

*Э. В. ИВАНОВСКАЯ*, канд. техн. наук, *Д. К. МИХНОВ*

### **ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАДАЧИ ОТОБРАЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ**

---

Задача отображения относительных отклонений звуковых сигналов возникает в информационно-советующих системах, перерабатывающих музыкальную информацию, в частности, для вывода информации об отклонении высоты звукового музыкального сигнала от заданного значения.

Решение этой задачи требует предварительного анализа эргономических аспектов вывода информации, так как эффективность восприятия информации человеком-оператором будет зависеть от рационального выбора методов и средств представления информации, являющихся неотъемлемой частью всего канала переработки. Вопросам отображения информации в эргатических системах посвящен ряд работ [1—4], при этом общим выводом является то, что отображение информации — сложная системотехническая проблема и ее необходимо решать на базе системного подхода. Таким образом, при проектировании специализированных средств отображения информации одновременно должны быть обеспечены:

метрологические характеристики, требуемые от средств отображения информации как оконечного звена канала переработки информации;

системотехнические характеристики, требуемые от средств отображения информации как оконечного звена подсистемы переработки информации;

эргономические требования, предъявляемые к средствам отображения информации как специфическому звену, непосредственно сопряженному с человеком-оператором [1].

Сформулируем системные требования к методам и средствам отображения информации об отклонении высоты звукового сигнала от заданного значения.

1. Метод отображения информации должен обеспечивать качественную и количественную оценку отклонения высоты звукового сигнала от заданного значения.

2. Количественная оценка отклонения высоты звукового сигнала от заданного значения должна производиться в относительных единицах-центах (комах).

3. Заданное значение высоты звукового сигнала из множества эталонных значений отклонений задается (для визуального сравнения) в виде нижнего и верхнего порога.

4. Геометрические размеры средства отображения, показатели яркости и контрастности должны соответствовать оптимальному съему информации оператором.

5. Средства отображения информации должны позволить их использование как для канала переработки информации об отклонении высоты звукового сигнала от заданного значения, так и для каналов анализа динамических характеристик.

Рассмотрим с точки зрения сформулированных системных требований известные методы и средства отображения информации об отклонении высоты звукового сигнала от заданного значения.

Известен метод отображения высоты основного тона звукового сигнала и отклонения высоты основного тона от заданного значения при помощи двух индикаторных панелей [5]. Индикаторная панель для отображения отклонения высоты основного тона звукового сигнала от заданного значения состоит из пяти одиночных индикаторов, расположенных в линию, каждый из которых соответствует определенному отклонению: средний — отклонение в норме; расположенные рядом с ним снизу и сверху — незначительное отклонение соответственно в ту или иную сторону; и крайние — большее отклонение. Такой метод отображения информации позволяет получить качественную и только приближенно количественную оценку отклонения частоты для человека-оператора, при этом внутри каждой из зон теряется информация о тенденции изменения отклонения. Кроме того, такой метод отображения информации не удовлетворяет системным требованиям по системотехническим характеристикам, так как средство отображения не может быть применено для отображения других характеристик звуковых сигналов, например динамических.

Проанализируем еще один известный метод отображения высоты основного тона звукового сигнала и отклонения высоты

основного тона от заданного значения [6]. Суть метода заключается в следующем. Индикаторное табло представляет собой несколько пар точечных индикаторов, расположенных по окружности на равных расстояниях. Электронная схема путем сравнения частот измеряемого и эталонного сигналов формирует управляющие воздействия для каждой пары точечных индикаторов. При совпадении фаз (частот) измеряемого и эталонного сигналов одна пара индикаторов, расположенных по диагонали, загорается с максимальной яркостью. При наличии отклонения частоты начинают загораться другие пары, что создает эффект вращения световых точек. Направление вращения указывает на направление отклонения, в то время как скорость их вращения — на величину отклонения. По сравнению с ранее рассмотренным, данный метод позволяет детально производить количественную оценку отклонения, однако обучающийся субъективно сопоставляет скорость вращения световых точек с величиной отклонения, что не позволяет определить объективную величину отклонения. Кроме того, такой метод отображения не позволяет задать допустимую зону отклонения и использовать средство отображения для анализа динамических характеристик, т. е. этот метод не отвечает системным требованиям.

Для отображения отклонения частоты сигнала от заданного значения широко используется метод визуального сравнения при помощи фигур Лиссажу. В качестве средства отображения в этом случае используется осциллограф, при этом количественная оценка отклонения практически невозможна, особенно для малых значений отклонений. С точки зрения системотехнических характеристик этот метод предпочтительнее предыдущего, так как на экране осциллографа могут быть отображены и графики других параметров звукового сигнала. Однако применение осциллографического индикатора в бытовых условиях эксплуатации экономически неоправдано.

В последнее время получили распространение методы отображения информации на экранах телевизионных приемников. Применение телевизионных приемников сводит задачу формирования изображения исследуемой информации к задаче синтеза сложного видеосигнала, однако на уровне современной микроэлектроники эта задача решается сравнительно малыми затратами по отношению к затратам на специальные средства отображения.

Известен метод визуального сравнения частот двух музыкальных нот (заданной и неизвестной) на экране телевизионного приемника [7]. Экран разбит на две зоны, при этом в одной из них с помощью генератора эталонных частот создается система полос, показывающая частоту одной из нот, а в другой части экрана — система движущихся полос, показывающая частоту искомой ноты. Канал кадровой развертки телевизионного приемника синхронизируется с частотой одной из нот, обеспечивая

в левой зоне неподвижную систему полос. Частота искомой ноты, наблюдаемая на другой части экрана (правой), сравнивается с неподвижной системой полос путем визуального сопоставления относительного числа, положения и движения полос по отношению к неподвижной системе. Рассмотренный метод в основном удовлетворяет системотехническим и эргономическим требованиям, однако принцип формирования изображения не позволяет выполнить количественную оценку величины отклонения.

При разработке метода вывода информации для данной задачи необходимо учесть положительные стороны проанализированных методов [5, 7], в связи с чем предлагается следующее:

разделить поле экрана на три зоны анализа, каждая из которых включает множество значений отклонений: средняя — зона допустимых отклонений, верхняя — отклонения выше нормы, нижняя — отклонения ниже нормы;

текущее значение отклонения указывать сплошной горизонтальной линией, которая может принимать любое из множества значений, соответствующее численному значению относительного отклонения, при этом положение линии в центре средней зоны соответствует совпадению неизвестной частоты с заданной, т. е. отклонение равно нулю ( $\delta=0$ ).

Ниже приведена иллюстрация предлагаемого метода формирования изображения отклонения высоты звукового сигнала от заданного значения с использованием в качестве средства отображения телевизионного экрана (рисунок).

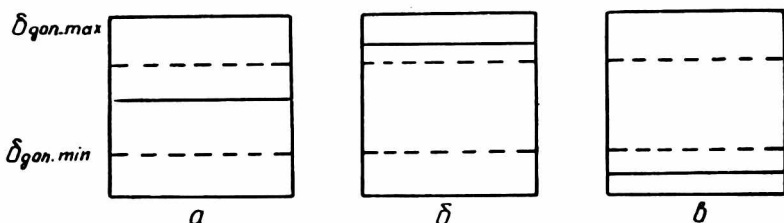
Для возможности количественной оценки величины отклонения значения отклонений в средней зоне выбираются в соответствии с критерием

$$\begin{aligned} \delta_{\text{доп. max}} &\leq \xi_1 \delta_0 \\ \delta_{\text{доп. min}} &\geq \xi_2 \delta_0 \end{aligned} \quad \forall \delta_0 = 0,36 \% f, \quad (1)$$

где  $\delta_{\text{доп}}$  — допустимые значения относительных отклонений;  $\xi_1, \xi_2$  — знаки отклонений;  $\delta_0$  — минимальное изменение высоты тона, ощущаемое человеком.

Таким образом, границы средней зоны определяют значения  $\pm\delta_0$ , что в единицах измерения отклонений составляет примерно  $\pm 6$  центов [8]. Границы верхней и нижней зоны соответствуют значениям  $\pm 12$  центов, что дает возможность обучающемуся легко оценить как качественно, так и количественно величину отклонения звукового сигнала от заданного значения. При значительном несоответствии частоты линия устанавливается в одно из крайних положений (в соответствии с направлением отклонения) и начинает мерцать. Кроме удовлетворения системным требованиям, преимуществами предложенного метода является возможность изменения величины зоны для обучающихся, имеющих различную квалификацию, а также возможность анализа изменения частоты внутри зоны.

Рассмотрим вопрос о дискретности вывода информации. Для анализа тенденции изменения отклонения разрешающая способность измерителя и средства отображения должна быть не ниже 1 комы (0,1 цента), так как профессиональные музыканты различают звуки, отличающиеся по частоте на величину менее 1 цента. Оценим возможность получения такой разрешающей способности на экране телевизионного приемника. С точки зре-



Предлагаемый метод формирования изображения отклонения высоты звукового сигнала от заданного значения:

*a* — значение частоты звукового сигнала находится в допустимой зоне по отношению к заданной частоте; *б* — значение частоты выше верхней границы допустимой зоны; *в* — значение частоты нижней границы допустимой зоны

ния синтеза сигнала телевизионного изображения на экране должна быть сформирована горизонтальная линия одинаковой яркости, имеющая возможность перемещаться по вертикали. Такая линия может быть получена путем высвечивания одной или одновременно нескольких строк телевизионного раstra.

Рассмотрим вопрос о количестве строк. Толщина линий, формирующих символ на экране, принимается равной (при белой линии на черном фоне)  $1/10$  высоты знака, размер которого определяется по известной формуле (2)

$$h \geq \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} l, \quad (2)$$

где  $l$  — расстояние до экрана;  $\beta$  — угловой размер;  $h$  — высота знака.

Для оптимального опознания знаков простой сложности рекомендуется принимать  $\beta = 18' \pm 1'$ , в этом случае для  $l = 3$  м (размер экрана 61 см по диагонали) высота знака составит  $h \approx 8$  мм, а толщина линии соответственно 0,8 мм. Для данного случая толщина строки вместе с межстрочным расстоянием составляет 0,7 мм (550 строк на 380 мм). Таким образом, задача может быть решена удвоением индуцируемой строки. Это удобно и с точки зрения аппаратурных затрат, так как позволяет не учитывать специфику сигнала при черезстрочной развертке. Таким образом, на экране может быть получено 275 знакомест.

Для более полного использования аппаратурных возможностей целесообразно принять число знакомест равным 256, т. е. на экране может быть отображено  $\pm 128$  дискретных единиц,

считая, что нулевому отклонению соответствует положение линии в центре экрана. Так, если при анализе звуковых музыкальных сигналов изменению высоты основного тона на 1 кому (0,1 цента) будет соответствовать перемещение линии на одно знакоместо, на экране можно будет отобразить отклонение  $\pm 12,8$  центов, что удовлетворяет приведенным выше соотношениям. Увеличив масштаб, можно соответственно отобразить большие отклонения.

Таким образом, предложенный метод представления величины относительного отклонения удовлетворяет сформулированным системным требованиям, что полностью подтвердилось результатами экспериментальных исследований.

**Список литературы:** 1. Поляков Л. В., Лейн В. М. Отображение измерительной информации.—Л.: Энергия, 1978.—144 с. 2. Костюк В. И., Ходаков В. Е. Системы отображения информации и инженерная психология.—К.: Вища шк. Головное изд-во, 1977.—192 с. 3. *Современные методы и устройства отображения информации* / Под ред. М. И. Кривошеева и А. Я. Брейтбарта.—М.: Радио и связь, 1981.—216 с. 4. Гуглин И. Н. Телевизионные игровые автоматы и тренажеры.—М.: Радио и связь, 1982.—272 с. 5. Пат. 4217808 (США). Устройство для определения основного тона / Д. Слепиан, Э. Велдон.—Опубл. 10.10.81. 6. Пат. 1427351. (Великобритания). Приспособление для настройки музыкальных инструментов и способ тоновой настройки / Вагон Waggen. Опубл. 12.10.73. 7. Пат. 1432286. (Великобритания). Прибор для визуального сравнения частоты звукового сигнала / Т. Винсент, Д. Кэрролл.—Опубл. 20.08.76. 8. Волошин В. И., Федорчук Л. И. Электромusикальные инструменты.—М.: Энергия, 1971.—144 с.

*Поступила в редколлегию 01.10.84.*