

Метод построения профиля функционирования сложной технической системы

О.С. Лаута¹, Е.Г. Баленко², В.Х. Федоров², О.А. Остроумов³, О.М. Лепешкин⁴

¹*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург*

²*Донской государственной аграрный университет, пос. Персиановский, Ростовская обл.*

³*Военная академия связи им. С.М. Буденного, Санкт-Петербург*

⁴*Политехнический университет им. Петра Великого, Санкт-Петербург*

Аннотация: В современном мире количество разных сложных технических систем с каждым годом только возрастает, при этом любая система имеет в своем составе или использует стороннюю систему связи. Нарушение функционирования системы связи и ее элементов может привести к возникновению ситуации невозможности системе управления, самой сложной технической системе, реализовать свои функции. Система связи и ее элементы становятся критичными. Требуется обеспечить гарантированное функционирование системы связи и ее элементов. Одним из способов обеспечения устойчивого функционирования сложных технических систем является реализация системой управления функции контроля, при этом в процессе функционирования системы необходимо учитывать не характеристики и параметры отдельных элементов, описывающих их функционирование, а способность системы выполнять задачи и функции. Для обеспечения устойчивого функционирования системы связи и своевременного реагирования системы управления на нарушения функционирования системы связи, система управления должна постоянно иметь информацию о состоянии системы связи и ее элементов. Система поддержки принятия решения по состоянию элементов должна быть способна прогнозировать процесс функционирования системы связи, при этом системе контроля следует иметь характеристику процесса функционирования системы связи, которая позволяет определить функциональную устойчивость сложной технической системы.

Цель исследования: разработка метода формирования профиля системы связи, характеризующего сложную техническую систему (систему связи), процессы и регламенты, происходящие в ней, являющегося инструментом системы контроля, который позволяет выявлять и своевременно реагировать на отклонения от устойчивого функционирования системы.

Методы: использование процессного подхода для формализации функционирования системы, матриц задач, функций, процесса функционирования.

Результаты: предложен подход к описанию функционирования системы связи через формирование профиля функционирования системы, представляющего собой совокупность матриц, который используется в системе контроля.

Практическая значимость: результаты исследования могут быть использованы при проектировании и построении сложных технических систем, систем контроля, диагностике и мониторинге состояния системы.

Ключевые слова: функциональная устойчивость, критичность, система связи, система управления, сложная техническая система, функции, задачи, профиль, регламент.

Введение. Современные технические системы, критически важные объекты, объекты критической информационной инфраструктуры представляют собой сложные технические системы (СТС). Сложность данных систем определяется с одной стороны количеством, как правило, разнотипных элементов, а с другой - количеством выполняемых функций и задач. Любая СТС имеет свои или использует другие систему связи и систему управления, которые часто также являются СТС, поэтому формирование профиля функционирования СТС рассмотрим на примере системы связи (СС).

В настоящее время тяжело представить какую-либо сферу жизни общества, государства, которая бы не подверглась информатизации и цифровизации, при этом их уровень с каждым годом растет, формируется цифровое общество. Современные средства коммуникации предоставляют множество возможностей по реализации различных информационных услуг, что, несомненно, удобно, позволяет сократить время на проведение различных операций, действий. Однако у повсеместных цифровизации и информатизации имеется существенная проблема, связанная с обеспечением безопасного и устойчивого функционирования систем, производящих выполнение задач, предоставления услуг [1-3]. Отдельные элементы системы, участвующие в выполнении важных функции, задач или участвующие в выполнении большого количества задач, нарушение или прекращение функционирования которых может привести к невыполнению системой своего предназначения, являются критически значимыми (важными) элементами (объектами) для системы [4]. Наряду со значимостью объектов системы необходимо рассматривать значимость и критичность задач и функций системы, независимо от объектов, участвующих в их выполнении. Возникает необходимость оценки критичности элементов,

объектов, функций, задач ресурсов системы, исходя из ее целевого предназначения.

Для описания процесса функционирования СТС, такой, как система связи, необходимо построение модели функционирования системы, позволяющее учитывать ее функциональные возможности и взаимосвязи между элементами, а также выявлять критичность и оценивать ее уровень.

Рассматривая критичность в любой системе, нужно понимать, что она зависит от типа системы, выполняемых ею задач, совокупности элементов в ней, их связей и выполняемых ими задач, однако подход к выявлению критичности для различных СТС может быть общий [5, 6], при этом, с течением времени она может меняться самостоятельно или под воздействием на нее различных факторов, в том числе, управляющих воздействий. Существуют системы, объекты, элементы, задачи, функции, критичность которых с течением времени меняться не будет, что обусловлено решаемыми системой задачами. Можно выделить динамическую и статическую критичность в системе [7, 8].

Критичность – свойство объекта, системы, элемента, характеризующее последствия нарушения его (ее) устойчивого функционирования, которое может привести к потере управления, нанести ущерб жизни и здоровью граждан, интересам организации, государства, окружающей среде, безопасности, обороноспособности государства, а также привести к другим тяжелым последствиям.

Динамическая критичность – критичность, изменяемая во времени, в зависимости от выполняемых задач и функций объекта, условий в которых он функционирует.

Статическая критичность – критичность объекта, системы, элемента присущие им постоянно.

Для осуществления контроля функционирования системы связи и наглядного представления процесса функционирования системы необходимо ее представление таким образом, чтобы учесть все возможные функции и задачи, позволяющие реализовать целевое предназначение за счет имеющегося ресурса [9, 10]. Для формализации процесса функционирования системы связи необходимо разработать профиль функционирования системы, который бы позволял выявлять нарушения в её работе, и осуществлять ее синтез.

Под профилем системы будем понимать набор взаимосвязанных характеристик системы связи, включающий структуру построения системы, ее элементы и технические средства, предназначенные для обеспечения обмена сообщениями и используемые для предоставления услуг лицам, принимающим решение, и ресурсов для выполнения задач и функций системы связи, целей, функций и задач, характеризующих процесс функционирования системы и ориентированных на выполнение ее целевого предназначения за счет выделенного (имеющегося) ресурса, при условии соблюдения предъявляемых к системе требований.

Постановка задачи

Пусть заданы:

система связи, описываемая графом G , состоящим из множества узлов N и связей между ними N_{ij} ;

множество технических средств N_k , находящихся на узлах связи;

множество ресурсов E , задач Z , функций F , целей A системы связи и требований T , предъявляемых к ней.

Структура метода

На основании исходных данных о ресурсном обеспечении системы, ее главной цели, реализованной в виде плана на определенный интервал времени, а также требований, предъявляемых к системе, ее элементам и

процессу ее функционирования выделяют совокупность задач, функций, требований, целей системы, позволяющих выполнить целевое предназначение, т.е. реализовать задачу вышестоящей системы и определяют требуемый для этого ресурс системы.

Метод формирования профиля системы связи включает четыре этапа (рис. 1), представленные ниже.

На первом этапе строится графо-матричная структурно-функциональная модель системы связи, представляющая собой граф, характеризующий структуру системы связи, который описывается матрицами. Структурная модель системы связи предоставляет определенный ресурс для выполнения задач системы, функциональная модель, представляющая собой зависимые ресурсы, задачи, функции, цели и требования строится на основе структурной модели и описывается матрицами функционирования. Результатом построения модели является совокупность взаимосвязанных и взаимовложенных матриц, описывающих структуру системы связи и выполняемые ею задачи, функции, цели и требования.

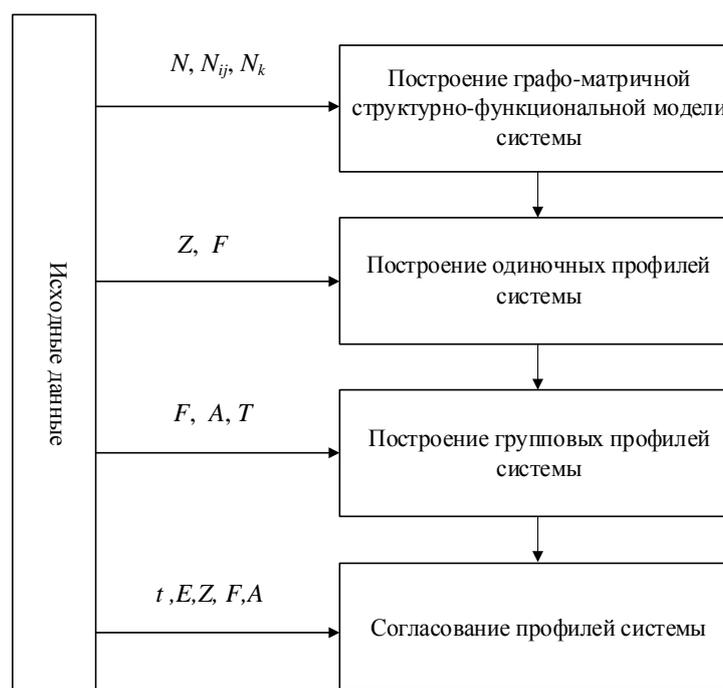


Рис. 1. Структура метода формирования профиля СС

На втором этапе, на основании графо-матричной структурно-функциональной модели, строятся одиночные профили СС, описывающие задачи и функции системы, для выполнения которых используется только один элемент системы (задача, ресурс). Результатом построения одиночных профилей является совокупность матриц, описывающих задачи и функции системы связи.

На третьем этапе формируются групповые профили системы связи, представляющие собой совокупности одиночных и групповых профилей системы, представленные в виде матриц и характеризующих выполнение системой функций, целей, требований. Формируется три типа групповых профилей: состоящие только из одиночных профилей и состоящие только из групповых профилей, а также состоящие из одиночных и групповых профилей.

На четвертом этапе осуществляется согласование одиночных и групповых профилей по влиянию друг на друга и времени выполнения.

Графо-матричная структурно-функциональная модель функционирования системы связи

Предлагаемая модель представлена в виде структурной и функциональных составляющих. Особенностью, отличающей предлагаемую модель, от известных моделей [11-13], является то, что с её помощью может выполняться обобщенная оценка устойчивости функционирования системы связи через количественную оценку функций и задач, выполняемых в системе в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов.

Структурная часть модели функционирования системы связи будет представлять собой совокупность элементов системы и связей между ними [14]. Функциональная составляющая характеризует процесс функционирования системы и ее элементов, определяемый как множество выполняемых системой задач и функций при выполнении предъявляемых к ней требований, для достижения целевого предназначения с использованием имеющегося ресурсного обеспечения и меняющейся обстановки. Основной задачей построения структурно-функциональной модели функционирования системы связи является определение взаимосвязи между структурной и функциональной характеристиками системы, определение степени их влияния друг на друга, а также общих возможностей системы по выполнению задач и функций.

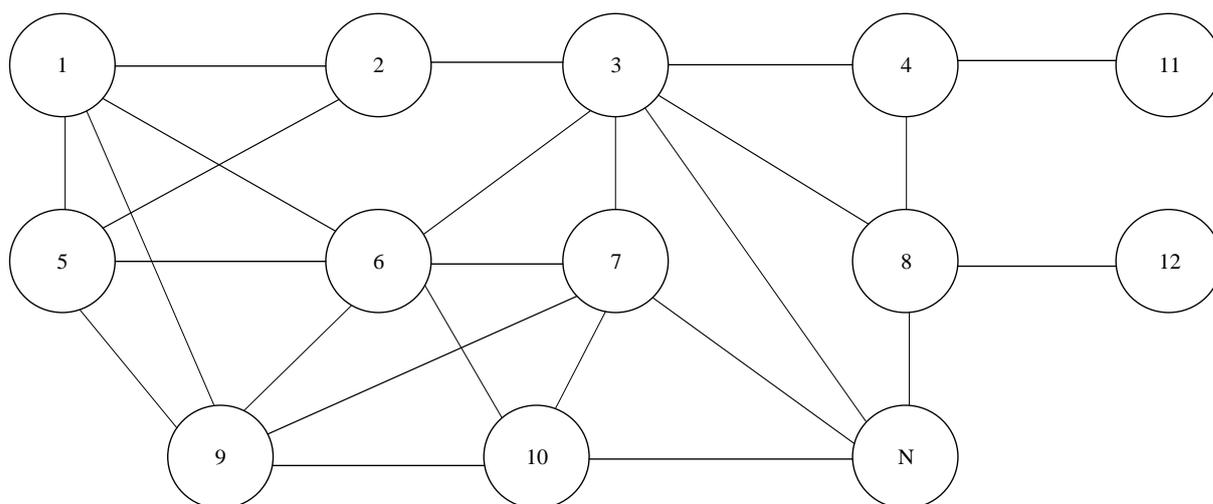


Рис. 2. Пример графического представления структуры системы

Структура системы связи определяется графо-матричной моделью функционирования системы связи на заданном временном интервале $[t, t+\Delta t] \in [0, T_\Phi]$, которая позволяет представить систему связи в виде совокупности следующих матриц и соответствующих им графов (рис. 2):

1. $Ge = \{Ge_{ij}\}$ – матрицы смежности, характеризующая граф системы, представленный на рисунке 1, где вершины представляют собой узлы связи системы, $i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, N, N$ - общее количество узлов в системе связи, а N_{ij} ребер характеризуют наличие связи между узлами.

Как правило, система связи состоит из подсистем или сетей различных видов связи, например, сети передачи данных (СПД), сети тропосферной связи (ТрСС), сети радиорелейной (СРРС), сети радиосвязи (СРС), сети спутниковой связи (ССС) и т.д., тогда матрицу, описывающая структуру СС, можно записать в следующем виде:

$$|Ge_{ij}| = |Ge_{ij\text{СПД}}| \vee |Ge_{ij\text{ТрС}}| \vee |Ge_{ij\text{СРС}}| \vee |Ge_{ij\text{СРРС}}| \vee |Ge_{ij\text{ССС}}| \vee \dots,$$

выполняются следующие операции [4]: $0 \vee 0 = 0, 1 \vee 0 = 1, 0 \vee 1 = 1, 1 \vee 1 = 1$.

$$|Ge_{ij}| = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}.$$

Для количественного описания системы связи, формируется матрица:

$$|Ge_{ijc}| = |Ge_{ijСПД}| + |Ge_{ijСТРС}| + |Ge_{ijСРС}| + |Ge_{ijСРРС}| + |Ge_{ijССС}| + \dots$$

$$|Ge_{ijc}| = \begin{vmatrix} N & 5 & 0 & \dots & 0 \\ 5 & N & 3 & \dots & 0 \\ 0 & 3 & N & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & N \end{vmatrix}.$$

Первая матрица показывает структуру системы связи и наличие связей между узлами, вторая – количество узлов, ресурсов системы и связей между узлами системы.

Единичным элементам $Ge_{ij}=1$ матрицы смежности Ge соответствуют наличие связи между узлами системы связи, а нулевым $Ge_{ij}=0$ – отсутствие.

2. $Gz=\{Gz_{ij}\}$ – матрицы смежности, характеризующие значимость узлов системы связи и связей между ними, имеет вид:

$$|Gz_{ij}| = \begin{vmatrix} 5 & 6+5 & 2+5 & \dots & N+5 \\ 5+6 & 6 & 2+6 & \dots & N+6 \\ 5+2 & 6+2 & 2 & \dots & N+2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 5+N & 6+N & 2+N & \dots & N \end{vmatrix}.$$

Значимость каждого узла определяется, исходя из количества связей, которые обеспечиваются с использованием его оборудования, последствий нарушения его функционирования для системы, значимости связей для лиц, принимающих решение (органов управления).

Исходя из целевого предназначения системы связи и требований, предъявляемых к ней, формируется функциональная часть модели функционирования системы связи. При этом, требования могут быть представлены в виде матрицы:

$$q_{T-T} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где символ «1» характеризует наличие зависимости (взаимовлияния) между требованиями, символ «0» - отсутствие. Кроме этого, при количественном описании каждого требования, может формироваться матрица критериев оценки требований, элементами которой будут величины, чьи значения характеризуют выполнение требований, предъявляемых к системе связи.

Функциональная часть модели включает множество матриц, характеризующих выполнение задач, функций и целей системы для достижения целевого предназначения, за счет имеющегося ресурса.

Ресурсы:

$$q_{E-E} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

Задачи:

$$q_{Z-Z} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

Функции:

$$q_{F-F} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

Цели:

$$q_{A-A} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где $A = \{A_1, A_2, \dots, A_a\}$ – целевая функция (множества целей), $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ – множества требований к системе, ее элементам, целям, функциям, задачам, ресурсам, $F = \{F_1, F_2, \dots, F_c\}$ – множества функций системы, $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_q\}$ – множества задач системы, множества ресурсов системы $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$ – множество ресурсов системы связи, обеспечивающих ее функционирование.

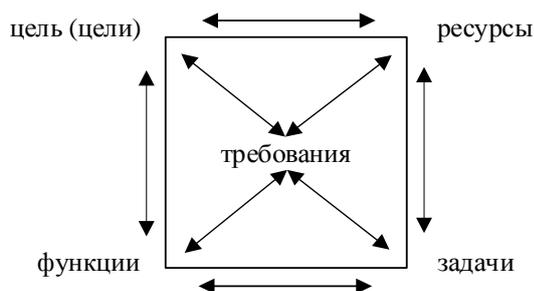


Рисунок 3. Концептуальная модель обеспечения функционирования системы

Для описания функционирования системы рассмотрим модель, представленную на рис. 3, где характеристики системы могут дополнительно иметь главную цель, подцели, подфункции, подзадачи, которые обобщаются в виде целей, функций, задач [1, 7]. Для достижения целей система должна выполнять возложенные на нее функции, задачи и регламенты за счет имеющегося ресурса (маневра ресурсом) [1, 9], при условии выполнения требований, предъявляемых к системе, ее элементам, целям, функциям, задачам и ресурсам, при этом для обеспечения быстроедействия реагирования на нарушения функционирования элементов системы некоторые процессы должны быть автоматизированы. Отсутствие ресурса, невыполнение

функций, задач и регламентов, а также сбои в их выполнении, могут стать причиной нарушения ее устойчивого функционирования и не достижения целей системы [1, 3, 15].

Целевая аудитория профиля функционирования системы

Настоящий профиль предназначен для специалистов в области обеспечения функциональной устойчивости сложных технических систем (специалисты технического обеспечения, автоматизированных систем управления, должностные лица, занимающиеся мониторингом и контролем функционирования систем), в области проектирования и построения систем, кроме этого информация о понимании процессов формирования и использования профиля функционирования системы необходима лицам, принимающим решение, из вышестоящей системы.

Предназначение профиля функционирования системы (ПФС)

Основным предназначением ПФС является использование его как формализованного задания для самой системы на функционирование и системы для контроля функционирования, выявления различных ситуаций, в результате которых может нарушаться функционирование системы, а также выявления критичности элементов системы, оценки ее функциональной устойчивости и критичности.

Под оценкой критичности системы связи понимается проверка влияния нарушения (невыполнения) задач, функций, целей системы на выполнение системой целевого предназначения.

Под оценкой функциональной устойчивости системы понимается проверка выполнения системой сформированного профиля

функционирования системы, характеризующего план функционирования системы.

Результаты оценки критичности и функциональной устойчивости системы могут использоваться в системе поддержки принятия решения, в первую очередь, для формирования сценариев действия должностных лиц для ухода от критичности и обеспечения устойчивости функционирования системы. При этом, по мере развития системы, ее совершенствования и увеличения времени ее функционирования, будет происходить постепенная автоматизация процессов обеспечения функциональной устойчивости, за счет самостоятельного принятия системой решения возникающих в ней событий.

Процессу формирования ПФС предшествует определение целевого предназначения системы. Целевое предназначение СС формируется в виде документа, содержащего в явном или неявном виде следующую информацию:

- состав системы, т.е. какие элементы, объекты, подсистемы, сети и т.д. должны входить в систему;
 - количество и виды связей (услуг), которые необходимо реализовать;
 - в интересах кого (чего) она разворачивается;
 - перечень задач, подзадач, функций, подфункций, целей, подцелей системы, которые необходимо выполнить для достижения ее целевого предназначения;
 - сроки выполнения задач, подзадач, функций, подфункций, целей, подцелей системы и подразделения, которые их будут выполнять;
 - требования, предъявляемые к системе, которые отображаются либо в документах, либо формируются под определенный перечень ресурсов, задач, функций, целей;
-

- ресурсное обеспечение для формирования системы, в том числе, необходимого в резерв. При формировании перечня необходимого ресурса вышестоящая система должна знать состояние имеющихся подразделений, их реальную обеспеченность;

- пространственное расположение элементов системы, для обеспечения целевого предназначения, а также порядок и сроки их перемещения;

- перечень объектов, имеющих критически важное значение, а также мероприятий и средств для их защиты, обеспечения устойчивого и безопасного функционирования;

- о среде, в которой будет осуществляться функционирование системы, т.е. критические значения показателей требований к возможностям системы, которые должны выполняться. При этом, система может функционировать в условиях, определяемых минимальными требованиями к наиболее уязвимому элементу системы;

- о перечне основных неисправностей и конфликтов в системе, обусловленных критичностью системы и ее элементов, а также возможностью невыполнения целей, функций и задач;

- о перечне основных угроз, возможностях по воздействию на систему и ее элементы, различных дестабилизирующих факторах, влияющих на функционирование системы и ее элементов.

Состояние реальной обеспеченности подразделений системы должно отображаться в рамках функционирования систем мониторинга и контроля в автоматизированном виде, без привлечения (минимального привлечения) человека [16, 17]. Перечень такой информации, в зависимости от условий функционирования системы и задач, для решения которых она формируется, может меняться.

В изложенных заказчиком требованиях, часто присутствует ряд проблем, связанных с:

отсутствием знания об изменениях в подчиненной системе, ее ресурсном обеспечении, возможностях по выполнению функций и решению задач;

отсутствием достоверной и своевременной информации об отклике системы на управляющие воздействия;

задержками в предоставлении информации о состоянии системы и реакции ее на управляющие воздействия, обусловленные технической сложностью системы, динамикой изменения обстановки, иерархичностью системы и необходимостью согласования воздействий и откликов на них, интервалами проверки состояния элементов системы;

отсутствием специалистов, хорошо разбирающихся не только в системе, которую они эксплуатируют, но и в системах, подчиненных, вышестоящих, взаимодействующих, принципах их построения и функционирования, а также отсутствие (низкий уровень) координации действий, взаимодействия специалистов, отвечающих за каждую систему (эксплуатирующих её);

неполным перечнем требований, обусловленных изменяющейся обстановкой, совершенствованием и модернизацией системы, появлением новых элементов, функций, услуг и т.д. Отсутствие критериев и показателей, предъявляемых требованиям к системе и ее элементам, характеризующим их функционирование;

недостаточно четкое описание требований, функций, задач системы, а также недостаточное согласование требований со средой, в которой будет функционировать элементы системы;

отсутствие, неоднозначная формулировка оценки выполнения системой предъявляемых к ней требований, оценки достижения ее целевого предназначения;

отсутствие требований к системе контроля и порядку ее функционирования, достижению ею своего целевого предназначения;

наличие расплывчатых формулировок, например, задача должна быть выполнена с использованием такого-то ресурса, но не определяется, где его взять;

наличие внутренних противоречий в системе, влияющих на невыполнение требований.

При формировании требований к системе, и формулировании задач и определении функций, может возникнуть проблема неверной интерпретации формулируемых задач, что требует решения лингвистической задачи и выработки общего для исполнителя и заказчика языка взаимодействия, исключая двоякую трактовку, а также формализация постановки задачи. По сути, ПФС является формализованным требованием вышестоящей системы, в интересах которой строится и будет функционировать СТС (СС), к ней [7].

Результатом построения ПФС в системе должен стать продукт, описывающий её структуру и функциональные возможности, направленный на решение задач вышестоящей системы и предназначенный для системы управления СТС и системы контроля ее функционирования [18-20].

Методика построения одиночного профиля функционирования в системе

Под одиночным профилем функционирования в системе связи будет пониматься профиль функционирования элементарного элемента системы. Каждая задача, выполняемая в системе связи является регламентом.

Аксиома

Для любого элемента функционирующей или проектируемой системы связи существует, как минимум, один вариант построения одиночного профиля его функционирования, позволяющий описать выполняемые им задачи или действия.

Аксиома

При неограниченном ресурсе для любой существующей системы возможно построение профиля ее функционирования, позволяющего выполнить любое ее предназначение.

Полученные в модели функционирования системы связи данные, представленные в виде матриц смежности, формируют базу данных функционирования системы связи.

Одиночный профиль бывает двух видов:

профиль задачи, представленной в виде процесса ее выполнения;

профиль элементарного элемента, объекта системы.

ПФС профиль первого типа представляет собой описание задачи, включающее:

наименование задачи;

перечень ресурсов системы, необходимых для ее решения;

перечень объектов, элементов системы, участвующих в ее решении;

перечень объектов, элементов системы, которые могут быть использованы для ее решения;

пространственно-временное расположение ресурсов, объектов, элементов системы, участвующих в ее решении, в любой момент времени в процессе ее решения;

порядок резервирования выполнения задачи (какие ресурсы, предоставляемые какими объектами, элементами системы будут использоваться для ее решения);

критерий оценки ее выполнения;

начало проверки готовности ее к выполнению;
начало выполнения и срок ее выполнения;
динамическая и статическая критичность данной задачи;
перечень и последовательность функций, для выполнения которых используется задача.

Профиль второго типа включает:

наименование элемента, объекта;

назначение элемента, объекта;

полный перечень задач, для выполнения которых может использоваться данный элемент, объект;

перечень задач из ПФС, для выполнения которых используется данный элемент, объект;

полный перечень ресурсов, которые могут быть предоставлены системе данным элементом, объектом;

перечень ресурсов, которые предоставляются данным элементом, объектом системы, и который она использует в процессе функционирования;

перечень ресурсов системы, необходимый для функционирования элемента, объекта;

состав элемента, объекта;

сроки начала проверки готовности к использованию объекта, элемента;

периоды использования элемента, объекта для выполнения задач из ПФС, общее время его задействования в системе;

перечень технических характеристик и возможностей элемента, объекта;

требования к условиям функционирования элемента, объекта;

параметры и критерии оценки функционирования элемента, объекта;

перечень типовых угроз элементу, объекту;

перечень типовых неисправностей элемента, объекта;

статистика неисправностей их причины, способы устранения;
статическая и динамическая критичность объекта, элемента системы;
пространственно-временные характеристики элемента, объекта.

Перечень элементов одиночного профиля не исчерпывается представленными выше и может дополняться характеристиками элемента, объекта, задачами, необходимыми для описания функционирования элемента, объекта, задачи.

Каждой задаче в системе связи присваивается ресурс, позволяющий ее выполнить, при этом, в процессе функционирования системы связи определяется последовательность выполнения задач в системе связи и периодичность задействования ресурсов в системе. Формируются матрицы ресурсного обеспечения выполнения задач в процессе функционирования системы связи:

$$q_{Z-E} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где строки характеризуют задачи системы, а столбцы - ресурсы системы.

Также формируется матрица временного задействования ресурсов системы:

$$q_{E-t} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где строки характеризуют ресурсы системы, а столбцы - временные отрезки, при этом значение отрезка, обозначенного, как «1» и соответствующее величине $\Delta t = t_a - t_{a-1}$ выбирается, исходя из требований системы контроля, системы связи или системы управления, а также условий функционирования

системы связи, $a = [0, N)$, N – множество натуральных чисел, величина $\Delta t = t_a - t_0$ определяет общее время функционирования системы, как правило, $t_0 = 0$.

Аналогично формируется матрица выполнения задач:

$$q_{z-t} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где строки характеризуют задачи системы, а столбцы - временные отрезки.

Для каждого элемента, объекта системы формируется матрица задач, которые он выполняет в процессе функционирования системы:

$$q_{o-z} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

Кроме этого, формируется матрица возможностей каждого объекта, характеризующая количество ресурса, предоставляемого объектом для системы:

$$q_{o-E} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

Одиночный ПФС можно представить, как:

для объекта:

$$p_0 = \{v, t, Z_q, (r_{вх}, r_{вых})\},$$

где v – объект (элемент) системы, t – время функционирования, r – ресурс системы.

для задачи:

$$p_0 = \{v_i, F_c, t, r\},$$

где v – объект (элемент) системы, i – объекты (элементы) системы, t – время выполнения, r – ресурс системы.

Методика построения группового профиля функционирования в системе

Групповой профиль (ГП) функционирования системы представляет собой профиль, получаемый, как совокупность двух и более профилей.

В работе рассматриваются групповые профили двух видов:

групповой профиль, характеризующий структурную составляющую (объекты, элементы);

групповой профиль, характеризующий функциональную составляющую (функции, цели, требования).

Также групповой профиль, в зависимости от видов профилей, входящих в него, бывает трех видов:

состоящий только из одиночных профилей;

состоящий из одиночных и групповых профилей;

состоящий только из групповых профилей.

При формировании группового профиля любого типа определяется:

наименование группового профиля (как правило, характеризует предназначение, функцию, цель) и его вид;

количество одиночных и групповых профилей, входящих в групповой профиль;

последовательность задействования одиночных и групповых профилей для выполнения группового профиля;

время начала проверки готовности профиля к выполнению;

начало и длительность выполнения ГП;

общее количество ресурсов, необходимых для выполнения ГП, исходя из ресурсов, необходимых для выполнения одиночных и групповых профилей, входящих в ГП;

для объектов и элементов системы определяется количество функций, целей, в выполнении которых они могут участвовать, но не входящих в ПФС, созданное для достижения целевого предназначения данной системы.

Аксиома

Для любого группового профиля функционирования системы существует, как минимум, два одиночных профиля функционирования элемента системы связи, которые позволяют его сформировать и выполнить.

Аксиома

Любой групповой профиль функционирования системы связи состоит из одиночных профилей функционирования элементов системы связи.

Формирование группового профиля описывается матрицами, на основании которых формируется база данных ГП.

Формализация группового профиля функционирования системы любого типа может быть представлена, как:

$$P_{Гр} = \{ P_0; P_{Гр} \}.$$

Методика согласования элементов профиля функционирования в системе

Групповые и одиночные профили, входящие в состав ПФС и описывающие процесс функционирования элементов и объектов системы, а также выполнение задач, функций, требований и целей системы оказывают влияние друг на друга. Любая сложная система всегда испытывает дефицит ресурсов, поэтому в условиях ограниченного ресурса в процессе функционирования могут возникнуть новые задачи или ситуации отсутствия ресурса для выполнения необходимой задачи, обусловленные динамикой функционирования системы, изменяющейся обстановкой, поэтому на этапе построения ПФС необходимо согласование одиночных, групповых профилей

и входящих в них элементов, характеризующих процесс функционирования иерархической сложной функционально-динамической СТС.

Профиль функционирования системы связи будет представлять собой пять уровней, которые необходимо согласовать: уровень задач – одиночные профили, уровни функций, требований, целей и целевого предназначения – групповые профили.

Согласование элементов профиля функционирования системы связи:
согласование групповых профилей целей и требований:

$$F_{\text{согл. 1 ур 1}} = f\{p_A, p_T\};$$

согласование групповых профилей требований и функций:

$$F_{\text{согл. 1 ур 2}} = f\{p_T, p_F\};$$

согласование групповых и одиночных профилей функций и задач:

$$F_{\text{согл. 1 ур 3}} = f\{p_F, p_Z\};$$

согласование элементов одиночных профилей задач и ресурсов:

$$F_{\text{согл. 1 ур 4}} = f\{p_Z, p_E\}.$$

Тогда:

$$F_{\text{согл. 1 эт 1}} = f\{F_{\text{согл. 1 ур 1}}, F_{\text{согл. 1 ур 2}}, F_{\text{согл. 1 ур 3}}, F_{\text{согл. 1 ур 4}}\}.$$

Согласование использования ресурсов, обеспечивающих решение задач системы, имеет вид:

$$G_{\text{согл. E 1}} = g\{E_m, E_m\},$$

а с учетом времени выполнения:

$$G_{\text{согл. E}} = g\{G_{\text{согл. E 1}}, G_{\text{согл. t}}\},$$

где $G_{\text{согл. t}} = g\{t, t\}$ – согласование времени, необходимого для выполнения задачи (регламента).

Согласование одиночных профилей задач, обеспечивающих функционирование системы, имеет вид:

$$G_{\text{согл. Z}} = g\{p_{Zq}, p_{Zq}\}.$$

Согласование групповых профилей функций, обеспечивающих функционирование системы, имеет вид:

$$G_{\text{согл. } F} = g\{p_{Fc}, p_{Fc}\}.$$

Согласование групповых профилей требований, предъявляемых к системе, имеет вид:

$$G_{\text{согл. } T} = g\{p_{Tn}, p_{Tn}\}.$$

Согласование групповых профилей целей системы имеет вид:

$$G_{\text{согл. } A} = g\{p_{Aa}, p_{Aa}\}.$$

Тогда:

$$F_{\text{согл. } 1 \text{ эт } 2} = f\{G_{\text{согл. } A}, G_{\text{согл. } T}, G_{\text{согл. } F}, G_{\text{согл. } Z}, G_{\text{согл. } E}\}.$$

Общее выражение функции согласования 1 уровня можно обозначить выражением:

$$F_{\text{согл. } 1 \text{ эт}} = f\{F_{\text{согл. } 1 \text{ эт } 1}, F_{\text{согл. } 1 \text{ эт } 2}\}.$$

После согласования первого уровня элементов системы, характеризующего ее функционирование, производится согласование 2 уровня, включающее согласование элементов первого уровня.

Согласование целей-требований и требований-функций:

$$F_{\text{согл. } 2 \text{ ур } 1} = f\{F_{\text{согл. } 1 \text{ ур } 1}, F_{\text{согл. } 1 \text{ ур } 2}\}.$$

Согласование требований-функций и функций-задач:

$$F_{\text{согл. } 2 \text{ ур } 2} = f\{F_{\text{согл. } 1 \text{ ур } 2}, F_{\text{согл. } 1 \text{ ур } 3}\}.$$

Согласование функций-задач и задач-ресурсов:

$$F_{\text{согл. } 2 \text{ ур } 3} = f\{F_{\text{согл. } 1 \text{ ур } 3}, F_{\text{согл. } 1 \text{ ур } 4}\}.$$

Аналогично производится согласование элементов 2 уровня:

$$F_{\text{согл. } 3 \text{ ур } 1} = f\{F_{\text{согл. } 2 \text{ ур } 1}, F_{\text{согл. } 2 \text{ ур } 2}\}$$

и

$$F_{\text{согл. } 3 \text{ ур } 2} = f\{F_{\text{согл. } 2 \text{ ур } 2}, F_{\text{согл. } 2 \text{ ур } 3}\}.$$

Конечное выражение согласованного по уровням профиля функционирования системы можно представить в виде:

$$F_{\text{согл. 2 эт}} = f\{F_{\text{согл. 3 ур 1}}, F_{\text{согл. 3 ур 2}}\}.$$

Общее выражение для согласования профиля функционирования системы имеет вид:

$$F_{\text{согл.}} = f\{F_{\text{согл. 1 эт}}, F_{\text{согл. 2 эт}}\}.$$

Заключение

Метод построения профиля функционирования системы представляет собой подход структурно-функциональной формализации системы, позволяющий представить систему связи в виде совокупности взаимосвязанных матриц, характеризующих структуру системы и процесс ее функционирования. Основное предназначение профиля заключается в использовании его в системе контроля процесса функционирования системы. В систему контроля поступает профиль-задание, который разрабатывается на основании плана, определяющего потребности системы, в интересах которой функционирует СТС. В процессе функционирования системы формируется профиль процесса ее функционирования, который определяет текущее состояние системы, ее элементов, ресурсов и выполняемые ею задачи, функции, цели и требования. В системе контроля осуществляется сравнение профилей и определение их отличий, а также последствий отличий профилей, т.е. влияние такого отличия на дальнейшее выполнение в системе связи функций и задач, чем и определяется их критичность.

Основным отличием представленного метода от известных является то, что предложен подход к формализации процесса функционирования системы, определению его зависимости через ресурс, от структуры системы, и представление системы в виде профиля функционирования системы, позволяющего количественно определять возможности системы по выполнению функций, задач и целей, а также осуществлять синтез системы для выполнения ее целевого предназначения.

Представленный в работе метод построения профиля системы связи может использоваться для выявления критичности элементов системы, ее ресурсов, а также выполняемых ею задач, функций и целей.

Литература

1. Остроумов О.А. Проблема обеспечения функциональной устойчивости систем критически важных объектов // Электросвязь, 2022, №1. с.14-18.
2. Петренко С. А. Концепция поддержания работоспособности киберсистем в условиях информационно-технических воздействий // Труды ИСА РАН, Т. 41, 2009. с. 175-193.
3. Тарасов А.А. Проблема обеспечения гарантоспособности информационных систем и пути ее решения // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций, 2000, № 32. с. 78 - 80.
4. Лысов А.В. Обеспечение безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры: Уч. пособие. СПб.: Медиапапир, 2019. 314 с.
5. Hickford A.J., Blainey S.P., Ortega Hortelano A. Resilience engineering: theory and practice in interdependent infrastructure systems. Environ Syst Decis, 2018, № 38. pp 278-291. Doi.org/10.1007/s10669-018-9707-4.
6. Жиленков А.А., Черных С.Г. Система безаварийного управления критически важными объектами в условиях кибернетических атак // Вопросы кибербезопасности, 2020, № 2(36). С. 58-66. DOI:10.21681/2311-3456-2020-2-58-66.
7. Лепешкин О. М., Остроумов О. А., Синюк А. Д. Систематизация основ методологии синтеза критической информационной инфраструктуры Российской Федерации // Военная мысль, 2021, № 8. с. 109-114.

8. Остроумов О.А. Методика обеспечения функциональной устойчивости системы связи // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения, 2022, вып. 1. с. 30-38.

9. Аунг Чжо Мью, Анисимов А.А., Гагарина Л.Г., Портнов Е.М. Методика повышения эффективности управления ресурсоемкими задачами в распределенных вычислительных системах // Инженерный вестник Дона, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/6294.

10. Филатов В.А., Козырь О.Ф. Модель поведения автономного сценария в задачах управления распределенными информационными ресурсами // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1771.

11. Нечепуренко А.П., Суетин А.И., Муртазин И.Р., Лаута О.С. Модели интеллектуальных воздействий // Региональная информатика и информационная безопасность, 2017, С. 144-145.

12. Лепешкин О. М., Шуравин А. С., Пермьяков А. С., Зройчиков П. С., Шимаров Е. В. Модель контроля информационной безопасности распределенной сети связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2020, № 12. с. 250-255.

13. Kotenko I., Saenko I., Lauta O., Karpov M. Methodology for management of the protection system of smart power supply networks in the context of cyberattacks // Energies. Vol. 14. № 18. 2021. DOI 10.3390/en14185963.

14. Одоевский С. М., Лебедев П. В. Методика оценки устойчивости функционирования системы технологического управления инфокоммуникационной сетью специального назначения с заданной топологической и функциональной структурой // Системы управления, связи и безопасности, 2021, № 1. С. 152-189. DOI: 10.24411/2410-9916-2021-10107.

15. Дурняк Б. В., Машков О. А., Усаченко Л. М., Сабат В. И. Методология обеспечения функциональной устойчивости иерархических организационных систем управления // Сборник научных статей: Институт проблем моделирования в энергетике, НАН Украины, 2008, В. 48. с. 3-21.

16. Burlov V., Uzun O., Grachev M., Faustov S., Sipovich D. Web-based power management and use model (2021) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1258 AISC, pp. 629-641. Doi: 10.1007/978-3-030-57450-5_54.

17. Ткалич С.А. Прогнозирование аварийных ситуаций в контуре химводоочистки в рамках системы принятия решения на основе композиционной модели // Инженерный вестник Дона, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7497.

18. Климов С.М., Поликарпов С.В., Рыжов Б.С., Тихонов Р.И., Шпырня И.В. Методика обеспечения устойчивости функционирования критической информационной инфраструктуры в условиях информационных воздействий // Вопросы кибербезопасности, 2019, №6. с. 37-48.

19. Смирнов А.В., Левашова Т.В., Петров М.В. Базовый сценарий поддержки принятия решений на основе моделей жизни пользователей в цифровой среде // Информационно-управляющие системы, 2021, № 4. с. 47-60. doi: 10.31799/1684-8853-2021-4-47-60.

20. Curti F., Gerlach J., Kazinnik S., Lee M., Mihov A. Cyber Risk Definition and Classification for Financial Risk Management // Federal Reserve Bank of Richmond. 2020. 28 p.

References

1. Ostroumov O.A. *E`lektrosvyaz`*, 2022, №1. pp.14-18.
 2. Petrenko S. A. *Trudy` ISA RAN*, T. 41, 2009. pp. 175-193.
 3. Tarasov A.A. *Sistemy` bezopasnosti, svyazi i telekommunikacij*, 2000, № 32. pp. 78 - 80.
-

4. Ly`sov A.V. Obespechenie bezopasnosti znachimy`x ob`ektov kriticheskoy informacionnoj infrastruktury` [Ensuring the security of significant objects of critical information infrastructure]: Uch. posobie. SPb.: Mediapapir, 2019. 314 p.

5. Hickford A.J., Blainey S.P., Ortega Hortelano A. Resilience engineering: theory and practice in interdependent infrastructure systems. Environ Syst Decis. 2018. № 38. pp 278-291. Doi.org/10.1007/s10669-018-9707-4.

6. Zhilenkov A.A., Cherny`x S.G. Voprosy` kiberbezopasnosti, 2020 № 2(36). pp. 58-66. DOI:10.21681/2311-3456-2020-2-58-66.

7. Lepeshkin O. M., Ostroumov O. A., Sinyuk A. D. oennaya my`sl`, 2021, № 8. pp. 109-114.

8. Ostroumov O.A. Voprosy` radioe`lektroniki. Ser. Texnika televideniya, 2022, V. 1. pp. 30-38.

9. Aung Chzho M`yu, Anisimov A.A., Gagarina L.G., Portnov E.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/6294.

10. Filatov V.A., Kozy`r` O.F. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1771.

11. Nechepurenko A.P., Suetin A.I., Murtazin I.R., Lauta O.S. Regional`naya informatika i informacionnaya bezopasnost`, 2017. pp. 144-145.

12. Lepeshkin O. M., Shuravin A. S., Permyakov A. S., Zrojchikov P. S., Shimarov E. V. Izvestiya Tul`skogo gosudarstvennogo universiteta. Texnicheskie nauki, 2020, № 12. pp. 250-255.

13. Kotenko I., Saenko I., Lauta O., Karpov M. Methodology for management of the protection system of smart power supply networks in the context of cyberattacks. Energies. Vol. 14. № 18. 2021. DOI 10.3390/en14185963.

14. Odоеvskij S. M., Lebedev P. V. Sistemy` upravleniya, svyazi i bezopasnosti, 2021, № 1. pp. 152-189. DOI: 10.24411/2410-9916-2021-10107.



15. Durnyak B. V., Mashkov O. A., Usachenko L. M., Sabat V. I. Sbornik nauchny`x statej: Institut problem modelirovaniya v e`nergetike, NAN Ukrainy`, 2008, V. 48. pp. 3-21.
16. Burlov V., Uzun O., Grachev M., Faustov S., Sipovich D. Web-based power management and use model (2021) Advances in Intelligent Systems and Computing, 1258 AISC, pp. 629-641. Doi: 10.1007/978-3-030-57450-5_54.
17. Tkalich S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7497.
18. Klimov S.M., Polikarpov S.V., Ry`zhov B.S., Tixonov R.I., Shpy`rnya I.V. Voprosy` kirberbezopasnosti, 2019, №6. pp. 37-48.
19. Smirnov A.V., Levashova T.V., Petrov M.V. Informacionno-upravlyayushhie sistemy`, 2021, № 4. pp. 47-60. doi: 10.31799/1684-8853-2021-4-47-60.
20. Curti F., Gerlach J., Kazinnik S., Lee M., Mihov A. Cyber Risk Definition and Classification for Financial Risk Management. Federal Reserve Bank of Richmond. 2020. 28 p.