

УДК 681.396.36

Д.И. Рабченко

МЕТОДИКА СИНТЕЗА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ БОЕВОЙ ОБСТАНОВКИ

Рассматривается методика структурно-параметрического синтеза информационной модели на командном пункте войск противовоздушной обороны. Используется метод диагональных матриц событий, позволяющий сформировать эффективные структуру, параметры и связи между элементами информационной модели. Разрабатываются динамические прототипы из элементов информационной модели. Проверяется адекватность информационной модели и оценивается ее эффективность при помощи интегрального показателя качества деятельности человека-оператора.

Введение

Одной из важнейших задач автоматизированного управления, направленной на повышение эффективности боевых действий и сокращение цикла управления, является формирование таких информационных моделей (ИМ), которые способны отражать реальные события в требуемом районе и при этом соответствуют задачам и возможностям оператора, а также обеспечивают оптимальный информационный баланс представляемой ему информации.

Разработка и совершенствование ИМ боевой обстановки являются достаточно трудоемкими задачами. Это обусловлено большим количеством неизвестных, взаимосвязанных и трудно формализуемых параметров. Кроме того, способы представления информации выбираются с целью облегчения выполнения оператором действий, а действия, в свою очередь, определяются способами представления информации.

1. Понятийный аппарат

Пропускная способность оператора характеризует его возможности по обработке поступающей информации в сложной человекомашинной организационно-технической системе. Для оценки пропускной способности оператора выбрана скорость выполнения им определенной последовательности действий как реакции на появление события. Под событием понимается появление отслеживаемого оператором признака изменения состояния описываемой ИМ системы.

Динамично меняющаяся обстановка характеризуется скоротечностью изменения ситуации в области информационного поля оператора, что, в свою очередь, требует от оператора высокой скорости обработки информации; существенно ограниченным временем анализа визуальной информации; высокой ответственностью оператора, особенно при управлении сложными системами, например автоматизированными системами управления войск противовоздушной обороны (АСУ ПВО).

Информационное поле – это часть ИМ, используемая в конкретный промежуток времени непосредственно для реализации определенной части алгоритма деятельности оператора.

Объем зрительного восприятия – количество элементов ИМ, которое одновременно попадает в зону, ограниченную углом зрения 10° в горизонтальной и вертикальной координатных плоскостях матрицы средства отображения информации.

Под ошибкой оператора понимается неправильное выполнение или невыполнение предписанных ему действий либо произвольное нарушение предписанного алгоритма деятельности. В общем случае ошибками можно назвать невыполнение требуемого или выполнение лишнего (несанкционированного) действия, неправильное или несвоевременное выполнение требуемого действия.

Состояние системы – это совокупность отслеживаемых оператором параметров описываемой ИМ системы, влияющая на выполнение оператором соответствующего алгоритма деятельности.

Стимул – сложный сигнал с несколькими опознавательными признаками.

2. Описание методики проектирования информационной модели

Решение задачи проектирования ИМ может быть достигнуто последовательным приближением ИМ к оптимальному варианту с оценкой качества проектирования на каждой итерации. Ниже рассмотрим основные положения методики решения данной задачи, которая представлена на рис. 1 в виде итерационного алгоритма.

Для определения перечня функций боевого управления и составления на его основе алгоритмов деятельности оператора предлагается использовать:

– существующие документы на образцы вооружения и военной техники (руководства по боевой работе, описания подсистем отображения информации, руководства по эксплуатации и т. п.);

– экспертные методы с привлечением специалистов по разработке и эксплуатации образцов вооружения и военной техники, для которых проектируется ИМ;

– современные рекомендации по результатам анализа специализированных источников информации.

После составления перечня функций боевого управления подбираются элементы визуализации ИМ для реализации алгоритмов деятельности оператора. Подбор целесообразно проводить исходя из сложившихся стереотипов в отрасли АСУ ПВО с привлечением экспертов.

Затем следует прототипирование статических отображений наборов элементов для соответствующих алгоритмов деятельности оператора. Прототипирование заключается в создании эскизов фрагментов ИМ, представляющих собой наборы групп объединенных элементов отображения-управления, которые необходимы для реализации оператором функций боевого управления. Таким образом формируется опорная структура ИМ в статике, подобная существующим ИМ и учитывающая сложившиеся в отрасли АСУ ПВО стереотипы.

Следующий этап проектирования ИМ направлен на совершенствование опорной структуры ИМ в сторону улучшения показателей качества последней.

Увеличение скорости переработки информации оператором возможно при условии уменьшения количества информации, предъявляемой последнему в процессе функционирования АСУ. В свою очередь, уменьшение количества информации подразумевает предварительный анализ критических ситуаций (событий), прогнозируемых в каждом алгоритме деятельности оператора, причин их возникновения, минимального набора элементов ИМ, необходимого для их устранения, а возможно, и целесообразных управляющих воздействий со стороны ЭВМ. Данный процесс целесообразно реализовывать методом диагональной матрицы событий [1] как хорошо себя зарекомендовавшим при решении задач подобного рода.

Анализ показал [2], что при выявлении событий, связанных с целевым назначением описываемой ИМ системы, необходимо использовать положения теории игр, при помощи которых устанавливается целевое назначение описываемой ИМ системы (например, не допустить нахождения цели в опасной близости от прикрываемого объекта для АСУ ПВО). Такой выбор связан с тем, что игровой подход в наибольшей степени удовлетворяет решению задачи построения ИМ АСУ в условиях, когда исходные данные носят преимущественно стохастический характер с известными или неизвестными (либо в принципе не существующими) законами распределения.

Результатом применения метода диагональной матрицы событий является общая структурная схема событий, позволяющая определить алгоритм деятельности оператора как его реакцию на любое из возникших в системе сложных событий и избежать трудоемких экспериментальных исследований деятельности оператора, связанных с инвариантностью его реакции на сложные события.

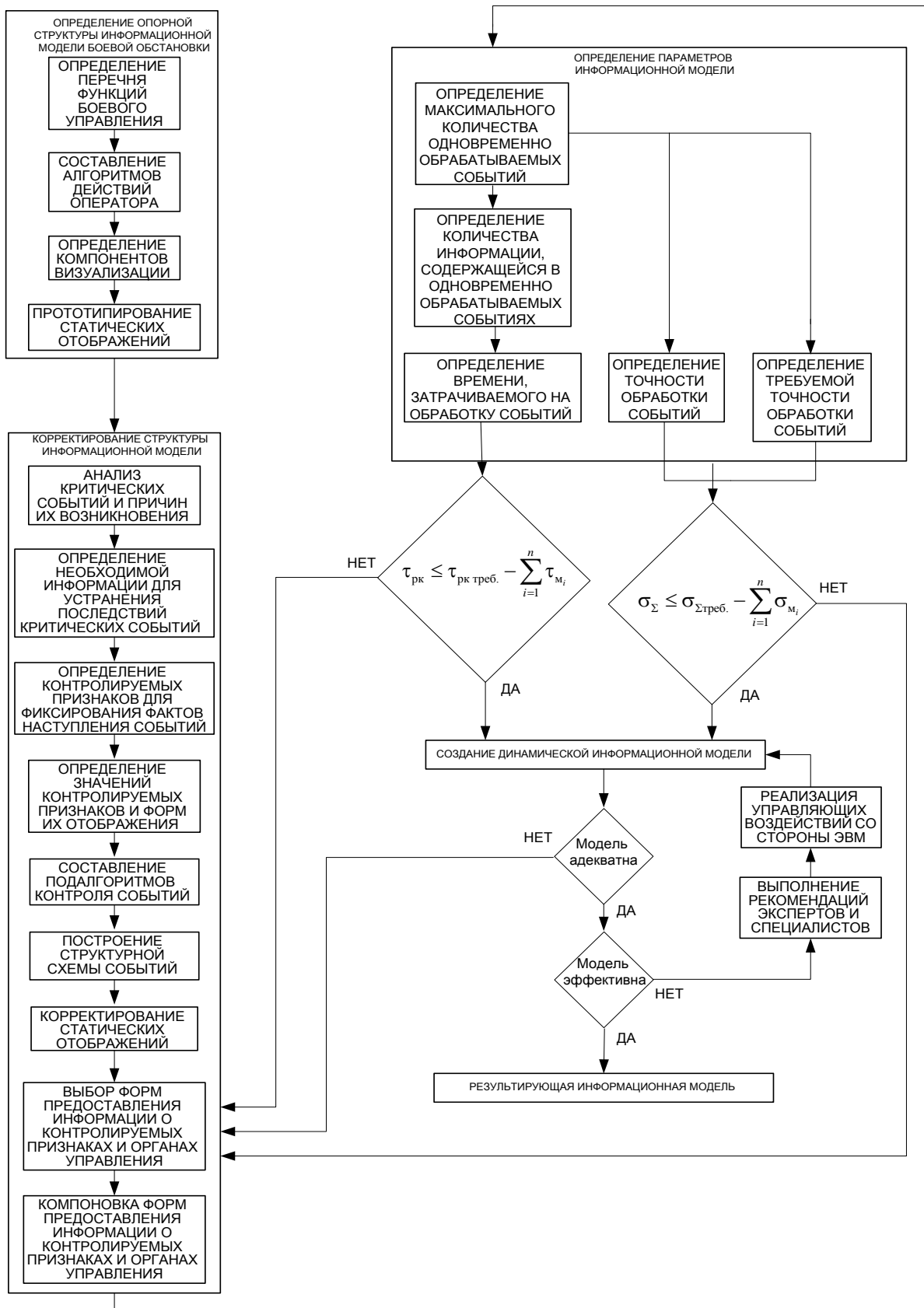


Рис. 1. Алгоритм решения задачи проектирования ИМ боевой обстановки

На основе общей структурной схемы событий корректируется опорная структура ИМ в статике в сторону уменьшения количества отображаемых элементов.

Выбор форм представления оператору информации о контролируемых признаках, а также органов управления для реализации управляющих воздействий на средства отображения и управления ИМ может быть произведен согласно одному из следующих вариантов, приведенных в порядке возрастания трудозатрат:

- из существующей ИМ, использующейся на образце военной техники;
- в соответствии с действующими нормативно-техническими документами в области предъявления требований к системам отображения и управления в части, касающейся ИМ;
- из вновь созданного разработчиком, ранее неизвестного или известного, но не применявшегося в данном контексте набора форм с привлечением экспертов;
- комбинацией вышеуказанных вариантов.

Для оценки информационной нагрузки на оператора необходимо определить максимальное количество одновременно обрабатываемых оператором событий.

При установлении максимального количества событий, обрабатываемых оператором АСУ ПВО, надо исходить из предположения, что появление события, отображаемого ИМ, инициировано в первую очередь воздушной целью. Управление в такой системе должно осуществляться в соответствии с принципом гарантированного результата, который описывается критерием Вальда:

$$U^* = \max_{U \in \mathbf{U}} \min_{R \in \mathbf{R}} \{J(X, X_f, U, R, T)\}, \quad (1)$$

где в общем случае X – текущее состояние описываемой ИМ системы; X_f – требуемое конечное состояние данной системы ($f = \overline{1, F}$, F – множество состояний системы); U – выбранное управление; R – множество известных состояний внешней среды; T – длительность интервала времени, выделенного на завершение процесса управления; $\max_{U \in \mathbf{U}}$ – наилучшая реализация управляющей стратегии со стороны оператора; $\min_{R \in \mathbf{R}}$ – наихудшая для оператора реализация стратегии со стороны внешней среды.

Данный принцип является выражением стратегии крайнего пессимизма со стороны оператора, поскольку ориентирует на ситуацию, наихудшую из возможных.

Применительно к АСУ ПВО максимальное количество обрабатываемых событий соответствует наихудшей для оператора реализации стратегии со стороны природы $\min_{R \in \mathbf{R}} (1)$, а наилучшей реализацией стратегии оператора $\max_{U \in \mathbf{U}}$ в данном случае будет такая ответная реакция последнего, которая не приведет к возникновению критических ситуаций в описываемой ИМ системе.

Множество R определяется возникающими в системе событиями. Текущее состояние системы X соответствует возникновению в ней определенных событий, а требуемое конечное состояние системы X_f соответствует отсутствию в ней критических ситуаций. Для определения верхнего предела величины T целесообразно использовать модель массированного ракетно-авиационного удара предполагаемого противника как наиболее вероятную в рамках реализации противодействия современному агрессору, а также инструкции по боевому применению АСУ ПВО, для которой проектируется ИМ.

Параметры ИМ определяют время реакции оператора и точность его действий. Определение параметров предлагается производить при помощи аналитической модели взаимодействия оператора с ИМ на автоматизированном рабочем месте [3]. Рассмотрим последовательность действий в рамках синтеза ИМ:

1. *Определение времени, затрачиваемого оператором на обработку события, в том числе и на серию ответных реакций.*

Исходя из предположения, что этап контроля при решении задачи обработки информа-

ции оператором функционально осуществляет ЭВМ, время реакции оператора на событие определяется выражением

$$\tau_{\text{рк}} = \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{р}} + \tau_{\text{п}} + \tau_{\text{м}},$$

где $\tau_{\text{в}}$ – время восприятия информации, $\tau_{\text{р}}$ – время принятия решения, $\tau_{\text{п}}$ – время поиска нужного органа управления, $\tau_{\text{м}}$ – время осуществления моторного акта.

2. *Сопоставление времени обработки события с требуемым значением величины T формулы (1).*

При помощи следующего выражения можно задать требования к пропускной способности человекомашинной системы через время обработки оператором информации:

$$\tau_{\text{рк}} \leq \tau_{\text{рк треб.}} - \sum_{i=1}^n \tau_{\text{м}_i}, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{рк треб.}}$ – требуемое время обработки информации оператором, $\tau_{\text{м}_i}$ – время задержки информации в i -м звене машины, n – число машинных звеньев.

3. *Определение точности действий оператора.*

При независимости погрешности деятельности оператора и погрешности представления информации устройством отображения суммарная среднеквадратическая ошибка системы «оператор – устройство отображения» будет определяться как

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{yo}}^2 + \sigma_{\text{оп}}^2},$$

где σ_{yo} – среднеквадратическая погрешность воспроизведения информации устройством отображения (обычно задается в пределах от 0,1 до 0,5 % [4]), $\sigma_{\text{оп}}$ – среднеквадратическая погрешность деятельности оператора.

Величина σ_{yo} ввиду своей незначительности существенного вклада в суммарную среднеквадратическую ошибку человекомашинной системы не вносит; кроме того, она может быть значительно уменьшена за счет применения более прецизионных средств отображения информации. Величина $\sigma_{\text{оп}}$ вносит наиболее весомый вклад в суммарную ошибку системы «оператор – устройство отображения», при этом она не может быть менее некоторого минимального значения $\sigma_{\text{оп min}}$.

Выражение для $\sigma_{\text{оп}}$ включает погрешности, связанные с восприятием информации, принятием решения, выбором органа управления, управляющим воздействием, и имеет вид

$$\sigma_{\text{оп}} = \sqrt{\sigma_{\text{с}}^2 + \sigma_{\text{л}}^2 + \sigma_{\text{oy}}^2 + \sigma_{\text{мт}}^2},$$

где среднеквадратическая погрешность $\sigma_{\text{с}}$ обусловлена ошибкой восприятия оператором информации, $\sigma_{\text{л}}$ связана с ошибкой оператора при принятии им решения, σ_{oy} – с ошибкой выбора органа управления, $\sigma_{\text{мт}}$ – с ошибочными действиями оператора при осуществлении управляющих воздействий. Выражение справедливо при независимых слагаемых подкоренного выражения, что подтверждается статистическими исследованиями, посвященными оценке качества деятельности оператора [5].

4. *Определение требуемой точности действий оператора.*

Требуемую точность действий оператора предлагается определять при помощи методики оценки эффективности АСУ по качеству [6] как наиболее родственной с учетом следующего.

Процессы целераспределения и формирования данных, целеуказания и его отработки огневыми средствами представляют собой наиболее существенный этап управления ходом боевых действий, влияющий в максимальной степени не только на оперативность, но и на боевую

эффективность этих действий. Вероятность успешного целеуказания количественно характеризует его качество. В свою очередь, вероятность успешного целеуказания $P_{цу}$ зависит от вероятности безошибочной обработки информации на командном пункте $P_{обр.}$, принятия командным пунктом правильного решения на боевые действия $P_{реш.}$, безошибочного наведения огневого средства на цель $P_{нав.}$, обнаружения цели боевым расчетом $P_{обн.}$.

Тогда имеет смысл выражение

$$P_{цу} = P_{обр.} \cdot P_{реш.} \cdot P_{нав.} \cdot P_{обн.},$$

которое справедливо при условии независимости четырех составляющих, определяющих успешность целеуказания.

Полагая, что обрабатываемая на командном пункте информация поступает из единого информационного поля, а средство отображения информации достаточно прецизионно, можно считать, что $P_{обр.} \approx 1$. Также будем полагать, что оператор имеет достаточные опыт и навыки в принятии решений на боевые действия и необходимая для принятия решения информация присутствует в ИМ, и примем $P_{реш.} \approx 1$. Вполне обоснованно можно принять $P_{обн.} \approx 1$, так как рубежи целеуказания определяются после обнаружения и завязки трасс целей. Таким образом, $P_{цу} \approx P_{нав.}$, при этом

$$P_{нав.} \approx P_{\varepsilon} \cdot P_{\beta} \cdot P_{д},$$

где P_{ε} и P_{β} – вероятности попадания цели в сектор поиска по углу места и азимуту соответственно, $P_{д}$ – вероятность попадания цели в строб по дальности. Данное выражение будет справедливо для независимых сомножителей.

Можно провести аналогию между процессом наведения огневого средства, состоящим из операций поиска в заданной области пространства и отождествления цели, с одной стороны, и поиском с отождествлением объектов ИМ оператором – с другой.

Как отмечалось ранее, процессы наведения огневого средства и поиска цели оператором имеют родственную природу. В первом случае используется алгоритм поиска, который является упорядоченным перебором элементов пространства. Во втором случае также происходит упорядоченный перебор элементов ИМ по определенному алгоритму поиска. Поэтому можно заменить угломестную и азимутальную координаты наведения огневого средства вертикальной и горизонтальной координатами матрицы средства отображения информации соответственно. При этом координата по дальности при двухмерной системе позиционирования информации на экране не учитывается. Тогда выражение для вероятности успешного обнаружения оператором искомого элемента ИМ будет иметь вид

$$P_{обн.опер.} \approx P_{верт.} \cdot P_{гориз.}$$

Для двухмерных случаев перемещения оператором курсора манипулятора между прямыми или искривленными границами области информационного поля ИМ целесообразно использовать наименьшее из значений размеров поля для перемещения по горизонтали или вертикали. На сегодняшний день большинство средств отображения информации военного назначения и прямоугольного исполнения имеют горизонтальную ориентацию, т. е. вертикальная составляющая меньше горизонтальной. Запишем выражение для вероятности успешного обнаружения оператором искомого элемента ИМ:

$$P_{обн.опер.} \approx K_{пропорц.} \cdot P_{верт.}^2,$$

где $K_{пропорц.}$ – коэффициент пропорциональности сторон средства отображения информации (для прямоугольных матриц). В случае вертикальной ориентации средства отображения информации данная формула примет вид

$$P_{обн.опер.} \approx K_{пропорц.} \cdot P_{гориз.}^2.$$

Предположим, что ошибка поиска в вертикальной плоскости распределена по нормальному закону. Тогда выражение для нахождения $P_{\text{верт.}}$ примет вид

$$P_{\text{верт.}} = \int_{-\Delta\varphi_\varepsilon}^{+\Delta\varphi_\varepsilon} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_\varepsilon} \cdot e^{-\frac{(\varepsilon - m_\varepsilon)^2}{2\sigma_\varepsilon^2}} \cdot d\varepsilon = \Phi\left(\frac{\Delta\varphi_\varepsilon - m_\varepsilon}{\sigma_\varepsilon}\right) + \Phi\left(\frac{\Delta\varphi_\varepsilon + m_\varepsilon}{\sigma_\varepsilon}\right),$$

где ε – координата в вертикальной плоскости, m_ε – систематическая ошибка в вертикальной плоскости, σ_ε – среднеквадратическая ошибка в вертикальной плоскости, $\Phi(u)$ – функция Лапласа.

В обобщенном виде функцию $P_{\text{верт.}}$ можно построить, используя выражение

$$P_{\text{верт.}} = \Phi\left(\frac{l - m_\varepsilon}{\sigma_\varepsilon}\right) + \Phi\left(\frac{l + m_\varepsilon}{\sigma_\varepsilon}\right),$$

где l – полуширина доверительного интервала изменения координаты ε .

В этом случае функция $P_{\text{верт.}}$ при $m_\varepsilon = K_1 \cdot l$, $\sigma_\varepsilon = K_2 \cdot l$, $l = 1$, $K_1 = K_2 = \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 3,0\}$ для различных m_ε и σ_ε будет такой, как показано на рис. 2.

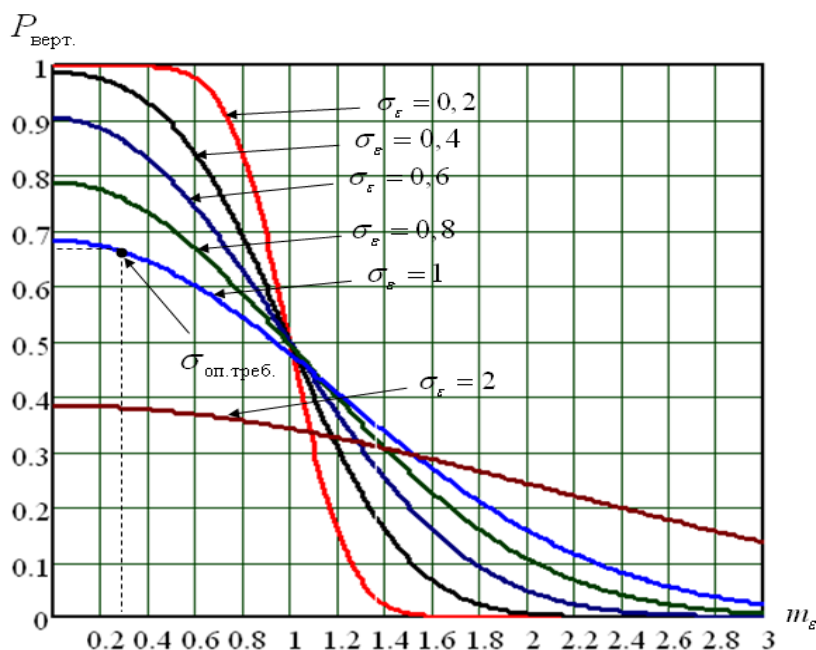


Рис. 2. Семейство кривых $P_{\text{верт.}}(m_\varepsilon)$ при различных σ_{m_i}

Семейство кривых на рис. 2 позволяет по заданной вероятности успешного обнаружения оператором искомого элемента ИМ определить предельно допустимые точностные характеристики ИМ m_ε и σ_ε . В рассматриваемом случае $\sigma_{\text{оп.треб.}}$ будет определяться по графику, представленному на рис. 2, следующим образом.

Под m_ε подразумевается систематическая ошибка поиска, вносимая средством отображения информации. Выбранное значение откладывается по оси абсцисс, значение вероятности

обнаружения – по оси ординат. На пересечении указанных значений (на рис. 2 – пунктирные линии) и будет находиться искомая величина $\sigma_{\text{оп. треб.}}$.

5. *Сопоставление точности действий оператора с требуемым значением погрешности обработки информации в системе.*

Действия 4 и 5 позволяют задать требование к точности обработки информации оператором следующим образом:

$$\sigma_{\text{оп}} \leq \sigma_{\text{оп. треб.}} - \sum_{i=1}^n \sigma_{M_i}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{оп. треб.}}$ – требуемая погрешность обработки информации оператором, σ_{M_i} – погрешность обработки информации в i -м звене машины, n – число машинных звеньев.

В случае невыполнения требования, описываемого выражением (2), осуществляются действия [3], направленные на уменьшение времени реакции оператора и проводимые на этапе выбора форм представления оператору информации о контролируемых признаках и органах управления:

- повышение заметности событий;
- улучшение соответствия «стимул – реакция на события»;
- уменьшение количества условных обозначений, используемых в ИМ;
- упрощение логической и математической обработки, уменьшение порядка данных, обрабатываемых оператором;
- разделение когнитивных блоков информации паузами, сопровождающимися отсутствием событий;
- корректирование объема зрительного восприятия оператора;
- использование простых геометрических фигур в качестве условных обозначений, применяемых в ИМ;
- увеличение линейных размеров элементов ИМ до значений, ограниченных объемом зрительного восприятия;
- уменьшение расстояния до смежных элементов ИМ, используемых при решении однородных задач оператором.

В случае невыполнения требования, описываемого выражением (3), на основании анализа эмпирической информации производятся изменения форм ИМ и их компоновки.

Рассмотренные выше действия в рамках синтеза ИМ носят итерационный характер и производятся до тех пор, пока не выполняются неравенства (2) и (3).

Для проверки адекватности ИМ разрабатываются динамические прототипы из ее элементов на основании результатов компоновки и комплексирования. Прототипы должны характеризоваться высокой достоверностью, детализацией, визуальной точностью и высокой степенью близости к конечному виду ИМ. Разработка динамических прототипов производится с помощью специализированных средств прототипирования, например кросс-платформенного инструмента динамического прототипирования ИМ GUI Machine, который является русифицированным аналогом таких известных программ, как Axure RP, GUI Design Studio, MS Expression Blend, и отличается простотой, функциональной наполненностью, интуитивностью, высокой скоростью и удобством создания прототипов ИМ. Продукт ориентирован на создание интерактивных прототипов сложных десктоп- и веб-приложений без написания программного кода в средах Windows, Mac OS и Linux.

Проверка адекватности динамических прототипов ИМ осуществляется непосредственно с участием реальных операторов и экспертов на основе метода фокус-групп [7], при этом фиксируются их замечания и предложения по улучшению ИМ.

Сущность проверки адекватности динамических прототипов ИМ состоит в выявлении степени их соответствия некоторому эталону. Проверку рекомендуется выполнять несколькими методами. Прямые методы проверки подразумевают натурный эксперимент, позволяющий получить истинные значения показателей:

- по средним значениям откликов динамических прототипов ИМ и системы, описываемой ИМ;
- дисперсиям отклонений откликов динамических прототипов ИМ от среднего значения откликов системы, описываемой ИМ;
- максимальному значению отклонений откликов динамических прототипов ИМ от откликов системы, описываемой ИМ.

Косвенные методы проверки применяются в случаях, когда прямые методы невозможны или нецелесообразны. Для этого необходимо использовать проверку согласованности результатов моделирования с результатами, полученными на существующих ИМ. Причинами неадекватности, как правило, являются ошибки в организации и проведении опытов (например, неконтролируемое изменение не учтенных при проектировании ИМ факторов), погрешности в задании исходных данных и измерении результатов, большой размах варьирования параметров моделирования.

Если по результатам проверки адекватности выявляются недопустимые расхождения между системой, описываемой ИМ, и ее динамическими прототипами, необходимо изменить формы представления информации о контролируемых признаках и органах управления. Затем следует изменить компоновку форм, заново определить параметры ИМ, проверить выполнение точностных и временных условий и адекватность динамических прототипов. Если результаты проверки удовлетворительны, необходимо оценить эффективность динамических прототипов по отношению к существующим аналогам.

Проверка эффективности производится непосредственно с участием экспертов и специалистов в рамках полунатурного моделирования. Далее решается двухкритериальная задача оценки эффективности синтезированной и аналогичной существующей динамических ИМ при помощи интегрального показателя, описываемого выражением [5]

$$\eta^* = \frac{\sum_{i=1}^{k_1} X_i^{(\eta_1)} \cdot K_i^{(\eta_1)}}{k_1} + \frac{\sum_{j=1}^{k_2} [M_j^{(\Delta\eta_2)} + 3\sigma_j^{(\eta_2)}] \cdot K_j^{(\eta_2)}}{k_2},$$

где k_1 – число заданных основных параметров, определяющих точность выдерживания режима в определенных точках; k_2 – число заданных основных параметров, определяющих временные характеристики данного режима управления; $X_i^{(\eta_1)}$ – моментные отклонения основных параметров управляемого процесса в определенных точках; $M_j^{(\Delta\eta_2)}$, $3\sigma_j^{(\eta_2)}$ – статистические показатели, отражающие средние отклонения j параметров от заданных значений и их вариантность; $K_i^{(\eta_1)}$, $K_j^{(\eta_2)}$ – весовые коэффициенты, соответствующие заданным точностным и временным параметрам управляемого процесса; (η_1) , (η_2) – индексы, отражающие принадлежность входящих в данную формулу параметров к точностным и временным характеристикам управляемого человеком процесса соответственно.

Значения параметра η^* для синтезированной и существующей ИМ сравниваются, и делается вывод о степени превосходства одной ИМ над другой, либо об отсутствии данного превосходства, либо его незначительности, свидетельствующей об уровне эффективности синтезированной ИМ по сравнению с существующей. В случае отсутствия превосходства (низкой эффективности) синтезированной ИМ устраняются замечания и реализуются рекомендации экспертов и специалистов, полученные в ходе оценки адекватности, а также целесообразные управляющие воздействия со стороны ЭВМ (определяются в процессе реализации метода диагональной матрицы событий [1]). Если эффективность синтезированных динамических прототипов ИМ удовлетворительна, формируется результирующая ИМ.

3. Проверка адекватности предлагаемой методики проектирования информационной модели

Согласно предлагаемой методике структурно-параметрического синтеза ИМ боевой обстановки на автоматизированном рабочем месте лица, принимающего решение, был синтезирован фрагмент ИМ боевой обстановки для АСУ ПВО дивизионного (бригадного) уровня управления. Путем сравнения синтезированного фрагмента с уже существующей аналогичной ИМ была проверена адекватность предлагаемой методики. Фрагмент ИМ отражал основные составляющие боевой работы лица, принимающего решение в рассматриваемой АСУ, и позволял имитировать этапы ведения боевой работы по отражению воздушного налета предполагаемого противника.

Проверка адекватности фрагмента ИМ проводилась непосредственно с участием экспертов и операторов, имеющих опыт работы в системах подобного рода. При оценке адекватности фрагмента ИМ в рамках прямого метода проверки использовалось полунатурное моделирование боевой работы оператора. Затем оценивалась близость теоретических результатов и практических реализаций к существующим образцам военной техники. Оценка проводилась с использованием известного и хорошо себя зарекомендовавшего в данной предметной области критерия согласия, на выбор которого кроме специфики использования и мощности повлияли также объем и качество выборки, тип шкалы измерения и закон распределения выборки.

Генеральная совокупность событий во фрагменте ИМ представляла собой множество событий с соответствующим множеством значений времени реакции оператора на эти события (выборка состояла из 43 возможных операций).

Для оценки выборок синтезированного фрагмента и существующей ИМ использовался статистический пакет анализа данных приложения Microsoft Office Excel 2010. В табл. 1 приведена описательная статистика, а на рис. 3 изображены гистограммы частот попадания данных (значений времени реакции оператора) в указанные интервалы значений для синтезированного фрагмента и существующей ИМ.

Таблица 1

Описательная статистика синтезированного фрагмента и существующей ИМ

Статистическая величина	Значение для синтезированного фрагмента ИМ	Значение для существующей ИМ
Математическое ожидание	6,690 675	6,699 308
Среднеквадратическое отклонение	4,732 586	4,680 335
Дисперсия	22,397 371	21,905 541
Медиана	5,915	6,175
Мода	6	6,7
Асимметричность	1,208 036	1,134 102
Количество элементов выборки	1200	1200
Уровень надежности (при 99, 0 %)	0,352 465	0,348 574

Анализ описательной статистики показал схожесть значений статистических величин синтезированного фрагмента и существующей ИМ и, как следствие, подобие законов распределения времени выполнения действий в последних. Наличие положительной асимметрии подтвердило тяготение законов распределения к гамма-распределению как наиболее характерному для действий оператора в человекомашинных системах.

Гистограммы, отражающие приближенные графики статистических функций распределения, подобны визуально и свидетельствуют о схожести законов распределения времени выполнения операций в синтезированном фрагменте и существующей ИМ.

При помощи критерия χ^2 проверялась гипотеза об отсутствии различий между двумя эмпирическими распределениями, полученными в ходе полунатурного моделирования.

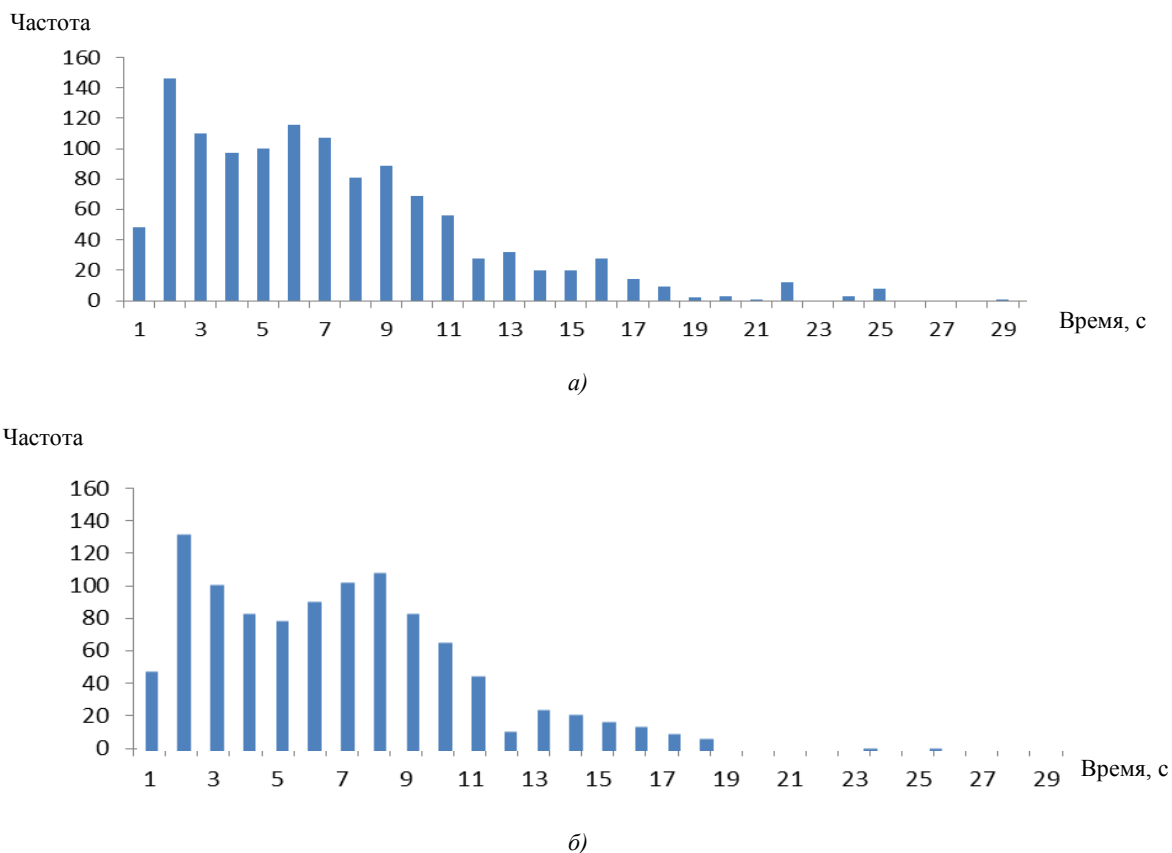


Рис. 3. Частоты попадания данных в интервалы временных значений: а) для синтезированного фрагмента ИМ; б) для существующей ИМ

Вычисление χ^2 проводилось при помощи выражения [8 с. 149]

$$\chi^2 = 4 \cdot \sum_{k=1}^k \frac{f1 \cdot f2}{f1 + f2} - 2 \cdot N, \quad (4)$$

где $f1$ – частоты распределения в синтезированном фрагменте, $f2$ – частоты распределения в существующей ИМ, N – число элементов в каждой выборке, k – число интервалов разбиения. Число степеней свободы $\nu = (k-1) \cdot (c-1)$, где c – число столбцов.

В табл. 2 приведены эмпирические данные и предварительные расчеты, необходимые для получения значения χ^2 . Путем подстановки значения из таблицы в выражение (4) было получено $\chi^2 = 28,248\ 342\ 29$. Число степеней свободы $\nu = 28$. С помощью табличных данных [8, с. 307] были найдены критические значения χ^2 для уровней статистической значимости $p \leq 0,05$ и $p \leq 0,01$ при указанном числе степеней свободы:

$$\chi^2 = \begin{cases} 42,557 & \text{для } p \leq 0,05; \\ 49,558 & \text{для } p \leq 0,01. \end{cases}$$

После построения оси значимости (рис. 4) было установлено, что полученные различия (выделены овалом) попали в зону незначимости. Таким образом, была отклонена гипотеза о различии распределений двух выборок и принята гипотеза об их подобии.

В пользу адекватности синтезированного фрагмента ИМ говорит и тот факт, что суммы ошибок, допущенных испытуемыми в обоих фрагментах, отличались менее чем на 1 %: 139 ошибок в синтезированном фрагменте ИМ против 138 в существующей ИМ.

Таблица 2

Эмпирические данные и расчеты

Время выполнения, с	Частоты		$f1 \cdot f1$	$f1 + f2$	$\frac{f1 \cdot f1}{f1 + f2}$
	$f1$	$f2$			
1	48	54	2304	102	22,588 235 29
2	146	142	21 316	288	74,013 888 89
3	110	110	12 100	220	55
4	97	92	9409	189	49,783 068 78
5	100	87	10 000	187	53,475 935 83
6	116	99	13 456	215	62,586 046 51
7	107	111	11 449	218	52,518 348 62
8	81	118	6561	199	32,969 849 25
9	89	91	7921	180	44,005 555 56
10	69	73	4761	142	33,528 169 01
11	56	52	3136	108	29,037 037 04
12	28	16	784	44	17,818 181 82
13	32	30	1024	62	16,516 129 03
14	20	27	400	47	8,510 638 298
15	20	22	400	42	9,523 809 524
16	28	20	784	48	16,333 333 33
17	14	15	196	29	6,758 620 69
18	9	12	81	21	3,857 142 857
19	2	4	4	6	0,666 666 667
20	3	3	9	6	1,5
21	1	4	1	5	0,2
22	12	4	144	16	9
23	0	5	0	5	0
24	3	2	9	5	1,8
25	8	6	64	14	4,571 428 571
26	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	
29	1	1	1	2	0,5
30	0	0	0	0	

Иными словами, вероятности успешных действий оператора в обоих фрагментах достаточно близки друг к другу (0,884 в синтезированном фрагменте ИМ против 0,885 в существующем).

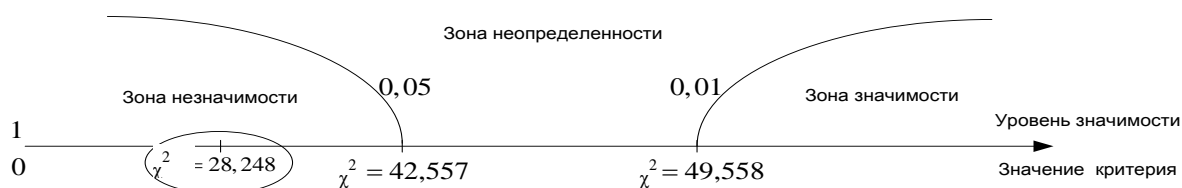


Рис. 4. Ось значимости

Таким образом, адекватность синтезированного фрагмента ИМ подтвердила состоятельность предлагаемой методики синтеза ИМ на рабочем месте оператора командного пункта войск ПВО.

Заключение

Время обработки информации в АСУ является одним из основополагающих критериев при разработке ИМ динамично меняющейся обстановки. При этом разработчик ИМ должен обеспечить не просто высокую, а гарантированную скорость обработки информации оператором. Безошибочность действий оператора наряду со скоростью выполнения действий также является важным критерием при компоновке элементов ИМ динамично меняющейся обстановки.

Предлагаемый методический аппарат дает возможность решить задачу структурно-параметрического синтеза ИМ. Синтезированная ИМ будет характеризоваться соблюдением эффективного баланса между степенью загруженности лица, принимающего решение, и возможностями последнего по реализации возложенных на него функций.

Использование предлагаемой методики позволит повысить эффективность проектируемых человекомашинных систем в ситуациях, связанных с высокой нагрузкой оператора (например, на рабочем месте лица, принимающего решение, в АСУ ПВО при большой плотности налета) и улучшить на 7–9 % [9] качество управления за счет оптимизации ИМ как составляющей подсистемы отображения информации автоматизированного рабочего места оператора.

Список литературы

1. Галактионов, А.И. Представление информации оператору (исследование деятельности человека – оператора производственных процессов) / А.И. Галактионов. – М. : Энергия, 1969. – 139 с.
2. Рабченко, Д.И. Анализ подходов к построению информационной модели боевой обстановки в условиях неопределенности / С.В. Кругликов, Д.И. Рабченко // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 1. – С. 64–71.
3. Кругликов, С.В. Адаптивные информационно-управляющие системы специального назначения: теория и практика синтеза / С.В. Кругликов. – Минск : ВА РБ, 2014. – 233 с.
4. Береза, А.С. Основы построения комплексов технических средств АСУ ПВО / А.С. Береза. – Харьков : ХВУ, 1993. – 386 с.
5. Шибанов, Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек – техника / Г.П. Шибанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 263 с.
6. Кругликов, С.В. Автоматизация процессов организационного управления силами и средствами / С.В. Кругликов. – Минск : ВАРБ, 2007. – 229 с.
7. Белановский, С.А. Методика и техника фокусированного интервью : учеб.-метод. пособие / С.А. Белановский. – М. : Наука, 1993. – 352 с.
8. Ермолаев, О.Ю. Математическая статистика для психологов : учебник / О.Ю. Ермолаев. – М. : Московский психолого-социальный институт Флинта, 2002. – 336 с. – (Библиотека психолога).
9. Герасимов, Б.М. Системное проектирование средств отображения информации в АСУ / Б.М. Герасимов, Б.М. Егоров. – Киев : КВИРТУ ПВО, 1983. – 348 с.

Поступила 08.11.2016

D.I. Rabchonak**METHOD FOR SYNTHESIS OF INFORMATION MODEL
OF COMBAT SITUATION**

The technique of structural and parametric synthesis of the information model of the combat situation on the workstation of the decision maker is considered. The used method of diagonal matrix of events allows to form an effective structure, parameters and connections between the elements of the information model. The prototypes of dynamic elements of the information model are developed. The adequacy of the information model is tested. The effectiveness of the information model using the integral index of the quality of the human operator work is evaluated.