

*З. В. ИВАНОВСКАЯ, канд. техн. наук, Д. К. МИХНОВ***МЕТОД И УСТРОЙСТВО АДАПТАЦИИ СКОРОСТИ ВЫВОДА
ИНФОРМАЦИИ НА СРЕДСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ К ДИНАМИКЕ
ОБЪЕКТА**

Для автоматизированных информационно-управляющих систем характерна необходимость автоматического отображения результатов переработки информации в форме, приемлемой для непосредственного восприятия человеком-оператором. Критерии в эргономических решениях системы «человек — машина» выбираются, исходя из эффективности работы системы в целом. В промышленности внедрение эргономических решений дает, как правило, весьма ощутимый экономический эффект. Одной из важнейших групп критериев при оценке экономической эффективности эргономических исследований и решений являются критерии, связанные со снижением утомляемости, повышением надежности функционирования оператора, оптимизацией информационных свойств средств отображения информации и структурных реализаций. «Утомляемость — по оценке Монмоллена — имеет цену, так же как и несчастные случаи, и даже сама человеческая жизнь» [1].

С разработкой цифровых методов преобразования и представления информации о динамических параметрах (вместо существующих аналоговых преобразователей со стрелочной индикацией) появилась потребность в разработке средств отображения, отвечающих совокупности системотехнических требований. Основная трудность при комплексном проектировании средств обработки и отображения заключается в необходимости одновременного обеспечения метрологических характеристик, требуемых от них как от оконечного звена измерительного тракта, минимальной стоимости, а следовательно, и аппаратных затрат, а также выполнения эргономических требований, предъявляемых к ним как к звену, непосредственно связанному с оператором. В связи с тем, что преобразуемые динамические параметры относятся к оперативной информации, подлежащей постоянному контролю со стороны оператора (судоводителя, пилота), и используются для непосредственного управления объектом, вопросы оптимизации средств отображения преобразованной информации являются актуальными.

Рассмотрим вопросы оптимизации средств обработки и отображения динамических параметров с точки зрения эргономических требований.

Судоводителю, пилоту или оператору быстро протекающего технологического процесса приходится работать в сложных

условиях, когда надежность принятия правильного решения по управлению объектом должна быть особенно высокой. Существующие стрелочные указатели обладают рядом недостатков, присущих аналоговым приборам. Наиболее существенные из них — малый размер цифр, малый угол обзора, что ведет к снижению надежности считывания информации.

Преимущество цифровых средств обработки и отображения информации широко рассмотрено в ряде работ [2, 3 и др.]. Хорошая конфигурация цифровых символов позволяет минимизировать ошибки считывания информации оператором, а возможность синтезировать цифру различного размера позволяет увеличить дальность считывания информации. К существенным достоинствам цифровых средств отображения можно отнести большой угол обзора и бесшумность в работе. Однако цифровые методы представления информации человеку-оператору ставят ряд следующих задач с точки зрения выполнения эргономических требований: согласование скорости изменения динамического параметра и функционального преобразования, а также вывода преобразованной информации на средства отображения со скоростью приема информации человеком-оператором; устранение избыточной информации; оптимальное размещение средств отображения в зоне управления.

Рассмотрим вопрос согласования скорости вывода информации на системы отображения с динамическими свойствами преобразуемых и индицируемых параметров и возможностями приема информации человеком-оператором. Очевидно, что при выполнении условия

$$V_{\text{пр. max}} \geq V_{\text{вх. max}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{вх. max}} = \frac{\Delta x_{\text{max}}}{\tau}$ — максимальная скорость изменения входного параметра; $V_{\text{пр. max}} = \frac{\Delta y_{\text{max}}}{\tau}$ — максимальная скорость преобразования входного параметра x в выходной y за время τ , запаздывание информации отсутствует, и оператор получает значение преобразуемого динамического параметра в реальном масштабе времени.

Рассмотрим теперь эффективность представления преобразованной информации человеку-оператору. Для современных человеко-машинных динамических систем управления, к которым можно отнести суда, летательные аппараты, характерно перераспределение времени управления объектом между оператором и УВМ или системой автоматического управления в зависимости от изменения внешних условий. При этом часто оператор вынужден длительное время управлять объектом по нескольким главным параметрам, представленным на современном уровне преобразовательной техники в цифровом виде. Вопросу согласования потока информации с пропускной способностью человека-оператора посвящено много работ [1—3 и др.]. Наиболее распространенным приемом согласования является

сокращение различными способами потока информации до его поступления на средства отображения. Например, на средства отображения выводятся только вышедшие за пределы допусков параметры или отображается обобщенная характеристика процесса, заранее производится группировка параметров по требуемому в процессе управления и контроля признаку. Это позволяет сконцентрировать внимание оператора, сокращает время считывания параметра.

Однако для динамических параметров, имеющих высокую и переменную во времени скорость изменения, при цифровых методах представления в задаче согласования возникает новая сложность, связанная с возникновением противоречия между выполнением требования отображения информации без существенного запаздывания с максимальной скоростью изменения параметра и удобством вывода информации оператору на низких скоростях изменения динамических параметров.

Можно предложить следующий метод решения возникшего противоречия. Известно, что скорость вывода информации на средства отображения и скорость приема и обработки этой информации человеком-оператором связаны неравенством $V_n \leq V_{об}$. Анализ зависимости скорости приема и обработки информации оператором с индикаторного табло от частоты входных раздражителей показывает, что оптимальная скорость лежит в пределах 0,1—5,5 бод, причем максимальная скорость длительного приема информации оператором составляет примерно 8 бод. Следовательно, скорость смены информации для рассматриваемых человеко-машинных систем управления должна соответствовать условию

$$V_{см} = V_{по} \leq 8 \text{ бод.} \quad (2)$$

Анализ приведенных выше соотношений позволяет сформулировать граничные условия скорости смены цифровой информации для динамических параметров на средствах отображения

$$V_{см \max} = \begin{cases} V_{п \max} & \text{при } V_{п \max} < V_{оп \max}; \\ V_{оп \max} & \text{при } V_{п \max} > V_{оп \max}, \end{cases} \quad (3)$$

где $V_{см \max}$ — максимальная скорость смены информации на цифровом табло.

В динамических системах, как правило, скорость изменения параметра непостоянна и находится в диапазоне от нуля до априорно известного максимального значения. При наличии в системе постоянной, фиксированной скорости вывода на средства отображения информации она должна быть выбрана, исходя из верхней границы диапазона скоростей изменения параметра для выполнения условия (3), которое обеспечивает отсутствие динамической погрешности в отображаемой информации. Тогда при снижении скорости изменения отображаемого параметра в цифровом преобразователе возникают избыточные изме-

рения. Мерой количественной оценки относительной избыточности может быть выбрано известное соотношение [4]

$$K_n = \frac{H(x)_{\max} - H(x)}{H(x)_{\max}} \quad (4)$$

Здесь $H(x)$ — энтропия реального сообщения; $H(x)_{\max}$ — энтропия соответствующего ему оптимального сообщения.

Избыточность информации на низких скоростях изменения параметра приводит к явлению «мерцания» цифр при попадании значения параметра в зону с равной вероятностью появления соседних цифровых отсчетов. Мерцание появляется в младшем или нескольких разрядах цифрового табло практически с выбранной максимальной частотой смены информации. Такое мерцание цифр приводит к быстрой утомляемости оператора. Оно может быть устранено согласованием скорости смены информации на средствах отображения со скоростью изменения преобразуемого параметра.

Таким образом, скорость смены информации на табло требуется поставить в соответствие скорости изменения параметра с естественным ограничением по максимальной скорости обработки информации человеком-оператором:

$$V_{\text{см}} = \begin{cases} V_n & \text{при } V_n < V_{\text{оп max}}; \\ V_{\text{оп}} & \text{при } V_n > V_{\text{оп max}}. \end{cases} \quad (5)$$

Реализация данного соотношения возможна при постоянном контроле скорости изменения параметра, которая для цифровых преобразователей может быть вычислена как приращение входного параметра за временной интервал t :

$$V_n = \frac{\Delta x}{t}, \quad \Delta x = l, \quad l = 0, 1, \dots, n. \quad (6)$$

Для максимальной скорости нарастания параметра выражение (6) удобно представить через нарастание единицы дискретности преобразованной величины во времени, которое для данного параметра будет минимальным:

$$V_{n \text{ max}} = \frac{l}{t_{n \text{ min}}}. \quad (7)$$

Тогда частота вывода информации на цифровое табло, соответствующая указанной максимальной скорости, будет равна

$$F_{\text{выв. max}} = \frac{1}{t_{n \text{ min}}}. \quad (8)$$

Для минимальной скорости нарастания параметра частота вывода информации должна быть уменьшена на число l получаемых избыточных измерений

$$F_{\text{выв. min}} = \frac{1}{l t_{n \text{ min}}}. \quad (9)$$

Это позволит управлять частотой вывода информации на средства отображения по выражению

$$F_{\text{выв}} = \frac{F_{\text{выв. макс}}}{n - l + 1} \quad (10)$$

В случае необходимости избыточность измерений может быть использована для повышения точности преобразования. При стремлении минимальной скорости нарастания параметра к нулю число избыточных измерений стремится к бесконечности, поэтому минимальная частота вывода информации на цифровое табло может быть выбрана, исходя из анализа оптимальной зоны пропускной способности оператора, находящейся в диапазоне от 0,1 до 8 бит/с.

Вследствие дискретности измерения параметра и его приращения значения скоростей смены информации на цифровом табло целесообразно выбирать также из дискретного ряда. Количество этих скоростей зависит от диапазона изменения скоростей параметра и вероятности появления данного значения скорости. В соответствии с этим весь диапазон скоростей изменения параметра может быть разбит на поддиапазоны, количество которых определит число скоростей смены информации на табло средств отображения информации, причем для каждого поддиапазона скорость смены информации больше максимальной скорости изменения параметра. Таким образом, выражение (5) примет вид

$$V_{\text{см}} = \begin{cases} V_{n1} & \text{при } V_n \leq V_{n1}; \\ V_{n2} & \text{при } V_{n1} < V_n \leq V_{n2}; \\ \dots & \dots \\ V_{ni} & \text{при } V_{ni-1} < V_n < V_{ni}; \\ V_{\text{об макс}} & \text{при } V_n > V_{\text{об макс}}. \end{cases} \quad (11)$$

Соотношения (11) можно представить в виде графика зависимости скорости смены информации на цифровом табло от скорости изменения параметра (рис. 1).

Для динамических параметров характерно, что вероятность появления высоких скоростей изменения параметра больше вероятности появления низких скоростей нарастания параметра, конечность времени измерения приращения параметра может привести к задержке переключения скорости вывода информации на средства отображения, что, в свою очередь, приводит к запаздыванию информации. Для ликвидации запаздывания скорость смены информации на цифровом табло целесообразно увеличить по отношению к скорости изменения параметра на ΔV , что позволит компенсировать дополнительные затраты времени. Учитывая изложенное, выражение (5) можно переписать следующим образом:

$$V_{cm} = \begin{cases} V_{n1} + \Delta V & \text{при } V_n \leq V_{n1}; \\ V_{n2} + \Delta V & \text{при } V_{n1} < V_n \leq V_{n2}; \\ \dots & \dots \\ V_{ni} + \Delta V & \text{при } V_{n1-i} < V_n < V_{ni}; \\ V_{об\ max} & \text{при } V_n > V_{об\ max}. \end{cases} \quad (12)$$

Предложенный метод согласования скорости вывода информации на средства отображения и скорости изменения преобразуемого и отображаемого параметра применим как при автономном выводе динамического параметра на цифровой индикатор, так и при выводе потока информации о динамических параметрах на цифровые дисплеи любого типа (электронно-лучевые трубки, плазменные табло и другие).

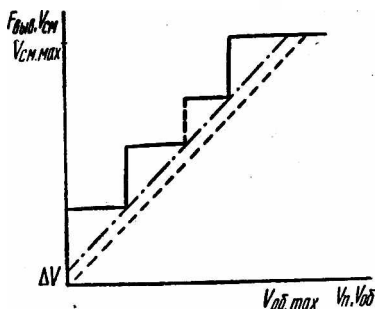


Рис. 1. График зависимости скорости смены информации на цифровом табло от скорости изменения параметра

В динамических системах скорость изменения параметров переменна, скорость преобразования и занесения параметров в регистр выбирается исходя из верхней границы диапазона скоростей изменения параметра. Тогда при низких скоростях изменения параметра за время нарастания единицы дискретности производится несколько циклов измерений. При этом если в конце каждого цикла измерения заносить результат в регистр, оператор не увидит на индикаторном табло изменения численного значения. Лабораторные испытания такого метода вывода информации на средства отображения не проявили его отрицательную сторону. Испытания на объекте показали, что при низких скоростях изменения параметра, вплоть до остановки и изменения направления возможно попадание его значения в зону с равной вероятностью появления соседних цифровых отсчетов, что вызывает мерцание цифр в младшем или одновременно во всех разрядах индикаторного табло, практически с выбранной максимальной частотой занесения, например такие:

32,3

32,4 (мерцание в десятых долях),

299,9

300,0 (мерцание во всех разрядах),

причем параметр может оставаться на этом значении некоторое время, что быстро утомляет оператора. Экстраполируя предложенные примеры для многопараметрических дисплеев, отображающих динамические параметры, можно предположить, что

утомляемость оператора возрастает пропорционально количеству индицируемых динамических параметров с перечисленными свойствами.

Рассмотрим алгоритм адаптации скорости вывода информации на индикаторное табло к скорости изменения параметра. Имеется множество Φ отсчетов $\varphi_i \in \Phi$ динамического параметра, подлежащего отображению, представленных в число-импульсных и двоично-десятичных кодах. Обобщенный алгоритм про-

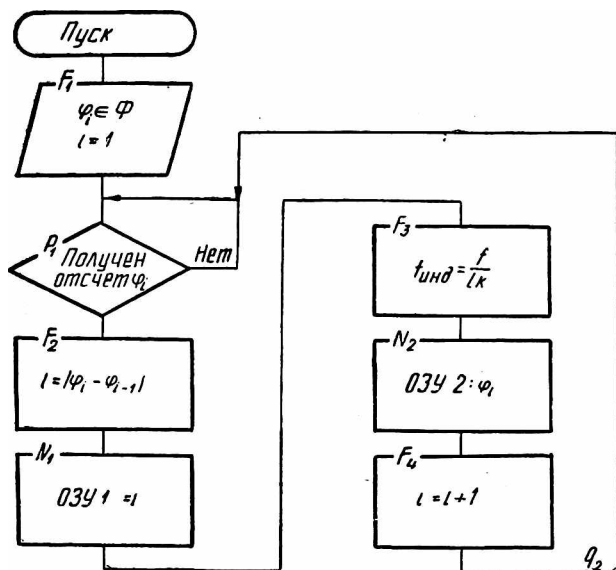


Рис. 2. Обобщенный алгоритм процесса преобразования скорости изменения параметра в частоту следования импульсов

цесса преобразования скорости изменения параметра в частоту следования импульсов показан на рис. 2. Как видим, процесс вычисления заключается в следующем. Кодовый эквивалент приращения параметра N_i вычисляется как

$$N_i = |N_{\varphi_i} - N_{\varphi_{i-k}}|, \quad (13)$$

где $i - k$ — определяется заданным временным интервалом, на котором вычисляется кодовый эквивалент скорости.

Последний определяется в соответствии с (6), причем максимальному значению скорости изменения параметра соответствует число n единиц дискретности отсчета кода скорости, а текущему значению скорости — i отсчетов. Частота занесения информации в регистр в соответствии с (10) выполняется по соотношению

$$f_{инд} = \frac{f_{сан. max}}{n - i + 1}. \quad (14)$$

Укрупненная структурная схема преобразователя скорость — частота приведена на рис. 3. Если по выражению (13) кодовый эквивалент вычислять в параллельных кодах, то разрядность арифметического устройства должна соответствовать максимальному значению параметра, а число межблочных связей будет приближаться к максимальному. Вычисление приращения

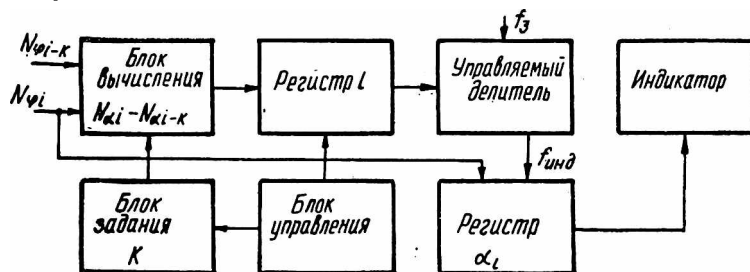


Рис. 3. Укрупненная структурная схема преобразователя скорость — частота

параметра в число-импульсных кодах позволяет снизить разрядность вычислителя и число межблочных связей.

Приведенный алгоритм применен для автоматического изменения частоты вывода информации на индикаторные табло в цифровых курсоуказателе и аксиометре [5]. Для переключения частоты вывода информации на индикаторном табло вводится дополнительный регистр. Частота смены информации в нем регулируется с помощью управляемого делителя и обеспечивает деление частоты импульсов занесения информации в регистр, получаемых на выходе формирователя тактовых импульсов в соответствии с кодом управления, поступающим на управляющий делитель с выхода регистра приращения параметра. Код в нем пропорционален скорости изменения значения параметра.

Список литературы: 1. Монмоллен М. Системы «человек — машина». — М.: Мир, 1973. — 256 с. 2. Бугаев Б. П., Денисов В. Г. Пилот и самолет. — М.: Машиностроение, 1976. — 112 с. 3. Денисов В. Г. Человек и машина в системе управления. — М.: Знание, 1973. — 74 с. 4. Кузьмик И. В., Кедрус В. А. Основы теории информации и кодирования. — К.: Вища шк., 1977. — 279 с. 5. А. с. 921965 (СССР). Судовой цифровой аксиометр / Э. В. Ивановская, Д. К. Михнов. — Оpubл. в Б. И., 1982, № 15.

Поступила в редколлегию 05.03.85.