

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,  
МОЛОДЁЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ  
ЗАВЕДЕНИЕ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра геофизических методов разведки

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к лабораторной работе  
«ДИСКРЕТИЗАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ»**

**по дисциплине  
“Геофизические методы исследований”**

для студентов направления 6.040103 – ГЕОЛОГИЯ

**Днепропетровск  
2012**

Методические указания к лабораторной работе “Дискретизация аналоговых сигналов” по дисциплине “Геофизические методы исследований” для студентов направления 6.040103 – ГЕОЛОГИЯ / Сост. В.П. Солдатенко.– Днепропетровск: НГУ, 2012. – 8 с.

Составитель В.П. Солдатенко, кандидат геол.-мин. наук, доцент

Ответственный за выпуск заведующий кафедрой геофизических методов разведки доцент, доктор геологических наук Довбнич М.М.

**Цель работы:** освоение принципов дискретизации аналоговых сигналов.

**Сигналы аналоговые и дискретные.** Большинство геофизических наблюдений связано с измерением и анализом сигналов, которые выражают изменение некоторой измеряемой величины в функции расстояния или времени. Этой величиной может быть, например, напряженность гравитационного или магнитного поля Земли вдоль линии профиля, проходящего над геологической структурой; или это может быть смещение земной поверхности в функции времени, связанное с прохождением сейсмических волн от произведенного поблизости взрыва (рис. 1.1). Анализ такого рода сигналов составляет основную цель обработки и интерпретации геофизических данных.

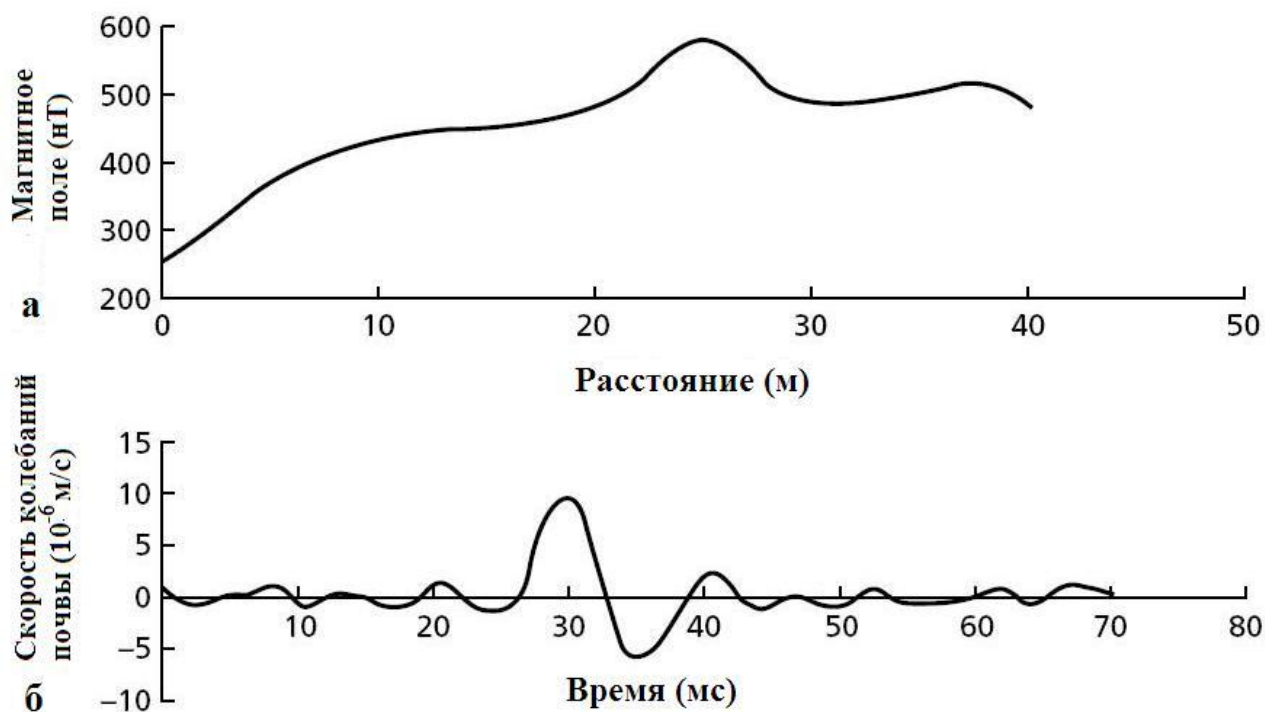


Рисунок 1.1 - Типичные графики: изменения магнитного поля вдоль профиля (а), вертикальной составляющей скорости колебаний грунта (б)

В настоящей работе сигналы считаются функциями времени, но все рассмотренные принципы обработки применимы равным образом и к функциям расстояний.

Представляющие геофизический интерес сигналы обычно являются непрерывными (аналоговыми) функциями времени или расстояния. Объем информации и в некоторых случаях сложность обработки, которой подвергаются сигналы, таковы, что обработка может быть эффективно и экономично выполнена только с помощью компьютеров. Поэтому данные требуется представить в цифровом виде для их ввода в компьютер независимо от того, в какой форме они были зарегистрированы первоначально.

Чтобы непрерывную гладкую функцию времени или расстояния представить в цифровом виде, нужно взять ее отсчеты с фиксированным интервалом времени и записать мгновенные значения функции в каждой точке отсчета. Таким образом, аналоговую функцию времени  $f(t)$ , показанную на рисунке 1.2,а, можно представить в цифровом виде как функцию  $g(t)$ , показанную на рисунке 1.2,б, где непрерывная функция заменена набором дискретных значений, разделенных фиксированным интервалом времени  $\tau$ .

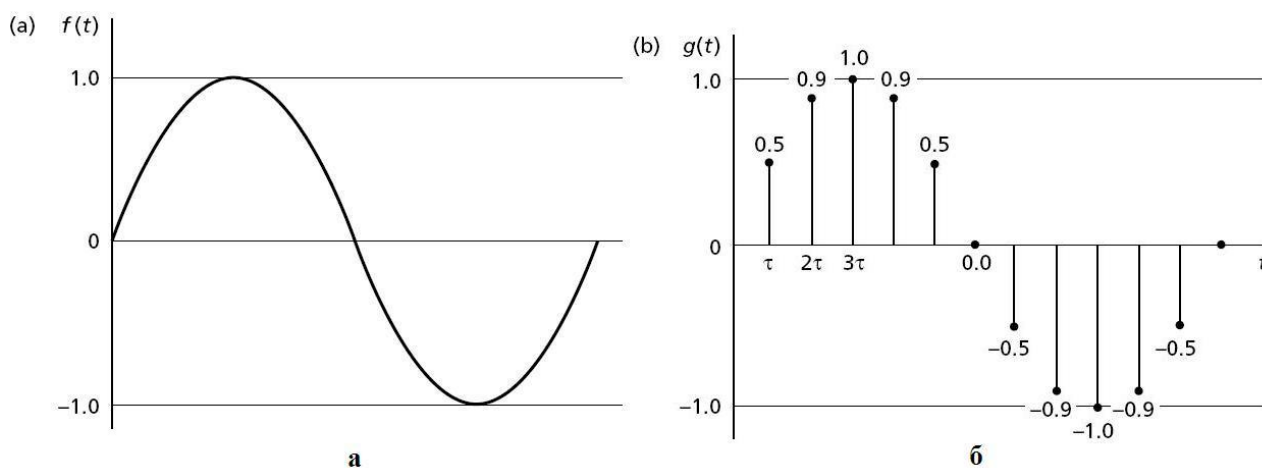


Рисунок 1.2 – Аналоговое представление синусоидальной функции (а); цифровое представление той же функции (б)

Дискретизирующая система характеризуется двумя основными параметрами – точностью взятия отсчетов (динамический диапазон) и частотой дискретизации.

**Динамический диапазон** определяется отношением наибольшей измеряемой амплитуды  $A_{max}$  к наименьшей измеряемой амплитуде  $A_{min}$  дискретизируемой функции. Чем больше динамический диапазон, тем более

надежно изменения амплитуд аналогового колебания будут отображены в его цифровой записи. Динамический диапазон обычно выражают по шкале *децибел* (дБ), используемой для определения отношений электрических напряжений: отношение двух значений напряжения  $P_1$  и  $P_2$  задается как  $10\lg(P_1/P_2)$  дБ. Поскольку электрическое напряжение пропорционально квадрату *амплитуды сигнала*  $A$ , то  $10\lg(P_1/P_2) = 10\lg(A_1/A_2)^2 = 20\lg(A_1/A_2)$ . Таким образом, если, например, дискретизирующая система измеряет амплитуды в диапазоне от 1 до 1024 единиц, то динамический диапазон определяется как  $20\lg(A_{max}/A_{min}) = 20\lg(1024) \approx 60$  дБ.

В цифровых обрабатывающих системах и устройствах (в частности – компьютерах) для удобства манипулирования с числами дискретные отсчеты выражаются в двоичной форме (т.е. их представляют в виде последовательности отсчетов, которые принимают значения либо 0, либо 1). Каждый двоичный отсчет носит название *бит*, а последовательность битов, составляющих значение отсчета, называется *словом*. Динамический диапазон дискретизируемого колебания определяется числом битов в каждом слове. Например, динамический диапазон в 60 дБ требует 10-битных слов, поскольку соответствующее отношение амплитуд  $1024(=2^{10})$  выражается как 1 000 000 в двоичной форме. Динамический диапазон в 84 дБ соответствует отношению амплитуд  $2^{14}$  и, следовательно, требует взятия отсчетов с помощью 14-битных слов. Таким образом, увеличение числа битов в каждом слове в дискретизирующей системе повышает динамический диапазон дискретной функции.

На первый взгляд может показаться, что представление непрерывной функции в виде дискретных отсчетов неизбежно ведет к потере информации в дискретной функции, поскольку последняя определяется только дискретными значениями в ряде отдельных точек. В действительности существенной потери информации не происходит, если частота дискретизации по крайней мере вдвое выше, чем у самой высокочастотной компоненты, присутствующей в дискретизируемой функции.

**Частота дискретизации** – это число точек, в которых берутся отсчеты, в единице времени или на единице расстояния. Например, если отсчеты берутся каждые  $2 \text{ мс} = 2 \times 10^{-3} \text{ с}$  (интервал дискретизации  $\Delta t$ ), то частота дискретизации ( $\Delta f$ ) составляет 500 отсчетов в секунду (или 500 Гц). Дискретизация, проводимая с такой скоростью, сохраняет все частоты в кодируемом сигнале вплоть до 250 Гц. Эта частота, соответствующая половине частоты дискретизации, называется *частотой Найквиста*  $f_N$ , а частотный диапазон от нуля до  $f_N$  составляет *интервал Найквиста*. Имеем

$$f_N = 1 / (2 \Delta t),$$

где  $\Delta t$  – интервал дискретизации.

Если в дискретизируемой функции присутствуют частоты выше частоты Найквиста, возникает существенная форма искажений, называемая наложением зеркальных частот, при которой более высокочастотные компоненты отображаются снова в интервал Найквиста. Рассмотрим пример, изображенный на рисунке 3.1, когда синусоидальная волна дискретизируется с различной частотой кодирования. В случае более высокой частоты дискретизации (рисунок 3.1,а) сигнал воспроизводится точно, а при более низком ее значении (рисунок 3.1,б) в нем появляется фиктивная частота, в пределах интервала Найквиста. Связь между частотами на входе и выходе дискретизирующей системы в случае частоты дискретизации 500 Гц показана на рисунке 3.1,в. Очевидно, что входная частота, например 125 Гц сохраняется в выходном сигнале, а частота 625 Гц входного сигнала обращается в выходном сигнале в те же 125 Гц.

Что бы разрешить проблему наложения зеркальных частот, нужно либо выбирать частоту дискретизации по крайней мере вдвое выше самой высокой частоты, присутствующей в кодируемом сигнале, либо выполнить специальную фильтрацию зеркальных частот до дискретизации сигнала.

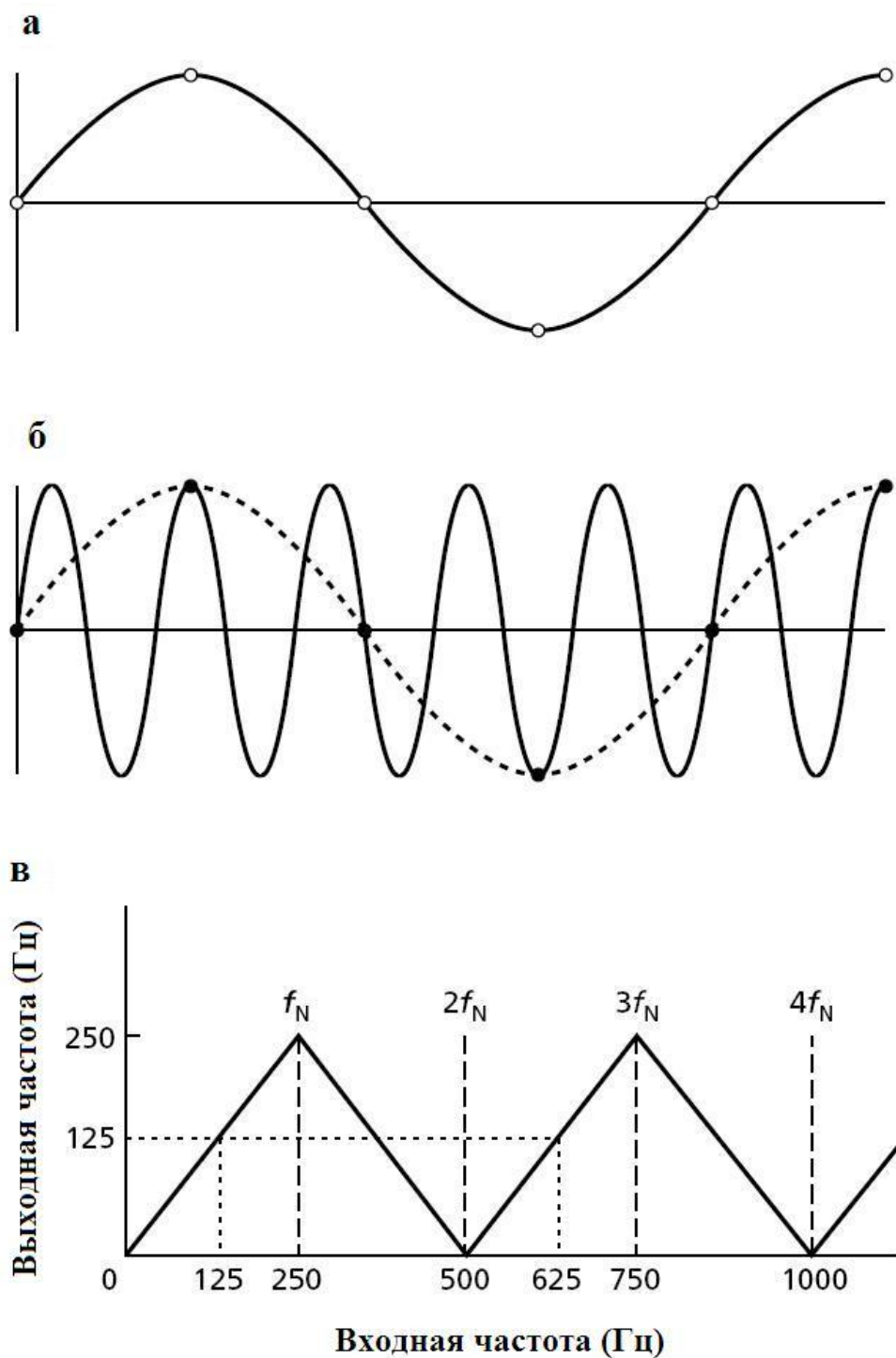


Рисунок 3.1 – Частота синусоидального сигнала меньше, чем частота Найквиста (а); частота синусоидального сигнала больше частоты Найквиста дает фиктивную частоту, порожденную эффектом зеркальных частот (б); соотношение между частотами на входе и выходе системы при частоте дискретизации 500 Гц (частота Найквиста  $f_N=500$  Гц)

*Порядок выполнения работы.*

1. Для заданного графически варианта сигнала определить необходимый динамический диапазон дискретизации. В качестве наименьшей измеряемой амплитуды принять значение, равное вдвое меньшей величине, чем наименьшая разность значений функции в двух соседних экстремумах разного знака.

2. Определить по графику наименьший видимый период функции ( $T_{min}$ ) и по нему вычислить наименьшую видимую частоту ( $f_{min}=1/T_{min}$ ).

3. Определить частоту Найквиста и соответствующий интервал дискретизации.

4. Выполнить графически дискретизацию функции с полученными параметрами  $\Delta t$  и  $f_N$ . (вынести на график точки мгновенных значений функции и представить результат в виде таблицы).

*Указание.* При выборе интервалов дискретизации по амплитуде и по времени следует иметь ввиду, что общепринятыми являются значения  $5 \times 10^n$ ,  $2 \times 10^n$  и  $1 \times 10^n$  (... 500, 200, 100, 50, 20, 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01 ... и т.д.).

**Пример выполнения задания.** На рисунке 4.1 изображен график сигнала, который требуется дискретизировать.

1. Максимальная амплитуда (набольший размах) составляет около 1.5. Наименьшая амплитуда может быть определена по точкам  $a$  и  $b$ , составляет около 0.18. С учетом общепринятых округленных значений и согласно требованию «наименьшая измеряемая амплитуда равна около половины разности значений функции в двух соседних экстремумах разного знака», получаем  $A_{max} = 2$ ,  $A_{min} = 0.05$ . Динамический диапазон составляет  $20 \lg(2/0.05) \approx 11$  дБ.

2. Наименьший видимый период  $T_{min}$  можно определить по точкам  $c$  и  $d$ . Он составляет около 0.2 с. Соответствующая частота  $f_{min}=1/0.2=5$  Гц.

3. Частота Найквиста составит 10 Гц. Шаг дискретизации по времени  $\Delta t=0.10$  с.



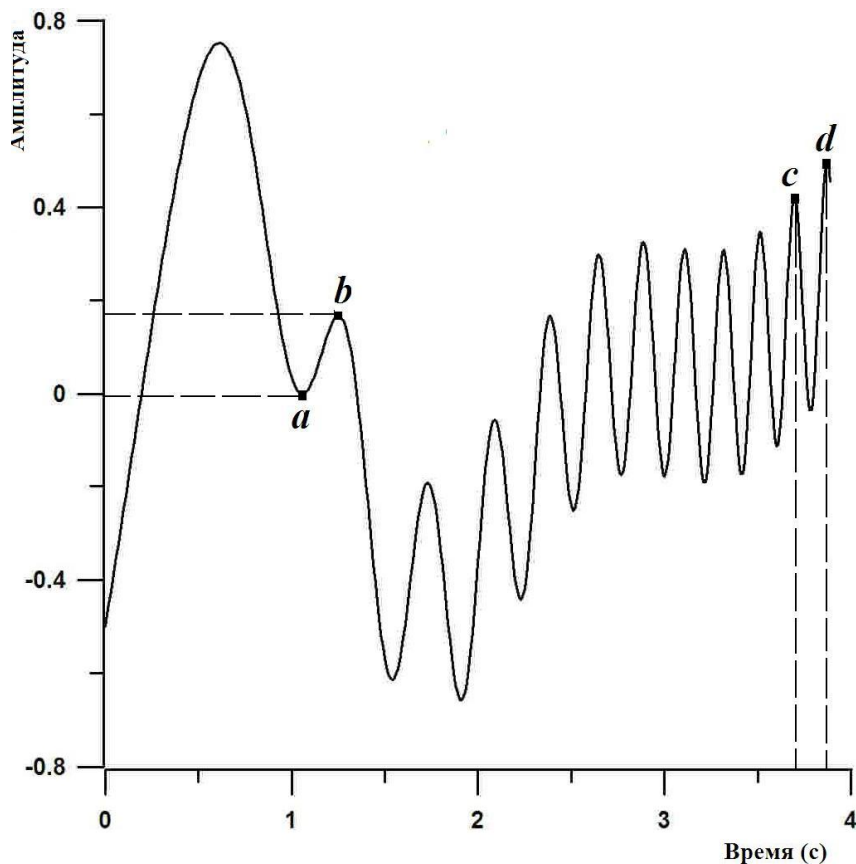


Рисунок 4.1 – Исходный сигнал

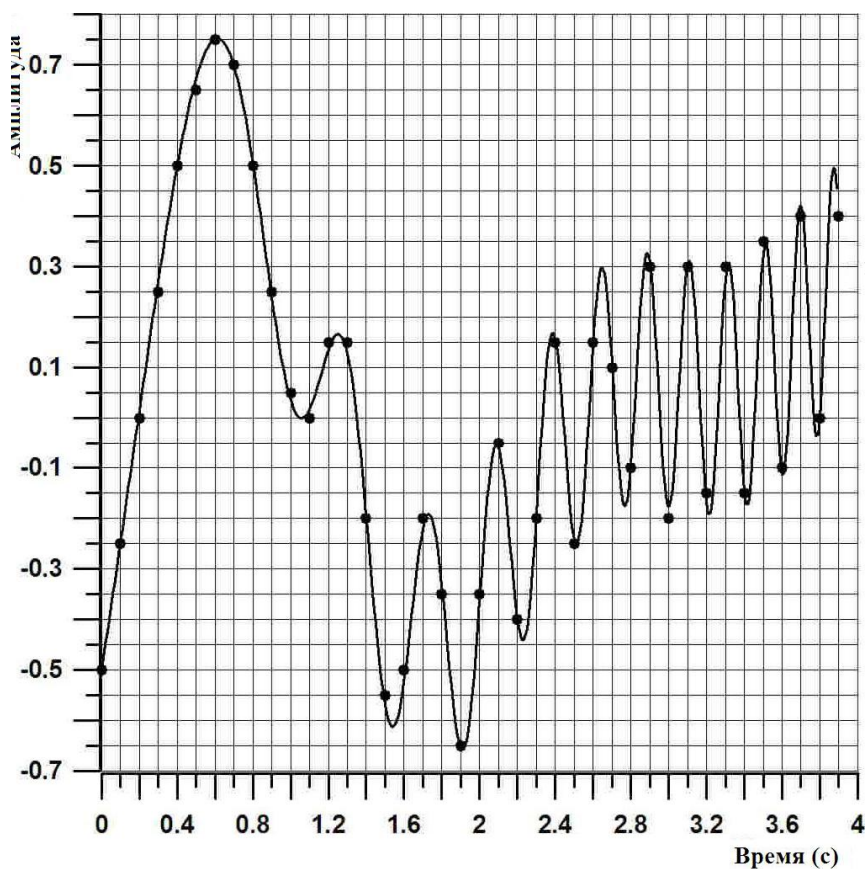


Рисунок 5.1 – Результаты дискретизации

Таблица  
Результаты дискретизации  
сигнала

время	амплитуда
0.00	-0.50
0.10	-0.25
0.20	0.00
0.30	0.25
0.40	0.50
0.50	0.65
0.60	0.75
0.70	0.70
0.80	0.50
0.90	0.25
1.00	0.05
1.10	0.00
1.20	0.15
1.30	0.15
1.40	-0.20
1.50	-0.55
1.60	-0.50
1.70	-0.20
1.80	-0.35
1.90	-0.65
2.00	-0.35
2.10	-0.05
2.20	-0.40
2.30	-0.20
2.40	0.15
2.50	-0.25
2.60	0.15
2.70	0.10
2.80	-0.10
2.90	0.30
3.00	-0.20
3.10	0.30
3.20	-0.15
3.30	0.30
3.40	-0.15
3.50	0.35
3.60	-0.10
3.70	0.40
3.80	0.00
3.90	0.40

4. Для выполнения дискретизации в графическом виде удобно разбить поле рисунка координатной сеткой с интервалами, равными  $A_{min}$  по амплитуде и  $\Delta t$  по времени (рис. 5.1). С исходного графика сняты мгновенные амплитуды для моментов времени, кратных  $\Delta t = 0.05$  с, эти значения округлены в ближайшую сторону значения амплитуды, кратной 0.05, и отмечены точками. В таблице приведены результаты дискретизации в числовом виде.

***Контрольные вопросы.***

1. Почему необходимо измеряемые аналоговые сигналы подвергать дискретизации?
2. Что означает «представить аналоговую функцию в цифровом виде»?
3. Что определяет динамический диапазон?
4. В каких единицах измеряется динамический диапазон сигнала?
5. Соотношение максимальной и минимальной амплитуд сигнала 10 000; сколько бит должно содержаться в слове для записи такого сигнала?
6. Чем определяется частота дискретизации сигнала?
7. Частота дискретизации составляет 50 Гц; сигналы каких частот будут при этом сохранены без искажений?