

УДК 303.732.4

DOI: 10.46960/1816-210X\_2023\_4\_27

## СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ НА ЭТАПЕ ОБЩЕГО РЕШЕНИЯ

Д.А. Пальгуев

ORCID: 0000-0003-2584-7657 e-mail: [palguyev@rf.unn.ru](mailto:palguyev@rf.unn.ru)Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
*Нижний Новгород, Россия*

Рассмотрен метод сквозного синтеза при построении информационной системы сетевой структуры, подробно показан совместный структурно-параметрический синтез на этапе общего решения. Для конкретизации основных решений по выбору исходных данных, алгоритмов обработки информации, основных и дополнительных критериев, а также ограничивающих условий, применение метода структурно-параметрического синтеза продемонстрировано на примере построения информационной системы сетевой структуры в области мониторинга воздушного пространства. Анализ определенных факторов, полученных при подготовке исходных данных для построения информационных систем сетевой структуры, показывает, что существует вполне определенная взаимосвязь между совокупностью применяемых в информационных системах методов и алгоритмов обработки и обмена информацией, и непосредственно самой структурой системы.

Полученные результаты синтеза информационной системы сетевой структуры показывают возможность общего подхода к построению подобных систем и использования его в качестве одного из имеющихся методов для построения специализированных информационных систем.

**Ключевые слова:** информация, информационные системы, сетевая структура, метод сквозного синтеза, синтез общего решения, структурно-параметрический синтез.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Пальгуев, Д.А. Структурно-параметрический синтез информационной системы сетевой структуры на этапе общего решения // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. № 4. С. 27-35.  
DOI: 10.46960/1816-210X\_2023\_4\_27

## STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS OF INFORMATION SYSTEM OF NETWORK STRUCTURE AT THE STAGE OF GENERAL SOLUTION

D.A. Palguyev

ORCID: 0000-0003-2584-7657 e-mail: [palguyev@rf.unn.ru](mailto:palguyev@rf.unn.ru)Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The method of end-to-end synthesis when constructing an information system of a network structure is considered. Joint structural-parametric synthesis at the stage of the general solution is shown in detail. The method of structural-parametric synthesis is demonstrated to specify the main decisions on the formation of initial data, information processing algorithms, basic and additional criteria, as well as limiting conditions, on the example of creating an information system of a network structure in the field of airspace monitoring. Analysis of certain factors obtained in the preparation of initial data for formation information systems of a network structure shows that there is a very definite relationship between the set of methods and algorithms used in information systems for processing and exchange of information, and the structure of the system itself.

The obtained results of the synthesis of an information system of a network structure show the possibility of a general approach to creating such systems and using it as one of the available methods for creation specialized information systems.

**Key words:** information, information systems, network structure, end-to-end synthesis method, synthesis of a common solution, structural-parametric synthesis.

**FOR CITATION:** D.A. Palguyev. Structural-parametric synthesis of information system of network structure at the stage of general solution. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2023. № 4. Pp. 27-35.  
DOI: 10.46960/1816-210X\_2023\_4\_25

## Введение

Вопросы разработки, построения и реализации информационных систем сетевой структуры, предназначенных для сбора, объединения и обмена информации, в настоящее время обретают значительную актуальность [1-6]. Вместе с тем, имеется целый ряд научно-теоретических вопросов системного характера, которые определяют взаимосвязь функционала информационных систем как совокупности применяемых в системах математических моделей, методов и алгоритмов обработки информации, непосредственно со свойствами структуры информационной системы. Подобные вопросы, с одной стороны, требуют применения методов структурного и параметрического синтеза в неразрывной связи друг с другом, с другой стороны, эти методы должны быть встроены в более общий метод построения информационной системы. Для выявления этой взаимосвязи на этапе синтеза общего решения, как составной части более общего метода сквозного синтеза построения информационной системы сетевой структуры, применим метод совместного структурно-параметрического синтеза.

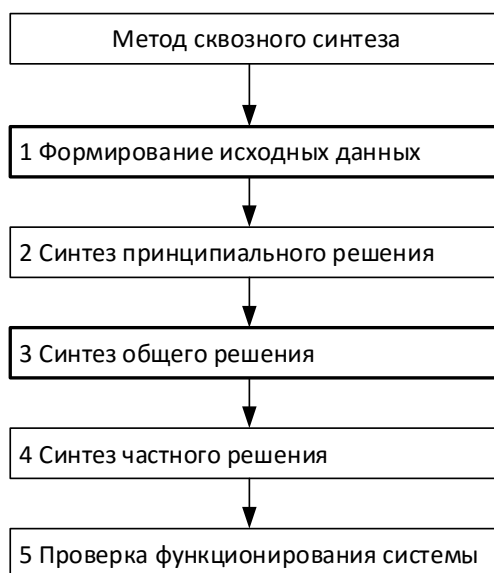


Рис. 1. Этапы метода сквозного синтеза

Fig. 1. Stages of the end-to-end synthesis method

Общий подход к построению информационной системы сетевой структуры в сфере мониторинга воздушного пространства методом сквозного синтеза. В соответствии с [7-9], метод сквозного синтеза состоит из пяти этапов (рис. 1). На любом из них возможно применение различных методов системного анализа для получения оптимального результата.

Разработка информационной системы сетевой структуры построена на последовательной реализации указанных этапов. Содержание первого из них показано на рис. 2. Одной из самых важных задач на данном этапе является формирование совокупности обобщенных показателей качества [7, 10]. Эта задача была решена выбором интегрального показателя информационных потерь в работах [11, 12]:

$$\alpha = (1 - K^y)(1 - K^t), \quad (1)$$

где  $\alpha$  является относительной величиной (в общем виде: отношение информационных потерь к общему количеству информации в системе), характеризующее информацию, не удовлетворяющую требованиям потребителей (в том числе, ложную, потерянную в ходе отображения, искаженную, задержанную и устаревшую, т.е. приводящую к увеличению времени обработ-

ки информации, к созданию предпосылок для информационной перегрузки системы, увеличению времени принятия решений). По величине потерь можно судить о качестве отображения, эффективности функционирования собственно радиолокационной системы, а также о вкладе в эффективность надсистемы [12].

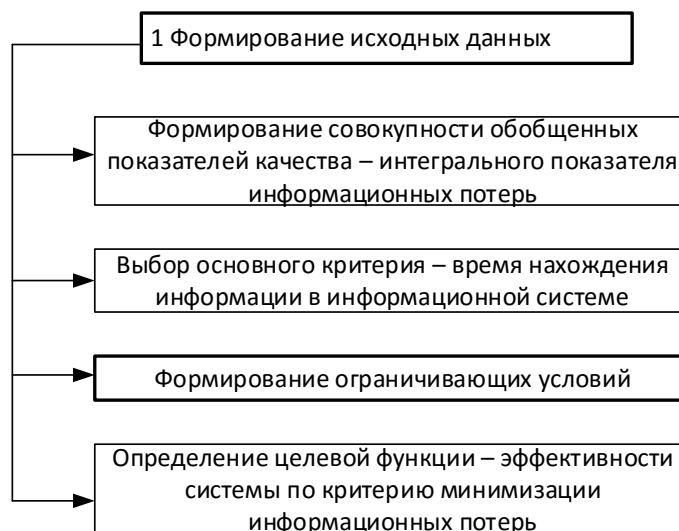


Рис. 2. Содержание первого этапа метода сквозного синтеза

Fig. 2. Contents of the first stage of the end-to-end synthesis method

Для вычисления обобщенного показателя информационных потерь  $K^y$  (в [12] индекс  $y$  означает универсальный) применяются такие параметры, как количество пропущенных системой реальных воздушных объектов; количество объектов, сопровождавшихся с требуемой точностью; коэффициент проводки  $n$ -го воздушного объекта; длительность непрерывного сопровождения  $n$ -ой трассы; длительность разрыва  $n$ -ой трассы; коэффициент существования ложных трасс по времени, и ряд других. Для обобщенного показателя информационных потерь вследствие времени нахождения РЛИ в системе  $K^t$  [11] учитываются: накопление ошибок экстраполяции, особенно при маневре объектов; ошибки при пересчетах координат в узлах системы; ошибки, связанные с задержками при обработке РЛИ в циклах управления и обмена информацией.

В общем виде функцию эффективности от показателя  $\alpha$  в работах [11, 12] предлагается сформировать следующим образом:

$$f(\alpha) = f \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L w_l \frac{\text{card}(\alpha)}{\text{card}(X)} \right\} \quad (2)$$

где  $w_l$  – значения весового коэффициента, характеризующего важность информации того или иного вида,  $L$  – общее количество видов информации,  $N$  – количество независимых показателей, входящих в интегральный показатель,  $\alpha$  – подмножество потерь, характеризующее информацию, не удовлетворяющую требованиям потребителей, в том числе ложную, потерянную в ходе отображения, искаженную, задержанную и устаревшую,  $X$  – множество, описывающее воздушную обстановку,  $\text{card}$  обозначает мощность соответствующего множества и подмножества.

Далее определена целевая функция как эффективность радиолокационной системы по критерию минимизации времени нахождения информации в информационной системе [11].

$$\mathcal{E}_s = 1 - f(\alpha). \quad (3)$$

Поскольку в интегральный показатель информационных потерь  $\alpha$  входит обобщенный показатель информационных потерь вследствие времени нахождения РЛИ в системе  $K^r$  [11], который учитывает, среди прочего, ошибки, связанные с задержками при обработке РЛИ в циклах управления и обмена информацией, постольку из выражений (1, 3) можно сделать вывод, что с уменьшением времени нахождения информации в информационной системе повышается ее эффективность. К исходным данным также относится формирование и обоснование ограничивающих условий (рис. 3), полученных в результате онтологического, гносеологического, математико-алгоритмического и технического анализа исходных данных [6].

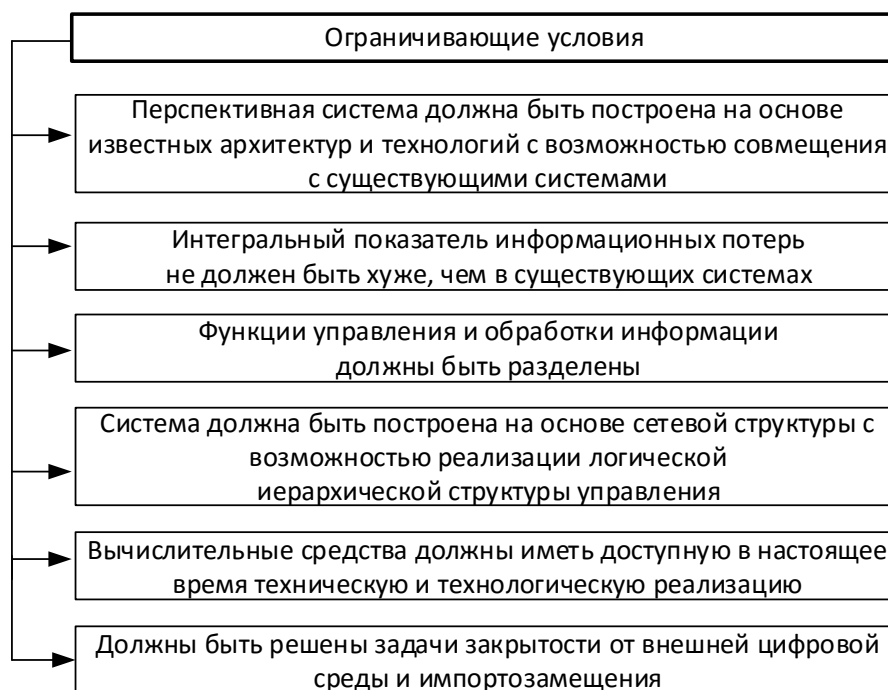


Рис. 3. Формирование ограничивающих условий

Fig. 3. Formation of limiting conditions

Некоторые из ограничивающих условий необходимо пояснить подробнее, в частности:

- функции управления и обработки информации в перспективной информационной системе должны быть разделены, причем функция обработки должна быть реализована в узлах самой информационной системы, а не в узлах, реализующих функцию управления;
- в части выполнения функций обработки и обмена информацией система должна быть построена на основе сетевой структуры, а в части функции управления – должна быть обеспечена передача информации управления по существующей логической иерархической структуре без ухудшения качества; логическая иерархическая структура управления должна быть реализована технически и программно в сетевой структуре перспективной информационной системы;
- вычислительные средства, применяемые при обработке и обмене информацией в системе, должны иметь доступную техническую и технологическую реализацию, а вычислительная сложность новых методов обработки не должна превышать их возможности.

*Синтез принципиального решения* (второй этап, рис. 1) при решении задачи сквозного синтеза системы в данном случае не проводился, так как применение комбинации известных информационных структур и информационных технологий является одним из ограничивающих условий (рис. 3). Такой подход не противоречит решению научной проблемы построе-

ния перспективной информационной системы методом сквозного синтеза [7] и относится ко II классу задач синтеза – задачи высокой сложности [7].

*Структурно-параметрический синтез информационной системы сетевой структуры в области мониторинга воздушного пространства.* Для решения конкретной научной задачи построения информационной системы сетевой структуры в области мониторинга воздушного пространства на этапе синтеза общего решения (третий этап, рис. 1) применим метод структурно-параметрического синтеза [13]. Основным критерием явилось время нахождения информации в системе и его минимизация. При разработке новых алгоритмов обработки и обмена информации в системе использовался эвристический метод синтеза с оптимизацией по выбранным критериям. Дополнительным критерием при разработке метода сетевой обработки информации выбран критерий минимизации количества ветвящихся решений (гипотез) при сравнении сообщений о воздушных объектах. Синтез общего решения является наиболее объемным и сложным с научной точки зрения этапом построения системы [7, 10, 13, 14], поэтому ниже он рассмотрен подробнее.

В формализованном виде задачу структурно-параметрического синтеза информационной системы мониторинга воздушного пространства можно представить следующим образом, изменив составные части задачи синтеза, приведенные для адаптивных информационных систем на основе нейросетевых методов и архитектуры в работе [13] с учетом целевой функции эффективности системы и обобщенных показателей качества, приведенных в работе [11]. Необходимо определить такое множество элементов  $SN$ , множество связей между элементами  $D$ , множество методов анализа, обработки и обмена информации  $MI$ , а также множество параметров  $PRM$  для каждого элемента структуры системы, при которых целевая функция эффективности  $\mathcal{E}$  [11] достигает максимума:

$$\{SN, PRM\} = \arg \max_{SN, PRM} (\mathcal{E}) \quad (4)$$

где  $SN = (O, NA, D, MI)$ ,  $O$  – множество ограничивающих условий,  $NA$  – множество видов архитектур системы и их комбинаций;

при выполнении:

- множеств ограничений  $SO$  на связи между элементами структуры  $SN$ :

$$SO = \{so_i\}, so_i \rightarrow \gamma_i(D) \subseteq D \quad (5)$$

- множеств ограничений  $PO$  на область значений параметров:

$$PO = \{po_i\}, po_i \rightarrow \begin{cases} \varphi_i(PRM) = 0, \\ \varphi_i(PRM) < 0, \\ \varphi_i(PRM) \in PRM_i \end{cases} \quad (6)$$

- множеств ограничений  $RO$  на минимальные и максимальные границы значений оценок эффективности системы:

$$RO = \{ro_i\}, so_i \rightarrow \beta_i^{\min} \leq \psi_i(\mathcal{E}) \leq \beta_i^{\max}, \quad (4)$$

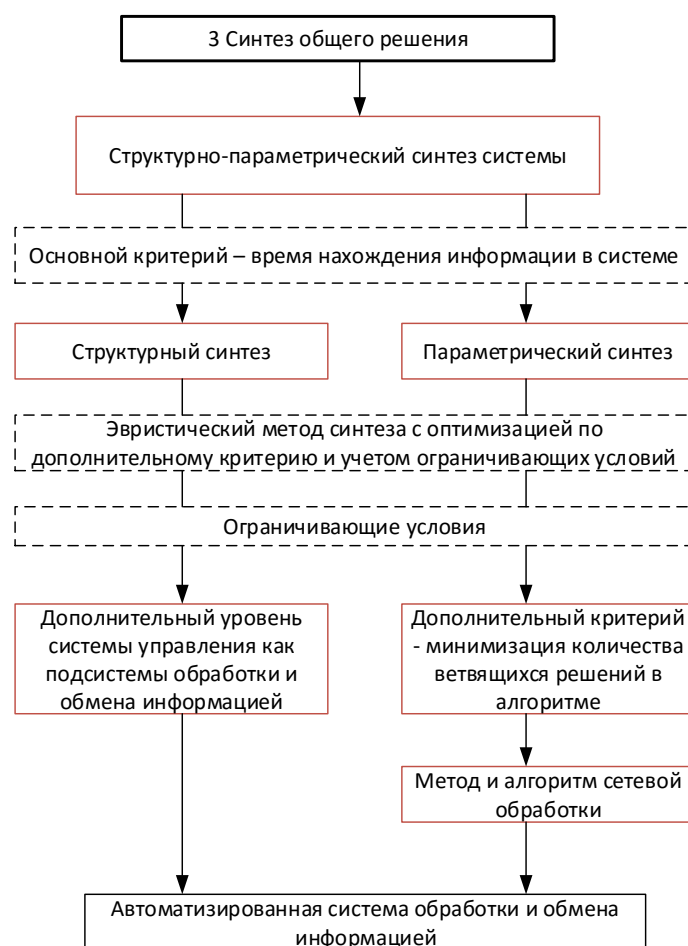
где  $\gamma_i(D)$  – функция, формирующая подмножество связей в соответствии с условием  $so_i$ , которые должны входить в сформированное множество  $D$ ,  $\varphi_i(PRM)$  – функция, преобразующая параметры системы к виду, в котором их можно использовать в равенствах, неравенствах или для проверки вхождения в некоторые подмножества  $PRM_i$ , в основном связанных с выполнением временных ограничений при обработке и обмене информацией;  $\psi_i(\mathcal{E})$  – функция, преобразующая целевую функцию эффективности или ее отдельные компоненты для проверки соответствия минимальным  $\beta_i^{\min}$  и максимальным  $\beta_i^{\max}$  допустимым границам.

Выбор и определение целевой функции, интегрального показателя информационных потерь и входящих в него обобщенных показателей качества произведен в [11, 12]. Элементы множеств  $SN$ ,  $D$ ,  $MI$ ,  $PRM$  могут представлять собой подмножества, в том числе, матричной структуры. Пример представления множества  $PRM$  в виде матрицы показан в [6]. Из описа-

ния и формализованного представления задачи структурно-параметрического синтеза можно сформулировать следующие условия:

- 1) структурный и параметрический синтез системы сбора, обработки и обмена информацией должен проводиться параллельно, с согласованием полученных результатов на промежуточных этапах; задача структурного синтеза не может быть решена без решения задачи параметрического синтеза, в частности, без разработки методов обработки информации;
- 2) некоторые ограничивающие условия могут выступать в качестве дополнительных критериев при структурном синтезе;
- 3) для решения задач параметрического синтеза необходима формулировка дополнительного критерия.

Отсюда выводится последовательность основных этапов совместного структурно-параметрического синтеза, встроенных в третий этап синтеза общего решения (рис. 4). При анализе видно, что метод совместного структурно-параметрического синтеза является основным содержанием этапа синтеза общего решения. Решение задачи структурно-параметрического синтеза является многокритериальным, с одним основным критерием, далее для структурного и параметрического синтеза введены дополнительные критерии в соответствии с ограничивающими условиями.



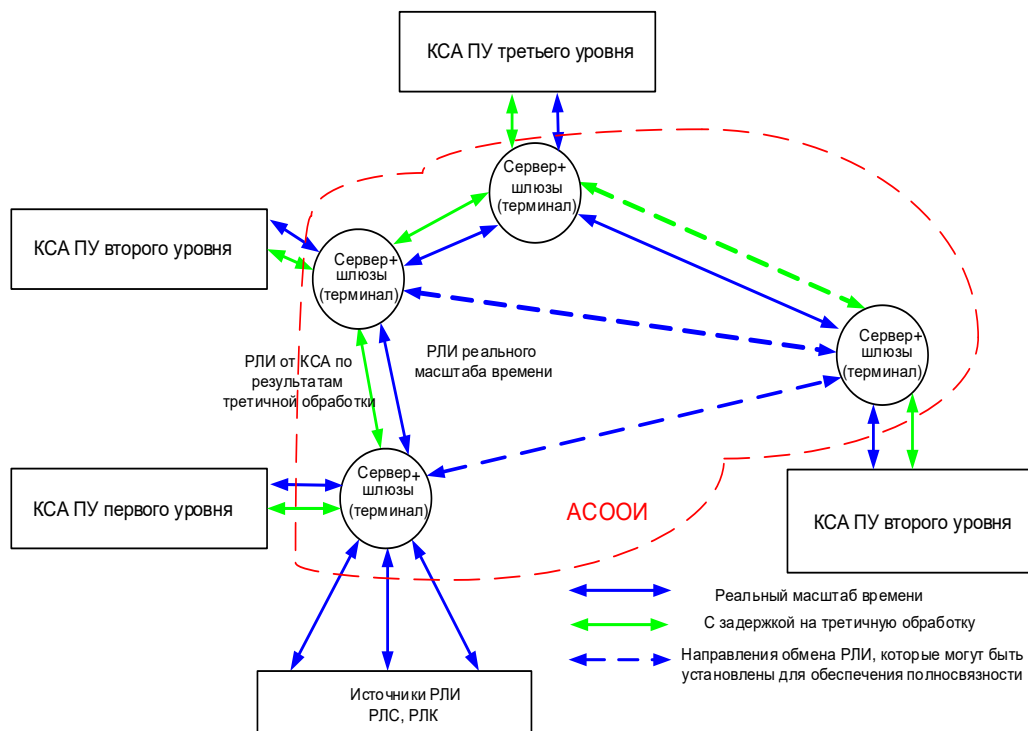
**Рис. 4. Этап синтеза общего решения с последовательностью основных этапов структурно-параметрического синтеза**

**Fig. 4. Stage of synthesis of a general solution with a sequence of main stages of structural-parametric synthesis**

Наличие единого основного критерия – времени нахождения информации в системе, а также использование общего для структурного и параметрического синтеза эвристического метода синтеза с оптимизацией по выбранным критериям и общим ограничивающих условий

показывают неразрывную взаимосвязь функционала информационной системы и свойств ее структуры, а также необходимость учета указанных факторов при совместном структурно-параметрическом синтезе системы.

Следующий этап метода сквозного синтеза – *синтез частного решения*, четвертый этап (рис. 1) – предназначен для конкретной реализации теоретических положений, полученных при синтезе общего решения. Этот этап реализован разработкой алгоритмов обработки и обмена информацией на основе общего решения, применением современных информационных технологий в области сбора, обработки, передачи и обмена информацией [6].



**Рис. 5. Структура информационной системы обработки и обмена радиолокационной информацией (РЛИ) в варианте совместного функционирования с существующей информационной системой мониторинга воздушного пространства**

**Fig. 5. The structure of the information system for processing and exchange of radar information when operating together with the existing airspace monitoring information system**

Результаты этапа в соответствии с [7] отражены в конструкторской и программной документации, в частности, разработана автоматизированная система обработки и обмена информации (АСООИ) применительно к существующей информационной системе мониторинга воздушного пространства (рис. 5) [15], а также алгоритмы обработки и обмена РЛИ [6]. На рис. 5 применены следующие обозначения: КСА – комплексы средств автоматизации, ПУ – пункты управления, РЛИ – радиолокационная информация, РЛС – радиолокационная станция, под источниками РЛИ подразумеваются радиолокационные станции и радиолокационные комплексы, включающие несколько РЛС различных диапазонов. Представленная автоматизированная система обработки и обмена РЛИ имеет полносвязную сетевую структуру. Основным критерием построения является критерий минимизации времени нахождения информации в системе. В разработке использовался метод структурно-параметрического синтеза, показанный в настоящей статье, а также выводы, полученные из выражений (1-4). Комплексы средств автоматизации (КСА) составляют основу существующей системы сбора, обработки и обмена РЛИ, а терминалы и линии передачи данных, встроенные в эту систему, являются основой АСООИ как подсистемы по отношению к существующей информационной системе мониторинга воздушного пространства.

Последний, пятый этап метода сквозного синтеза (рис. 1), предназначен для проверки функционирования разработанной информационной системы. На этом этапе проведена проверка функционирования системы методами натуральных и полунатурных испытаний, имитационного моделирования, дополнительно проведено математическое моделирование некоторых качественных параметров системы. Проверка функционирования показала, что информационная система сетевой структуры, предназначенная для сбора, обработки и обмена информацией в области мониторинга воздушного пространства, отвечает требованиям по сокращению времени нахождения информации в системе, и, как следствие, по сокращению времени доставки информации от источников к потребителям [11]. Кроме того, техническое и программное построение информационной системы сетевой структуры обеспечивает изолированность от цифровых сетей общего доступа, а также в определенной степени решает задачу импортозамещения [15].

### Выводы

Для построения информационной системы сетевой структуры в области мониторинга воздушного пространства в рамках метода сквозного синтеза было обосновано применение метода структурно-параметрического синтеза. Далее, для этапа синтеза общего решения получены следующие выводы:

- 1) для правильной постановки задачи структурно-параметрического синтеза важное значение имеет формирование исходных данных, основного и дополнительных критериев построения системы, и ограничивающих условий;
- 2) формирование исходных данных, в свою очередь, требует многостороннего – онтологического, гносеологического, математико-алгоритмического и технического – анализа существующих и перспективных информационных систем, и формулирование требований, предъявляемых к ним;
- 3) структурный и параметрический синтез проводятся параллельно, совместно, так как имеют общий основной критерий, общий эвристический метод синтеза и общие ограничивающие условия;
- 4) представленный подход основан на взаимосвязи функционала информационной системы и свойств ее структуры, в данном случае – сетевой.

Информационные системы сетевой структуры в области мониторинга воздушного пространства могут использоваться как в системах, объединяющих большое количество источников информации, так и в различных комплексах мониторинга. Указанные системы имеют высокую актуальность и перспективы развития вследствие малого времени обработки и доведения информации от источников к потребителям, экономической эффективности по сравнению с существующими системами и возможностями объединять не только радиолокационную, но и разнородную информацию в реальном масштабе времени.

### Библиографический список

1. Многолучевые радиолокаторы в составе охранных комплексов. Антитеррор: монография / под ред. И.К. Антонова. – М: Радиотехника, 2017. – 216 с.
2. **Воронина, Н.Г.** Проблемные вопросы решения задач при вторичной и третичной обработке данных в системах освещения обстановки / Н.Г. Воронина, А.В. Шафранюк // Материалы конференции «Управление в морских системах» (УМС-2018) 2018. С. 215-221.
3. **Хомяков, А.В.** Алгоритмы совместной траекторной обработки в многопозиционном радиолокационном комплексе / А.В. Хомяков, В.И. Филипченков, Ю.И. Мамон // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 2. С. 305-314.
4. **Архимандритов, И.Б.** Задача разработки модели цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных, построенной с использованием сетевидной авиационной системы мониторинга / И.Б. Архимандритов, С.Г. Белов, В.С. Верба, А.А. Липатов, Д.А. Миляков, И.А. Сидоров, Д.Ю. Четыркин // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 5. С. 8.



5. **Кирюшкин, В.В.** Межпозиционное отождествление результатов измерений и определение координат воздушных целей в многопозиционной радиолокационной системе на беспилотных летательных аппаратах / В.В. Кирюшкин, Н.С. Волков // Теория и техника радиосвязи. 2019. № 1. С. 107-116.
6. **Пальгуев, Д.А.** Сочетание алгоритмов обработки информации и структуры информационной системы как инструмент построения информационной системы сетевой структуры // Радиопромышленность. 2021. Т. 31. № 2. С. 49-60.
7. **Воинов, Б.С.** Информационные технологии и системы: монография. Кн. I: Методология синтеза новых решений / Б.С. Воинов. – Н. Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2001. – 404 с.
8. **Воинов, Б.С.** Информационные технологии и системы: поиск оптимальных, оригинальных и оптимальных решений / Б.С. Воинов, В.Н. Бугров, Б.Б. Воинов. – М.: Наука, 2007. – 730 с.
9. **Воинов, Б.С.** Информационные технологии и системы. Поиск оптимальных, оригинальных и рациональных решений / Б.С. Воинов, В.Н. Бугров, Б.Б. Воинов [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://litgu.ru/knigi/nauka\\_ucheba/19379-informacionnye-tehnologii-i-sistemy-poisk-optimalnyh-originalnyh-i-racionalnyh-resheniy.html](http://litgu.ru/knigi/nauka_ucheba/19379-informacionnye-tehnologii-i-sistemy-poisk-optimalnyh-originalnyh-i-racionalnyh-resheniy.html) (Дата обращения 01.08.2023).
10. **Конторов, Д.С.** Введение в радиолокационную системотехнику / Д.С. Конторов, Ю.С. Голубев-Новожилов. – М.: Советское радио, 1971. – 368 с.
11. **Пальгуев, Д.А.** К вопросу о третичной обработке радиолокационной информации / Д.А. Пальгуев, А.Н. Шентябин, А.Б. Борзов, Д.А. Васильев, Н.С. Морозов // Вопросы радиоэлектроники. № 1. 2021. С. 21-29.
12. **Бреслер, И.Б.** Агрегирование информации о воздушной обстановке / И.Б. Бреслер, В.В. Корниенко, С.А. Семенов, В.А. Тихомиров, М.Д. Фомин. – Тверь: Военная академия ВКО им. маршала Г.К. Жукова, 2008. – 136 с.
13. **Обухов, А.Д.** Структурно-параметрический синтез адаптивных информационных систем на основе нейросетевых методов и архитектуры / А.Д.Обухов, М.Н. Краснянский. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – 240 с.
14. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: Учеб. пособие для вузов / под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высшая школа, 2004. – 616 с.
15. **Пальгуев, Д.А.** Структура специализированной системы обмена и обработки радиолокационной информации с точки зрения импортозамещения и закрытости от внешней среды // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. № 4. 2022. С. 46-55.

*Дата поступления  
в редакцию: 08.08.2023*

*Дата принятия  
к публикации: 01.11.2023*