

Методика автоматизированного процесса управления построением сложной технической системы

О.С. Лаута¹, Е.Г. Баленко², В.Х. Федоров², О.А. Остроумов³, Е.В. Вершенник³

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

²Донской государственный аграрный университет, пос. Персиановский, Ростовская обл.

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

Аннотация: При построении сложных технических систем, как правило, в качестве основы используются ресурсы уже существующей системы, которые могут быть избыточны вследствие отсутствия четкой определенности, для чего необходима система. Это обуславливает необходимость определения целевого предназначения системы, выбора элементов для ее построения и управления в процессе ее функционирования, направленного на достижение целевого предназначения и оптимизации ресурсного обеспечения, используемого для построения системы. Для эффективного решения данной проблемы предлагается подход к автоматизированному процессу управления построением сложной технической системы, основанный на определении целевого предназначения системы, а также определения функций и задач, выполнение которых позволяет осуществить целевое предназначение за счет ресурсов системы.

Цель исследования: разработка модели автоматизированного процесса управления построением сложной технической системы, описывающей процесс управления построением системы и позволяющей обеспечить выполнение целевого предназначения сложной технической системы.

Методы: использование процессного подхода для формализации функционирования системы связи, методы теории графов; методы теории матриц, методы теории вероятности, методы теории множеств.

Результаты: предложен подход к построению системы, основанный на разработке ее профиля функционирования, характеризующего достижение ее целевого предназначения, моделировании процесса функционирования сложной технической системы и оценке эффективности выполнения профиля. Профиль представляет собой совокупность матриц, характеризующих процесс функционирования системы. Использование предложенной методики позволит на этапе построения сложной системы повысить качество и эффективность проектирования сложной технической системы за

счет учета функциональных потребностей системы, а также определения требуемого для их выполнения количества ресурсов.

Практическая значимость: результаты исследования могут быть использованы при проектировании и построении различных сложных технических систем.

Ключевые слова: профиль, сложная техническая система, критичность, проектирование системы, построение системы, автоматизация процесса управления, функции, задачи, ресурс.

Постановка задачи. В современном мире в разных отраслях, сферах жизни общества и государства существует большое количество разнообразных систем, сложность которых с каждым годом только растет. Сложность технических систем обусловлена, в первую очередь, количеством элементов в ней и связями между ними, при этом сами элементы также могут представлять собой сложные системы или объекты [1-3]. Элементы систем являются разнородными объектами, выполняющими различное количество разнородных функций и задач, обуславливающих возможности данной системы. В процессе проектирования и построения системы необходимо учитывать, что возможности системы не должны превышать потребности лиц, эксплуатирующих систему. Невыполнение этого требования приведет к неэффективному функционированию системы, обусловленному невыполнением целевого предназначения системы по выполнению определенного набора функций и задач [4-6]. Таким образом, часто возникает противоречие между потребностями лиц, эксплуатирующих системы, и ее возможностями по реализации определенного набора функций и задач. Кроме этого, неправильный выбор ресурсного обеспечения, а также порядка и времени его использования становится результатом неэффективного использования возможностей системы, что может быть причиной невыполнения ее целевого предназначения. Наряду с этим, для повышения

качества проектирования и построения системы требуется автоматизация данного процесса [7, 8].

Данное противоречие обуславливает существование актуальной **научной задачи**, заключающейся в необходимости разработки методики автоматизированного управления процессом построения сложной технической системы, позволяющей повысить эффективность реализации возможностей системы за счет определения и управления ресурсами, задачами и функциями системы для выполнения своего целевого предназначения, на решение которой направлена представленная методика.

Суть методики заключается в автоматизации процесса построения сложной технической системы (СТС), основанного на определении целевого предназначения системы, выполнение которого возможно за счет определенной структурно-функциональной характеристики системы и определенного набора ресурсов, моделировании процесса функционирования системы и определения наиболее эффективной структурно-функциональной характеристики системы.

Показателями эффективности являются вероятность построения сложной технической системы, позволяющей своевременно выполнить целевое предназначение системы при минимальном количестве ресурсов $P_A(F_{\text{вып}} \geq F_{\text{треб}} | t_A \leq t_{\text{Атреб}}, \min E)$, коэффициент функциональной устойчивости $K_{\text{фу}}$.

Вводимые ограничения:

- рассматриваемая система представляет собой множество разнородных элементов;
- связь элементов друг с другом определяется техническими возможностями технических средств, находящихся на них;

- процесс функционирования системы (достижение целевого предназначения) определяется выполнением им (ее элементами) определенного (требуемого) перечня функций;

- ресурс, используемый для проектирования и построения системы, исправен и работоспособен.

Принято **допущение**: имеющийся у проектировщиков ресурс достаточен для выполнения целевого предназначения системы.

Исходными данными в методике являются:

- состав сложной технической системы, включающий G элементов и L линий, и ее структура в виде графа $R = (G, L)$;

- множество технических средств, находящихся на элементах системы, выступающих в качестве технического ресурса системы $O = \{O_1, O_2, \dots, O_o\}$;

- множество ресурсов системы, являющихся результатом функционирования технических средств, находящихся на элементах системы $S_o = \{S_{o1}, S_{o2}, \dots, S_{oc}\}$;

- множество ресурсов ТС, находящихся в ней $E = \{S_o, O_o\}$ [3, 9];

- множество функций, в выполнении которых участвует каждый элемент сложной технической системы $F_o = \{F_{o1}, F_{o2}, \dots, F_{oj}\}$;

- целевое предназначение системы, выполнение которого обеспечивается выполнением функций системы $A = \{F_1, F_2, \dots, F_j\}$.

Используемые методы: методы теории графов; методы теории матриц, методы теории вероятности, методы теории множеств [10, 11].

Описание методики

Рассмотрим работу методики, основные элементы которой представлены блок-схемой (рис. 1, 2, 3).

В блоке 1 формируют исходные данные, включающие критерий оценки функциональной устойчивости сложной технической системы (ТС) (рис. 1 блок 3а); время начала и длительность выполнения каждой задачи ТС; время

начала и длительность выполнения каждой функции ТС; время начала и длительность выполнения каждой цели ТС; время начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой задачи ТС; время начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой функции ТС; время начала и длительность интервала проверки готовности к выполнению каждой цели ТС [3, 12].

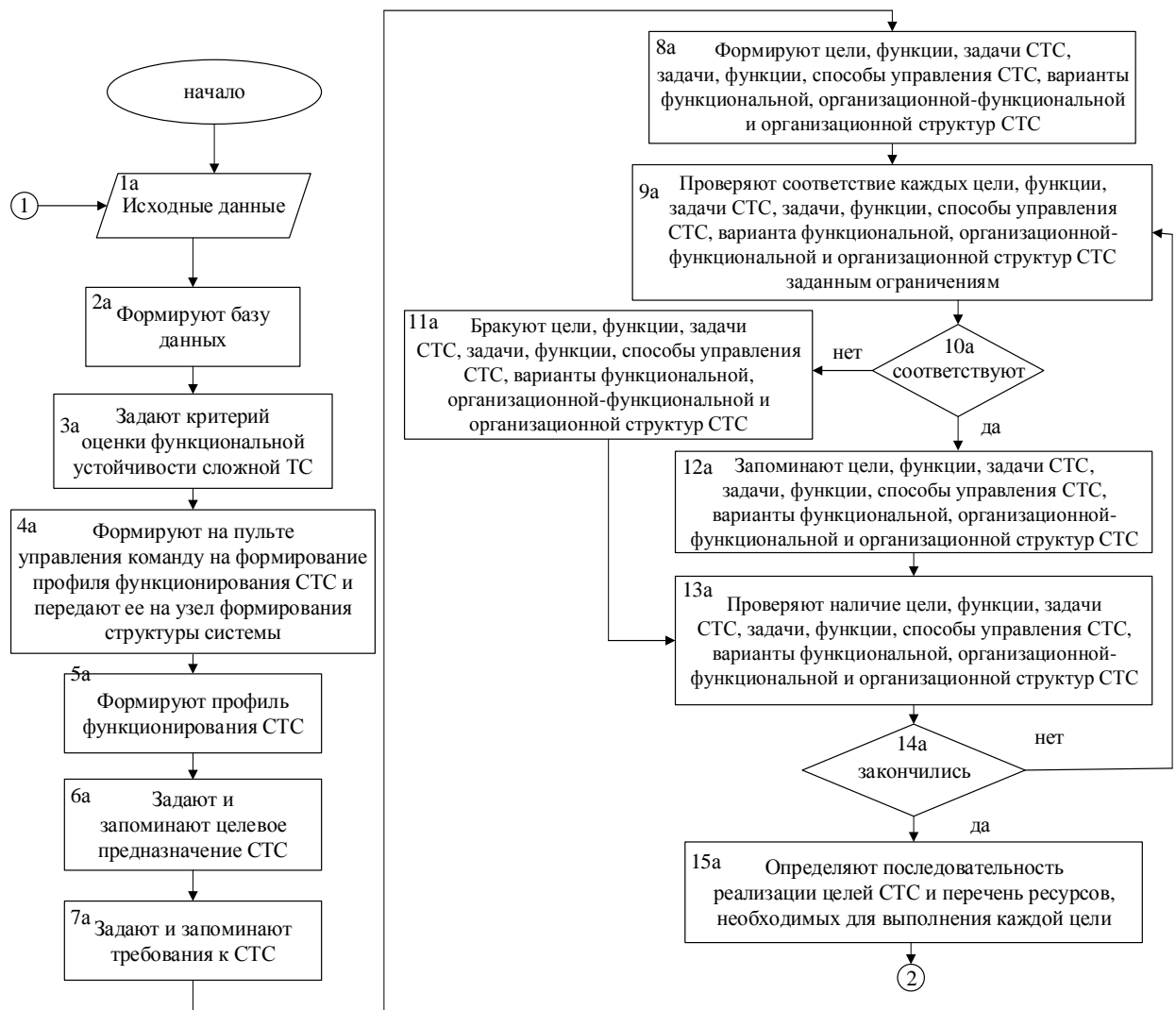


Рис. 1. Блок-схема методики автоматизированного управления процессом построения сложной технической системы (начало)

При этом, предварительно в блоке 2а формируют базу данных, куда в дальнейшем будет записываться информация о формируемом профиле, результатах моделирования, соответствии параметров, оценке устойчивости функционирования и структуре, проектируемой СТС. Задают на пульте управления команду на формирование профиля функционирования сложной ТС и передают ее на узел формирования структуры системы (блок 4а рис. 1).

Формируют профиль функционирования СТС (блок 5а рис. 1), для чего определяют (задают) целевое предназначение СТС (блок 6а рис. 1), а также задают и запоминают требования, предъявляемые к СТС (блок 7а фиг. 1). Для выполнения целевого предназначения требуется формирование перечня целей, функций, задач самой сложной ТС и системы управления ею. Кроме этого, формируют варианты функциональной, организационной и функционально-организационной структур СТС (блок 8а рис. 1) [8, 13].

Сформированные цели, функции, задачи системы, а также ее структуры проверяют на удовлетворение заданным требованиям (блок 9а рис. 1). При соответствии требованиям их запоминают (блоки 10а и 12а рис. 1), а при несоответствии бракуют. Такую проверку осуществляют для всех сформированных целей, функций и задач системы, а также ее структур (блоки 11а, 13а, 14а рис. 1).

После проверки соответствия заданным требованиям определяют последовательность реализации сохраненных целей СТС и необходимого для этого ресурса системы (блок 15а рис. 1), при этом ранжируют цели по значимости для СТС [14].

Аналогичные действия по определению последовательности выполнения и потребного ресурса осуществляют для каждой функции и задачи СТС (блоки 16а, 17а рис. 1) [15-17].

В блоке 18а рис. 2 осуществляют определение перечня ресурсов, необходимых для выполнения целевого предназначения СТС [3, 18]. На

следующем шаге в блоке 19а рис. 2 задают время начала и длительность интервала проверки готовности СТС к выполнению каждой функции и задачи [19].

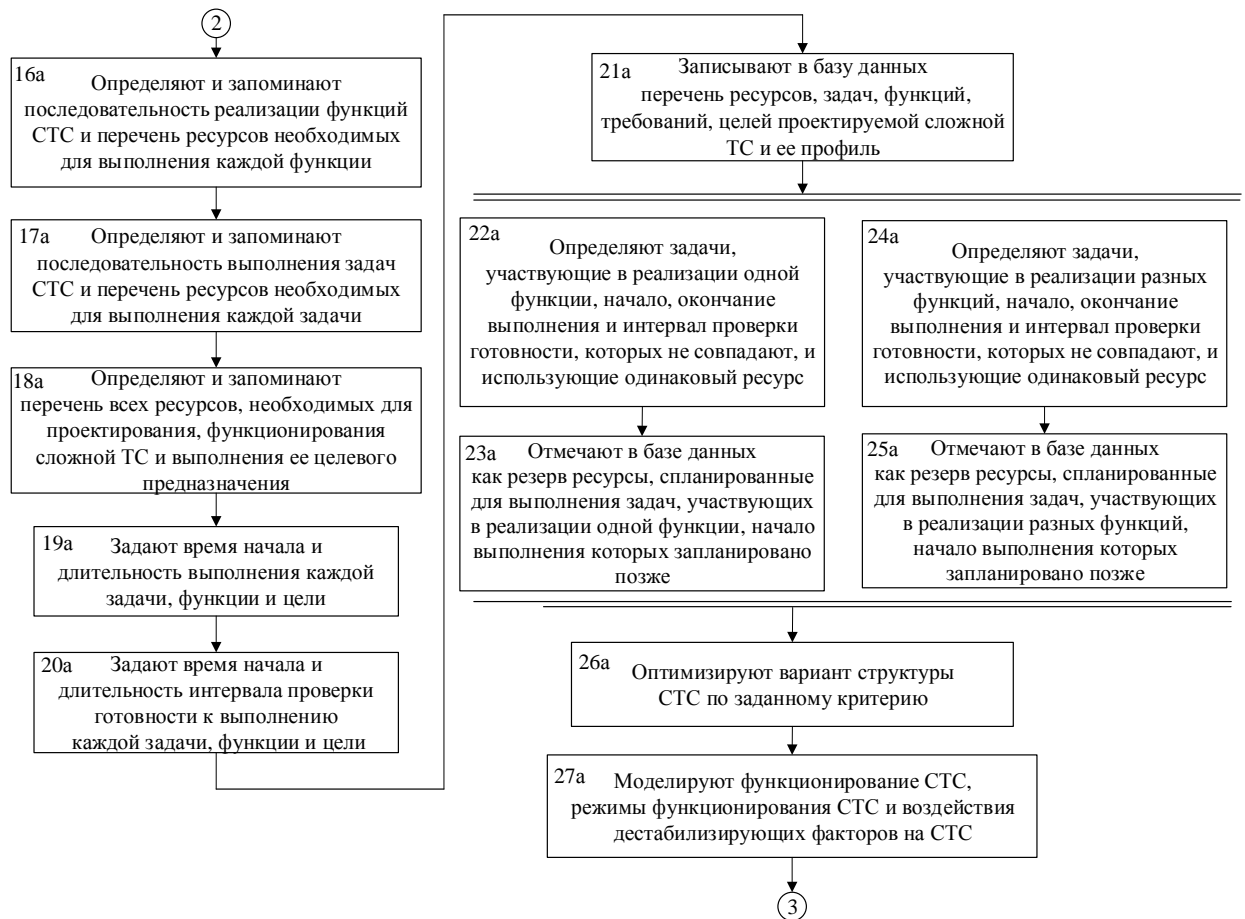


Рис. 2. Блок-схема методики автоматизированного управления процессом построения сложной технической системы (продолжение)

Записывают в базу данных перечень ресурсов, задач, функций, требований и целей проектируемой системы и формируют профиль функционирования СТС (блок 21а рис. 2).

Для выбора наиболее эффективного варианта построения СТС в блоках 22а – 25а рис. 2 определяют задачи, участвующие в реализации как одной,

так и разных функций, начало, окончание выполнения и интервала готовности, которых не совпадают, и использующие одинаковый ресурс. Выделяют (отмечают) в базе данных данный ресурс, планируемый для выполнения этих задач и функций, в качестве резерва.

В блоке 26а рис. 2 оптимизируют варианты структуры СТС, после чего в блоке 27а рис. 2 моделируют функционирование СТС и воздействие дестабилизирующих факторов, влияющих на ее функционирование.

При моделировании функционирования СТС проверяется выполнение требуемого перечня целей, функций и задач, определяющих выполнение целевого предназначения СТС (блок 28а рис. 3). Для этого проверяется наличие ресурса для их выполнения (блок 29а рис. 3).

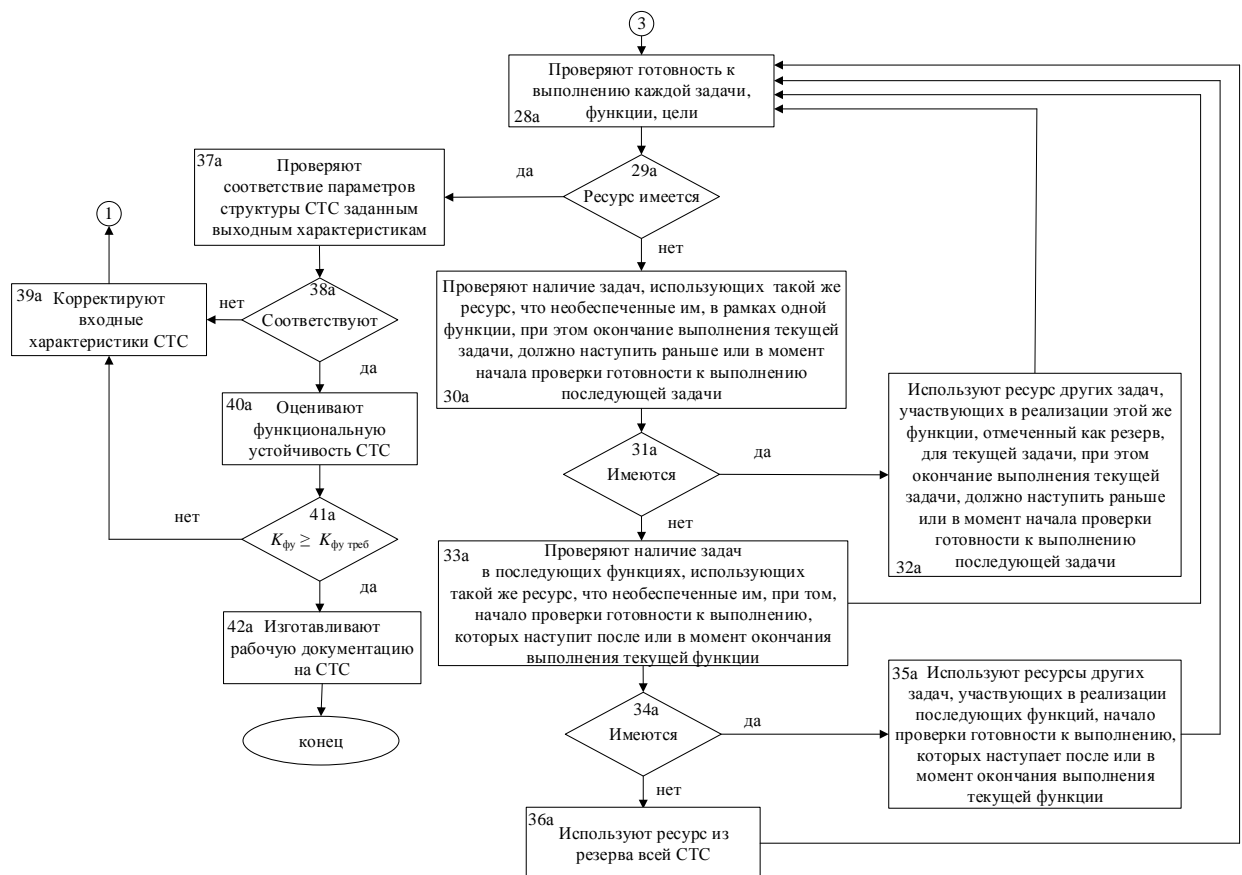


Рис. 3. Блок-схема методики автоматизированного управления процессом построения сложной технической системы (окончание)

При отсутствии ресурса в блоках 30а – 36а рис. 3 осуществляется использование ресурсов, спланированных для выполнения других функций и задач, либо ресурса из резерва СТС.

При наличии ресурса проверяется соответствие параметров структуры СТС заданным требованиям (блок 37а рис. 3). При соответствии оценивают функциональную устойчивость моделируемого варианта построения СТС (блоки 40а и 41а рис. 3), а при несоответствии и при невыполнении требований по функциональной устойчивости корректируют входные характеристики (исходные данные) (блок 39а рис. 3), и повторяют процесс построения системы. При обеспечении требуемого уровня функциональной устойчивости моделируемым вариантам построения СТС осуществляют изготовление рабочей документации на проектируемую сложную техническую систему.

Оценка эффективности

Эффективность формируемого варианта построения СТС определяется выполнением целевого предназначения СТС данным набором ресурсов в установленные требованиями к системе сроки в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов. Способность системы выполнить целевое предназначение определяет ее функциональную устойчивость.

Известные способы обеспечения устойчивости функционирования сложных объектов [2, 20, 21] направлены на восстановление технических средств, находящихся на элементах СТС.

На рисунке 4 поясняется процесс резервирования ресурсов, предназначенных для выполнения i -х задач одной j -й функции и i -х задач разных j -х функций. Для выполнения второй Z_2 и четвертой Z_4 задач первой функции F_1 необходим ресурс r_2 . В этом случае проверяется несовпадение времени начала проверки готовности выполнения каждой задачи, начала и окончания выполнения каждой задачи так, что $t_{13} \leq t_{14} - (t_{10} - t_{1r})$, т.е.

окончание выполнения текущей (например, второй) задачи должно произойти раньше или в момент начала проверки готовности к выполнению последующей (например, четвертой) задачи. Для двух разных функций, при использовании для первой задачи Z_1 первой функции F_1 и восьмой задачи Z_8 второй функции F_2 одинакового ресурса r_1 . В этом случае также проверяется несовпадение времени начала готовности выполнения текущей задачи, начала и окончания выполнения текущей задачи так, что $t_{12} \leq t_{20} - (t_{20} - t_{2r})$, т.е. время окончания выполнения текущей задачи (например, первой) должно произойти раньше или в момент начала проверки готовности к выполнению последующей (например, восьмой) задачи.

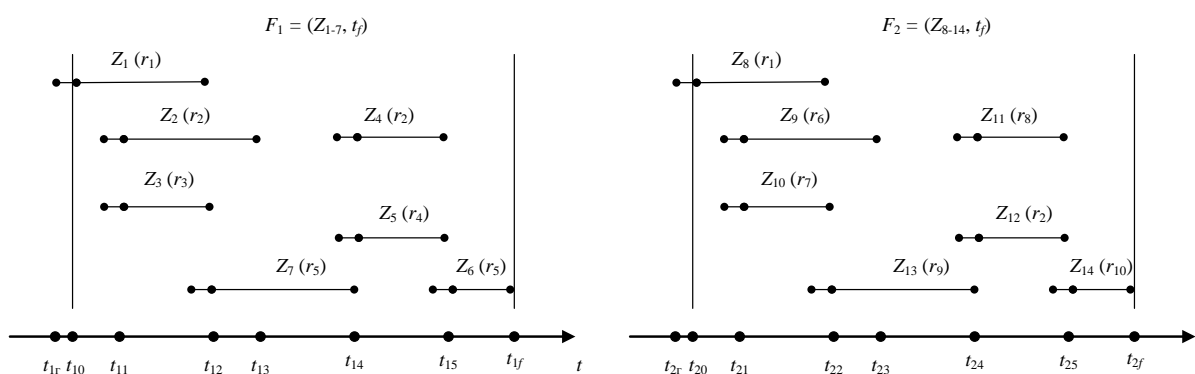


Рис. 4. Процесс резервирования ресурсов при выполнении задач и функций СТС

В качестве показателя оценки эффективности методики может быть использован коэффициент функциональной устойчивости сложной ТС, формируемый, как отношение количества выполненных в процессе моделирования структуры сложной ТС и ее функционирования в условиях воздействия дестабилизирующих факторов к общему количеству функций системы в профиле функционирования сложной ТС, которые должна выполнить сложная ТС для достижения целей системы и выполнения ее целевого предназначения.

Вероятность построения сложной технической системы, позволяющей своевременно выполнить целевое предназначение системы при минимальном количестве ресурсов $P_A(F_{\text{вып}} \geq F_{\text{треб}} | t_A \leq t_{\text{Атреб}}, \min E)$ определяется условиями $t_A \leq t_{\text{Атреб}}$ и $\min E$ и численно определяется, как коэффициент:

$$K_{\text{фy}} = \frac{\sum F_{\text{вып}}(t | t_A \leq t_{\text{Атреб}}, \min E)}{F}$$

Научная новизна методики заключается в том, что, в отличие от известных методик, она позволяет:

- осуществить автоматизированное построение сложной технической системы, за счет построения профиля функционирования СТС, представляющего собой структурную и функциональную характеристики СТС и их взаимосвязи;
- исключить неэффективное использование ресурсов системы для выполнения функций и задач системы;
- обеспечить гарантированное выполнение целевого предназначения СТС без использования дополнительного ресурса из внешних для системы источников;
- сократить время, необходимое на построение сложной технической системы.

Заключение

Таким образом, эффект методики определяется возможностью автоматизированного проектирования СТС, позволяющей обеспечивать ее оптимальным количеством ресурса для ее устойчивого функционирования, а также возможностью оценки функциональной устойчивости проектируемой системы в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов, за счет совокупности представленных действий, направленных на формирование профиля функционирования СТС, описывающего процесс функционирования СТС, через взаимосвязь задач, функций, целей СТС,

обеспечиваемых соответствующим ресурсом системы, при выполнении требований, предъявляемых к ней.

Литература

1. Лихачев А. М., Абрамович А. В., Присяжнюк А. С. Концептуальные основы создания и развития автоматизированной системы управления ОАЦСС ВС РФ // Информация и космос, 2016, № 2. с. 6-21.

2. Коцыняк М.А., Лаута О.С., Нечепуренко А.П. Методика оценки устойчивости информационно-телекоммуникационной сети в условиях информационного противоборства // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму, 2019, № 1-2 (127-128). с. 58-62.

3. Остроумов О.А. Проблема обеспечения функциональной устойчивости систем критически важных объектов // Электросвязь, 2022, № 1. с. 14-18.

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

5. 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.

6. Макаренко С.И. Описательная модель сети связи специального назначения / Системы управления, связи и безопасности, 2017, № 2. с. 113–164.

7. Луков Д.К. Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) // European science. 2019. №2 (44). URL: cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannyye-sistemy-upravleniya-tehnologicheskim-protsessom-asu-tp.

8. Селифанов В.А., Селифанов В.В. Способ автоматизированного управления процессом проектирования структуры системы управления техническими системами и устройство для его осуществления // Патент Российской Федерации № 2331097. 2008. Бюл. № 22. URL: fips.ru/iiss/document.xhtml?facesredirect=true&id=b7d43426c8c73e244b22f92e073667c4.

9. Тарасов А.А. Проблема обеспечения гарантоспособности информационных систем и пути ее решения // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций, 2000, № 32. с. 78 - 80.

10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. Для вузов. 6-е изд. Стер. М.: Высш. шк., 1999. 576 с.

11. Алексеев В.Е., Захаров Д.В. Теория графов: Учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. 119 с.

12. Стародубцев Ю.И., Лепешкин О.М., Остроумов О.А., Вершенник Е.В., Пермяков А.С., Синюк А.Д., Худайназаров Ю.К., Карпов М.А., Остроумова Е.В., Вершенник А.В. Способ мониторинга состояния электрических сетей и сетей связи // Патент Российской Федерации № 2764656. 2022. Бюл. № 2. URL: fips.ru/ofpstorage/BULLETIN/IZPM/2022/01/20/INDEX_RU.HTM.

13. 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.

14. Лепешкин О.М., Мануков К.О., Остроумов О.А., Остроумов М.А., Титов С.В. Ранжирование объектов критической информационной инфраструктуры системы связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021). Сборник

статей X Международной научно-технической и научно-методической конференции, Санкт-Петербург, 2021. с. 289-295.

15. Нечитайло Н.М. Применение методов управления запасами для обоснования периодичности и объемов резервного копирования информации // Инженерный вестник Дона, 2020, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6423.

16. Земцов А.Н., Болгов Н.В., Божко С.Н. Многокритериальный выбор оптимальной системы управления базы данных с помощью метода анализа иерархий // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2360.

17. 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.

18. Гусев В.А. Теория и практика обучения математике: психолого-педагогические основы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. 456 с.

19. Стародубцев Ю.И., Иванов С.А., Вершенник Е.В., Вершенник А.В., Закалкин П.В., Шевчук А.Л., Карасенко А.О. Способ определения оптимальной периодичности контроля состояния сложного объекта // Патент Российской Федерации № 2718152. 2020. Бюл. № 10. URL: fips.ru/ofpstorage/BULLETIN/IZPM/2020/04/10/INDEX_RU.HTM.

20. Haque M. A., De Teyou G. Shetty K., S., Krishnappa B. Cyber Resilience Framework for Industrial Control Systems: Concepts, Metrics, and Insights, 2018 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI), Miami, FL, USA, 2018. pp. 25-30. doi: 10.1109/ISI.2018.8587398.

21. 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. Lixachev A. M., Abramovich A. V., Prisyazhnyuk A. S. Informaciya i kosmos, 2016, № 2. pp. 6-21.

2. Kocynyak M.A., Lauta O.S., Nechepurenko A.P. Voprosy` oboronnoj texniki. Seriya 16: Texnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu, 2019, № 1-2 (127-128). pp. 58-62.

3. Ostroumov O.A. E`lektrosvyaz`, 2022, № 1. pp. 14-18.

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

5. 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.

6. Makarenko S.I. Sistemy` upravleniya, svyazi i bezopasnosti, 2017, № 2. pp. 113–164.

7. Lukov D.K. European science. 2019. №2 (44). URL: cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannye-sistemy-upravleniya-tehnologicheskimi-protsessami-asu-tp.

8. Selifanov V.A., Selifanov V.V. Patent RF 2331097. 2008. Bull. № 22. URL: fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=b7d43426c8c73e244b22f92e073667c4.

9. Tarasov A.A. Sistemy` bezopasnosti, svyazi i telekommunikacij, 2000, № 32. pp. 78 - 80.

10. Ventcel` E.S. Teoriya veroyatnostej [Probability theory]: Ucheb. Dlya vuzov. 6-e izd. Ster. M.: Vy`ssh. shk., 1999. 576 p.

11. Alekseev V.E., Zaxarov D.V. Teoriya grafov [Graph Theory]: Uchebnoe posobie. Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskij gosuniversitet, 2017. 119 p.

12. Starodubcev Yu.I., Lepeshkin O.M., Ostroumov O.A., Vershennik E.V., Permyakov A.S., Sinyuk A.D., Xudajazarov Yu.K., Karpov M.A., Ostroumova E.V., Vershennik A.V. Patent RF 2764656. 2022. Bull. № 2. URL: fips.ru/ofpstorage/BULLETIN/IZPM/2022/01/20/INDEX_RU.HTM.

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

14. Lepeshkin O.M., Manukov K.O., Ostroumov O.A., Ostroumov M.A., Titov S.V. Aktual`ny`e problemy` infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii (APINO 2021). Sbornik statej X Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj i nauchno-metodicheskoj konferencii. Sankt-Peterburg, 2021. pp. 289-295.

15. Nechitajlo N.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6423.

16. Zemczov A.N., Bolgov N.V., Bozhko S.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2360.

17. 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.

18. Gusev V.A. Teoriya i praktika obucheniya matematike: psixologo-pedagogicheskie osnovy` [Theory and practice of teaching mathematics: psychological and pedagogical foundations]. M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2017. 456 p.

19. Starodubcev Yu.I., Ivanov S.A., Vershennik E.V., Vershennik A.V., Zakalkin P.V., Shevchuk A.L., Karasenko A.O. Patent RF 2718152. 2020. Bull. № 10. URL: fips.ru/ofpstorage/BULLETIN/IZPM/2020/04/10/INDEX_RU.HTM.

20. Haque M. A., De Teyou G. Shetty K., S., Krishnappa B. Cyber Resilience Framework for Industrial Control Systems: Concepts, Metrics, and



Insights, 2018 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI), Miami, FL, USA, 2018. pp. 25-30. doi: 10.1109/ISI.2018.8587398.

21. 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.