

Структурный подход к синтезу и
анализу сложных систем при
имитационном моделировании

Проф. Григорьев В.А.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ

Понятия о моделях. Основные определения.

1. **Структурный подход** представления сложных систем при имитационном моделировании.
2. **Построение** первичных моделей (ПМ) и имитационных моделей с единичными типовыми элементами структуры (ТЭС) и групповыми элементами структуры (ГЭС).
 - 2.1 Первичные модели с единичными ТЭС.
 - 2.2 Первичные модели с ГЭС.
 - 2.3 Синтез имитационных моделей (ИМ)
3. ДОПОЛНЕНИЕ

Принцип поточного исполнения блок-схем (моделей)

Введение. Понятия о моделях. Основные определения.

Существует множество толкований основных определений таких понятий, как **имитационная модель**, компоненты и параметры модели, функциональные зависимости, ограничения, целевые функции моделирования. Примем основные определения:

Основные определения (по Р. Шеннону)

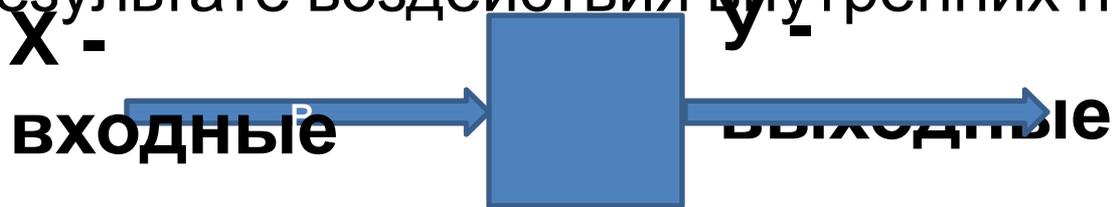
1. Каждая модель представляет собой **некоторую комбинацию таких составляющих**, как:
 - Компоненты,
 - Переменные,
 - Параметры,
 - Функциональные зависимости,
 - Ограничения,
 - Целевые функции.

Понятия о моделях. Основные определения.

Изучаемая система состоит из **компонент**.

- Под **компонентами** понимают составные части, которые при соответствующем объединении образуют систему.
- Иногда **компонентами** считают также элементы системы или ее подсистемы.
- Система определяется как группа или совокупность объектов, объединенных некоторой формой регулярного взаимодействия или взаимозависимости для выполнения заданной функции.

- **Параметрами являются величины, которые исследователь может выбирать произвольно**, в отличие от переменных модели, которые могут принимать только значения, определяемые видом данной функции.
- В модели системы будем различать переменные двух видов — экзогенные и эндогенные. **Экзогенные переменные называются также входными.**
- Это означает, что они **порождаются** вне системы или являются результатом взаимодействия внешних причин. **Эндогенными переменными** называются переменные, возникающие в системе в результате воздействия внутренних причин.



Когда же необходимо описать входы и выходы системы, мы имеем дело с **ВХОДНЫМИ И ВЫХОДНЫМИ переменными.**

- В тех случаях, когда переменные характеризуют состояние или условия, имеющие место в системе, назовем **ИХ**

переменными состояниями **R - ПЕРЕМЕННЫЕ состояния**



- Функциональные зависимости описывают поведение переменных и параметров **в пределах компоненты** или же выражают соотношения между **компонентами системы**

- Эти соотношения по своей природе являются либо **детерминистскими**, либо **стохастическими**.
- Оба типа соотношений обычно выражаются в виде **алгоритмов**, которые устанавливают зависимость между переменными состояния и экзогенными переменными.
- **Ограничения** представляют собой устанавливаемые пределы изменения значений переменных или ограничивающие условия их изменений.
- Они могут вводиться либо разработчиком, либо устанавливаться самой системой вследствие присущих ей свойств.

- Целевая функция (функция критерия) представляет собой точное отображение целей или задач системы и необходимых правил оценки их выполнения.
- Выражение для целевой функции должно быть однозначным определением целей и задач, с которыми должны соизмеряться принимаемые решения.
- Например, интегральный квадратичный критерий качества.

1. Структурный подход. Представление сложных систем при имитационном моделировании.

Эффективным инструментом исследования сложных систем (динамических, нелинейных, нестационарных, импульсных и.т.п.) является **структурный метод, позволяющий:**

- 1) Выявить наличие и характер взаимосвязей между различными процессами, протекающими в сложных системах.
- 2) Использовать интуицию исследователя при структурном синтезе систем и анализе построения моделей системы.
- 3) Вносить изменения в структуру системы, меняющие её поведение в желаемом для исследователя направлении.

Описание структуры модели, состоящей из типовых элементов структуры (ТЭС) с заданными передаточными функциями или функциональными уравнениями

обеспечивает пользователю наибольшую простоту и удобство работы, так как исследователи постоянно имеют дело со **структурными схемами**.

При этом **важно обеспечить функциональную полноту библиотеки ТЭС применительно к исследуемой предметной области** и предусмотреть в системе машинного моделирования (СММ) **режим «администратора»** для пополнения библиотеки ТЭС.

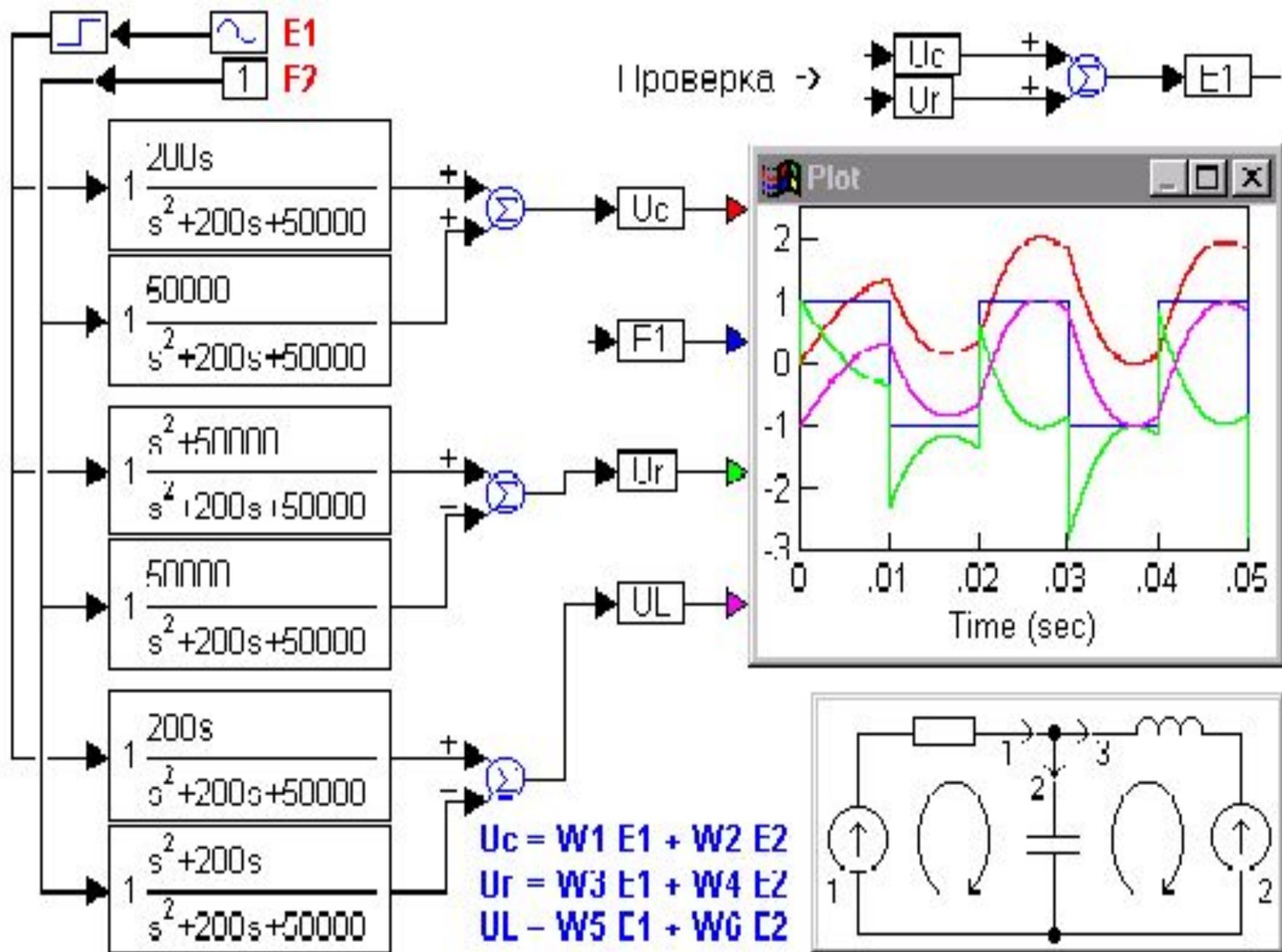
Структурный подход к моделированию прекрасно сочетается с принципами модульности и структурного программирования, а также с концепцией сборочного синтеза программы и иерархического моделирования.

Целесообразность применения иерархического моделирования при анализе и синтезе сложных систем (СС) обусловлена следующими факторами:

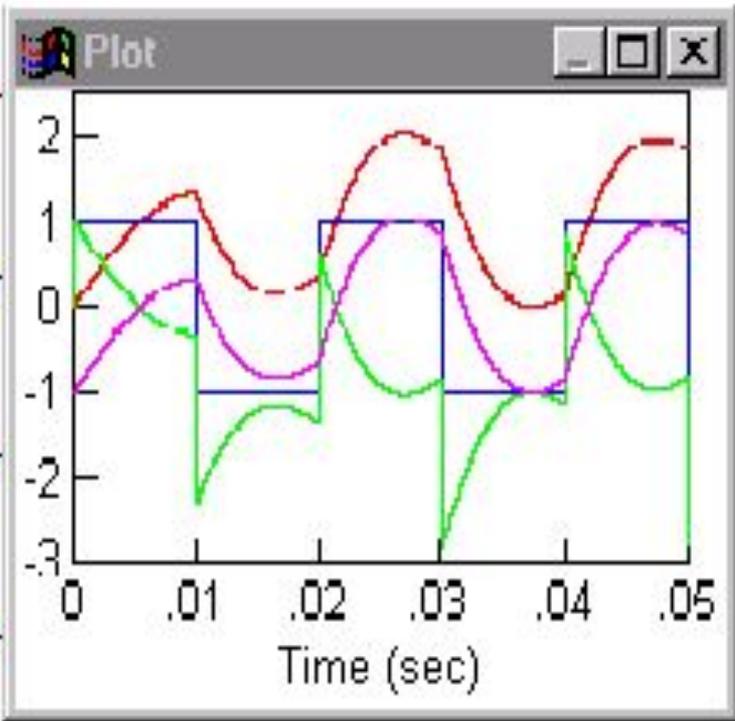
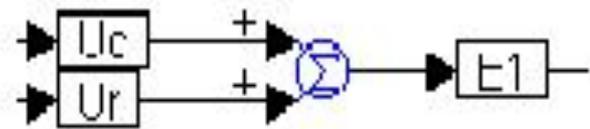
- **Использованием методов декомпозиции** (разделения) СС на совокупность типовых структурных элементов с любым необходимым исследователю уровнем детализации.
- **Использованием методов нисходящего и восходящего проектирования,** связанного с анализом функционирования элементов, совокупности звеньев (компонент) подсистем и СС в целом.

Структурное моделирование.

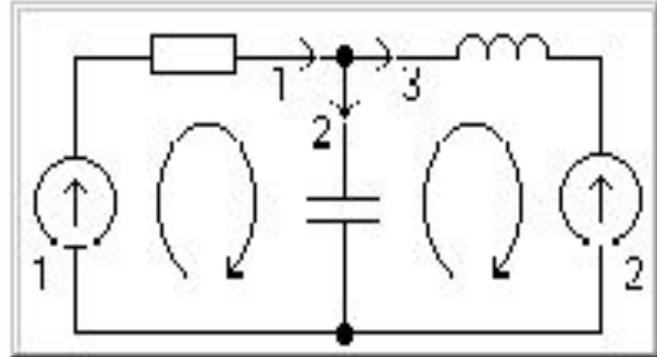
- Это техника моделирования, основанная на использовании моделей в виде преобразующих сигналы **блоков**. Связи между входными и выходными сигналами устанавливаются посредством задания передаточных функций.
- Поскольку структурные блоки имеют выраженные входы и выходы, построенные согласно этой технике модели иногда называют направленными сигнальными графами (см. рис. 1).
- Техника структурного моделирования, использующая модели в форме передаточных функций, требует наличия лишь явного решателя.
- Явный решатель подключается ко всем интеграторам модели (блоки $1/s$), и, с той или иной точностью (на что влияет выбор метода интегрирования), интегрирует соответствующие сигналы, обеспечивая тем самым решение дифференциальных уравнений.



Проверка →



$$\begin{aligned}
 U_c &= W1 E_1 + W2 E_2 \\
 U_r &= W3 E_1 + W4 E_2 \\
 U_L &= W5 E_1 + W6 E_2
 \end{aligned}$$



- При реализации метода проектирования сложной системы (СС) **снизу вверх** необходимо обеспечить **возможность включения в систему элементов, представляющих собой уже построенные модели**, что позволяет имитировать весьма сложные иерархические системы управления.
- При реализации СММ должен рационально сочетаться принцип проектирования «сверху вниз» и «снизу вверх».
- Разработка СС, как правило, ведется **«сверху вниз»** методами структурного проектирования и пошагового уточнения.
- Далее могут осуществляться процедуры проектирования «снизу вверх» на базе соответствующих модулей ТЭС и модулей **групповых элементов структуры (ГЭС)**.

Блоки обладающие эффектом памяти

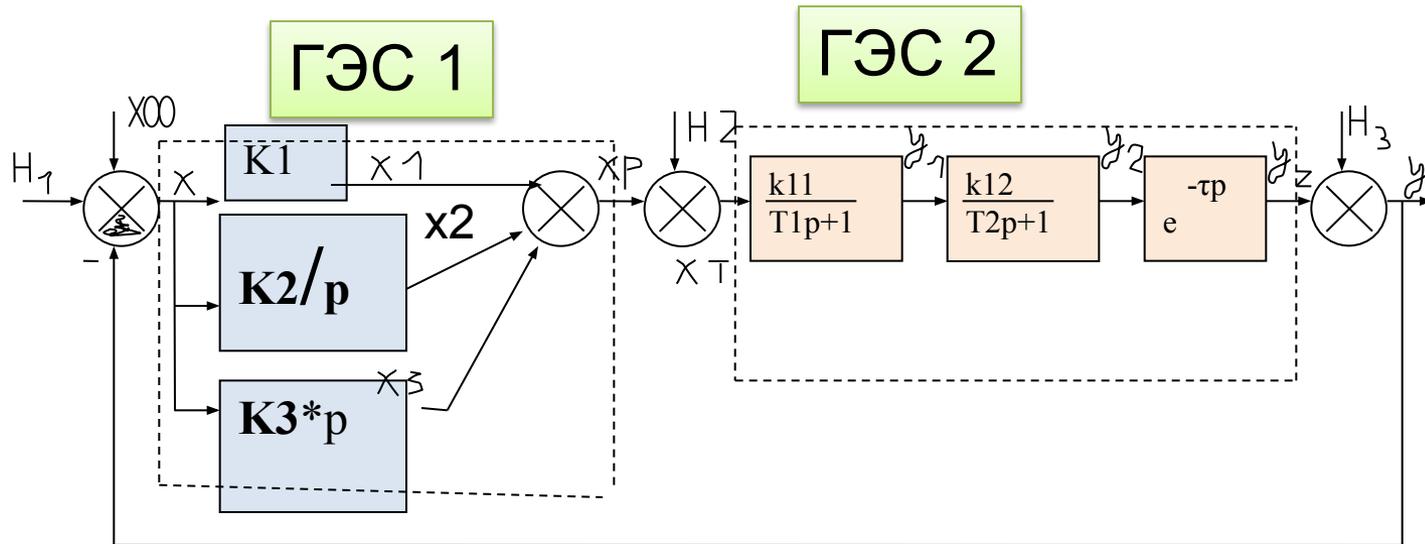
- Фундаментальными для построения моделей являются блоки обладающие эффектом памяти. В этой группе два элементарных блока:
- $1/s$ – "Интегратор" (дискретный квазианалог интегратора)
- $1/z$ – "Регистр задержки"
- Интеграторы используются для построения моделей, которые имеют непрерывную природу, регистры задержки составляют основу моделей с дискретной природой.
- В библиотеках программ математического моделирования можно найти еще ряд блоков обладающих эффектом памяти:
- Блок "Передающая функция"
- Блок "Пространство состояний"
- Блок "Звено чистого запаздывания"
- Блок "Устройство выборки-хранения"¹

2. Построение первичных моделей (ПМ) и имитационных моделей с единичными типовыми элементами структуры (ТЭС) и групповыми элементами структуры.

2.1 Первичные модели с единичными ТЭС

Пусть задана структурная схема обычной локальной САУ. Используем для сборки единичные ТЭС.

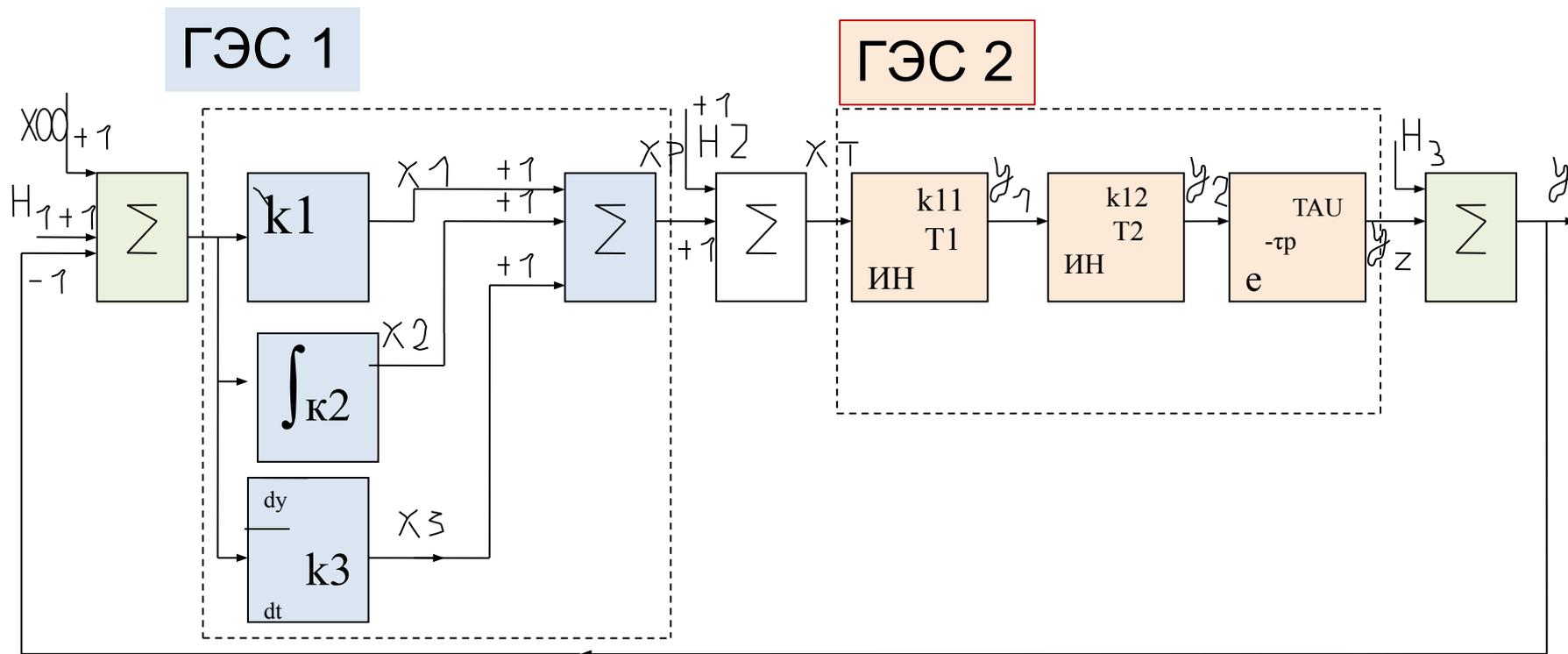
ГРУППОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ ГЭС 1 и ГЭС 2



ТЭС → Усилительное
ТЭС → Интегрирующее
ТЭС → дифференцирующее

ТЭС → Инерционное
ТЭС → Инерционное
ТЭС → Запаздывания

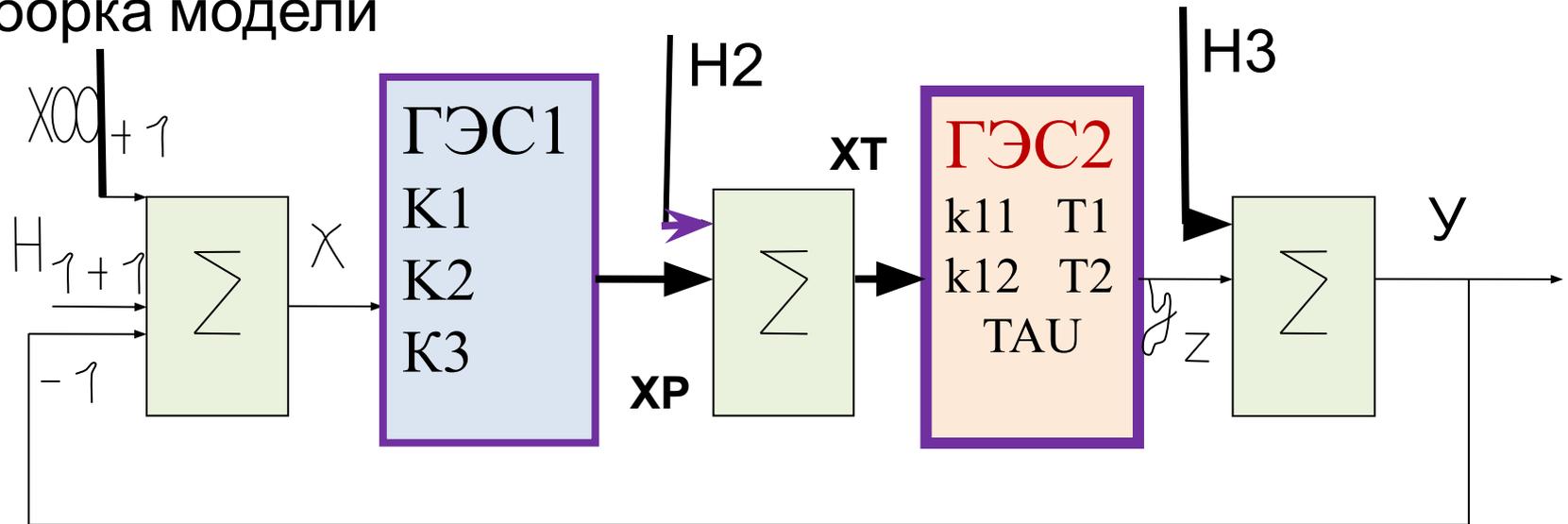
Сборка первичной модели



После отладки модели можно создать первичную модель (ПМ) с использованием **групповых элементов структуры**.

2.2 Первичная модель с использованием групповых элементов структуры ГЭС.

Сборка модели

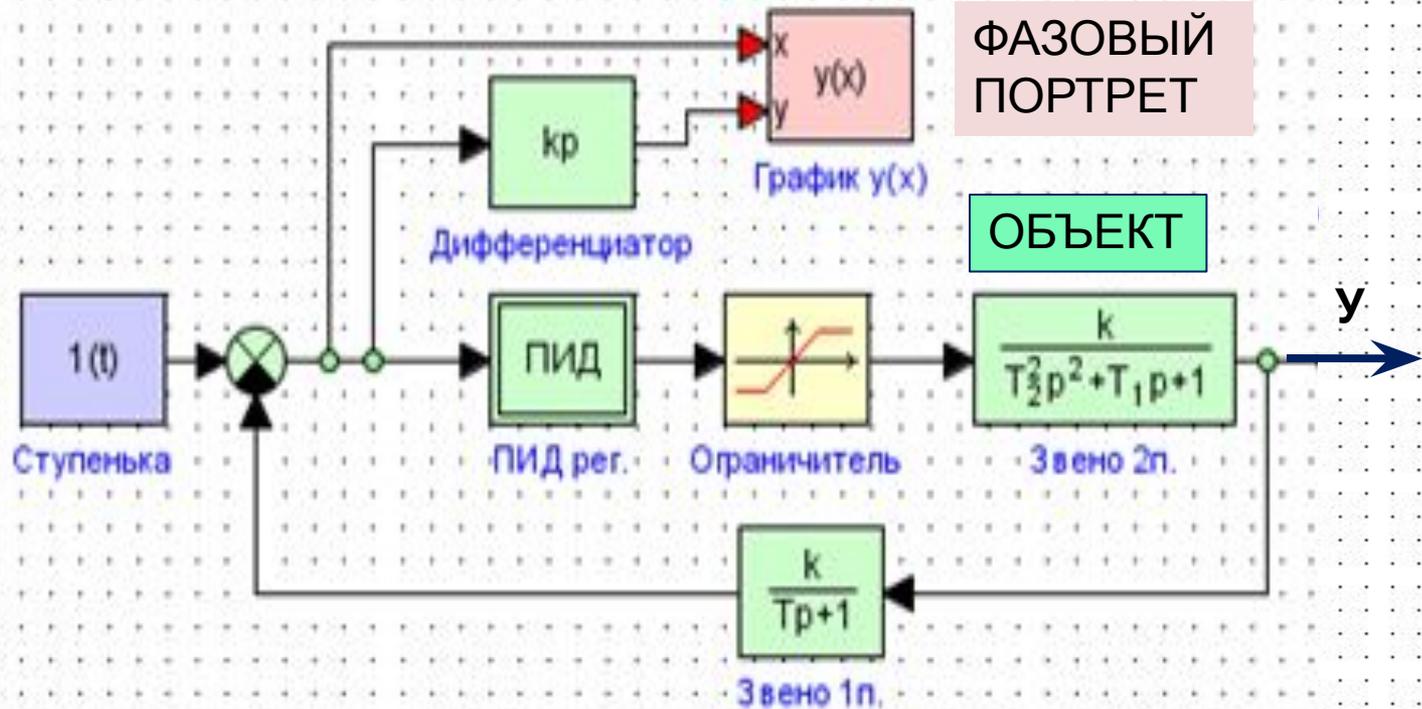


ГЭС 1

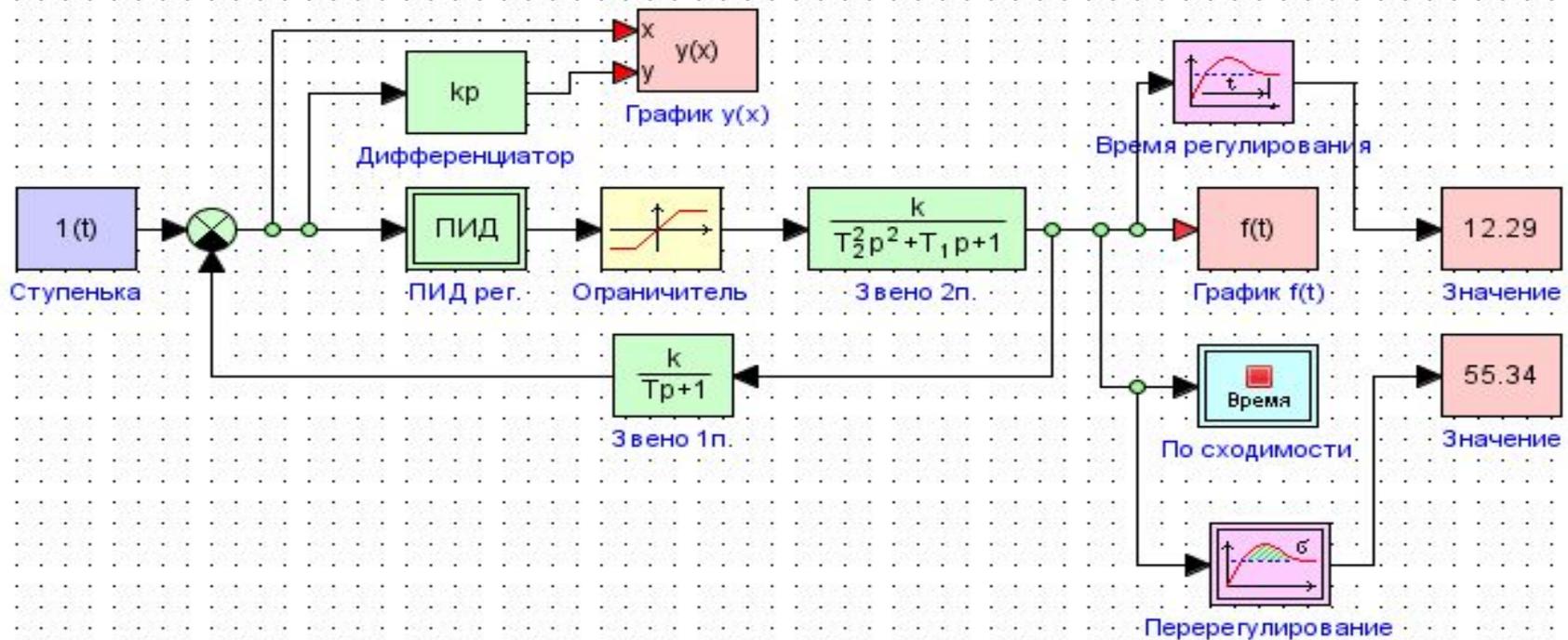
ГЭС 2

2.3. СИНТЕЗ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Исходная схема САР с нелинейным



СБОРКА первичной модели НА ГРАФИЧЕСКОМ РЕДАКТОРЕ

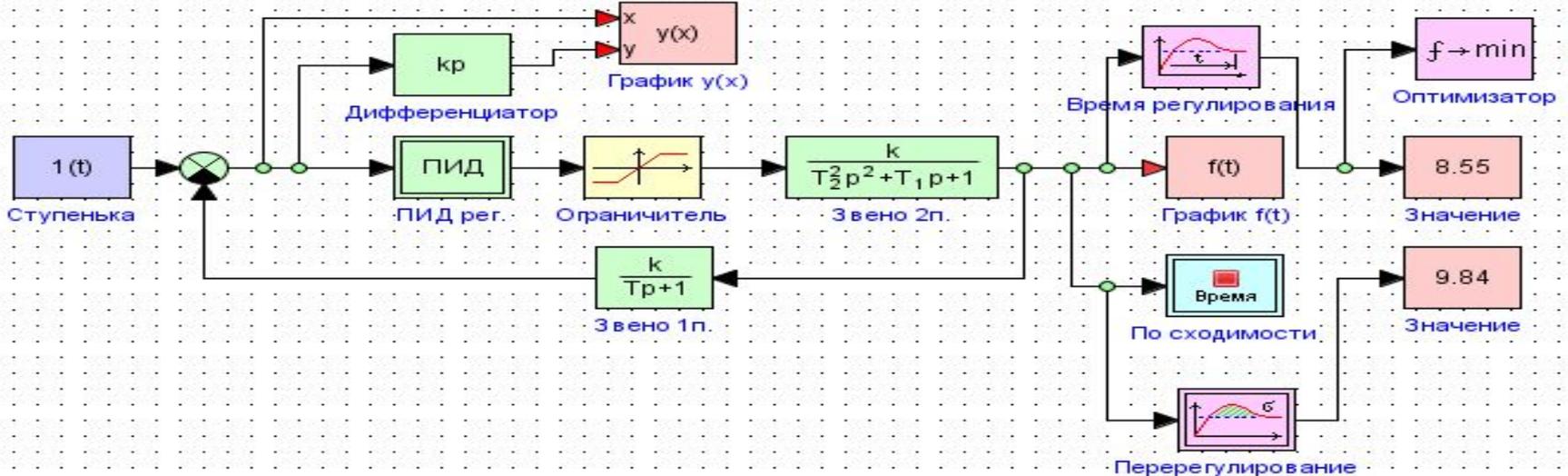


Оптимизация динамической системы

(2)

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

Оптимизация по времени
переходного процесса



$$П = 1.0 \rightarrow 0.96$$

$$И = 1.0 \rightarrow 0.44$$

$$\delta = 55\% \rightarrow 9.8\%$$

$$t_m = 12.2\% \rightarrow 8.55\%$$

ВЕРСИЯ 2016

Библиотека

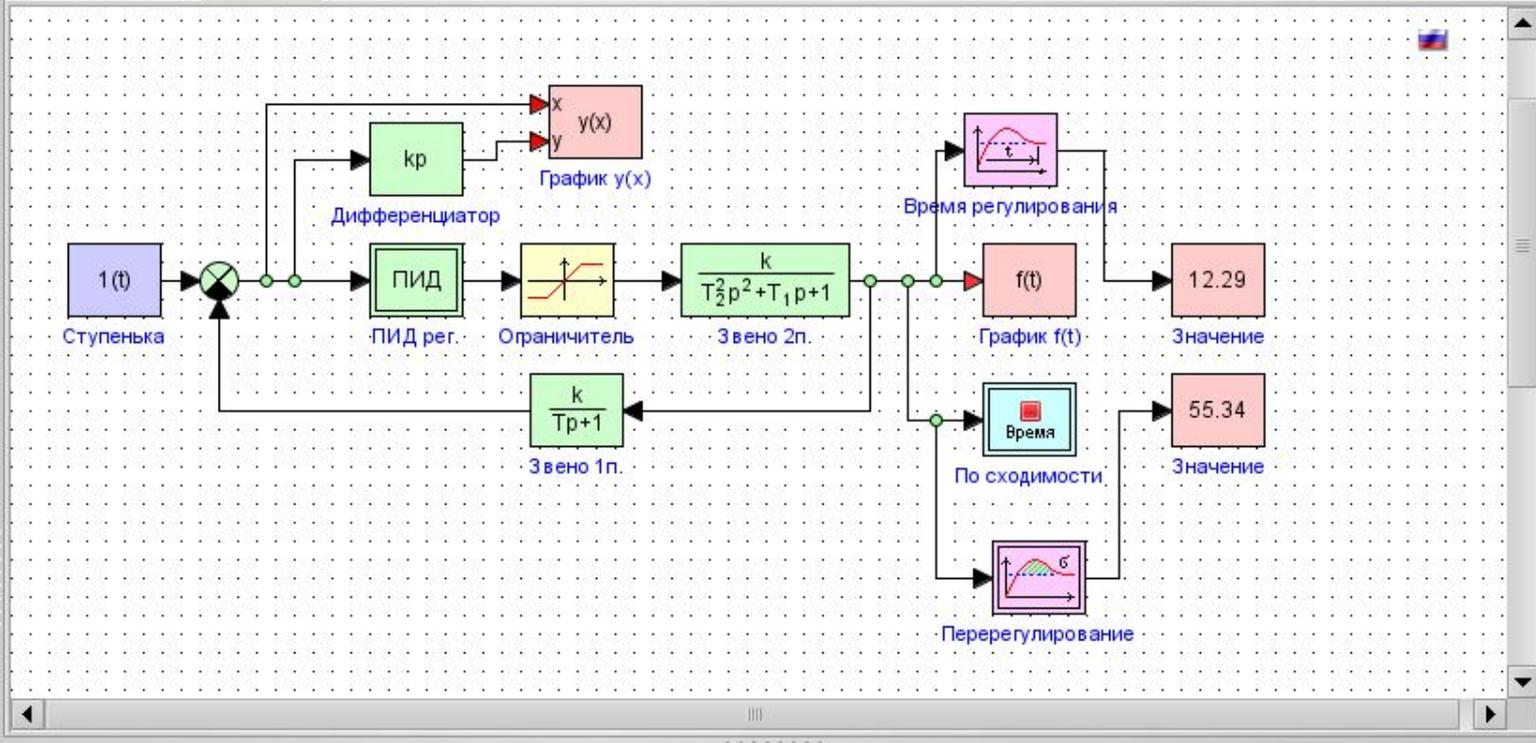
Все W(p)

Opt

W(p) Динамика

- Сумматор
- Передаточ
- Усилитель
- Интегратор
- Реальный
- Дифферен
- Реальный д
- Звено 1-ог

Схема 1.sos lin.sos



Менеджер проектов

- Проект 1.sop
- lin.sop

Свойства

Вид Контакты Параметры

Свойство	Значение

Консоль Ошибки

Реальное время Бесконечное

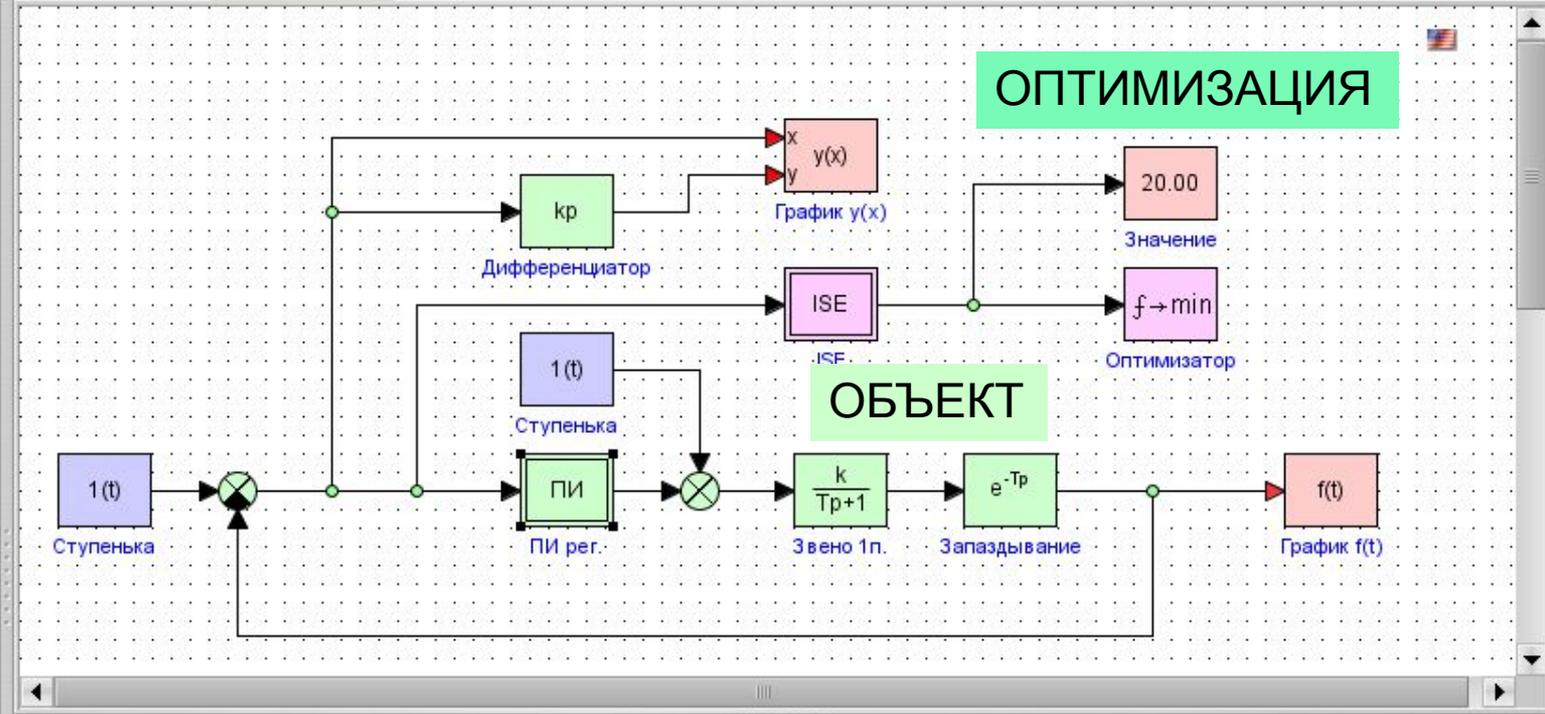
Все $W(p)$ Opt

Генераторы

- Модельное время
- Ступенька
- Синусоида
- Константа
- Прямоугольный импульс
- Пилообразный импульс
- Экспонента
- Полином

Менеджер проектов

- Проект 1.sop
- Проект 1.sop



Свойства

Вид Контакты Параметры

Свойство	Значение
Имя	ПИ рег. 1
Рисунок	

Консоль Ошибки

Реальное время Бесконечное

Компилирование модели успешно завершено.
 Ошибок - 0; Предупреждений - 0
 22:28:45 : Начало моделирования(тк = 20,00; step = 0,10)
 22:28:45 : Конец моделирования

ДОПОЛНЕНИЯ

- **Принцип поточного исполнения блок-схем (моделей)**

Принцип поточного исполнения блок-схем (моделей)

- Программы математического моделирования динамических систем относятся к графическим средам разработки иерархически структурированных программ верхнего уровня, и часть из них основана на **поточной модели управления**.

Поточная модель управления (Data Flow) – это основополагающее понятие для таких программ, как VisSim, MBTY, Simulink, Easy5.

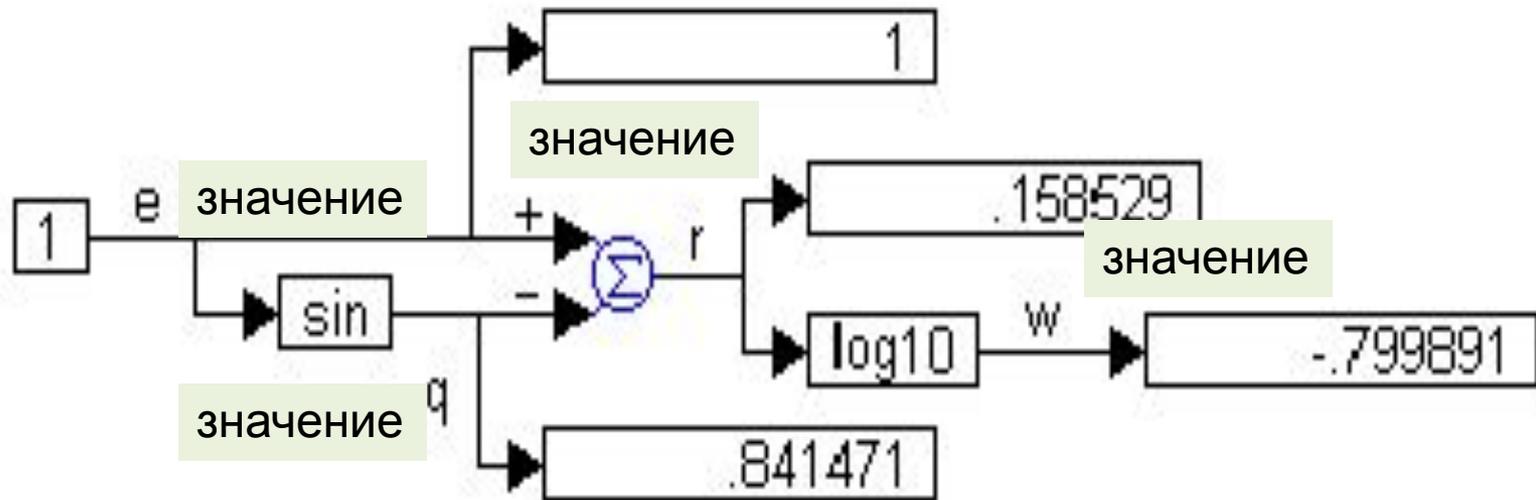
Приведем определение поточной модели управления:

- Модель программирования, в которой инструкции, процедуры или функции выполняются только тогда, **когда все входные данные** (т.е. параметры и аргументы) **готовы**.
- **Альтернативной моделью программирования** является командное управление (Control Flow) в которой счетчик команд контролирует переход в памяти программ от одной команды к другой при их последовательном выполнении.

Система уравнений модели составленная пользователем	Упорядоченный программой информационный поток
a) $w = \log(r)$ b) $e = 1$ c) $r = e - q$ d) $q = \sin(e)$	1) $e = 1$ 2) $q = \sin(e)$ 3) $r = e - q$ 4) $w = \log(r)$

Для написания программ (создания моделей) используются графические языки, с помощью которых выполняется описание процессов преобразования данных в форме функциональных схем, блок-схем, схем физических принципиальных, мнемосхем, и прочее.

Представим блок-схему для рассмотренного в примере информационного потока.



Статический информационный поток, составленный с помощью элементарных библиотечных блоков например программы VisSim.

Анализируя рисунок, легко заметить, что **в любом информационном потоке данные распространяются от источников сигнала к приемникам.** Очевидно, что в одном потоке могут существовать ветви, параллельные каналы и обратные связи.

Библиотеки блоков графических языков

В графических инструментальных средах информационные потоки определяются блоками, которые могут иметь входы и выходы. В библиотеках программ может присутствовать несколько сотен блоков.

Блоки можно классифицировать:

1. Блоки - **источники сигналов**
2. Блоки - **преобразователи сигналов**
3. Блоки - **приемники сигналов**
4. Блоки, которые одновременно являются источниками, приемниками и преобразователями сигналов, т.е. это блоки обладающие эффектом памяти.
5. Блоки (структуры) **для программирования потока**
6. Блоки (структуры) **для синхронизации потоков**

- Большое количество блоков может наблюдаться только в группе преобразователей сигналов.
- Это блоки элементарных математических операций:
 1. Арифметические
 2. Логические
 3. Трансцендентные
 4. Матричные
 5. Нелинейные
 6. Обладающие эффектом памяти