

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ

ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.А. КЛАВДИЕВ

**ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ
в примерах и задачах**

ЧАСТЬ II

Моделирование линейных непрерывных систем автоматики

Учебное пособие

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2005

Утверждено редакционно-издательским советом университета.
УДК 519.71

Клавдиев А.А. Теория автоматического управления в примерах и задачах. Ч. II. Моделирование линейных непрерывных систем автоматики: Учеб. пособие. – СПб: СЗТУ, 2005. – 75 с-----?.

Учебное пособие предназначено для студентов четвертого курса факультета Системного анализа и естественных наук, изучающих дисциплину «Теория автоматического управления».

Учебное пособие состоит из трех частей. В нем рассматриваются вопросы, связанные с анализом качества и синтеза устройств автоматического управления посредством применения системы автоматизированного моделирования и с параметрической оптимизации, а так же изложены возможности и порядок работы с ней.

Во второй части изложены вопросы исследования автоматических систем посредством применения системы автоматизированного моделирования и параметрической оптимизации (СИАМ) и порядок работы с ней.

Учебное пособие соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки бакалавра 553000 – «Системный анализ и управление».

Рецензенты: д.т.н., проф. Кондратьев А.А., директор института экономики и управления транспортными системами; д.т.н. Первухин Д.А., ведущий научный сотрудник НПО «Аврора».

© Северо-Западный государственный заочный технический университет,
2005

© Клавдиев А.А., 2005

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Теория автоматического управления» является основой ряда дисциплин: «Современные проблемы системного анализа и управления», «Теория и практика моделирования сложных систем», «Методы системного анализа данных», «Управление в системах диагностики» и других дисциплин.

Указанную дисциплину изучают на четвёртом курсе. Теоретической базой для освоения являются материалы следующих дисциплин «Математика», «Вычислительная математика», «Системный анализ и принятие решений», «Математические методы системного анализа и теории принятия решений».

Данное учебное пособие состоит из трех частей. В нем рассматриваются вопросы, связанные с анализом качества и синтеза устройств автоматического управления посредством применения системы автоматизированного моделирования и параметрической оптимизации, а так же изложены возможности и порядок работы с ней.

Во второй части изложены вопросы исследования автоматических систем посредством применения системы автоматизированного моделирования и параметрической оптимизации (СИАМ) и порядок работы с ней.

Учебное пособие предназначено для студентов четвёртого курса подготовки бакалавров по направлению 553000 – «Системный анализ и управление», изучающих дисциплину «Теория автоматического управления».

ВВЕДЕНИЕ

Современный подход к проведению проектно-конструкторских разработок автоматических систем характеризуется широким применением средств вычислительной техники. Одним из наиболее эффективных способов повышения производительности инженерного труда и научной деятельности, сокращения сроков и обеспечения качества разработок является применение САПР. В условиях комплексной автоматизации проектно-конструкторских разработок успех в решении задач анализа и синтеза систем автоматического управления (САУ) существенно зависит от используемых математических моделей.

Как показал опыт применения, система автоматизированного моделирования и параметрической оптимизации (СИАМ) является удобной для решения широкого круга учебных и научных задач по исследованию линейных и нелинейных динамических систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями. Математическое и методическое обеспечение СИАМ опираются на терминологию и методы классической теории автоматического управления (ТАУ).

Математическое описание исследуемой САУ в среде СИАМ осуществляется с помощью аппарата передаточных функций (на основе структурной схемы). Такой подход к построению базовой модели системы получил название **структурно-функциональный**. К его очевидным достоинствам следует отнести: поэлементное задание структуры САУ; удобство сравнения результатов моделирования с данными аналитического расчета; простота изменения исходных данных и возможность многовариантного анализа систем; эффективное графическое сопровождение; удобство физической интерпретации результатов; простота формализации и решения задач параметрического синтеза динамических систем.

В настоящей части излагаются основы моделирования автоматических систем на ЭВМ. Содержание удовлетворяет программе и тематическому плану соответствующей учебной дисциплины, читаемой на ФСАЕН, и может быть полезно всем, интересующимся основами теории автоматических систем. В написании настоящей части пособия учтен многолетний опыт проведения практических и лабораторных занятий на кафедре “Теории и методов прогнозирования” СЗТУ.

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИАМ

Система автоматизированного моделирования и параметрической оптимизации (СИАМ) работает с **моделями**, которые можно представить в **форме блок-схем**, соответствующих **структурным схемам** исследуемых САУ.

В состав СИАМ включены 52 типовых блока, 4 метода численного интегрирования и 3 метода параметрической оптимизации, что позволяет проводить исследования широкого класса систем управления или других динамических систем.

Пользователь работает с СИАМ в режиме объектно-ориентированного диалога. На экране формируются несколько окон с изображениями объектов программы: исследуемой модели, наборов данных, графиков результатов. При этом изображения становятся "представителями" объектов программы на экране. Всякие изменения объектов в программе приводят к автоматическому изменению их изображений, состояние экрана соответствует текущему состоянию программы. Набор изображений выбирается так, чтобы создать достаточно полный образ исследуемой ситуации.

В СИАМ экран разделен на несколько окон, содержащих различные виды информации (*рис.1.1*): схему исследуемой модели, меню с набором возможных действий в текущей ситуации, параметры блоков и режимов работы, графики переходных процессов и частотных характеристик.

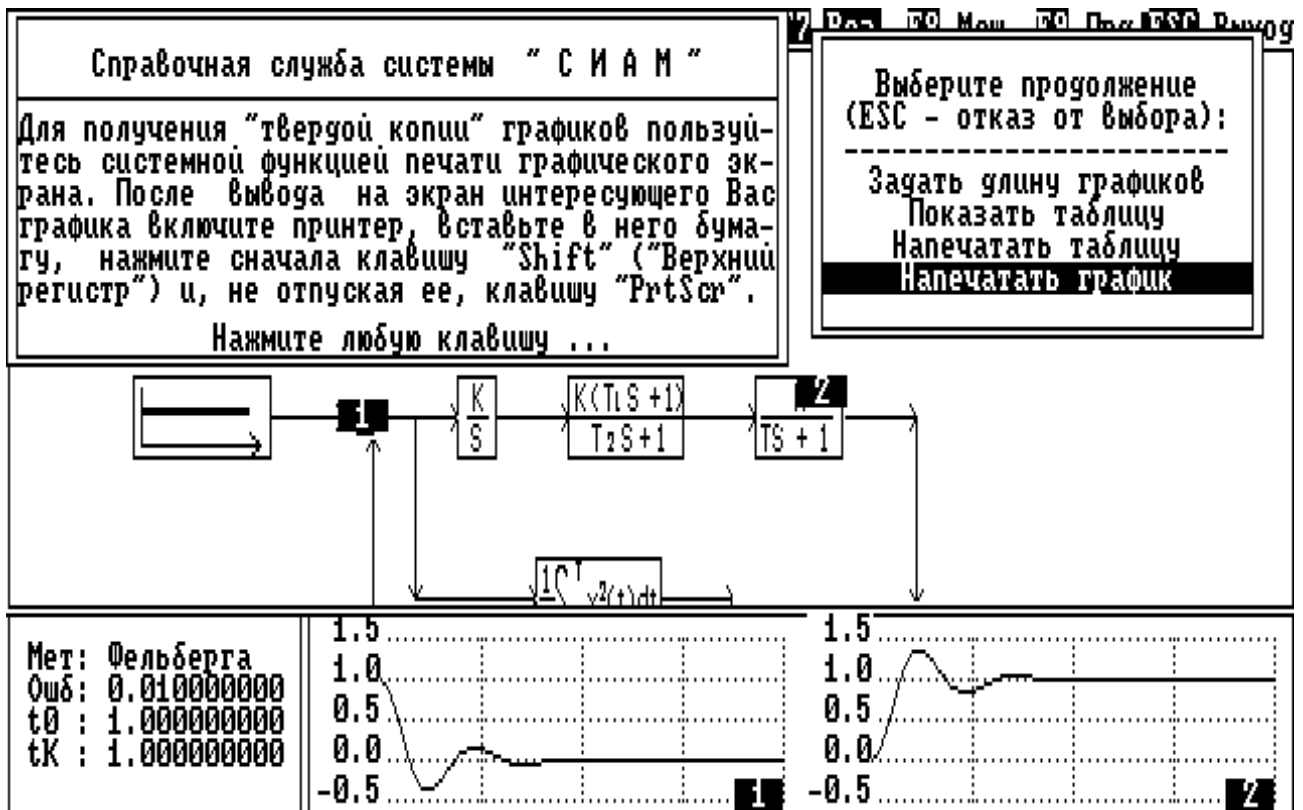


Рис.1.1

Окна могут появляться и уничтожаться, т.е. структура экрана может динамически изменяться. В исходном состоянии на экране располагаются окна с информацией наиболее общего характера, главную роль в которой играет **меню** в верхней части экрана. Управление режимами работы выполняется перемещением курсора по меню и выбором нужной позиции, либо нажатием одной из указанных в меню функциональных клавиш.

Загрузка СИАМ производится путем запуска файла с именем **siam.exe**, который обычно располагается на диске **С:** в каталоге СИАМ. После запуска программа выдает на экран заставку и по нажатию любой клавиши на клавиатуре автоматически переходит в режим ввода модели.

2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИАМ

2.1 Режим ввода модели

Модель в СИАМ - совокупность **блоков** и связывающих их **линий**. Блоки вычерчиваются системой в режиме ввода блока (клавиша F2), линии пользователем с помощью клавишей перевода курсора. Место вывода очередного элемента блок-схемы указывается курсором, который изображается кружком, если "перо" поднято, и галочкой - если "перо" опущено. Перемещением курсора с опущенным пером вычерчивается или уничтожается линия, курсор с поднятым пером не оставляет следа на экране. Опустить "перо" можно только на уже существующую линию, "перо" всегда опущено после ввода очередного блока. Для медленного перемещения курсора используйте "Shift"+(кл. перевода курсора). Используйте также клавиши:

- Home, End** – для смещения экрана, соответственно, влево и вправо;
- PgUp, PgDn** – для смещения экрана, соответственно вверх и вниз;
- DEL** – для стирания блока, на который указывает курсор;
- INS** – для включения/отключения звукового сигнала.

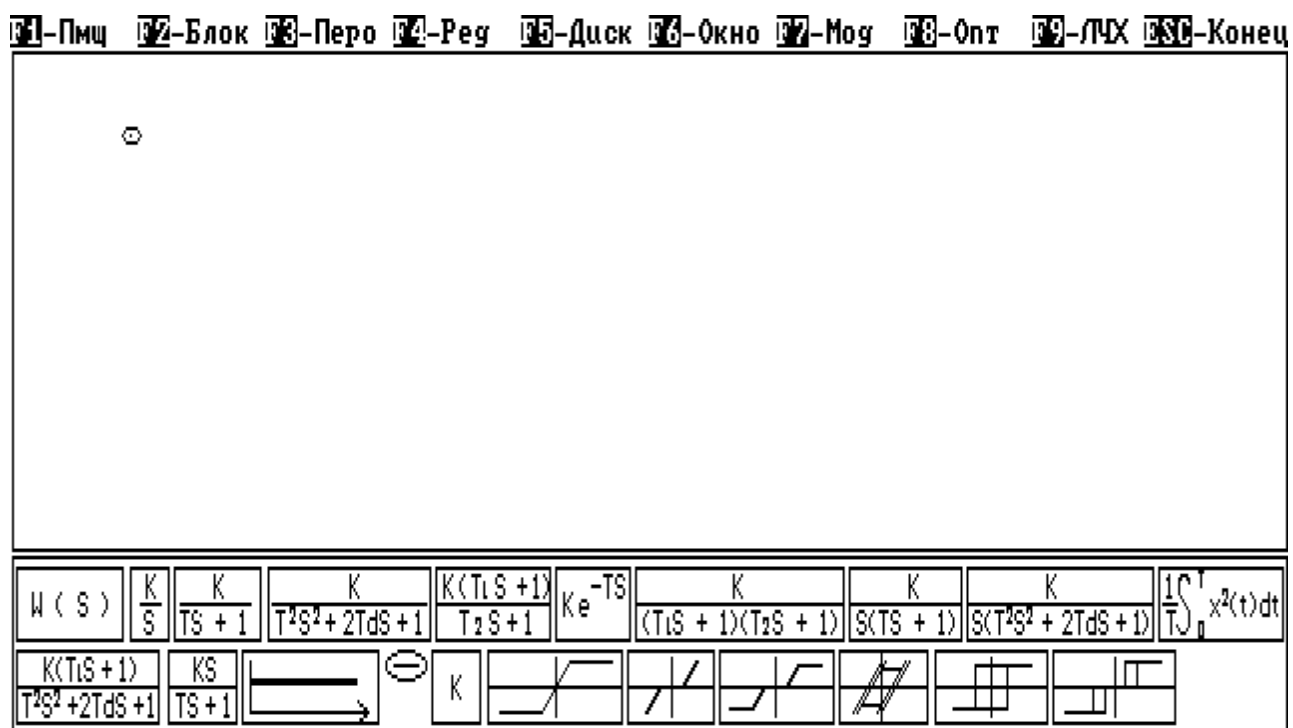


Рис.2.2

Режим ввода модели (*рис.2.2*) является базовым для СИАМ, только из него можно получить доступ к другим режимам работы, переход к которым осуществляется с помощью **меню режима ввода модели** или **основного меню СИАМ**.

МЕНЮ РЕЖИМА ВВОДА МОДЕЛИ (ОСНОВНОЕ МЕНЮ)

- | | |
|--------------------|---|
| F1 – Пмщ | – Вызов справочной службы СИАМ. |
| F2 – Блок | – Переход к режиму ввода блока и исходящей из него линии. |
| F3 – Перо | – Поднять/опустить "перо"; при опущенном "пере" слово "Перо" в меню выделяется негативным изображением. |
| F4 – Ред | – Переход к режиму редактирования/уничтожения блоков. |
| F5 – Диск | – Запись блок-схемы на диск или чтения ее с диска. |
| F6 – Окно | – Показать/убрать подсказку в нижнем окне. |
| F7 – Мод | – Переход к имитационному моделированию. |
| F8 – Опт | – Переход к параметрической оптимизации. |
| F9 – ЛЧХ | – Построение частотных характеристик. |
| ESC – Конец | – Выход из СИАМ. |

Работа с диском

В системе имеется возможность записи сформированной модели в дисковый файл и чтения модели из файла. Для работы с файлом необходимо в ответ на запрос системы ввести его имя. Допускается использование полного имени файла вместе с именем диска и всех директорий верхнего уровня, например, **a:\siam\user\myfile-i.sia**.

Имя файла состоит из собственного имени и расширения, разделенных точкой. В примере **"myfile-i"**- имя, а **"sia"**- расширение файла. В имени и

расширении допускается использование в произвольном порядке любых букв и цифр, а также символов "-" и "_". Длина имени до 8-ми, а расширения – до 3-х символов. Если расширение вместе с точкой опущены, система добавляет расширение "sia". Если при записи на диск система обнаружит уже существующий там одноименный файл, она автоматически заменит расширение этого файла на "bak". При чтении с диска ранее введенная в систему модель будет уничтожена.

Использование различных режимов СИАМ для анализа систем автоматического управления рассмотрим на примере исследования следящего электропривода транспортного средства (ТС)(4).

В качестве исходных данных для моделирования в СИАМ используется **структурная схема САУ (рис.2.1)**. Как известно (4), структурная схема состоит из прямоугольников, в которые вписаны передаточные функции элементов САУ, и соединительных линий, отображающих связи между элементами.

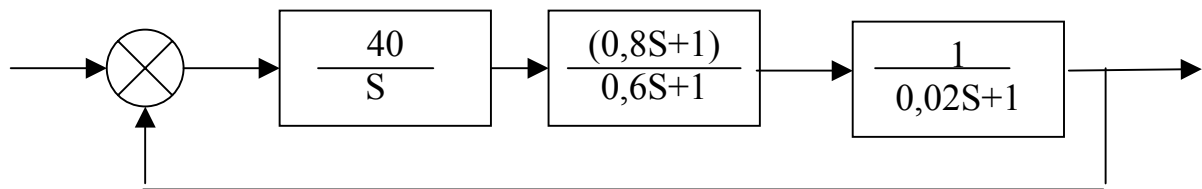


Рис.2.1

Элементы САУ в СИАМ задаются в режиме ввода блоков, а связи между ними вычерчиваются клавишами управления курсором в режиме ввода модели. Таким образом, моделирование в СИАМ начинается с набора модели САУ согласно ее структурной схеме с использованием режима ввода блоков.

2.2 Режим ввода блока (блоков)

В состав версии 4.25 СИАМ включены 52 типовых блока. В функциональном отношении их можно разбить на 4 группы:

- передаточные функции;
- генераторы пробных сигналов;
- логические и нелинейные блоки;
- математические операции.

Любой блок имеет единственный выход. Генераторы не имеют входов, бинарные математические блоки и некоторые логические – 2 входа, остальные – один. При изображении на структурной схеме блок связывается с другими блоками линиями. Единственная линия выходит из блока, количество входящих в блок линий должно точно соответствовать количеству входов.

При переходе к этому режиму в верхней части экрана появляется меню ввода блоков, а в нижней части экрана активизируется окно с пиктограммами типовых блоков СИАМ (*рис.2.3*). Одна из них выделяется негативным изображением. С помощью клавиш перевода курсора вы можете выделить ту или иную пиктограмму, после чего клавишей **"Enter"** создать блок в вашей модели. В окне-подсказке показывается лишь часть из полного набора типовых блоков СИАМ. Доступ к остальным – клавишами **Home, End, PgUp, PgDn**.

Блоки, использующие входные сигналы, не могут создаваться на "пустом" месте, но обязательно – в конце любой уже существующей **горизонтальной** линии. Блоки-генераторы пробных сигналов, наоборот, не могут располагаться на линии, так как для своей работы не нуждаются во входных сигналах. Таким образом, 1-м вводимым блоком в любой модели должен быть генераторный блок любого типа (если такой блок не нужен, можно использовать фиктивный генератор ступенчатой функции с нулевым уровнем выходного сигнала).

При создании очередного блока одновременно создается исходящая из него линия, а система остается в режиме ввода блока. Выход из режима – **Esc**.

Рассмотрим порядок набора схемы моделирования электропривода ТС согласно структурной схеме, приведенной на *рис.2.1*.

Набор начинается с перехода из режима ввода модели в режим ввода блоков нажатием в основном меню клавиши **F2**. Затем в окне с пиктограммами основных блоков клавишами управления курсором необходимо выбрать один из генераторных блоков, задающих входной сигнал системы. Если в результате моделирования нам необходимо получить переходную характеристику системы, необходимо первым блоком в модели поставить генератор единичного ступенчатого воздействия. Для этого клавишами управления курсором выбирается пиктограмма этого генератора (*рис.2.3*) и нажимается

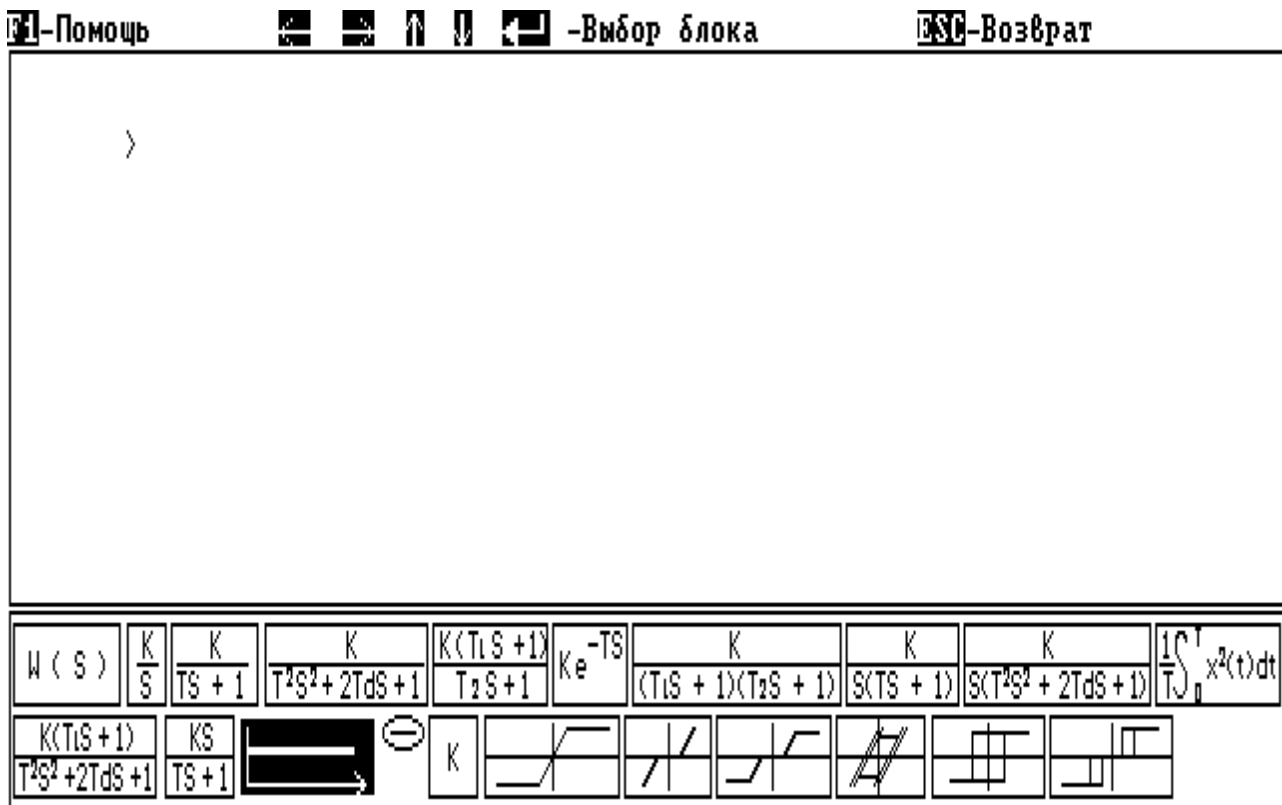


Рис.2.3

клавиша **Enter**. На экране возникает окно с запросом величины ступенчатого воздействия, аналогичное показанному на *рис.2.4*. Если величина необходимого входного сигнала отлична от предлагаемого СИАМ, пользователь имеет возможность ввести с цифровой клавиатуры необходимое ему значение. Для того чтобы выбранный блок окончательно стал внесенным в состав набираемой

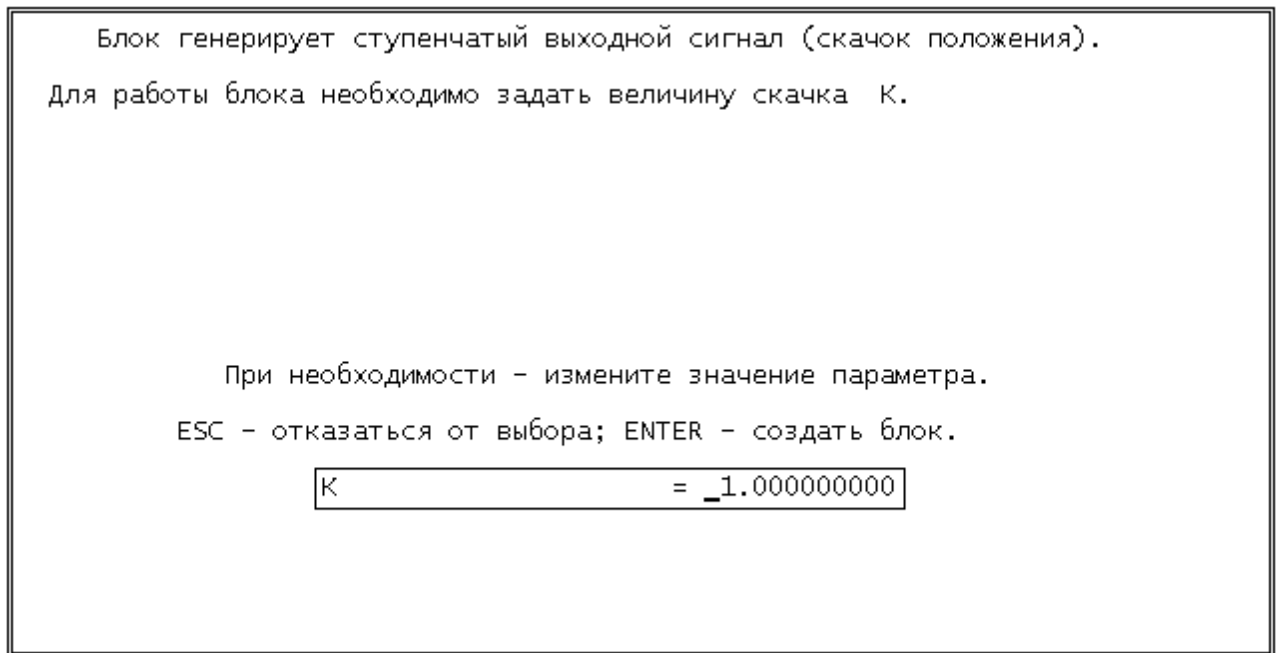


Рис.2.4

модели, после ввода числового значения запрашиваемого коэффициента требуется нажать клавишу **Enter**. Если выбор блока был произведен ошибочно, имеется возможность отменить включение блока нажатием клавиши **Esc**.

О включении блока в состав модели свидетельствует появление его пиктограммы в центральном окне СИАМ, которое будет называться **окном модели (рис.2.5)**.

Следующим элементом модели в соответствии со структурной схемой системы является сумматор, входными сигналами которого являются входной сигнал системы $x(t)$ и сигнал со звена обратной связи $y_{oc}(t)$. Поскольку этот элемент реализует операцию вычитания $a(t) = x(t) - y_{oc}(t)$, его пиктограмма представляет собой круг со знаком "-" внутри. Последовательность действий для включения сумматора в состав модели такая же, как и для предыдущего элемента.

F1-Помощь



-Выбор блока

Esc-Возврат

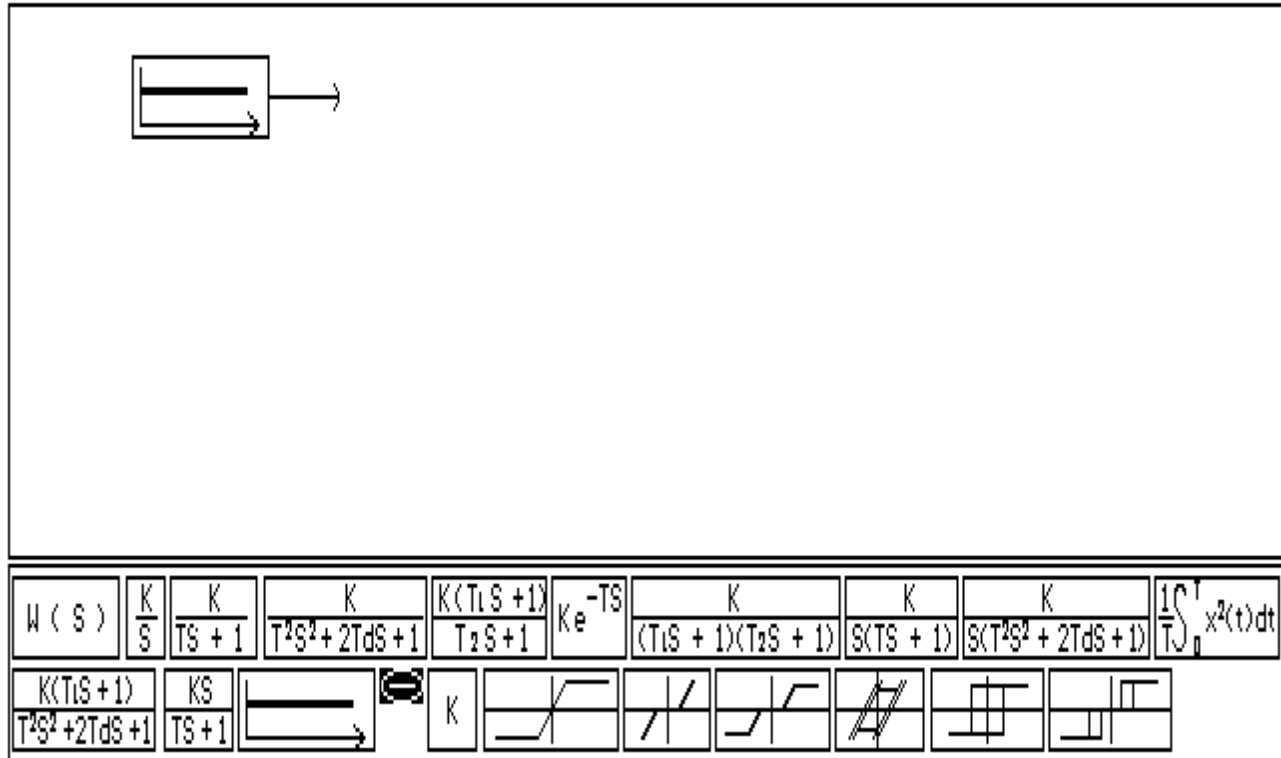


Рис.2.5

Аналогично набираются и все остальные элементы прямой цепи модели в соответствии с пиктограммами, содержащие передаточные функции элементов САУ согласно ее структурной схеме. Параметры передаточных функций (постоянные времени T , коэффициенты передачи K , начальные условия) устанавливаются по запросу СИАМ в окнах, раскрывающихся при вводе каждого элемента системы. Форма запроса совпадает со структурой окна, изображенного на *рис.2.4*.

По окончании ввода элементов прямой цепи изображение в окне модели примет вид, показанный на *рис.2.6*.

Для задания цепи обратной связи необходимо выйти из режима ввода блоков в режим ввода модели, чтобы активизировать режим "перо" для вычерчивания линии обратной связи. Выход осуществляется нажатием клавиши **Esc**. Если режим "перо" активен, на линии появляется изображение мигающей стрелки. В этом случае клавишами управления курсором вычерчиваются линии связи, причем направление стрелки на клавиатуре

совпадает с направлением вычерчиваемой линии. Чтобы в цепь обратной связи при $W_{oc}(S)*1$ вставить новый блок с заданной $W_{oc}(S)$, необходимо прервать черчение и нажатием клавиш **Esc** и **F2** вновь войти в режим ввода блоков. После вставки нового блока можно продолжить черчение линии обратной связи, возвратясь в режим ввода модели нажатием клавиши **Esc**.

Если необходимо провести линию, начинающуюся из произвольного места схемы, необходимо "поднять перо" нажатием клавиши **F3**, перевести курсор в нужное место схемы и вновь "опустить перо" нажатием клавиши **F3**.

Таким образом, ввод модели в СИАМ производится с использованием двух режимов: ввода модели и ввода блоков. После окончания набора модели согласно структурной схеме рис.2.1 на экране должно быть сформировано изображение, показанное на *рис.2.7*.

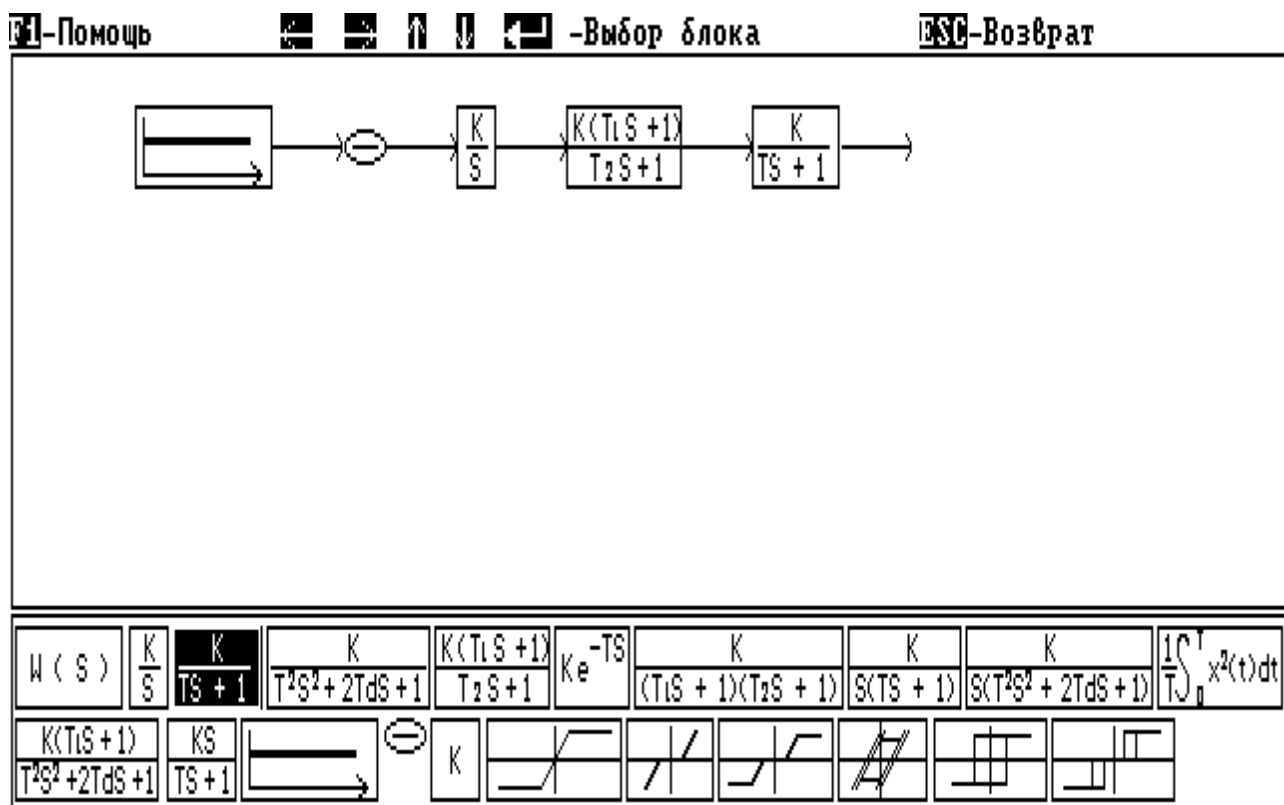


Рис.2.6

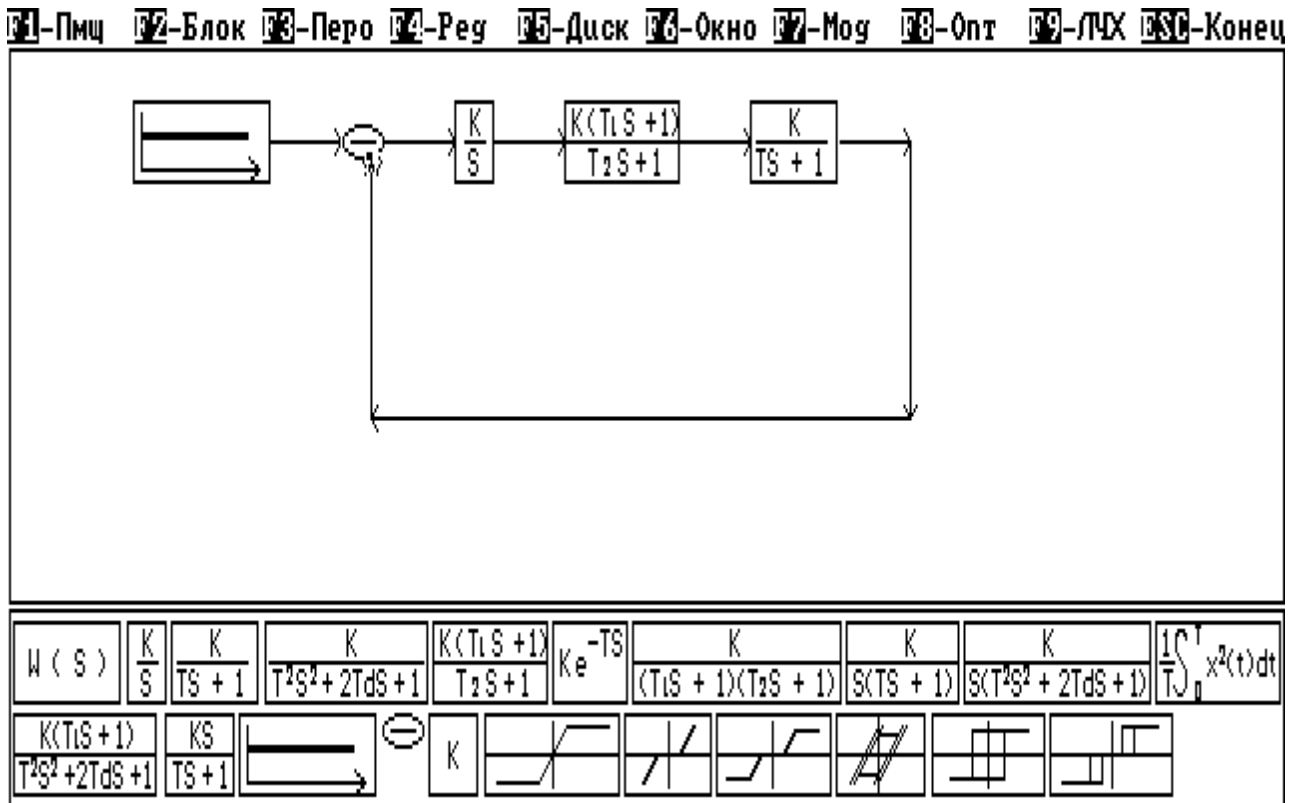


Рис.2.7

2.3 Режим имитационного моделирования

В этом режиме осуществляется численное интегрирование системы обыкновенных дифференциальных уравнений, которая автоматически создается в СИАМ по введенной блок-схеме. Результаты интегрирования запоминаются системой и могут выводиться в виде таблиц и графиков на экран или принтер.

Порядок интегрируемой системы ограничивается лишь доступной памятью и может быть весьма большим. На структуру накладывается единственное ограничение – она должна быть такой, чтобы **ВХОДНОЙ** сигнал любого блока мог быть вычислен системой **ДО** вычисления **ВЫХОДНОГО** сигнала этого же блока. Система допускает интегрирование в "прямом" ($t_k > t_0$) и в "обратном" ($t_k < t_0$) времени. Моделирование можно прервать в любой момент, нажав клавишу **Esc**. Клавишей **F8** можно продолжить завершившееся или прерванное моделирование.

Краткая справка по методам интегрирования

В системе СИАМ реализованы 4 метода численного интегрирования: два метода с контролем локальной погрешности и автоматическим выбором шага и два метода с фиксированным шагом. Обычно методы с автоматическим выбором шага имеют существенно большее быстродействие, в особенности при параметрической оптимизации, когда интервал интегрирования не дробится на 100 или более подинтервалов для запоминания промежуточных результатов. В методе Кутта-Мерсона используется 5 вычислений правых частей интегрируемой системы уравнений, в методах Фельберга, Рунге-Кутта и Эйлера, соответственно 6, 4 и 2.

Метод Эйлера 2-го порядка точности отличается максимальной скоростью счета, но дает наименее достоверные результаты. Может использоваться лишь для приближенных оценок – в основном для "грубого" поиска экстремума целевой функции при проведении параметрической оптимизации модели.

В методе Рунге-Кутта 4-го порядка точности скорость счета и достоверность получаемых результатов существенно зависят от шага интегрирования, задаваемого параметром "ШАГ". Метод не имеет средств оценки локальной погрешности, поэтому выбор шага вы должны осуществить самостоятельно. Как правило, шаг не должен превышать 30...50% от минимальной постоянной времени модели.

Метод Кутта-Мерсона с автоматическим выбором шага интегрирования сочетает хорошую точность (метод 4-го порядка точности) и высокую скорость. Метод оценивает локальную погрешность вычислений и выбирает шаг так, чтобы эта погрешность не превышала величины, заданной параметром "ПОГРЕШНОСТЬ". Этот параметр не следует устанавливать меньше **$1.0e^{-5}$** .

Метод Фельберга с автоматическим выбором шага интегрирования отличается максимальной точностью (метод 5-го порядка точности), но

медленнее других. Рекомендуется для "чистовых" прогонов с целью получения максимально достоверных результатов.

Режим моделирования активизируется из режима ввода модели нажатием клавиши **F7**, после чего экран принимает вид, изображенный на *рис.2.8*. В верхней части экрана появляется **меню режима моделирования**.

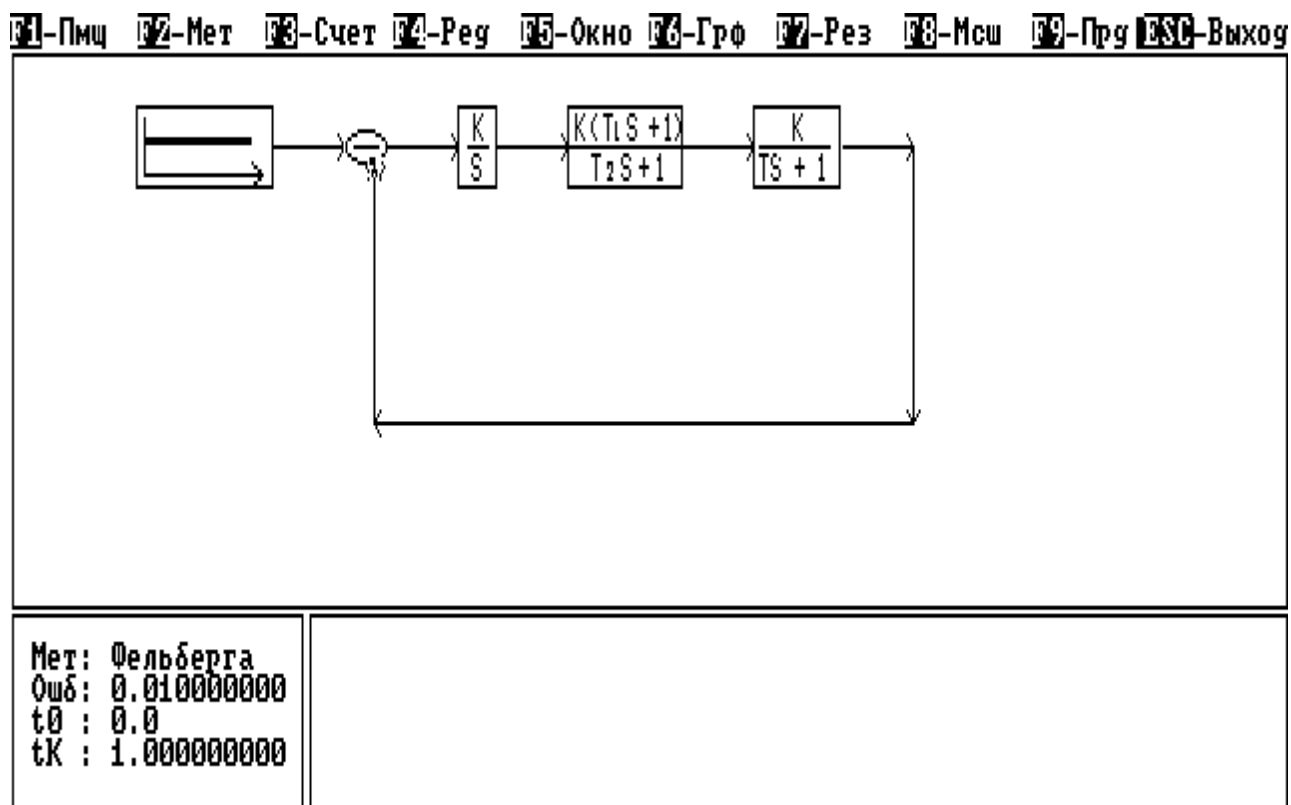


Рис.2.8

МЕНЮ РЕЖИМА МОДЕЛИРОВАНИЯ

- | | |
|------------------|--|
| F1 – Пмщ | – Справочная служба СИАМ. |
| F2 – Мет | – Выбор метода интегрирования и его параметров. |
| F3 – Счет | – Начать моделирование. |
| F4 – Ред | – Редактирование блока (см. режим ввода модели). |
| F5 – Окно | – Отображение результатов в графическом окне. |
| F6 – Грф | – Вывод графиков на терминал. |
| F7 – Рез | – Заказать/просмотреть результаты моделирования. |
| F8 – Мсш | – Масштабировать графики в графических окнах. |

- F9 – Прд** – Продолжить моделирование с прерванного места.
- Esc – Выход** – Вернуться в режим ввода модели.

В левой нижней части экрана появляется окно с информацией о выбранном методе интегрирования, начальном и конечном времени интегрирования. Правое окно нижней части экрана в начальный момент перехода в режим имитационного моделирования пусто. В нем могут открываться окна с графиками промежуточных результатов моделирования по команде **F5 – Окно**.

Рассмотрим **порядок работы в режиме имитационного моделирования** для получения переходной характеристики САУ, модель которой набрана по методике, изложенной в пункте 2.2.

Как указано выше, переход к моделированию осуществляется после окончания набора схемы моделирования в режиме ввода модели нажатием клавиши **F2**. Затем необходимо выполнить следующие действия:

1. Выбрать метод интегрирования и установить пределы и, при необходимости, шаг интегрирования.
2. Открыть окна для вывода промежуточных результатов.
3. Произвести моделирование.
4. Просмотреть результаты моделирования.

Для **выбора численного интегрирования** необходимо в меню режима моделирования нажать клавишу **F2** и в раскрывшемся окне выбора метода (*рис.2.9*) клавишами управления курсором выделить необходимый метод (на *рис.2.9* выделен метод Эйлера) и задать значения шага интегрирования, времени начала t_0 и окончания t_k решения.

В нижней части окна запроса расположена динамически изменяющаяся справка с кратким описанием выбранного метода и рекомендации по выбору шага интегрирования.

Открытие в правой нижней части экрана **дополнительных окон с графиками промежуточных результатов решения** производится после нажатия в меню моделирования клавиши **F5**. Возможно одновременное открытие двух таких окон, в которых могут отображаться сигналы различных блоков модели. Один из блоков выделяется негативным изображением, и окно с графическим изображением его выходного сигнала появляется в нижней части экрана после нажатия клавиши **Enter**. Выделение другого блока производится путем перемещения негативного изображения клавишами управления

Выбор метода численного интегрирования				
С помощью клавишей управления положением курсора выберите необходимый метод и установите связанные с ним параметры:				
Метод	:	Кутта-Мерсона	Фельберга	Рунге-Кутта
Шаг	=			Эйлера 0.010000000
t0	=			0.0
tK	=			1.000000000
<p>Метод Эйлера 2-го порядка точности отличается максимальной скоростью счета, но дает наименее достоверные результаты.</p> <p>Метод не имеет средств оценки локальной погрешности, поэтому выбор шага Вы должны осуществить самостоятельно. Как правило, шаг не должен превышать 10...20% от минимальной постоянной времени модели.</p> <p>Может использоваться лишь для приближенных оценок – в основном для "грубого" поиска экстремума целевой функции при проведении параметрической оптимизации модели.</p>				
ESC- отказ от выбора; Enter- выбор метода и выход				

Рис.2.9

курсором. Блоки, графики выходных сигналов, которые помещают в дополнительные окна, автоматически помечаются в правом верхнем углу цифрами 1 и 2 (*рис.2.10*). Соответствующие отметки появляются и в открывающихся окнах.

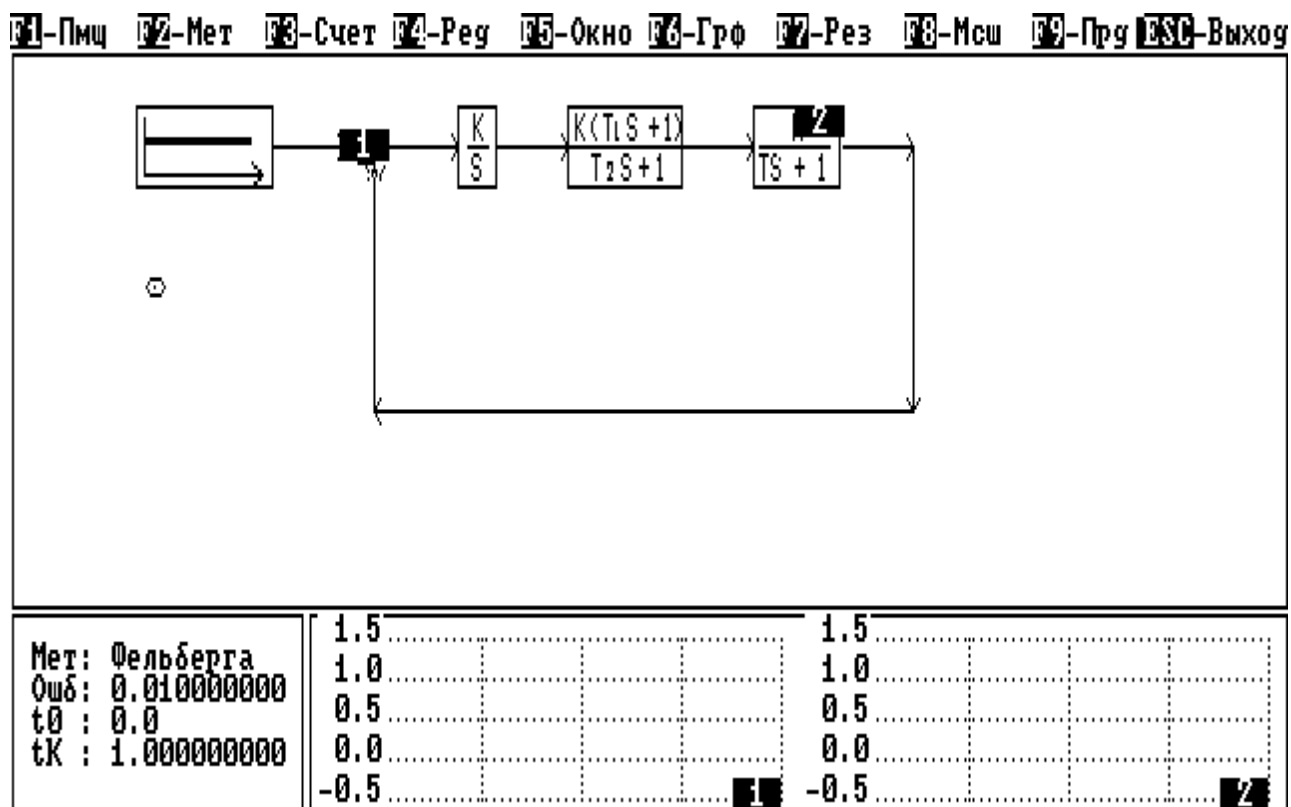


Рис.2.10

Процесс **моделирования** начинается после нажатия клавиши **F3 – Счет**. По завершению решения задачи СИАМ сообщает об этом пользователю, открывая окно с соответствующим сообщением. Решение может быть прервано пользователем в любое время нажатием клавиши **Esc** и продолжено из точки останова клавишей **F9 – Прд**. Если клавиша **F9** нажата после завершения моделирования, интегрирование производится с момента времени t_k до $t_k * 2$. Результаты предыдущего цикла моделирования при этом сохраняются. Таким образом, имеется возможность изменить время решения, минуя режим метода численного интегрирования.

Прерывания решения используется также для изменения масштаба в дополнительных окнах в случае, если выходной сигнал опрашиваемых блоков не соответствует масштабу, устанавливаемому по умолчанию. После остановки процесса моделирования нажатие клавиши **F8** приводит к автоматическому изменению масштаба в дополнительном окне в соответствии с величиной отображаемого сигнала.

Экран СИАМ по завершении моделирования имеет вид, показанный на *рис.2.11*.

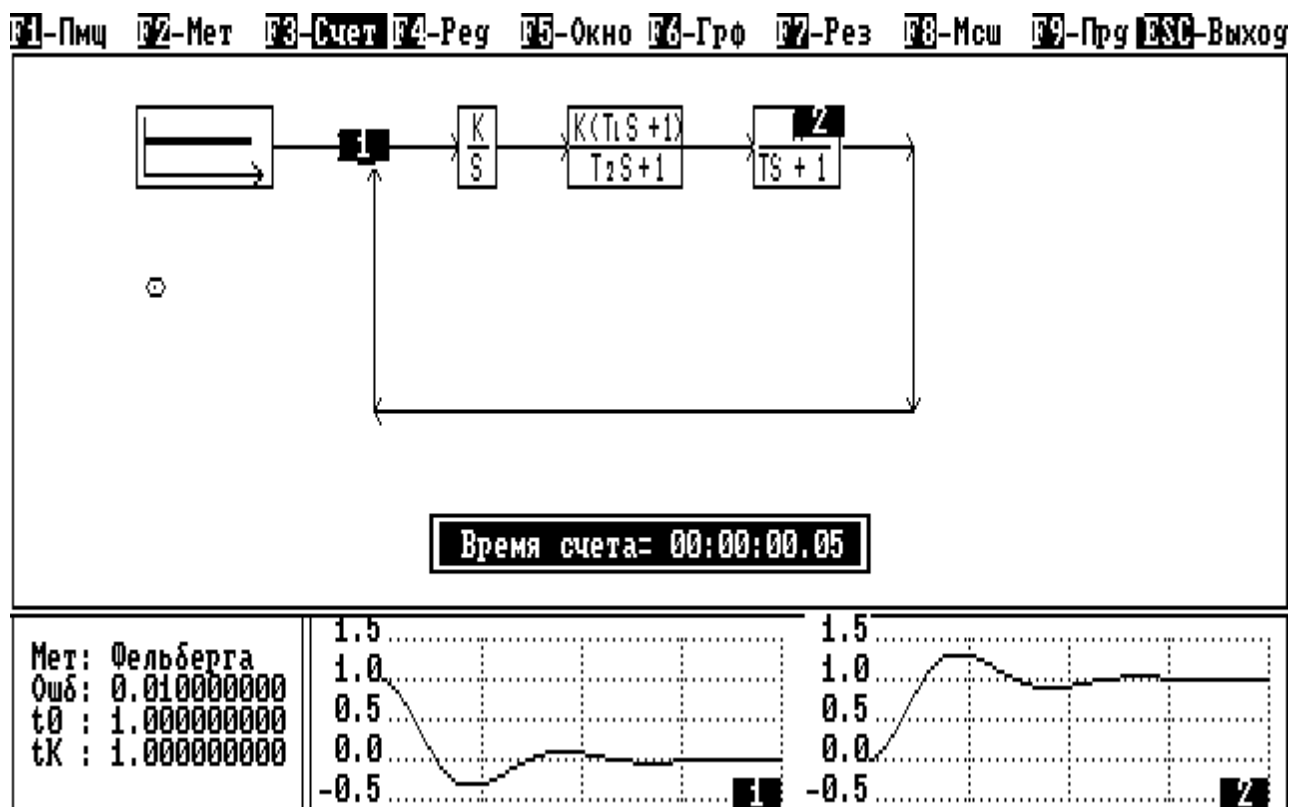


Рис.2.11

Для изменения числовых значений параметров модели (коэффициентов передачи, постоянных времени и т.п.) используется режим **редактирования** (клавиша F4).

Вывод результатов моделирования

Обычно при счете система запоминает промежуточные результаты для каждого блока модели, что позволяет затем построить графики для любой точки структурной схемы. Память СИАМ достаточна для хранения результатов приблизительно 200...300 от блоков при стандарте 100 точек на интервал интегрирования. Вы можете заказать другое количество промежуточных точек, а при необходимости и конкретные блоки, для которых эти результаты будут сохраняться. Система может построить графики изменения выходных сигналов как функций модельного времени или как функций других сигналов (фазовые

траектории) на черно-белом экране в режиме высокого разрешения (200 на 640 точек) или на цветном экране с низким (200 на 320) разрешением. Для второго случая используется следующее меню:

F1 – Back	– изменение цвета фона;
F2 – Axis	– изменение цвета сетки;
F3 – Line	– изменение цвета графиков;
F4 – Palette	– смена цветовой палитры;
F5 – B & W	– переход к ч/б графике;
Esc – Return	– возврат в СИАМ.

Рассмотрим порядок работы с СИАМ для просмотра результатов моделирования.

Просмотр результатов моделирования в виде графика

1. Нажать клавишу **F6 - Грф.**
2. Клавишами управления курсором выделить блок, график выходного сигнала которого должен отображаться на экране. При необходимости просмотра нескольких сигналов одновременно, выделив интересующий нас блок, нажать клавишу **Insert**, затем перевести выделение на следующий блок и т.д.
3. Нажать клавишу **Enter**. График выходного сигнала выделенного блока (блоков) как функция от модельного времени отобразится на экране.

На *рис.2.12* изображены графики входного сигнала модели (выход генератора ступенчатого воздействия) и переходной характеристики исследуемой САУ (выход последнего звена прямой цепи).

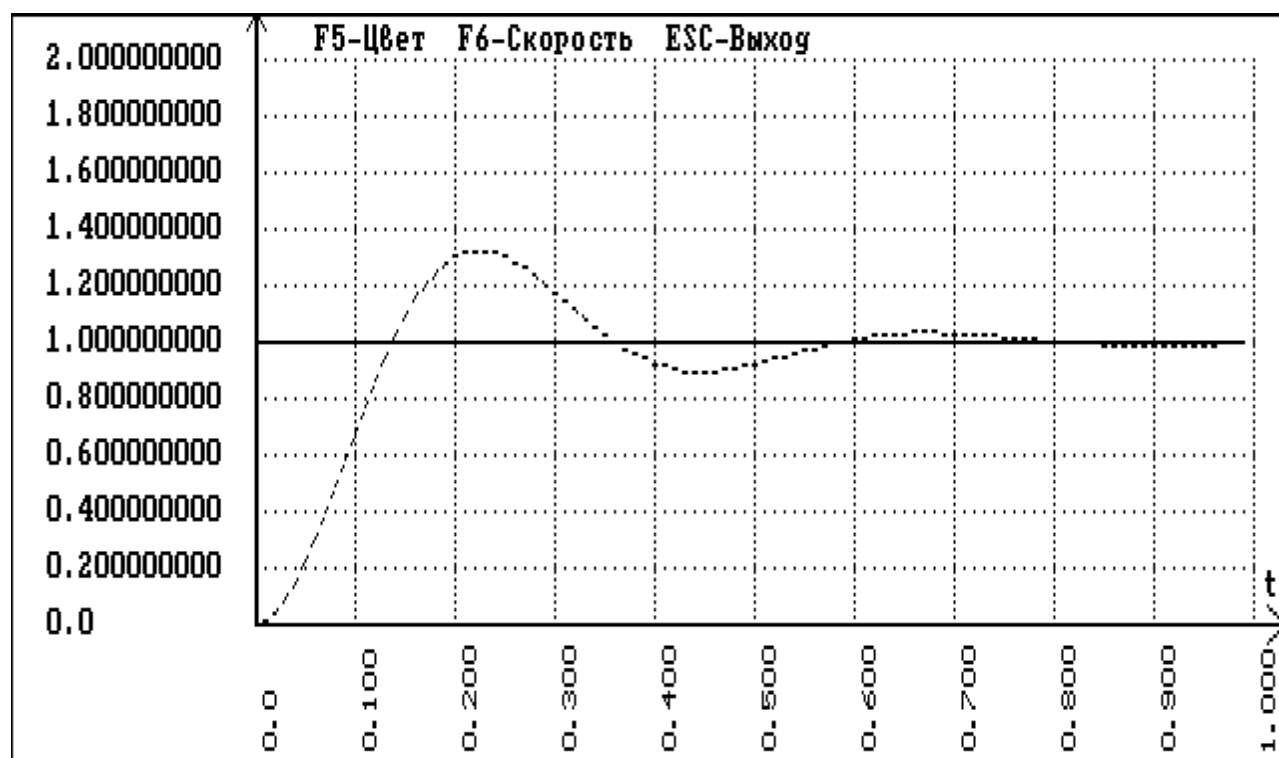


Рис.2.12

При необходимости получения фазовой траектории после нажатия клавиши **F6** на одном выделенном блоке нажать клавишу **x** (блок автоматически помечается буквой **X**), на другом – **y** (блок помечается буквой **Y**). По нажатию клавиши **Enter** СИАМ строит график выходного сигнала блока **Y** как функцию от входного сигнала блока **X**.

Просмотр результатов моделирования в виде таблицы

1. Нажать клавишу **F7 - Рез.**
2. В раскрывшемся в верхней части экрана окне клавишами управления курсором выделить пункт "Просмотр таблицы". Нажать **Enter**.

3. Выделение блока (блоков), выходной сигнал которого отображается на экране в виде таблицы, производится по правилам, указанным в п.п. 2 и 3 просмотра результатов моделирования в виде графика.

На *рис.2.13* изображена таблица, содержащая значения модельного времени (столбец **t**, печатается автоматически), входного сигнала модели (столбец **1**, выход генератора ступенчатого воздействия) и переходной характеристики исследуемой САУ (столбец **2**, выход последнего звена прямой цепи). Перемещения по тексту таблицы осуществляются клавишами:

- PgDn** – на экран вниз;
- PgUp** – на экран вверх;
- Home** – в начало таблицы;
- End** – в конец таблицы.

t	1	2
0.0	1.000000000	0.0
0.010101000	1.000000000	0.010745600
0.020202000	1.000000000	0.041368200
0.030303000	1.000000000	0.089312900
0.040404000	1.000000000	0.151903000
0.050505100	1.000000000	0.226412000
0.060606000	1.000000000	0.310121000
0.070707100	1.000000000	0.400379000
0.080808000	1.000000000	0.494647000
0.090909000	1.000000000	0.590553000
0.101011000	1.000000000	0.685912000
0.111111000	1.000000000	0.778760000
0.121212000	1.000000000	0.867380000
0.131313000	1.000000000	0.950302000
0.141414000	1.000000000	1.026320000
0.151516000	1.000000000	1.094500000
0.161617000	1.000000000	1.154150000
0.171718000	1.000000000	1.204810000
0.181819000	1.000000000	1.246300000
0.191920000	1.000000000	1.278620000
ESC - выход		PgDn End

Рис.2.13

2.4 Режимы построения Л.Ч.Х.

Система не строит автоматически ЛЧХ, но может сделать это по вашим указаниям. При входе в режим система именуется все линейные блоки именами "А", "В", "С" и т.д. (рис.2.14).

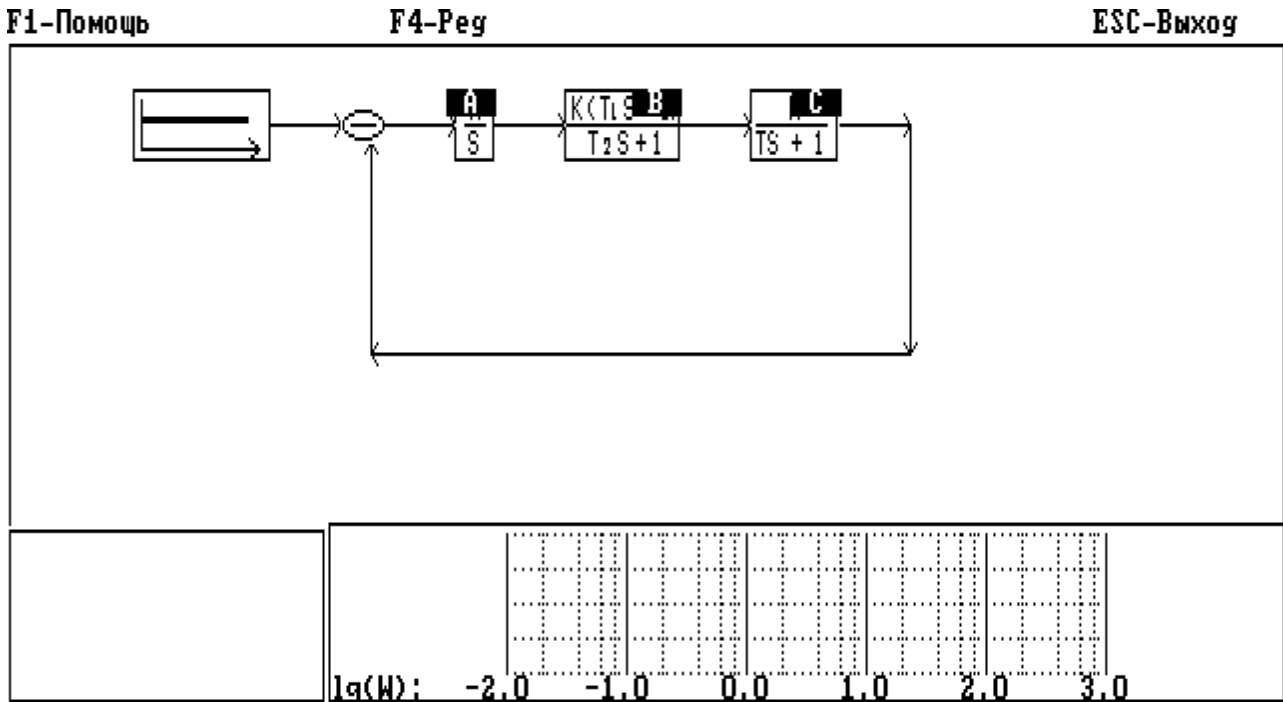


Рис.2.14

Для построения ЛЧХ любого блока достаточно дать команду **L=<имя блока>** (например, **L=A**). Если вам необходимо построить ЛЧХ сложного соединения блоков, вы должны предварительно получить соответствующую передаточную функцию (ПФ). Для этого вы можете использовать 4 действия над ПФ ("+" - сложить, "-" - вычесть, "*" - умножить, "/" - разделить) и 10 областей буферной памяти (БП). БП имеет имена "МО", "М1",... "М9" и служат для накопления промежуточного результата. Они используются наряду с именами блоков в операторах преобразования вида **<ММ>=<Оп1><знак операции><Оп2>** (например, **М1=1+A**),

где: **<ММ>** - имя БП;

<Оп1>,<Оп2> - операнды (числа, имена блоков, имена БП);

<знак операции> - любой из символов "+", "-", "*", "/".

Оператор **<Оп>=?** выводит полиномы числителя и знаменателя ПФ блока или БП.

При переходе в режим построения ЛЧХ (клавиша **F9** в основном меню) в верхней части экрана появляется соответствующее меню.

МЕНЮ РЕЖИМА ПОСТРОЕНИЯ ЛЧХ

F1 – Помощь – Доступ к справочной службе СИАМ.

F4 – Ред – Переход к режиму редактирования/уничтожения блоков.

Esc – Выход – Возврат в режим ввода модели.

При выводе графика ЛЧХ в меню указываются дополнительные опции:

F2 – Изменить частоту – Переход к процедуре изменения граничных частот.

F3 – Большой график – Построить график в увеличенном масштабе.

F3 – Малый график – Построить график в уменьшенном масштабе.

Esc – Выход – Возврат в режим построения ЛЧХ.

В средней части экрана, как и в предыдущих режимах, отображается окно модели. Нижнюю часть экрана занимают два окна: в левом отображаются задаваемые пользователем команды, правое служит для вывода малого графика построенных ЛЧХ или числителя и знаменателя ПФ блока, запрашиваемого по команде **<Оп>=?**.

Для построения ЛЧХ соответствующего элемента необходимо ввести команду (например **L=A**), которая отображается в левом нижнем окне (*рис.2.15*).

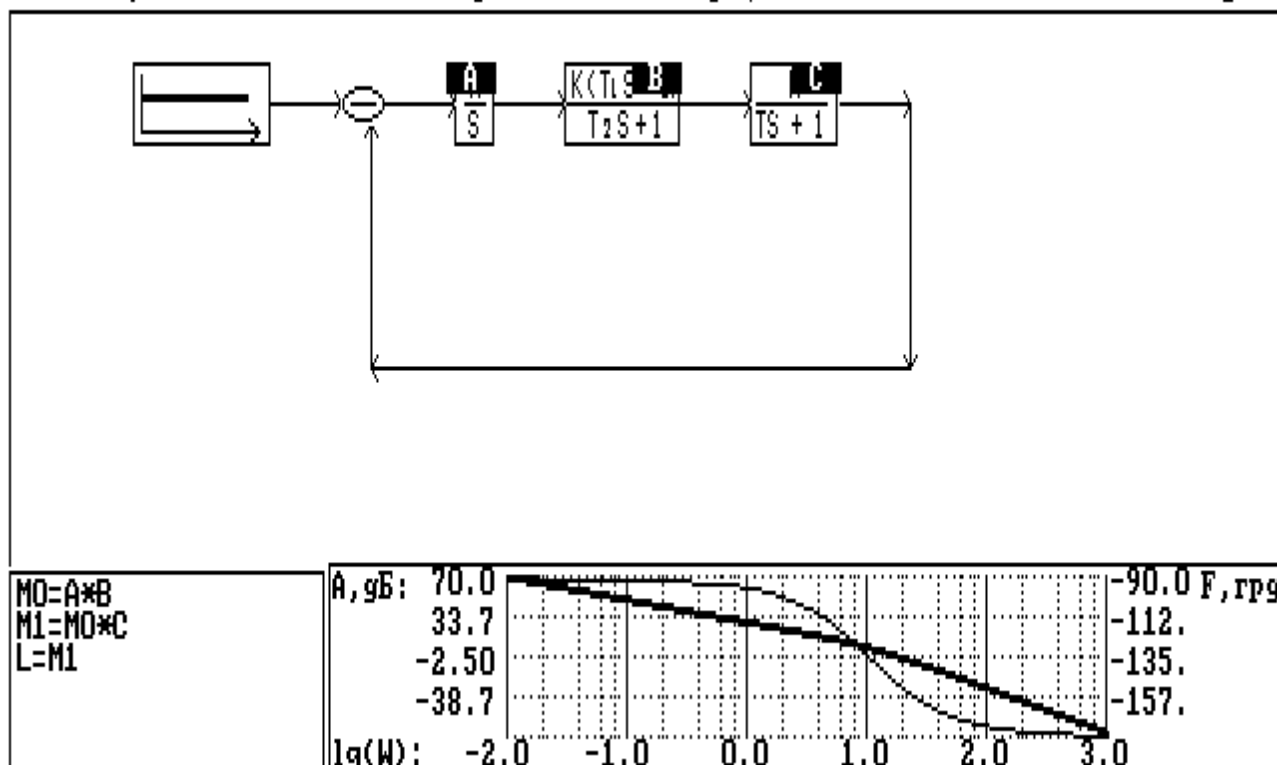


Рис.2.15

По нажатию после ввода команды клавиши **Enter** СИАМ строит ЛЧХ требуемого элемента и отображает ее график в правом нижнем окне. Таким образом, порядок работы в режиме построения ЛЧХ можно описать следующей последовательностью действий:

1. Из меню режима ввода модели (основного меню) нажатием клавиши **F9** перейти к режиму построения ЛЧХ.

2. Описать структуру системы, для которой будет осуществляться построение ЛЧХ. Например, для описания разомкнутой системы, модель которой предоставлена на *рис.2.15*, необходимо набрать следующую последовательность операторов:

$$MO = A * B \text{ (Enter)}$$

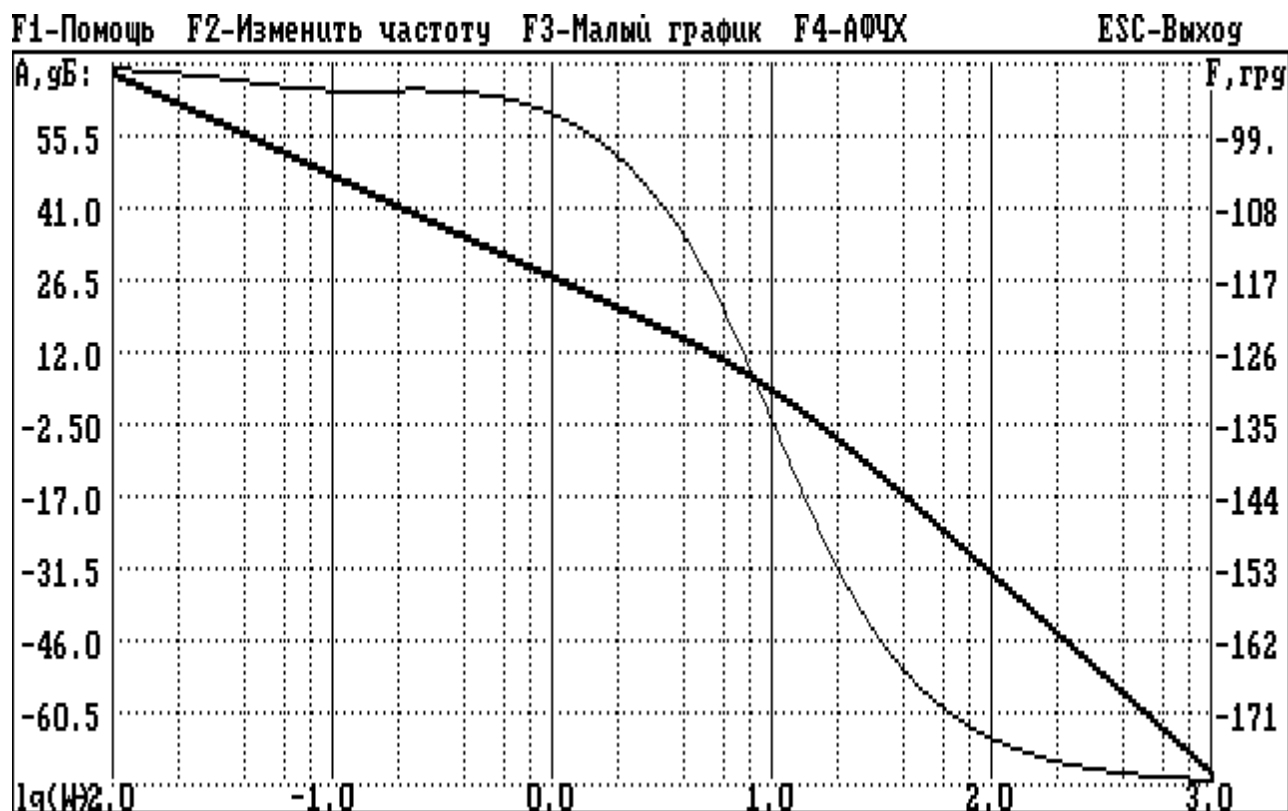
$$M1 = MO * C \text{ (Enter)}$$

$$L = M1$$

Последним обязательно должен быть оператор вида **L=<ОП>**.

3. Активизировать процесс построения ЛЧХ нажатием клавиши **Enter**.

4. При необходимости построения графика ЛЧХ в увеличенном (полноэкранном) масштабе (рис.2.16) нажать клавишу **F3**. Для возврата к уменьшенному графику повторно нажать клавишу **F3**.



5. Для изменения диапазона частот, в котором строятся характеристики, нажать клавишу **F2** и по запросу СИАМ ввести требуемый диапазон.

Стандартное значение диапазона частот – **0.01 + 1000 Гц**.

2.5 Режим параметрической оптимизации

В ходе параметрической оптимизации система осуществляет целенаправленное изменение оптимизируемых параметров модели (коэффициентов усиления, постоянных времени, начальных условий и т.п.) так, чтобы обеспечить минимум выходного сигнала некоторого блока при $t=t_k$ (минимум целевой функции). Часто используемый квадратичный критерий качества модели можно задать особым типовым блоком (интеграл от квадрата

сигнала, деленный на текущее модельное время). Для других критериев необходимо соответствующим образом дополнить модель, чтобы получить требуемую целевую функцию на выходе одного из дополнительных блоков. Каждое вычисление целевой функции достигается в результате прогона имитационного моделирования, поэтому время решения задачи оптимизации может быть весьма большим.

Краткая справка по методам оптимизации

В этой версии СИАМ реализованы следующие методы оптимизации: **прямой поиск, покоординатный спуск, Монте-Карло.**

Метод **прямого поиска** (Хука-Дживса) осуществляет поиск направления спуска в пространстве параметров путем пробных шагов в малой окрестности исходного приближения. Затем проводится серия ускоряющихся шагов в выбранном направлении до тех пор, пока еще уменьшается целевая функция. Сходимость метода зависит от того, насколько удачно выбрано исходное приближение.

Метод **покоординатного спуска** (Гауса-Зейделя) производит поочередное изменение оптимизируемых параметров по алгоритму "золотого сечения". После изменения последнего параметра вновь изменяется первый и т.д. до тех пор, пока не будет исчерпан лимит вычислений целевой функции, либо когда ее изменения не станут слишком малы. Работает медленнее метода прямого поиска, но с большей гарантией успеха.

В методе **Монте-Карло** оптимизируемые параметры выбираются случайным образом внутри заданной области допустимости. При этом полностью игнорируется уже накопленная информация о поведении целевой функции, поэтому не имеет смысла говорить о сходимости метода. Метод используется для грубого поиска глобального экстремума многоэкстремальной целевой функции.

Как и в предыдущих режимах, переход к режиму параметрической оптимизации осуществляется из основного меню нажатием функциональной клавиши **F8**.

МЕНЮ РЕЖИМА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

F1 – Пмщ – Доступ к справочной службе.

F2 – Мет – Выбор метода параметрической оптимизации и диапазона неопределенности параметров.

F3 – Счет – Пуск процедуры оптимизации(останов – по Esc или малым приращением параметров).

F4 – Ред – Переход к процедуре редактирования/уничтожения блоков.

F5 – Функ – Выбор блока, выходной сигнал которого при $t=t_k$ будет считаться значением целевой функции.

F6 – Пар – Выбор оптимизируемых параметров, задание границ их изменения.

Esc – Выход – Возврат к режиму ввода модели.

Порядок работы в режиме параметрической оптимизации

1. Если в схеме отсутствует блок (блоки), с помощью которого формируется необходимый критерий качества, внести изменения в схему модели, пользуясь режимами ввода блоков (пункт 2.2) и ввода модели (пункт 2.1).

2. Задать блок, выходной сигнал которого при $t=t_k$ будет считаться значением целевой функции. Это делается нажатием клавиши **F5 - Функ**, после чего на схеме модели выделяется негативным изображением пиктограмма одного из блоков. Негативное изображение перемещается по схеме с помощью клавиш управления курсором. Для подтверждения выбора необходимо после

выделения нужного блока нажать клавишу **Enter**. На блоке появляется метка: "ЦФ".

3. Задать параметры системы, подлежащие изменению в процессе оптимизации нажатием клавиши **F6 - Пар**. Блок, параметры которого предлагается оптимизировать, выделяется негативным изображением. Нажатие клавиши **Enter** приводит к раскрытию на экране окна с перечнем параметров выделенного блока, их текущим (номинальным) и предполагаемыми минимальным и максимальным значениями. Для оптимизируемых параметров необходимо задать с клавиатуры их минимальное и максимальное значение, отличные от номинального. В противном случае параметр не подлежит изменению в процессе оптимизации. По окончании задания оптимизируемых параметров блока необходимо нажать клавишу **Enter**. Окно с запросом закрывается, и на схеме выделяется следующий блок, работа с которым начинается нажатием **Enter**. Если в системе нет больше блоков, параметры которых подлежат оптимизации, необходимо нажать клавишу **Esc**.

4. Задать метод оптимизации нажатием клавиши **F2 - Мет**, выбором в раскрывшемся окне с запросом необходимого метода и подтверждением выбора клавишей **Enter**.

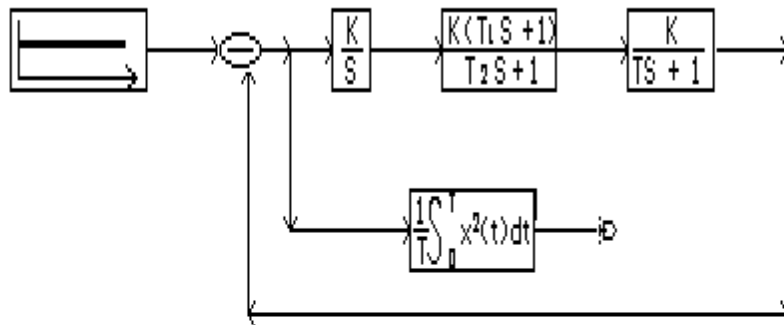
5. Начать оптимизацию нажатием клавиши **F3 - Счет**. При этом в правом нижнем окне отображается номер шага, текущее и минимальное значение целевой функции.

6. По завершении процесса оптимизации – либо самой СИАМ, либо по нажатию клавиши **Esc** – в модели автоматически устанавливаются оптимальные значения параметров.

На *рис.2.17* изображен процесс оптимизации САУ в рассмотренном режиме, а на *рис.2.18* – графики переходных характеристик исходной и оптимизированной систем.

F1-Пмц F2-Мет F3-Счет F4-Рег F5-Функ F6-Пар

ESC-Выход



Параметрическая оптимизация :		N шага	Текущая ЦФ	Минимальная ЦФ
Метод оптимизации	: Монте-Карло	1284	0.038200100	0.011985100
Метод интегрирования	: Фельдберга	1285	0.034632900	0.011985100
Кол-во оптимиз. пар-в	: 3	1286	0.101839000	0.011985100
Интервал неопр. пар-в	: 10%	1287	0.062737600	0.011985100
Стоп оптимизации - по ESC		Время счета текущего шага: 00:00:00.00		

Рис.2.17

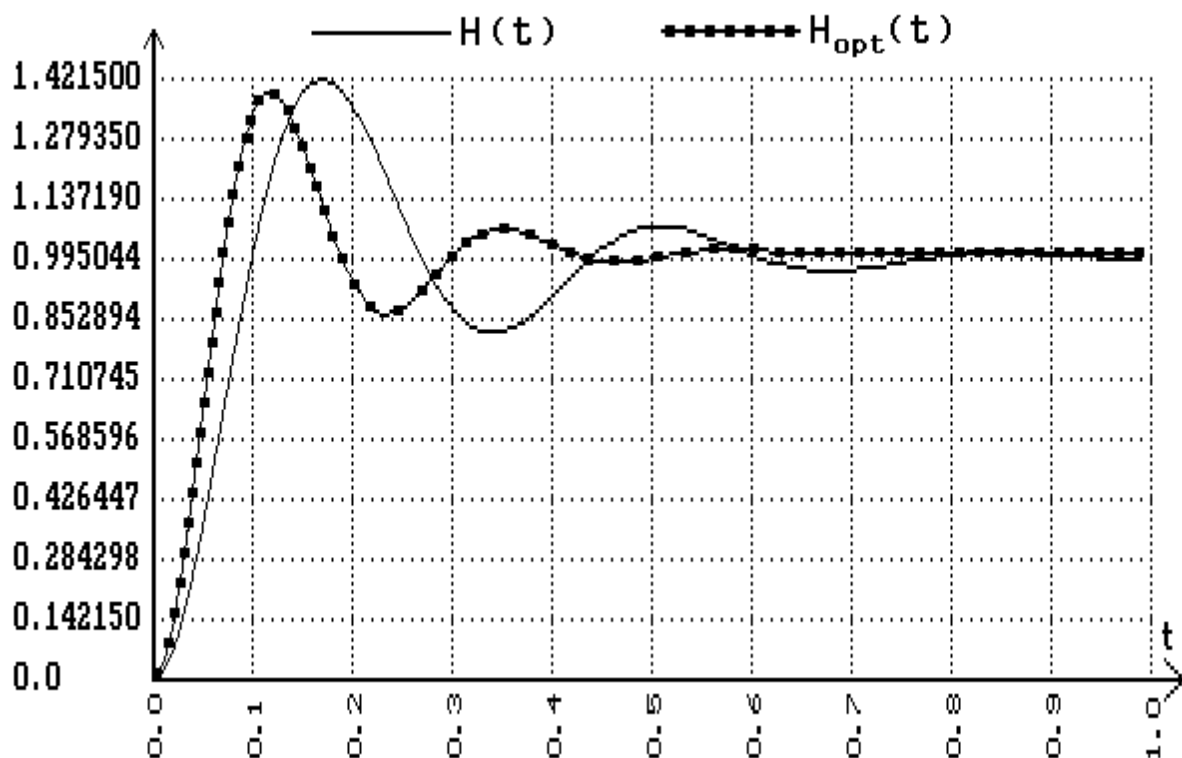


Рис.2.18

РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1
с применением СИАМ
"ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ"

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Закрепить и углубить знания по теме "Оценка качества линейных СУ при детерминированных и случайных воздействиях".
2. Приобрести практические навыки по исследованию влияния формы воздействия, структуры САУ и ее параметров на точность в установившемся режиме и качество переходных процессов.
3. Закрепить практические навыки по осуществлению инженерных расчетов, проводимых с целью теоретической оценки точности САУ в статическом режиме, и прогноза результатов эксперимента.

II. СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Производство инженерных расчетов по оценке точности САУ.
2. Исследование влияния коэффициента передачи разомкнутой САУ на ее точность и качество переходного процесса.
3. Исследование влияния структуры САУ на ее точность и качество переходного процесса.
4. Исследование влияния вида воздействия на точность САУ.

III. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Точность системы характеризуется значением ошибки регулирования, которое оно принимает в установившемся режиме. Обозначим это значение через Δ . Известно, что

$$\Delta = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) \quad (1)$$

Или иначе

$$\Delta = \lim_{s \rightarrow 0} s \times E(s) \quad (2)$$

Для любой САУ передаточная функция по сигналу ошибки определяется выражением

$$\Phi_{\varepsilon}(S) = \frac{E(S)}{G(S)} = \frac{1}{1 + W_p(S) \times W_o(S)}$$

Отсюда

$$E(S) = \frac{1}{1 + W_p(S) \times W_o(S)} \times G(S) \quad (3)$$

где $W_y(S)$ – передаточная функция регулятора (УУ);

$W_o(S)$ – передаточная функция объекта управления (ОУ);

$G(S)$ – изображение по Лапласу задающего воздействия.

Введем обозначения:

ν_1 – число интегрирующих звеньев в ПФ (УУ);

ν_2 – число интегрирующих звеньев в ПФ объекта управления;

$l = \nu_1 + \nu_2$ – порядок астатизма по задающему воздействию;

q – число дифференцирующих звеньев;

W^* – передаточная функция разомкнутой САУ без интегрирующих и дифференцирующих звеньев.

Используя введенные обозначения, запишем:

$$W(S) = \frac{S^q}{S^l} \quad W^*(S) = W_y(S) \times W_o(S).$$

Подставляя в формулу (3), получим:

$$E(S) = \frac{S^l}{S^l + S^q \times W^*(S)} \times G(S) \quad (4)$$

При проведении исследований будем использовать степенные воздействия вида:

$$g(t) = c \times t^n$$

При $n=0$ воздействие принимает вид ступенчатой функции $g(t)=c$.

При $n=1$ – линейно возрастающей функции $g(t) = c \times t$.

При $n=2$ – квадратично возрастающей функции $g(t) = c \times t^2$.

В общем случае преобразование Лапласа от функции $g(t) = C \times t^n$ определяется по формуле:

$$G(S) = L[g(t)] = \frac{c \times n!}{S^{n+1}} \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4), а затем в (2), получим:

$$S \times S^l \times S^{-(n+1)} \times C \times n!$$

$$\Delta = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{S^l + S^q \times W^*(S)}{C \times n!} \quad (6)$$

Принимая во внимание, что $\lim_{s \rightarrow 0} W^*(S) = K$, получим:

$$s \rightarrow 0$$

для САУ, не имеющих интегрирующих звеньев, т.е. $l=0$ –

$$C \times n!$$

$$\Delta = \frac{C \times n!}{1 + K \times \lim_{s \rightarrow 0} S^q} \times \lim_{s \rightarrow 0} S^{-n} \quad (7)$$

при $l \neq 0$ –

$$C \times n!$$

$$\Delta = \frac{C \times n!}{K} \times \lim_{s \rightarrow 0} S^{l-(n+q)} \quad (8)$$

В дальнейшем эти зависимости будут использованы для прогноза результатов эксперимента.

IV. РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для проведения исследования будут использованы системы со следующими структурными схемами:

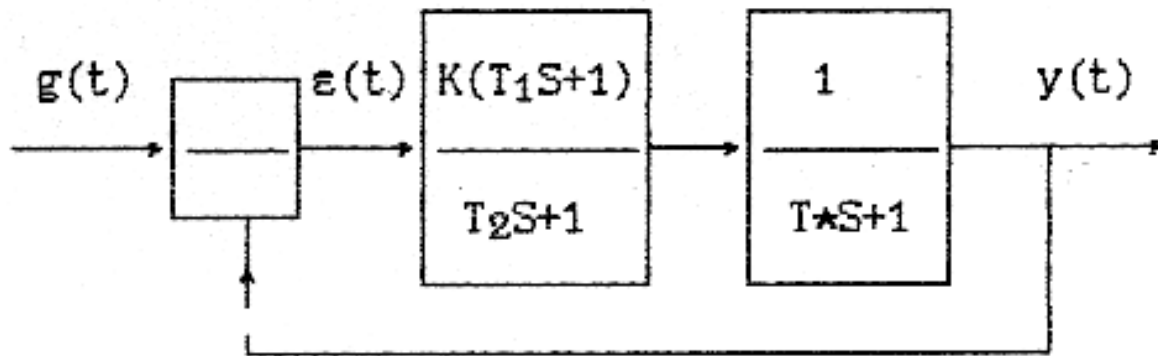


Рис.1. Статическая следящая система

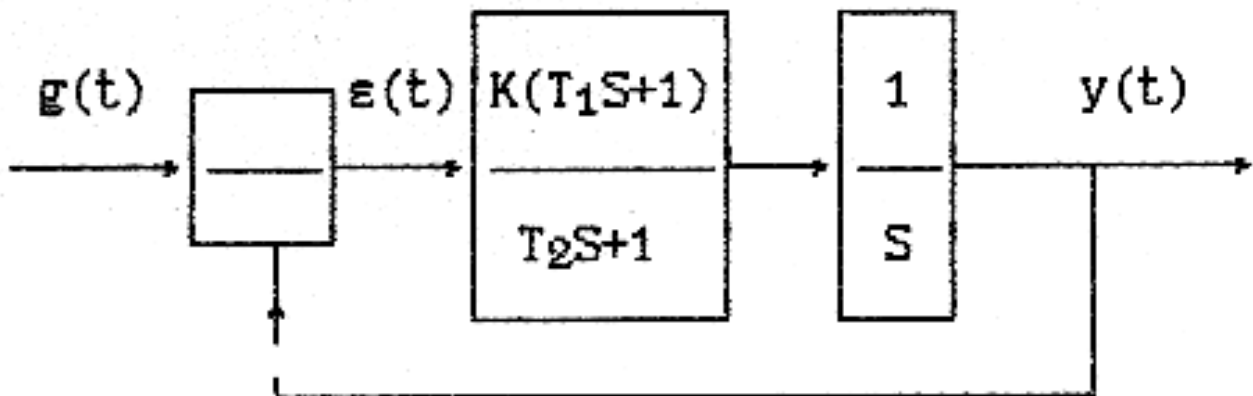


Рис.2. Астатическая следящая система первого порядка

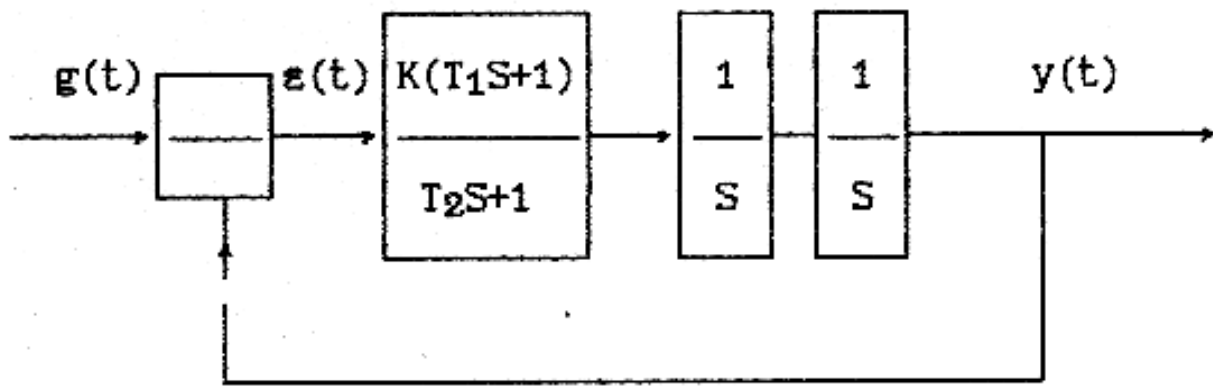


Рис.3. Астатическая следящая система второго порядка.

Первое звено (форсирующе-апериодическое) в этих схемах одинаковое и имеет следующие параметры:

$T_1 = 0.2\text{с}$, $T_2 = 0.05\text{с}$ и переменный коэффициент передачи – $K = 10, 20, 30, 40$.

Апериодическое звено статической системы (Рис.1.) имеет постоянную времени, равную $T=1\text{ с}$.

Поскольку во всех схемах коэффициенты передачи всех звеньев кроме одного равны 1, то изменение коэффициента передачи этого звена, т.е. K , адекватно изменению коэффициента передачи всей разомкнутой системы. Значение коэффициента K будем принимать в соответствии с табл. 1,2,3.

При вычислении ошибок для статической системы пользоваться формулой (2), для астатической – (3). Время регулирования не рассчитывается, а только определяется по экспериментальным графикам. Полученные результаты заносятся в табл. 1,2,3.

V. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка включается в себя персональную ЭВМ стандартной конфигурации, программную систему автоматизированного моделирования и параметрической оптимизации САУ "СИАМ".

ТАБЛИЦА 1

Значения ошибок Δ и времени регулирования t_p при ступенчатом воздействии $g(t) = c = 10$ ($n=0$) (параметр K генератора модели $K = c = 10$)

	К	10	20	30	40
l = 0	$\Delta_{расч}$				
	$\Delta_{экс}$				
	$t_{p.экс}$				
l = 1	$\Delta_{расч}$				
	$\Delta_{экс}$				
	$t_{p.экс}$				
l = 2	$\Delta_{расч}$				
	$\Delta_{экс}$				
	$t_{p.экс}$				

ТАБЛИЦА 2

Значения ошибок Δ и времени регулирования t_p при воздействии $g(t) = C \times t = 10 \times t$ ($n=1$) (параметр K генератора модели $K = c = 10$)

	К	10	20	30	40
l = 0	$\Delta_{расч}$				
	$\Delta_{экс}$				
	$t_{p.экс}$				
l = 1	$\Delta_{расч}$				
	$\Delta_{экс}$				
	$t_{p.экс}$				
l = 2	$\Delta_{расч}$				
	$\Delta_{экс}$				
	$t_{p.экс}$				

Значения ошибок Δ и времени регулирования t_p при воздействии
 $g(t) = C \times t^2 = 10 \times t^2$ ($n=2$) (параметр K генератора модели $K=2$ х
 $C=20$)

$$g(t) = \frac{kt^2}{2} = ct^2; \quad k = 2c$$

	К	10	20	30	40
$l = 0$	$\Delta_{расч}$				
	$\Delta_{экс}$				
	$t_{p.экс}$				
$l = 1$	$\Delta_{расч}$				
	$\Delta_{экс}$				
	$t_{p.экс}$				
$l = 2$	$\Delta_{расч}$				
	$\Delta_{экс}$				
	$t_{p.экс}$				

VI. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Произвести расчеты по прогнозу результатов эксперимента согласно разделам III, IV настоящего руководства.

2. Провести экспериментальную часть.

* Установить значение параметра K для всех трех вариантов структуры следящей системы (клавиша F4-"Ред") в соответствии с табл: 2,3,4.

* Выбрать первый вид воздействия и установить его параметр K в соответствии с табл. 2,3,4, а остальных генераторов $K=0$ (клавиша F4).

* В меню моделирования (клавиша F5) назначить в левое (малое) окно вывод результатов расчета сигнала ошибки $\varepsilon(t)$ статической системы, а в правое – астатической 2 порядка для контроля за скоростью счета и устойчивостью модели системы.

* Произвести моделирование (клавиша F3 – "Счет"), выбрав один из методов моделирования и установив время моделирования для $K=105\text{с}$, а для остальных значений $K = 3 \text{ с}$ (клавиша F2 – "Мет").

* По окончании моделирования вывести в большое окно (клавиша F6) графики изменения сигнала ошибки $\varepsilon(t)$ поочередно для каждого из трех вариантов структуры, определяя для каждого величину установившейся ошибки Δ и время регулирования t_p . Результаты занести в таблицу.

* Повторить перечисленные операции для каждого значения K и каждого вида воздействия $g(t)$.

3. Произвести анализ результатов и оформление отчета.

VII. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Структурные схемы следящей системы рис. 6,7,8.
2. Основные формулы и зависимости.
3. Таблицы 2,3,4.
4. Графики зависимостей $\Delta = f(K)$ для различных значений l и видов воздействия $g(t)$.
5. Выводы о влиянии на качество переходного процесса и точность САУ следующих факторов и параметров:
 - а) коэффициента передачи замкнутой системы;
 - б) наличие интегрирующих звеньев l ;
 - в) вида входного воздействия $g(t)$.

РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2
с применением СИАМ

"ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ"

I.ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Закрепить и углубить теоретические знания по теме "Анализ качества линейных СУ при детерминированных и случайных воздействиях".
2. Приобрести практические навыки по исследованию влияния параметров системы на качество переходного процесса.
3. Закрепить практические навыки по осуществлению инженерных расчетов, проводимых с целью теоретической оценки качества САУ и прогноза результатов эксперимента.

II. СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Производство инженерных расчетов по оценке качества переходных процессов.
2. Исследование влияния динамического параметра рулевого привода $T_{рп}$ на качество переходного процесса.
3. Исследование влияния коэффициента передачи разомкнутой системы на устойчивость и качество системы управления.

III. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Структурная схема исследуемой системы стабилизации представлена на рис.1.

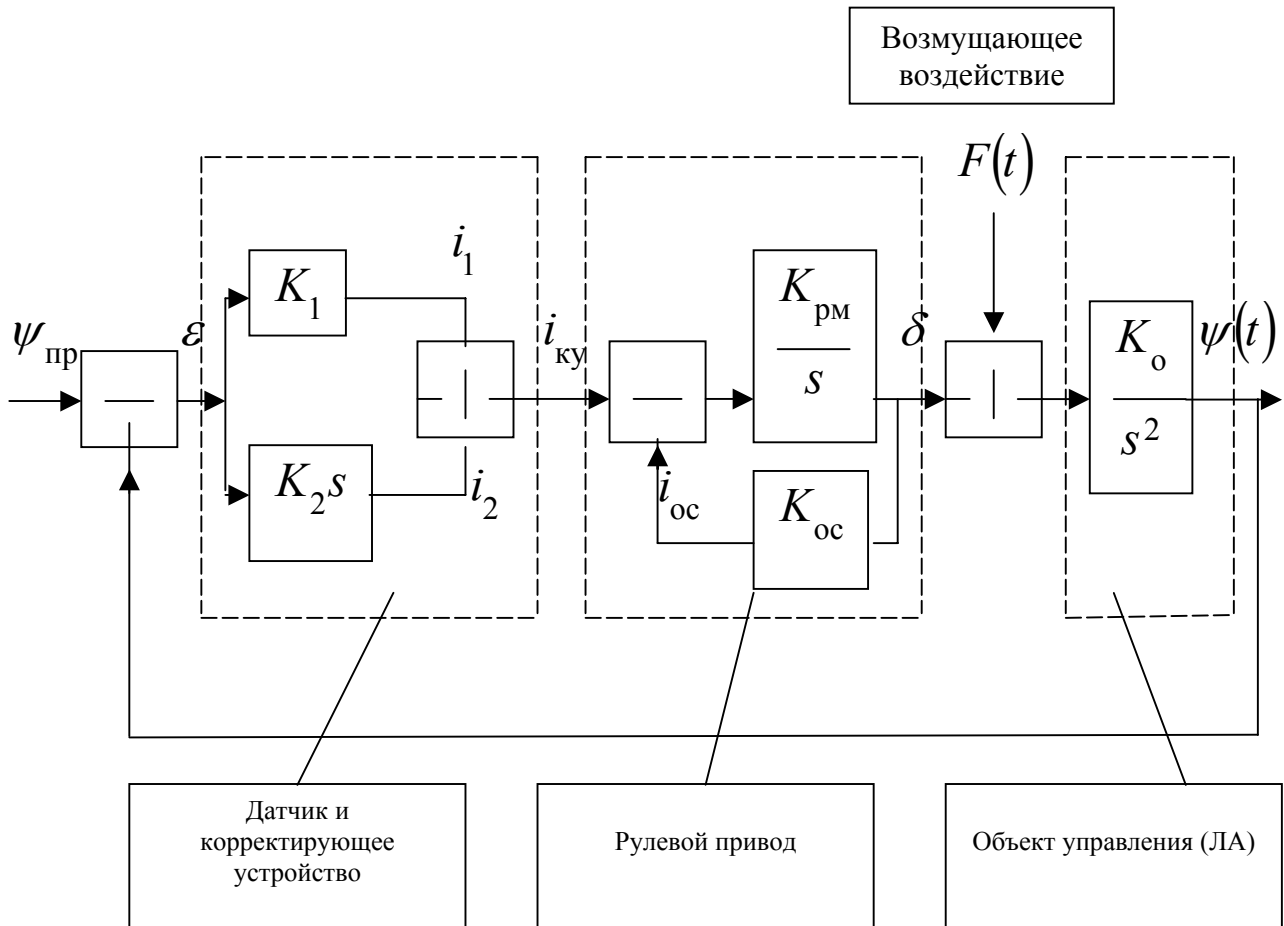


Рис.1. Структурная схема системы стабилизации

На рис.1 видно, что структурная схема включает в себя три элемента. Первый отражает динамику датчика и корректирующего устройства, второй – динамику рулевого привода, третий – объекта управления (ракеты).

Сигнал ошибки регулирования $\varepsilon(t) = \psi_{\text{пр}} - \psi(t)$, поступая на датчик и корректирующее устройство, преобразуется в электрический сигнал, соответствующий закону управления ракетой по каналу рыскания:

$$\delta(t) = K\phi \times \psi(t) + K\phi' \times \psi'(t) \quad (1)$$

где $\delta(t)$ – угол поворота рулевой машины;

$\psi(t)$ – угол рыскания ракеты;

$\psi'(t)$ – первая производная от угла рыскания.

В соответствии с выражением (1) на выходе первого элемента должен выделяться электрический сигнал, пропорциональный как величине ошибки рассогласования (i_1), так и скорости ее изменения (i_2). Найдем передаточную функцию этого элемента.

$$\begin{aligned} W_{\text{д-ку}}(s) &= \frac{i_{\text{д-ку}}(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{i_1(s) + i_2(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{K_1 \cdot \varepsilon(s) + K_2 \cdot s \cdot \varepsilon(s)}{\varepsilon(s)} = \\ &= K_1 \cdot \left(\frac{K_1}{K_2} \cdot s + 1 \right) = K_1 \cdot (\tau \cdot s + 1), \quad (2) \end{aligned}$$

где $\tau = K_2 / K_1$ – постоянная времени корректирующего устройства;

K_1 – коэффициент передачи корректирующего устройства;

$\varepsilon(S) = \psi_{\text{пр}}(S) - \psi(S)$ – преобразование Лапласа ошибки регулирования;

Примем $\psi_{\text{пр}} = 0$, тогда $\varepsilon(S) = -\psi(S)$.

Рассмотрим теперь рулевой привод, структурная схема которого представляет собой встречно-параллельное соединение. Найдем его передаточную функцию.

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{W_{\text{рм}}(s)}{1 + W_{\text{рм}}(s) \cdot W_{\text{ос}}(s)}$$

где $W_{\text{рм}}(S) = K_{\text{рм}} / S$ – передаточная функция рулевой машины;

$W_{\text{ос}}(S) = K_{\text{ос}}$ – передаточная функция обратной связи, охватывающей рулевую машину.

Подставляя значение функций $W_{PM}(S)$, $W_{OC}(S)$ в последнее выражение и приводя его к стандартному виду, получим;

$$W_{rp}(s) = \frac{K_{rp}}{T_{rp} \cdot s + 1} \quad (3)$$

где $K_{rp} = 1 / K_{OC}$ – коэффициент передачи рулевого привода;

$T_{rp} = 1 / (K_{PM} \times K_{OC})$ – постоянная времени рулевого привода;

Объект управления имеет передаточную функцию двойного интегрирующего звена:

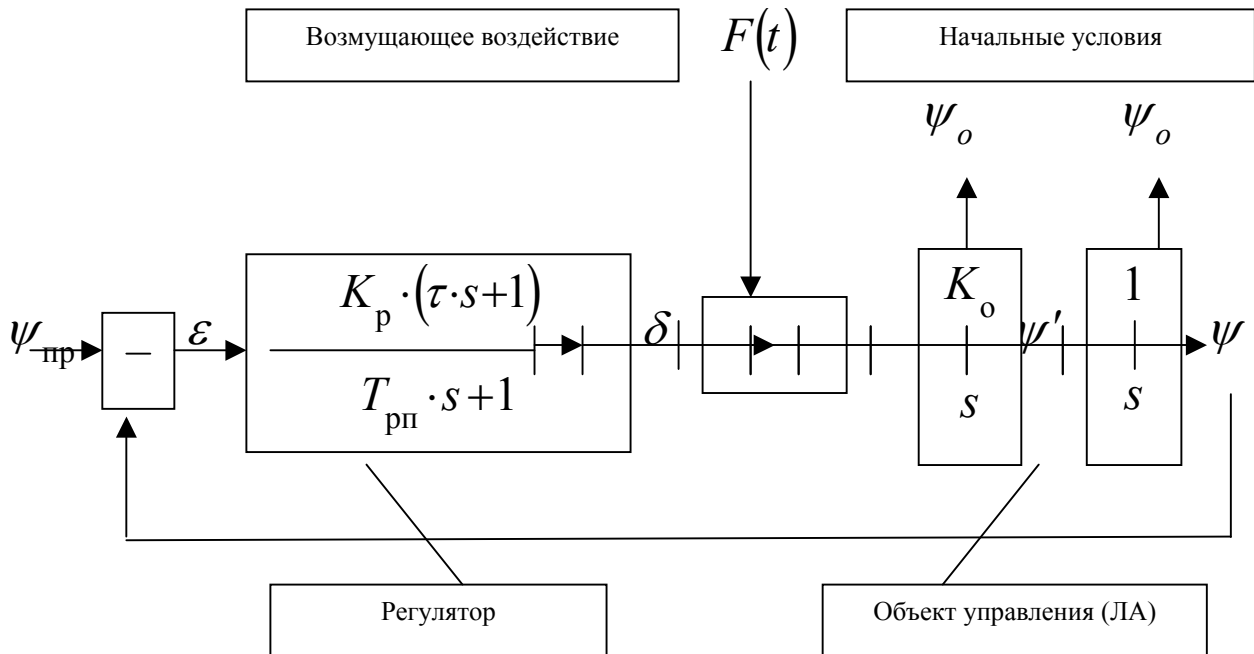
$$W_{oy}(s) = \frac{K_o}{s^2}, \quad (4)$$

где K_o – коэффициент передачи объекта.

Таким образом, рассматриваемую систему стабилизации можно представить произведением двух передаточных функций: $W_s(S)$ – регулятора и $W_{Oy}(S)$ – объекта управления:

$$W(s) = W_p(s) \cdot W_{oy}(s) = \frac{K_1 \cdot K_{rp} \cdot (\tau \cdot s + 1)}{T_{rp} \cdot s + 1} \cdot \frac{K_o}{s^2}$$

Данной передаточной функции системы стабилизации можно поставить в соответствие следующую структурную схему:



Примечание: $K_p = K_1 \cdot K_{рп}$

Рис.2. Преобразованная структурная схема системы стабилизации

С учетом изложенного, передаточную функцию системы запишем в виде:

$$W(s) = \frac{K \cdot (\tau \cdot s + 1)}{s^2 \cdot (T_{рп} \cdot s + 1)}$$

где $K = K_p \cdot K_o$.

В дальнейшем с целью исследования системы стабилизации будем варьировать величиной постоянной времени рулевого привода $T_{рп}$ и величиной коэффициента передачи объекта управления K_o .

IV. МЕТОДИКА ПРОГНОЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. По передаточной функции системы аналитическим или графическим способом определить частоту среза ω_c .
2. По найденной частоте среза ω_c вычислить запас устойчивости по фазе φ_2 .
3. По значению φ_2 рассчитать теоретические значения показателей качества:

δ – перерегулирования;

t_p – время регулирования;

m – число колебаний.

Определение частоты среза произвести по методике, изученной на групповых занятиях или по формуле:

$$\omega_c = \frac{1}{T_i - 1} \cdot 10^{\frac{L_{i-1} \lg(T_{i-1}/T_i)}{(L_{i-1} - L_i)}},$$

где L_{i-1} и L_i – значение ЛАХ на соседних частотах сопряжения, между которыми ЛАХ поменяла знак, а T_{i-1} , T_i – соответствующие этим частотам постоянные времени.

Определение запаса устойчивости по фазе произвести по формуле:

$$\varphi_2 = 180^\circ + \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega_c)$$

где $\varphi_i(\omega_c)$ – значение фазовой характеристики i -го звена на частоте среза;

n – число звеньев;

Для звеньев рассматриваемой системы имеем:

1. Двойное интегрирующее $\varphi_1(\omega_c) = -180$.
2. Форсирующее $\varphi_2(\omega_c) = \arctg \tau \times \omega_c$.
3. Аperiodическое $\varphi_3(\omega_c) = -\arctg T_{\text{рп}} \times \omega_c$.

Определение теоретических значений показателей качества δ , $t_{\text{рп}}$, m_T

$$\delta_T = \exp \left[\frac{-\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi'_2}{\left(1 + \frac{\varphi'_2}{4}\right) \cdot \sqrt{4 - \operatorname{tg}^2 \varphi'_2}} \right];$$

$$T_{\text{рп}} = \frac{\delta \cdot \left(1 + \frac{\varphi'_2}{4}\right)}{\omega_c \cdot \operatorname{tg} \varphi'_2};$$

$$m_T = \frac{3}{2\pi} \cdot \left[\frac{1 + \frac{\varphi'_2}{4} \cdot \sqrt{4 - \operatorname{tg}^2 \varphi'_2}}{\operatorname{tg} \varphi'_2} \right].$$

Данные формулы применимы при $0 \ll \varphi_2 \ll \pi/4$.

При проведении расчетов по этим формулам величина φ'_2 должна быть переведена из градусной меры в радианную. Для этого можно использовать выражение:

$$\varphi'_2 = \frac{\varphi_2}{57,3} \text{ рад.}$$

V. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка включает в себя персональную ЭВМ стандартной конфигурации, программную систему автоматизированного моделирования САУ "СИАМ".

VI. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Каждая группа получает свой вариант набора параметров системы стабилизации.

2. Производятся расчеты по прогнозу результатов эксперимента согласно разделам III, IV настоящего руководства.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 1 – при исследовании влияния постоянной времени рулевого привода и таблицу 2 – при исследовании влияния коэффициента передачи разомкнутой системы.

3. Проводится экспериментальная часть, включающая в себя:

- установку своего варианта параметров системы;
- моделирование системы стабилизации на ПЭВМ;
- вывод результатов моделирования на мониторы класса и принтер;

При этом, для каждого значения варьируемого параметра необходимо получить:

А) график переходного процесса (результат моделирования);

В) графики ЛАХ и ФЧХ.

В соответствии с заданием каждой группы необходимо провести моделирование при 5 различных сочетаниях параметров системы:

три – при исследовании влияния постоянной времени рулевого привода

два – при исследовании влияния коэффициента передачи разомкнутой системы.

- обработку графиков с целью нахождения по частотным характеристикам частоты среза ω_c и запаса по фазе φ_2 , по графикам переходных характеристик – перерегулирования δ , времени регулирования t_p и числа колебаний m .

ТАБЛИЦА 1

K_s		K_o	τ	$\Psi'_{o=0}$	$\Psi_{o=-1}$
T_{PP}, c					
ω_c, c^{-1}	Теорет				
	Экспер				
$\varphi_2, \text{рад}$	Теорет				
	Экспер				
$\delta, \%$	Теорет				
	Экспер				
t_p, c	Теорет				
	Экспер				
m	Теорет				
	Экспер				

ТАБЛИЦА 2

K_s		K_o	τ	$\Psi'_{o=0}$	$\Psi_{o=-1}$
T_{PP}, c^{-2}					
ω_c, c^{-1}	Теорет				
	Экспер				
$\varphi_2, \text{рад}$	Теорет				
	Экспер				
$\delta, \%$	Теорет				
	Экспер				
t_p, c	Теорет				
	Экспер				
m	Теорет				
	Экспер				

ВНИМАНИЕ: На каждом графике должны быть указаны параметры системы, при которых он получен, и перечисленные в таблице 1,2 показатели качества, а также значения промежуточных величин: частоты среза и запаса по фазе!

4. Проводится анализ результатов и оформление отчета.

VII. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Структурные схемы системы стабилизации (Рис.1 и Рис.2).
2. Основные формулы и зависимости.
3. Таблицы 1 и 2.
4. Для каждого сочетания параметров системы:
 - графики ЛАХ и ФЧХ (5 графиков);
 - графики переходной характеристики (5 графиков).
5. Выводы о характере влияния параметров K и $T_{рп}$ на качество процесса регулирования.

РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3
с применением С И А М

"ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА
КАЧЕСТВО ТИПОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ"

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Закрепить и углубить теоретические знания по теме №10 "Основы теории и синтеза систем РА".

2. Закрепить практические навыки по осуществлению инженерных расчетов, проводимых при синтезе КУ (УУ), исходя из условия обеспечения требуемого качества АС в статическом и динамическом режимах.

3. Приобрести практические навыки по исследованию влияния параметров КУ на качество переходного процесса при синтезе и оптимизации параметров УУ.

II. СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Производство инженерных расчетов по определению параметров синтезируемого КУ и оценке качества переходного процесса с данным КУ.
2. Исследование влияния параметров КУ на качество переходного процесса и проверка выполнения требований путем моделирования АС.
3. Оптимизация параметров корректирующего устройства по критерию минимума перерегулирования с помощью ПЭВМ.

III. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Структурная схема исследуемой системы стабилизации представлена на рис.1.

На рис.1 видно, что структурная схема включает в себя три элемента. Первый отражает динамику датчика и корректирующего устройства, второй – динамику рулевого привода, третий – объекта управления (ракеты).

Сигнал ошибки регулирования:

$$\varepsilon(t) = K_{\vartheta} \times \vartheta(t) + K_{\vartheta'} \times \vartheta'(t) \quad (1)$$

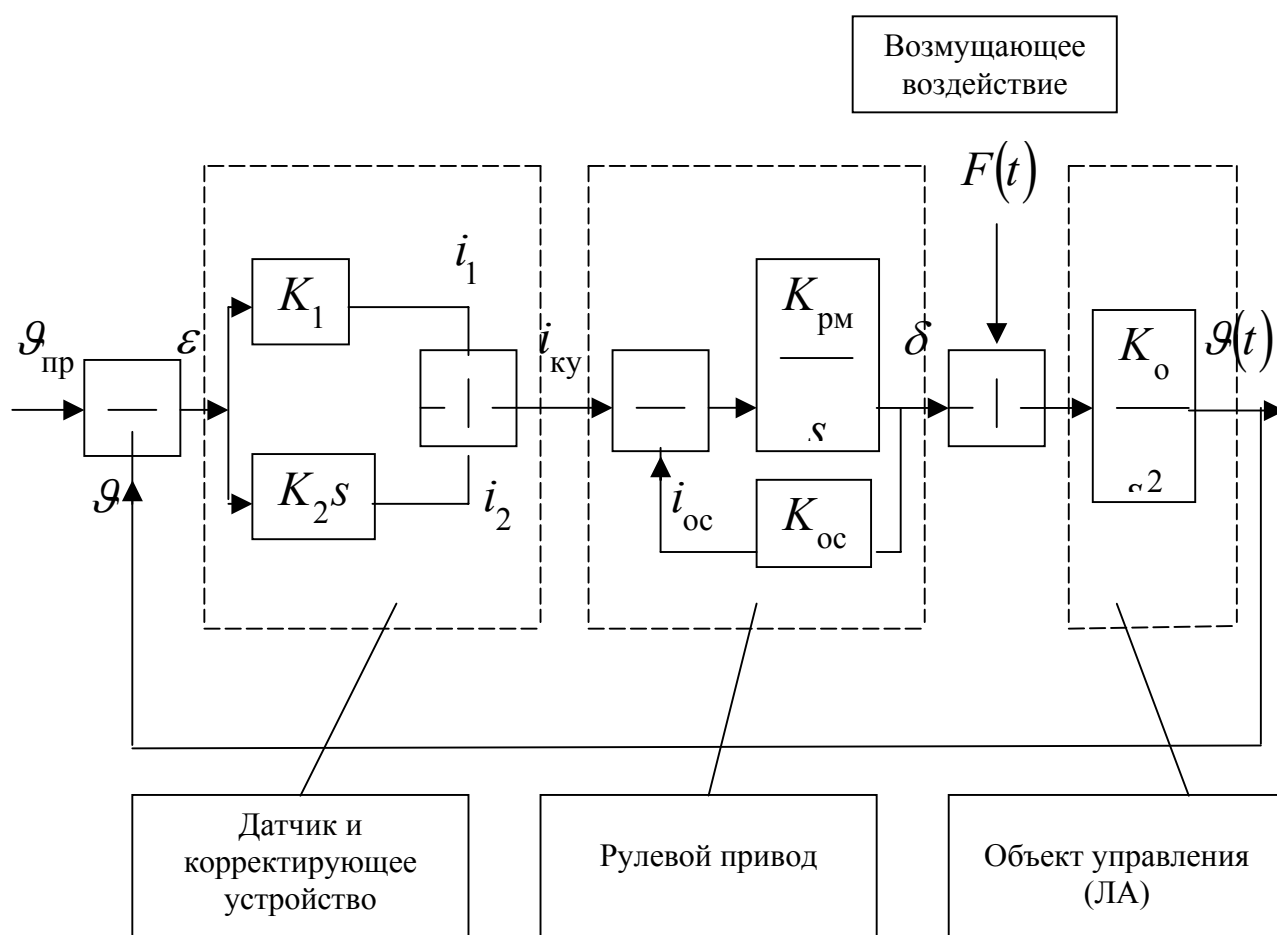


Рис.1. Структурная схема системы стабилизации

где $\delta(t)$ – угол поворота рулевой машины;

$\vartheta(t)$ – угол тангажа ракеты;

$\vartheta'(t)$ – первая производная от угла тангажа.

В соответствии с выражением (1) на выходе первого элемента должен выделяться электрический сигнал, пропорциональный как величине ошибки рассогласования (i_1), так и скорости ее изменения (i_2). Найдем передаточную функцию этого элемента.

$$\begin{aligned} W_{\text{д-ку}}(s) &= \frac{i_{\text{д-ку}}(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{i_1(s) + i_2(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{K_1 \cdot \varepsilon(s) + K_2 \cdot s \cdot \varepsilon(s)}{\varepsilon(s)} = \\ &= K \vartheta \cdot \left(\frac{K_1}{K_2} \cdot s + 1 \right) = K \vartheta \cdot (\tau \cdot s + 1), \quad (2) \end{aligned}$$

где $\tau = K_2 / K_1$ – коэффициент передачи корректирующего устройства;

$K \vartheta = K_1$ – коэффициент передачи корректирующего устройства;

$\varepsilon(S) = \vartheta_{\text{пр}}(S) - \vartheta(S)$ – преобразование Лапласа ошибки регулирования;

Примем $\vartheta_{\text{пр}} = 0$, тогда $\varepsilon(S) = -\vartheta(S)$.

Рассмотрим теперь рулевой привод, структурная схема которого представляет собой встречно-параллельное соединение. Найдем его передаточную функцию.

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{W_{\text{рм}}(s)}{1 + W_{\text{рм}}(s) \cdot W'_{\text{ос}}(s)}$$

где $W(S) = K_{\text{рм}} / S$ – передаточная функция рулевой машины;

$W_{\text{ос}}(S) = K_{\text{ос}}$ – передаточная функция обратной связи, охватывающая рулевую машину.

Подставляя значение функции $W_{\text{рм}}(S)$, $W_{\text{ос}}(S)$ в последнее выражение и приводя его к стандартному виду получим:

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{K_{\text{р}} \vartheta}{T \cdot s + 1} \quad (3)$$

где $K_p \vartheta = 1 / K_{OC}$ – постоянная времени рулевого привода;

$T = 1 / (K_{PM} \times K_{OC})$ – постоянная времени рулевого привода.

Объект управления имеет передаточную функцию двойного интегрирующего звена:

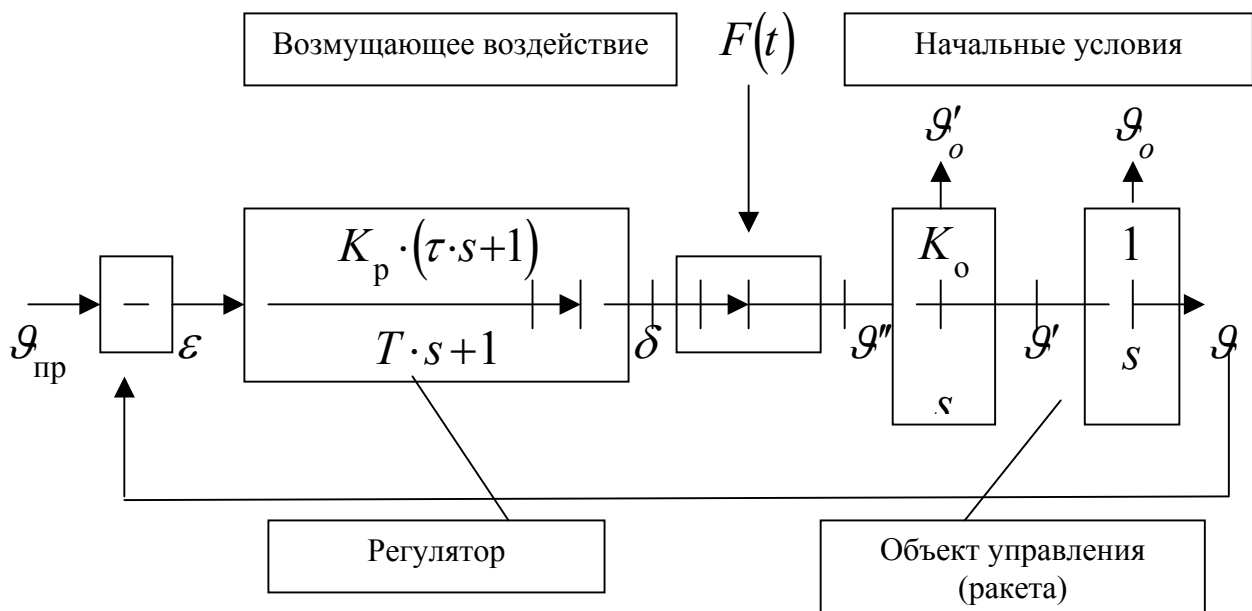
$$W_{oy}(s) = \frac{K_o}{s^2}, \quad (4)$$

где K_o – коэффициент передачи объекта.

Таким образом, рассматриваемую систему стабилизации можно представить произведением двух передаточных функций: $W_s(S)$ – регулятора и W_{OY} – объекта управления:

$$W(s) = W_p(s) \cdot W_{oy}(s) = \frac{K \vartheta \cdot K_p \vartheta \cdot (\tau \cdot s + 1)}{T_{pp} \cdot s + 1} \cdot \frac{K_o}{s^2}$$

Данной передаточной функции системы стабилизации можно поставить в соответствие следующую схему:



Примечание: $K_p = K \vartheta \cdot K_p \vartheta$

Рис.2. Преобразованная структурная схема системы стабилизации

С учетом изложенного, передаточную функцию системы запишем в виде:

$$W(s) = \frac{K \cdot (\tau \cdot s + 1)}{s^2 \cdot (T \cdot s + 1)}$$

где $K = K_p \cdot K_o$.

Пример. $K_o = 1$, тогда $K = K_p = K_{\text{э}} \times K_{\text{рз}}$.

IV. МЕТОДИКА ПРОГНОЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. По передаточной функции системы аналитическим или графическим способом определить частоту среза ω_c .

2. По найденной частоте среза ω_c вычислить запас устойчивости по фазе φ_2 .

3. По значению φ_2 рассчитать теоретические значения показателей качества:

δ – перерегулирования;

t_p – время регулирования;

Определение частоты среза произвести по методике, изученной на групповых занятиях.

Определение запаса устойчивости по фазе произвести по формуле:

$$\varphi_2 = 180^\circ + \sum_{i=1}^n \varphi_i(\omega_c)$$

где $\varphi_i(\omega_c)$ – значение фазовой характеристики i -го звена на частоте среза;

n – число звеньев

Для звеньев рассматриваемой системы:

I. Двойное интегрирующее $\varphi_1(\omega_c) = -180$

II. Форсирующее $\varphi_2(\omega_c) = \text{asctg } \tau \times \omega_c$

III. Аперiodическое $\varphi_3(\omega_c) = -\text{asctg } T_{PI} \times \omega_c$

Определение теоретических значений показателей качества δ , t_p .

$$\delta = \exp \left[\frac{-\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi'_2}{\left(1 + \frac{\varphi'_2}{4}\right) \cdot \sqrt{4 - \operatorname{tg}^2 \varphi'_2}} \right];$$

$$t_p = \frac{\delta \cdot \left(1 + \frac{\varphi'_2}{4}\right)}{\omega_c \cdot \operatorname{tg} \varphi'_2};$$

Данные формулы применимы при $0 \ll \varphi_2 \ll \pi/4$.

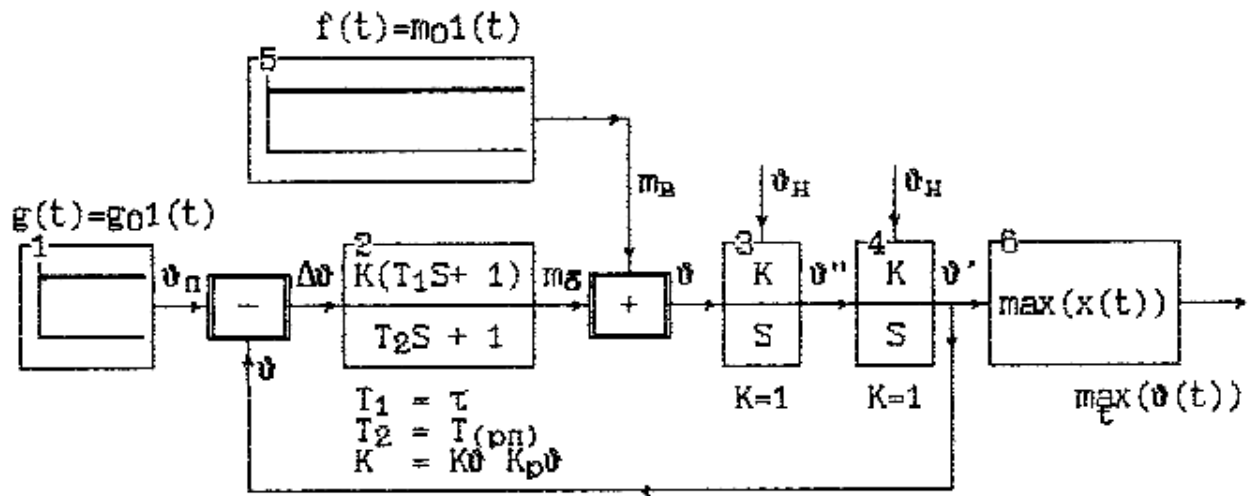
При проведении расчетов по этим формулам величина φ_2 должна быть переведена из градусной меры в радианную. Для этого можно использовать выражение:

$$\varphi'_2 = \frac{\varphi_2}{57,3} \text{ рад}$$

V. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка включает в себя персональную ЭВМ стандартной конфигурации, программную систему автоматизированного моделирования САУ "СИАМ".

V. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ



при $\theta_{уст} > 0$ $t_{мод} > t_6$, $\max_c \theta(t) = \theta_{уст} + 6$,

при $g_0 = m_0 = 0$, $\theta_H = -1$, $\Delta\theta_0 = \theta_H - \theta_H = 1$, $\theta_{уст} = 0 \rightarrow \max_c(\theta(t)) = 6$

Рис.3. Модель рассматриваемой системы стабилизации

Задача 1.

Для системы стабилизации тангажа с заданной структурной схемой (рис.3), ПФ идеального регулятора (КУ):

$$W_p^u(s) = k \mathcal{S}(\tau s + 1), \quad K \dot{\mathcal{S}} = \frac{k}{k_p \mathcal{S}}$$

Определить значения статического коэффициента передачи КУ- $k\mathcal{S}$, постоянной времени τ , коэффициента передачи всей системы k , а также частоты среза ω_C , перерегулирования δ , и времени регулирования t_r , при которых обеспечивается требуемое качество САУ в статическом режиме \mathcal{S}^0 и динамическом режиме φ_2^0 при следующих исходных данных:

$k_p \vartheta = n$; $T = n \times 0.003$ с; $m_0 = |n - 10| \times 0.01 + 0.1$,

$k_0 = 1$, $g_0 = 0$, где n – номер по списку в журнале.

Требуемые ϑ^0 и φ_2^0 для всех одинаковы $\vartheta^0 = 0.01$ рад. $\varphi_2^0 = 30^0$, φ_2^{\max}

Задача 2.

Используя режим параметрической оптимизации СИАМ произвести оптимизацию КУ регулятора по одному параметру – постоянной времени τ (T_1 – модельное).

В качестве целевой функции использовать минимум перерегулирования δ – выход блока $\max(x(t))$.

$$\sigma_{\text{опт}} = \min_{\tau} \sigma(\tau) = \min_{\tau} \max_t [x(t)]$$

2. Произвести расчет своего варианта параметров согласно $k_p \vartheta$, t , m_0 в соответствии с бланком-отчетом по лабораторной работе №4.
3. Исходя из требований к качеству АС в статическом режиме ϑ^0 рассчитать значение коэффициента передачи КУ k_{ϑ} и АС k .
4. Исходя из требований к качеству АС в динамическом режиме φ_2^0 , рассчитать значение постоянной времени τ КУ.
5. Результаты расчетов по п.п.2 ($k_p \vartheta$, t , m_0), 3 (k_{ϑ} , k) и 4 (τ_{\min} , τ_{\max} , τ , ω_C , φ_2^{\max}) занести в бланк-отчет по лабораторной работе.

БЛАНК-ОТЧЕТ
по лабораторной работе № 3

группа _____ фамилия _____

порядковый номер в журнале $n =$ _____

САУ

требования к САУ: $\vartheta^0 = 0.01$ рад; $\varphi_2^0 = \varphi_2^{\max}$ – при синтезе

$\delta = \delta_{\min}$ – при оптимизации

исходные данные: $K_p \vartheta = n =$ _____ $T = 0.003 \times n$ _____

$m_0 = |n - 10| \times 0.01 + 0.1 =$ _____

Результаты расчета и моделирования

$k \vartheta =$ _____ $k =$ _____ $\tau =$ _____

$\tau_{\min} =$ _____ $\tau_{\max} =$ _____

<i>Значения</i>		ω_c	σ	t_p	ϑ^0	φ_2
<i>расчетное</i>						
<i>экспери- ментальное</i>	<i>синтез</i>					
	<i>оптими- зация</i>					
	τ оптимальное =					

№ пп	О П Е Р А Ц И Я	Управляющая клавиша	Примеч.
1.	Установить: Бл 1 – $k = g_0 = 0$ Бл 2 – $k=k, T_1=\tau, T_2=T$ Бл 4 – $Y_0 = \theta_{ну}=0$, Бл 5 – $k = m_0$	F4 основного меню	
2.	А. Построить ЛЧХ: $M_0=A*B, M_1=M_0*C, L=M_1$ Б. По ЛЧХ определить частоту среза ω_c , запас по фазе φ_a . В. Вернуться в основное меню	F9 осн. меню F3 Esc	
3.	Установить $t_k=3...5$ с. По результатам моделирования определить θ^0 $\theta_{уст}$	F7 осн. меню F3, F6	
4.	Установить: Бл 4 – $Y_0 = \theta_{ну}=-1$ Бл 5 – $k = m_0 = 0$	F4	
5.	Моделировать переходную функцию $h(t)$. По графику определить перерегулирова- ние δ , время регулирования t_p .	F3 F6	
6.	Вернуться в основное меню.	Esc	
7.	Режим оптимизации: метод (F2) – однокоординатный, интер- вал неопределенности = 0.01 целевая функция (F5) – блок 6 оптимизируемые параметры (F6) – Блок 2 $T_1 = \tau$ (задать min, max) решение (F3) снятие значения T , (F4) Блок 2 $T_1 = \tau_{опт}$	F8 осн. меню F2 F5 F6 F3 F4	0...100
8.	Вернуться в основное меню.	Esc	
9.	Построить ЛЧХ, определить ω_c, φ_a (см п2)		
10	Войти в режим моделирования и повто- рить п. 5 (с $\tau_{опт}$)	F7	

6. Провести экспериментальную часть в соответствии с табл.1.

6.1. Установить в модели свои значения параметров.

6.2. Построить ЛЧХ разомкнутой АС и по ним определить экспериментальные значения ω_c, φ_2 .

6.3. Путем моделирования АС при нулевых НУ и отсутствии задающего воздействия $g_0=0$, определить выполнение требования по точности ϑ^0 при действии ступенчатого возмущающего воздействия $f(t) = m_0 1(t)$ (по графику функции $\vartheta(t)$).

6.4. При отсутствии возмущений $m_0=0$ и НУ $\vartheta_{\text{НУ}}=-1$ (для имитации ступенчатого задающего воздействия) путем моделирования определить экспериментальные значения δ и t_p (по графику функции $\vartheta(t)$).

6.5. Не меняя параметров модели найти оптимальное значение постоянной времени КУ $\tau_{\text{ОПТ}}$ по критерию минимума перерегулирования δ .

6.6. При $\tau=\tau_{\text{ОПТ}}$ построить ЛЧХ и по ним определить ω_c и φ_2 (см. п.6.2).

6.7. При $\tau=\tau_{\text{ОПТ}}$ повторить п.6.4.

6.8. Полученные результаты занести в соответствующие графы бланка-отчета.

6.9. Провести анализ результатов.

Содержание отчета

1.Бланк-отчет.

2.Выводы (о характере влияния параметров КУ (УУ) на показатели качества системы в переходном (динамическом) и установившемся (статическом) режимах).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирование САУ в современных условиях опирается на комплекс прикладных научных дисциплин и специализированную экспериментальную базу. Перспективной технической основой решения задач проектирования является САПР с соответствующим методическим и математическим обеспечением.

Специфика автоматизации проектирования современных технических систем определяется следующими факторами:

- 1) сложность (нелинейность, стохастичность, не стационарность) объекта проектирования;
- 2) необходимость учета большого количества условий и факторов, действующих на систему в реальных условиях эксплуатации;
- 3) широкий набор противоречивых технических требований, предъявляемых к системе.

Выполнение проектно-конструкторских разработок САУ, как правило, осуществляется большими коллективами исследователей, специализирующихся в различных, иногда достаточно далеких друг от друга сферах. Следствием этого является возникновение проблемы "общего языка" не только между человеком и ПЭВМ, но и между указанными группами участвующих в проектировании людей.

В качестве методологической основы проектирования выступает теория автоматического управления, которая в современном состоянии содержит ряд общих принципов, справедливых для любых управляемых процессов, и достаточно большое число эффективных методов синтеза систем управления различного класса.

Современный подход к автоматизации проектирования не ограничивается использованием ПЭВМ для проведения трудоемких расчетов, для информационного поиска или изготовления технической документации. В настоящее время ставится вопрос о создании **интеллектуальных человеко-**

машинных систем, в рамках которых возможно выполнение всего цикла проектных работ, начиная от научных исследований и кончая изготовлением конструкторской и технологической документации.

Изучение функциональных возможностей типовых САПР и приобретение практических навыков в машинном проектировании САУ в среде СИАМ, является необходимым шагом к освоению современных методов и технических средств проектирования САУ нового поколения.

Библиографический список

1. Автоматизированное проектирование систем автоматического управления / Алексанкин Я.Я., Бжозовский А.Е., Жданов В.А. и др.; Под ред. В.В. Солодовникова. - М.: Машиностроение, 1990. - 332 с.
2. Андрушенко В.А. Теория систем автоматического регулирования. Л.: Изд. ЛГУ, 1990г, 254с.
3. Бесекерский В.А., и др. Радиоавтоматика. М.: Высшая школа, 1985г., 272с.
4. Борисов Ю.П. Математическое моделирование радиосистем. М.: Сов. Радио, 1976г., 296с.
5. Никольский В.В. Автоматизация механических объектов. МО СССР, 1981г., 136с.
6. Фаронов В.В. Система автоматизированного моделирования. М.: МВТУ им. Баумана, 1989г.

Предметный указатель

А, Б, В, Г, Д, Е, Ё, Ж, З

загрузка -7

запас устойчивости – 54

И, Й

интегрируемые системы –16

имитационное моделирование –19

К, Л

квадратичный критерий качества – 23

коэффициент передачи рулевого привода –52

М, Н

модель – 8

модельное время – 25

методы оптимизации –30

меню режима ввода модели –9

О

окно – 7

ошибка – 50

П, Р

параметрическая оптимизация – 29,35

преобразование Лапласа –38

передаточные функции – 52

порядок набора схемы моделирования –12

С

структурная схема – 10

структурно- функциональная модель – 4

Т, У, Ф, Х

точность системы – 37

Ц, Ч

цель обратной связи – 14

численное интегрирование – 19

частота среза – 54

сокращения – 8

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИАМ.....	6
2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИАМ.....	8
2.1 Режим ввода модели.....	8
2.2 Режим ввода блока (блоков).....	11
2.3 Режим имитационного моделирования.....	16
2.4 Режимы построения Л.Ч.Х.	26
2.5 Режим параметрической оптимизации	29
РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1	34
РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2	47
РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3	61
Библиографический список.....	78
Предметный указатель.....	79

Александр Александрович Клавдиев

Теория автоматического управления в примерах и задачах

Часть II
Учебное пособие

Редактор И.Н. Садчикова

Сводный темплан 2005 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 78.01.07.953.П.005641.11.03. от 24.11.2003 г.

Подписано в печать

Формат 60×84 1/16

Б.кн.-журн.

П.л.

Б.л.

РТП РИО СЗТУ

Тираж 100

Заказ

Северо-Западный государственный заочный технический университет
РИО СЗТУ,
член Издательско-полиграфической ассоциации вузов России
191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5