УДК 004.45

ФУНКЦИОНАЛЬНО-РОЛЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ИНДИКАЦИИ ПИЛОТИРУЕМОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В. А. Бочаров, ассистент кафедры «Системы автоматизированного проектирования» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия;
orcid.org/0009-0006-7724-3862, e-mail: bocharov.v@bmstu.ru

В статье демонстрируется пример решения задачи формального определения функциональности киберфизических систем с применением преимуществ функционально-ролевой спецификации (ФРС), позволяющих определить систему непосредственно в терминах её потребительских свойств, концепции и функциональности, с использованием универсального естественно-алгоритмического языка. В примере иллюстрируется ключевые закономерности, которым подчиняется процесс эквивалентной функциональной декомпозиции – выводимость значений из аргументов, наличие в управлении предиката, «знающего» входы и выходы, и вхождение подмножества портов до декомпозиции во множество портов после неё. Выявление и реализация этих закономерностей даёт возможность автоматизировать проектирование на функциональном уровне.

Ключевые слова: *функционально-ролевая спецификация, функциональная логика, функция, роль, фаза, режим, семантика, система индикации.*

DOI: 10.21667/1995-4565-2025-91-118-126

Введение

Цель данной статьи – показать новый подход к функционально-логическому моделированию на примере типового образца авиационной киберфизической системы (далее – КФС) - системы индикации в кабине экипажа. В его основе лежит использование семантических свойств функции, вытекающих из типологии и специализации её элементов, с учётом морфологии – многообразия состояний и изменчивости.

Цель функционального проектирования состоит в получении двух соответствий: а – между потребностями пользователя системы и системными требованиями; б – между системными требованиями и моделью системы, как совокупности всех принятых технических решений. Показателем качества функциональности целевой системы является соответствие потребностям оператора. Данные два соответствия последовательно связаны.

Проблема функционального проектирования заключается в сложности интерпретации описания системы в терминах концепции в описание в терминах функции, свойства которой выражены через её порты, которые связаны между собой ролевыми отношениями [1-3]. Кроме того, отдельные функции имеют свою специализацию – роль в составе системы и могут иметь прямые и обратные межфункциональные связи. Ещё больше усложняет задачу проектирования систем функциональная морфология – изменчивость и непостоянство их функций на различных фазах существования и в различных режимах работы системы [4]. Проблема эта решалась преимущественно методически, через определённые приёмы и практики [5, 6]. Также предпринимались попытки исследовать функциональность систем аналитически, привлекая различные математические теории [8-12], и даже философски [13].

Отсутствие математического функционального моделирования в составе известных систем САПР свидетельствует о том, что практические цели этих исследований достигнуты не были. В данной статье приводятся некоторые итоги изысканий в предметных областях, где пересекаются теории, объясняющие закономерности связей и отношений, с семантикой

свойств функции. Исследования проиллюстрированы на примере типовой системы авиационного приборостроения – системы индикации в кабине экипажа.

Вербальное описание целевой системы

Общее определение целевой системы на естественном языке представляет собой текст, содержащий набор высказываний, выражающих её внутренние и внешние свойства через конечно-перечислимые множества свойств. Подобный текст имеет вид: { <начало описания> | Система индикации предназначена для формирования у экипажа представления о состоянии управляемого им воздушного судна, с целью выполнения экипажем возложенных на него функций. Продукт системы индикации – доставляемая экипажу информация на языке визуальных символов, звуковых и вибрационных сигналов, которая даёт адекватное представление о состоянии летательного аппарата и его окружения для принятия экипажем верных решений, что является функцией экипажа. В числе таких свойств – достаточность, понятность, наглядность, своевременность и достоверность отображаемой информации. Доставка информации о полёте экипажу воздушного судна осуществляется через три канала сенсорной системы человека: зрительный, слуховой и тактильный (через вибрации). У каждого из каналов имеется свой набор параметров и диапазон значений, при которых он работает правильно – адекватно преобразует наблюдаемую реальность в образы сознания человека. За пределами этих значений информация может быть не доведена до сведения экипажа, искажена или приходить с опозданием. | <конец описания>. }

Таким образом, текстом на нормализованном естественном языке (очищенном от местоимений, эпитетов, аллегорий, иносказаний и художественных оборотов речи) представлена концепция целевой системы, содержащая описания в терминах заданной предметной области, которыми выражены требования, не имеющие двойного толкования.

Интерпретация концепции в формальное описание функциональности

Индикация как составляющая функция в составе системы «Управление ЛА» – это тождество между фактами (Ft) – данными, поступающими от датчиков и других систем, и знаками (Z), которые их интерпретируют в воспринимаемые образы, а внутри себя – это отношение между двумя множеством Z и множеством условий, при которых эти знаки отображаются.

Такие описания можно преобразовать в формальный вид по схеме *Имя = наименование, обозначение, описание, типология, разграничения и распределения*.

Применительно к системе индикации как типовой кибер-физической системе, все её описания представляют собой конечные перечислимые, частично упорядоченные множества, состоящие из типизированных элементов:

Ft = “fact” = “факт” = “факты реального мира, подлежащие отображению в системе индикации”

Z = “sign” = “знак” = “знаки языковой системы индикации” (всего – 142 знака: Z{1 ... 142})

K = “frame” = “кадр” = “именованные наборы отображаемых знаков” (всего – 5 кадров: M{M1 ... M5})

F = “phase” = “фаза” = “набор сменяющихся фаз полётного цикла” (всего – 5 фаз: F{F1 ... F5})

M = “mode” = “режим” = “наборы сменяющихся кадров” (всего – три режима: M{M1 ... M3})

D1 = “device.1” = “устройство.1” = “набор исполнительных устройств” (всего – четыре устройства D1{D11 ... D14})

D2 = “device.2” = “устройство.2” = “набор органов управления” (всего – три кнопки: D2{D21 ... D22})

Номенклатура фактов, сортированная и группированная по ключевым свойствам, с указанием ⟨количества⟩, может иметь вид дерева, ветви которого поименованы:

Ft(a) “Факты реального мира, отображаемые в системе индикации
Ft1 “Местоположение в пространстве” (навигационные данные); ⟨15⟩
1 “Географические координаты и время”; ⟨4⟩
2 “Карта местности”; ⟨8⟩
3 “Маршрут”; ⟨3⟩
Ft2 “Пилотажные данные”; ⟨6⟩
4 “скорость”; ⟨1⟩
5 “высота”; ⟨1⟩
6 “крен” / “тангаж” / “рыскание”; ⟨3⟩
Ft3 Данные о параметрах работы и состоянии бортовых систем; ⟨131⟩
7 “Силовой установки”; ⟨38⟩
8 “Топливной системы”; ⟨12⟩
9 “БРЭО”; ⟨41⟩
10 “Электросистем”; ⟨22⟩
11 “Гидравлических систем”; ⟨10⟩
Ft4 Метеорологические данные”; ⟨3⟩
12 “Температура”, “Давление”, “Влажность”; ⟨3⟩
13 “Облачность”, “Турбулентность”, “Осадки”; ⟨3⟩
14 “Условия обледенения”; ⟨1⟩
Ft5 ”Контролируемые состояния, сообщения и предупреждения”; ⟨125⟩
15 “Данные о сменах фаз и режимов работы систем”; ⟨3⟩
16 “Данные от FMS”; ⟨68⟩
17 “Данные об отказах и опасных ситуациях”; ⟨54⟩
Ft(b) ”Команды управления”; ⟨10⟩
18 “Включение / выключение всей системы”; ⟨1⟩
19 “Смена кадра: листать вперёд (карусель) и выбрать”; ⟨1⟩
20 “Смена кадра: листать вперёд (карусель) и выбрать”; ⟨1⟩
21 “Смена кадра: листать назад (карусель) и выбрать”; ⟨1⟩
22 “Смена режимов отображения”; ⟨1⟩
23 “Список режимов отображения”; ⟨2⟩

В формальном виде многообразие фактов, покрываемых системой индикации, выглядит как упорядоченное перечисление векторов (множеств):

[Ft(a):{{Ft1:{1...3}},{Ft2:{4...6}},{Ft3:{7...11}},{Ft4:{12...14}},{Ft5:{15...17}},{F(b):{18...23}}}, «Система индикации»], где номера элементов множеств соответствуют номерам строк объектов словаря.

Распределение и разграничение определяет, как данные объекты соотносятся (сочетаются) друг с другом.

Таблица 1 – Распределение сигналов по кадрам, мониторам, фазам полётного цикла и режимам

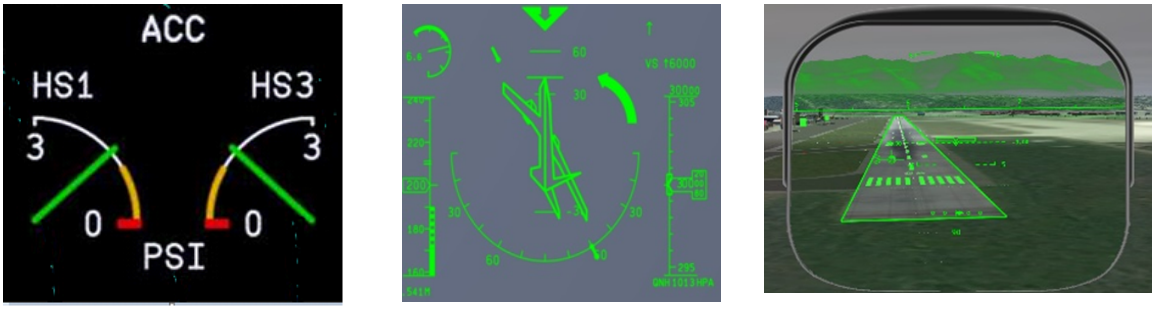
Table 1 – Signals distribution by frames, monitors, flight cycle phases and modes

Кадры Frames	Фазы Phases	Режимы Modes	Мониторы Monitors
K1 = Z{ 1 – 17 }	F1 = { K1, K4 }	M1 = { D11 ... D13 }	D11 = { M1 }
K2 = Z{ 18 – 43 }	F2 = { K2, K3 }, Z21	M2 = { D12, D13 }	D12 = { M1, M2 }
K3 = Z{ 44 – 76 }	F3 = { K3 ... K5 }	M3 = { D14 }, F4	D13 = { M1 ... M3 }
K4 = Z{ 77 – 104 }	F4 = {K2}, { Z(48 ... 61)}		D14 = { M3 }
K5 = Z{ 105 – 142 }	F5 = { K4 }		

Для задания соответствия между элементами указанных множеств создадим таблицу распределения и разграничения, где на том же языке конечно-перечислимых списков зададим правила соответствия. Каждая формула определяет, какое сочетание знаков в текущем дискурсе является верным.

Таким образом, определено, какие сигналы Z в каких фазах F и режимах K и отображаются, как они распределены по мониторам D1 и какими устройствами D2 переключаются.

Визуально распределение и размещение символов на кадре выглядит, как расположение символов в пространстве координат экрана, которое сгруппировано по кадрам, а кадры привязаны к фазам полётного цикла и режимам, как показано на данных примерах (рисунок 1).



Аналоговые сигналы о численных значениях параметров работы систем

Графическая визуализация пространственного положения

Наложение символьной графики на зрительную картинку (коллиматор)

Рисунок 1 – Примеры кадров с композициями знаковых систем
Figure 1 – Examples of sign systems composition

Распределение мониторов и органов управления ими на приборной панели может выглядеть так (рисунок 2).

Рисунок 2 – Размещение дисплеев и органов управления в пространстве приборной панели
Figure 2 – Instruments placing at dashboard

На двух данных рисунках представлены дисплеи для визуального отображения информации, в которых различные кадры могут сменять друг друга автоматически в зависимости от того, на какой стадии полёта находится ЛА и в каком режиме работают его системы. Каждый кадр размещает на своём поле некоторое подмножество взаимосвязанной и взаимно уместной информации, представленной символами, каждый со своим смысловым значением.

Типологический анализ объектов

Введём типологию предмета функционального моделирования.

Типы объектов, приходящих в систему индикации извне (*input*), обозначим, как I:{i1, i2, ...}. Имеем в виду, что они могут быть связаны друг с другом определёнными отношениями, поэтому прилагаем к множеству I систему связей R(I), построенную на отношениях *«общее – особенное»*, *«часть – целое»* и *«путь – шаг»*. Также учитываем, что всякий объект обладает свойствами, которые можно условно разделить на две группы: контекстно-независимые – *«вещь в себе»* и контекстно-зависимые – *«вещь во взаимодействии с другими вещами»*. Классификация и систематизация объектов у нас строится на сравнении, сопоставлении/противопоставлении и соизмерении списков контекстно-независимых свойств. Все они опираются на четыре простейших действия: оставить (keep), добавить (add), заменить (re-

place) и отменить (cancel), что даёт возможность выводить одни объекты через другие либо порождать новые объекты, исходя из заданных отношений.

Типы сигналов, посылаемых экипажу: визуальный – список имён символов *V:{v1, v2, ...}*, звуковой – список имён звуковых треков *S:{s1, s2, ...}* и тактильный – список имён профилей вибросигнала *T:{t1, t2, ...}*.

Команды управления, принимаемые от экипажа, обеспечивают «включение / выключение», смену кадра и смену режимов отображения, что может быть выражено, как: *C:{"on/off", set:{"Frame"}, set:{"Mode"}}*. Смена кадра вручную выполняется экипажем перелистыванием карусельного меню вперёд или назад, поэтому закладываем команды управления *«листать вперёд»*, *«листать назад»* и *«выбор»*.

Используем отношение *«объект – знак»* как проекцию артефактов на сигналы (кодировка) и распределение сигналов по кадрам и слоям.

Формулировка корневой функции

1) Внешние условия для определения и работы функции:

1.1) Словарь обрабатываемых объектов данных: именование, свойства, переменные, значения;

1.2) Словарь отображаемых символов и сигналов: именование, свойства, переменные, значения;

1.3) Правила соответствия (проекция) объектов данных и символов / сигналов;

1.4) Правило изменения сигналов по режимам;

1.5) Правило распределения сигналов по кадрам;

1.6) Правило распределения кадров по режимам;

2) Вход: данные от датчиков и других систем *{I, RI}*

3) Управление: *C:{"on/off", set:{"Frame"}, set:{"Mode"}}*.

4) Выход: Сигналы, отображаемые в соответствии с правилами, заданными в требованиях к системе: *V:{v1, v2, ...}, S:{s1, s2, ...}, T:{t1, t2, ...}*.

5) Механизм: Система индикации: IS:{m0}

Корневая (исходная) функция получает вид (рисунок 3).

Процесс выполнения функциональной декомпозиции опирается на группирование портов функции по *типологиям*, *распределениям* и *разграничениям* [14].

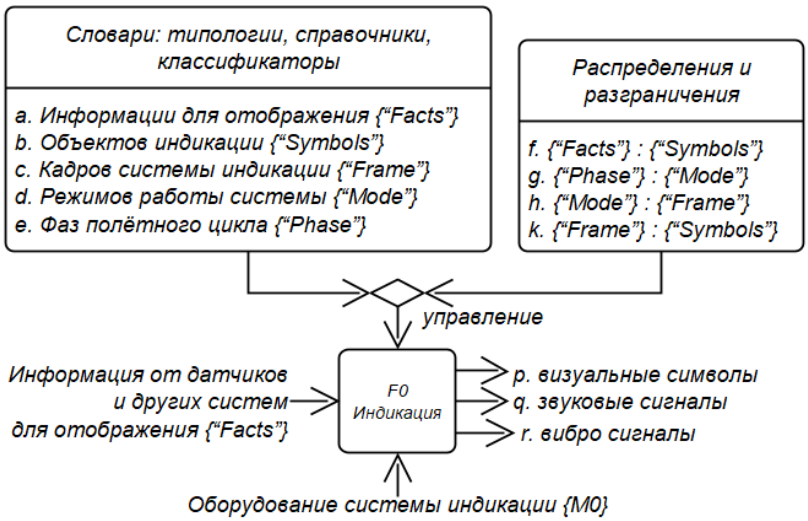


Рисунок 3 – Корневая функция системы индикации
Figure 3 – Core function of crew dashboard

Декомпозиция через разделение по назначению (специализацию)

На первом уровне декомпозиции формируются три составляющие функции, специализирующиеся на обработке трёх типов сигналов – визуального, акустического и вибрационно-

го – и управляемые четырьмя наборами правил – правил соответствия *«факт – сигнал»*, включением / выключением, распределения сигналов по кадрам, распределение кадров по режимам и распределением режимов по фазам полётного цикла.

Применяем правило декомпозиции, основанное на эквивалентности:

Eq:{ {Fn ⊆ {F(m) & F(m+1)}} ∪ Fn ≡ {{F(m) & F(m+1)}, {Jk, Jk1, Jk2, ...}}}, где:

Eq – эквивалентность,

Fn ⊆ {F(m) & F(m+1)} – утверждение о том, что множество портов вышестоящей функции тождественно объединению множеств портов составляющих функций;

Fn ≡ {{F(m) & F(m+1)}, {Jk, Jk1, Jk2, ...}} – утверждение о целостности (состоятельности) функции, основанной на полноте состава и связности функций.

Jk, Jk1, Jk2, ... – межфункциональные связи, которые возникают при декомпозиции, когда возникает распределение портов по функциям, суперпозиция и обратная связь.

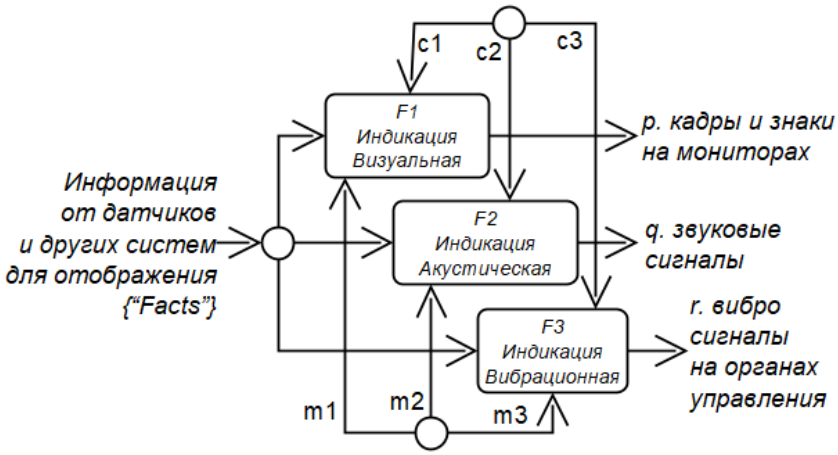


Рисунок 4 – Декомпозиция первого уровня – по типам отображаемых сигналов
Figure 4 – First level of functional decomposition by signal types

Если порты функций пронумеровать в соответствии с таблицей 1, то в формальном виде функциональная декомпозиция выглядит как набор выражений (упрощённо):

1. Eq1: { { F0 ⊆ (F1 & F2) } ∪ { F0 ≡ ((F1 & F2), 13, 14) } } = true

2. Eq2: { { F1 ⊆ (F11 & F12) } ∪ { F1 ≡ ((F11 & F12), 15) } } = true

3. Eq3: { { F2 ⊆ (F21 & F22) } ∪ { F2 ≡ ((F21 & F22), 16, 17) } } = true

Анализ данной декомпозиции показывает, что подмножество портов вышестоящей функции всегда входит в подмножество портов входящих функций (рисунок 5).

Уровень	Формула декомпозиции
1	*F0 ≡ {{ F1, F2 }, **13**, **14** }* *F0:{ i:{ 1, 2, 3, 4 }, d:{ 5, 6, 7 }, c:{ 8, 9, 10 }, m:{ 11, 12 } }* *F1:{ i:{ 1, 2, 3 }, d:{ 5, **13**, **14** }, c:{ 8, 9 }, m:11 }* *F2:{ i:{ 4, **13** }, d:{ 6, 7 }, { **14**, 10 }, m:12 }*
2	*F1 ≡ {{ F11, F12 }, **15** }* *F1:{ i:{ 1, 2, 3 }, d:{ 5, 13, 14 }, c:{ 8, 9 }, m:11 }* *F11:{ i:1, d:{ 5, 13, **15** }, c:{ 8 }, m:11 }* *F12:{ i:{ 2, 3 }, d:14, c:{ **15**, 9 }, m:11 }*
3	*F2 ≡ {{ F21, F22 }, **16**, **17** }* *F2:{ i:{ 4, 13 }, d:{ 6, 7 }, c:{ 14, 10 }, m:12 }* *F21:{ i:4, d:{ 6, **16**, **17** }, c:14, m:12 }* *F22:{ i:{ **17**, 13 }, d:7, c:{ **16**, 10 }, m:12 }*

Рисунок 5 – Формулы функциональной декомпозиции по трём уровням
Figure 5 – Functional decomposition formulas according to three levels

Вновь возникающие порты означают выявление специализации (разделения по назначению) и наличие обратной связи. Эта закономерность используется в качестве одного из двух критериев оценки правильности декомпозиции. Второй критерий – семантическая связность портов.

Для каждой декомпозиции действует два правила: 1) множество портов вышестоящей функции полностью входит во множество портов вложенных функций; 2) условие 1 вместе с добавленными портами формирует эквивалентность функциональности до и после декомпозиции. Дополнительной, но не обязательной проверкой целостности модели может послужить факт отсутствия незанятых портов, что свидетельствует о том, что в модели отсутствуют взявшиеся ниоткуда или исчезнувшие свойства функций.

Таким образом, найден простой способ обеспечения гарантии семантической связности функций в процессах разработки моделей систем, сводящий задачу функциональной декомпозиции к простым теоретико-множественным вычислениям.

Структура данных модели целевой системы отображается в специально предназначенном для функционального моделирования формате, который предусматривает описание дерева функций, межфункциональных связей и результатов проверки модели на корректность.

Функционально-ролевая спецификация

Для простоты опустим детали хода декомпозиции и выведем результирующую конфигурацию функциональной модели системы индикации в именах функций и указателях на соединения:

$FUNCTIONS (раздел спецификации, посвящённый функциям)	Joints
F0: Структура целевой функции (Индикация)	
F1: Информационное обеспечение	
F1.1: Терминология (Словари предметной области)	*[J(f1.1)]*
F1.2: Инварианты (константы, аксиомы и постулаты)	*[J(f1.2)]*
F1.3: Распределения и разграничения (сигналов по фазам, режимам и иным морфологиям)	*[J(f1.3)]*
F2: Кодировать внешние объекты во внутреннее представление (ВП) системы	
F3: Кодировать ВП данных для передачи сенсорной системе человека	
F3.1: Кодировать ВП для отображения в визуальные символы	*[J(f3.1)]*
F3.2: Кодировать ВП для отображения в звуковые символы	*[J(f3.2)]*
F3.3: Кодировать ВП для отображения в вибрационные символы	*[J(f3.3)]*
F5: Воспроизводить сигналы	
F4.1: Воспроизводить визуальные сигналы	*[J(f4.1)]*
F4.2: Воспроизводить звуковые сигналы	*[J(f4.2)]*
F4.3: Воспроизводить вибрационные сигналы	*[J(f4.3)]*

Соединения *[J(f(i, j)]* указывают на формулы (отдельный раздел спецификации), где определено, какие порты связываются друг с другом, а программный аппарат системы поддержки проектирования может оценить правильность связей.

Спецификация отображает, каким образом указанная конфигурация системы обеспечивает преобразование поступающих сигналов в соответствующие символы и их распределение по кадрам, а кадры распределяются по мониторам, режимам и фазам соответственно распределению и разграничению, заданному в требованиях. Работа системы определена в порядке от общего к частному, с последовательным и параллельным эквивалентированием, соблюдая правила семантической связности.

Заключение

Метод конструирования функциональной модели, предложенный в данном исследовании, решает проблему функциональной целостности системы на этапах её разработки, ис-

пользуя простой и наглядный способ описания, который обеспечивает возможность получать системы, верные по построению, и проверять их целостность на каждом шаге изменений.

Научная новизна метода состоит в том, что он вовлекает в расчёт семантические связи функций и логику распределения и разграничения, притом оставляя спецификацию модели достаточно простой и удобной для использования.

Благодаря простой и понятной форме спецификации система в процессах своей разработки может свободно присоединять, отменять, менять местами, разворачивать и сворачивать деревья структур, тем самым помогая выбирать разработчикам подходящие технические решения.

Библиографический список

1. **Бочаров В.А, Волосатова Т.М, Солоделов Ю.А, Филиппов М.В.** Обзор методологий перехода от требований к решениям в системной инженерии // Вестник РГГУ. 2022. № 3. С. 8.

2. **Бочаров В.А, Солоделов Ю.А, Очередько С.В.** Функционально-ролевой метод проектирования систем // Конференция «Управление в аэрокосмических системах имени академика Е.А. Микрина» (УАКС-2022).

3. **Бочаров В.А.** Функционально-ролевой метод проектирования систем // В кн: Управление в аэрокосмических системах (УАКС-2022) им. академика Е.А. Микрина. Материалы 15-й конференции по проблемам управления.

4. **Алиев Т.И.** Основы проектирования систем: учеб. пособие. СПб: Университет ИТМО. 2015. 120 с.

5. **Асанов А.З.** Технология вложения систем и ее приложения. Уфа: изд. Уфимск. гос. авиационного технического ун-та. 2007. 227 с.

6. Бортовые системы летательных аппаратов. Справочное пособие для инженеров / под ред. В.Л. Толмачёвой. М.: МАИ. 2004.

7. **Калашников В.В.** Сложные системы и методы их анализа.

8. **Авдошин С.М., Набебин А.А**. Дискретная математика. Алгоритмы: теория и практика. М.: изд-во ДМК. 2019.

9. **Авдошин С.М., Набебин А.А**. Дискретная математика. Формально-логические системы и языки. М.: изд-во ДМК. 2018.

10. **Овчинников В.А.** Графы в задачах анализа и синтеза структур сложных систем. М.: МГТУ. 2014.

11. **Омельченко В.В.** Основы Систематизации. Методология и философские аспекты. Принципы и законы познания реальной действительности. М.: Либроком. 2012.

12. **Гноенский Л.С., Каменский Г.А., Эльсгольц Л.Э.** Математические основы теории управляемых систем. М.: Наука.1969. 512 с.

13. **Анохин П.К.** Избранные Труды. Философские аспекты теории функциональной системы. АН СССР. М.: Наука. 1978.

14. **Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А.** Теория систем и системный анализ. М.: Дашков и К°. 2010. 640 с.

UDC 004.724

FUNCTIONAL-ROLE MODELING ON THE EXAMPLE OF MANNED AIRCRAFT DISPLAY SYSTEM

V. A. Bocharov, BMSTU, assistant teacher, Moscow, Russia;
orcid.org/0009-0006-7724-3862, e-mail: bocharov.v@bmstu.ru

The article demonstrates an example of solving the problem of formally defining the functionality of cyber-physical systems using the advantages of the functional-role specification (FRS), allowing to define the system directly in terms of its consumer properties, concept and functionality, using a universal natural-algorithmic language. The example illustrates the key patterns that the process of equivalent functional decomposition

obeys - the derivability of values from arguments, the presence of a predicate in control that «knows» inputs and outputs, and the inclusion of a subset of ports before decomposition in a set of ports after it. Identification and implementation of these patterns makes it possible to automate design at functional level.

Keywords: *functional-role specification, functional logic, function, role, phase, mode, semantics, indication sys-tem.*

DOI: 10.21667/1995-4565-2025-91-118-126

References

1. **Bocharov V.A, Volosatova T.M, Solodelov Yu.A, Filippov M.V.** Obzor metodologij perekhoda ot trebovanij k resheniyam v sistemnoj inzhenerii. *Vestnik RGGU*. 2022, no. 3, pp. 8. (in Russian).

2. **Bocharov V.A, Solodelov Yu.A, Ochered'ko S.V.** Funkcional'no-rolevoj metod proekti-rovaniya system. *Konferenciya «Upravlenie v aerokosmicheskih sistemah imeni akademika E.A. Mikrina» (UAKS-2022)*. (in Russian).

3. **Bocharov V.A.** Funkcional'no-rolevoj metod proektirovaniya system. V kn: Upravlenie v aerokosmicheskih sistemah (UAKS-2022) im. akademika E.A. Mikrina. *Materialy 15-j konferencii po problemam upravleniya*. (in Russian).

4. **Aliev T.I.** *Osnovy proektirovaniya sistem*: ucheb. posobie. SPb: Universitet ITMO. 2015, 120 p. (in Russian).

5. **Asanov A.Z.** *Tekhnologiya vlozheniya sistem i ee prilozheniya*. Ufa: izd. Ufimsk. gos. aviacionnogo tekhnicheskogo un-ta. 2007, 227 p. (in Russian).

6. *Bortovye sistemy letatel'nyh apparatov. Spravochnoe posobie dlya inzhenerov* / pod red. V.L. Tolmachyovoj. Moscow: MAI. 2004. (in Russian).

7. **Kalashnikov V.V.** *Slozhnye sistemy i metody ih analiza*. (in Russian).

8. **Avdoshin S.M., Nabebin A.A.** *Diskretnaya matematika. Algoritmy: teoriya i praktika*. Moscow: izd-vo DMK. 2019. (in Russian).

9. **Avdoshin S.M., Nabebin A.A.** Diskretnaya matematika. Formal'no-logicheskie sistemy i yazyki. Moscow: izd-vo DMK. 2018. (in Russian).

10. **Ovchinnikov V.A.** *Grafy v zadachah analiza i sinteza struktur slozhnyh sistem*. Moscow: MGTU. 2014. (in Russian).

11. **Omel'chenko V.V.** *Osnovy Sistematizacii. Metodologiya i filosofskie aspekty*. *Principy i zakony poznaniya real'noj dejstvitel'nosti*. Moscow: Librokom. 2012. (in Russian).

12. **Gnoenskij L.S., Kamenskij G.A., El'sgol'c L.E.** *Matematicheskie osnovy teorii upravlyaemyh sistem*. Moscow: Nauka.1969. 512 p. (in Russian).

13. **Anohin P.K.** *Izbrannye Trudy. Filosofskie aspekty teorii funkcional'noj siste-my*. AN SSSR. Moscow: Nauka. 1978. (in Russian).

14. **Vdovin V.M., Surkova L.E., Valentinov V.A.** *Teoriya sistem i sistemnyj analiz*. Moscow: Dashkov i K°. 2010. 640 p. (in Russian).