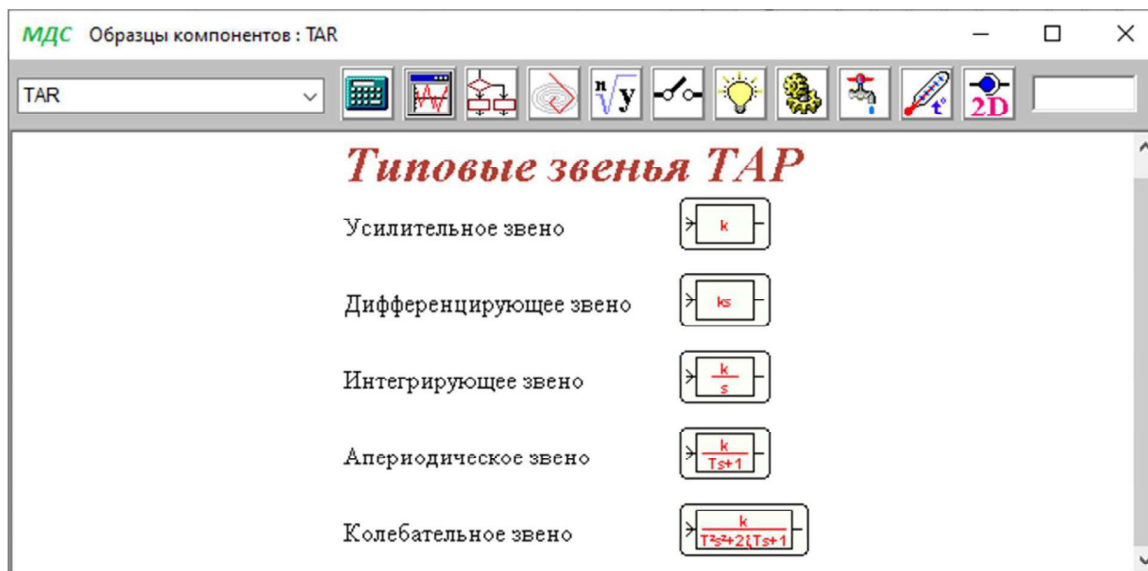


Рисунок 8.6 Общий вид библиотеки типовых звеньев TAR



## 8.7 Библиотека «Переключатели»

Содержит различные виды переключателей сигналов (рис 8.7).

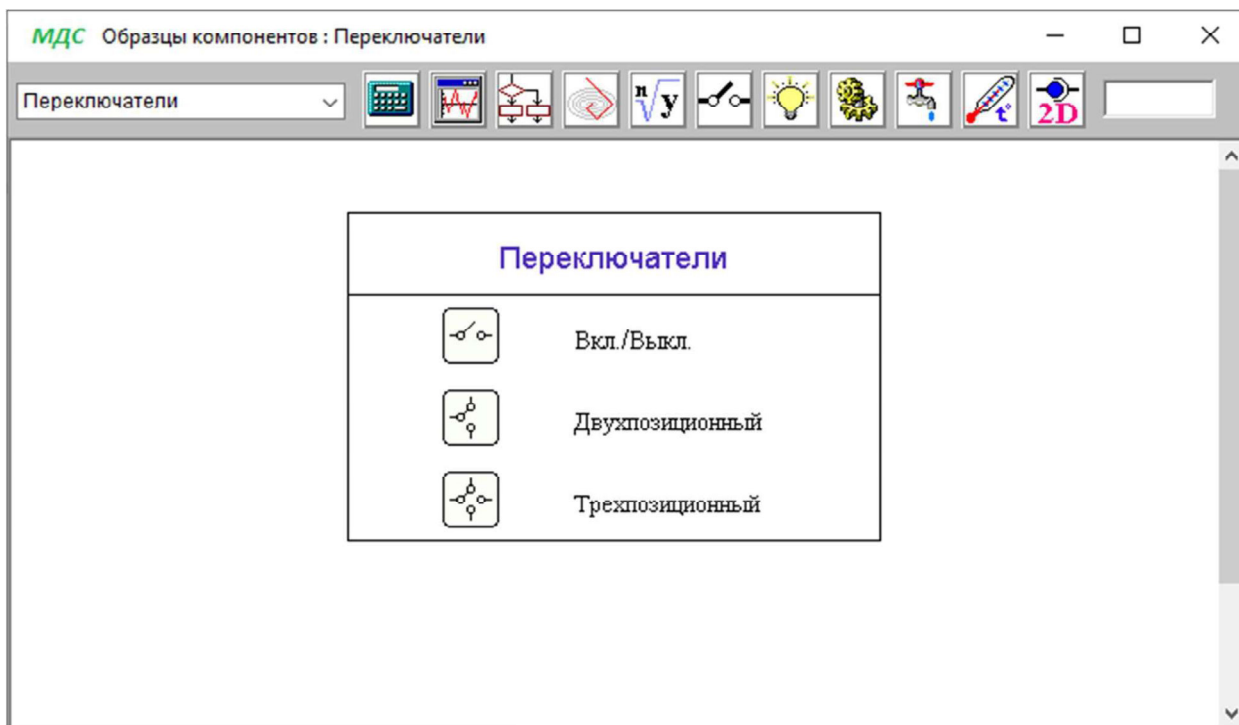


Рисунок 8.7 Общий вид библиотеки переключателей

## 8.8 Библиотека «Оптимизация»

Содержит компоненты для проведения расчетов по поиску оптимальных значений (рис. 8.8).

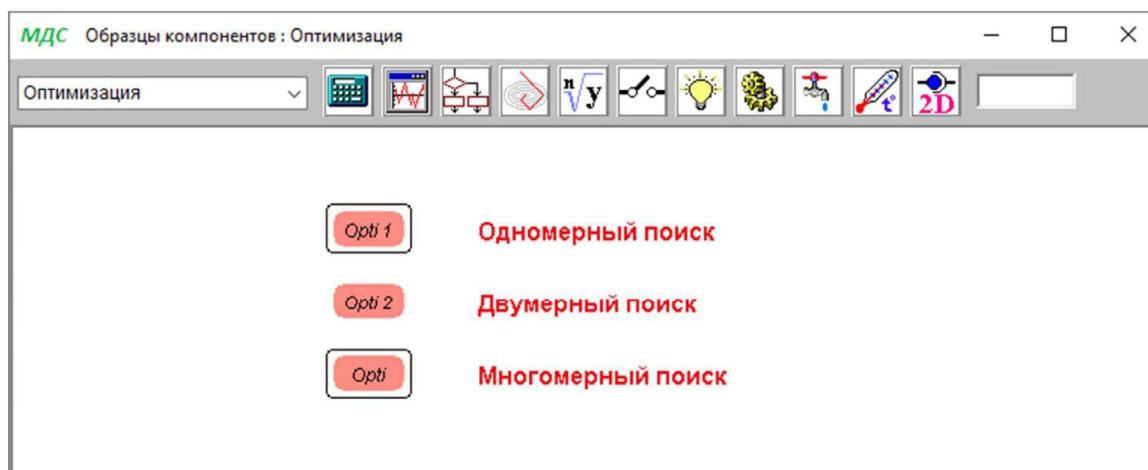


Рисунок 8.8 Общий вид библиотеки оптимизации

## 8.9 Библиотека «Механика»

Содержит компоненты для моделирования механических систем (рис. 8.9).



Рисунок 8.9 Общий вид библиотеки механики

## 8.10 Библиотека «2D-модели»

Содержит компоненты для моделирования двумерных механических систем (рис. 8.10).



Рисунок 8.10 Общий вид библиотеки 2D-моделей

## 8.11 Библиотека «Теплофизика»

Содержит компоненты для моделирования теплового состояния (баланса) систем и учета теплотерь (рис 8.11).

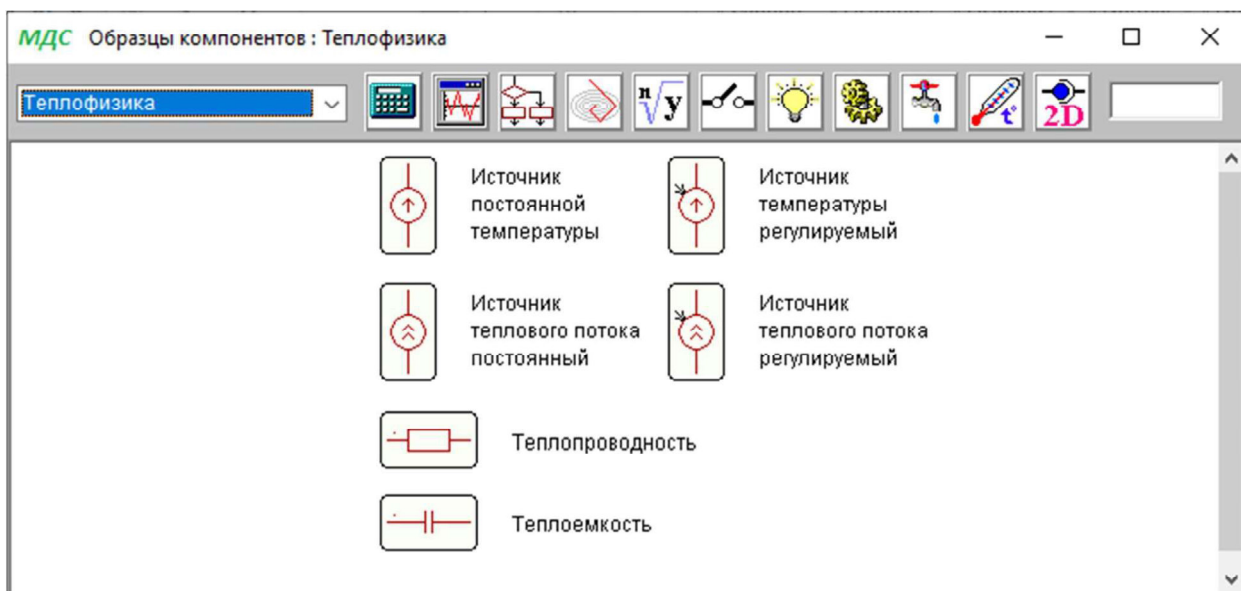


Рисунок 8.11 Общий вид библиотеки теплофизики

## 8.12 Библиотека «EIMash»

Содержит компоненты для моделирования электрических машин (рис. 8.12).

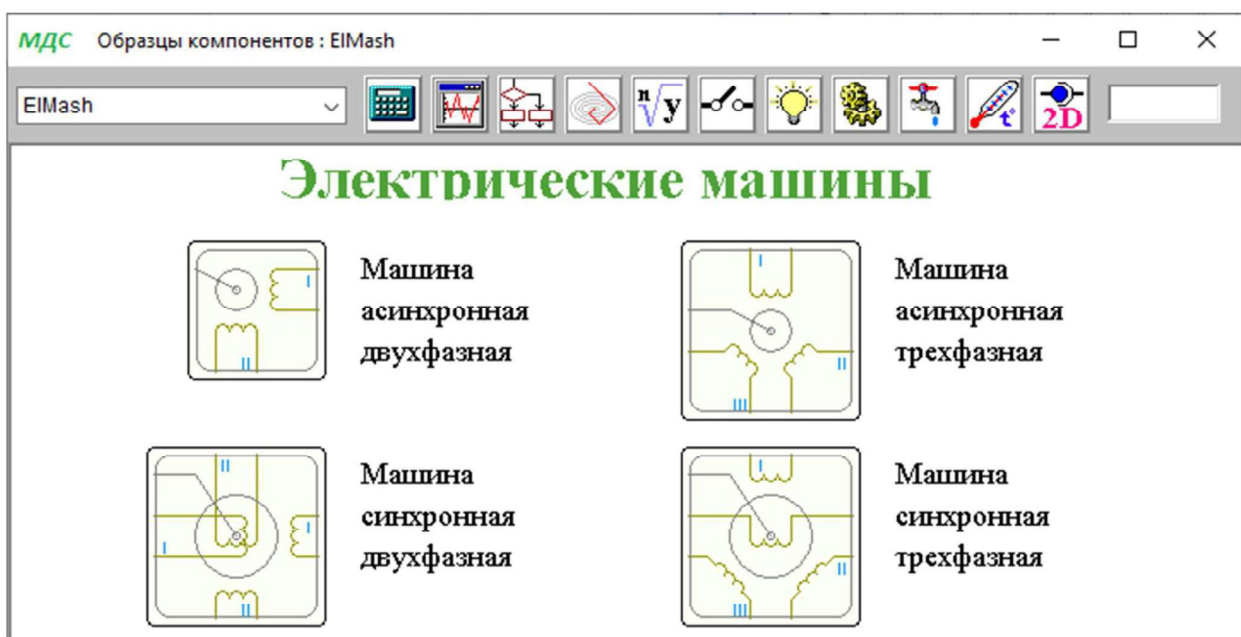


Рисунок 8.12 Общий вид библиотеки компонентов электрических машин

## 8.13 Библиотека «Асинхронные двигатели»

Содержит компоненты, представляющие готовые модели асинхронных двигателей серии 4А: основное исполнение, степень защиты IP4; основное исполнение, степень защиты IP23; с повышенным пусковым моментом; с повышенным скольжением; с фазным ротором, степень защиты IP44; с фазным ротором, степень защиты IP23 (рис. 8.13)

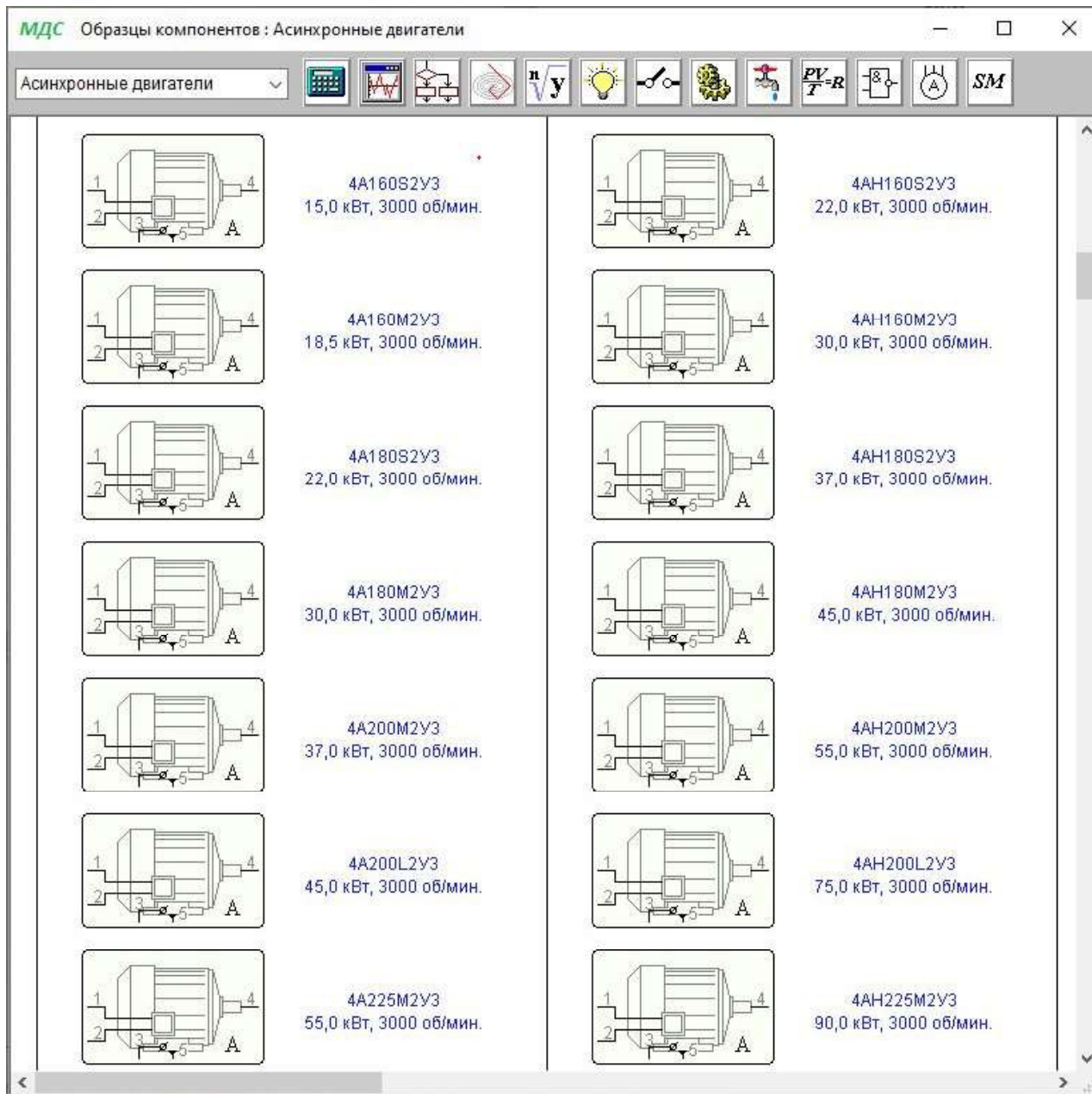


Рисунок 8.13 Общий вид библиотеки асинхронных двигателей

## 8.14 Библиотека «Электроника»

Содержит компоненты электронных устройств для моделирования электронных систем (рис. 8.14).

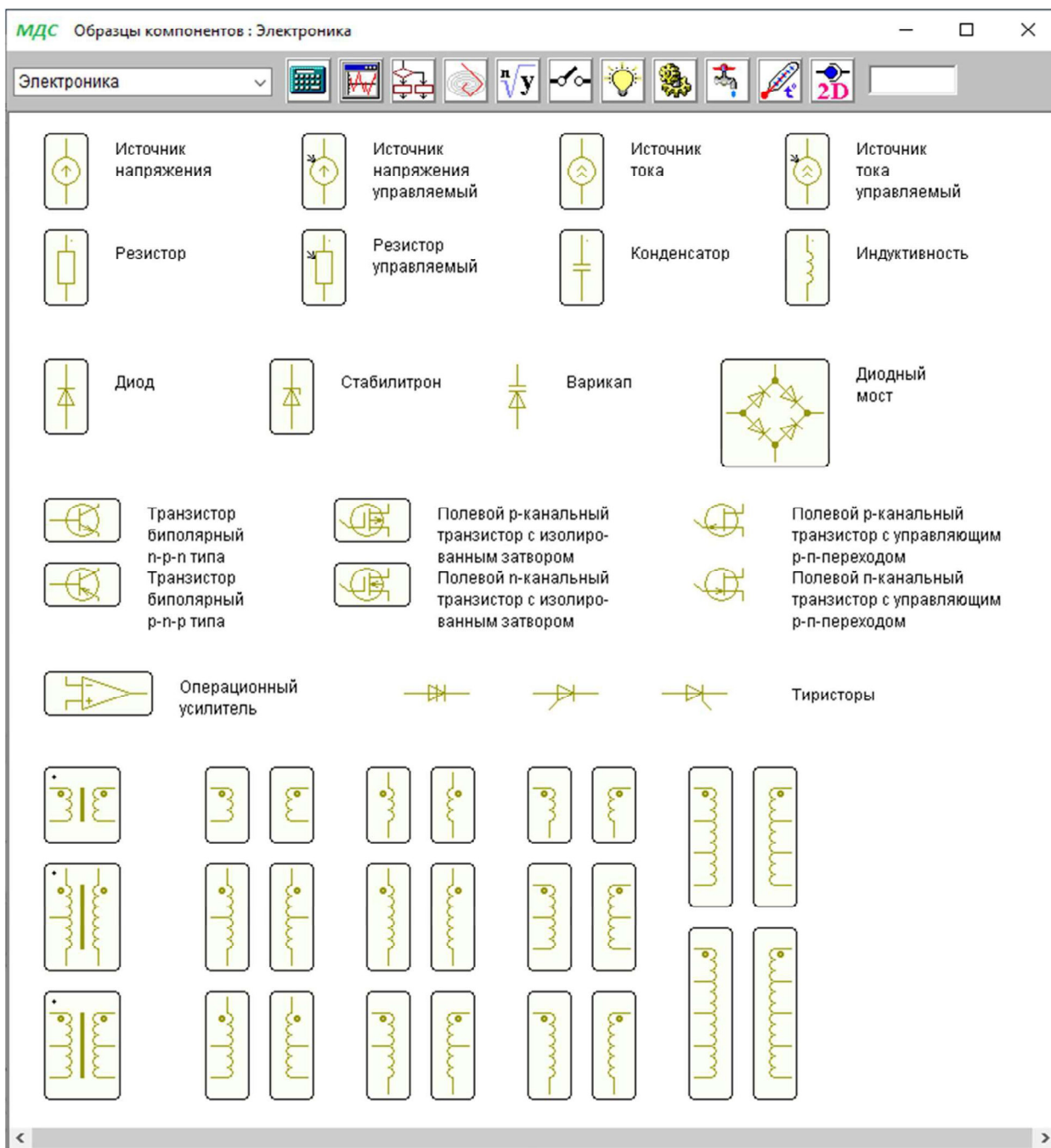
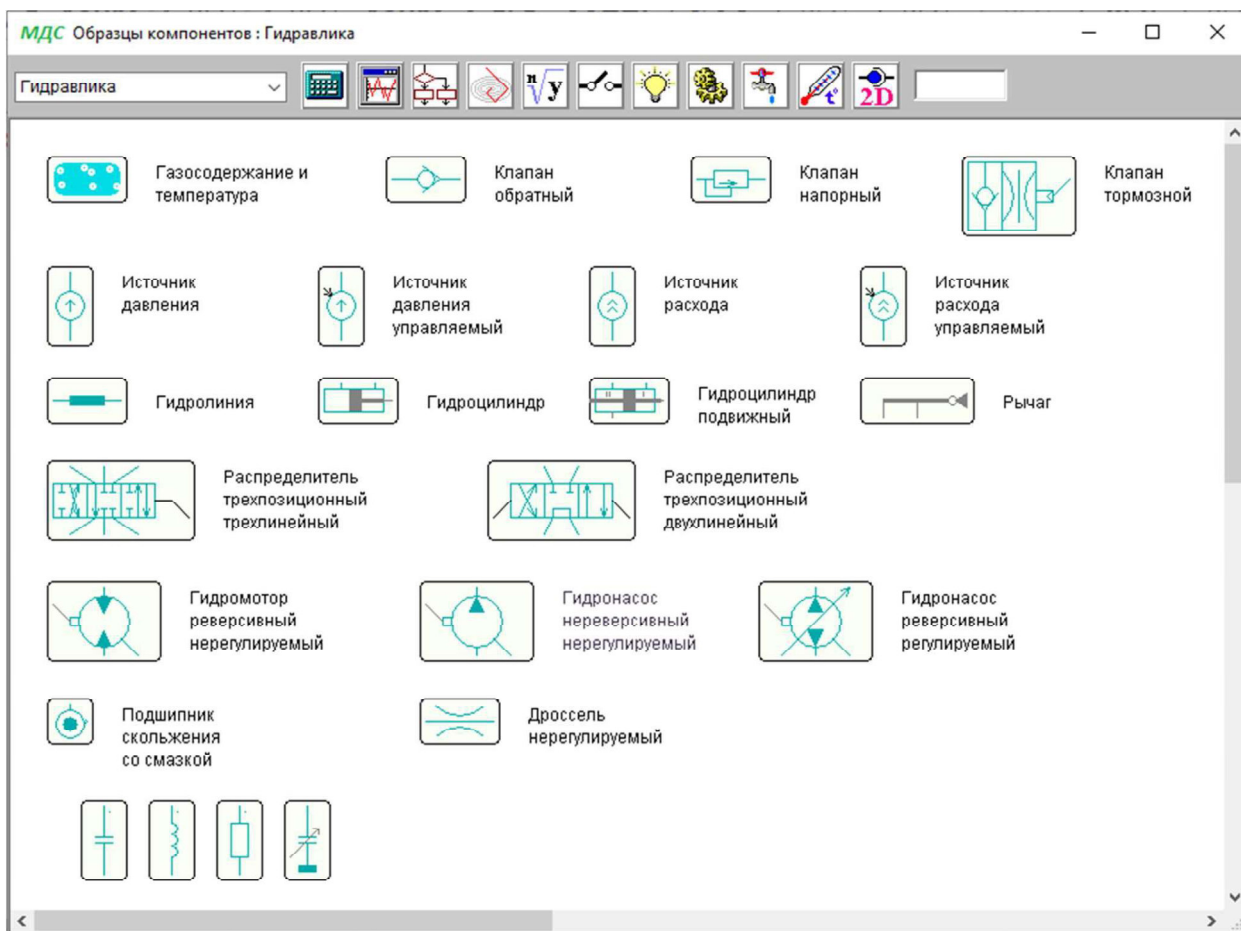


Рисунок 8.14 Общий вид библиотеки компонентов электронных устройств

## 8.15 Библиотека «Гидравлика»

Содержит компоненты для моделирования гидравлических систем (рис. 8.15).



*Рисунок 8.15* Общий вид библиотеки компонентов гидравлических систем

## 9 Задачи и примеры работы в ПК МДС

Данный раздел руководства предназначен для практического освоения ПК МДС путем решения ряда предлагаемых задач из области физики, теоретической механики, теории механизмов и машин, машиностроения. Раздел постоянно пополняется новыми задачами.

### 9.1 Моделирование маятника

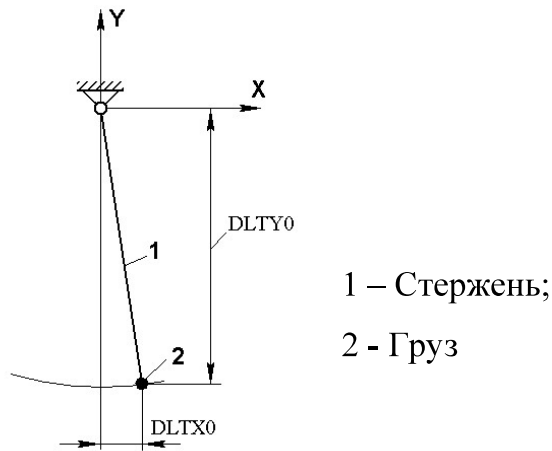
Целями решения задачи являются получение графика колебательного процесса маятника, проверка адекватности математической модели (верности воспроизведения процессов, протекающих в устройстве). Адекватность математической модели можно проверить, сопоставляя ожидаемый и полученный при моделировании процессы. Также это можно оценить по совпадению аналитического периода колебаний маятника и периода колебаний по результатам моделирования. Малые колебания маятника являются гармоническими, при этом период колебаний:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{l/g},$$

где  $l$  – длина маятника,  $g$  – ускорение силы тяжести.

Тогда при длине маятника 1 м период колебаний составляет примерно 2 с. Кроме того, известно, что амплитуда колебания маятника равна его начальному отклонению.

Схема самого маятника в его исходном положении показана на рис. 9.1. Он содержит структурные элементы: стержень 1, закрепленный одним концом к неподвижной опоре, и груз (тяготеющая и инерционная масса) 2, закрепленный на противоположном, подвижном конце стержня. Стержень 1 в математической модели маятника может быть представлен моделью STRGN2 (Приложение 1), груз 2 – моделями массы и силы тяжести массы (моделью источника силы).



**Рисунок 9.1** Схема математического маятника

Для решения задачи необходимо выполнить следующие действия.

1. Запустить комплекс стартовым файлом «SDS.bat». При этом открывается окно схемного графического редактора ПК с главным меню, полем с сеткой, системным и дополнительными курсорами (см. также документ «Схемный графический редактор ПК МДС»).

2. Создать топологию маятника.

2.1 Установить компоненты в схеме. Создать связи между компонентами.

2.1.1 Установить модель (компонент) «Шарнир неподвижный».

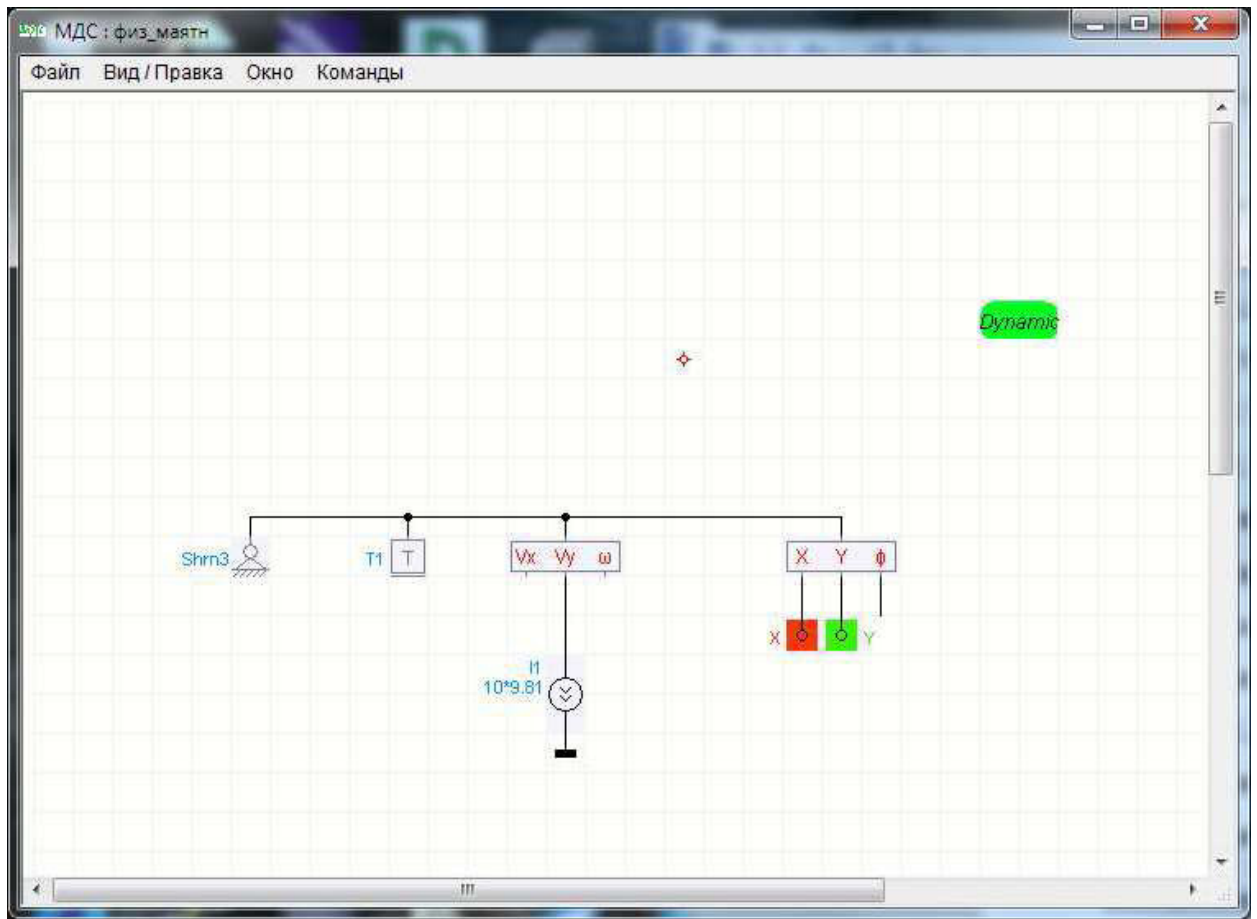
2.1.1.1 Выбрать: «Окно» (главное меню), «Образцы компонентов», иконку с изображением механических элементов (альтернатива – «Механика» в выпадающем меню в части поля слева от иконок). Щелкнуть по графическому образу компонента «Шарнир неподвижный». Дополнительный курсор приобретает вид графического образа устанавливаемой модели (компонента).

2.1.1.2 Установить мышью графический образ модели «Шарнир неподвижный» в поле схемы, как показано на рис. 9.2 и нажать ЛКМ. Отвести курсор вместе с дублирующим графическим образом компонента «Шарнир неподвижный» в свободную часть поля схемы и нажать «**ESC**».

2.1.2 Установить подобным образом модель тела и переходники скорости и положения. Соединения между телами и связями являются шинами, содержащими следующие переменные: скорость по оси X, скорость по оси Y, угловая скорость, перемещение по оси X, перемещение оси Y, угол поворота. Чтобы получить доступ



к этим переменным используются переходники. Возмущения по отдельным координатам подключаются к выводам переходника скорости, наблюдать за перемещениями по отдельным координатам можно с помощью переходника положения. В случае маятника его вес должен быть подключен к выводу  $V_y$  переходника скорости, для этого используется источник силы из разделе одномерной механики. Поскольку вес действует в инерциальной системе отсчета, его второй конец подключается к базовому узлу.



*Рисунок 9.2 Графический образ модели математического маятника*

2.2 Установить индикаторы в схеме. Создать связи между индикаторами и компонентами. Индикаторы служат для указания подлежащих выводу для визуального наблюдения величин, вычисляемых при моделировании.

2.2.1.1 Выбрать: «Окно» (главное меню), «Образцы компонентов», иконку с изображением калькулятора (альтернатива - «Базовые компоненты» в выпадающем меню в части поля слева от иконок). Щелкнуть по изображению индикатора

«Потенциал» (первый вариант) в разделе «Индикаторы». Для вывода скоростей и координат используется компонент «Потенциал».

2.2.1.2 Вызвать контекстное меню, для чего щелкнуть правой кнопкой мыши (в дальнейшем - ПКМ). Щелкнуть по значку «Повернуть направо на 90» в разделе «Операция» контекстного меню.

2.2.1.3 Установить индикатор в поле схемы, как показано на рис 9.2 и нажать ЛКМ. Отвести курсор вместе с дублирующим изображением индикатора в свободную часть поля схемы и нажать «ESC».

2.2.1.4 Присоединить индикаторы к узлам, соответствующим горизонтальной и вертикальной координате перемещения груза маятника.

2.2.1.5 Назначить атрибуты индикатора.

2.2.1.5.1 Щелкнуть по изображению индикатора на схеме.

2.2.1.5.2 Заменить имеющийся идентификатор на идентификатор Vx.

2.2.1.5.3 Установить цвет линии графика вывода горизонтального и вертикального перемещения груза маятника, для чего установить курсор в круговой диаграмме цветов в соответствующем месте и щелкнуть ЛКМ. Установить флажок в поле «Включен», ОК.

3.1 Ввести параметры модели «Shrn».

Щелкнуть по изображению модели «Shrn» на схеме.

3.1.2 Ввести параметры модели модель «Shrn» – координаты положения шарнира (по умолчанию нулевые). Ввести параметры тела: масса  $M=10$ , момент инерции относительно центра масс  $J=1e-9$  (для того, чтобы свойства маятника были ближе к математическому), положение центра масс  $X_0=0.1$ ,  $Y_0=-0.995$ , начальные скорости оставляем нулевыми.

Введенные параметры  $X_0$  и  $Y_0$  обеспечивают значения длины маятника равной 1м и малость колебаний маятника, поскольку его начальное отклонение от положения равновесия (0,1м) составляет 0,1 от его длины. Минус при значении параметра  $Y_0$  соответствует положению стержня маятника в выбранной системе координат, показанному на рис. 9.1. Как указывалось, выше, если не оговорено иное, параметры задаются основными единицами системы СИ.

3.3 Ввести параметр модели силы тяжести.

3.3.1 Щелкнуть по изображению модели силы тяжести на схеме.

3.3.2 Ввести значение параметра силы тяжести  $F = 98.1$  или  $10 \cdot 9.81$ . Значение параметра должно быть равным значению параметра массы  $M1$  умноженному на ускорение силы тяжести.

4. Выполнить моделирование маятника.

4.1 Выбрать: «Окно» (главное меню), «Образцы компонентов», иконку с изображением калькулятора. Щелкнуть по изображению оператора «Анализ динамики» Dynamic в разделе «Операторы».

4.2 Расположить изображение оператора Dynamic на свободной части поля схемы, например, как показано на рис. 9.2 и нажать ЛКМ. Отвести курсор вместе с дублирующим изображением оператора в свободную часть поля схемы и нажать «ESC».

4.3 Ввести параметры управления процессом моделирования и запустить задачу на выполнение.

4.3.1 Щелкнуть по изображению оператора Dynamic.

4.3.2 Установить метод интегрирования «Euler».

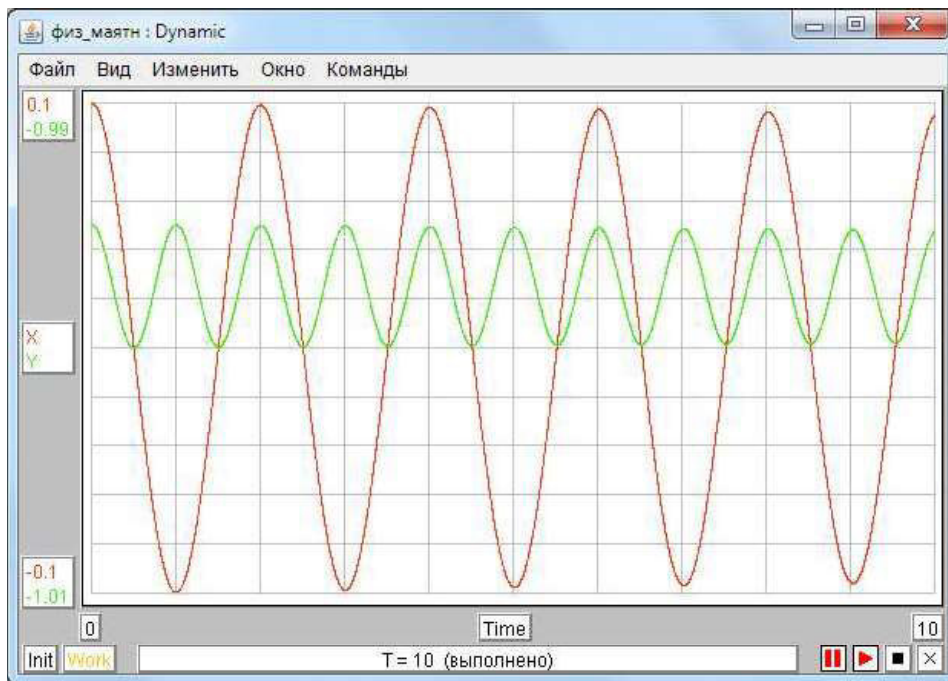
4.3.3 Установить время интегрирования 10 (абсолютное). *Указанное время представляет собой время моделируемого процесса в секундах.*

4.3.4 Установить флажок в поле  $Smx$  (максимальный шаг интегрирования). Установить значение параметра  $Smx$  в открывшемся поле равное 0.01, ОК.

4.3.5 Выбрать «Команды» (главное меню), «Выполнить задание».

5. Проанализировать и оценить полученные результаты.

Проверить адекватность модели. Получаемые результаты моделирования показаны на рис. 9.3. (в случае несоответствия полученных результатов рис. 9.3 следует повторить выполнение пунктов 2 - 4, обращая внимание на безошибочность своих действий). Визуальная оценка полученных результатов показывает, что графики перемещения груза представляют собой синусоиды и, следовательно, колебания маятника являются гармоническими. Период колебаний маятника равен 2 с и совпадает с расчетным. Амплитуда колебания равна начальному отклонению маятника. Таким образом, проверка адекватности модели маятника имеет удовлетворительные результаты.



**Рисунок 9.3**

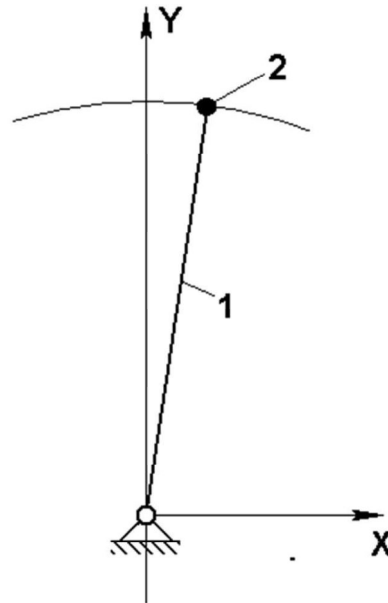
Определить количественные характеристики результатов.

Выбрать: «Окно» (главное меню окна результатов), «Мин / Макс значения». В открывшемся окне найти амплитудные значения горизонтальных составляющих скорости и перемещения груза маятника. Закрыть окно. Выбрать: «Окно» (главное меню окна результатов), «Численные значения». Совместив появившийся визир с какой-либо точкой графика, щелкнуть ЛКМ. Найти значение положения груза маятника при модельном времени 1,3 с. В строке «Вариант 1» содержатся значения величин, выведенных на графики, при выбранном значении модельного времени. В строке «Точка» содержатся значения тех же величин, соответствующие положению визира.

6. Выполнить моделирование маятника для случая «больших» колебаний.

Маятник в условиях «больших» колебаний не является линейной системой. «Большие» колебания маятника не являются гармоническими. Получение закона движения для этих условий аналитическими методами математики затруднительно. Вместе с тем моделирование позволяет получить закон движения для случая «больших» колебаний без особых затруднений, как и для случая малых колебаний, в чем можно убедиться, выполняя дальнейшие пункты задания.

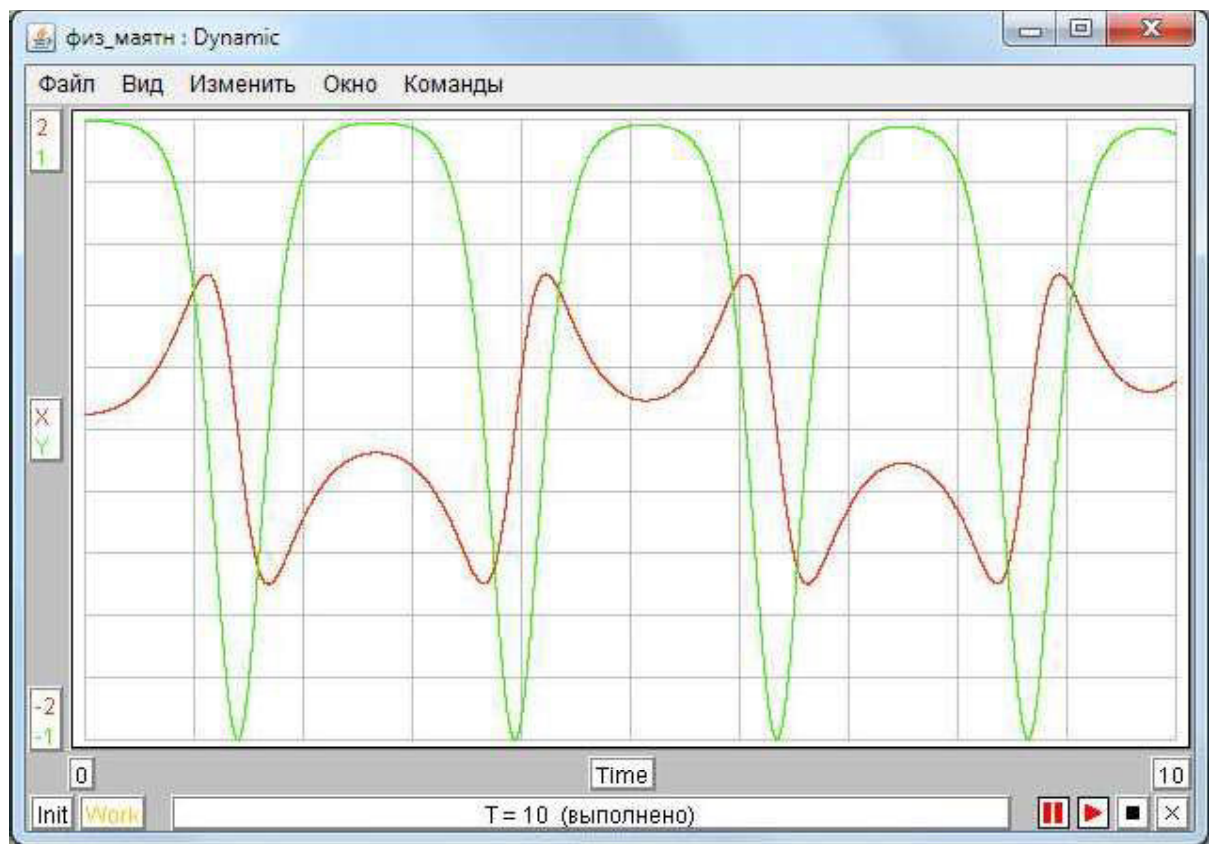
6.1 Изменить параметр  $Y_0$  модели «Т1», выполняя действия по п. 3.1, назначив его значение 0.995 вместо - 0.995. При этом исходное положение маятника будет соответствовать рис. 9.4.



**Рисунок 9.4**

6.4 Запустить задачу о моделировании маятника на выполнение.

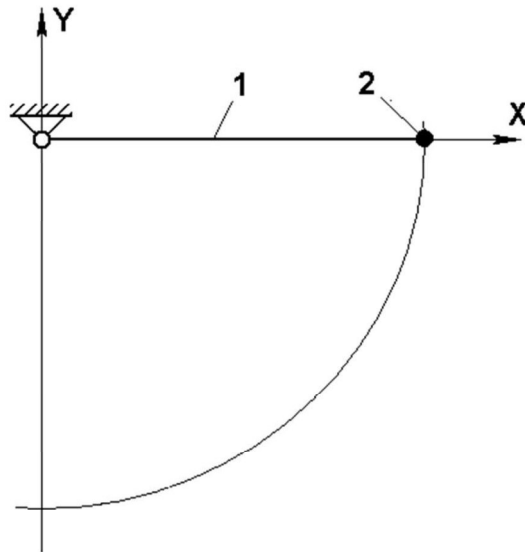
7. Проанализировать и оценить полученные результаты. Получаемые результаты моделирования показаны на рис. 9.5.



**Рисунок 9.5**

Их анализ подтверждает, что «большие» колебания маятника не являются гармоническими. Как видно из полученного графика, период «больших» колебаний маятника в нашем случае оказался равным 3,94 с. Настоящий пример дает возможность убедиться, что получение закона движения методами математического моделирования для случая «больших» колебаний маятника, т.е. при нелинейности системы, не связано с преодолением дополнительных трудностей по сравнению со случаем малых колебаний при линейности динамической системы.

8. Пользователю предлагается самостоятельно на основе полученного опыта повторить моделирование для случая горизонтального исходного положения маятника, которое показано на рис. 9.18, введя соответствующие значения параметров  $X_0$  и  $Y_0$  в модели «Г1». Убедиться в негармоническом характере колебаний, определить период колебаний.



**Рисунок 9.6**

9. Выполнить моделирование маятника для случая малых колебаний с выводом всех силовых и кинематических переменных.

9.1 Вернуться к параметрам моделей, атрибутам индикаторов и параметрам управления процессом моделирования для случая малых колебаний маятника (см. п.п. 2, 3, 4.3).

9.2 Установить индикаторы

9.2.1 Установить индикаторы «Универсальные индикаторы». С помощью этого индикатора можно наблюдать как фазовые переменные (в нашем случае скорости и силы, моменты сил), так и расчетные переменные, определяемые в подпрограмме модели элемента.

Поставим 2 индикатора и с их помощью будем наблюдать усилия в шарнире.

9.2.2 Назначить атрибуты установленных индикаторов.

9.2.2.1 Щелкнуть по изображению верхнего введенного индикатора на схеме.

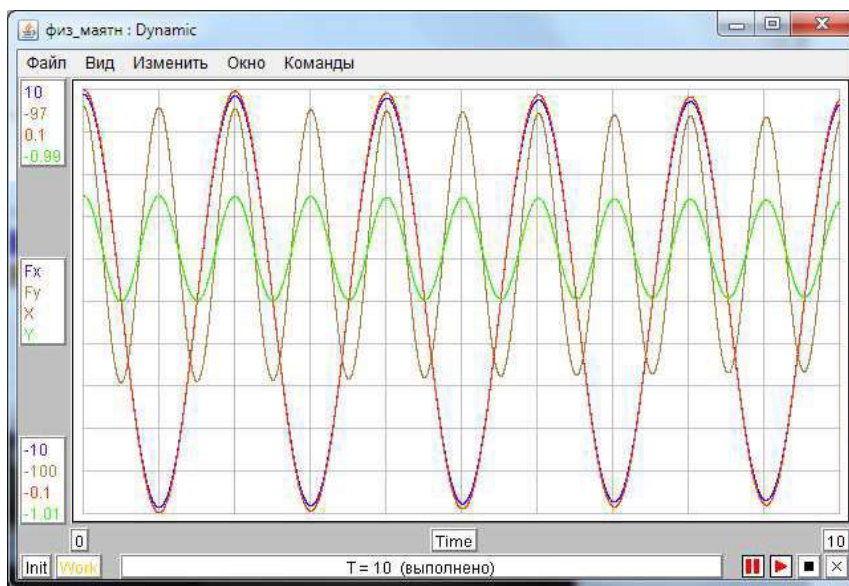
9.2.3 Установить цвет линии графика. Установить флажок в поле «Включен» (см. п. 2.2.1.5.3.). Установить имя индикатора ( $F_x, F_y$ ). Выбрать элемент Shrn1. Выбрать тип переменной – «Поток». Выбрать номер переменной – “1” – для силы по оси X, “2” – для силы по оси Y. ОК.

9.3 Выполнить моделирование.

Получаемые результаты моделирования показаны на рис. 9.7. Для удобства анализа можно «развернуть» часть полученного графика. Для этого нужно переместить курсор в левый верхний угол левой верхней ячейки «разворачиваемой» части графика, нажать ЛКМ, переместить курсор в правый нижний угол правой нижней ячейки разворачиваемой части графика (при этом разворачиваемая часть графика окрашивается в желтый цвет) и отпустить ЛКМ. Возврат в исходный режим можно осуществить, щелкнув по полю «Work».

10.1 Осуществить ввод и удаление графиков.

10.1.1 В окне результатов щелкнуть «Вид» (главное меню), «Атрибуты графиков» (альтернатива – щелкнуть по одному из полей значений величин графиков на верхней и нижней осях;»). Удалить флажки в полях графиков X, Y колонки «Вкл.», ОК. Удаление графиков, не представляющим интерес, целесообразно осуществлять связи с трудностями восприятия чрезмерно большого количества информации или по другим причинам.



*Рисунок 9.7*

## 9.2 Моделирование маятника при наличии трения в опоре.

В предыдущей задаче моделировалась работа идеального маятника, в котором отсутствовали энергетические потери. При этом амплитуда колебаний маятника, как это было видно по результатам моделирования, оставалась постоянной. Работа реальных устройств, например, маятника механических часов, сопровождается



потерями энергии при работе. Энергетические потери в таком маятнике имеют место за счет трения в его опоре. Работу опоры с трением можно воспроизвести с помощью модели шарнира «SHARN2» (см. документ «Моделирование кузнечно-штамповочного оборудования средствами программного комплекса анализа динамических систем ПК МДС»), которая имеет полюса, соответствующие координате угловых перемещений элементов шарнира. Фазовыми переменными в этих полюсах будут моменты трения. Модель шарнира по этой координате должна взаимодействовать со стержнем маятника. Поэтому модель, воспроизводящая свойства стержневого элемента так же должна иметь полюса, соответствующие угловым перемещениям его концов. Такой моделью является модель сжимаемого (растяжимого) и изгибаемого стержневого элемента «BALKA2» (см. документ «Моделирование кузнечно-штамповочного оборудования средствами программного комплекса анализа динамических систем ПК МДС»).

Для решения задачи необходимо выполнить следующие действия.

1. Создать топологию маятника в соответствии с рис. 9.29, обращаясь: «Окно» (главное меню окна графического редактора), «Механика».

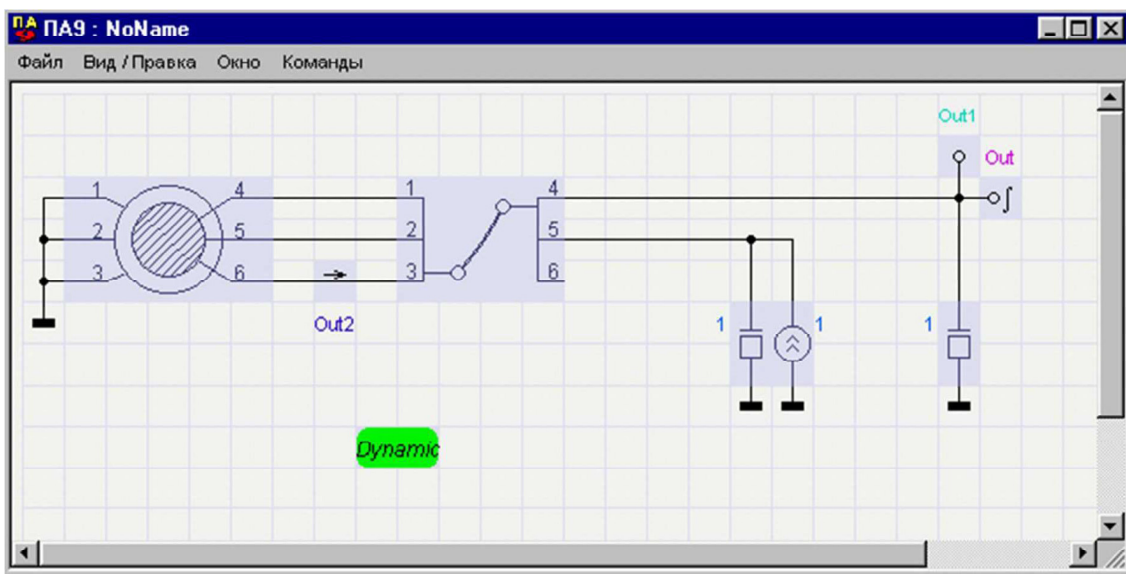


Рисунок 9.8

На ней первые три полюса модели шарнира «SHARN2», соответствующие неподвижному (например, внешнему) элементу шарнира, соединяются с базовым узлом, представляющим собой систему отсчета. Три остальных полюса, соответствующие линейным координатам «x», «y» и вращательной координате «φ»

движения подвижного (внутреннего) элемента шарнира, соединяются с тремя соответствующими полюсами модели стержня «BALKA2». Эти три полюса соответствуют концу стержня маятника, прикрепленному к подвижному элементу шарнира. Два следующие полюса модели стержня (четвертый и пятый), как и в задаче №1, соединяются с моделями массы и силы тяжести. Шестой полюс, соответствующий вращательной координате движения конца стержня, к которому прикреплен груз остается свободным. Индикаторы Out, Out1 те же, что и в задаче №1. Индикатор потока, включенный в разрыв связи моделей шарнира и стержня (Out2), предназначен для вывода фазовой переменной типа потока в этой связи. Так как эта связь соответствует общей для подвижного элемента шарнира и прикрепленного к нему конца стержня вращательной координате, фазовая переменная типа потока будет представлять момент сил, в данном случае – момент сил трения.

При создании связей следует иметь в виду, что перемещение курсора при нажатой клавише «Ctrl» (см. п. 2.1.5) создает соединение пересекающихся связей (в месте соединения появляется точка). При этом во всех соединенных связях будет действовать общая ФП типа потенциала. Перемещение курсора при нажатой клавише Shift не создает соединения пересекающихся связей. При этом в каждой из пересекающихся связей будут действовать различные ФП типа потенциала.

2. Назначить атрибуты индикаторов, включая цвет кривых графиков. В индикаторах Out, Out1 и Out2 заменить идентификаторы на Mt, Vx и Sx, соответственно. Для индикаторов Vx и Sx пределы не указывать, установить флажки в полях «Автокорректировка пределов» и «Включен». В индикаторе Sx начальное значение установить равным 0,1. Для индикатора Mt указать пределы 2.5 и -2.5. Установить флажок в поле «Включен». В поле «Автокорректировка пределов» флажок убрать.

3. Ввести параметры моделей.

Для модели шарнира «SHARN2»:  $D = 0.1$ ,  $B = 0.1$ ,  $Z = 0$ ,  $KTR = 0.1$ ,  $E1 = 2.e11$ ,  $E2 = 2.e11$ ,  $M1 = 0.001$ ,  $J1 = 0.0001$ ,  $M2 = 0.001$ ,  $J2 = 0.0001$ ,  $TIAG = 1$ .

Для модели стержневого элемента «BALKA2»:  $DLTX = 0.1$ ,  $DLTY = -0.99$ ,  $F = 1$ ,  $JX = 1.e-5$ ,  $E = 2.e11$ ,  $M = 0$ ,  $J = 0$ ,  $LC = 0.5$ ,  $TIAG = 1$ .

Параметры массы груза и источника силы тяжести назначить такими же, как и в задаче №1.

4. Ввести параметры управления процессом моделирования. Установить Метод интегрирования - «Euler». Время интегрирования - 20с.  $S_{mn} = 1.e-9$ ,  $S_{st} = 1.e-7$ ,  $S_{mx} = 1.e-4$ .

5. Выполнить моделирование. Проанализировать полученные результаты. Убедиться в наличии затухания колебательного процесса. Результаты не удалять до выполнения задачи.

6. Изменить значение коэффициента трения в модели шарнира «SHARN2», введя  $KTR = 0.2$ , а затем –  $KTR = 0.5$ .

7. Выполнить моделирование. Проанализировать полученные результаты. Убедиться в увеличении затухания колебательного процесса с увеличением коэффициента трения.

8. Изменить значение зазора в модели шарнира «SHARN2», введя  $Z = 0.01$ , вернуть значение коэффициента трения  $KTR = 0.1$ .

9. Выполнить моделирование. Проанализировать полученные результаты. Открыть окно «Атрибуты графиков» (п. 10.1.1). Установить флажок в поле колонки «Авто» для графика  $Mt$ , ОК. Развернуть первую во времени ячейку графика. Проанализировать полученные результаты.

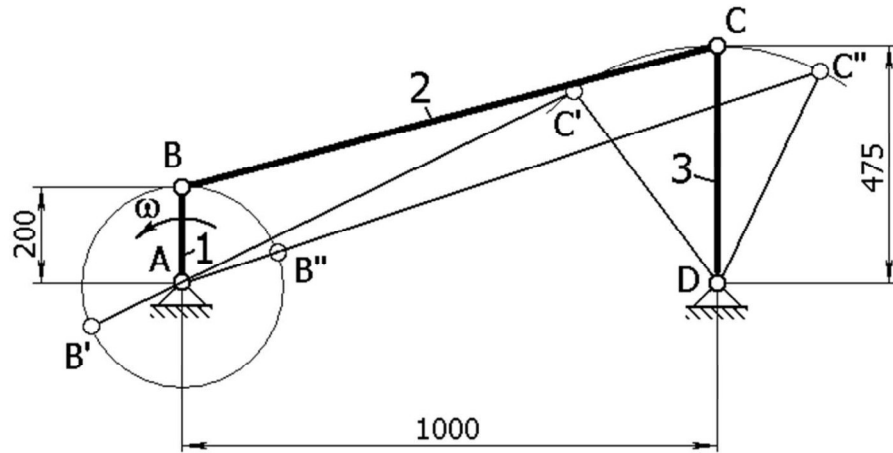
### **9.3 Моделирование шарнирного четырехзвенного механизма**

Целями решения задачи являются дальнейшее знакомство с возможностями моделирования с помощью ПК МДС и их освоение. Схема четырехзвенника с необходимыми размерами показана на рис. 9.30. Частота вращения ведущего звена 1 – 1об/с (6,28 1/с). Исходное положение задается положением шарниров ABCD. Крайние положения –  $AB'C'D$  и  $AB''C''D$ .

Для решения задачи необходимо выполнить следующие действия.

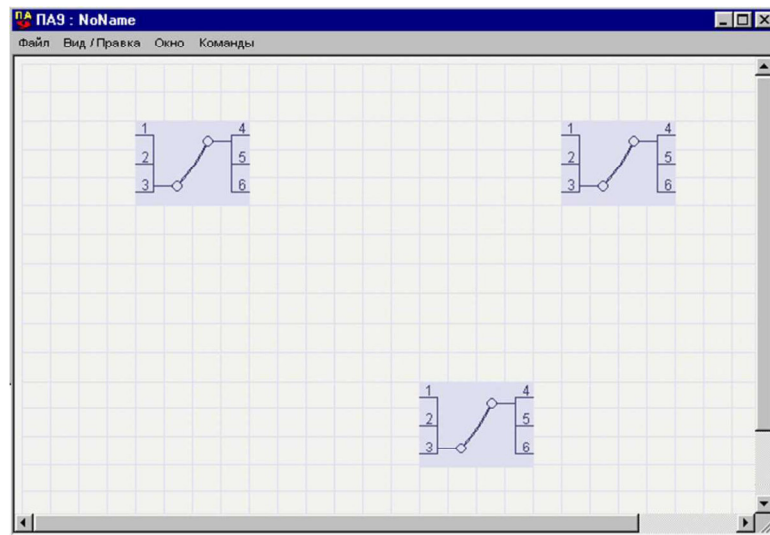
1. Запустить комплекс ПК МДС.
2. Создать топологию четырехзвенника. Целесообразно перейти в полноэкранный режим. Изменять размер изображения топологии можно нажатием (возможно неоднократно) клавиш «←» и «+» в правой группе клавиш клавиатуры.

Изменение размеров рабочего поля выполняется выбором: «Вид / Правка» (главное меню) «Изменить размер рабочего поля...».



**Рисунок 9.9**

2.1 Разместить на поле схемы изображения трех моделей сжимаемого (растяжимого) и изгибаемого стержневого элемента «BALKA2», как показано на рис. 9.31. Моделями в составе модели четырехзвенника будут воспроизводиться свойства элементов 1, 2, 3 (рис. 9.30).

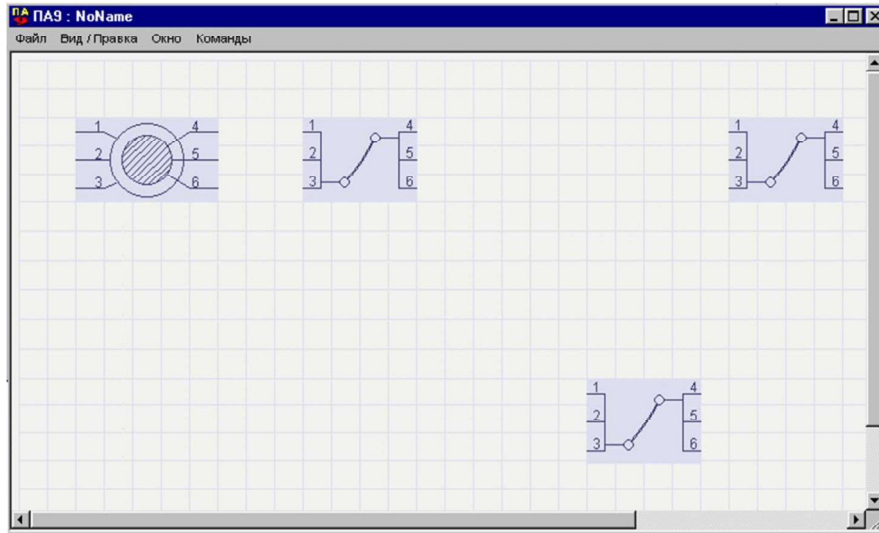


**Рисунок 9.10**

Разместить на поле схемы изображения четырех моделей шарнира «SHARN2». Моделями в составе модели четырехзвенника будут воспроизводиться свойства элементов A, B, C, D (рис. 9.30).

2.2.1 Разместить на поле схемы графические образы модели шарнира «SHARN2», как показано на рис. 9.32.

2.2.2 Разместить на поле схемы графические образы двух моделей шарнира «SHARN2» путем несвязного копирования. Параметры всех моделей, установленных в поле схемы путем несвязного копирования, будут одинаковыми, но впоследствии могут назначаться независимо.

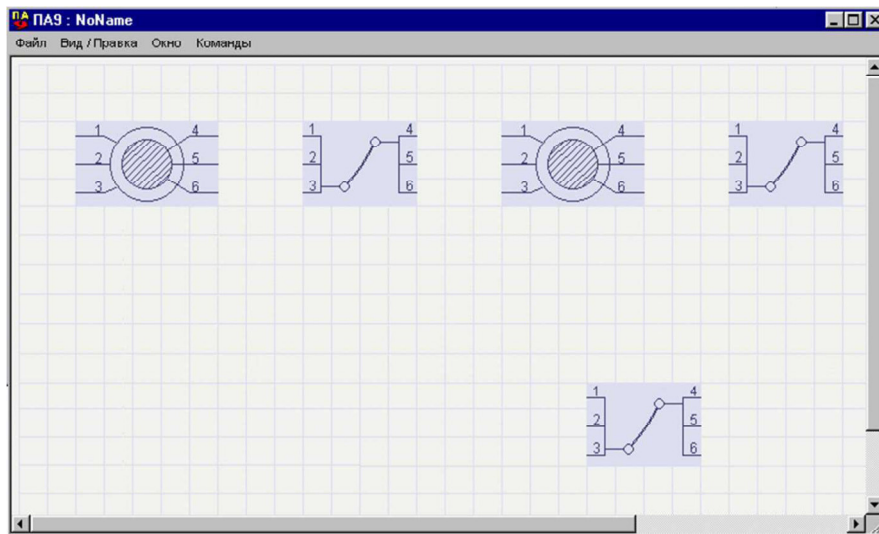


*Рисунок 9.11*

2.2.2.1 Вызвать контекстное меню, как в п.п. 9.2.3.1, 9.2.3.2. задачи №1, для чего щелкнуть ПКМ по имеющемуся на схеме графическому образу модели шарнира «SHARN2».

2.2.2.2 Щелкнуть по второй иконке раздела под заголовком «Клавиша:» контекстного меню.

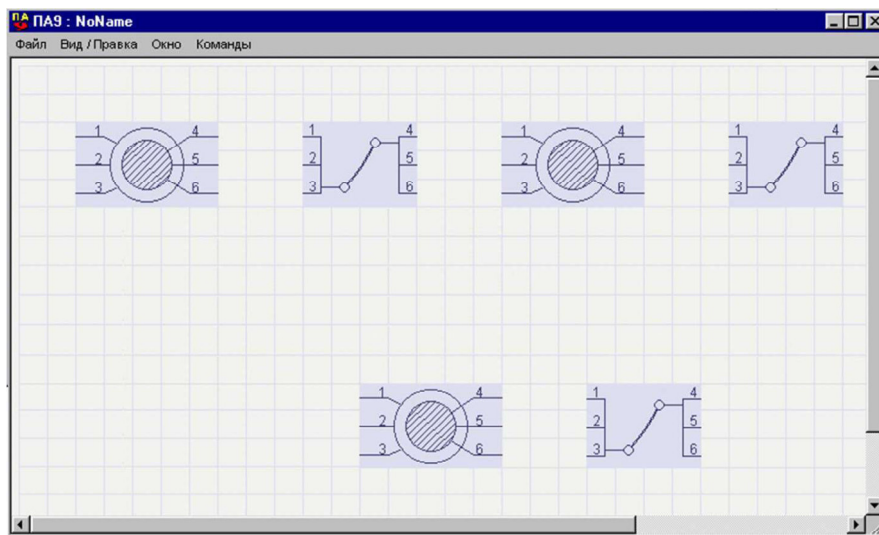
2.2.2.3 Курсором при нажатой ЛКМ переместить связную копию модели в положение, показанное на рис. 9.33.



*Рисунок 9.12*

2.2.2.4 Щелкнуть ПКМ по перемещенной копии модели «SHARN2». Переориентировать графический образ, щелкнув по значку «↔». Щелкнуть по четвертой иконке раздела под заголовком «Клавиша:» контекстного меню. Переориентация графического образа связана с необходимостью учёта того, каким элементом (внутренним или внешним) соответствующий шарнир соединен со смежными стержневыми элементами

2.2.2.5 Повторить действия по п.п. 2.3.2.1 - 2.3.2.4 в отношении графического образа второй копируемой модели шарнира «SHARN2» (рис. 9.34).



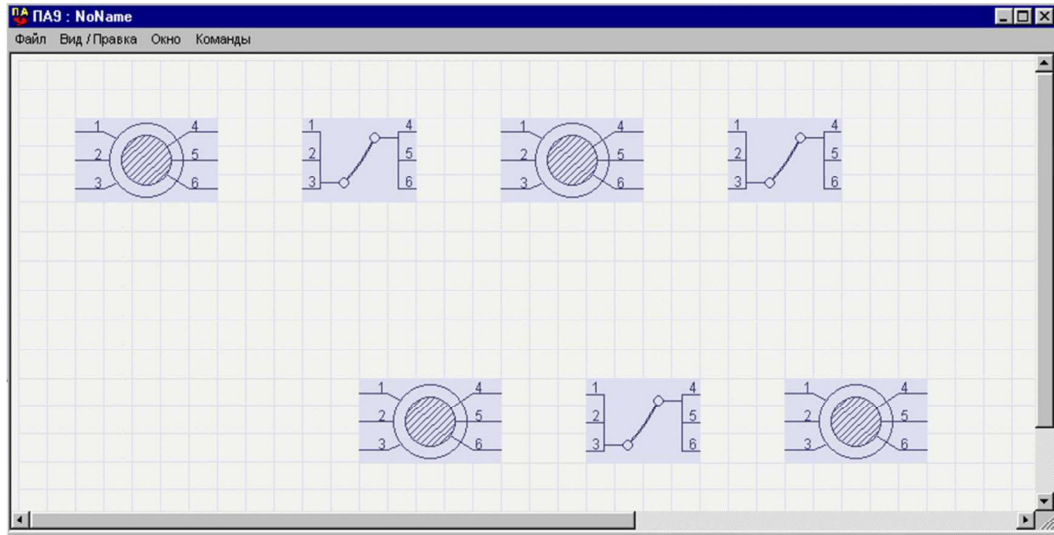
**Рисунок 9.13**

2.2.3 Выполнить связное копирование четвертой модели шарнира «SHARN2». Установка моделей путем связного копирования имеет смысл, если эти модели всегда имеют одинаковые параметры. Изменение любого параметра в любой из этих моделей приведет к соответствующему изменению этого параметра для всех остальных моделей. Назначение общих для всех этих моделей параметров может быть осуществлено в любой модели из числа моделей, установленных связным копированием.

2.2.3.1 Вызвать контекстное меню, для чего щелкнув ПКМ по имеющемуся на схеме графическому образу первоначально установленной модели шарнира «SHARN2».

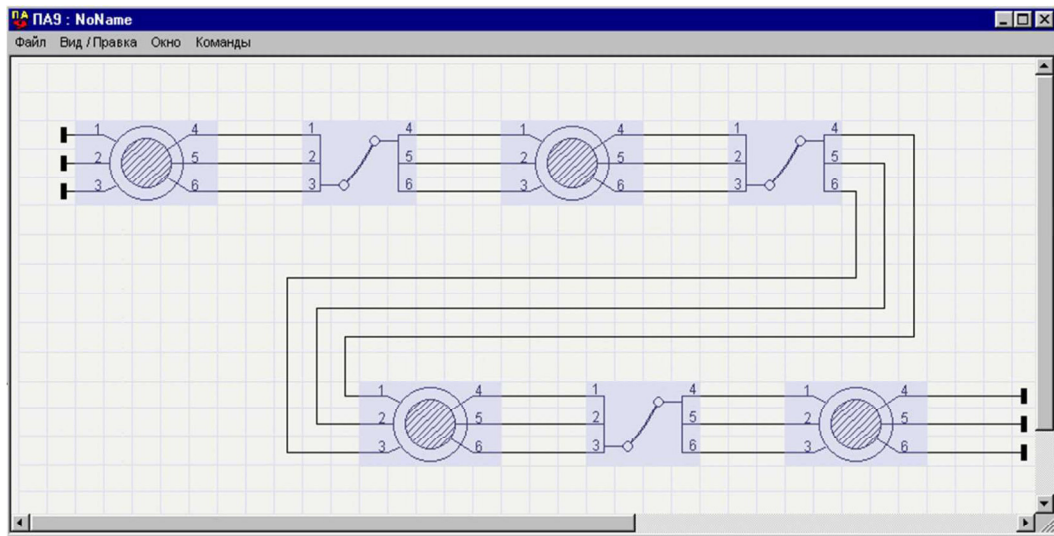
2.2.3.2 Щелкнуть по третьей иконке раздела под заголовком «Клавиша:» контекстного меню.

2.2.3.3 Курсором при нажатой ЛКМ переместить связную копию графического образа модели, переориентировать ее и «опустить» его (п. 2.2.2.4), как показано на рис. 9.35.



**Рисунок 9.14**

2.3 Выполнить соединения моделей их полюсами, включая и соединения полюсов с базовым узлом, как показано на рис. 9.36. В соответствии со схемой механизма (см. рис. 9.30) три подвижных звена, неподвижное звено (система отсчета) и четыре шарнира соединены «цепочкой» (последовательно), образуя замкнутый контур. Поэтому на рис. 9.36 модели соединены также последовательно. Каждое соединение выполнено для полюсов, соответствующих одной координате пространства: верхний ряд связей – координате «x», средний ряд - координате «у», нижний ряд - координате «ф» (см. документ «Моделирование кузнечно-штамповочного оборудования средствами программного комплекса анализа динамических систем ПК МДС», описания моделей «BALKA2» и «SHARN2»). Соединение крайних (по схеме) моделей шарниров тремя полюсами каждой из них с базовым узлом соответствует неподвижности по всем трем координатам элементов соответствующих шарниров.

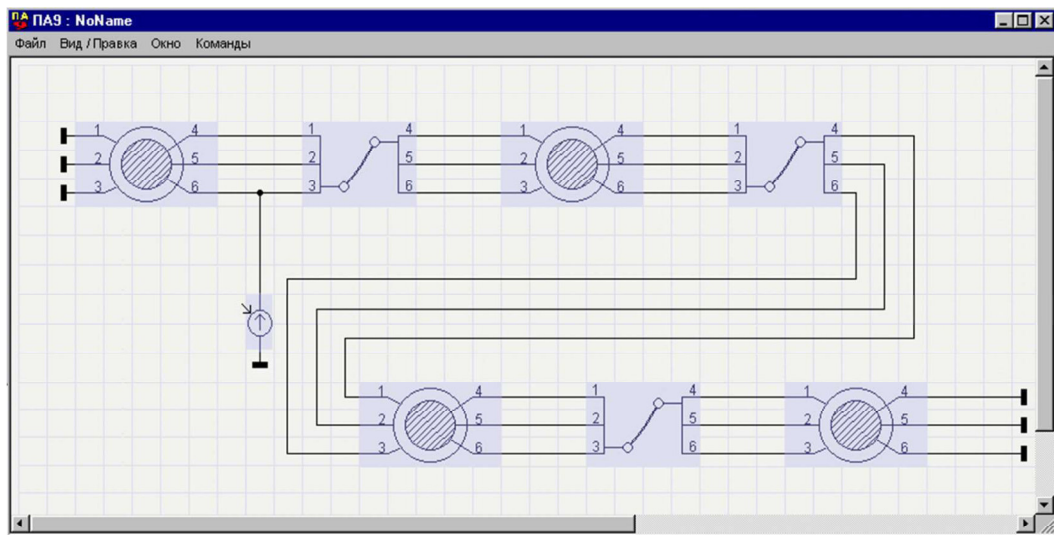


**Рисунок 9.15**

2.4 Установить на поле схемы изображение модели источника скорости.

2.4.1 Выбрать: «Окно» (главное меню), «Образцы компонентов», «Механика».

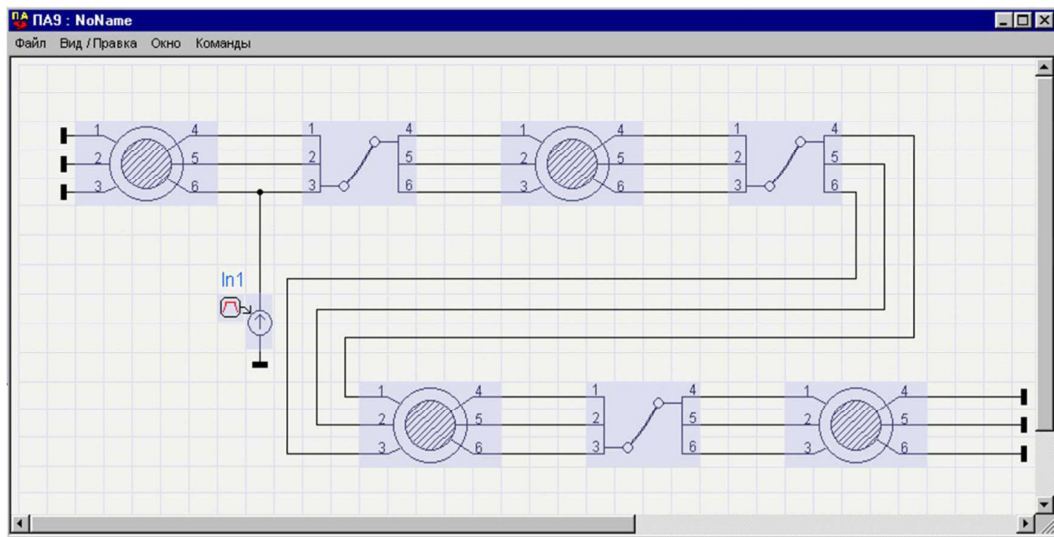
Щелкнуть по графическому образу модели «Управляемый источник скорости...VU», разместить его на схеме и присоединить, как показано на рис. 9.37. Модель является источником ФП типа потенциала. Ее присоединение к узлу, соединения шестого полюса модели шарнира А и модели стержня 1 (см. рис. 9.30) означает сообщение скорости внутреннему элементу шарнира и присоединённого к нему конца стержневого элемента. Так как указанный узел представляет вращательную координату, сообщаемая им скорость будет угловой.



**Рисунок 9.16**



2.4.2 Выбрать: «Окно», (главное меню), «Образцы компонентов», «Функции». Щелкнуть по графическому образу компонента «Трапецеидальный» в разделе «Источники сигналов», разместить его на схеме и присоединить, как показано на рис. 9.38.



**Рисунок 9.17**

Установленный таким образом источник сигнала будет задавать изменение угловой скорости стержня 1 (см. рис. 9.30) по трапецеидальному закону. При этом скорость будет иметь период нарастания от нулевого до конечного значения. Последнее необходимо в связи с тем, что сообщение конечной скорости без периода нарастания (мгновенное увеличение скорости) приведет к появлению бесконечно больших ускорения и сил инерции, что может создать трудности вычислительного характера.

2.5 Назначить атрибуты моделей.

2.5.1 Назначить атрибуты моделей шарниров.

2.5.1.1 Назначить идентификаторы моделей шарниров в порядке их следования (см. рис. 9.30): A, B, C, D.

2.5.1.2. Назначить параметры модели шарнира A:  $D = 0.02$ ,  $B = 0.02$ ,  $Z = 0.$ ,  $KTP=0.1$ ,  $E1 = E2 = 2 \cdot 10^{11}$ ,  $M1 = M2 = 2.$ ,  $J1 = J2 = 0.002$ ,  $TIAG = 1$ .

Виду того, что модель шарнира D была установлена связным копированием (см. п. 2.2.3), параметры этого шарнира оказываются заданными такими же, что и параметры шарнира A, в чем можно убедиться их просмотром.

2.5.1.3 Назначить параметры модели:

- для шарнира В:  $D = 0.012$ ,  $B = 0.01$ ,  $Z = 0.$ ,  $KTP=0.1$ ,  $E1 = E2 = 2 \cdot 10^{11}$ ,  $M1 = M2 = 1.$ ,  $J1 = J2 = 0.001$ ,  $TIAG = 1$ ;

- для шарнира С:  $D = 0.01$ ,  $B = 0.008$ ,  $Z = 0.$ ,  $KTP=0.1$ ,  $E1 = E2 = 2 \cdot 10^{11}$ ,  $M1 = M2 = 1.$ ,  $J1 = J2 = 0.001$ ,  $TIAG = 1$ .

#### 2.5.2 Назначить атрибуты моделей «BALKA2»:

- для элемента 1: Идентификатор – В1,  $DLTX = 0$ ,  $DLTY = 0.2$ ,  $F = 10^{-3}$ ,  $JX=10^{-5}$ ,  $E=10^{11}$ ,  $M = 1$ ,  $J = 0.003$ ,  $LC = 0.1$ ,  $TIAG = 1$ ;

- для элемента 2: Идентификатор – В2,  $DLTX = 1$ ,  $DLTY = 0.275$ ,  $F = 10^{-3}$ ,  $JX=10^{-5}$ ,  $E=10^{11}$ ,  $M = 3$ ,  $J = 0.03$ ,  $LC = 0.515$ ,  $TIAG = 1$ ;

- для элемента 3: Идентификатор – В3,  $DLTX = 0$ ,  $DLTY = -0.475$ ,  $F = 10^{-3}$ ,  $JX=10^{-5}$ ,  $E=10^{11}$ ,  $M = 1$ ,  $J = 0.003$ ,  $LC = 0.2375$ ,  $TIAG = 1$ .

Назначаемые размерные параметры соответствуют положению механизма, показанному на рис. 9.30.

#### 2.5.3 Назначить атрибуты моделей, задающих движение в четырехзвеннике.

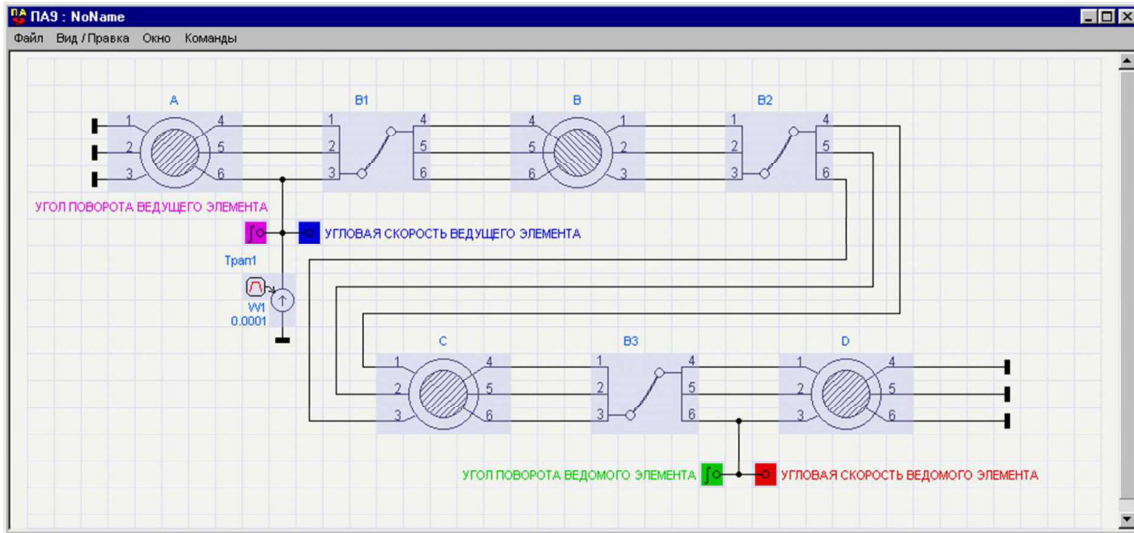
2.5.3.1 Назначить атрибуты модели источника угловой скорости. Назначить идентификатор модели W1. Установить флажок в поле Ri. В открывшемся поле установить значение  $Ri = 0.0001$ . Остальные параметры оставить без изменения. Назначение параметра «Ri» определяется особенностями моделируемого объекта, требует знаний особенностей применяемых в комплексе вычислительных методов и здесь не обсуждается.

2.5.3.2 Назначить атрибуты трапецидального источника сигнала: «Начальная задержка» – 0, «Период повтора» – 0, «Пассивный уровень» – 0, «Активный уровень» – 6.28, «Длительность переднего фронта» – 0.01, «Длительность вершины» – 1000, «Длительность заднего фронта» – 0.01. Идентификатор – «Трап».

### 3. Установить индикаторы.

3.1 Установить индикаторы в соответствии с рис. 9.39. Назначить атрибуты индикаторов. Установить флажки-галочки в полях «Включен» и «Автокорректировка пределов». Назначить идентификаторы: для индикаторов «Интеграл потенциала» и «Потенциал», подключенных к полюсам моделей А и В1 – Fi1 и W1, соответственно, для индикаторов «Интеграл потенциала» и «Потенциал»,

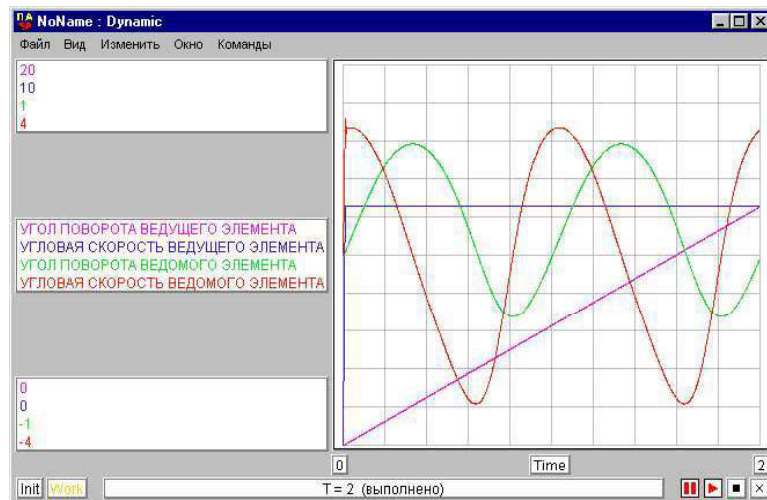
подключенных к полюсам моделей В3 и D – F13 и W3, соответственно. Назначить цвета графиков.



**Рисунок 9.18**

4. Выполнить моделирование шарнирного четырехзвенника (см. п. 4 задачи №1). Метод интегрирования - «Euler», время интегрирования - 2 с,  $S_{mn} = 10^{-9}$ ,  $S_{st} = 10^{-5}$ ,  $S_{mx} = 10^{-3}$ ,  $D_{li} = 1$ ,  $D_{lu} = 0.1$ .

5. Проанализировать полученные результаты. Получаемые результаты моделирования показаны на рис. 9.40.



**Рисунок 9.19**

6. Сделать копию составленной схемы.

7. В копии схемы внести изменения: параметр DLTx модели B2, установить равным 1.375; параметр DLTx модели B3, установить равным – 0.375. Измененная модель соответствует четырехзвеннику, показанному на рис. 9.41. Его особенностью

является близость крайнего его положения (AB''C''D) к предельному, за которым ведущее звено не может совершить полный оборот. В этом случае работа механизма характеризуется наличием периодов, когда переменные (скорость, перемещение) имеют изменения с повышенной интенсивностью.

8. Выполнить моделирование.

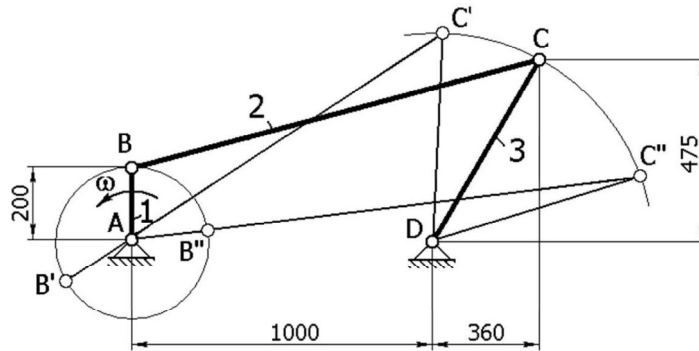


Рисунок 9.20

9. Проанализировать полученные результаты. Получаемые результаты моделирования показаны на рис. 9.42. Следует обратить внимание на характерные отличия полученных результатов от приведенных на рис. 9.40, заключающиеся в наличии участков графиков с повышенной интенсивностью изменения перемещения и скорости звена 3, в наличии заметных динамических процессов. Это является следствием близости крайнего положения механизма AB''C''D к предельному, что определяется принятыми размерами четырехзвенника (см. рис. 9.41).

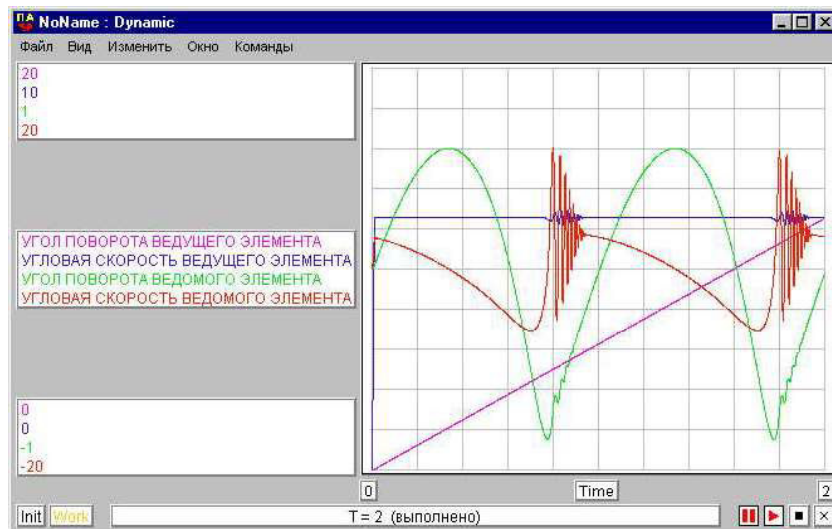


Рисунок 9.21

10. В первоначальном варианте схемы (п. 4) установить дополнительные индикаторы в соответствии с рис. 9.43.

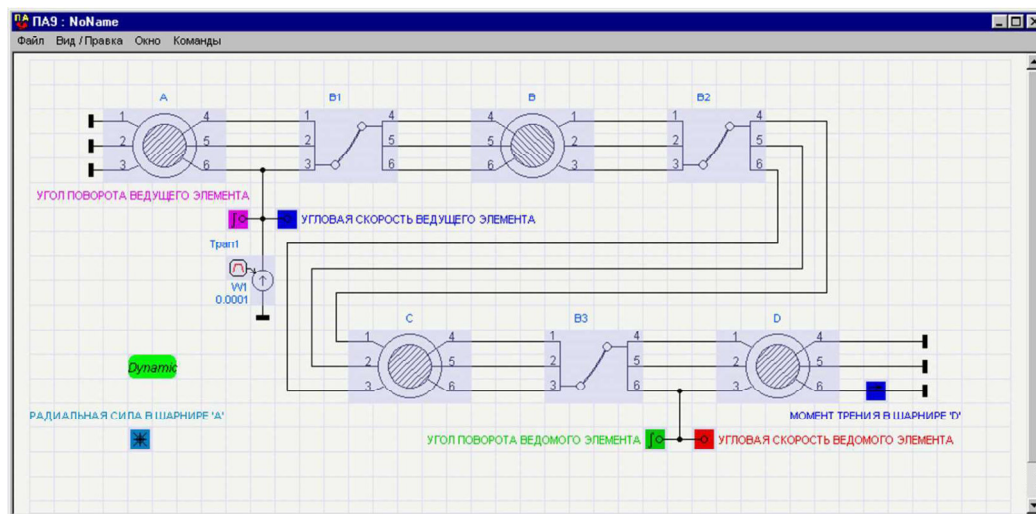


Рисунок 9.22

10.1 Установить индикатор потока. С помощью индикатора будет выводиться момент трения в шарнире D.

10.2 Назначить атрибуты индикатора потока. Установить флажок в поле «Включен». Ввести идентификатор индикатора «МОМЕНТ ТРЕНИЯ В ШАРНИРЕ 'D'». Удалить флажок в поле «Автоматическая корректировка пределов». Назначить значения верхнего и нижнего пределов «1» и «-1». Назначить цвет графика. Удалить флажок в поле «Идеальный», сохранив значение параметра «Rint» в открывшемся окне. Назначение параметра «Rint» определяется особенностями моделируемого объекта, требует знаний применяемых в комплексе вычислительных методов и здесь не обсуждается.

10.3 Установить универсальный индикатор как показано на рис. 9.43, для чего выбрать: с помощью универсального индикатора могут быть выведены не только ФП, но и так называемые расчетные переменные моделей. Последние не являются фазовыми переменными, но вычисляются через них в моделях и могут представлять интерес для пользователя. В нашем случае с помощью универсального индикатора предлагается осуществить вывод радиальной силы в первом шарнире. Оно может быть определено через проекции радиальной силы в шарнире на координатные оси, которые являются ФП типа потока в 1 и 2 (3 и 4) полюсах модели шарнира, путем извлечения квадратного корня из суммы квадратов этих ФП. Величина радиальной

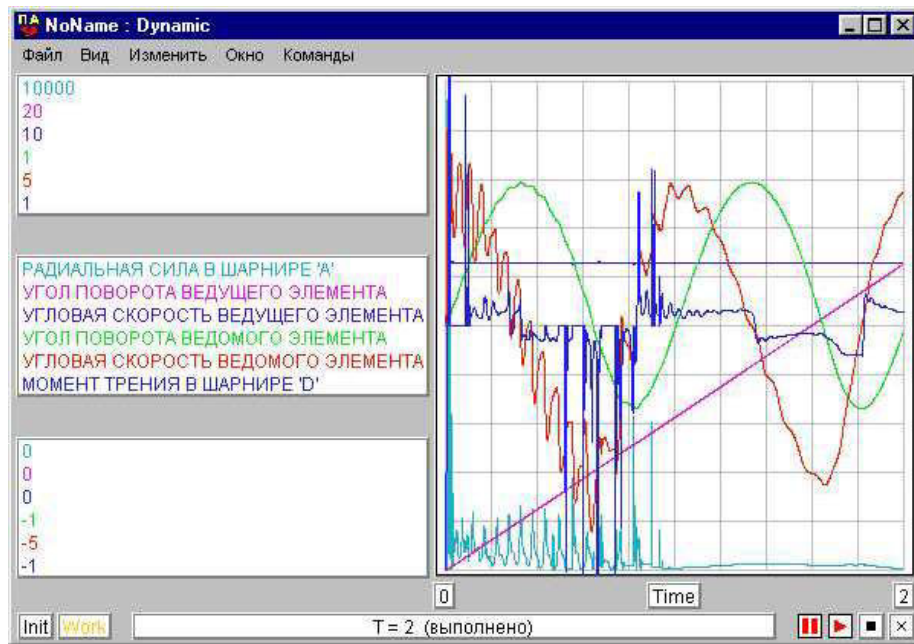
силы представляет интерес, поскольку используется при расчете шарниров на прочность и износ. Определение его вручную по результатам вывода проекций радиальной силы трудоемко, поскольку момент максимума ее во времени неизвестен, а, потому, требует вычислений большого числа ее значений.

10.4 Назначить атрибуты универсального индикатора. Установить флажок в поле «Включен». Ввести идентификатор индикатора «РАДИАЛЬНАЯ СИЛА В ШАРНИРЕ 'А'». Удалить флажок в поле «Автокорректировка пределов». Назначить верхний и нижний пределы  $10^3$  и  $(-10)^3$ . Выбрать цвет графика. В поле «Элемент» указать введенный идентификатор первого шарнира – А. В качестве типа переменной выбрать «Расчетная переменная». Указать номер переменной – 2.

10.5 Выполнить моделирование. Метод интегрирования - «Euler», время интегрирования – 2 с,  $S_{mn} = 10^{-9}$ ,  $S_{st} = 10^{-5}$ ,  $S_{mx} = 10^{-4}$ ,  $D_{li} = 1$ ,  $D_{lu} = 0.1$ . Проанализировать полученные результаты. Полученные результаты сохранить для сравнения с последующими.

10.6 Выполнять моделирование, изменяя параметр KTR коэффициента трения в шарнирах и вводя значения 0.2, 0.5 и 0. Проанализировать полученные результаты. Сравнить полученные результаты с предыдущими.

10.7 Восстановить значение коэффициента трения  $KTR = 0.1$ . В любой модели шарнира, например, шарнире А ввести значение параметра зазора в шарнире  $Z = 0.006$ . Выполнить моделирование (рис. 9.44). Проанализировать полученные результаты. Сравнить полученные результаты с полученными в п. 10.5.



**Рисунок 9.23**

10.8 Установить нулевые зазоры в шарнирах. Устанавливать другие индикаторы потока в разрывы соединений моделей, выбирая места установки по своему усмотрению. Устанавливать другие индикаторы потенциала и интеграла потенциала, выбирая места установки по своему усмотрению.

Индикаторами потока будут выводиться горизонтальные, вертикальные силы или моменты в элементах механизма в зависимости от места установки индикатора. Индикаторами потенциала и интеграла потенциала будут выводиться горизонтальные, вертикальные или угловые скорости и перемещения элементов механизма в зависимости от места установки индикатора.

## **9.4 Исследование частотных характеристик объекта**

### **9.4.1 Теоретическая часть**

Исследование частотных характеристик объекта – традиционная проектная процедура, основы которой были заложены еще в докомпьютерный период. Исходной математической моделью объекта для частотного анализа является система обыкновенных дифференциальных уравнений.

Использование преобразования Фурье переводит эту модель в систему алгебраических уравнений с комплексными переменными, которая и подлежит решению, независимой переменной при этом является круговая частота.

Результатом частотного анализа являются амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ), которые показывают, как меняется амплитуда и фаза выходного сигнала при изменении частоты входного сигнала. Амплитуда входного сигнала подразумевается равной единице.

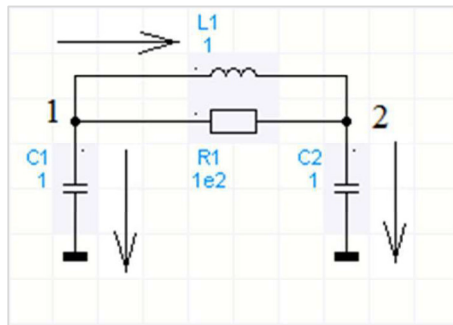
Как динамику объекта, так и его частотные характеристики определяют реактивные элементы типа С и типа L, поскольку только их компонентные уравнения содержат производные по времени. Канонические уравнения этих элементов

$$I_c = C \frac{dU_c}{dx}, \quad U_L = L \frac{dI_L}{dx}$$

в результате преобразования Фурье приводятся к следующим:

$$I_c = j\omega C U_c, \quad U_L = j\omega L I_L \quad \text{или} \quad I_L = -\frac{j}{\omega L} U_L$$

Рассмотрим пример получения модели для частотного анализа в рамках модифицированного узлового метода, который реализован в комплексе ПК МДС для схемы, представленной на рис. 9.45.



**Рисунок 9.24**

Здесь  $C_1 = C_2 = 1$ ,  $L_1 = 1$ ,  $R_1 = 100$  - параметры элементов схемы. Направления тока в схеме показаны стрелками.

Составляем уравнения первого закона Кирхгофа для узлов с учетом того, что вытекающий из узла ток считаем положительным, иначе отрицательным.

$$\begin{bmatrix} j\omega C_1 - \frac{j}{\omega L_1} + \frac{1}{R_1} & \frac{j}{\omega L_1} - \frac{1}{R_1} \\ \frac{j}{\omega L_1} - \frac{1}{R_1} & j\omega C_2 - \frac{j}{\omega L_1} + \frac{1}{R_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

где -  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  - узловые потенциалы.



В этой математической модели отсутствует входной сигнал. Задать его можно либо источником тока, либо источником напряжения (в механике различают силовое и скоростное возмущение). При задании источником тока достаточно в правой части для первого узла задать единицу. В результате имеем систему линейных алгебраических уравнений в комплексных переменных относительно неизвестных  $\varphi$ , при независимой переменной  $\omega$ . Задавая значение  $\omega$ , решая систему уравнений, получаем комплексные значения  $\varphi$ . Точка АЧХ может быть получена через соотношение амплитуд комплексных чисел на выходе ко входу:

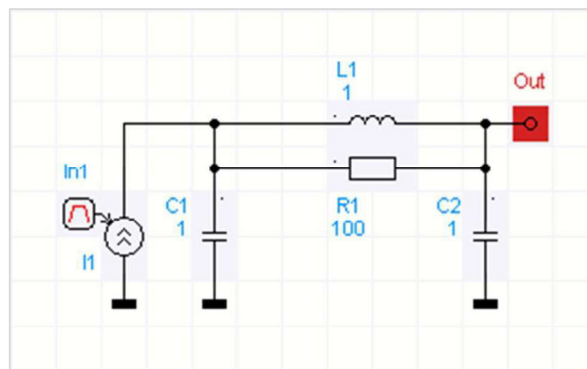
$$A = \frac{\sqrt{\operatorname{Re}^2(\varphi_2) + \operatorname{Im}^2(\varphi_2)}}{\sqrt{\operatorname{Re}^2(\varphi_1) + \operatorname{Im}^2(\varphi_1)}}$$

А точка ФЧХ – вычитанием фаз комплексных чисел на выходе и входе:

$$\Phi = \operatorname{arctg}\left(\frac{\operatorname{Im}(\varphi_2)}{\operatorname{Re}(\varphi_2)}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{\operatorname{Im}(\varphi_1)}{\operatorname{Re}(\varphi_1)}\right).$$

В ПК МДС для получения частотной характеристики используется источник напряжения. На входном языке указывается элемент параллельно которому подключается источник. Если для вышеприведенной схемы в качестве элемента указать C1, то, поскольку источник является идеальным, он замкнет элемент C1 своим нулевым внутренним сопротивлением, и, фактически, исключит C1 из математической модели.

Чтобы этого не происходило, нужно несколько изменить схему подключения возмущающего воздействия, как это показано на рис. 9.46.



**Рисунок 9.25**

В качестве элемента, на который подается возмущение будет элемент In1 и это возмущение через зависимый источник тока I1 подается на C1. В этом случае точки АЧХ и ФЧХ получаются следующим образом:

$$A = \sqrt{\operatorname{Re}^2(\varphi_2) + \operatorname{Im}^2(\varphi_2)}, \quad \Phi = \operatorname{arctg}\left(\frac{\operatorname{Im}(\varphi_2)}{\operatorname{Re}(\varphi_2)}\right)$$

поскольку амплитуда входного сигнала равна единице, а фаза нулю. В качестве элемента, на который подается возмущение, кроме источника сигнала могут фигурировать любые элементы.

Несмотря на то, что частотный анализ является видом линейного анализа, для нелинейных объектов получение АЧХ и ФЧХ также возможны, но они будут различаться для различных точек нелинейных характеристик. Для многих технических объектов предварительный расчет рабочих точек нелинейностей является обязательным, то есть частотному анализу должен предшествовать или статический или динамический анализ. Часть матрицы Якоби, полученная в результате этих видов анализа, в отношении нереактивных элементов может быть использована для выполнения частотного анализа.

#### 9.4.2 Расчет АЧХ линейной схемы

Выполним частотный анализ схемы рис. 9.47

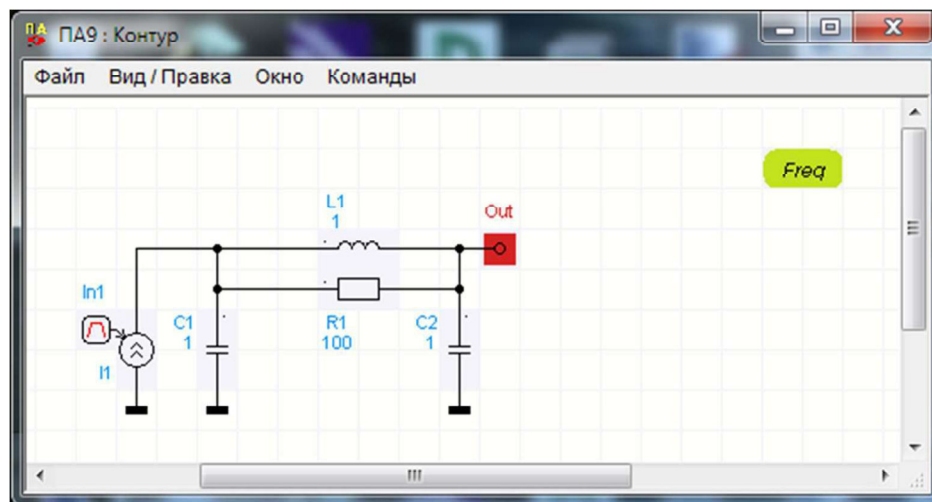
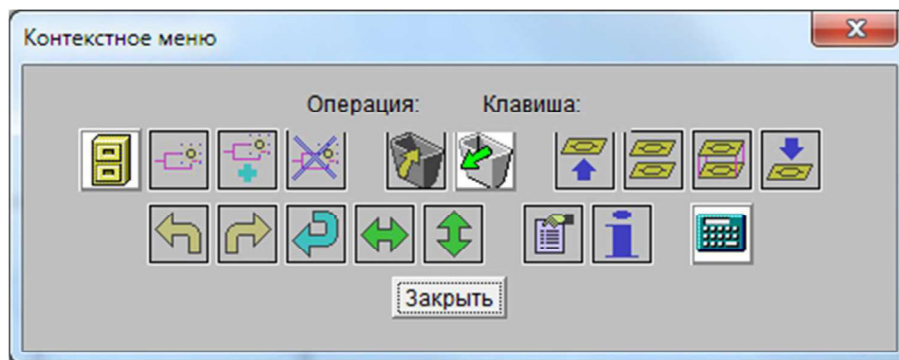


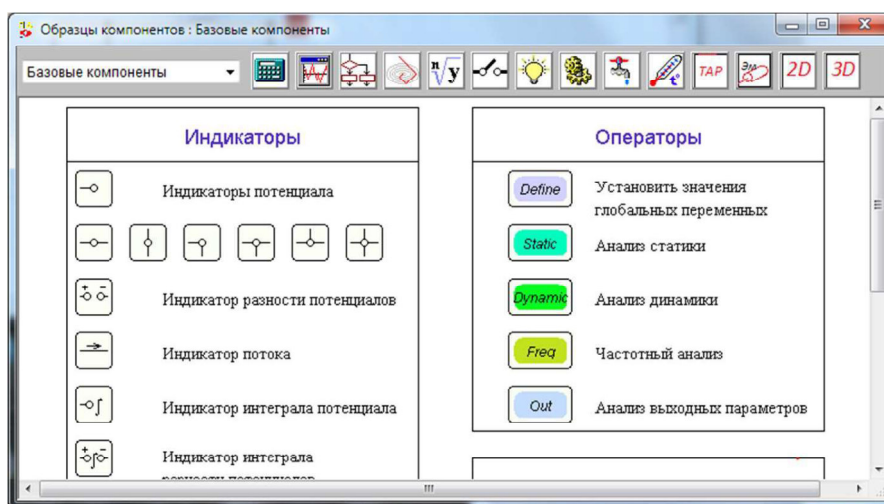
Рисунок 9.26

Как видно на схеме появился оператор задания на расчет частотной характеристики. Разместить его на рабочем поле можно следующим образом: нажимаем правую клавишу мыши, появляется контекстное меню (см. рис. 9.48).



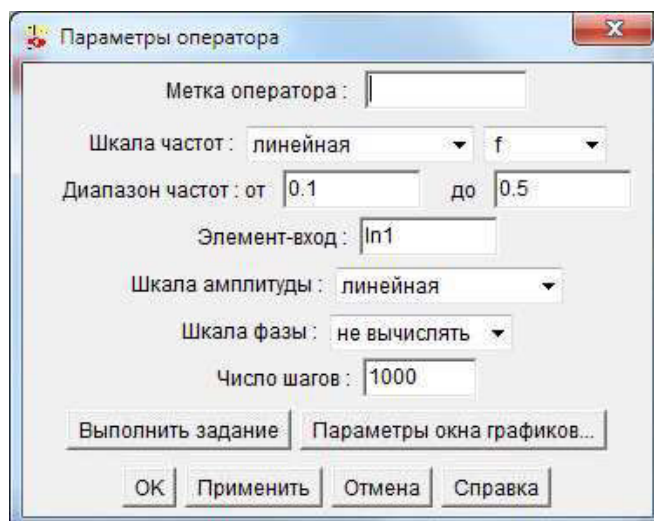
**Рисунок 9.27**

Нажимаем на первую иконку, в базовых компонентах, в операторах, кликаем на иконку «Freq» и размещаем ее на рабочем поле.



**Рисунок 9.28**

Для задания параметров частотного анализа кликаем на размещенную иконку, раскрывается диалоговое окно, показанное на рис. 9.50.

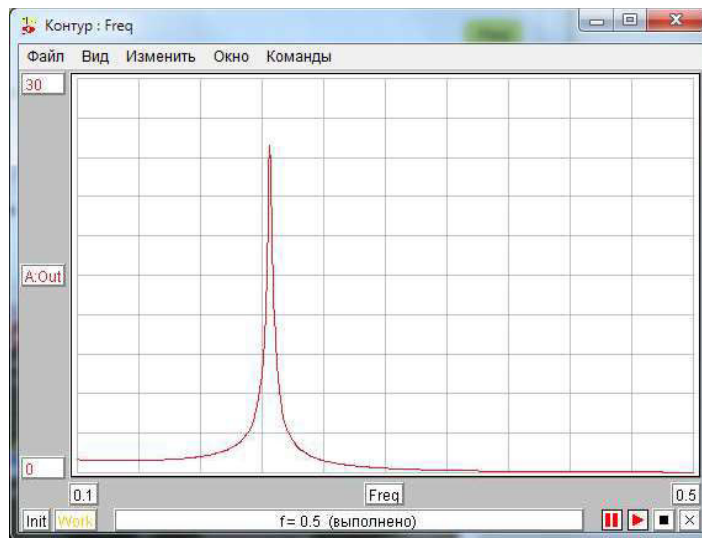


**Рисунок 9.29**

Здесь можно задать шкалу частот линейную или логарифмическую; частоту обычную или угловую; диапазон частот (с привязкой к шкале частот, так значение 2 для логарифмической шкалы соответствует 100 Гц), элемент-вход – на который будет подаваться возмущение в виде идеального источника напряжения; шкалу амплитуды – линейную, логарифмическую; шкалу фазы – в градусах, в радианах или можно не вычислять: количество точек в соответствующем диапазоне.

Выполнить расчет можно либо кликнув «Выполнить задание» или воспользоваться «горячей клавишей» «X».

На рис. 9.51 показаны результаты расчета.

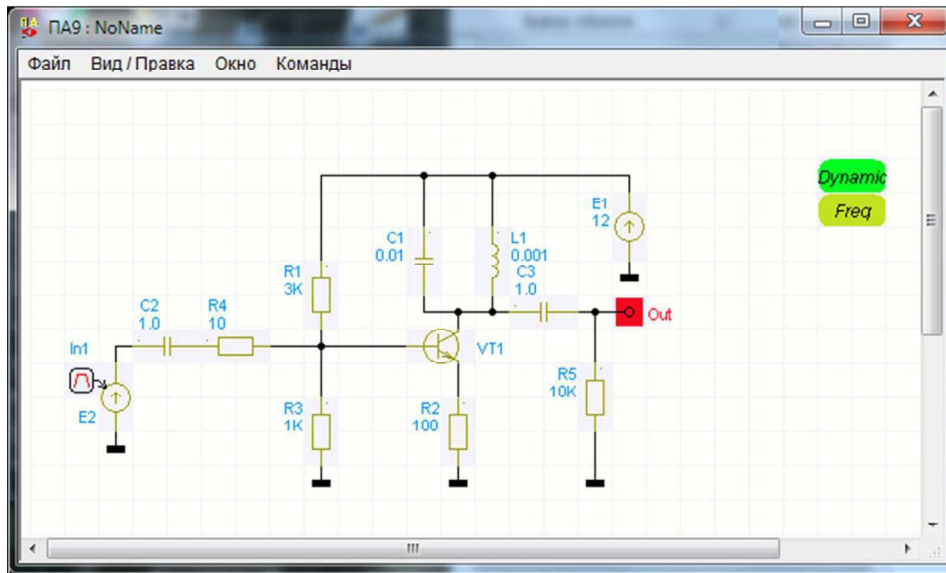


**Рисунок 9.30**

Видна резонансная частота, равная 0.225 Гц, что соответствует теоретическому расчету  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .

### **9.4.3 Расчет АЧХ нелинейной схемы**

В качестве нелинейной схемы выберем резонансный усилитель (рис. 9.52).



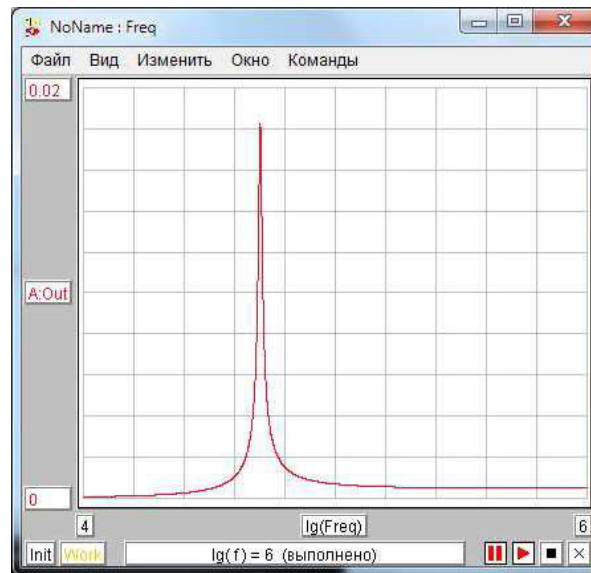
**Рисунок 9.31**

В коллекторе транзистора стоит контур, настроенный на частоту

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-3} \cdot 10^{-8}}} = 50329 \text{ Гц,}$$

то есть на этой частоте у усилителя должно быть наибольшее усиление.

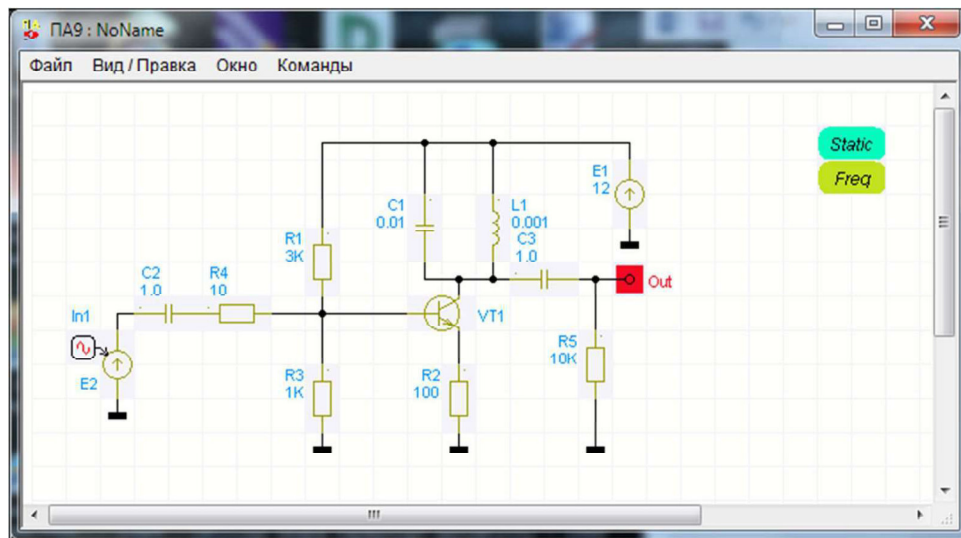
Если мы выполним просто частотный анализ (без предварительного расчета статики или динамики), то получим следующий результат (рис. 9.53):



**Рисунок 9.32**

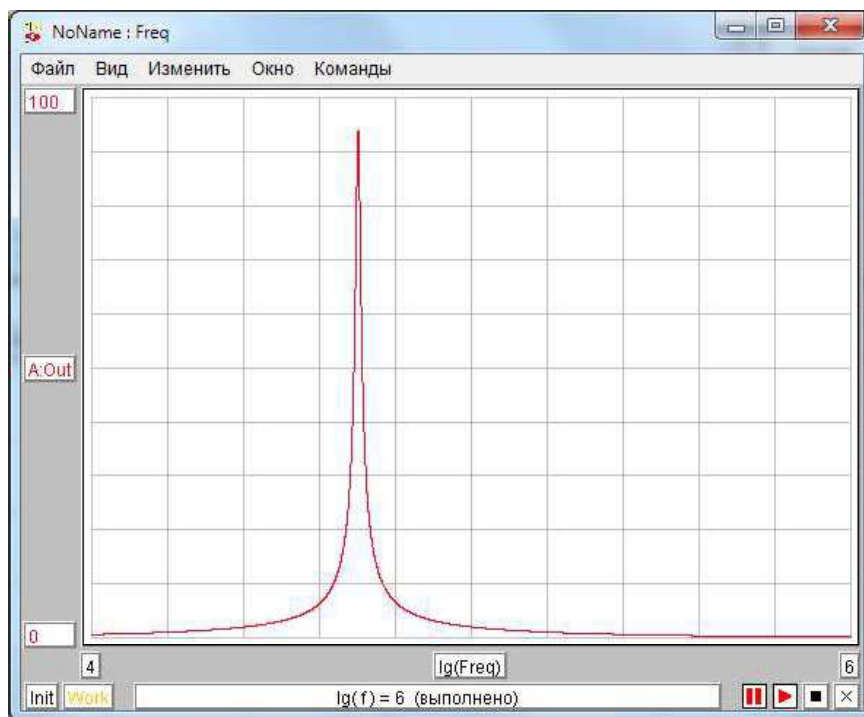
Видно, что резонанс есть, но никакого усиления не происходит (обращайте внимание на пределы графиков).

Добавим анализ статики перед частотным анализом (рис. 9.54).



**Рисунок 9.33**

Обратите внимание, что операторы задания на расчет располагаются строго один под другим без пропусков. На рис. 9.55 представлен результат частотного анализа.



**Рисунок 9.34**

Резонансная частота соответствует расчетной и усиление на этой частоте равно 93.