

## МЕТОДИКА ИЗЛОЖЕНИЯ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ САУ

ДЕРЕВЯНЧУК Наталия Владимировна

кандидат технических наук, доцент

Пензенский филиал Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала  
армии А.В. Хрулёва  
г. Пенза, Россия

*Данная работа посвящена методике изложения принципов построения дискретных САУ. Приведена классификация по некоторым признакам дискретных САУ, виды импульсной модуляции, определения. Рассмотрена методика изложения принципов построения дискретных САУ.*

**Ключевые слова:** методика, система автоматического управления (САУ), дискретная САУ, импульсный элемент, амплитудно-импульсная модуляция, широтно-импульсная модуляция.

Методика изложения принципов построения дискретных САУ, при этом вводя определения и понятия дискретных САУ, при выделении на эту тему одной – двух лекций – задача непростая. На практике приходится сталкиваться с тем, что обучающиеся либо знают немного по теме, либо путаются в определениях из-за огромного количества понятий и определений. С целью преодоления этих последствий небольшого количества часов на эту тему автор попытался в статье методично изложить материал, который позволил бы иметь общие понятия о дискретных системах.

В случае, когда в системах автоматического управления передача, обработка и преобразование информации осуществляются только в определенные моменты времени, то есть дискретно, в системах действуют сигналы, являющиеся некоторой последовательностью импульсов, и такие системы называются дискретными. Причинами создания дискретных систем стало, *во-первых*, то обстоятельство, когда необходимо было описать принцип действия устройств, выдающих информацию дискретно, например импульсная радиолокационная станция (РЛС), которая измеряет координаты цели и ракеты, выдает информацию дискретно с частотой следования импульсов станции, поэтому и вся система управления является дискретной; цифровая вычислительная система (ЦВМ) тоже будет являться дискретным устройством, *во-вторых*, реализовать сложные алгоритмы управления (например, в виде программы, сложность которой не влияет на конструкцию системы, и замена программы, то есть

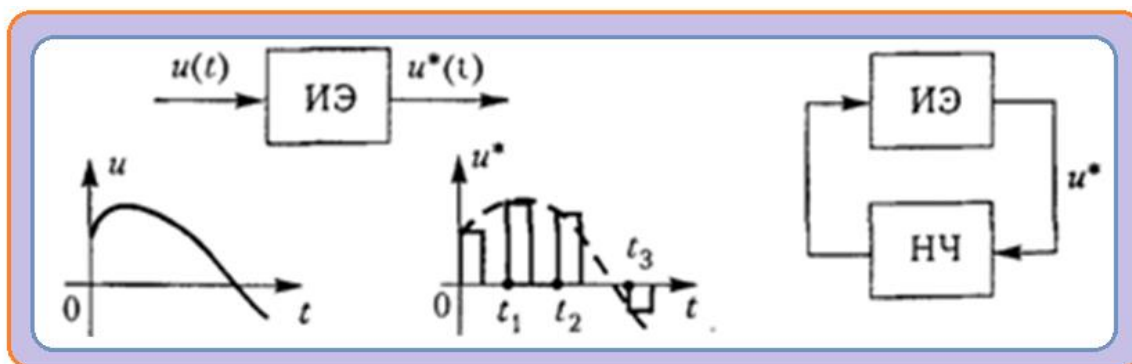
алгоритма управления, не требует больших затрат времени) в дискретных системах проще. (В непрерывных САУ повышение сложности алгоритма управления потребует включения в состав системы новых элементов, а замена алгоритма связана с усложнением конструкции); *в-третьих*, рассмотрим точность решения алгоритмов управления с помощью дискретных устройств. Дискретная обработка информации за счет импульсного характера сигналов приводит к ее потере, так как на интервалах, где импульсы отсутствуют, полезная информация не используется. Поэтому, если для решения одного и того же алгоритма использовать дискретные и непрерывные устройства, то точность последних в идеальном случае будет выше. За счет потери части информации дискретные устройства обладают методической погрешностью, то есть такой, которая зависит от метода обработки. Но вместе с этим и дискретные, и непрерывные устройства имеют другие погрешности – инструментальные, зависящие от неточностей изготовления отдельных элементов, нестабильностей параметров, внутренних шумов и помех. И инструментальные погрешности непрерывных устройств значительно больше, чем устройств дискретных, и растут с усложнением алгоритма обработки. В итоге суммарная погрешность дискретных устройств оказывается меньше инструментальной погрешности непрерывных, поэтому можно говорить о более высокой точности работы дискретных систем. Эти преимущества привели к широкому использованию дискретных систем, особенно систем с ЦВМ.

Дискретные системы автоматического управления можно классифицировать по различным признакам. В зависимости от характера задающего воздействия дискретные САУ можно подразделить на: системы *стабилизации*, предназначенные для поддержания заданного значения выходной координаты, определяемого постоянным задающим воздействием; системы *программного управления*, воспроизводящие задающее воздействие, закон изменения которого во времени заранее известен, и *следящие системы* – их задающее воздействие представляет собой неизвестную функцию времени. По принципу управления различают *разомкнутые, замкнутые и комбинированные* дискретные системы управления, когда для целей управления наряду со значениями выходных координат используют измеренные значения задающих и возмущающих воздействий. В зависимости от применимости к ним принципа суперпозиции – *линейные и нелинейные. Импульсные и цифровые*, имеющих одно или несколько звеньев, сигналы на выходе кото-

рых дискретны. Дискретные системы автоматического управления различают *по виду квантования и модуляции сигналов*.

*Линейной импульсной системой* называется такая система автоматического управления, которая кроме звеньев, описываемых линейными дифференциальными уравнениями, содержит импульсный элемент, преобразующий непрерывное входное воздействие в последовательность импульсов (рисунок 1а).

Любую импульсную систему можно представить в виде соединения импульсного элемента (ИЭ) и непрерывной части системы (НЧ) (рисунок 1б). ИЭ может быть включен на входе или выходе НЧ системы, либо между непрерывными частями системы. В замкнутой импульсной системе ИЭ находится внутри замкнутого контура в составе прямой цепи или цепи обратной связи. Основное *отличие импульсной САУ от непрерывной* состоит в том, что в ней сигнал рассогласования вырабатывается и подается на непрерывную часть в дискретные моменты времени (в эти моменты система работает как замкнутая).



(а)

(б)

Рисунок 1. Импульсный элемент (ИЭ), преобразующий непрерывное входное воздействие в последовательность импульсов (а); соединения ИЭ и НЧ (б)

Непрерывная часть дискретных САУ реагирует на воздействия только в определенные дискретные моменты времени. Эти воздействия можно представить в виде функций дискретного аргумента или так называемыми ре-

шетчатыми функциями, т.е. функциями, значение которых фиксируется только при дискретных равноотстоящих друг от друга (на период) значениях аргумента. Между этими значениями функция равна нулю (рисунок 2).

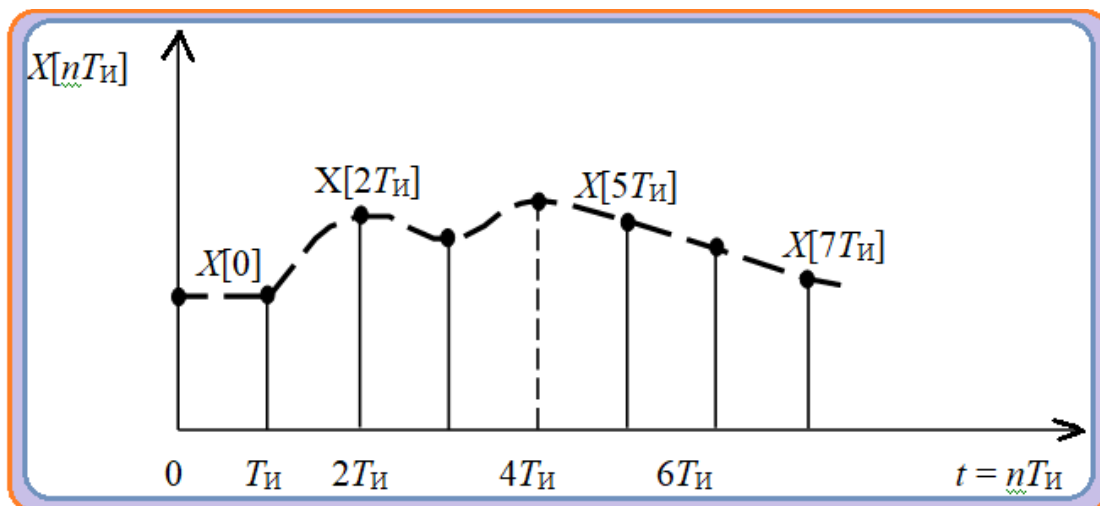


Рисунок 2. Решетчатая функция

Решетчатую функцию будем обозначать символом  $X[nT_n]$ , где  $T_n$  – положительная величина, определяющая расстояние между соседними дискретными значениями независимой переменной  $t$ , а  $n$  – любое целое число ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ). Решетчатая функция  $X[nT_n]$ , может быть получена из соответствующей непрерывной функции  $x(t)$  путем замены аргумента  $t$  на  $nT_n$ . Например  $X(t) = e^{at} \Rightarrow X[nT_n] = e^{anT_n}$ . Поэтому аналитические выражения  $X[nT_n]$ , как функции  $nT_n$  являются общим членом этих последовательностей.

**Цифровой системой** называется система автоматического управления, в состав управляющего устройства которой включена цифровая вычислительная машина (рисунок 3) для

обработки информации или контроля состояния элементов. Цифровые САУ всегда нелинейны. В цифровых САУ цифровые вычислительные устройства (ЦВУ) могут выполнять функции задающего измерительного и управляющего устройств. Применение ЦВУ в качестве элемента САУ вносит в систему дискретность так как выходные данные ЦВУ дискретны. Каждое следующее число возникает спустя интервалы времени  $T_n$ , необходимые для вычисления очередного значения выходной величины. Непрерывный сигнал, поступающий на вход ЦВУ, должен быть преобразован в дискретный сигнал и далее в цифровой код, а выходные дискретные величины ЦВУ часто требуется преобразовывать в непрерывные.



Рисунок 3. Преобразование информации в цифровой САУ

Рассмотрим более подробно понятие импульсных систем. Итак, импульсными называются

САУ, в которых действуют как непрерывные, так и импульсно-модулированные сигналы. Устройство, преобразующее непрерывную входную величину в дискретную, т. е. в последовательность импульсов, называется импульсным элементом, а сам процесс преобразования – импульсной модуляцией. Другими словами, информация о значениях дискретного процесса передается с помощью импульсных сигналов путем модуляции их параметров. При импульсной модуляции изменяются параметры периодической последовательности импульсов (обычно прямоугольных) – амплитуда, длительность, частота повторения (частота следования). Изменяя в процессе модуляции любой из этих параметров (рисунок 4), где амплитуда импульсов  $A$ ; длительность импульса  $h$ ; период повторения импульсов  $T$ ), можно получить соответствующие виды импульсной модуляции.



Рисунок 3. Преобразование информации в цифровой САУ

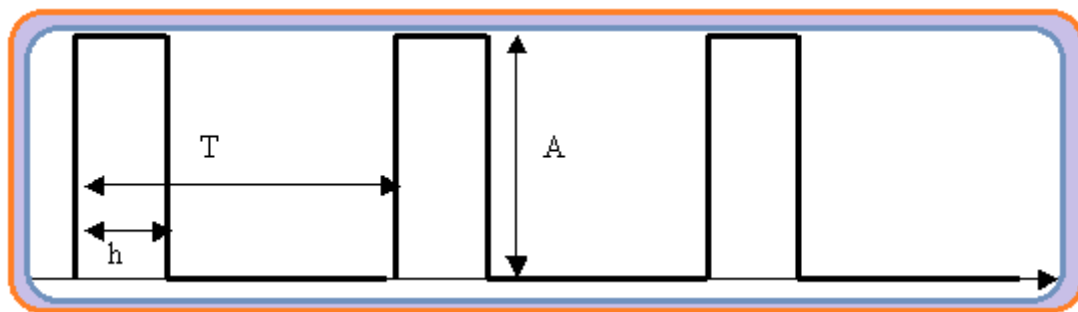


Рисунок 4. Немодулированная последовательность импульсов

При **амплитудно-импульсной модуляции** (АИМ) изменяется амплитуда импульсов. Различают амплитудно-импульсную модуляцию двух видов – АИМ-1 и АИМ-2. Фактически эти подвиды различаются формой дискретизирующего аналогового сигнала

импульсов. При АИМ – 1 огибающая дискретизирующих импульсов повторяет форму огибающей аналогового сигнала, а при АИМ – 2 дискретизацию осуществляют прямоугольными импульсами, как показано на рисунке 5 [1].

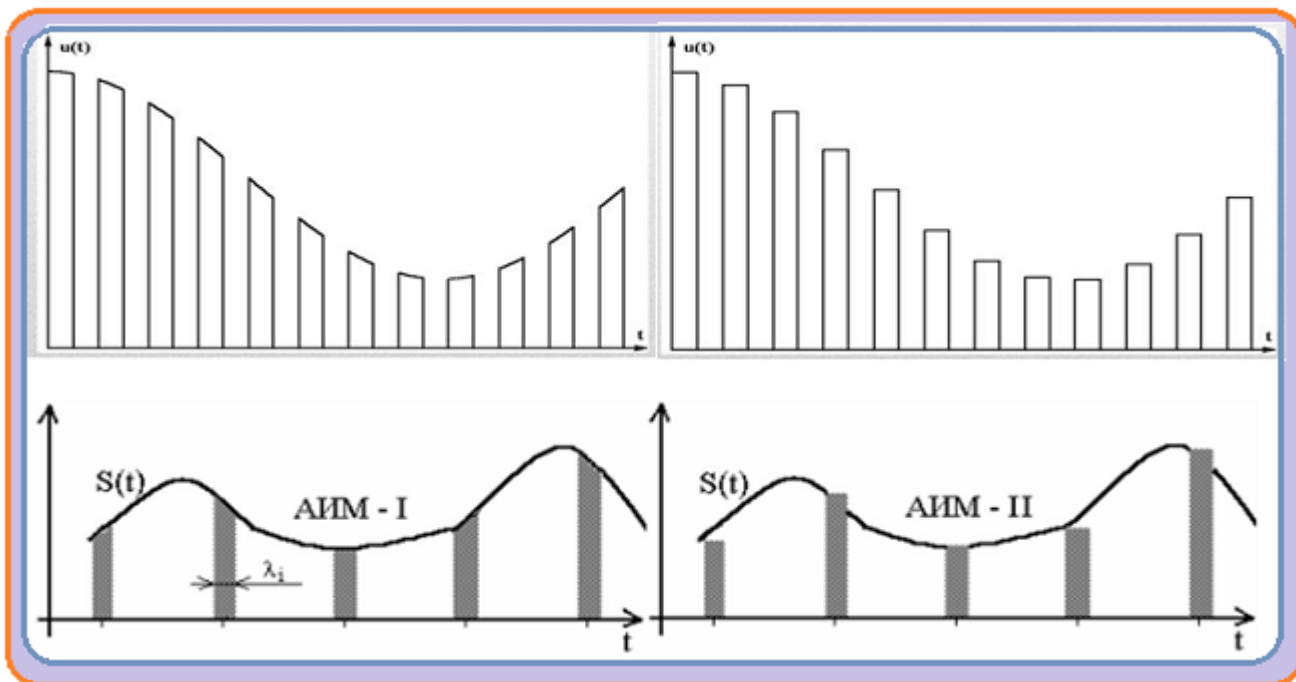


Рисунок 5. Амплитудно-импульсная модуляция

При модуляции импульсов по длительности (ДИМ) изменяется длительность импульсов. Различают одностороннюю и двустороннюю ДИМ. При односторонней ДИМ изменение длительности импульса происходит за счет перемещения одного из фронтов импульса, а при двусторонней – за счет перемещения обоих

фронтов. **Модуляция по длительности импульсов** (ДИМ) иногда называется **широкоимпульсной модуляцией** (ШИМ). При широкоимпульсной модуляции с изменением входной величины изменяется длительность (ширина) импульсов, а их амплитуда и период дискретности остаются неизменными (рисунок 6).

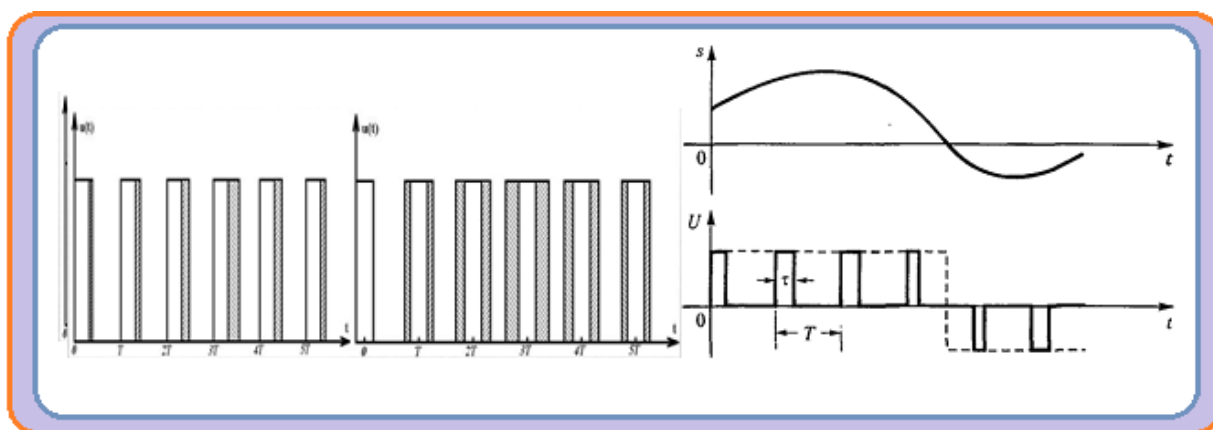


Рисунок 6. Широкоимпульсная модуляция

При временной импульсной модуляции (ВИМ) изменяются временные положения импульсов относительно их положений в немодулированной последовательности, определяемых так называемыми тактовыми точками. Временная импульсная модуляция разделяется

на фазово-импульсную (ФИМ) и частотно-импульсную (ЧИМ). Разница между ними такая же, как между обычными фазовой и частотной модуляциями: при ФИМ по закону передаваемого (модулирующего) сигнала изменяется временной сдвиг импульсов относи-

тельно тактовых точек (фаза импульса), а при ЧИМ – частота следования импульсов.

Итак, в зависимости от того, какой параметр модулируется первичным сигналом  $s(t)$ , различают: амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ), когда по закону передаваемого сигнала изменяется амплитуда импульсов; широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), когда изменяется ширина импульсов частот-

но-импульсную модуляцию (ЧИМ) – изменяется частота следования импульсов; фазо-импульсную модуляцию (ФИМ) – изменяется фаза импульсов, т. е. временное положение относительно тактовых точек.

Электрический сигнал треугольной формы ( $x(t)$ ) и модулированные этим сигналом по амплитуде ( $AM(t)$ ), частоте ( $CM(t)$ ), и начальной фазе ( $FM(t)$ ) колебания приведен на рисунке 7.

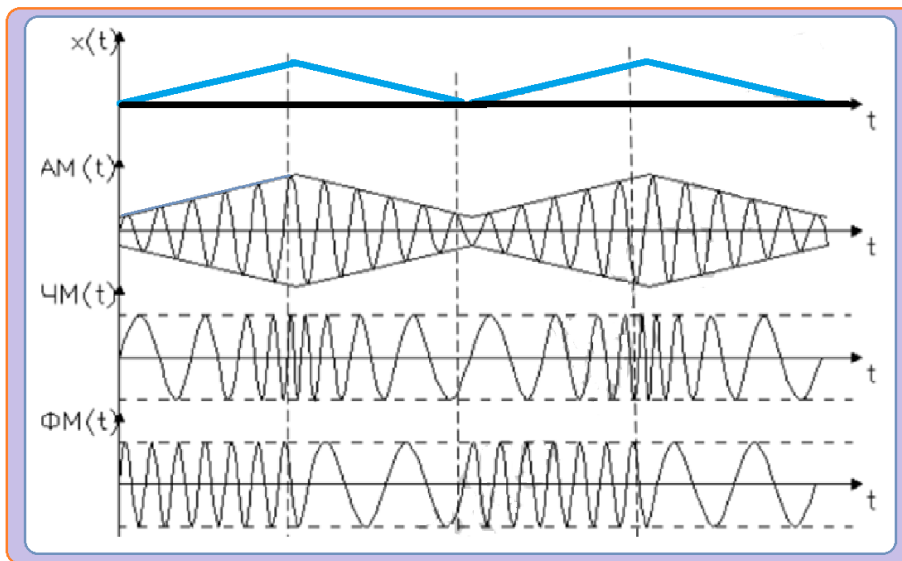


Рисунок 7. Электрический сигнал треугольной формы ( $x(t)$ ) и модулированные этим сигналом по амплитуде ( $AM(t)$ ), частоте ( $CM(t)$ ), и начальной фазе ( $FM(t)$ ) колебания

На рисунке 8 представлены виды импульсной модуляции.

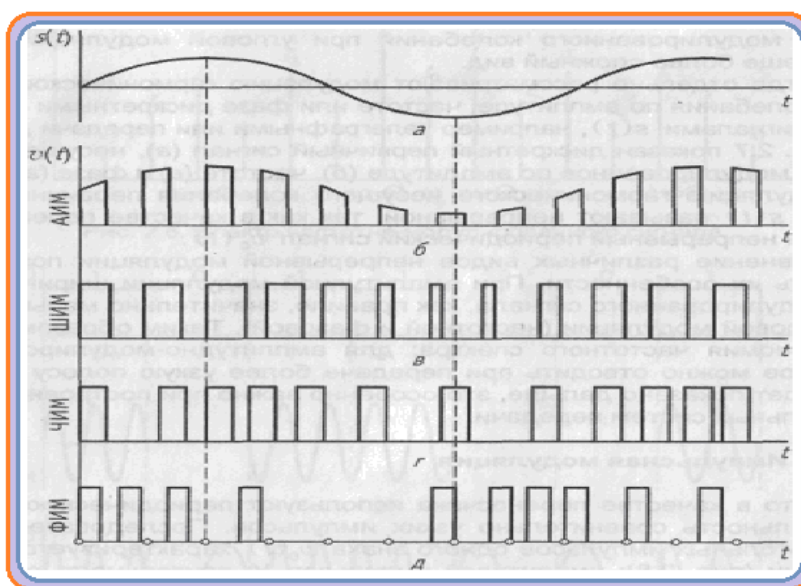


Рисунок 8. Виды импульсной модуляции



Совместно с модуляцией сигнала применяют и другие способы изменения сигнала – дискретизацию и квантование. Квантование и модуляция – это два разных процесса, которые используются для преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Модуляция – это метод преобразования аналоговых сигналов в цифровые путём дискретизации сигнала через регулярные промежутки времени. Квантование – это процесс преобразования числовых значений в дискретные уровни для уменьшения объёма данных, необходимых для представления сигнала. В ходе квантования каждому отсчёту дискретного сигнала ставится в соответствие ближайший уровень квантования.

Существует три вида квантования: по времени (рисунок 9а), по уровню (рисунок 9б) и по времени и уровню одновременно (рисунок 9в). При квантовании по времени исходная непрерывная функция  $x(t)$  преобразуется в последовательность дискретных значений  $x(t_i)$ , где  $t_i$  – это дискретные моменты времени на временной оси. Расстояние между значениями  $t_i$  может быть произвольным, однако на практике чаще всего имеет место случай периодического квантования с постоянным периодом повторения  $T_n$ , показанный на рисунке 9а. При этом  $t_i = iT_n$ , где число  $i$  может принимать все целые значения от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Квантование непрерывного сигнала можно получить, пропуская непрерывный сигнал через ключ, который периодически с определённым тактом квантования замыкается на определенное время. В дискретных САУ этот элемент называют импульсным элементом. Информация между периодами квантования теряется. Так как в качестве квантователя непрерывного сигнала в дискретных САУ исполь-

зуется импульсный элемент, дискретные системы называют импульсными САУ.

При квантовании по уровню вся область возможных  $x$  разбивается на отдельные дискретные уровни и дискретный процесс может принимать только те значения, которые совпадают с выбранными уровнями. На рисунке 9б показано квантование по уровню процесса  $x(t)$  в случае постоянного шага квантования  $\Delta$ . Так как в качестве квантователя непрерывного сигнала  $x(t)$  используется релейный элемент, то дискретные САУ называются релейными. Такой класс дискретных систем относят к классу нелинейных САУ, а для анализа и синтеза релейных систем используют теорию анализа нелинейных систем.

Комбинированный случай квантования по времени и уровню при постоянном периоде  $T_n$  и шаге  $\Delta$  показан на рисунке 9в. В данном случае в дискретные моменты времени выбираются значения непрерывной функции  $x(t)$  и в дальнейшем они фиксируются на ближайшем уровне. Квантование осуществляется кодоимпульсным модулятором или аналого-цифровым преобразователем (АЦП), встроенным в ЦЭВМ. Поэтому дискретные САУ такого класса называются цифровыми.

Квантование по уровню вводит в цифровую систему нелинейность, но при разрядности АЦП – 32 и более различия между сигналами на рядом лежащих уровнях являются несущественными. Поэтому квантованием по уровню можно пренебречь. Кроме того, импульсные САУ и цифровые объединяются одним признаком – квантование по времени, которое осуществляется импульсным элементом. Таким образом, для анализа и синтеза цифровых систем можно применить теорию импульсных САУ.

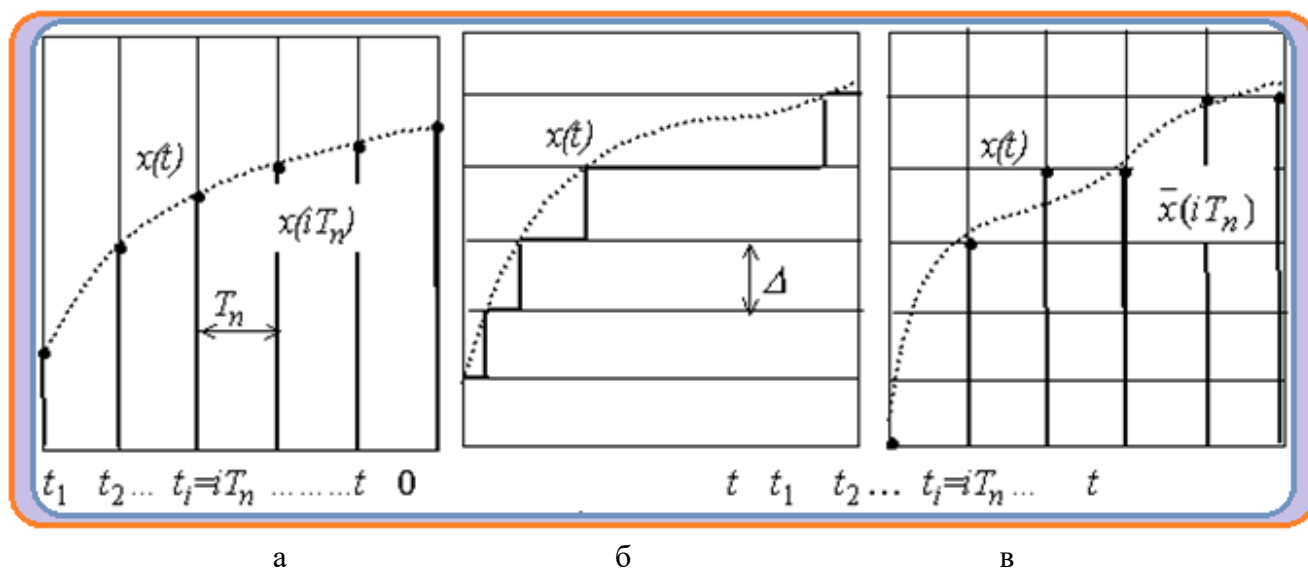


Рисунок 9. Квантование сигналов по времени (а), уровню (б), по времени и по уровню (в)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полушин П.А., Самойлов А.Г., Самойлов С.А. Импульсные виды модуляции: учеб. пособие. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2004. – 91 с.

## METHODOLOGY OF PRESENTATION OF THE PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF DISCRETE ACS

**DEREVYANCHUK Natalia Vladimirovna**

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor  
 Penza Branch of Military Academy of Material and Technical Support  
 named after Army General A.V. Khrulev  
 Penza, Russia

*This work is devoted to the methodology of presenting the principles of building specific self-propelled guns. The classification according to some features of discrete ACS, types of pulse modulation, definitions is given. The method of presentation of the principles of construction of discrete ACS is considered.*

**Keywords:** methodology, automatic control system (ACS), discrete ACS, pulse element, pulse amplitude modulation, pulse width modulation.