

# Моделирование нестационарных динамических систем.

Проф. Григорьев В.А.

# Содержание.

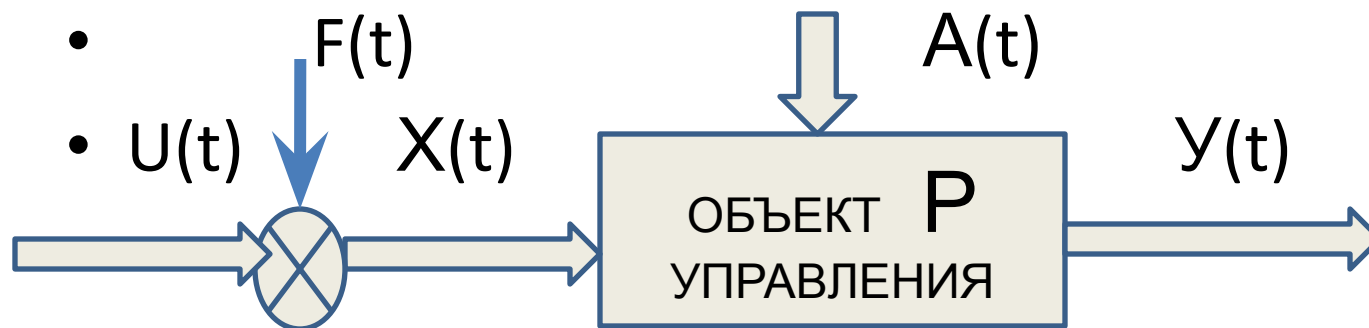
## ВВЕДЕНИЕ

1. Постановка задач на имитационное моделирование и анализ динамических свойств параметрических систем управления.
2. Структура системы управления с координатно-операторной обратной связью (КООС).
3. Структура системы управления с КООС и операторной обратной связью (ООС).
4. Сборка имитационной модели СУ с КООС и ООС.

## ВВЕДЕНИЕ

- Суть подхода синтеза адаптивных систем, предложенного академиком С.В.Емельяновым *состоит в систематическом применении при структурном синтезе системы управления принципа регулирования по отклонению и в расширении на этой основе множества **типов обратных связей**,*
- **позволяющих построить обобщенную структурную схему системы, в рамках которой при надлежащем выборе операторов обратных связей и их параметров возможно устранение влияния на процесс регулирования неконтролируемых параметрических**

- Если в обычных САУ с координатной обратной связью (КОС) необходимость в автоматическом способе формирования **выходного сигнала управляющего устройства  $U(t)$**  вызвана отсутствием информации о **координатных возмущениях  $F(t)$** , то в рассматриваемом случае, кроме того, отсутствием достаточной информации об операторе объекта управления  **$P$** , точнее, о тех **операторных (параметрических) возмущениях  $A(t)$** , которые приводят к изменению его параметров во времени.



- Исходно посылкой в новой методологической основе построения структурных схем САУ, позволяющей расширить возможности автоматических систем по управлению динамическими объектами в условиях неполной информации, является **введенное понятие сигнала-оператора или переменной - оператора.**



- **Переменная-оператор** (**сигнал-оператор**) представляет собой какое-либо преобразование, осуществляемое над переменными-координатами.
- Введенное различие между переменными-координатами и переменными-операторами следует понимать условно, как удобный для использования **методологический прием**.
- Переменную будем называть **координатой**, если над ней осуществляется то или иное преобразование, и ту же самую переменную назовем **оператором** (операторной переменной), если она определяет вид преобразования, выполняемого над какой-либо координатой.

- Двойственное толкование переменных состояния нелинейной динамической системы будем именовать принципом бинарности, а динамические системы, построенные на основе принципа бинарности - бинарными динамическими системами.
- Методологическое отличие между подходом к синтезу бинарных систем и подходом к построению большинства адаптивных систем управления заключается в замене принципа регулирования по возмущению или по его оценкам на принцип регулирования по отклонению для компенсации операторных (параметрических) возмущений в операторе объекта управления.

# 1. Постановка задачи на моделирование и анализ динамики параметрических систем уравнения.

- **Рассмотрим методы управления** возмущёнными движениями линейных динамических систем при отсутствии возмущений координатного типа (внешних воздействий) на входе объекта управления.
- **Проведём синтез и анализ алгоритмов управления** существенно нестационарными динамическими системами (объектами) параметры которых с течением времени (или мгновенно) могут изменяться неконтролируемым образом в любых ограниченных пределах, причём к характеру изменения параметров системы (объекта) предъявляются требования достаточно общего вида.

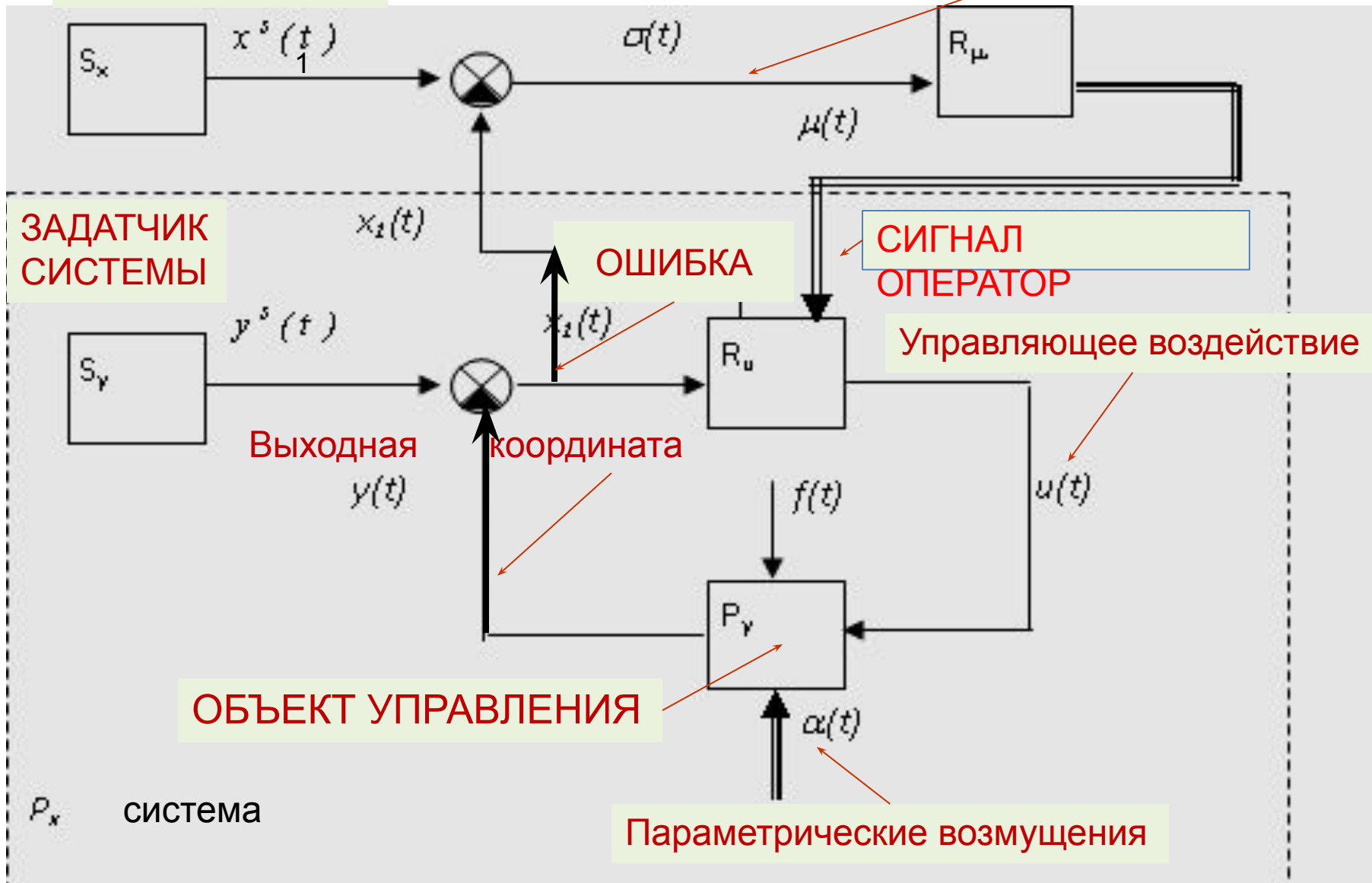


## Функционально-алгоритмическая структура

- Если координатно-операторной обратной связью дополнить структурную схему системы с КОС, то получим структурную схему (рис.1.1), наглядно представляющую использование принципа обратной связи при формировании оператора алгоритма управления  $R_u$ .

**ЗАДАТЧИК КООС**

**Координатно-операторная обратная связь (КООС)**



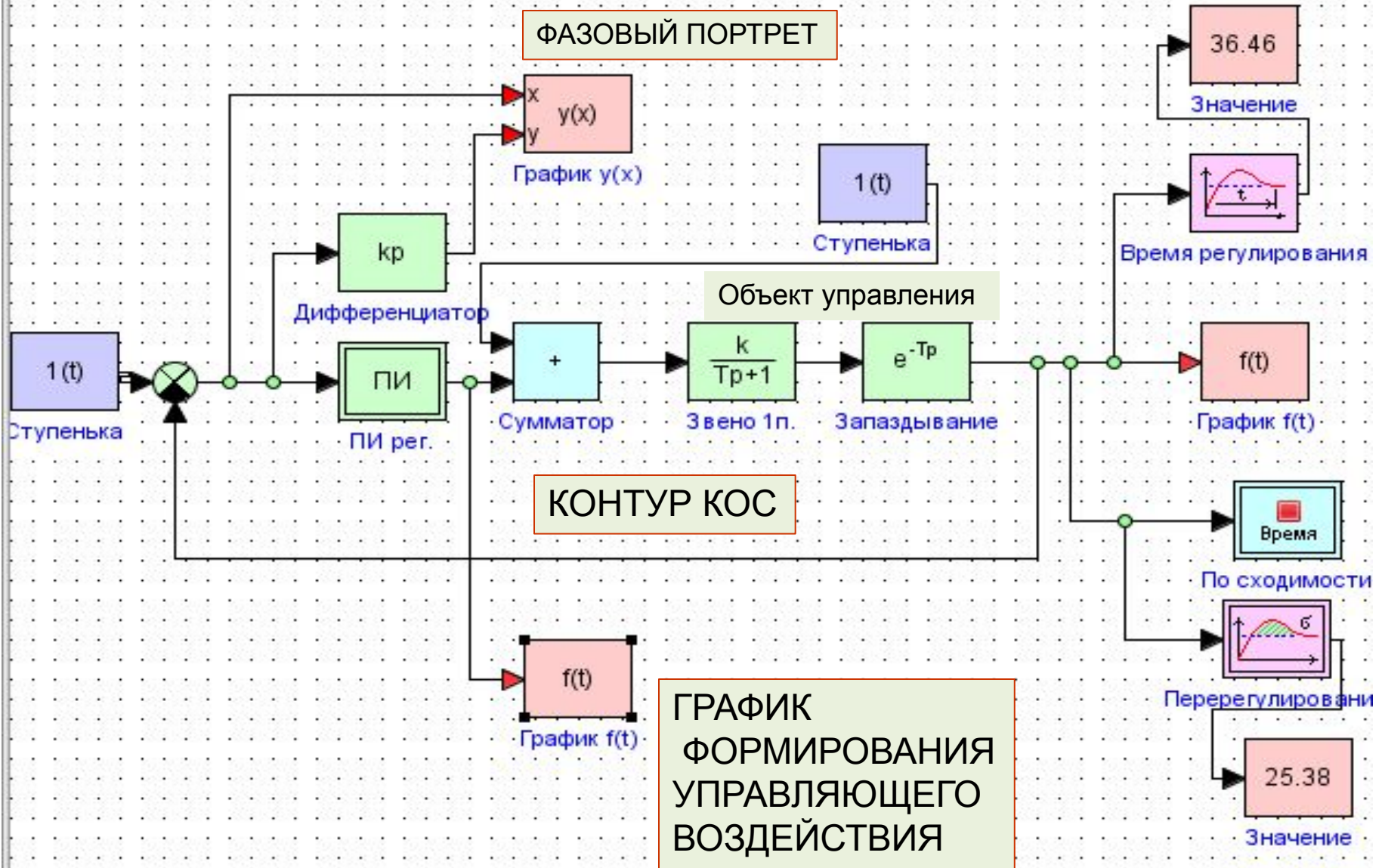
- В этом случае система с КОС выступает в качестве звена координатно-операторного типа  $P_x$  и выполняет в контуре координатно-операторной обратной связи роль объекта управления.

**Здесь приняты следующие обозначения:**

- $S_x$  - задатчик динамических свойств контура координатно-операторной обратной связи КООС,
- $x_s(t)$  - задающее воздействие для сигнала ошибки,
- $\sigma(t)$  – рассогласование сигнала ошибки,
- $R_\mu$  - оператор КООС,
- $\mu(t)$  - операторная переменная для подстройки алгоритма управления,
- $y^s(t)$ - задающее воздействие основного контура,
- $x_1(t)$ - сигнал ошибки контура КОС.

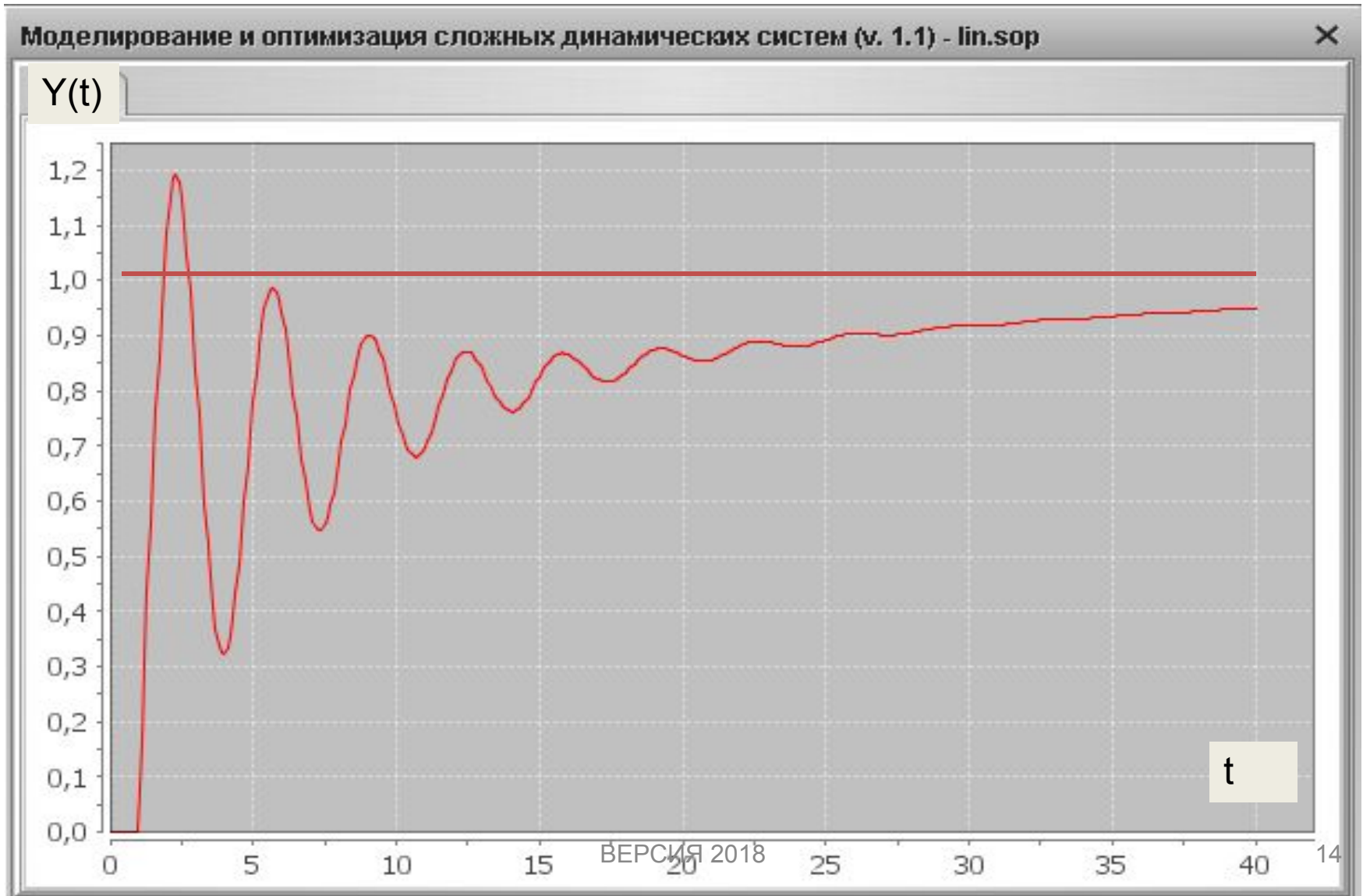
- В терминах теории автоматического управления **изменение параметров системы** во времени можно интерпретировать как влияние возмущений параметрического типа.
- Тогда задачу управления нестационарной системой (**ограничения влияния неизменяемых параметрических возмущений**) можно рассматривать как задачу компенсации их влияния на свойства замкнутой САУ.
- Т.е. решается задача компенсации изменения параметров управляемой системы (объекта) за счёт соответствующей подстройки (адаптации) параметров алгоритма управления.

# Стандартный анализ динамических свойств системы



# Единичное воздействие по ЗАДАНИЮ

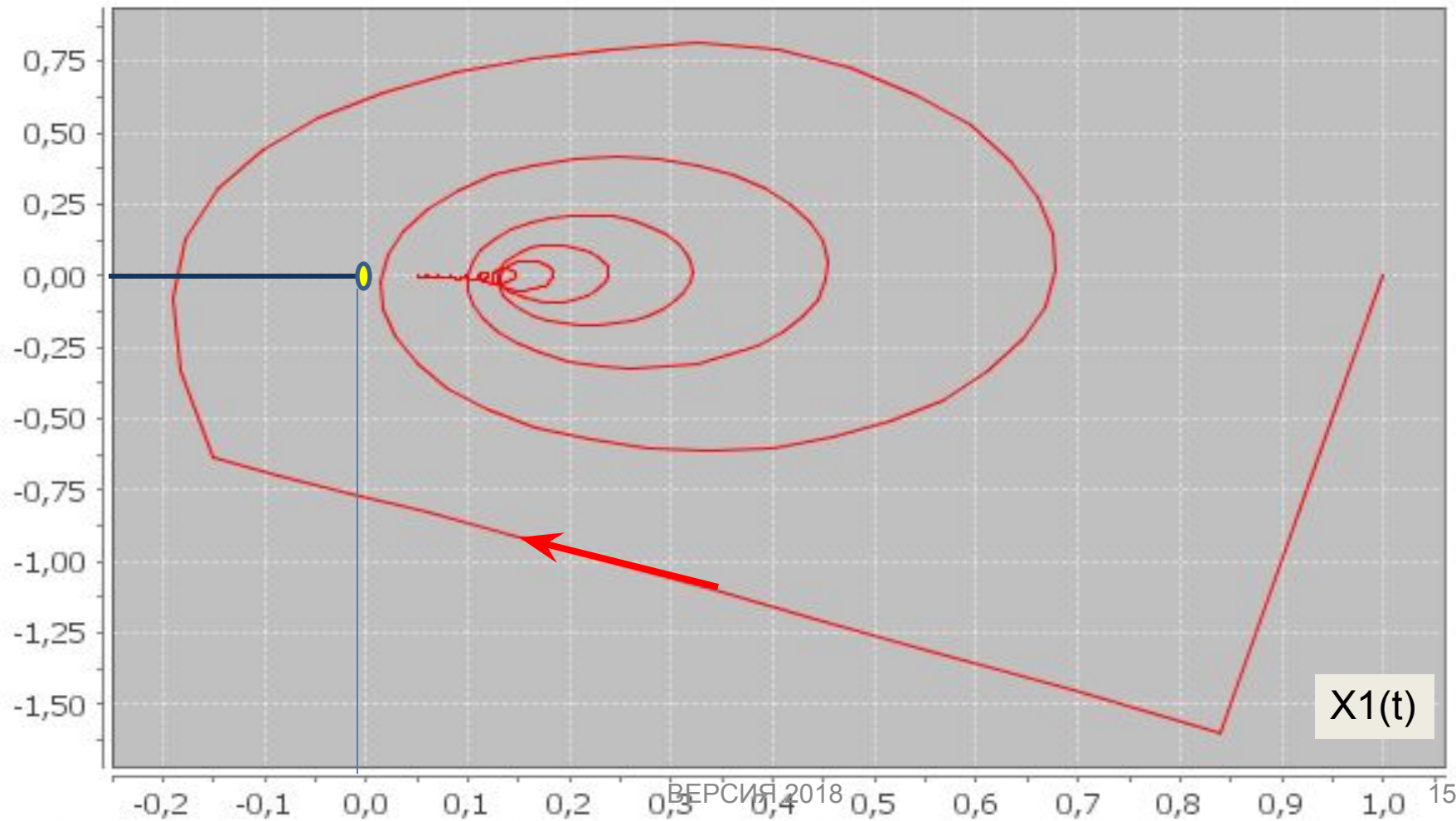
$K=1$   $T=1$   $TAU=1$      $K1=1.6$     $K2= 0.125$



# ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ системы в результате моделирования

Моделирование и оптимизация сложных динамических систем (v. 1.1) - lin.sop

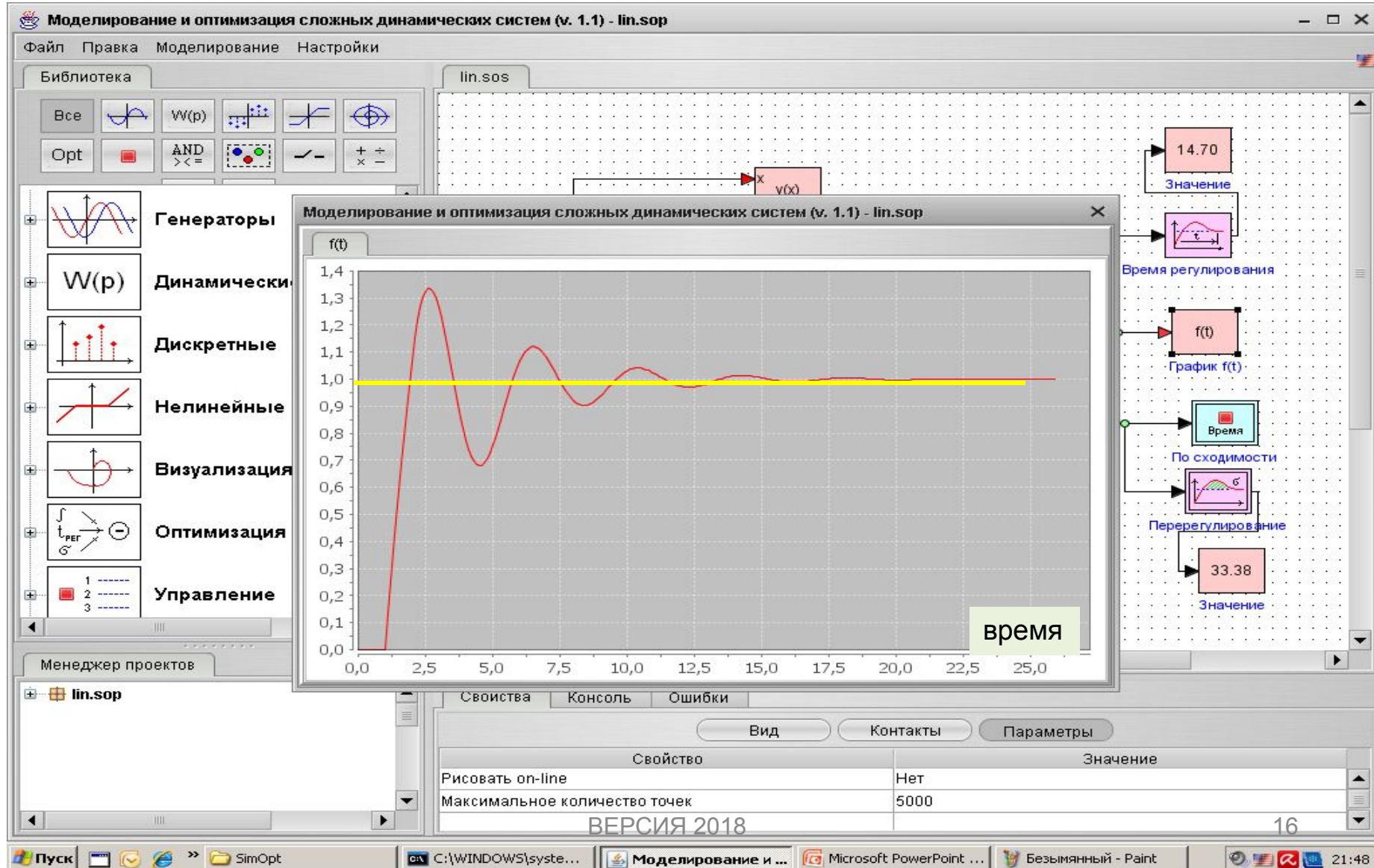
X2(t)



X1(t)

ВЕРСИЯ 2018

Переходный процесс при возмущении ПЧ заданию с  
 ДРУГИМИ ПАРАМЕТРАМИ НАСТРОЙКИ алгоритма  
 Объект  $K=1$   $T=1$   $TAY=1$       Настройки алгоритма  $K1=1.29$   $K2=0.4$

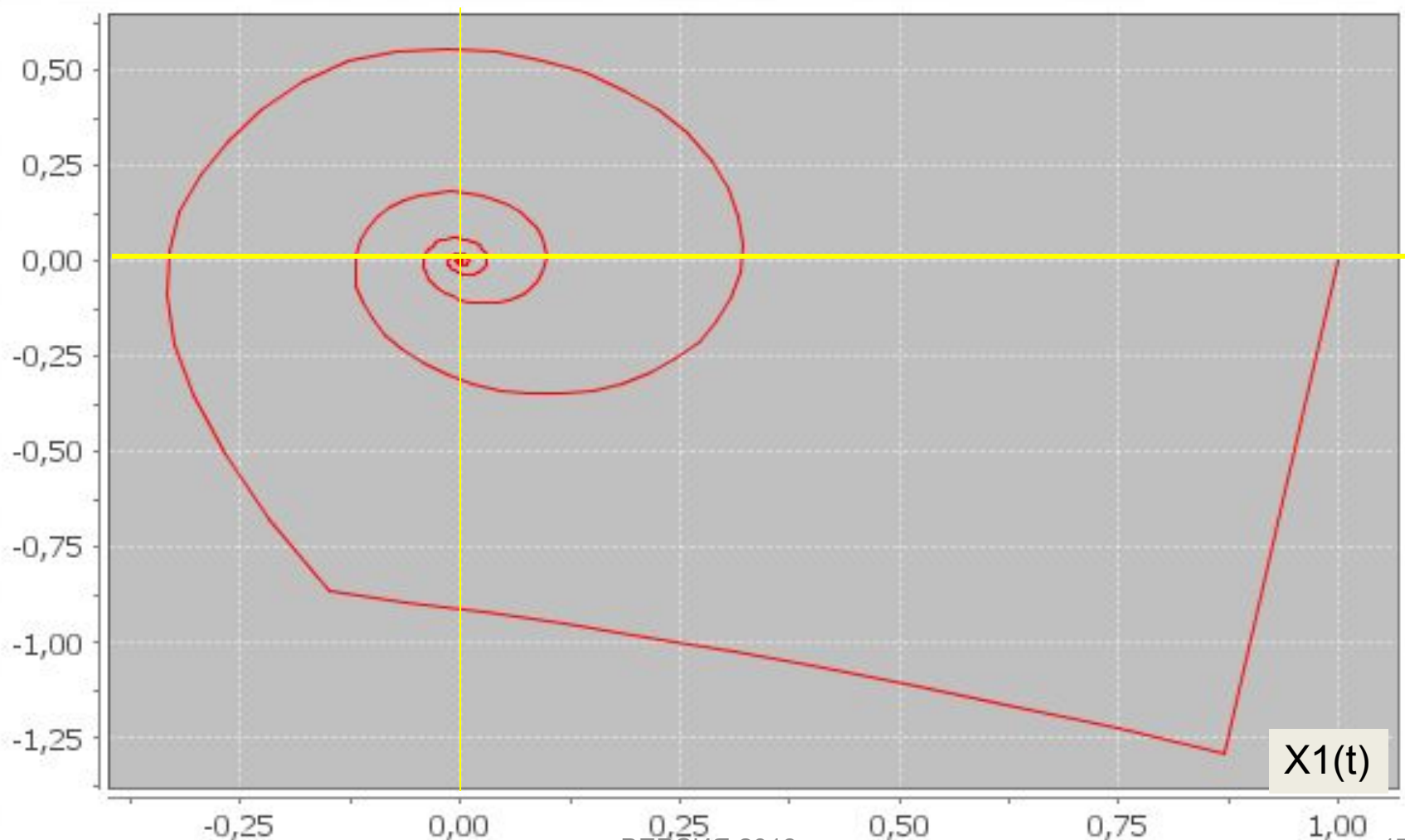




# ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ при единичном воздействии по заданию

Моделирование и оптимизация сложных динамических систем (v. 1.1) - lin.sop

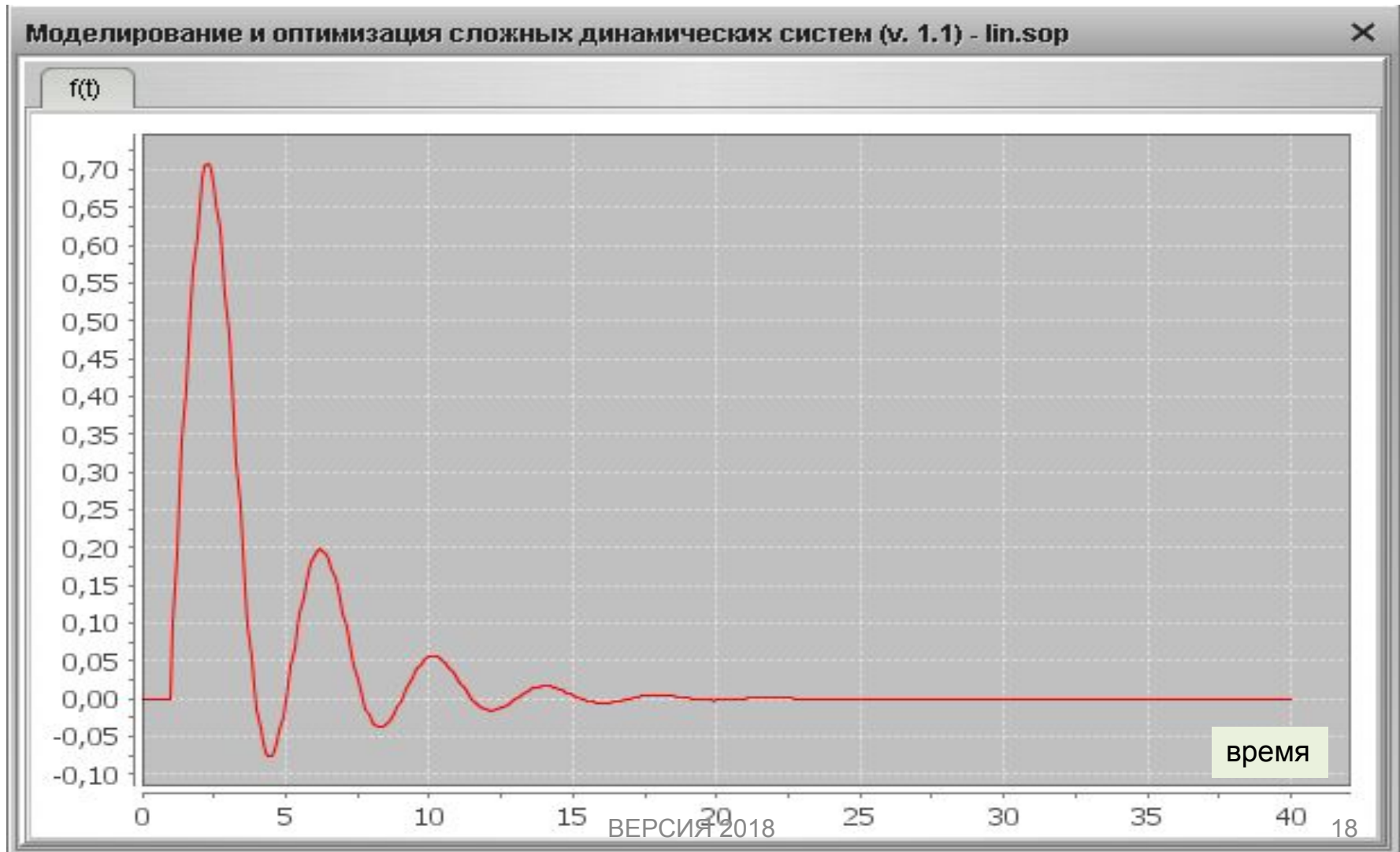
X2(t)



X1(t)

# Переходный процесс ПО ВОЗМУЩЕНИЮ $F(t)$ С ДРУГИМИ ПАРАМЕТРАМИ НАСТРОЙКИ алгоритма управления

$K=1$   $T=1$   $TAU=1$      $K1=1.29$   $K2= 0.4$

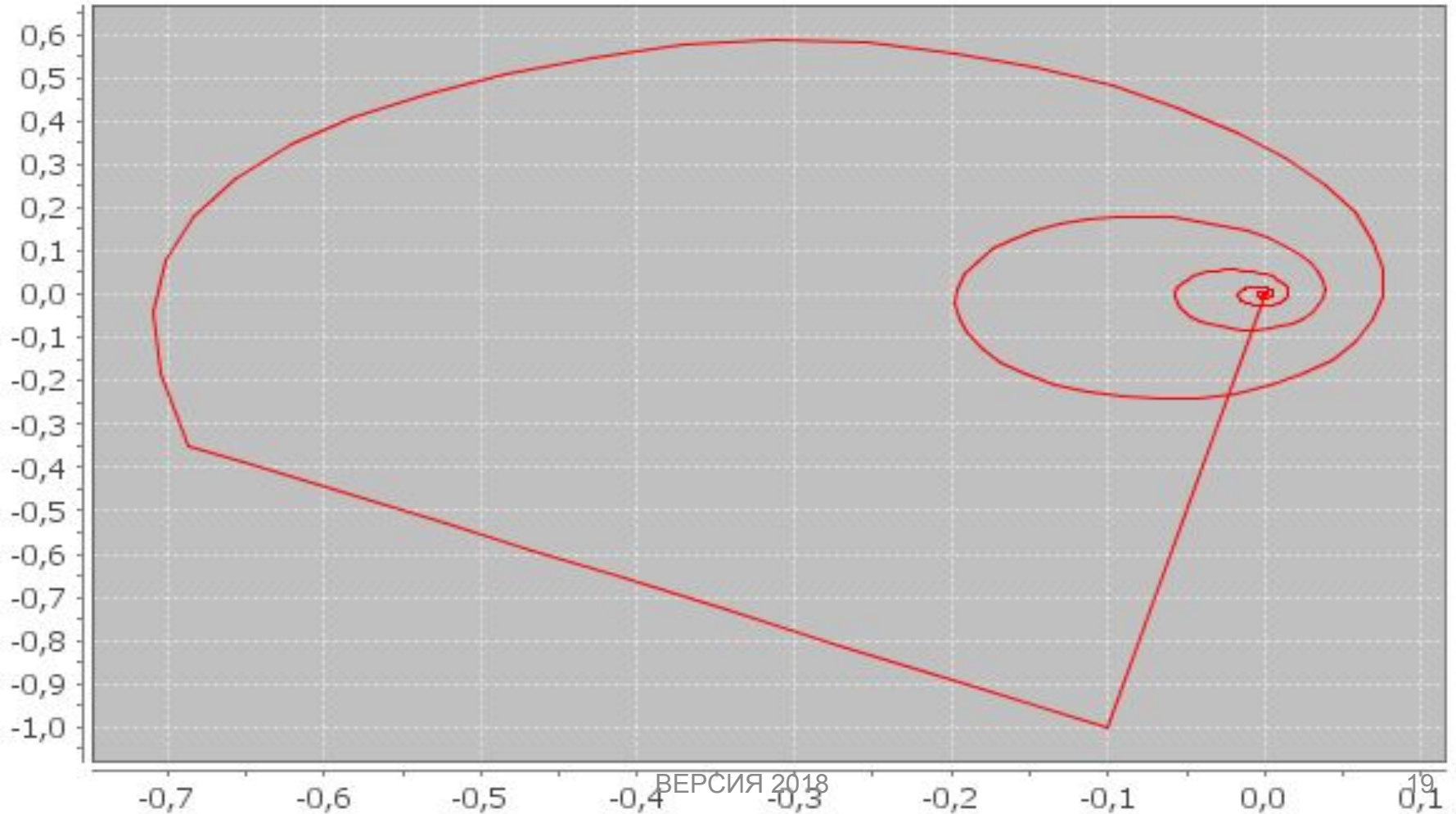


# ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ при воздействии по возмущению

Моделирование и оптимизация сложных динамических систем (v. 1.1) - lin.sop

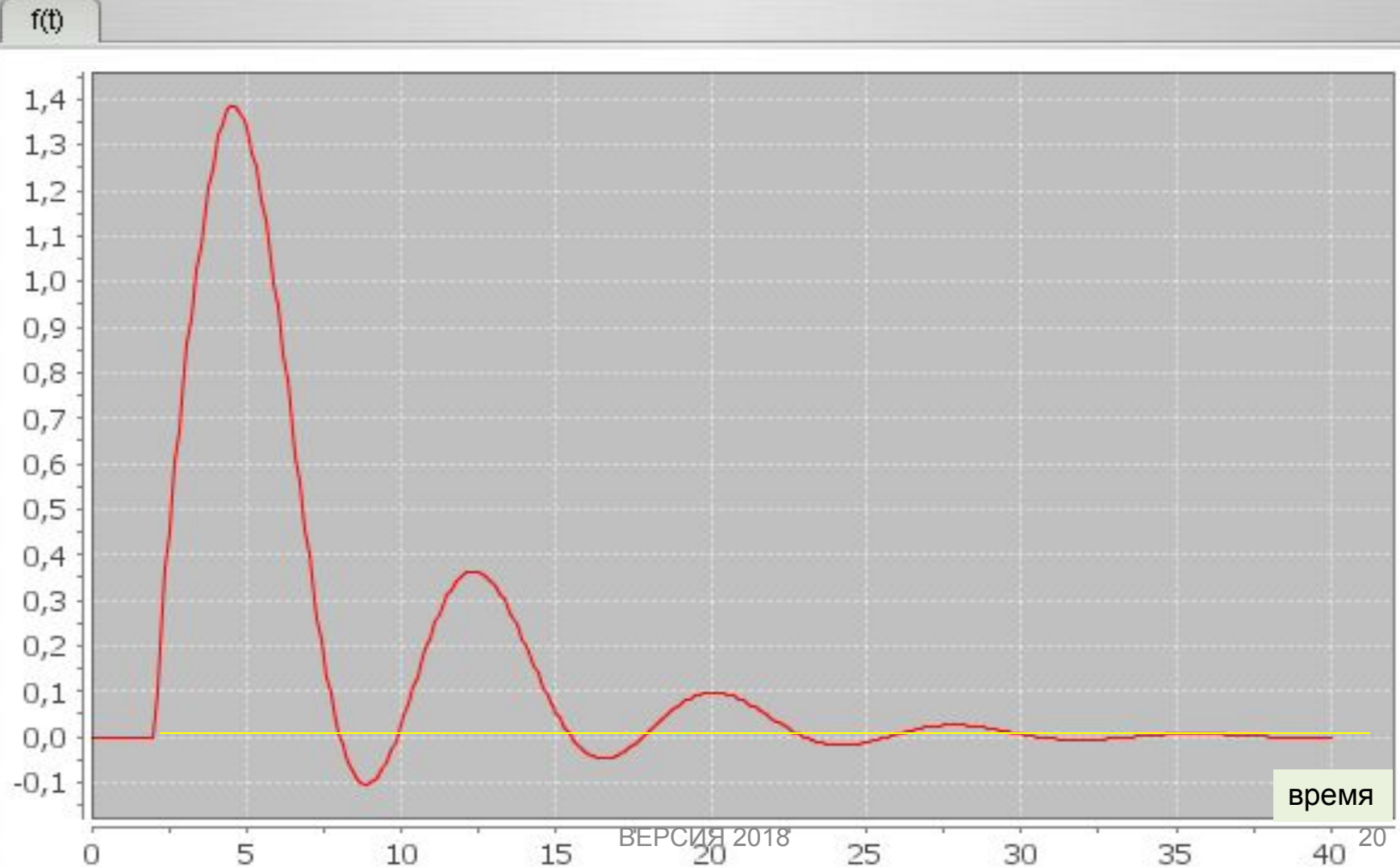


$y(x)$



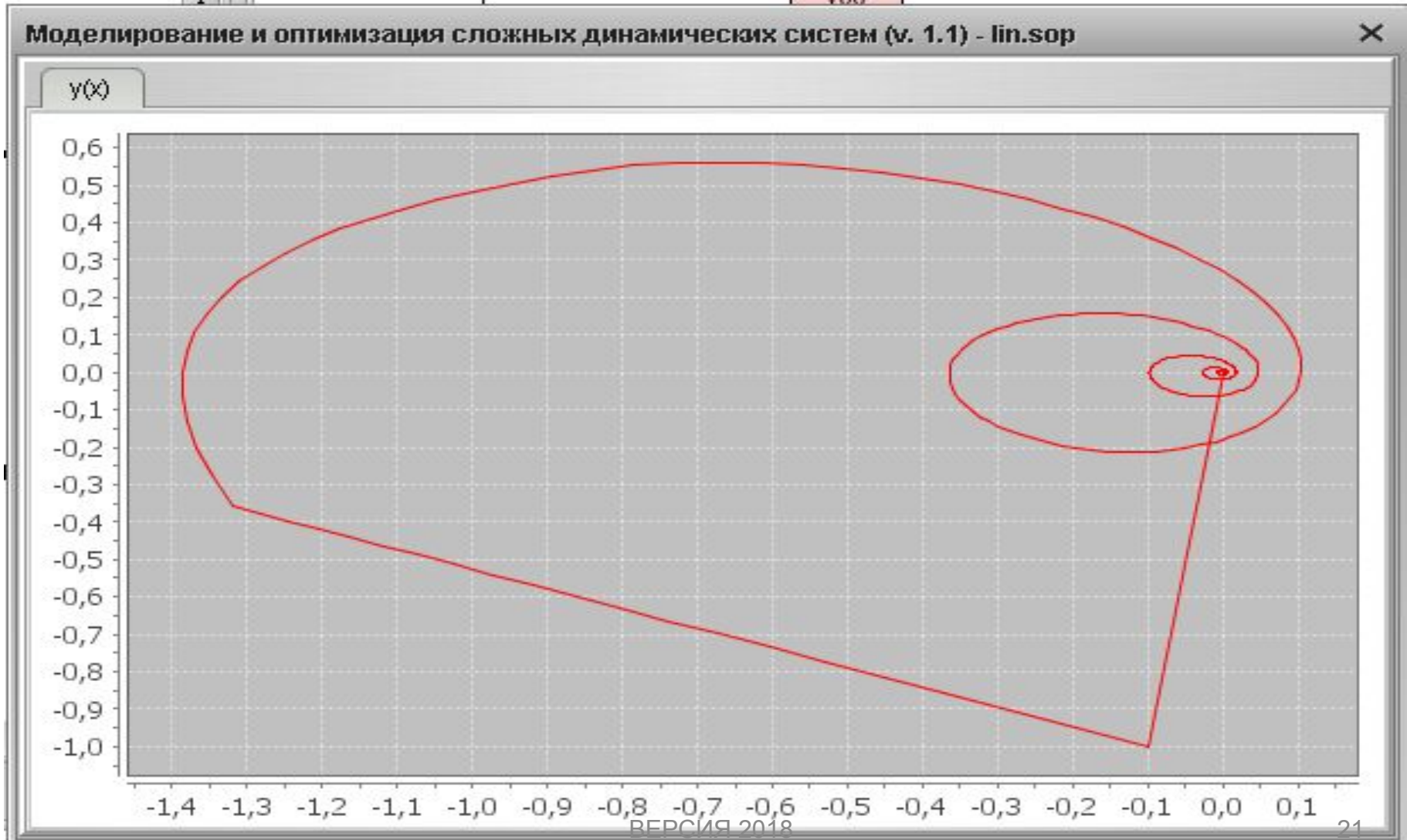
ПО ВОЗМУЩЕНИЮ С ДРУГИМИ ПАРАМЕТРАМИ  
объекта управления и настройки алгоритма управления  
 $K=2$   $T=2$   $TAU=2$      $K1=0.64$   $K2=0.16$  Нужны новые  
настройки!

Моделирование и оптимизация сложных динамических систем (v. 1.1) - lin.sop

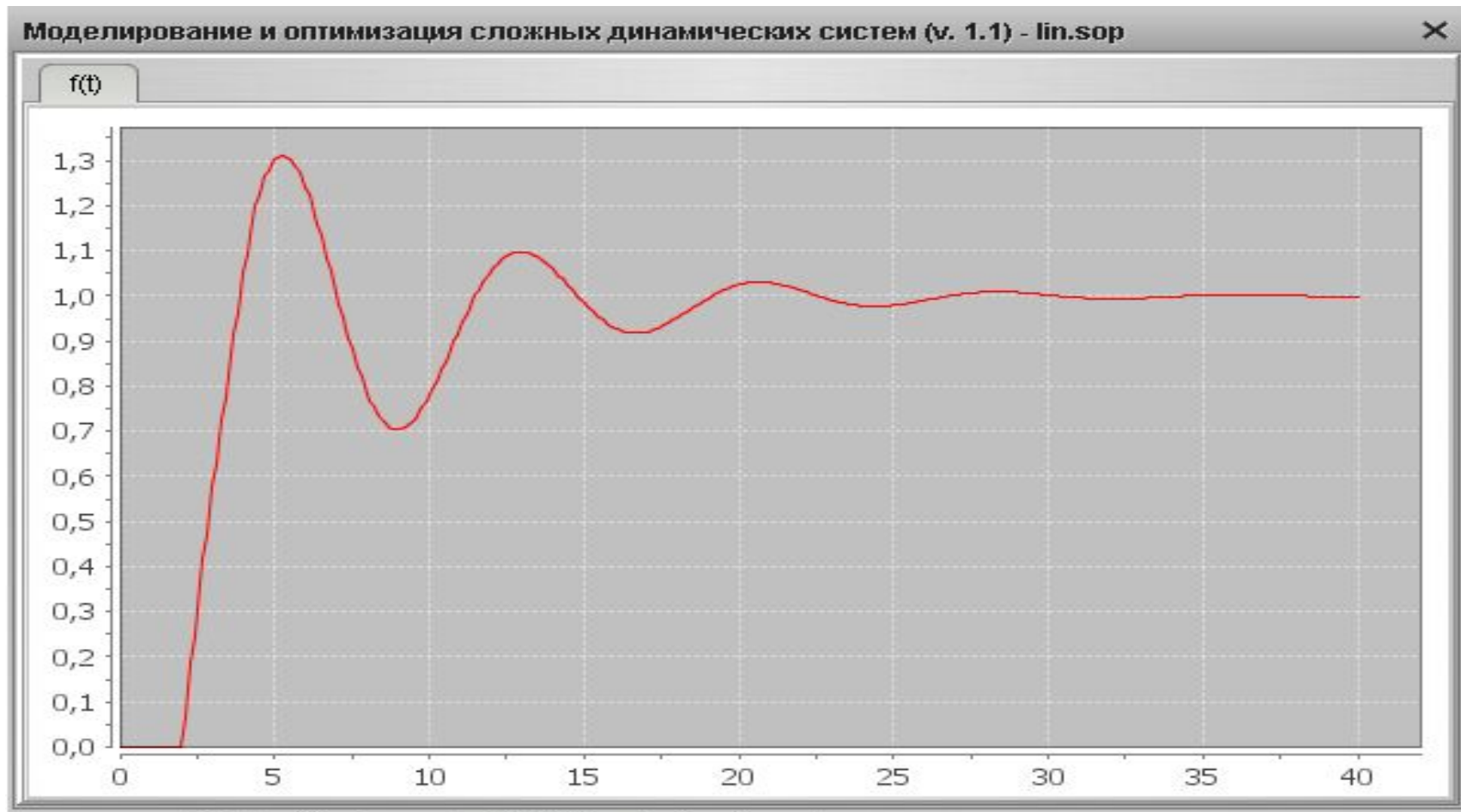


# Фазовый портрет при воздействии **ПО ВОЗМУЩЕНИЮ** С ДРУГИМИ ПАРАМЕТРАМИ НАСТРОЙКИ объекта и алгоритма управления

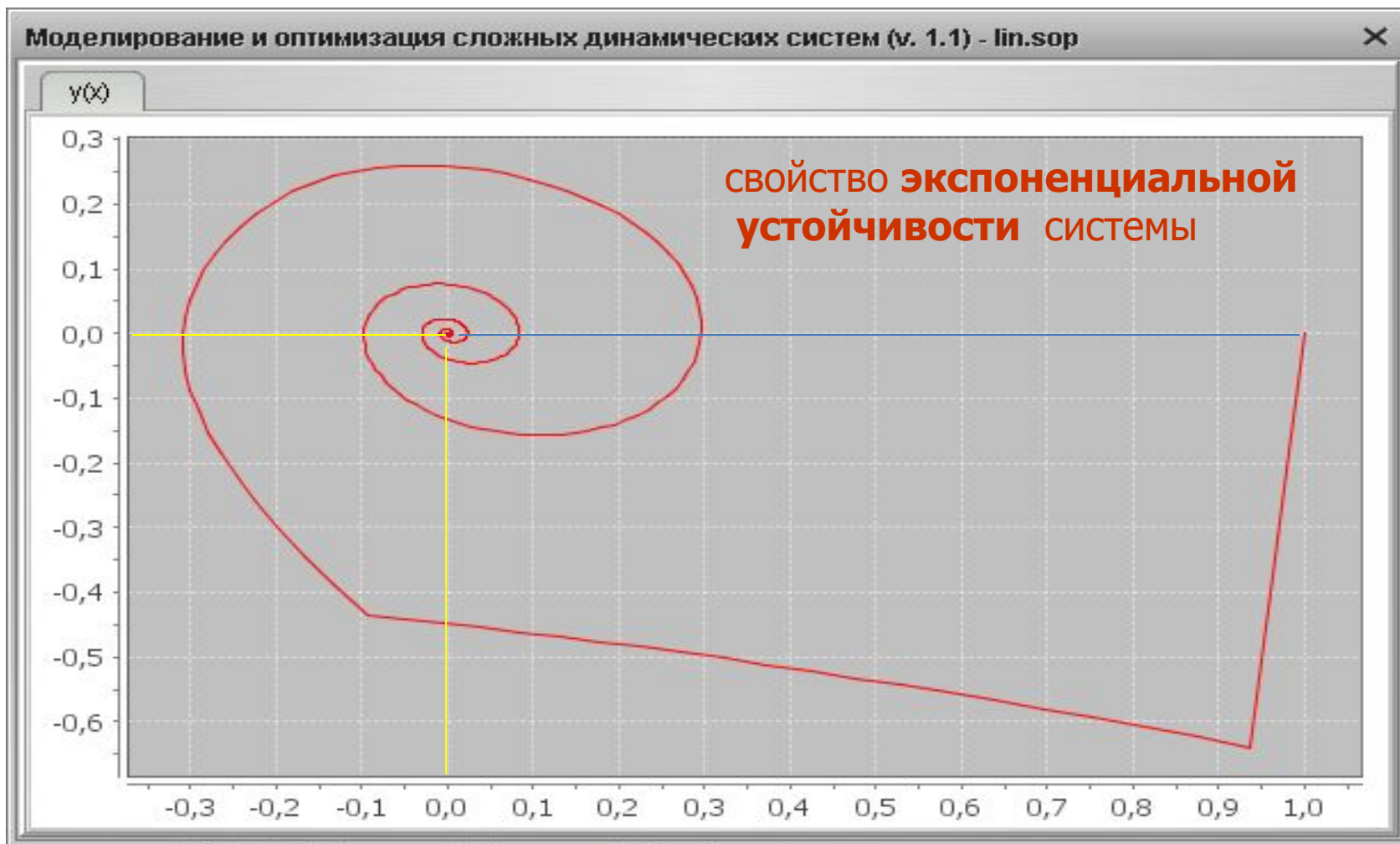
$$K=2 \quad T=2 \quad TAU=2 \quad K1=0.64 \quad K2=0.16$$



Переходный процесс при единичном воздействии по  
ЗАДАНИЮ С ДРУГИМИ ПАРАМЕТРАМИ НАСТРОЙКИ  
объекта  $K=2$   $T=2$   $TAУ=2$  и алгоритма  $K1=0.64$   $K2=0.16$



Фазовый портрет при единичном воздействии ПО ЗАДАНИЮ С  
ДРУГИМИ ПАРАМЕТРАМИ НАСТРОЙКИ  
объекта  $K=2$   $T=2$   $TAY=2$  и алгоритма  $K1=0.64$   $K2=0.16$



- Основными свойством управляемой системы в целом будем считать **свойство экспоненциальной устойчивости** системы при параметрических возмущениях и обеспечения заданных динамических свойств после подстройки алгоритма управления.
- Систему управления, использующую координатную обратную связь (КОС) и координатно – операторную обратную связь (КООС), будем именовать системой  $S_{\mu'}$ , а соответствующий ей алгоритм управления -  $A_{\mu}$  -алгоритмом, операторные переменные будем показывать двойной стрелкой.



# Замкнутая система управления с КОС описывается следующими уравнениями:

$$y(t) = P_Y(\bar{\alpha}(t), f(t), u(t)), \quad \text{ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ СИСТЕМЫ}$$

$$u(t) = u(x_p(t), t) = R_u(k_1)x_1(t), \quad \text{ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ}$$

где  $y(t)$  - регулируемая <sup>координат</sup>  $a$   $P_Y$  - оператор объекта управления,

$\bar{\alpha}(t)$  - операторные возмущения на объект управления,

$f(t)$  - координатные возмущения на объект управления, и  $u(t)$  - управляющее

воздействие,  $x_1(t)$  - сигнал ошибки,  $R_u$  - оператор координатной обратной связи

(КОС),  $R_u(k_1)$  - параметрическое семейство операторов КОС,  $k_1$  - символ, характери-

зующий тип оператора.

Величина, измеряющая рассогласование для контура КООС, определяется соотношением (4), в котором  $x_s(t)$  - задающее воздействие контура КООС

$$x_s(t) = S_x(C) * x_1(t), \quad \text{СИГНАЛ ЗАДАТЧИКА КОНТУРА КООС} \quad (4)$$

где  $S_x(C)$  - оператор задатчика динамических свойств,  $C$  - его параметры. Для компенсации рассогласования  $\sigma$  организуется обратная связь

$$\mu(t) = R_\mu(a) * \sigma(t),$$

где  $\mu(t)$  - операторная переменная,

$R_\mu(a)$  - оператор КООС,  $a$  - его параметры. Операторная переменная  $\mu(t)$  используется для изменения оператора КООС  $R_\mu$  путем придания некоторой зависимости его параметрам  $\varphi(t)$  от указанной переменной:

$$\varphi(t) = \varphi(\mu(t)) \quad \text{ПАРАМЕТРЫ ЗАВИСЯТ ОТ ОПЕРАТОРНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ}$$

Функции  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  - параметры процесса.  
 Считается, что  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  - есть произвольные кусочно-непрерывные неизвестные функции, определенные при всех  $t \geq t_0$ . Полагаются известными лишь оценки функций следующего вида:

$$\alpha_1^- \leq \alpha_1(t) \leq \alpha_1^+,$$

$$\alpha_2^- \leq \alpha_2(t) \leq \alpha_2^+$$

Введение ограничений на изменение параметров

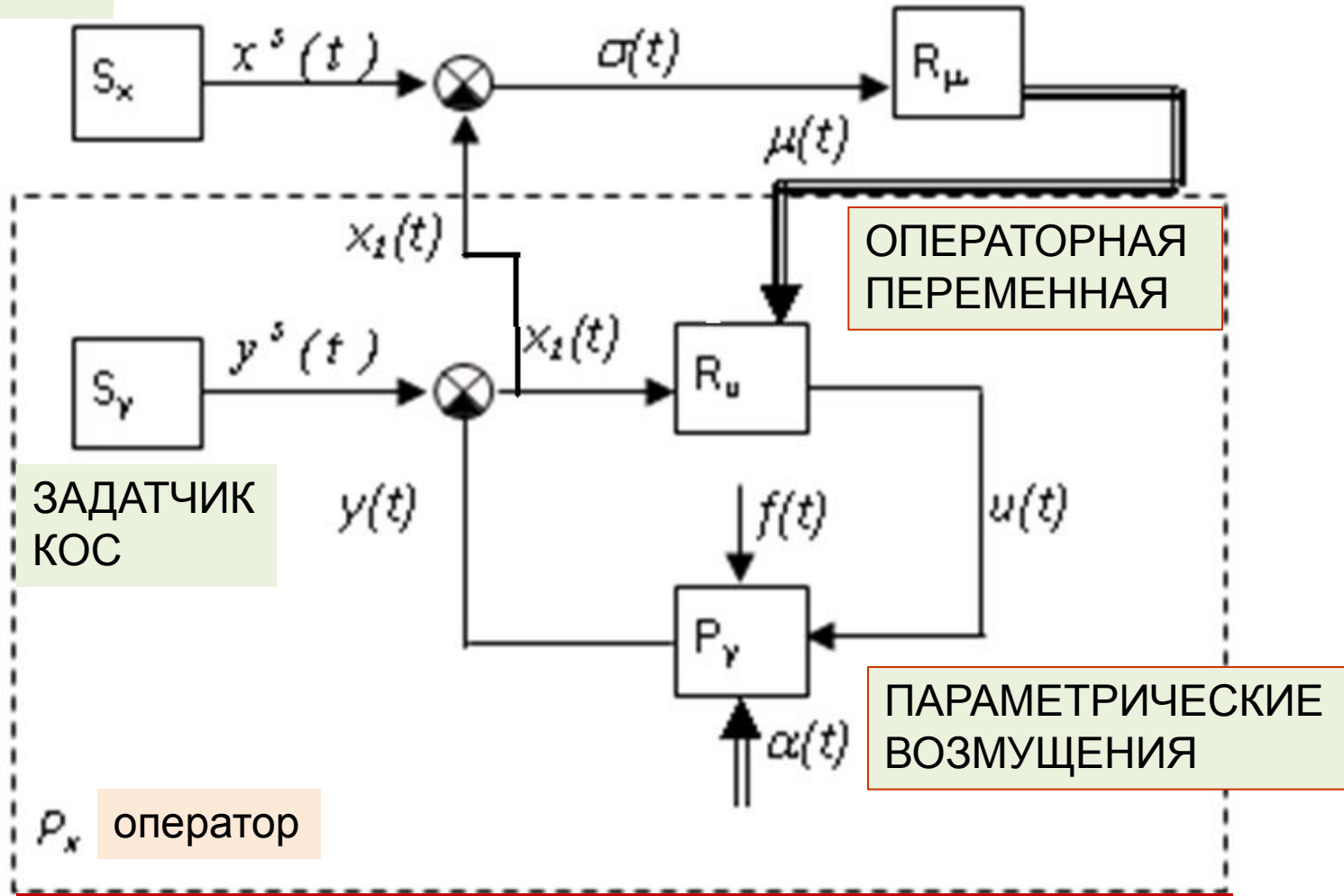
Где  $\alpha_1^-, \alpha_2^-, \alpha_1^+, \alpha_2^+$ , есть заданные числа, положительные или отрицательные.

- На выбор алгоритмов управления решающие воздействие оказывают требования к формированию управляющего воздействия, как правило эти воздействия должны быть непрерывными или **кусочно-постоянными** функциями времени.
- Требуется не использовать значительных переключений исполнительного устройства управления за исключением задач управления объектами, которые завершают функционирование с заданным, относительно коротким периодом времени (например ракетные системы).

# Обобщенная схема $S_\mu$ - системы с КООС

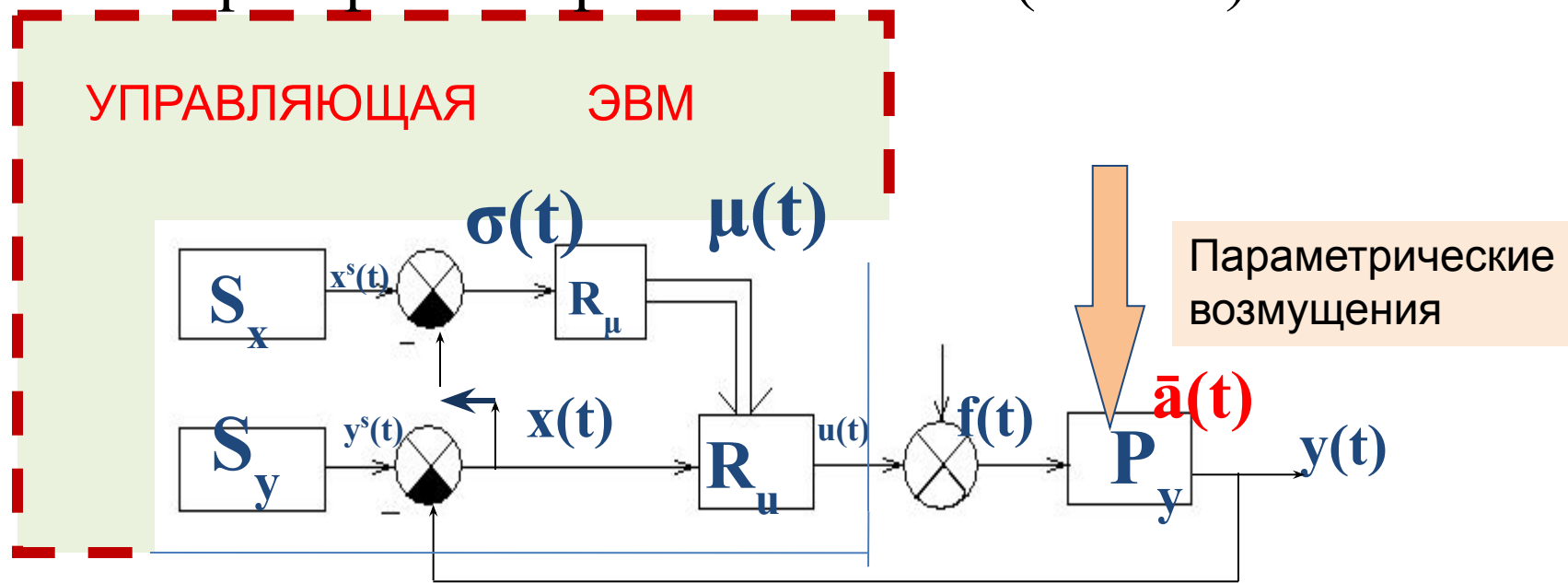
ЗАДАТЧИК  
КООС

КООРДИНАТНО-ОПЕРАТОРНАЯ ОС



(рис.1.1),

## 2. Структура системы управления с координатно-операторной обратной связью (КООС).



$x(t)$  – сигнал ошибки КОС

$x^s(t)$  – заданное значение  $X(t)$

$\sigma(t)$  – сигнал рассогласования

$$\sigma(t) = x^s(t) - x(t)$$

$R_\mu$  – оператор преобразования сигнала от  $\sigma(t)$  к  $\mu(t)$

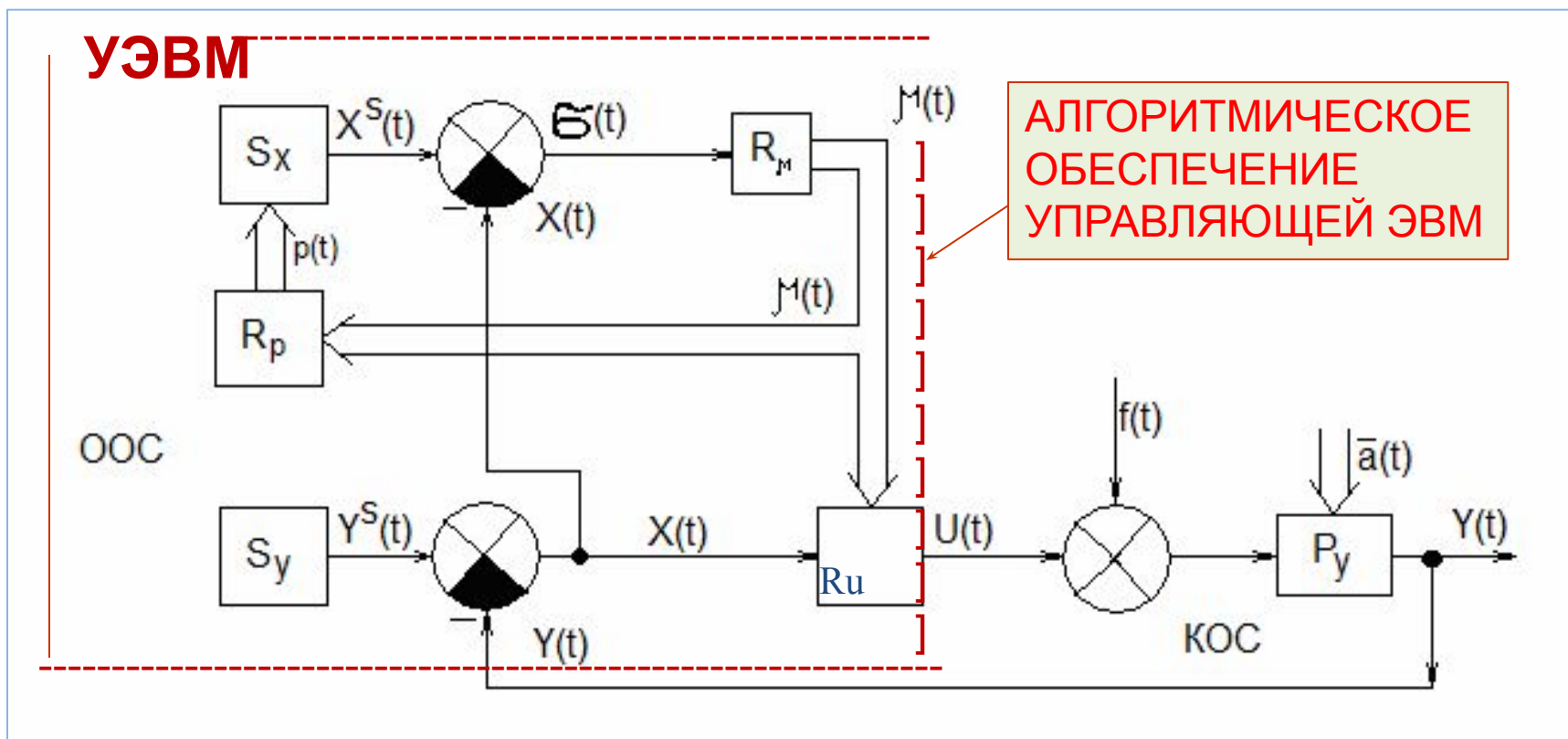
$\mu(t)$  – сигнал оператор, осуществляющий подстройку параметров алгоритма

управления  $R$

# Задачи системы управления.

- Если в параметрах объекта управления происходит **параметрическое возмущение**, то при отклонении ошибки  $X_1(t)$  от заданного значения  $X^S(t)$ , **формируется автоматически сигнал оператора  $\mu(t)$ , который подстраивает параметры настройки алгоритма управления к изменению параметров объекта.**
- Если произошло изменение параметров объекта управления, **то операторная переменная  $\mu(t)$  несёт** информацию о возникающих параметрических возмущениях, поэтому её целесообразно использовать для коррекции сигнала  $X^S(t)$  на выходе задатчика динамических свойств системы по сигналу ошибки.

# Структура системы управления с КООС и ООС.



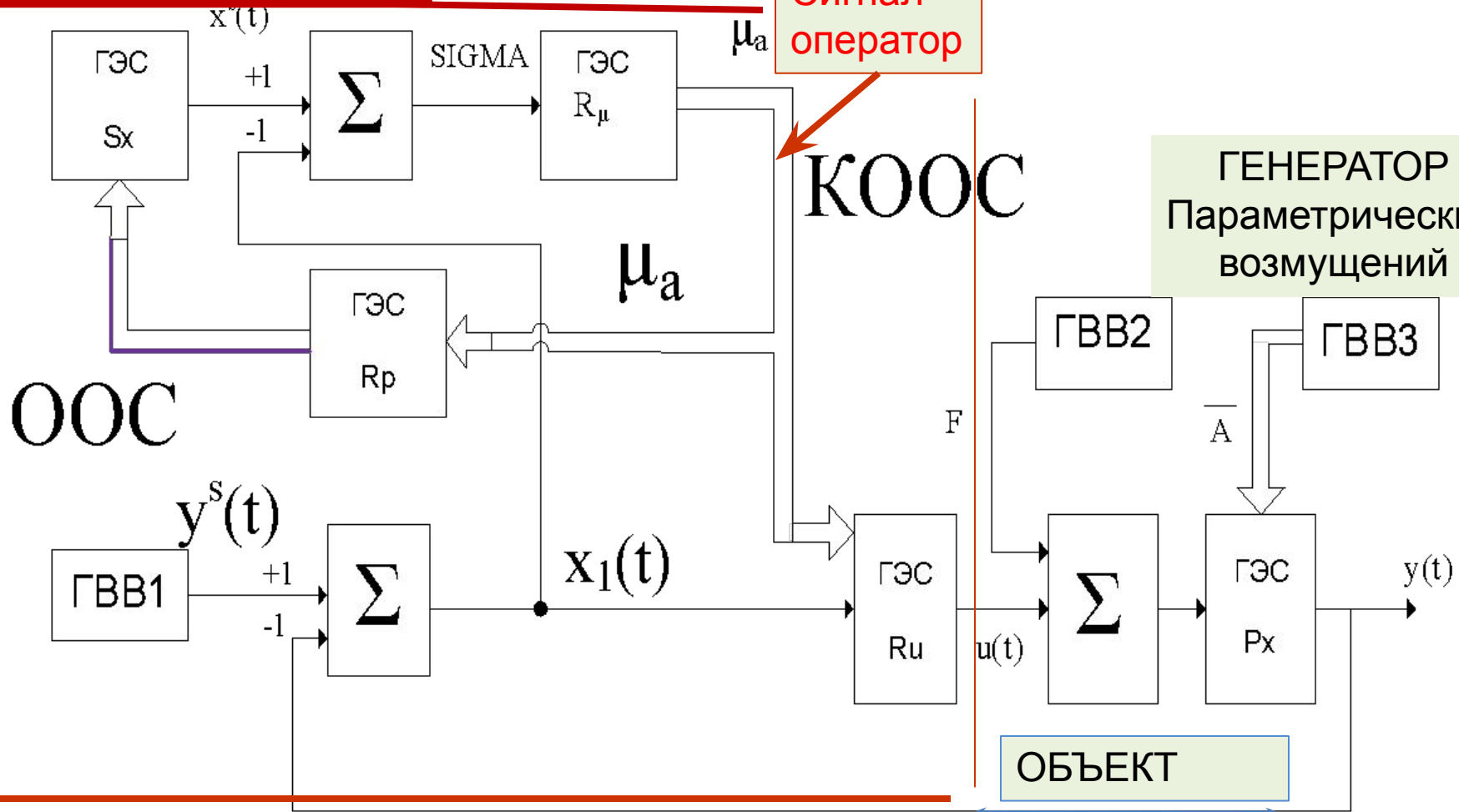
$R_p$  - оператор преобразования сигнала- оператора  $\mu(t)$  в сигнал оператора  $p(t)$ , корректирующий свойства задатчика  $S_x$ .



# 4. Сборка имитационной модели системы управления с КООС и ООС.

УПРАВЛЯЮЩАЯ ЭВМ

Сигнал оператор



КОС

## Сборка имитационной модели содержит:

- В основном контуре два групповых элемента структуры (ГЭС), моделирующих соответственно **алгоритм управления управляющей ЭВМ** и **объект управления**, как совокупность типовых звеньев.
- Генераторы внешних воздействий ГВВ формируют:  
ГВВ1 формирует задание на систему  $y^s(t)$ ,  
ГВВ2 формирует координатное возмущение  $F$ ,  
ГВВ3 формирует совокупность компонент параметрических возмущений на объект управления:  
 $A = \{a_i\}_N$ , где  $N$  – количество параметрических возмущений.

Групповые элементы системы (ГЭС) отлаживаются до начала экспериментов и записываются в базу данных системы машинного моделирования.

- При изменении параметров объекта необходимо моделировать процесс подстройки управляющего устройства при параметрическом возмущении.
- Для этого подстраивается алгоритм управления с помощью операторной переменной  $\mu_a$ , формируемой контуром КООС.
- КООС содержит два ГЭС, моделирующих соответственно задатчик динамических свойств системы  $S_x$  и оператор  $R_\mu$ , формирующий операторную переменную  $\mu_a$ .
- После подстройки система **обеспечивает**