

УДК 681.396.96

СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБСТАНОВКИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Д.И. РАБЧЕНОК, С.В. КРУГЛИКОВ

*Военная академия Республики Беларусь
Независимости, 220, Минск, 220057, Беларусь*

Поступила в редакцию 2 декабря 2013

Предложен способ нахождения количественной оценки числа иерархических уровней управления информационной моделью автоматизированной системы управления (АСУ) с целью оптимизации загрузки лица, принимающего решение.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, информационная модель, интерфейс, иерархическая структура, переборный алгоритм, функционал стоимости, оптимальное управление.

Введение

Одной из задач автоматизированного управления, направленной на повышение эффективности боевых действий и сокращение цикла управления, является формирование информационной модели, отражающей своим содержанием и объемом реальную действительность в требуемом районе.

При этом информационная модель должна соответствовать задачам и возможностям оператора, а также обеспечивать оптимальный информационный баланс предоставляемой ему информации.

Проанализировав работы по проблемам математического моделирования [1–5], можно отметить, что имеющиеся в настоящее время информационные модели автоматизированных систем управления касаются, как правило, отдельных аспектов их функционирования. Отсутствует унифицированный методологический подход к построению информационных моделей АСУ тактического звена как многоуровневых систем со сложной иерархической структурой.

В [4] предложены общие методы синтеза оптимальных иерархических структур. Опираясь на данную монографию и предположив, что описанные методы будут справедливы и для построения информационных моделей, описывающих такие иерархические структуры, необходимо отметить следующее.

Структурный синтез в данном контексте сводится к построению и оптимизации иерархии управления информационной моделью с целью максимизации эффективности либо минимизации затрат на функционирование. Такую задачу решают в режиме статической оптимизации. Но, так как внешние условия изменяются, то очевидна необходимость оптимизации иерархической структуры информационной модели в динамическом режиме.

Таким образом, необходимо рассмотреть частную задачу оптимизации иерархической структуры информационной модели АСУ, представленной лицу, принимающему решение (ЛПР) на автоматизированном рабочем месте, как выбор оптимального числа уровней иерархии управления информационной моделью в зависимости от динамики изменений внешних условий.

Выбор исходных данных

Полагаем, что полученные результаты не будут зависеть от содержательной интерпретации и будут касаться только иерархической структуры информационной модели АСУ, как таковой.

Информационную модель АСУ тактического уровня можно представить в виде множества элементов подсистемы отображения обстановки или как их иерархическую структуру в виде ориентированного ациклического аддитивного графа G организации над множеством объединенных элементов отображения-управления (ЭОУ) N с определенным функционалом стоимости такой организации (рис. 1).

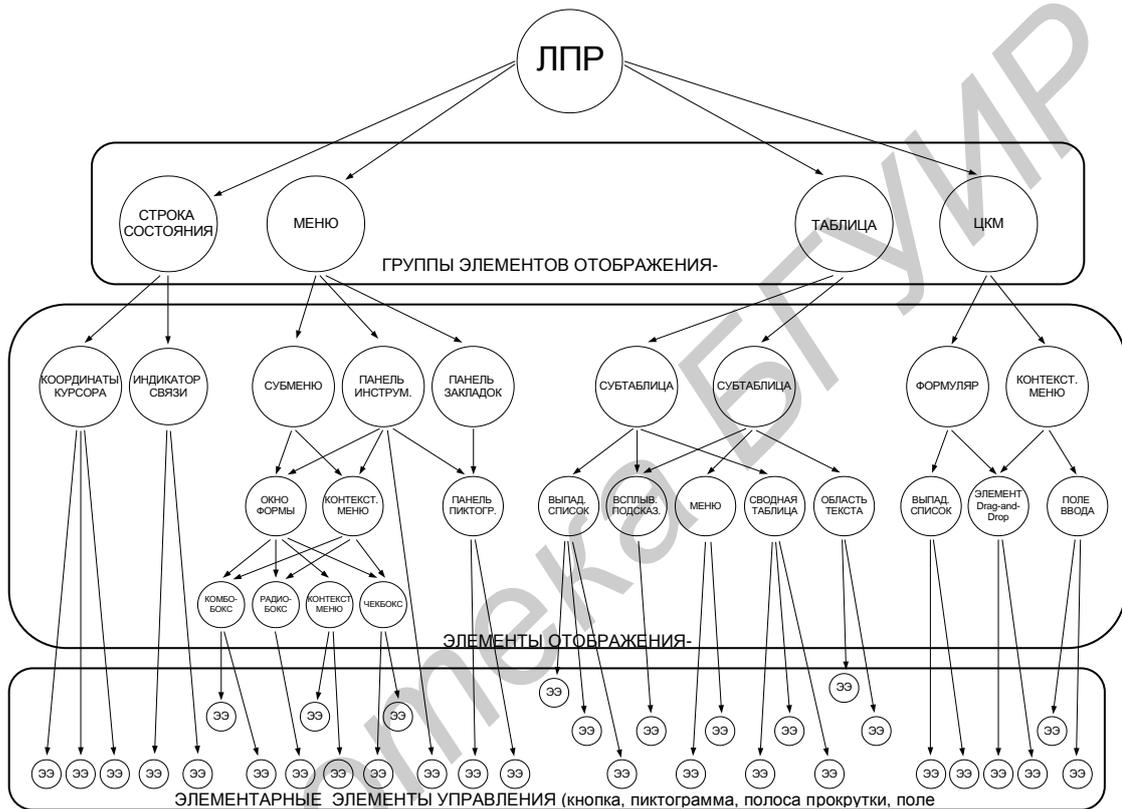


Рис. 1. Представление информационной модели АСУ тактического уровня в виде графа над множеством элементов подсистемы отображения обстановки

Под ребрами такого графа можно понимать управленческие связи, наделенные некоторыми весовыми коэффициентами: в вершинах будут находиться группы ЭОУ, объединенные ЭОУ непосредственно и элементарные элементы управления (ЭЭУ), обладающие своими весовыми коэффициентами.

Функционал стоимости $P(G)$ такого графа можно представить в виде суммы значений стоимости управления отдельными объединенными ЭОУ (1):

$$P(G) = \sum_{m=1}^{N_{\max}} P(N_m), \quad (1)$$

где $P(N_m)$ – стоимость управления объединенными ЭОУ N_m , определяется экспериментально, N_m – количество объединенных ЭОУ, N_{\max} – максимальное, для данных условий, количество объединенных ЭОУ, выбирается эмпирически.

Необходимо отметить, что в таком функционале организация новых подгрупп из элементов N_m , либо удаление существующих подгрупп с одновременной организацией на их основе новых подгрупп, не приведет к уменьшению значения функционала (1) [4]. Это утверждение вытекает из свойства аддитивности графа.

Понятие ЭОУ целесообразно ввести в связи с тем, что на элементе подсистемы отображения в большинстве случаев присутствуют ЭЭУ, в том числе управления и им самим. Появление в поле зрения оператора такого элемента подразумевает не только его визуальный анализ, но и управление им, используя содержащиеся на нем же самые элементы управления.

Под множеством конечных исполнителей подсистемы отображения автоматизированного рабочего места комплекса средств автоматизации пункта управления будем понимать множество объединенных ЭОУ:

$$N_m = \{a_1, a_2, K, a_4, \dots, a_n\}, \quad (2)$$

где K – элементарный управляющий элемент ЭОУ N_m , а $a_1, a_2, a_4, \dots, a_n$ – ЭЭУ, принадлежащие множеству $A = \{a_1, a_2, a_4, \dots, a_n\}$, их количество также выбирается эмпирически.

Множеством групп объединенных ЭОУ назовем множество всевозможных непустых конечных подмножеств f , составленных из N_m . Через

$$f^t = \{f_1^t, f_2^t, f_3^t, K, f_5^t, f_6^t, \dots, f_i^t\} \quad (3)$$

обозначим набор групп объединенных ЭОУ (их количество выбирается эмпирически), которые должны быть организованы системой на протяжении интервала времени t для выполнения подсистемой отображения своих функций. Набор организуемых групп элементов или выполняемых функций может изменяться при изменении t , что влечет необходимость изменения структуры системы отображения.

Иерархией над множеством элементарных элементов A назовем дерево организации набора $D(f^t)$, в узлах которого располагаются множества f_i^t или группы объединенных ЭОУ N_m , а корнем является некоторый набор групп f^t .

На рис. 2 изображен фрагмент иерархии информационной модели АСУ и фрагмент предлагаемой иерархии в терминологии излагаемого материала.



Рис. 2. Сравнение фрагмента предлагаемой информационной модели (а) и фрагмента информационной модели АСУ (б)

Под внешней средой будем понимать условия, которые в каждый момент времени вынуждают ЛПР организовывать соответствующие наборы групп ЭОУ. Следует отметить, что

предмет исследования – это структура иерархии системы отображения, поэтому и решение ЛПР также следует относить к внешним условиям или к внешней среде, считая, что иерархия осуществляется только лишь по заданному набору групп элементов. Таким образом, задача оптимизации структуры системы отображения решается отдельно от остальных задач управления. Такой подход позволит исследовать структурные явления «сами по себе» и будет способствовать построению общей модели, оптимальной с точки зрения восприятия управления, системой отображения.

Информацией о внешней среде, известной к началу определенного момента времени t , считаем наборы групп, определенные выражением (3).

Динамикой внешней среды назовем новые наборы групп ЭОУ, определенные выражением: $f^{(t+1)} = \{f_1^{(t+1)}, f_2^{(t+1)}, f_3^{(t+1)}, K, f_5^{(t+1)}, f_6^{(t+1)}, \dots, f_i^{(t+1)}\}$.

Под структурой будем понимать граф G^l организации заданного внешней средой набора групп. Под l будем понимать количество уровней управления.

Под управлением структурой $\Psi^l = [G^{(t,l)}, (f_1^{(t+1)}, f_2^{(t+1)}, f_3^{(t+1)}, K, f_5^{(t+1)}, f_6^{(t+1)}, \dots, f_i^{(t+1)})]$ будем понимать произвольное отображение, из всего множества графов организации над N_m , текущей структуры и известной информации об изменении внешней среды в структуру на следующем шаге.

Под стоимостью функционирования системы будем понимать величину $P(G^l)$ (трансформируем $P(G)$ из выражения (1)).

Стоимость реорганизации системы рассмотрим на примере реорганизации группы f (не учитывая временной интервал). Под стоимостью реорганизации группы f_1 в группу f_2 будем понимать величину $\rho(f_1, f_2) = \rho_1(N_m) + \rho_2(N_m)$, где $\rho_1(N_m)$ – заданная стоимость исключения объединенного элемента N_m из группы f_1 , а $\rho_2(N_m)$ – заданная стоимость включения объединенного элемента N_m в группу f_2 .

Введем понятие скорости изменения внешней среды. Под ней будем понимать величину S , равную количеству новых групп, появляющихся в наборе f^t в течение единицы времени, и количеству старых групп, которые удаляются из набора в течение единицы времени.

Результат управления Ψ^l информационной моделью АСУ тактического уровня в каждый момент времени t складывается из затрат на функционирование информационной модели, определяемых функционалом $P(G^l)$ и затрат на реструктуризацию $\rho(f_1, f_i)$ и зависит от динамики внешней среды и от управления, определяющего структуру информационной модели АСУ:

$$R(\Psi^l) = P(G^l) + \rho(f_1, f_i). \quad (4)$$

Определение условий перехода от статических моделей к динамическим

Говоря об информационных моделях АСУ в статике, достаточно сказать о поиске оптимальной структуры с наименьшим функционалом стоимости среди некоторого множества альтернатив, т.е. об оптимальной иерархии. Ключевым моментом при определении статической информационной модели является выбор функционала. Для различных АСУ накоплен огромный эмпирический материал, позволяющий определить некоторые агрегированные параметры структуры информационной модели. Данные разработки позволяют в самом общем виде сравнивать некоторые «типичные» структуры информационных моделей АСУ и выбирать из них наиболее подходящие для конкретной задачи.

При переходе от статических моделей АСУ к динамическим будем считать, что искомым функционал состоит из суммы стоимостей функционирования и реорганизации системы, т.е. затратам в течение некоторого интервала времени. Можно сказать, что если ситуация в системе остается неизменной, то достаточно минимизировать затраты на функционирование для получения наиболее эффективной системы и информационная модель

сводится к статической. Если же ситуация изменяется, то старая структура информационной модели АСУ может не отвечать новым требованиям и появится необходимость в ее реструктуризации, которая неизбежно повлечет за собой затраты на перестроение. И уже в этом случае информационная модель системы носит динамический характер и оптимальной будет модель, требующая меньших затрат на перестроение.

Под условием перехода от статической информационной модели АСУ к динамической, будем понимать условия, создаваемые внешней средой и характеризующиеся высокой скоростью изменения. Под высокой скоростью будем понимать такую скорость s , при которой временные затраты на реструктуризацию информационной модели, обусловленные появлением группы f_1 будут превышать временной интервал появления новой группы f_2 .

Нахождение оптимальной иерархической структуры информационной модели АСУ

Оценивая сложность нахождения оптимальной иерархической структуры информационной модели АСУ с помощью переборного алгоритма, достаточно сказать, что переборный алгоритм становится крайне трудоемким, с точки зрения вычислительного процесса для нахождения значения функционала, уже начиная с количества элементов N_m в упорядочиваемой группе равного одиннадцати.

Поэтому очевидный интерес представляют вопросы построения эвристических алгоритмов меньшей вычислительной сложности. Данные алгоритмы, возможно, будут давать сколь угодно большую погрешность, однако их все же можно использовать для конкретного функционала после предварительного тестирования.

Для поиска оптимальной иерархической структуры подсистемы отображения АСУ достаточно найти ее оптимальную организацию на множестве N_m . Иными словами, задача об оптимальной иерархии трансформируется в задачу об оптимальной организации.

Предположим, что к началу единицы времени t известно, какой набор групп объединенных элементов f^t нужно организовать, и какие наборы групп нужно было организовать на протяжении предыдущих единиц времени. То есть известна «история» изменений.

Оптимальное управление, как говорилось выше, минимизирует средние затраты на функционирование и на реструктуризацию системы на протяжении конечного числа единиц времени t . Оптимальное управление зависит от динамики внешней среды, в отношении которой, как правило, имеется некоторый прогноз или вероятностное распределение, позволяющее достаточно приблизительно, в среднем, наметить верное направление оптимизации. Оптимальным в среднем управлением назовем управление Ψ^l , минимизирующее средний результат управления (4), т.е.

$$\min R(f_1^{(t+1)}, f_2^{(t+1)}, f_3^{(t+1)}, K, f_5^{(t+1)}, f_6^{(t+1)}, \dots, f_i^{(t+1)}, \Psi^l),$$

$$\text{где } R(f_1^{(t+1)}, f_2^{(t+1)}, f_3^{(t+1)}, K, f_5^{(t+1)}, f_6^{(t+1)}, \dots, f_i^{(t+1)}, \Psi^l) = R(\Psi^l) = P(\Psi^l) + \rho(\Psi^l) \quad (5)$$

средний результат управления, где $P(\Psi^l)$ – затраты на функционирование информационной модели, а $\rho(\Psi^l)$ – затраты на реорганизацию информационной модели. Математическое ожидание динамики внешней среды предполагается известным на уровне его закона распределения.

Величина $P(\Psi^l)$ из выражения (5) очевидно не зависит от скорости изменения внешней среды, так как для всех временных интервалов, все возможные организуемые наборы объединенных групп ЭОУ будут иметь заранее определенную мощность и структуру пересечения друг с другом.

На рис. 3 изображены эмпирические зависимости $P(\Psi^l)$ и $\rho(\Psi^l)$ от l при различных s для структуры с набором из тридцати объединенных ЭОУ с одиннадцатью возможными уровнями иерархии управления, и мощностью одного набора ЭЭУ равную двенадцати, рассмотрен временной интервал равный тридцати периодам возможного появления новых

наборов групп (аналог периодов обновления информации на экране автоматизированного рабочего места ЛПР). Рассмотрены случайные наборы из десяти случайных групп. Вероятность появления любой из них одинакова [4]. При минимальной скорости изменения внешней среды, набор организуемых групп меняется один раз за t , при максимальной скорости тридцать раз.

Параметры, при которых проводился эксперимент, соответствуют функционированию подсистемы отображения АСУ в режиме боевой работы с высоким коэффициентом напряженности для ЛПР.

Составляющая $\rho(\Psi^l)$ из выражения (5) значительно трансформируется при увеличении скорости изменения внешней среды. Характерно, что максимальный рост затрат на реструктуризацию управления возникает при переходе от наиболее простой (веерной) организации, к организации, которая имеет два уровня управления. При дальнейшем увеличении l рост затрат на перестроение замедляется. Однако совершенно точно прослеживается тот факт, что с увеличением скорости изменения внешней среды, затраты на реорганизацию управления значительно увеличиваются, увеличение на порядок одного приводит к увеличению на порядок другого.

Однако характер изменения кривой $P(\Psi^l)$ свидетельствует об обратном, так как при переходе от веерной организации к двухуровневой приводит к максимальному уменьшению затрат на функционирование. В дальнейшем поведение кривой говорит об ослаблении данного эффекта. Таким образом, кривые $P(\Psi^l)$ и $\rho(\Psi^l)$ ведут себя в некотором смысле противоположным образом при увеличении либо уменьшении количества уровней управления.

Для поиска оптимального управления необходимо найти компромисс или точку пересечения кривых таким образом, чтобы либо минимизировать значение среднего результата управления (5) в конкретной ситуации, либо минимизировать нагрузку ЛПР, выбирая в качестве целевой функции минимум затрат на функционирование $\rho(\Psi^l)$.

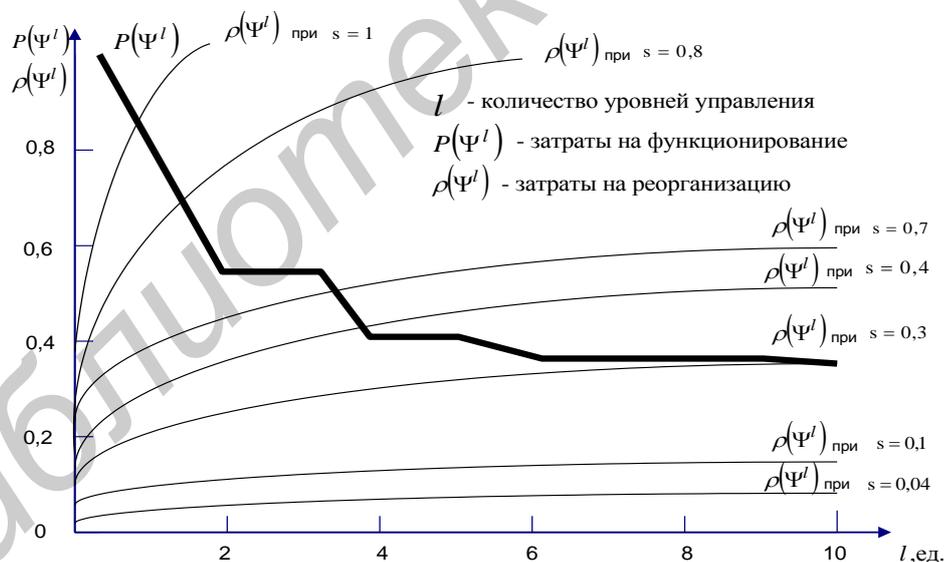


Рис. 3. Зависимости $P(\Psi^l)$ и $\rho(\Psi^l)$ от l при разных s

Из рис. 3 можно сделать следующий вывод: при жестких (интенсивных) изменениях внешней среды выгодно поддерживать простую (веерную) организацию системы, усложняя ее по мере смягчения внешних воздействий (увеличивая число уровней иерархии управления).

Качественно это утверждение соответствует тому, что в нестабильной внешней среде могут «выживать» лишь организационные системы с максимально простой структурой за счет быстрой приспособляемости, в стабильной же среде наоборот доминируют системы со сложной иерархической структурой за счет их высокой эффективности.

Заключение

Динамическая оптимизация информационной модели АСУ в первую очередь связана с проблемой выбора оптимального числа уровней иерархии управления элементами модели в зависимости от внешних условий. Данная проблема обсуждается в большинстве работ лишь на качественном уровне.

Использование предложенного способа нахождения количества иерархических уровней управления информационной моделью при ее построении характеризуется оптимальным информационным балансом, с точки зрения загруженности ЛПР, соответствием задачам и возможностям ЛПР по эффективной реализации им своих функций.

Использование способа повысит «живучесть» АСУ в ситуациях, связанных с высокой нагрузкой ЛПР, например, при больших плотностях налета и повысит качество управления за счет оптимизации иерархической структуры подсистемы отображения. Позволит построить информационную модель, отличающуюся оптимальной организацией и использованием интерфейса подсистемы отображения, что в условиях динамично изменяющейся боевой обстановки позволит оператору успешно ликвидировать возникающие конфликтные ситуации.

Результаты, полученные авторами, в дальнейшем, могут быть использованы как часть общей методики проектирования информационных моделей АСУ.

APPROACH TO REALIZATION OF INFORMATION MODEL OF THE SITUATION IN MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM OF THE TACTICAL LINK

D.I. RABCHENOK, S.V. KRUGLIKOV

Abstract

The new way, allowing to define quantity of hierarchical levels in management, in relation to information model of an automated control system, and allowing to optimize load of the person making the decision is offered.

Список литературы

1. *Меньков А.В.* Теоретические основы автоматизированного управления: учебник для вузов. М., 2005.
2. *Бурков В.Н., Новиков Д.А.* // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Теория активных систем». Москва, 19–21 ноября 2001 г. С. 12–16.
3. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. М., 1973.
4. *Воронин А.А., Мишин С.П.* Оптимальные иерархические структуры. М., 2003.
5. *Кульба В.В., Микрин Б.В., Павлов Б.В.* Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов. М., 2006.