

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 681.3

О.М. Лепешкин, А.С. Корсунский

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Лепешкин Олег Михайлович, кандидат технических наук, доцент, окончил Ставропольский военный институт связи, докторант Военной академии связи им. С.М. Буденного. Имеет статьи и изобретения в области безопасности информации и разработки методологии оценки функциональной безопасности социотехнических систем на основе среды радикалов для повышения безопасности информационных систем государственного управления, а также передачи информации по беспроводным каналам связи инфотелекоммуникационных систем. [e-mail: lom@stavsu.ru].

Корсунский Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, окончил факультет радиосвязи Ульяновского филиала Военного университета связи, адъюнктуру Военной академии связи им. С.М. Буденного. Ведущий инженер-программист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи и изобретения в области радиоэлектронной защиты, безопасности связи и информации, а также передачи информации по беспроводным каналам связи инфотелекоммуникационных систем. [e-mail: aksspb@mail.ru].

Аннотация

В статье рассматривается задача повышения оперативности функционирования автоматизированной системы управления (АСУ) в условиях применения инфокоммуникационных технологий (ИКТ) за счет оптимизации структуры комплекса информационно-технических средств (КИТС) в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, инфокоммуникационные технологии, оптимизация.

Oleg Mikhailovich Lepeshkin, Candidate of Engineering, Associate Professor; graduated from Stavropol Military Communications Institute; doctoral student at the Military Communications Academy named after S. Budenny; author of articles and inventions in the field of information security and development of methodology for operational security of sociotechnical systems on basis of radical environment in order to improve the security of information systems of public administration. e-mail: lom@stavsu.ru.

Andrey Sergeevich Korsunsky, Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Radio-Communications of Ulyanovsk branch of the Military Communications University; finished his post-graduate studies at the Military Communications Academy named after S. Budenny; lead programmer at Federal Research-and-Production Center 'Research-and-Production Association 'Mars'; author of articles and inventions in the field of radioelectronic protection, communications and information security as well as data transmission through wireless communications channels of infotelecommunication systems. e-mail: aksspb@mail.ru.

Abstract

The article deals with a problem of the increase of the efficiency of the operation of a computer-aided control system under conditions of the use of infocommunication technologies due to the optimization of the structure of a software and hardware system in real time.

Key words: computer-aided control system, infocommunication technologies, optimization.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современный этап развития АСУ характеризуется значительным повышением требований к оперативности управления. Производимая в настоящий момент модернизация АСУ не принесла ожидаемых результатов повышения эффективности управленческой деятельности должностных лиц АСУ. Значительные объемы информации, которые приходится обрабатывать должностным лицам АСУ в процессе поиска оптимальных решений, с одной стороны, и низкая производительность управленческого труда – с другой, создают серьезное противоречие, разрешение которого возможно только при интенсивном освоении ИКТ и организации их применения [1].

Информационно-технические средства (ИТС) вместо того, чтобы повысить оперативность функционирования АСУ, сами порождают новые трудности, а иногда даже влекут за собой увеличение штата обслуживающего персонала. Положение усугубляется тем, что выбор программного обеспечения и аппаратных средств, отличающихся своими техническими и стоимостными показателями, чрезвычайно широк, а научно обоснованные методы сравнения и обоснования их применения требуют совершенствования. Эффективность использования таких систем в АСУ крайне низкая. Поэтому попытки автоматизировать важнейшие функции управления часто приводят к неоправданным временным и стоимостным затратам и далеко не всегда обеспечивают ожидаемый положительный результат.

ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЙ

Развитие современных АСУ на основе ИКТ, применение новых систем связи, реализация модульного принципа построения, разнос КИТС на большой территории, увеличение связности объектов и команд управления приводят к значительному усложнению функций управления, увеличению интенсивности обрабатываемой информации и уменьшению времени принятия решения должностными лицами АСУ [2].

Статистическая обработка данных информационно-обследования АСУ свидетельствует о 5–6-кратных превышениях допустимых значений информационной нагрузки должностных лиц. В связи с этим возникает чрезвычайно важная и актуальная задача поиска путей уменьшения напряженности управленческой деятельности должностных лиц АСУ с одновременным повышением оперативности управления, решение которой невозможно только за счет количественного наращивания ИКТ [1].

Сегодня на первый план выходит задача оптимального сочетания средств ИКТ со средой их применения, в частности в составе КИТС АСУ. Поэтому использование ИКТ с применением методов компьютерного моделирования в оптимизации структуры КИТС, обеспечивающее повышение оперативности сбора, обобщения, анализа информации о состоянии системы управления и своевременное принятие на ее основе обоснованных решений, является актуальной задачей совершенствования АСУ.

ОПЕРАТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Исследование оперативности функционирования АСУ является сложной задачей по целому ряду причин. Во-первых, из-за особенностей процесса управления, многообразия связей между самой АСУ и внешней средой, большого количества различных факторов, воздействующих на нее, не позволяющих использовать существующий или создать адекватный проблеме формальный аппарат. Во-вторых, из-за несоответствия временных характеристик получения и использования информации. Как следствие, не выполняются условия инвариантности информационных процессов. Действительно, все управляющие воздействия осуществляются на основе текущего представления информации, а оно, в свою очередь, определяется динамикой развития этих же управленческих процессов. Это та граница, которую невозможно учесть с помощью существующих в настоящее время формальных методов оценки качества систем.

Любая структура КИТС АСУ может быть представлена в виде [2]:

$$S_f = \{r_p, e_\xi, b_j, d_i, k_m, \|h_{j-l,j}\|\}. \quad (1)$$

Тогда задача оптимизации структуры КИТС АСУ будет состоять в том, чтобы из множества ИТС $D = (d_i)$, $i = \overline{1, I}$, обеспечивающего выполнение технологических операций $E = (e_\xi)$, $\xi = \overline{1, \Delta}$, образующих законченный цикл преобразования информации $B = (b_j)$, $j = \overline{1, J}$ на множестве функций управления $R = (r_l)$, $l = \overline{1, L}$, и характеризующегося множеством параметров $K = (k_m)$, $m = \overline{1, M}$ и матрицей смежности $\|h_{j-l,j}\|$, найти такую структуру $S_o \subset S$, которая максимизирует функцию ценности информации $G(S)$, т. е. требуется найти:

$$G(S_o) = \max_{S_o \subset S} G \left(S \{r_l, e_\xi, b_j, d_i, k_m, \|h_{j-l,j}\|\} \right). \quad (2)$$

Работа АСУ в реальном масштабе времени означает, что поступившая в систему информация должна быть переработана в течение заданного интервала времени с тем, чтобы результат был получен к моменту выдачи необходимых данных или управляющих воздействий. При этом информация не может поступить в АСУ раньше определенного момента времени. Поэтому реализация информации, а следовательно, и размер получаемого от этого эффекта представляют собой функцию времени с несовпадающими характеристиками.

Для оценки оперативности функционирования АСУ используется коэффициент оперативности управления [2]:

$$K_w = 1 - \frac{T_p}{T_{oon}}, \quad (3)$$

где T_p – длительность цикла управления (время технологического цикла преобразования информации в АСУ);

T_{oon} – допустимая длительность цикла управления (допустимое время преобразования информации управления, по истечении которого она теряет свое значение для АСУ, т. е. $1 > K_w \geq 0$).

С учетом того, что в общей технологии информационного процесса рассматриваются отдельные, независимые друг от друга фазы или циклы преобразования информации J и каждая фаза общего процесса включает множество вершин, которые соответствуют некоторым группам ИТС I , объединенным с точки зрения однородности выполняемых технологических операций, коэффициент оперативности управления можно представить как:

$$K_W = 1 - \frac{\sum_i \sum_j T_{p_{ij}}}{T_{\text{дон}}}$$

где p_{ij} – цикл преобразования информации в АСУ i -м ИТС на j -й фазе.

Управленческие задачи в АСУ можно выполнить без или с применением ИТС:

$$T_p = K_{\text{оз}}(T_p^A + T_p^H),$$

где $K_{\text{оз}}$ – коэффициент оперативной готовности ТС, поэтому выражение можно записать в виде:

$$K_W = 1 - \frac{\sum_i \sum_j K_{\text{оз}}(T_{p_{ij}}^A + T_{p_{ij}}^H)}{T_{\text{дон}}}$$

В процессе информационного обмена в АСУ на оперативность ее функционирования оказывает влияние структура КИТС, непосредственно воздействующая на производительность $\eta_{p_{ij}}$ АСУ и степень автоматизации управленческой деятельности должностных лиц АСУ на каждой j -й фазе преобразования информации в зависимости от используемого i -го ИТС:

$$\eta_{p_{ij}} = \frac{V_{p_{ij}}}{T_{p_{ij}}}; \quad \gamma_{ij} = \frac{V_{p_{ij}}^A}{V_{p_{ij}}}, \quad (4)$$

где $V_{p_{ij}}$ – совокупный объем выполненных работ на j -й фазе;

$V_{p_{ij}}^A$ – объем работ, выполненных i -м ИТС на j -й фазе;

γ_{ij} – коэффициент автоматизации управленческой деятельности должностных лиц АСУ с использованием i -го ИТС на j -й фазе.

Тогда с учетом выражений (1) и (4), выражение (3) можно записать в виде:

$$K_W(S_f) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (\tilde{T}_{p_{ij}}^H [\gamma_{ij} \cdot \xi_{ij} + (1 - \gamma_{ij})])}{T_{\text{дон}}}, \quad (5)$$

где

$$\tilde{T}_{p_{ij}}^H = \frac{K_{z_{ij}} P_{\text{об}} V_{p_{ij}}}{\eta_{p_{ij}}^H}; \quad \xi_{ij} = \frac{\eta_{p_{ij}}^H}{\eta_{p_{ij}}^A},$$

$K_{z_{ij}}$ – коэффициент готовности i -го ИТС на j -й фазе;

$P_{\text{об}}$ – вероятность безотказной работы i -го ИТС на

j -й фазе;

$\tilde{T}_{p_{ij}}^H$ – усредненное время преобразования информации

i -м ИТС на j -й фазе;

$\eta_{p_{ij}}^A$ – производительность i -го ИТС на j -й фазе;

$\eta_{p_{ij}}^H$ – производительность должностных лиц без

использования i -го ИТС на j -й фазе;

ξ_{ij} – коэффициент относительной производительности i -го ИТС на j -й фазе, при условии выполнения следующих ограничений: $1 \geq \gamma_{ij} \geq 0$, $\eta_{p_{ij}}^H \neq 0$, $\eta_{p_{ij}}^A \neq 0$.

Полученное выражение (5) связывает основные качественные показатели АСУ (объем передаваемой информации, производительность, коэффициент готовности, вероятность безотказной работы) со структурными особенностями КИТС и позволяет произвести количественную оценку коэффициента оперативности управления всей системы.

Если допустить, что в некоторый момент времени степень автоматизации управленческой деятельности должностных лиц АСУ равна нулю или единице, что соответствует граничным условиям функционирования АСУ, то зависимость значения K_W от длительности цикла управления T_p (при $\xi = 0, 1$) будет иметь следующий вид (рис. 1).

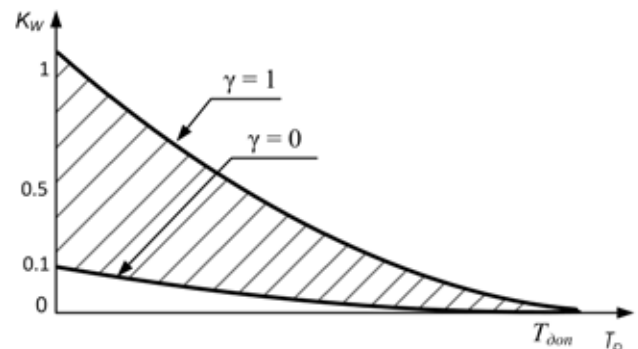


Рис. 1. График зависимости значения коэффициента оперативности от длительности цикла управления

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Повышение степени автоматизации управления позволяет значительно увеличить оперативность управления. Так, например, увеличение степени автоматизации АСУ с 0,6 до 0,7 повышает оперативность управления в 1,42 раза.

2. Длительность цикла управления закономерно зависит от производительности в АСУ. Действительно, с увеличением производительности АСУ длительность цикла управления уменьшается. Так, например, с ростом относительной доли производительности ИТС АСУ с 0,15 до 0,3 цикл управления увеличивается в 1,53 раза.

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Существенно упростить решение поставленной выше задачи можно с помощью метода «вложенных отношений», основанного на идее последовательного уточнения модели предпочтений (принцип непротиворечивости и содержательности дополнительных допущений) [2]. Применение данного метода, использующего различные математические методы и неформальные процедуры на разных этапах решения задачи, с учетом полученного выражения (5) позволило разработать методику и алгоритм оптимизации структуры КИТС АСУ в реальном масштабе времени, представленный на рисунке 2.

Методика предназначена для разработки научно-обоснованных рекомендаций по повышению эффективности функционирования АСУ в условиях применения инфокоммуникационных технологий за счет оптимизации структуры КИТС АСУ.

Цель методики заключается в том, чтобы из комплекса информационно-технических средств управления, обеспечивающих выполнение технологических операций и образующих законченный цикл преобразования информации, найти такую структуру, которая реализует оптимальное соотношение между оперативностью, устойчивостью и стоимостью при заданных ограничениях на непрерывность и скрытность АСУ.

Разработанная методика включает три самостоятельных этапа.

На первом этапе на основании метода безусловного предпочтения для решения поставленной задачи среди множества параметров $K = (k_m)$ в выражении (2) выделим те, которые в наибольшей степени характеризуют функцию ценности информации управления G . Причем ценность информации управления определяется тем эффектом, который достигается в результате ее использования при организации процесса управления. Исходя из этого, функция ценности информации управления $G(\theta, \varphi, T, C)$ будет определяться прежде всего такими показателями качества информации, как достоверность θ , полнота φ , время преобразования информации в АСУ T и стоимость C .

Эти параметры были приняты в качестве частных показателей, поскольку они достаточно полно отражают специфику функционирования АСУ и их можно рассчитать с помощью известных методов. Так как частные показатели и сопровождающие их потоки информации слабо коррелированы между собой, а полученные с их помощью оценки независимы друг от друга, то такой подход сохраняет возможность получения оптимального значения общего критерия эффективности:

$$G(S_o) = \max_{S_o \subset S} G(S).$$

Тогда задача поиска на множестве возможных структур КИТС АСУ S множества допустимых структур $S' \subset S$ может быть представлена в виде:

$$S' = \{ \theta_{ij}; \varphi_{ij}; T_{ij}; C_{ij} \}, \text{ при ограничениях: } \theta_{ij} \geq \theta_{don}, \\ \varphi_{ij} \geq \varphi_{don}, C_{ij} \leq C_{don}, T_{ij} \leq T_{don}.$$

На втором этапе из множества S' формируем подмножество оптимальных по Парето доминирующих структур $S'' \subset S' \subset S$.

В соответствии с данным подходом среди множества параметров, определяющих функцию ценности информации управления $G(\theta, \varphi, T, C)$, выделим время преобразования информации в АСУ T и стоимость C , которые имеют явно выраженную конфликтность при повышении оперативности функционирования АСУ.

Следовательно, в классе вариантов структур КИТС, имеющих одинаковые показатели достоверности и полноты информации, задача сводится к изучению влияния стоимости и времени преобразования информации на ее ценность. При этом анализу подлежат только те варианты структур КИТС, которые удовлетворяют ограничениям по предельно допустимым значениям стоимости и времени преобразования информации для данного класса задач, то есть:

$$\sum_i^I \sum_j^J C_j X_{ij} + \sum_i^I \sum_j^J \sum_\lambda^\Lambda C_\lambda X_{ij\lambda} \leq C_{don}; \\ \sum_i^I \sum_j^J \sum_\lambda^\Lambda T_p X_{ij\lambda} \leq T_{don},$$

где C_{don} – допустимые материальные затраты на КИТС;

C_j – затраты на разработку и эксплуатацию ИТС j -й фазы;

T_{don} – допустимое время обработки информации;

C_λ – затраты на обработку n -го элемента информации из множества $V = (v_\lambda); \lambda = \bar{1}, \Lambda;$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-я фаза оборудована } i\text{-м ИТС;} \\ 0 & \text{– в противном случае;} \end{cases}$$

$$X_{ij\lambda} = \begin{cases} 1, & \text{если } \lambda\text{-й элемент информации} \\ & \text{обрабатывается в } j\text{-й фазе } i\text{-м ИТС;} \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$$

Установим следующие допущения: будем считать, что функция ценности информации является не возрастающей на интервале времени $0 \leq t \leq T$; технологический процесс обработки информации допускает деление его на такие самостоятельные части (фазы), которые обеспечивают выполнение условия аддитивности; варианты структур КИТС могут быть представлены в виде марковских цепей, то есть вероятность любого состояния системы в будущем зависит только от состояния в настоящий момент и не зависит от того, каким образом система пришла в это состояние.

Тогда, на основе применения метода динамического программирования, основу которого составляют многошаговые процессы принятия решений, выбор элемента структуры КИТС на $(j-1)$ -й фазе производится таким образом, чтобы он совместно с уже выбранными элементами на j -й фазе обеспечивал бы выполнение условий:

$$T'_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \Delta t_{ij}(S_{i,j-1}) \leq T_{jC_{min}}$$

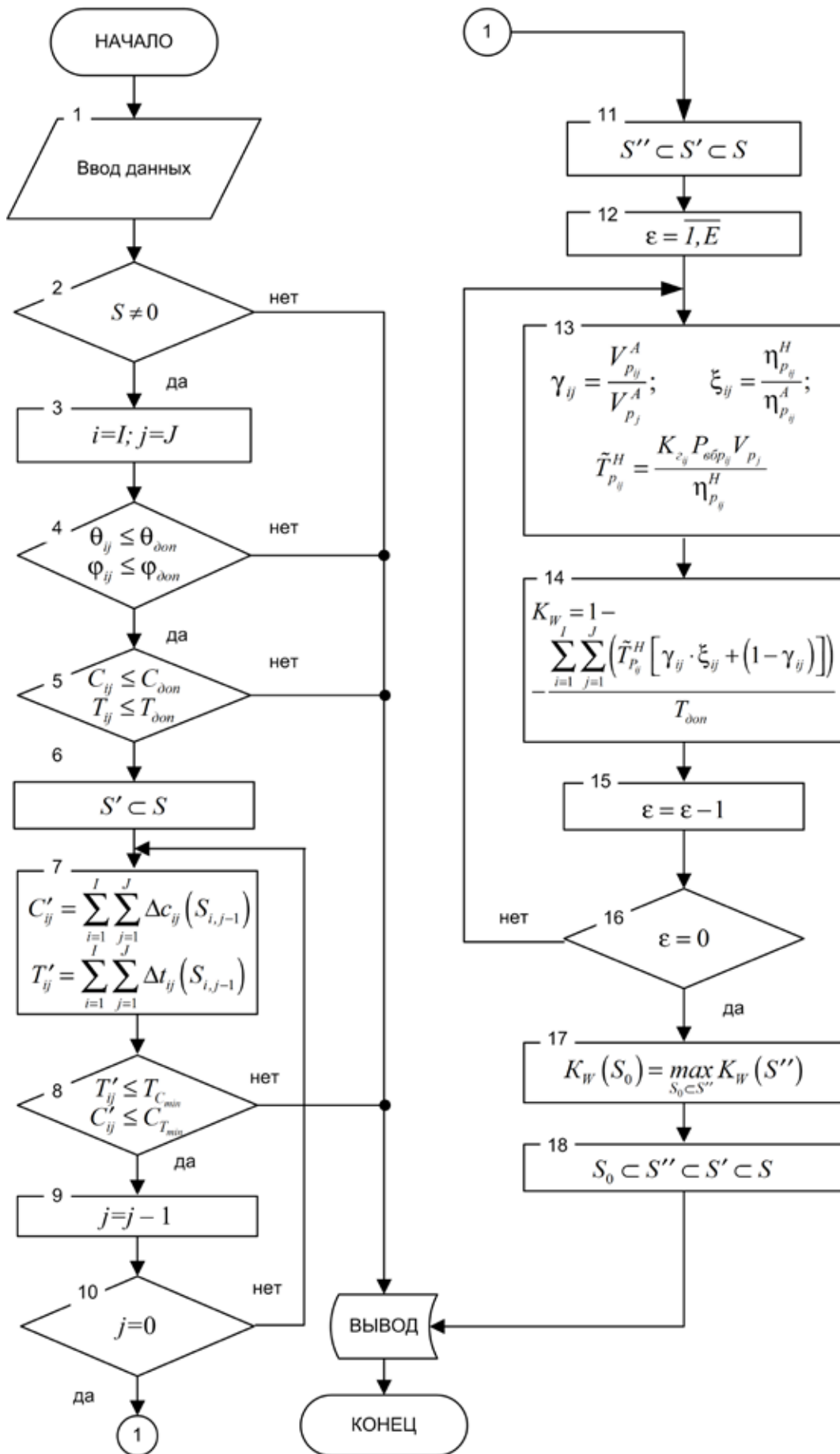


Рис. 2. Обобщенная блок-схема алгоритма оптимизации структуры КИТС АСУ

Форма для ввода количества фаз обработки и количества технических средств на каждой фазе

Технических средств	1	5
8	2	2
Фаза 1	3	7
	4	9
Время	5	8
Устойчивость	6	5
Ввод	7	3
Время	8	2
Выход		

Форма для расчета допустимых и оптимальных структур КИТС АСУ

Форма для задания параметров времени и устойчивости для каждого средства

Форма выбора оптимальной структуры КИТС АСУ

Рис. 3. Формы окон программной реализации алгоритма оптимизации структуры КИТС АСУ

$$C'_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \Delta c_{ij}(S_{i,j-1}) \leq C_{jT_{min}}$$

где Δt_{ij} , Δc_{ij} – приращение функции выигрыша по стоимости и времени обработки информации i -м ИТС на j -й фазе;

$T_{jC_{min}}$ – время преобразования информации при минимальных затратах на j -й фазе;

$C_{jT_{min}}$ – стоимость обработки информации при минимальном времени обработки на j -й фазе.

В результате такого последовательного прохождения всех этапов от конца к началу преобразования информации должно быть найдено максимальное значение эффекта на всех шагах и соответствующее ему начальное состояние процесса, которое должно принадлежать области доминирующих структур КИТС S'' . Для того чтобы построить множество S'' в окончательном виде, необходимо снова пройти всю последовательность этапов от начала к концу, принимая найденные начальные состояния в качестве отправных точек.

На третьем этапе с использованием метода прямого перебора значений коэффициента оперативности $K_w(S_p)$ по формуле (5) на множестве доминирующих структур S'' выделяем оптимальный вариант структуры КИТС АСУ – $S_o \subset S'' \subset S' \subset S$, обеспечивающий:

$$K_w(S_o) = \max_{S_o \subset S''} K_w(S'')$$

при условии выполнения следующих ограничений:

$$I \geq \gamma \geq 0, \quad \eta_p^H \neq 0, \quad \eta_p^A \neq 0.$$

В соответствии с таким подходом был разработан алгоритм оптимизации структуры КИТС АСУ (рис. 2).

Данный алгоритм доведен до программной реализации, позволившей получить количественные оценки оперативности решения задач управления АСУ в реальном масштабе времени. Формы программных окон представлены на рисунке 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученный в работе результат дает возможность повысить оперативность функционирования АСУ в условиях применения ИКТ за счет оптимизации структуры КИТС в реальном масштабе времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радионов В.В. Автоматизированные системы управления в условиях применения информационных технологий // Системы управления, навигации и связи. – 2008. – Вып. 4 (8) – С. 152–154.
2. Малофей О.П., Радионов В.В., Ряднов С.А. Оптимизация структуры комплекса информационно-технических средств автоматизированной системы управления сетей связи специального назначения // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – Т. 5, № 3. – С. 97–99.