

УДК 519.714

## О подходах к решению задач синтеза структур систем мониторинга траектории полета воздушных судов

Д.И. Ковалев<sup>1,2</sup>, Т.П. Мансурова<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>ККДНиТ, ул. Урицкого, 61, г. Красноярск, 660049, Россия

<sup>2</sup>Красноярский государственный аграрный университет, 90, пр. Мира, Красноярск, 660049, Россия

\*E-mail.ru: mansurovatp@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются подходы к решению задач синтеза структур сложных систем, к классу которых относятся системы мониторинга траектории полета воздушных судов. Показано, что возрастание сложности объектов управления неминуемо связано с усложнением систем управления этими объектами, что обеспечивает устойчивое функционирование управляемых систем по назначению. Приведены основные характерные черты сложных систем и основные задачи, которые необходимо решить при синтезе структуры системы. Выделены классы задач синтеза.

**Ключевые слова:** структура, синтез, система, иерархия, критерий, объект

## On approaches to solving problems of synthesis of structures of systems for monitoring the flight trajectory of aircraft

D.I. Kovalev<sup>1,2</sup>, T.P. Mansurova<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Krasnoyarsk Science and Technology City Hall, Uritskogo Street, 61, Krasnoyarsk, 660049, Russia

<sup>2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, 90, Mira Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russia

\*E-mail.ru: mansurovatp@mail.ru

**Annotation.** The article discusses approaches to solving problems of synthesizing structures of complex systems. This class of systems includes aircraft trajectory monitoring systems. It is shown that an increase in the complexity of control objects is inevitably associated with an increase in the complexity of control systems for these objects, which ensures the stable functioning of the controlled systems for their intended purpose. The main characteristic features of complex systems and the main tasks that need to be solved when synthesizing the structure of the system are given. Classes of synthesis problems are identified.

**Key words:** structure, synthesis, system, hierarchy, criterion, object

## 1. Введение

Широкое внедрение средств автоматизации в различные сферы человеческой деятельности, связанные с конструированием, производством и эксплуатацией материальных объектов, открывает новые пути повышения качества и эффективности всех процессов управления. Это повышение следует рассматривать в неразрывном единстве с увеличением размерности и сложности объектов управления [1-3].

Возрастание сложности объектов неминуемо сочетается с усложнением систем управления, что обеспечивает устойчивое функционирование управляемых систем по назначению. В качестве доказательства объективности этого процесса можно привести теорему У. Эшби [4]: "Объединенная система элементов обладает более богатым выбором способов поведения, чем система, представляющая собой совокупность изолированных частей".

Увеличение размерности систем, таким образом, приводит к качественно новым свойствам у них.

На основе принципа необходимой или достаточной сложности [5] выводится следующее соотношение: сложность системы управления должна быть не меньше сложности управляемой системы, точнее говоря должна соответствовать последней.

Приведенные доводы в некоторой мере объясняют необходимость фундаментальных разработок в теории синтеза сложных систем и актуальность построения инженерных методов их реализации. Разнообразие типов сложных систем породило различные подходы к их определению, описанию и выделению наиболее существенных свойств, характеризующих те или иные стороны их функционирования. Характерными чертами сложных систем являются:

- Наличие большого числа взаимосвязанных подсистем (элементов) со сложными структурными и функциональными отношениями между ними [6].
- Функционирование отдельных подсистем не носит самостоятельного характера и обусловлено местом их в системе в целом. Наличие структуры ограничивает степень свободы отдельных подсистем и снижает их автономию; подобные ограничения имеют смысл в рамках согласования их совместного функционирования [7].
- Иерархия (многоуровневость) структуры системы обуславливается наличием глобальной цели системы и частных целей отдельных подсистем [8].

- Многокритериальность оценки функционирования системы ввиду многообразия целей отдельных подсистем и плохой формализуемости глобальной цели [7].

Указанные черты обуславливают объективные трудности в разработке универсальных подходов к решению задач синтеза сложных систем. В этих условиях правомерным выглядит подход, основанный на синтезе структуры системы. При этом различают формальную структуру — организацию системы из отдельных функциональных элементов с их взаимосвязями, необходимыми и достаточными для достижения системой поставленных задач, и материальную структуру, т.е. реальное наполнение формальной структуры. В [1] допускается, например, использование понятия амальгированной структуры, объединяющей формальную и материальную структуру, и обычно именуемой просто структурой.

## 2. Структура системы мониторинга траектории полета ВС

В работе [9] показано, что структура системы мониторинга траектории полета воздушных судов (ВС) существенно зависит вариантов реализации связи между бортом и землей благодаря применению радиомодема, через который осуществляется связь земля → спутник → борт ВС. Структура наземной спутниковой связи включает:

- наземное комплексное оснащение;
- линии передачи данных;
- опции голосовой связи;
- наземную антенну;
- комплекс бортового оборудования;
- воздушную антенну;
- информационную линию связи;
- кабель для передачи данных;
- линии передачи данных спутникового диапазона частот 2.5 / 1.6 ГГц.

Навигационный радиосигнал, полученный бортовой авиационной антенной, поступает в приемопередающий блок, в котором также возможна опция голосовой связи, поскольку одним из типов связи через спутники Iridium [10] является голосовая связь. Через встроенный процессор связывания данные поступают в бортовую систему для решения задач аэронавигации.

Комплексная система обнаружения объектов включает в себя:

- блок приема сигналов местоположения GPS/ГЛОНАСС;

- блок передачи данных GSM Iridium;
- сервер мониторинга, который включает в себя систему управления базами данных и специализированное программное обеспечение;
- модуль спутниковой связи (спутниковый модем).

Передача данных о местоположении также осуществляется через бортовую авиационную антенну [11]. Спутники Iridium 2.5 способны принимать и передавать сообщения, включая сообщения с навигационной информацией, для независимого определения местоположения объекта с использованием метода РОСА [9] (точка ближайшего сближения).

На основании назначения и количества объектов (ВС) можно предложить несколько вариантов построения наземного диспетчерского пункта (НДП). Комбинируя различные части НДП можно создать диспетчерский пункт любой конфигурации, которая отвечает необходимым потребностям.

Среди рассматриваемых систем спутниковой связи спутниковая группировка Iridium представляет наибольший интерес для обеспечения стабильной связи между воздушным судном и диспетчером. По сравнению со спутниковыми системами связи на высоких и средних орбитах спутниковые системы связи на низких орбитах имеют ряд преимуществ (см. например [10]).

### 3. Подходы к решению задач синтеза структур

В ряде случаев при строгой фиксации цели системы ей соответствует единственная формальная структура. Доказательство этого факта основывается на однозначности логического представления цели системы. Разумеется, такое представление возможно далеко не всегда.

Формальной структуре может соответствовать множество различных материальных структур, являющихся различными формами ее реализации.

Основными задачами при синтезе структуры системы являются следующие [1]:

- определение состава системы; эта задача является неоднозначной и трудно формализуемой в алгоритмическом плане, для ее решения в реальных ситуациях используются разнообразные экспертные подходы;
- описание и классификация допустимых структур;

- определение классов преобразований структур, инвариантных по отношению к заданной цели, для поиска парето-оптимальных решений (например, составление списков изоморфных и гомоморфных структур);
- анализ соотношений между материальными и формальными структурами;
- исследования возможности построения системы с переменной структурой.

В практических приложениях проблему синтеза структуры системы разделяют на три составляющие [7]:

- Синтез структуры управляемой системы, т. е. нахождение оптимального состава элементов и их взаимосвязей, факторизация множества элементов системы по типам характеристик связей.
- Синтез структуры управляющей системы, т. е. построение иерархии системы, установление принципов организации управления с учетом
- координации целей подсистемы различных уровней с глобальной целью системы, распределение функций между уровнями и элементами на уровнях.
- Синтез структуры систем передачи и обработки информации, т. е. определение связей между объектами и передаваемых массивов информации, а также размещение центров обработки информации. Например, в [8] рассматривается синтез структуры пунктов управления космическими аппаратами с использованием оптимизационно-имитационного подхода.

Для третьей составляющей принципиальное значение имеет выбор критерия синтеза оптимальной информационной структуры, который предопределяет локальные критерии отдельных элементов информационной системы и оказывает влияние на показатели эффективности функционирования, например, такой сложной системы, как система мониторинга траектории полета ВС, в целом. Поэтому необходимо, чтобы выбранный критерий синтеза соответствовал критериям как управляемой, так и управляющих систем.

В зависимости от исходных данных и представлений о строении и функционировании сложной системы различают три класса задач синтеза:

- синтез структуры системы при заданных алгоритмах ее функционирования;
- синтез оптимального поведения и алгоритмов функционирования системы при известной структуре;
- синтез структуры и алгоритмов функционирования системы, распределение функций по элементам системы и определение их оптимального состава.

#### 4. Заключение

В данной статье рассмотрены вопросы, относящиеся в основном к первому классу задач, что позволяет синтезировать структуру системы мониторинга траектории полета воздушных судов в зависимости от вариантов реализации связи между бортом и землей. Относительно остальных классов задач следует заметить, что второй класс является наиболее разработанным в теоретическом отношении, а третий — в настоящий момент исследован недостаточно и для него не разработано общих принципов и методов решения.

#### Благодарности

Проведение исследований осуществляется при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках проекта «Контроль траектории полета воздушных судов в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера» в соответствии с заявкой 2021110907918.

#### Список литературы

1. Дмитриев, А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
2. Волкова, В.Н. Теория систем и системный анализ / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 679 с.
3. Зенюткин, Н. О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов / Н. Зенюткин, Д. Ковалев, Е. Туев, Е. Туева // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – 1(1). – С. 10-22. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-10-22>.
4. Эшби, У.Р. Конструкция мозга / У.Р. Эшби. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
5. Яблонский, А.И. Процесс усложнения системы / А.И. Яблонский // Системные исследования. Методологические проблемы. – М.: Наука, 1984.
6. Ковалев, И. (2021). К вопросу формирования блочно-модульной структуры системы управления беспилотных летательных объектов / И. Ковалев, В. Лосев, М. Сарамуд, А. Калинин, А. Лифарь // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – 1(3). – С. 48-64. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-3-48-64>.

7. Цвиркун, А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М.: Наука, 1982.
8. Карцан, И. Построение наземных пунктов управления космическими аппаратами с использованием оптимизационно-имитационной модели / И. Карцан // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – 1(2). – С. 64-71. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-64-71>.
9. Акзигитов, Р.А. и др. Повышение эффективности мониторинга воздушных судов посредством комплексной системы обнаружения объектов / Р.А. Акзигитов, А.В. Кацура, А.Р. Акзигитов, Д.Е. Строков: «Вестник СибГАУ». – 2016. – Том 17. – № 2. – С 388 -392.
10. Акзигитов, Р.А. и др. Мониторинг воздушных судов в высоких широтах посредством использования спутниковой связи “Иридиум” на основе телеметрического терминала ASC-6 / А.Р. Акзигитов, Н.И. Стаценко, Н.С. Писарев, А.Н. Ефимова: «Вестник СибГАУ». – 2017. – Том 18. – №3. – С 552-557.
11. Чижикова, Л.А. Исследование зависимости функций, режимов ЛА и математическое моделирование потоков данных БКУ / Л.А. Чижикова // «Наука, технологии, общество - НТО-2021»: сборник научных статей по материалам Всероссийской научной конференции (Красноярск, 29-31 июля 2021 г.). Красноярск: Красноярский краевой Дом науки и техники. – 2021. – С. 79-87. DOI:10.47813/dnit-nto.2021.79-87.