

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ

---

---

Кафедра "Технология машиностроения"

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине "Теория автоматического  
управления технологическими системами"  
для студентов вечернего и заочного отделений  
специальности 12.01 - "Технология машиностроения"

Минск 1993

УДК 621.002:658.012.011.56 /075.4/

Методические указания к практическим занятиям подготовлены в соответствии с учебным планом для студентов вечернего и заочного отделений специальности 12.01 - "Технология машиностроения".

Содержание практических занятий соответствует учебной программе дисциплины "Теория автоматического управления технологическими системами".

Методические указания направлены на закрепление знаний по теории автоматического управления и приобретение навыков их практического применения.

Составители:

Г.П.Комлик, И.С.Фролов

Рецензенты:

И.И.Демидович, И.А.Каштальян

© Составление, Г.П.Комлик,  
И.С.Фролов, 1993

## В в е д е н и е

Программа практических занятий по дисциплине "Теория автоматического управления технологическими системами" направлена на закрепление знаний основ ТАУ и ознакомление с приемами и способами их практического использования для расчета САУ.

Студенты обязаны заранее подготовиться к проведению каждого занятия. Эта подготовка включает: изучение теоретического материала по теме занятия путем самостоятельной работы с рекомендуемой литературой; усвоение основных понятий, определений и методических указаний по данному практикуму; самопроверку по контрольным вопросам к занятию.

Контроль знаний студентов осуществляется путем устного опроса, письменных контрольных работ и результатов расчета соответствующих примеров.

Отчеты по практическим занятиям оформляются разборчиво и аккуратно на листах писчей бумаги формата А4. Отчеты проверяются и подписываются преподавателем по мере их оформления, но не позже следующего занятия. Все отчеты по практическим занятиям предъявляются преподавателю при сдаче зачета или экзамена.

### Практическое занятие N 1

#### ОСНОВЫ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНЫХ САУ

Цель работы: изучение основных положений синтеза линейных САУ, способов и средств их коррекции.

#### Основные понятия и определения

Синтез САУ является основной стадией проектирования, имеющей очень важное значение. При проектировании автоматических систем, как правил, возникают две основные задачи. Во-первых, исходя из требований к назначению системы и особенностям ее конструкции, необходимо выбрать основные функциональные элементы: измерительные устройства, усилители мощности, преобразовательные и исполнительные устройства. Во-вторых, исходя из требований к качеству системы в переходном и установившемся режимах ее работы и на основании имеющихся сведений об управляющих воздействиях, об ограничениях, накладываемых на ход процесса, необходимо найти оптимальные, с точки зрения выбранного критерия, структуру и параметры системы.

При разработке САУ обычно не удается выполнить ее так, чтобы она, будучи составлена только из основных звеньев, работала устойчиво и удовлетворяла заданным при проектировании показателям качества. В большинстве случаев в систему приходится вводить корректирующие устройства (КУ), которые приближают с заданной степенью точности характеристики САУ, состоящей из основных функциональных элементов, к характеристикам желаемой системы.

Введение дополнительных КУ усложняет САУ, поэтому, с практической точки зрения, важно уметь использовать более простые КУ и подбирать их параметры так, чтобы при меньшем их числе получать необходимый эффект.

Таким образом, сущность задачи синтеза заключается в таком выборе структурной схемы САУ, ее параметров и технической реализации, при котором обеспечиваются требуемые показатели качества и точности процессов управления, а сама САУ состоит из наиболее простых УУ.

Всю систему можно разделить на две части: неизменяемая часть (ОУ, исполнительное и измерительное устройства, преобразователь и т.п.) и изменяемая часть (КУ с согласующим усилителем).

Неизменяемую часть САУ выбирают не только по требованиям точности и качества процессов управления. На ее выбор влияют стоимость, надежность, массогабаритные показатели, условия эксплуатации и т.д.

При этом довольно часто задачу синтеза САУ сводят к выбору изменяемой части системы, т.е. легко изменяемых усилителей и КУ.

В САУ возможно применение КУ последовательного и параллельного действия, а также коррекция с помощью внутренних жестких обратных связей.

### Методические указания

Основную структуру и параметры элементов САУ часто выбирают по условиям выполнения требований, предъявляемых к статическим характеристикам системы (в общем случае согласно требованиям к точности САУ в установившихся режимах). Для улучшения динамических показателей применяют КУ. Их синтез производится аналитическими и графоаналитическими методами.

Аналитические методы предполагают проведение синтеза путем решения дифференциальных уравнений, описывающих процессы в САУ и аналитически связывающих показатели качества системы с параметрами КУ. При варьировании искомым парамет-

ров принятых КУ отыскиваются такие их значения, которые обеспечивают требуемое качество процессов управления. При таком подходе синтез САУ сводится к задаче поиска, причем основные трудности здесь связаны с разработкой такой программы или алгоритма, с помощью которых можно было бы быстрее всего найти самые выгодные параметры настройки системы.

Широкое распространение в инженерной практике получили графоаналитические методы синтеза, в частности, метод синтеза с помощью ЛЧХ разомкнутой системы. Расчет системы по этому методу включает:

построение желаемой ЛАЧХ на основе имеющихся требований по точности, быстродействию и запасу устойчивости;

построение ЛАЧХ исходной САУ в соответствии с передаточной функцией неизменяемой части системы;

определение вида и параметров КУ;

техническую реализацию КУ;

проверочный расчет и построение переходного процесса.

Наиболее ответственный и трудный этап - построение желаемой ЛАЧХ. Для его реализации используют методы В.В.Солодовникова (по временным показателям переходного процесса), В.А.Бесекерского (с использованием типовых ЛАЧХ), стандартных коэффициентов, интегральных квадратичных оценок и т.д. [1-4, 6-9].

Желаемая ЛАЧХ  $L_{ж}(\omega)$  скорректированной системы определяется показателями качества и точности процессов управления. Построение  $L_{ж}(\omega)$  нельзя полностью формализовать, однако существуют некоторые общие рекомендации, т.к. характеристика располагается в зонах низких, средних и высоких частот и состоит из нескольких основных участков (рис. 1.1).

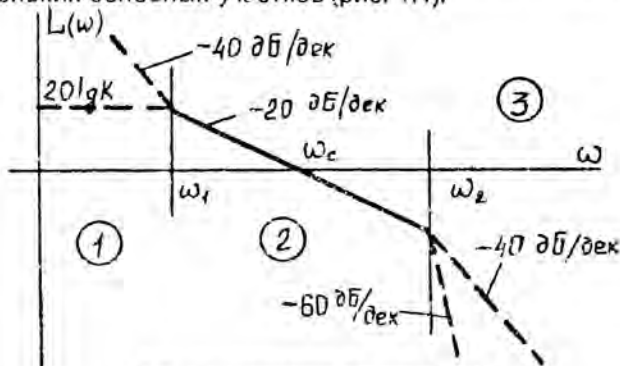


Рис. 1.1. Построение желаемой ЛАЧХ ;

1 - область низких частот, 2 - область средних частот, 3 - область высоких частот

Область низких частот 1 определяет поведение системы в установившемся режиме, т.е. определяет точность воспроизведения медленно изменяющегося входного воздействия. Для статических систем наклон этой части желаемой ЛАЧХ равен нулю, у астатических систем этот участок должен иметь наклон  $-20$  дБ/дек, где  $\nu$  - порядок астатизма. Уровень желаемой ЛАЧХ здесь определяется требуемым коэффициентом передачи. Он равен  $20 \lg K$  у статических систем и  $20 \lg K \nu$  при  $\omega = 1$  у астатических систем, где  $K \nu$  - коэффициент передачи системы, соответствующий порядку ее астатизма. Таким образом, участок 1 обычно совпадает с ЛАЧХ нескорректированной по условиям динамики системы.

Область средних частот 2 определяет запас устойчивости и качество системы при быстроизменяющемся воздействии. Запас устойчивости определяется запасом по модулю и фазе, а быстродействие - по частоте среза  $\omega_k$ . Переходной процесс протекает благоприятно, если ЛАЧХ вблизи частоты  $\omega_k$  имеет наклон  $-20$  дБ/дек, а длина этого участка составляет примерно одну декаду.

Область высоких частот 3 (при частотах  $\omega > 5 \dots 10 \omega_k$ ) не оказывает значительного влияния на качество переходного процесса, поэтому ее принимают совпадающей с ЛАЧХ нескорректированной системы.

Вид и параметры КУ определяют в зависимости от его ЛЧХ, которые получаются путем вычитания из логарифмических характеристик  $L_{ж}(\omega)$ ,  $\varphi_{ж}(\omega)$  желаемой скорректированной системы логарифмических характеристик  $L_{ис}(\omega)$ ,  $\varphi_{ис}(\omega)$  нескорректированной системы:

$$L_k(\omega) = L_{ж}(\omega) - L_{ис}(\omega),$$

$$\varphi_k(\omega) = \varphi_{ж}(\omega) - \varphi_{ис}(\omega).$$

По найденным ЛЧХ необходимо подобрать схему КУ и рассчитать численные значения ее параметров.

### Задачи и упражнения

**Пример 1.1.** Определить тип и параметры последовательного КУ САУ, структурная схема которого показана на рис. 1.2, а передаточные функции неизменяемой части системы и желаемой системы имеют вид:

$$W_{ис}(P) = K_{ис} \cdot (T_{ис} P + 1) (T_{2ис} P^2 + 1).$$

$$W_{ж}(P) = K_{ж} / (T_1 P + 1) (T_2 P + 1),$$

где  $K_{нс} = K_{ж}$ ;  $T_1 > T_{1нс}$ ;  $T_2 = T_{2нс}$ .

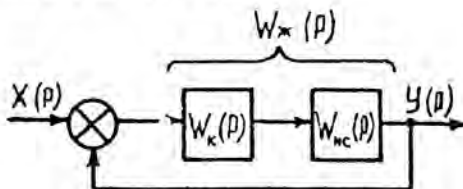


Рис. 1.2. Структурная схема САУ с последовательным КУ

**Решение.** При введении последовательного КУ передаточная функция разомкнутой скорректированной системы (см. рис. 1.2) равна

$$W_{ж}(P) = W_{нс}(P) \cdot W_k(P).$$

Для определения ЛАЧХ КУ (рис. 1.3) необходимо:

по заданной передаточной функции  $W_{нс}(P)$  построить ЛАЧХ нескорректированной разомкнутой системы  $L_{нс}(\omega)$ ;

построить по заданной передаточной функции  $W_{ж}(P)$  ЛАЧХ скорректированной системы  $L_{ж}(\omega)$ ;

вычесть из желаемой характеристики  $L_{ж}(\omega)$  характеристику  $L_{нс}(\omega)$  нескорректированной системы, что позволит найти требуемую характеристику КУ  $L_k(\omega)$ ;

по виду ЛАЧХ КУ определить его передаточную функцию  $W_k(P)$ , схему и рассчитать параметры.

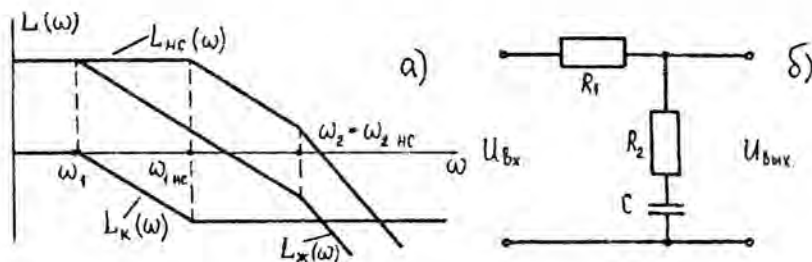


Рис. 1.3. Синтез последовательного КУ:

а - ЛАЧХ; б - схема КУ

Полученное КУ (рис. 1.3, б) называется интегрирующим и имеет передаточную функцию

$$W_k(P) = (T_{\text{инс}} P + 1) / (T_1 P + 1),$$

где  $T_{\text{инс}} = R_2 C$ ;  $T_1 = (R_1 + R_2) C$ .

**Пример 1.2.** Выбрать корректирующую обратную связь для САУ, структурная схема которой представлена на рис. 1.4.

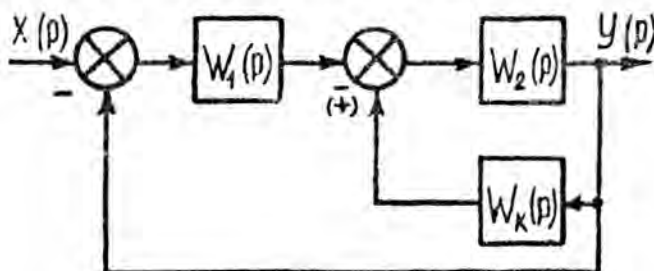


Рис. 1.4. Структурная схема САУ с корректирующей обратной связью

**Решение.** При использовании корректирующей обратной связи, т.е. встречно-параллельном включении КУ с передаточной функцией  $W_k(P)$ , передаточная функция разомкнутой скорректированной желаемой системы равна

$$W_{\text{ж}}(P) = W_{\text{нс}}(P) / [1 + W_2(P) \cdot W_k(P)],$$

где  $W_{\text{нс}}(P) = W_1(P) \cdot W_2(P)$ .

Как следует из этого выражения, из-за наличия суммы в знаменателе ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой скорректированной системы не могут быть получены.

Поэтому синтез таких КУ проводится только в частных случаях, когда  $|W_2(j\omega) W_k(j\omega)| \ll 1$  или  $|W_2(j\omega) W_k(j\omega)| \gg 1$ .

Порядок выполнения работы:

- 1) изучить основные положения синтеза линейных САУ;
- 2) изучить основные методы синтеза САУ;
- 3) ознакомиться с основными средствами коррекции динамических режимов.



## Содержание отчета:

- 1) название работы и ее цель;
- 2) сущность задачи синтеза САУ;
- 3) методика синтеза САУ;
- 4) методика построения желаемых ЛАЧХ;
- 5) способы коррекции САУ;
- 6) примеры синтеза САУ.

## Контрольные вопросы

1. Назовите основные этапы синтеза САУ.
2. Для чего в систему управления вводят корректирующие устройства?
3. Какие устройства относятся к неизменяемой части системы?
4. Какие устройства относятся к изменяемой части системы?
5. Назовите достоинства и недостатки различных способов коррекции.

## Практическое занятие 2

### ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ САУ

**Цель работы:** изучение основ инженерных методов расчета и построения нелинейных систем управления.

#### Основные понятия и определения

Нелинейной называется система, содержащая хотя бы один элемент с нелинейной зависимостью между его выходным и входным сигналами, причем линеаризация этой зависимости невозможна без потери существенных свойств системы управления в целом. В такой системе в большинстве случаев процессы не могут быть исследованы методами линейной теории. Кроме того, при исследовании систем с нелинейными элементами не может быть использован принцип суперпозиции.

На практике встречаются САУ, содержащие звенья, которые рассматриваются как элементы, обладающие несущественными нелинейностями. По отношению к ним можно применять методы линейной теории, если допустима линеаризация дифференциального уравнения в сравнительно небольшой окрестности наиболее характерных точек нелинейных характеристик звеньев. Однако создание большого класса систем, обеспечивающих наилучшие в

заданном смысле показатели, связано с необходимостью применять существенно нелинейные элементы в ОУ и УУ. Эти САУ требуют специальных методов исследования.

В таких САУ с нелинейными характеристиками и переменными параметрами динамические процессы описываются дифференциальными уравнениями, коэффициенты которых зависят от исследуемых переменных и переменных параметров. Решение этих уравнений производится нелинейными методами.

### Методические указания

Для исследования нелинейной САУ целесообразно представить ее в виде структурной схемы с обособленными линейными (линеаризуемыми) и нелинейными однонаправленными звеньями. В простейшем случае структурная схема САУ представляет собой последовательное соединение безынерционного нелинейного элемента НЭ с линейной частью ЛЧ системы, охваченное отрицательной обратной связью (рис. 2.1).

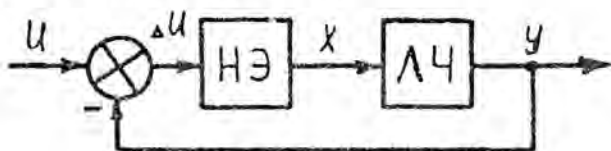


Рис. 2.1. Структурная схема САУ с нелинейностью

Методика построения структурной схемы заключается в следующем:

- составляются уравнения динамики отдельных элементов, входящих в состав системы;

- по полученным уравнениям определяются структурные схемы элементов;

- составляется структурная схема системы в целом;

- определяются элементы, нелинейности которых мало влияют на ход процесса управления, и производится линеаризация уравнений динамики этих элементов. Возможность линеаризации зависит от рассматриваемого режима работы, поэтому структурные схемы нелинейной САУ для разных режимов могут отличаться.

Основы анализа устойчивости и синтеза нелинейных систем даны А.М.Ляпуновым. Т.к. аналитические методы решения нелинейных дифференциальных уравнений отсутствуют, то при исследовании

довании нелинейных САУ в основном используются приближенные методы. Эти методы можно разделить на две группы:

1) методы, основанные на решении нелинейных дифференциальных уравнений, - это методы припасовывания, фазовой плоскости, точечных преобразований, графоаналитические, частотный метод В.М.Попова, численные методы (например, метод Эйлера, метод Рунге-Кутты) и метод моделирования;

2) методы, использующие линеаризацию нелинейных характеристик с последующим применением линейных методов анализа, - это методы малого параметра (возмущений), гармонического баланса, статистической линеаризации и др. [1-8].

Рассмотрим основные положения некоторых из этих методов, наиболее часто применяемых в практике инженерных исследований.

Метод припасовывания используется, если нелинейное уравнение динамики САУ можно представить в виде совокупности линейных дифференциальных уравнений, каждое из которых справедливо лишь в определенном диапазоне изменения координат. Это возможно при наличии релейных характеристик, а также при замене нелинейной характеристики НЭ кусочно-ломаной кривой.

При использовании этого метода при заданных начальных условиях аналитически или численно решается уравнение, соответствующее первому линейному участку характеристики НЭ. Когда координаты процесса достигают границы первого линейного участка, решение останавливается. Полученные значения координат используются в качестве начальных условий для уравнений второго участка и т.д.

Метод удобно использовать при построении переходного процесса с помощью ЭВМ, если порядок уравнения динамики системы  $n > 2$  [1, 2].

Метод фазовой плоскости в ТАУ был введен А.А.Андроновым и получил распространение для анализа переходных процессов в нелинейных САУ, описываемых дифференциальными уравнениями второго порядка.

Фазовой плоскостью называется плоскость, на которой изображается изменение какой-либо переменной величины  $X$  в функции скорости ее изменения  $Y = dX/dt$ .

Сущность метода заключается в построении фазовых траекторий по дифференциальным уравнениям на этой плоскости в системе координат  $X, Y$ . Процесс изменения траектории представляет собой движение изображающей точки на плоскости. Начальные условия системы определяют первоначальное положение изображающей точки на фазовой плоскости. Начальному состоянию со-

ответствует начальная фаза, конечному (при установившемся процессе) – конечная фаза, называемая точкой покоя. При движении изображающая точка вычерчивает на фазовой плоскости фазовую траекторию. Совокупность фазовых траекторий в плоскости  $(X, Y)$  представляет собой фазовый портрет.

Переходный процесс рассматривается на фазовой плоскости, на которой каждому состоянию системы во времени соответствует одна точка. Задачей метода является нахождение фазовой траектории, соответствующей требуемому переходному процессу, и нахождение по фазовой траектории самого переходного процесса во времени. Метод отличается простотой и наглядностью. Он позволяет получить решения при любом количестве и виде нелинейностей. Точность расчетов может быть высокой. Характерной особенностью метода является возможность оценки характера переходного процесса и устойчивости нелинейной САУ по фазовой траектории без расчета переходного процесса. Недостатком метода является возможность его применения для анализа процессов в системах с порядком  $n \leq 2$  [1-3, 6].

Метод точечных преобразований в применении к исследованию нелинейных САУ также разработан А.А.Андроновым и основан на замене истинного переходного процесса приближенным, потому что в большинстве случаев нелинейные системы описываются сложными дифференциальными уравнениями, интегрирование которых часто затруднительно или невозможно. Такая замена производится по участкам, для каждого из которых нелинейная часть характеристики представляется линейным отрезком. Границы областей, в пределах которых движение системы описывается линейными дифференциальными уравнениями, определяются границами выбранных участков характеристики НЭ. Это дает возможность получить интегрируемое линейное дифференциальное уравнение, приближенно отражающее процесс в пределах данного участка. Расчет производится на фазовой плоскости, по осям которой откладываются исследуемая переменная  $X$  и ее производная по времени  $Y$ . Решение динамической задачи сводится к изучению точечного преобразования координатной полуоси в саму себя. Однако следует отметить, что в случае применения этого метода к системам с порядком дифференциального уравнения  $n > 3$  возникают значительные трудности в расчете [1, 3, 6].

Метод Эйлера (метод конечных приращений) является приближенным методом интегрирования дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, описывающих динамические процессы в нелинейных САУ с любым видом и числом нелинейностей,

заданных аналитически или графически, при условии возможности записи  $n$  дифференциальных уравнений первого порядка. Это характерно для многих промышленных САУ, звенья которых в основном описываются дифференциальными уравнениями первого порядка.

Метод Эйлера основан на допущении, что в малый промежуток времени  $\Delta t$ , называемый шагом интегрирования, все переменные системы и все их производные остаются постоянными, а при переходе к следующему шагу интегрирования — меняются скачком.

Точность расчетов этих методов зависит от вида функции и шага интегрирования  $\Delta t$ . Чем он меньше, тем выше точность, но это ведет к увеличению шагов интегрирования и повышению затрат времени на проведение расчетов. Практика расчетов показывает, что обычно в САУ для получения приемлемой точности достаточно  $\Delta t$  выбрать в 3-4 раза меньше минимальной из учитываемых в расчете постоянных времени.

Метод Рунге-Кутты тоже применяется для приближенного интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих нелинейные САУ. Он чаще других методов используется для расчета переходных процессов на ЭВМ. Для решения многих дифференциальных уравнений этим методом разработаны стандартные программы. Метод обеспечивает большую точность вычислений по сравнению с методом Эйлера [3].

Метод математического моделирования представляет собой экспериментальное исследование переходных процессов нелинейной САУ на ЭВМ. Метод основан на идентичности дифференциальных уравнений исследуемой нелинейной системы и ее математической модели, исследуемой на ЭВМ. Физическая сущность оригинала и модели может быть различна. ЦВМ целесообразнее использовать при исследовании САУ со сложными нелинейностями, запаздыванием, сложными входными сигналами. Достоинство АВМ — их простота. Они удобны в применении и позволяют быстро получить наглядное решение, проанализировать влияние параметров системы на качество процессов управления.

Метод гармонического баланса основан на том, что в системе (рис. 2.1), содержащей ЛЧ и НЭ, условием существования колебаний является гармонический баланс их на входе НЭ и на выходе элемента сравнения.

Метод позволяет определить, возникнут или нет автоколебания в нелинейной (в частности, релейной) САУ, а если возникнут, то с какой частотой и амплитудой. Этот метод основан на гармонической линеаризации НЭ системы и распространяет частотные

методы синтеза и анализа на нелинейные САУ. Нелинейности, исследуемые этим методом, представляют собой статические характеристики релейного типа и типа усилителей с ограничителем, воздушного зазора и гистерезиса.

Сущность метода заключается в исследовании поведения системы при гармоническом воздействии, подаваемом на вход НЭ, и замене периодической кривой на его выходе первой гармоникой, получаемой при разложении выходного сигнала в ряд Фурье. Погрешность, получаемая при такой замене, сравнительно невелика, т.к. в действительности из-за последующего сглаживания действия ЛЧ САУ, являющейся своего рода фильтром низкой частоты, все высокочастотные колебания не пропускаются. Практически они подавляются элементами САУ, обладающими инерционностью [1-9].

Метод статистической линеаризации разработан И.Е.Казаковым и используется для вычисления математического ожидания и дисперсии ошибки управления нелинейной САУ, находящейся под влиянием случайных воздействий. Метод основан на замене НЭ линейными усилительными звеньями с коэффициентами преобразования, зависящими от величины математического ожидания и от дисперсии процесса на входе НЭ. Эти коэффициенты выбираются обычно так, чтобы дисперсия ошибки, обусловленная заменой, была минимальной. Метод предполагает, что случайный процесс на входе НЭ подчиняется нормальному закону распределения [1, 3].

Оценка качества управления в нелинейных САУ производится с помощью тех же критериев, что в линейных системах: быстродействие, перерегулирование и колебательность. Кроме того, в случае автоколебательного режима нелинейной САУ представляют интерес такие показатели, как частота и амплитуда автоколебаний. Показатели качества управления также могут быть оценены прямым методом непосредственно по графику переходного процесса, либо с помощью косвенных методов, дающих приближенную оценку процессов. Переходные процессы в нелинейной САУ могут быть рассчитаны аналитическим или графоаналитическим способом. Наиболее универсальным методом косвенной оценки показателей качества нелинейных САУ, линейная часть которых описывается дифференциальным уравнением любого порядка, является метод, основанный на построении диаграмм качества затухания симметрических нелинейных колебаний, разработанный Е.П.Поповым [3].

Коррекция нелинейных САУ служит для формирования динамических процессов, обладающих показателями качества, соот-

ветствующими цели управления. Наличие существенных нелинейностей может ухудшить качество управления и иногда сделать САУ вообще неработоспособной. Поэтому при разработке таких систем возникает задача уменьшения влияния нелинейности на динамику системы [3, 6].

### Задачи и упражнения

**Пример 2.1.** Построить характеристику НЭ "сухое трение", если момент трения  $Y$  меняет свой знак при изменении знака скорости  $X$ , т.е.  $Y = B \operatorname{sign} X$ , где параметр нелинейности - уровень выходного сигнала  $B$ .

**Пример 2.2.** Построить характеристику НЭ вида "люфт", если ее уравнения  $Y = K(X - a)$  при  $\dot{X} > 0$  и  $Y = K(X + a)$  при  $\dot{X} < 0$ , где параметры нелинейности - ширина зазора  $2a$  и коэффициент передачи  $K = \operatorname{tg}\alpha$ .

**Пример 2.3.** Построить изображение незатухающих гармонических колебаний  $X = A \sin \omega t$  на фазовой плоскости.

**Решение.** Применим метод фазовой плоскости. Скорость изменения переменной  $X$  выразится как

$$y = dx/dt = A \omega \cos \omega t.$$

Исключив переменную  $t$ , найдем

$$y = A \omega \cos \arcsin (x/A) = A \omega \cos \arccos \sqrt{1 - (x/A)^2},$$

откуда  $(x/A)^2 + (y/A\omega)^2 = 1$ . Следовательно, незатухающие гармонические колебания изображаются на фазовой плоскости в виде эллипса (рис. 2.2) с полуосями  $A$  и  $A\omega$ .

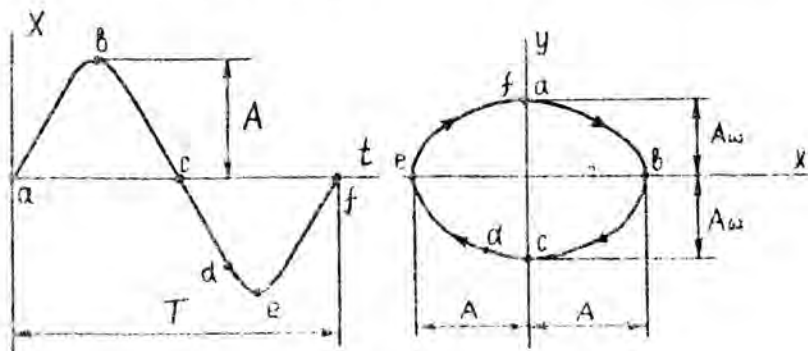


Рис. 2.2 Незатухающие гармонические колебания и его изображение на фазовой плоскости



### Порядок выполнения работы:

- 1) изучить особенности анализа и синтеза нелинейных САУ;
- 2) ознакомиться с основами инженерных методов исследования нелинейных САУ.

### Содержание отчета:

- 1) название работы и ее цель;
- 2) нелинейные САУ и сущность основных инженерных методов их расчета и построения;
- 3) структурная схема нелинейной САУ и методика ее построения;
- 4) примеры построений и расчетов.

### Контрольные вопросы

1. Какая система называется нелинейной?
2. Какие элементы обладают несущественными нелинейностями?
3. Какие элементы обладают существенными нелинейностями?
4. Какие методы исследования нелинейных САУ основаны на решении нелинейных дифференциальных уравнений?
5. Какие методы исследования нелинейных САУ основаны на линеаризации нелинейных характеристик?

### Литература

1. Справочное пособие по теории систем автоматического регулирования и управления /Под общ. ред. Е.А.Санковского. - Мн.: Выш. школа, 1973.
2. Ключев А.С. Автоматическое регулирование. - М.: Энергия, 1973.
3. Анхимюк В.Л. Теория автоматического управления. - Мн.: Выш.школа, 1979.
4. Солодовников В.В., Плотников В.И., Яковлев А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1985.
5. Автушко В.П. и др. Автоматика и автоматизация производственных процессов. - Мн.: Выш. школа, 1985.
6. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. - М.: Машиностроение, 1973.



7. Фельдбаум А.А., Бутковский А.Г. Методы теории автоматического управления. - М.: Наука, 1971.

8. Воронов А.А. и др. Основы теории автоматического регулирования и управления: Учебн. пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1977.

9. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами: Справ. пособие /Под ред. А.С.Клюева.- М.: Энергия, 1977.

## Содержание

Введение .....	3
Практическое занятие N 1. ОСНОВЫ СИНТЕЗА ЛИНЕЙНЫХ САУ .....	3
Практическое занятие N 2. ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ САУ .....	9
Л и т е р а т у р а .....	16

Учебное издание

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к практическим занятиям по дисциплине  
"Теория автоматического управления технологическими системами"  
для студентов вечернего и заочного отделений специальности 12.01 -  
"Технология машиностроения"

Составители: КОМЛИК Геннадий Петрович  
ФРОЛОВ Игорь Stanisлавович

---

Редактор Г.В.Ширкина. Корректор М.П.Антонова

Подписано в печать 06.05.93.

Формат 60x84 1/16. Бумага тип. N 2. Офсет. печать.

Усл.печ.л. 1,2. Уч.-изд.л. 0,9. Тир. 300. Зак. 501.

---

Белорусская государственная политехническая академия.

Отпечатано на ротапринтере БГПА. 220027, Минск, пр. Ф.Скорины, 65.