

## Лабораторная работа №1

### Основы структуризации, классификации систем. Модель «черного ящика». Системный подход.

#### 1. Цель работы:

- 1.1 Научиться осуществлять классификацию систем по различным признакам, осознать ее необходимость в процессе реализации системного подхода.
- 1.2 Изучить методы системного анализа: системный подход, модель «черного ящика», дерево функций.

#### 2. Литература:

- 2.1 Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ: учебник для академического бакалавриата. – 2-е изд.. – М.: Издательство Юрайт, 2014. – 616 с.
- 2.2 Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.
- 2.3 Живицкая Е. Н. Системный анализ и проектирование. Конспект лекций. – Мн: БГУИР.
- 2.4 Стивен Смит. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. М.:2012. – 720 с.

#### 3. Задание:

**3.1 Классификация систем.** В соответствии с вариантом провести классификацию трех видов систем, представленных в таблице 1. Провести анализ системы по всем признакам. Результаты классификации представить в виде таблиц (см. пример табл. 2,3). Определить основную цель функционирования системы и определить полезность (потребность) системы для общества (человека).

Таблица 1. Примеры систем для индивидуального выполнения

| Вариант | Материально-техническая | Социально-экономические система | Абстрактная система (рассматривать как |
|---------|-------------------------|---------------------------------|--|
|---------|-------------------------|---------------------------------|--|

|    | система                               |                               | нематериальную)   |
|----|---------------------------------------|-------------------------------|---|
| 1  | Датчик движения                       | Супермаркет                   | Система мониторинга линии связи                         |
| 2  | Персональный компьютер                | Ресторан                      | Система обработки видео                                 |
| 3  | Аппарат для сварки оптических волокон | Завод                         | Поисковая система                                       |
| 4  | Wi-Fi роутер                          | Гостиница                     | Информационные система по продаже авиабилетов           |
| 5  | Рефлектометр                          | Телекоммуникационная компания | Информационная система фиксации нарушений ПДД           |
| 6  | Планшет                               | Школа                         | Система идентификации личности по походке               |
| 7  | Коммутатор                            | Администрация города          | Система навигации                                       |
| 8  | Видеорегистратор                      | Банк                          | Инфокоммуникационная система                            |
| 9  | Радиопередатчик РРЛ                   | Детский летний лагерь         | Система распознавания и обработки речи                  |
| 10 | Видеокамера                           | Цирк                          | Информационная система «Умный дом»                      |
| 11 | Осциллограф                           | ВУЗ                           | Система обработки изображений                           |
| 12 | Оптический усилитель                  | Зоопарк                       | Операционная система                                    |
| 13 | IP-Телефон                            | Трикотажная фабрика           | Файловая система  |
| 14 | Аудиосистема кинозала                 | Салон красоты                 | Информационная система управления космическим аппаратом |
| 15 | Фурье-спектрометр                     | Пожарная часть                | Система распознавания текстов                           |
| 16 | Сервер                                | Военная часть                 | САПР  |
| 17 | Фотоаппарат                           | Компания по разработке сайтов | Информационная система «Умный город»                    |

Таблица 2. Пример классификации системы типа микрофон

| № п/п | Признак классификации | Тип системы по признаку | Обоснование принадлежности |
|-------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|
|-------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|

|   |                              |                       |   |
|---|------------------------------|-----------------------|---|
| 1 | По виду научного направления | физическая            |   |
| 2 | По обусловленности действия  | детерминированная     | взаимодействия элементов четко определено |
| 3 | По степени организованности  | хорошо организованная |   |
| 4 | По происхождению             | искусственная         | создана человеком                         |
| 5 | По основным элементам        | конкретная            | состоит из материальных элементов         |
| 6 | По взаимодействию со средой  | открытая              | взаимодействует с окружающей средой       |
| 7 | По степени сложности         | простая               | небольшое число элементов                 |
| 8 | По естественному разделению  | техническая           | искусственная система, создана человеком  |

Данная система удовлетворяет **потребность** человека записи звука на электронный носитель.

**Целью** рассматриваемой системы является преобразование звуковых волн в колебания электрического тока.

Таблица 3. Пример классификации системы типа **ВУЗ**

| № п/п | Признак классификации        | Тип объекта по признаку | Обоснование принадлежности   |
|-------|------------------------------|-------------------------|--|
| 1     | По виду научного направления | социально-экономическая |  |
| 2     | По обусловленности действия  | стохастическая          | поведение данной системы можно предсказать лишь с некоторой вероятностью |
| 3     | По степени организованности  | хорошо организованная   |  |
| 4     | По происхождению             | искусственная           | создана человеком  |
| 5     | По основным элементам        | конкретная              |  |
| 6     | По взаимодействию со средой  | открытая                | взаимодействует с окружающей средой                                      |
| 7     | По степени сложности         | сложная                 | много элементов,   |

|   |                             |                         |  |
|---|-----------------------------|-------------------------|--|
|   |                             |                         | сложные связи  |
| 8 | По естественному разделению | социально-экономическая | обусловлена присутствием и деятельностью человека в обществе |

Данная система удовлетворяет **потребность** общества в обучении.

**Целью** рассматриваемой системы является обучение людей.

**3.2 Модель «черного ящика».** Исследовать заданные системы с помощью применения принципа «черного ящика»: определить по 6-7 входов и выходов каждой из систем и выделить 3 наиболее существенных. В сравнении с заданием 3.1, сформулировать более развернутые цели системы.

#### Пример №1 – Микрофон

Входы: марка, конструкция, технология производства, использованные материалы, параметры электропитания, звуковая волна на входе.

Выходы: внешний вид, цена, доступность массовому потребителю, качество преобразования звука, рабочие параметры, электрические импульсы на выходе, совместимость с другими устройствами, удобство эксплуатации.

Цель системы: преобразование звуковых волн в колебания электрического тока с минимальными линейными и нелинейными искажениями.

#### Пример №2 – ВУЗ

Входы: абитуриенты, преподавательский состав, законодательство, материально-техническая база, здания и сооружения, мнение общества о ВУЗе в частности и о системе высшего образования в целом.

Выходы: количество и качество обученных специалистов, научные работы преподавателей, повышение квалификации преподавателей, влияние на общество, повышение качества образования, трудоустройство молодых специалистов, прибыль.

Цель системы: получение людьми высшего образования с учетом потребностей общества.

### **3.3 Дерево функций.** Произвести анализ функций систем:

3.3.1 Для заданных систем выявить как можно больше (не менее 8) подсистем.

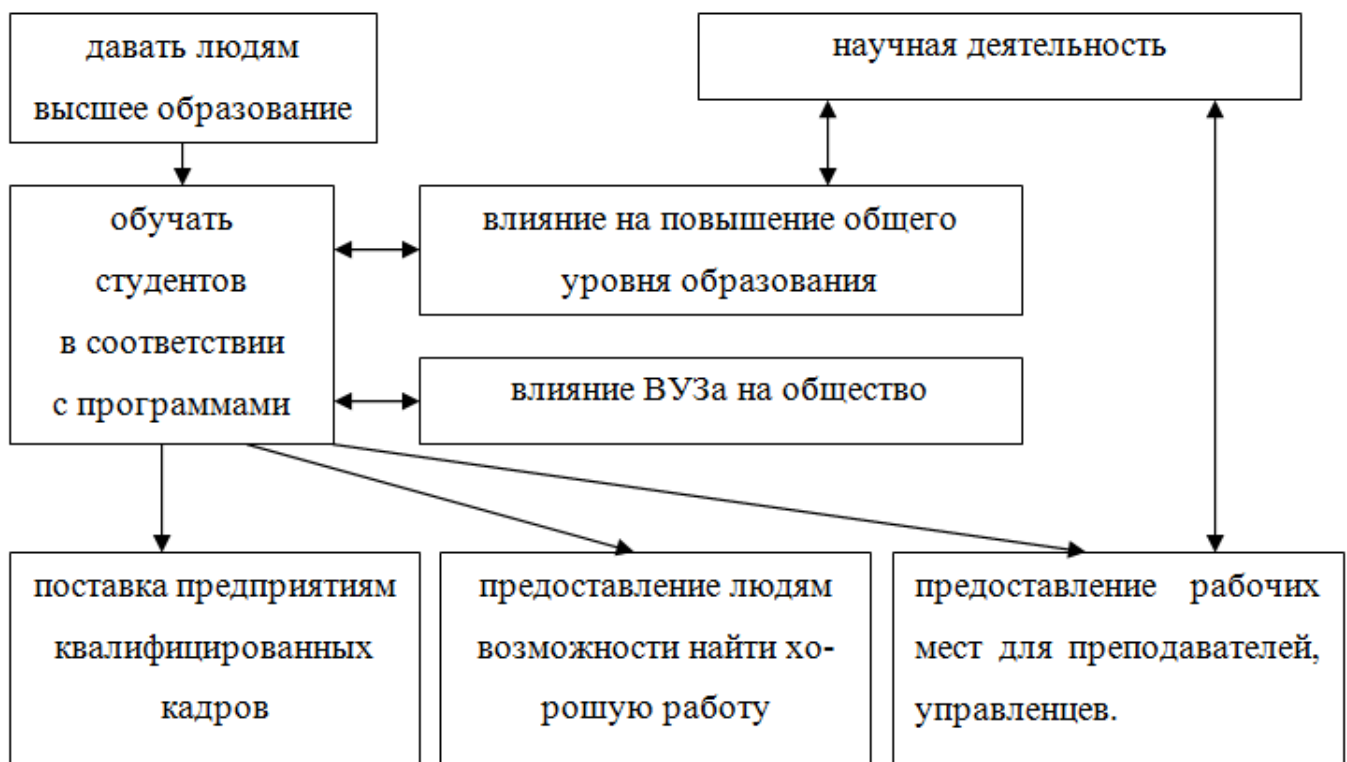
3.3.2 Определить как можно больше функций системы.

3.3.3 Для каждой системы построить дерево целей (или дерево функций) с описанием основных уровней и принципов построения.

Пример №1. Функции объекта **микрофон**: принятие звуковых волн, преобразование звуковых волны в электрические импульсы, усиление электрических импульсов, передача информации на записывающее/воспроизводящее устройство.

Пример №2. Функции объекта **ВУЗ**: давать людям высшее образование, обучать студентов в соответствии с программами, влияние ВУЗа на общество, влияние на повышение общего уровня образования, научная деятельность, поставка предприятиям квалифицированных кадров, предоставление людям возможности найти хорошую работу, предоставление рабочих мест для преподавателей, управленцев.

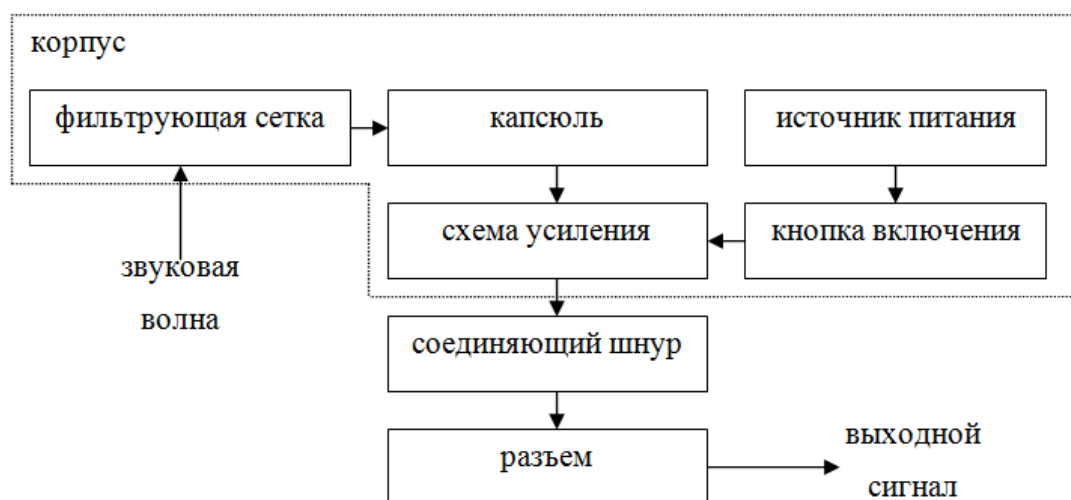
Дерево функций объекта ВУЗ:



**3.4 Структура системы.** Перечислить все элементы заданных систем. Построить структурные схемы. На схеме показать основные связи между элементами (или подсистемами) и определить цель, достигнутую в ходе структурного моделирования.

Пример №1. Микрофон состоит из следующих составных частей: капсюль, схема усиления, соединяющий шнур, разъем, кнопка включения, источник питания, корпус, защитно-фильтрующая сетка.

Структура системы «микрофон»:

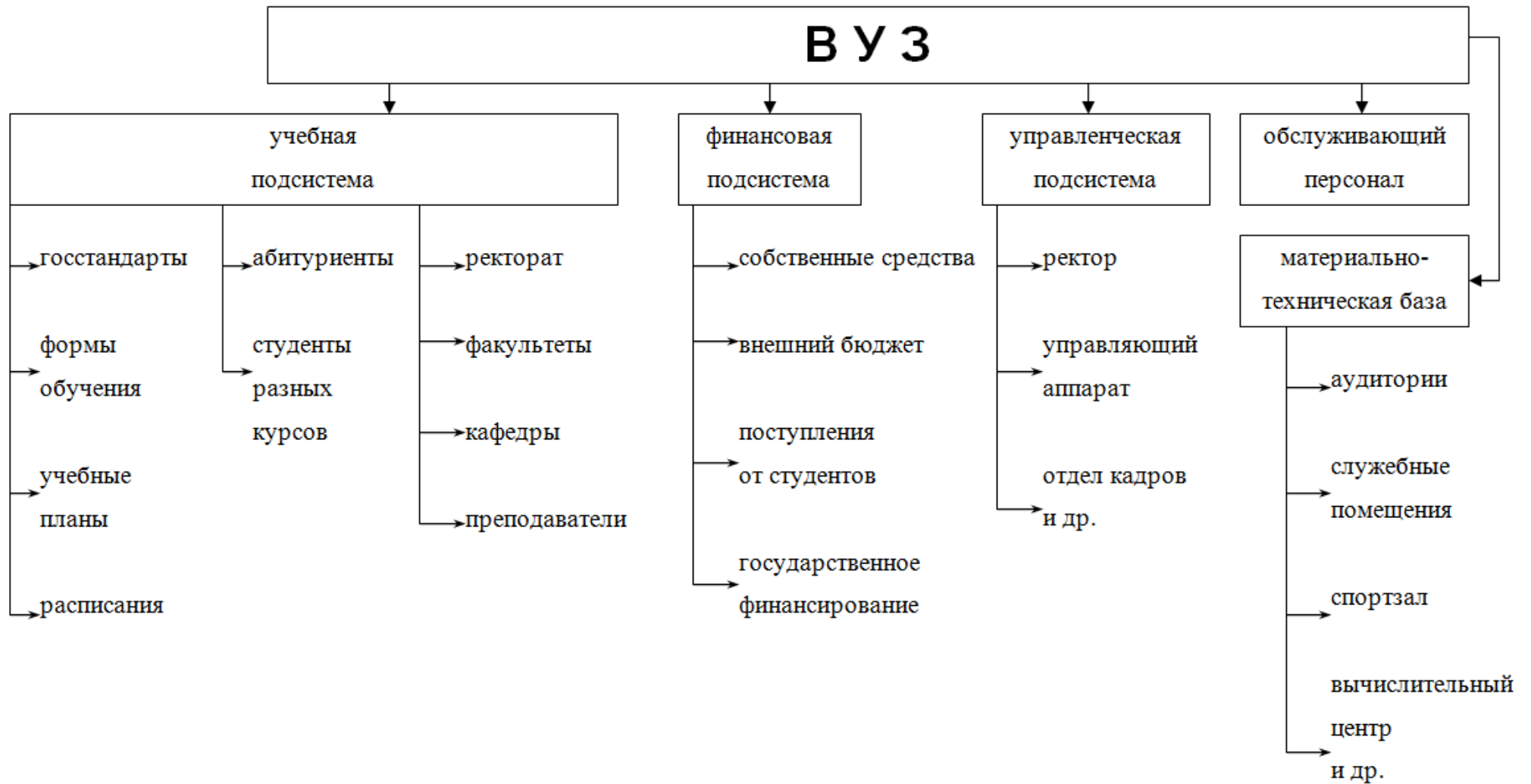


Входная звуковая волна поступает через фильтрующую сетку на капсюль микрофона, где происходит преобразование в электрический сигнал. Сигнал усиливается схемой усиления и через соединяющий шнур направляется в записывающее устройство.

Пример №2. Элементы системы ВУЗ: учебная система, абитуриенты, студенты, преподавательский состав, система финансирования, управляющий состав, обслуживающий состав.

Основная цель, достигнутая в ходе структурного моделирования системы – создание упорядоченных моделей систем и отображение взаимодействия их подсистем и элементов между собой.

Структура системы «ВУЗ»:



### 3.5 Цифровой фильтр как модель «чёрный ящик»

Цифровой фильтр можно рассматривать как модель «черный ящик».

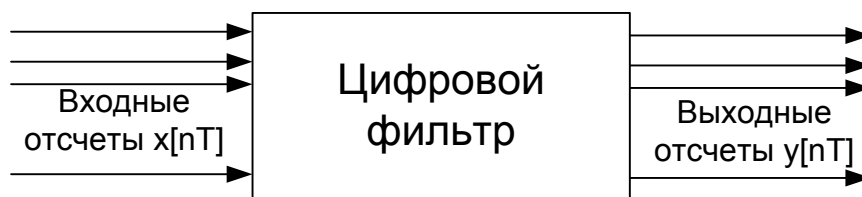


Рис. 5 – ЦФ как модель «чёрный ящик»

Метод «черного ящика» — кибернетический. Объект исследования представляется как некоторая кибернетическая система, и она может быть описана своим функциональным оператором. Такой подход преследует цель посредством построения некоторой модели установить изоморфизм не с внутренней структурой и ее функционированием, а с внешними проявлениями ее информативных параметров.

С помощью передаточных функций может быть построено несколько типов моделей. В простейшем случае функции  $G$  и  $H$  рассматриваются как рациональные функции, а коэффициенты полиномов в числителе и знаменателе этих функций становятся параметрами модели. Такие модели также называются моделями «чёрного ящика», так как с их помощью может быть лишь описана взаимосвязь между входами и выходами системы, но не внутренняя структура или законы функционирования.

Наиболее просто взаимодействие между входом и выходом может быть представлено в виде линейного разностного уравнения:

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t). \quad (1)$$

Так как белый шум  $e(t)$  вносит ошибка прямо в разностное уравнение, такую модель также называют моделью ошибки предсказания. Вектора параметров модели:



$$\theta = [a_1, \dots, a_{n_a}, b_1, \dots, b_{n_b}]^T$$

Введём обозначения

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a}, \quad B(q) = b_1 q^{-1} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b},$$

тогда

$$G(q, \theta) = \frac{B(q)}{A(q)}, \quad H(q, \theta) = \frac{1}{A(q)}.$$

Модель (1) также называется ARX-моделью, при этом AR означает «autoregressive» (авторегрессионная), а X – дополнительный вход  $B(q)u(t)$ . В случае, если  $n_a = 0$ ,  $y(t)$  рассматривается как выход фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтра). Такая модель широко применяется при решении задач цифровой обработки сигналов.

Оценка выходного сигнала модели (5.10) может быть вычислена так:

$$\hat{y}(t | \theta) = B(q)u(t) + [1 - A(q)]y(t). \quad (2)$$

Введём обозначение для наблюдаемых значений входного и выходного сигналов:

$$\varphi(t) = [y(t-1), \dots, y(t-n_a), u(t-1), \dots, u(t-n_b)]^T.$$

Тогда (2) примет вид:

$$\hat{y}(t | \theta) = \theta^T \varphi(t).$$

Такая модель в статистике называется линейной регрессией, а вектор  $\varphi(t)$  – вектором регрессии. Для определения вектора параметров модели могут быть применены простые, но мощные методы.

Основной недостаток модели (1) состоит в недостаточной гибкости описания возмущения. Можно сделать модель более гибкой, если описать ошибку модели как скользящее среднее белого шума. В результате получится модель:

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t) + c_1 e(t-1) + \dots + c_{n_c} e(t-n_c).$$

Введя обозначение

$$C(q) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{n_c} (t - n_c)$$

получим

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t).$$

В вектор параметров модели теперь входят и коэффициенты  $c_1, \dots, c_{n_c}$ . Такая модель называется ARMAX.

Наконец, ошибку модели (1) можно описать и с помощью авторегрессии. В результате получим модель

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + \frac{1}{D(q)}e(t),$$

$$D(q) = 1 + d_1 q^{-1} + \dots + d_{n_d} q^{-n_d}.$$

Такая модель, по аналогии с предыдущими, называется ARARX.

Предположим теперь, что взаимосвязь между входом и невозмущённым выходом может быть описана с помощью линейного разностного уравнения. Тогда можно записать

$$w(t) + f_1 w(t-1) + \dots + f_{n_f} w(t-n_f) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b),$$

$$y(t) = w(t) + e(t).$$

Введя обозначение

$$F(q) = 1 + f_1 q^{-1} + \dots + f_{n_f} q^{-n_f},$$

получим модель, называемую моделью выходной ошибки:

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t) + e(t).$$

Наиболее общая форма модели чёрного ящика может быть записана в следующем виде:

$$A(q)y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t).$$

Если система имеет задержку на  $k$  отсчётов, модель принимает вид:

$$A(q)y(t) = q^{-k} \frac{B(q)}{F(q)}u(t) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t).$$

### **Задания по п. 3.5:**

**3.5.1.** Получите с помощью программы и отобразите на графике 500 первых отсчётов последовательностей, заданных следующими четырьмя уравнениями.

$$x1[n] = \sin(2\pi n/100)$$

$$x2[n] = 4 \exp(-(n-150)^2/300) - \exp(-(n-150)^2/2500)$$

$$x3[n] = 1, \text{ при } 240 < n < 300;$$

$$= -2, \text{ при } 299 < n < 380;$$

$$= 0, \text{ в любом другом случае.}$$

$$x4[n] = \text{rnd} + \text{rnd} + \text{rnd} + \text{rnd} + \text{rnd} + \text{rnd} - 3,$$

где функция rnd возвращает значение случайной величины (сделать два варианта: 1) rnd имеет равномерное распределение в диапазоне 0...1, rnd имеет нормальное распределение с нулевым мат.ожиданием и СКО=1).

**3.5.2.** Получите и отобразите на графике последовательность, определяемую как сумма этих четырёх последовательностей:

$$x[n] = x1[n] + x2[n] + x3[n] + x4[n]$$

**3.5.3.** Пусть входная последовательность  $x[n]$  и выходная последовательность  $y[n]$  связаны разностным уравнением:

$$y[n] = 0.05 x[n] + 0.95 y[n - 1].$$

Это уравнение однополюсного НЧ-фильтра, с помощью которого можно производить сглаживание сигналов, подавляя в них высокочастотные гармоники.

- Исследуйте заданный тип цифрового фильтра с помощью применения принципа «черного ящика»: определите по 3-4 входов и выходов.
- Применив системный подход, придумайте альтернативные варианты цифровых систем обработки сигналов для решения проблемы сглаживания сигналов (например, используя ДПФ и т.д.).
- Построить для системы сглаживания сигналов дерево целей, с позиции примеров областей применения в реальных задачах (например, сглаживание шумов в информационных технологиях обработки физиологических сигналов и т.д.)
- Рассчитайте реакции линейной системы  $y_1[n]$ ,  $y_2[n]$ ,  $y_3[n]$ ,  $y_4[n]$  и  $y[n]$  на пять полученных вами прежде сигналов.

Можно воспользоваться следующей программой:

```
y[0] = 0
for n = 1 to 499
  y[n] = 0.05*x[n] + 0.95*y[n - 1]
next n
```

Сравните последовательность  $y[n]$  и сумму последовательностей  $y_1[n]$ ,  $y_2[n]$ ,  $y_3[n]$  и  $y_4[n]$ , выполнив поэлементное вычитание. Отобразите результат на графике и объясните причину несовпадения последовательностей.

**3.5.4** Вычислите свёртку сигнала  $x[n]$  и импульсной характеристики  $h[n]$  (массив отсчётов импульсной характеристики  $h[n]$ : 1/25, 2/25, 3/25, 4/25, 5/25, 4/25, 3/25, 2/25, 1/25), результат представьте в графической форме. В чём состоит улучшение сигнала в результате выполнения такой свёртки?

Продолжите последовательность  $x[n]$  нулевыми отсчётами так, чтобы длина полученной последовательности равнялась 1024 отсчётам, вычислите ДПФ сигнала и выведите на график амплитуду спектра.

Дополните  $h[n]$  нулями до 1024 отсчётов, вычислите частотную характеристику и выведите на график её амплитудную составляющую. Укажите полосу пропускания (амплитуда больше 90% от максимального значения) и зону непрозрачности (амплитуда меньше 10% от максимальной).

Умножьте поэлементно отсчёты частотной характеристики фильтра на отсчёты ДПФ сигнала и вычислите обратное ДПФ. Совпадает ли результат с тем, который получается при использовании обычной свёртки? Для ответа на вопрос найдите разность между двумя сигналами и выведите её на график. Объясните результат.

**3.5.5** На вход системы подается изображение с шумом (взять картинку из интернета и добавить шум). Используя системный подход, решить проблему устранения шума (исследовать результат применения различных подходов устранения шума и выбрать наилучший для рассматриваемого примера).