

## К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

### **Токарев Максим Сергеевич,**

старший преподаватель кафедры  
Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
tokarev\_1978@inbox.ru

### **Негодин Дмитрий Валерьевич,**

преподаватель кафедры  
Военно-космической академии  
имени А.Ф.Можайского,  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
nnddv@mail.ru

### **АННОТАЦИЯ**

Эффективное применение разнородных сил и средств в современных условиях невозможно без автоматизации процессов управления во всех звеньях системы управления. Автоматизированные системы управления в настоящее время функционируют в условиях лавинообразного увеличения объема входной информации, при наличии объективной необходимости её обработки в реальном масштабе времени. Анализ практики применения автоматизированных систем управления свидетельствует о постоянном возрастании сложности их внутренних подсистем; увеличении числа взаимодействующих и управляемых объектов; существенном влиянии обратных связей на процесс функционирования системы; жестких требований к тактикотехническим характеристикам компонентов. Сложность обработки информации в указанных условиях приводит к неполному соответствию функциональных свойств автоматизированной системы управления заданным значениям. Оценка этих свойств возможна с использованием показателей, основными из которых являются оперативность и результативность автоматизированной системы управления. Достижение требуемых значений показателей оперативности и результативности автоматизированной системы управления существенно зависит от эффективного использования имеющихся ресурсов системы, задействования резервов (ресурсов, не находящихся применения в силу ограниченных возможностей традиционных методов); надежного функционирования самих средств (комплексов средств автоматизации, центров коммутации данных, информационных каналов, другого специального оборудования). Показано, что топологическая оптимизированная информационная подсистема автоматизированной системы управления, позволяющая в режиме реального времени производить контроль передачи заданного количества информации с требуемым качеством и осуществлять управление структурой информационной подсистемы позволит существенно повысить эффективность применения (в частности, повысит безотказность и ремонтпригодность компонентов) и, тем самым, позволит увеличить значения показателей оперативности и результативности автоматизированной системы управления.

**Ключевые слова:** информационная система; искусственная нейронная сеть; интеллектуальная система; распределение заявок; автоматизированная система управления.

**Для цитирования:** Токарев М. С., Негодин Д. В. К вопросу оптимизации топологической структуры информационной подсистемы автоматизированной системы управления // I-methods. 2018. Т.10. №. 1. С.45-52.

### Введение

Информационная подсистема (ИП) автоматизированной системы управления (АСУ) в общем виде включает в себя подсистему общей эксплуатации (ПОЭ), предназначенную для приема входных воздействий (заявок), их обработки и передачи назначенному потребителю и подсистему автоматизированного технического обслуживания (ПАТО), решающую задачу управления внутренними параметрами.

В свою очередь, ПОЭ можно разделить на систему доставки (СД) и систему эксплуатации (СЭ), включающие в себя подсистемы контроля и диагностирования (ПКД).

В практическом смысле цель функционирования ИП АСУ заключается в эффективном использовании имеющихся ресурсов ПОЭ в соответствии с потребностями по обмену данными

Процесс функционирования ИП АСУ представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Процесс функционирования ИП АСУ

Внешняя среда воздействует на ИП путем задания требований от источников информации на обработку заявок на обслуживание, а так-же задания других внешних воздействий различного характера (требований на обработку заявок на поставку запасного имущества и принадлежностей, контрольно-измерительных приборов, материалов, помеховых воздействий).

Влияние внутренних факторов можно описать потоком отказов различной природы, схемотехническими, алгоритмическими и программными ошибками, ошибками персонала.

Использование имеющихся ресурсов ИП АСУ происходит в соответствии с существующими алгоритмами их распределения, исходные данные в которые поступают в виде замеров, произведенных подсистемой контроля и диагностирования (ПКД).

Применение ПКД позволяет существенно ускорить диагностику компонентов на местах функционирования, снизить затраты на запасное имущество и принадлежности. Развитие ПКД привело к появлению автоматизированной системы технического обслуживания (АСТО).

Наличие в АСУ системы АСТО позволяет оперативно осуществлять управление компонентами ИП, выбирать наиболее эффективный в данный момент времени вариант её топологической структуры. Однако, с другой стороны, наличие системы АСТО усложняет топологию ИП, вносит дополнительные компоненты и связи между ними.

В большинстве работ, посвященных созданию АСУ [1,2,5,6,7,9] вопросы её оптимизации рассматриваются отдельно и без учета тех задач, которые стоят перед АСТО. Наличие АСТО позволяет осуществлять автоматический переход от не рационального в данный момент времени варианта топологической структуры ИП (не обеспечивающей заданных показателей и результативности АСУ) к структуре, отвечающим этим требованиям. Решение данной задачи возможно за счет перераспределения существующих ресурсов, изменения приоритета обслуживания, уменьшения состава выполняемых функций, изменения конфигурации системы.

Опыт функционирования АСТО [6,9] позволяет выделить ряд основных особенностей её функционирования:

- в АСТО предусмотрена возможность управления текущими процессами как в автоматическом, так и в ручном режиме (обслуживающим персоналом);

- в ней обеспечивается автоматический контроль заданных параметров и изменение конфигурации системы;
- контроль состояния элементов ИП с помощью АСТО позволяет обнаруживать неисправности в масштабе времени, близком к реальному;
- централизованное управление ИП с использованием АСТО предполагает наличие дополнительных специализированных рабочих мест на общем пункте управления.

**Высокая степень автоматизации процессов управления параметрами ИП АСУ и, как следствие, быстрое восстановление работоспособности её компонентов является одной из важнейших особенностей функционирования и важность оптимизации топологической структуры Выход из строя отдельного устройства или элемента ИП, не должно оказывать значительного влияния на эффективность функционирования всей ИП.**

АСТО в настоящее время совершенствуется, увеличивается количество её компонентов, усложняются принципы и алгоритмы её функционирования. При этом результат функционирования АСТО имеет всё большее значение для функционирования ИП АСУ.

На основе проведенного анализа исследований по данной тематике, авторами сделан вывод, что оптимизация топологии ИП с учетом структуры АСТО позволит максимизировать значения показателей оперативности и результативности АСУ, и тем самым, повысить эффективность её функционирования при одновременной минимизации числа компонентов системы, эксплуатационных и капитальных затрат.

**Постановка задачи**

Оптимизация топологии ИП с учетом АСТО возможна путем многократного построения промежуточных вариантов топологической структуры и их видоизменения с целью последующего улучшения. При этом заданная исходная модель оптимизируется с помощью метода целенаправленного перебора. Исходная структура ИП оптимизируется путем дополнения или исключения отдельных ребер графа ИП из множества возможных [9, 10, 13]. Каждый этап оптимизации сопровождается расчетом стоимостного критерия и учетом поставленных ограничений. Топологическая структура полученного варианта ИП с учетом АСТО зависит от структуры исходной ИП, проводимых процедур и очередности проведения этапов оптимизации [3, 9].

Оптимизированная топологическая структура ИП с учетом АСТО в конечном итоге задается пространственным размещением компонентов ИП и связей между ними.

**Основная часть**

Исходными данными для оптимизации топологической структуры ИП с учетом АСТО могут быть:

- 1) координаты и количество центров коммутации данных (ЦКД):

$$\{N_i\} = \{(x_i, y_i)\}, i = 1, 2, \dots, n \tag{1}$$

- 2) матрица расстояний между  $i - m$  и  $j - m$  ЦКД:

$$|l_{ij}|, i, j = 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

- 3) матрица объёма передаваемых данных между  $i - m$  и  $j - m$  ЦКД:

$$|M_{ij}|, i, j = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

- 4) набор  $N_k$  типовых информационных каналов:

$$\{k_u^k, q_i^k\}, i = 1, 2, \dots, N_k \quad (4)$$

5) набор  $N_{цкд}$  типовых ЦКД:

$$\{k_{z_i}^{цкд}, \mu_{восст_i}^{цкд}, \mu_{обсл_i}^{цкд}\}, i = 1, 2, \dots, N_{цкд} \quad (5)$$

где:  $k_{u_i}^k$  – коэффициент исправности  $i$ –ГО информационного канала;

$q_i^k$  – пропускная способность  $i$ –ГО информационного канала;

$k_{z_i}^{цкд}$  – коэффициент исправности  $i$ –ГО центра коммутации данных;

$\mu_{восст_i}^{цкд}, \mu_{обсл_i}^{цкд}$  – условная плотность восстановления работоспособности и производительность  $i$ –ых центров коммутации данных;

6) набор  $N_{р.м}$  дополнительных рабочих мест АСТО различающихся составом средств тестового диагностирования на общих пунктах управления:

$$Q_i^{р.м}, i = 1, 2, \dots, N_{р.м} \quad (6)$$

Требуется определить:

1) топологию исходной ИП  $A$ ;

2) для выбора варианта маршрутизации:

- распределение потоков данных в информационных каналах ИП:

$$\{\rho_{ij}\}, (i, j) \in A \quad (7)$$

- распределение пропускной способности информационных каналов:

$$\{\tilde{q}_{ij}^k\}, i, j \in A \quad (8)$$

3) производительность ЦКД:

4)

$$\{\tilde{\mu}_{обсл_i}^{цкд}\}, i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

5) число  $B_1, B_2, \dots, B_{n_y}$  и места размещения  $x_j^T, y_j^T$  дополнительных рабочих мест АСТО на общих пунктах управления:

$$B_1, B_2, \dots, B_{n_y}; \{B_j\} = \{x_j^T, y_j^T\} \quad (10)$$

5) разделение множеств ЦКД на зоны АСТО

$$\beta = \{B_1, B_2, \dots, B_{n_y}\} \quad (11)$$

$$\text{при условии : } n_y - \bigcup_{i=1}^{n_y} B_i = \{1, 2, \dots, n\}; B_i \cap B_j \neq \emptyset; i, j = 1, 2, \dots, n_y, i \neq j$$

с целью минимизации приведенных затрат на ИП в целом:

$$P = P_{\sigma} + P_{\text{сто}} \quad (12)$$

где:  $P_{\sigma}$  – приведенные затраты на исходную ИП (без системы АСТО);

$P_{\text{сто}}$  – приведенные затраты на систему АСТО.

Оптимизацию топологической структуры ИП необходимо проводить в два этапа – на первом этапе оптимизируется топология базовой ИП, а на втором этапе оптимизируется структура ИП с учетом системы АСТО. Конечное решение будет итеративное и использовать информацию, полученную на предыдущем шаге поиска.

Структура системы АСТО на этапе оптимизации учитывается посредством определения значений вероятности включения в топологию ИП информационных каналов, (вероятность включения в топологическую структуру у информационного канала, находящимся на возможно меньшем расстоянии от пунктов управления АСТО будет существенно выше).

Для оптимизации топологии ИП наиболее эффективно применяются так называемые алгоритмы поиска минимальных остовных деревьев (MST — алгоритмы), позволяющие построить ИП, используя минимальные связные (из  $n - 1$  дуги) подграфы исходного потенциального графа связности, так называемые остовные деревья.

Алгоритм Прима [1, 2] позволяет построить минимальный остов постепенно: в начале выбирается произвольная вершина, которая включается в остов, затем на каждом итеративном шаге к текущему остову добавляется наиболее дешевое ребро  $(u, v)$ , соединяющее вершину из остова  $u$  с любой вершиной  $v$  не из остова.

При оптимизации структуры базовой ИП с учетом структуры системы АСТО происходит незначительная модернизация алгоритма, которая будет заключаться в учете помимо найденной эффективной топологии ИП, полученной на предыдущем шаге, структура системы АСТО, а именно: число и места размещения дополнительных рабочих мест АСТО на общих пунктах управления.

Если задать  $\theta_{ij}$  – исходный вес (значимость) линии  $(i, j)$  между ЦКД $_i$  и ЦКД $_j$ , то с помощью неё можно определить предпочтительность включения данной линии в окончательный вариант ИП при учете системы АСТО.

Тогда модернизацию алгоритма можно свести к модификации весов  $\theta_{ij}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$  в следующем виде:

$$\theta_{ij} = \theta_{ij} \frac{M_{m_i} + M_{m_j}}{l_{im_i} + l_{jm_j}} \quad (13)$$

где:  $l_{im_i}, l_{jm_j}$  – расстояние от ЦКД $_i$  (ЦКД $_j$ ) до общего пункта управления, в зону АСТО которого входит ЦКД $_i$  (ЦКД $_j$ );

$M_{m_i}, M_{m_j}$  – показатель, отражающий возможность зоны  $B_i(B_j)$ , в которую входит ЦКД $_i$  (ЦКД $_j$ ).

В процессе поиска наиболее рационального варианта оптимизации необходима проверка ограничения по допустимости образования такой топологической структуры ИП, которая не мо-

жет быть обслужена с заданной эффективностью данной системой АСТО без ее изменения. При этом на каждом этапе получения варианта решения промежуточные решения должны приниматься только в условиях отсутствия необходимости изменения числа и состава зон АСТО и типа общих пунктов управления в них.

При использовании алгоритмов оптимизации для модификации весов линий, варьируемых в некоторой начальной (заданной или автоматически генерированной) структуре ИП, необходимо использовать выражение  $\theta_{ij}$ . При этом для введения линий в сеть можно применять выражение для расчета  $\theta_{ij}$ , а для удаления линий – обратные к  $\theta_{ij}$  значения.

В качестве весов могут выступать веса вида

$$\theta_{ij} = \frac{k_{ij}}{d_{ij}} \quad (14)$$

где  $k$  – путь длины  $k$  между узлами ИП  $i$  и  $j$ ;  $d$  – стоимость линии.

Рассмотренные варианты оптимизации содержат две возможности:

- 1) после каждого этапа оптимизации структуры ИП модифицировать структуру системы АСТО;
- 2) проводить оптимизацию структуры системы АСТО только после нахождения локального минимума в задаче оптимизации структуры ИП.

**Проведенный анализ показывает большую целесообразность применения первого подхода.**

#### **Заключение**

Развитие автоматизированных систем управления объективно связано с повышением их степени автоматизации, усложнением программно-алгоритмического обеспечения, повышением скорости обработки информации в режиме реального времени. Одним из важнейших условий совершенствования АСУ является обеспечение высокой надежности функционирования компонентов информационной подсистемы. Необходимым условием обеспечения надежности является совершенствование в АСУ подсистемы автоматизированной системы технического обслуживания.

В этой связи актуальными являются вопросы оптимизации топологической структуры ИП АСУ, учитывающая наличие АСТО и позволяющей ей осуществлять контроль и управление параметрами ИП.

#### **Литература**

1. Агаян А.А., Захаренко Г.П. Оптимизация структур цифровых сетей связи и технического обслуживания. Ч.1 М: Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов, 1987. 39 с.
2. Агаян А.А., Захаренко Г.П. Оптимизация структур цифровых сетей связи и технического обслуживания. Ч.2 М: Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов, 1987. 39 с.
3. Артыкова А.А., Лешевиц В.К. Использование алгоритма поиска кратчайшего пути при оптимизации топологии сетей связи // Тезисы доклада Республиканской научно-технической конференции «Автоматизированный контроль и повышение эффективности систем» (Ташкент, 3-5 июля 1985 г.). Ташкент, 1985. Ч.1. С. 145-150.
4. Барский А.В. Параллельные информационные технологии. М.: Бином, 2013. 503 с.
5. Балыбердин В.А., Белевцов А.М., Степанов О.А. Оптимизация информационных процессов в автоматизированных системах с распределенной обработкой данных. М.: Технология, 2002. 280 с.
6. Бестугин А.Р., Богданова А.Ф., Стогов Г.В. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей. СПб.: Политехника, 2003. 174 с.
7. Бородакий Ю.В., Боговик А.В., Курносое В.И. и др. Общая теория управления в системах специального назначения. М.: Управление делами Президента РФ, 2008. 400 с.
8. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркулов Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь, 1989. 302 с.

9. Емельянов, С.В. Информационные технологии и вычислительные системы: Вычислительные системы. Математическое моделирование. Прикладные аспекты информатики. М.: Ленанд, 2015. 96 с.
10. Куо Ф.Ф. Протоколы и методы управления в сетях передачи данных. М.: Радио и связь, 1985. 480 с.
11. Кульба В.В., Ковалевский С.С., Шелков А.Б. Достоверность, защита и сохранность информации в АСУ. М.: СИНТЕГ, 2003. 500 с.
12. Павлов А.А., Гриша С.Н., Томашевский В.Н. и др. Основы системного анализа и проектирования АСУ. Киев: Высшая школа, 1991. 367 с.
13. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Построение сетей интегрального обслуживания. Л.: Машиностроение, 1990. 332 с.
14. Стефани Е.П. Основы проектирования АСУ ТП. М: Энергоатомиздат, 1982. 352 с.
15. Шаркашине А.С., Халецкий А.К., Морозов И.А. Оценка характеристик сложных автоматизированных систем. М.: Машиностроение, 1993. 271 с.

## TO THE QUESTION OF OPTIMIZATION TOPOLOGICAL STRUCTURE OF INFORMATION SUBSYSTEM OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM

**Maxim S. Tokarev,**  
St. Petersburg, Russia,  
tokarev\_1978@inbox.ru

**Dmitry V. Negodin,**  
St. Petersburg, Russia,  
nnddv@mail.ru

### ABSTRACT

Effective use of heterogeneous forces and means in the modern conditions is impossible without automation of administrative processes in all links of management system. Automated control systems function in the conditions of the avalanche increase in volume of input information, with objective need of its processing in real time now. The analysis of practice of application of automated control systems confirms continuous increase of complexity of their internal subsystems; increase in number of interacting and managed objects; significant influence of back couplings on process of functioning of system; strict requirements to tactical technical characteristics of components. Processing complexity of information in the specified conditions results in incomplete compliance of the functional properties of an automated control system to the preset values. Assessment of these properties is possible with use of indices, the efficiency and effectiveness of an automated control system are basic of which. Achievement of the required measure values of efficiency and effectiveness of an automated control system significantly depends on effective use of the available resources of system, involvement of reserves (the resources which are not finding applications owing to limited opportunities of traditional methods); reliable functioning of means (complexes of the automation equipment, data switching centers, information channels, other special equipment). It is shown that the topological optimized information subsystem of an automated control system allowing to make in real time monitoring of transmission of the given amount of information with the required quality and to exercise control of information subsystem by structure will allow to increase significantly efficiency of application (in particular, will increase faultlessness and maintainability of components) and, thereby, will allow to increase measure values of efficiency and effectiveness of an automated control system.

**Keywords:** information system; artificial neural network; intellectual system; distribution of requests; automated control system.

### Reference

1. Agayan A.A., Zakharenko G.P. *Optimizaciya struktur cifrovyy`x setej svyazi i texnicheskogo obsluzhivaniya* [Optimization of structures of digital networks of communication and maintenance]. Pt.1. Moscow: Institute of professional development of executives and experts, 1987. 39 p. (In Russian)

2. Agayan A.A., Zakharenko G.P. *Optimizaciya struktur cifrovyyx setej svyazi i texnicheskogo obsluzhivaniya* [Optimization of structures of digital networks of communication and maintenance]. Pt.2. Moscow: Institute of professional development of executives and experts, 1987. 39 p. (In Russian)
3. Artykova A.A., Leshevich V.K. *Ispol'zovanie algoritma poiska kratchajshogo puti pri optimizacii topologii setej svyazi. Tezisy` doklada Respublikanskoj nauchno-texnicheskoj konferencii «Avtomatizirovannyj kontrol` i povys`henie e`ffektivnosti sistem» (Tashkent , 3-5 iyulya 1985 g.)* [Use of a shortest path algorithm by optimization of topology of communication networks] [Theses of the report of the Republican scientific and technical conference "Automated Monitoring and Increase in Efficiency of Systems", on July 3-5, 1985]. Pt.1. Tashkent, 1985. 150 p. (In Russian)
4. Barskij A.V. *Parallelnyye informacionny`e texnologii* [Parallel information technologies]. Moscow: Binomial, 2013. 503 p. (In Russian)
5. Balyberdin V. A., Belevtsov A.M., Stepanov O.A. *Optimizaciya informacionny`x processov v avtomatizirovanny`x sistemax s raspredelennoj obrabotkoj danny`x.* [Optimization of information processes in automated systems with distributed processing of data]. Moscow: Technology, 2002. 280 p. (In Russian)
6. Bestugin A.R., Bogdanova A.F., Stogov G. V. *Kontrol` i diagnostirovanie telekommunikacionny`x setej.* [Monitoring and diagnosing of telecommunication networks]. Saint-Petersburg: Polytechnique, 2003. 174 p. (In Russian)
7. Borodaky Yu.V., Bogovik A.V., Kurnosov V.I., etc. *Obshhaya teoriya upravleniya v sistemax special'nogo naznacheniya.* [The general theory of control in the systems of a special purpose]. Moscow: Presidential Property Management Department of the Russian Federation, 2008. 400 p.
8. Borisov A.N., Alekseev A.V., Merkulov G. V., etc. *Obrabotka nechetkoj informacii v sistemax prinyatiya reshenij.* [Processing of indistinct information in decision making systems]. Moscow: Radio and communication, 1989. 302 p. (In Russian)
9. Yemelyanov, S.V. *Informacionny`e texnologii i vy`chislitel`ny`e sistemy`: Vy`chislitel`ny`e sistemy`. Matematicheskoe modelirovanie. Prikladny`e aspekty` informatiki.* [Information technologies and computing systems: Computing systems. Mathematical simulation. Application-oriented aspects of informatics]. Moscow: Lenand, 2015. 96 p. (In Russian)
10. Kuo F.F. *Protokoly` i metody` upravleniya v setyax peredachi danny`x.* [Protocols and methods of management on the data communication networks]. Moscow: Radio and communication, 1985. 480 p. (In Russian)
11. Kulba V. In, Kowalewski S.S., A.B. *Dostovernost`, zashhita i soxranost` informacii v ASU.* [Dostovernost's Silks, protection and safety of information in ACS]. Moscow: SINTEG, 2003. 500 p. (In Russian)
12. Pavlov A.A., Grisha S.N., Tomashevsky V.N., etc. *Osnovy` sistemnogo analiza i proektirovaniya ASU.* [Bases of systems analysis and design of ACS]. Kiev: The higher school, 1991. 367 p. (In Russian)
13. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. *Postroenie setej integral'nogo obsluzhivaniya.* [Creation of networks of integral service]. Leningrad: Mechanical engineering, 1990. 332 p. (In Russian)
14. Stefani E.P. *Osnovy` proektirovaniya ASU TP.* [Bases of design of industrial control system]. Moscow: Energoatomizdat, 1982. 352 p.
15. Sharkashne A. S., Haletsky A.K., Morozov of I.A. *Ocenka xarakteristik slozhny`x avtomatizirovanny`x sistem.* [Evaluation of characteristics of complex automated systems]. Moscow: Mechanical engineering, 1993. 271 p. (In Russian)

**Information about author(s):**

Tokarev M.S. high teacher of department of Military space academy of A.F. Mozhaysky,

Negodin D.V. teacher of department of Military space academy of A.F. Mozhaysky,

**For citation:** Tokarev M.S., Negodin D.V. To the question of optimization of topological structure of information subsystem of the automated control system. *I-methods.* 2018. Vol. 10. No. 1. Pp. 45–52. (In Russian).