

УДК: 004.942

DOI: 10.53816/23061456_2021_11-12_79

**МНОГОУРОВНЕВАЯ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ УЗЛА СВЯЗИ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ВКЛЮЧАЮЩАЯ МОДЕЛИ
ВХОДЯЩИХ В ЕГО СОСТАВ ПОДСИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ,
ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМПЛЕКСА
ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

**A MULTILEVEL LOGICAL-PROBABILISTIC MODEL OF A SPECIAL-PURPOSE
COMMUNICATION CENTER, INCLUDING MODELS OF ITS CONSTITUENT
SUBSYSTEMS AND ELEMENTS FUNCTIONING UNDER THE INFLUENCE
OF A COMPLEX OF DESTABILIZING FACTORS**

А.В. Милашевский

A.V. Milashevsky

ВАС им. С.М. Буденного

В статье представлена многоуровневая логико-вероятностная модель для оценки устойчивости узла связи специального назначения, его подсистем (элементов), подверженных воздействию комплекса дестабилизирующих факторов различной природы. В основу решения научной задачи исследования была положена идея разработки модели элементарного технического объекта со свойством устойчивости, агрегирование структуры которой с учетом вложенности подсистем и элементов узла связи, а также известной функционально-логической обусловленности между ними позволило унифицировать процесс разработки структурно-сложных систем произвольного уровня и организации. Доказана работоспособность моделей, чувствительность к изменению исходных данных и непротиворечивость результатов, полученных с их помощью.

Ключевые слова: узел связи специального назначения, дестабилизирующие факторы, многоуровневая логико-вероятностная модель, устойчивость функционирования.

The article presents a multilevel logical-probabilistic model for assessing the stability of a special-purpose communication center, its subsystems (elements) exposed to a complex of destabilizing factors of various nature. The scientific task of the research was based on the idea of developing a model of an elementary technical object with the property of stability, the aggregation of the structure of which, taking into account the nesting of subsystems and elements of the communication node, as well as the known functional and logical conditionality between them, made it possible to unify the development process of structurally complex arbitrary level and organization. The efficiency of the models, the sensitivity to changes in the initial data and the consistency of the results obtained with their help have been proved.

Keywords: communication center for special purposes, destabilizing factors, multilevel logical-probabilistic model, stability of functioning.

Актуальность моделирования, проводимого в рамках научного исследования по оценке свойств структурно-сложных систем, определяется необходимостью учета влияния новых факторов на функционирование системы специальной связи и ее основных элементов — узлов связи (УС) специального назначения (СН), главенствующую роль среди многообразия свойств которых приобретает функциональная устойчивость (ФУ).

В соответствии с [1], наилучшим средством для оценки интересующих свойств объекта является натурный эксперимент, суть которого заключается в исследовании поведения объекта в условиях, максимально приближенных к тем, в которых его предполагается применять. Однако часто провести натурный эксперимент представляется невозможным или нецелесообразным, так как он требует больших материальных вложений, продолжителен по времени (или слишком скоротечен для исследования), связан с риском для жизни, неповторим, ненагляден или попросту невозможен ввиду отсутствия исследуемой системы в материальном мире. Для разрешения этого противоречия прибегают к моделированию.

Целью разрабатываемой многоуровневой модели является воспроизведение поведения УС СН со свойством устойчивости и получения количественных оценок исследуемого свойства при его функционировании в условиях воздей-

ствия комплекса разнородных дестабилизирующих факторов (ДФ).

Анализ существующих возможностей отечественных и зарубежных методов по решению задач системного моделирования структурно-сложных систем и расчета показателей устойчивости [2, 3] показал, что для этой цели может быть использован общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ), как универсальный инструмент наиболее пригодный для решения частных задач исследования.

В основу решения научной задачи была положена идея создания модели элементарного технического объекта (ТО) (рис. 1) со свойством устойчивости, цикличное использование структуры которой позволит разработать схемы функциональной целостности (СФЦ) систем более высокого порядка например, аппаратных (станций), центров (групп), УС, подверженных воздействию комплекса ДФ.

Для задания прогнозируемого сценария воздействий в СФЦ введены функциональные вершины 1, 2, 3, 4, которые являются обеспечивающими по отношению к соответствующим вершинам 5, 6, 7, 8, и характеризуют случайные события возникновения ДФ, принимая бинарные значения «0» или «1». Вершины 5, 6, 7, 8 модели определяют функции вероятностей случайных событий, характеризующих функционирование

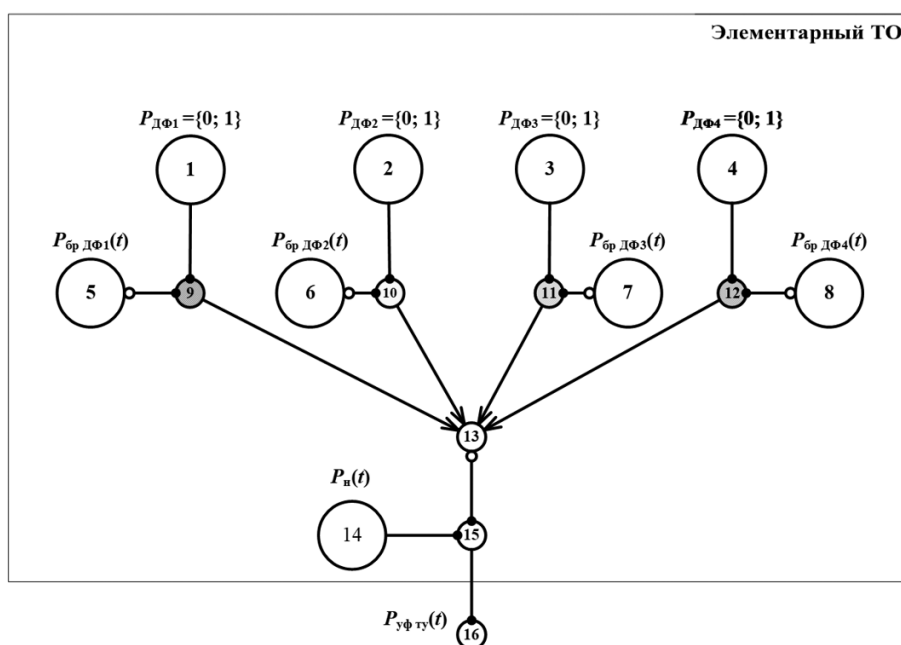


Рис. 1. Логико-вероятностная модель элементарного ТО

ТО без отказов и блокирований информационного обмена при воздействии на него внешних ДФ, а вершина 14 — внутренних ДФ, характеризуемых надежностью ТО. Задавая в функциональные вершины модели вероятностно-временные параметры надежности и живучести, полученные с использованием известных моделей и методик [4–7], можно получить численные значения оцениваемого показателя устойчивости на ее выходе (вершина 16).

Одной из особенностей разработанной модели, отличающей ее от существующих, является то, что с необходимой для оценки точностью любую структурно-сложную систему можно описать как совокупностью типовых моделей ее подсистем и элементов, так и неделимым элементом, т.е. типовой моделью.

Возможные варианты представления УС СН, сводящиеся к совокупности взаимосвязанных типовых моделей различного уровня, можно проследить используя схему, изображенную на рис. 2. При этом полученные результаты моделирования согласуются между собой. Наиболее точная оценка обеспечивается посредством использования варианта, при котором осуществляется моделирование всех подсистем и элементов УС и учитываются все возможные логические взаимосвязи между ними, т.е. цепочка «УС — центры (группы) — аппаратные (станции) — техническое устройство (ТУ)». Такую модель целесообразно использовать при достаточном количестве времени, например, в ходе учебной, научно-исследовательской де-

ятельности или опытно-конструкторских работ. При ограниченном временном ресурсе для экспресс-оценки целесообразно использовать менее точные модели, подсистемы которых представлены типовой моделью. При этом следует учитывать, что результаты оценки будут более оптимистичными и менее точными.

СФЦ для оценки ФУ УС СН варианта типовой структуры, включающего в себя $N_{\text{апп}}$ аппаратных (станций) и $N_{\text{лс}}$ линий связи (ЛС), приведена на рис. 3.

Фиктивная вершина 84 отражает событие устойчивого функционирования УС СН. Стоит отметить, что функциональные вершины приведенной модели УС, отражающие событие устойчивого функционирования аппаратных (станций), могут являть собой типовую модель со свойством устойчивости (на рис. 2 — переход от блока 4.1 к блоку 2.1), так и представляться совокупностью ТУ, являющимися, в свою очередь, типовыми моделями (на рис. 2 — переход от блока 4.1 к блоку 2.1 с последующим переходом к 1.1).

СФЦ для оценки ФУ УС СН, включающего в себя $N_{\text{ц}}$ центров (групп) и $N_{\text{лс}}$ ЛС, их связывающих, приведена на рис. 4. Здесь в УС входят типовые элементы: передающий радиопередатчик (ПДРЦ) №1, приемный радиопередатчик (ПРЦ), группа каналов (ГКО) № 1, ГКО № 2, телефонный центр (ТФЦ) и телеграфный центр (ТГЦ). Условием устойчивого функционирования УС является предоставление абонентам всех необходимых видов услуг.

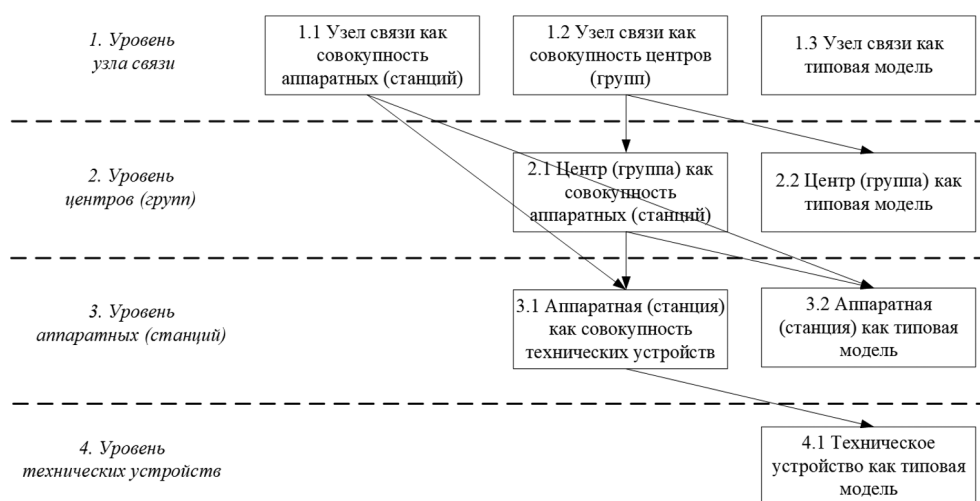


Рис. 2. Возможные варианты представления модели УС

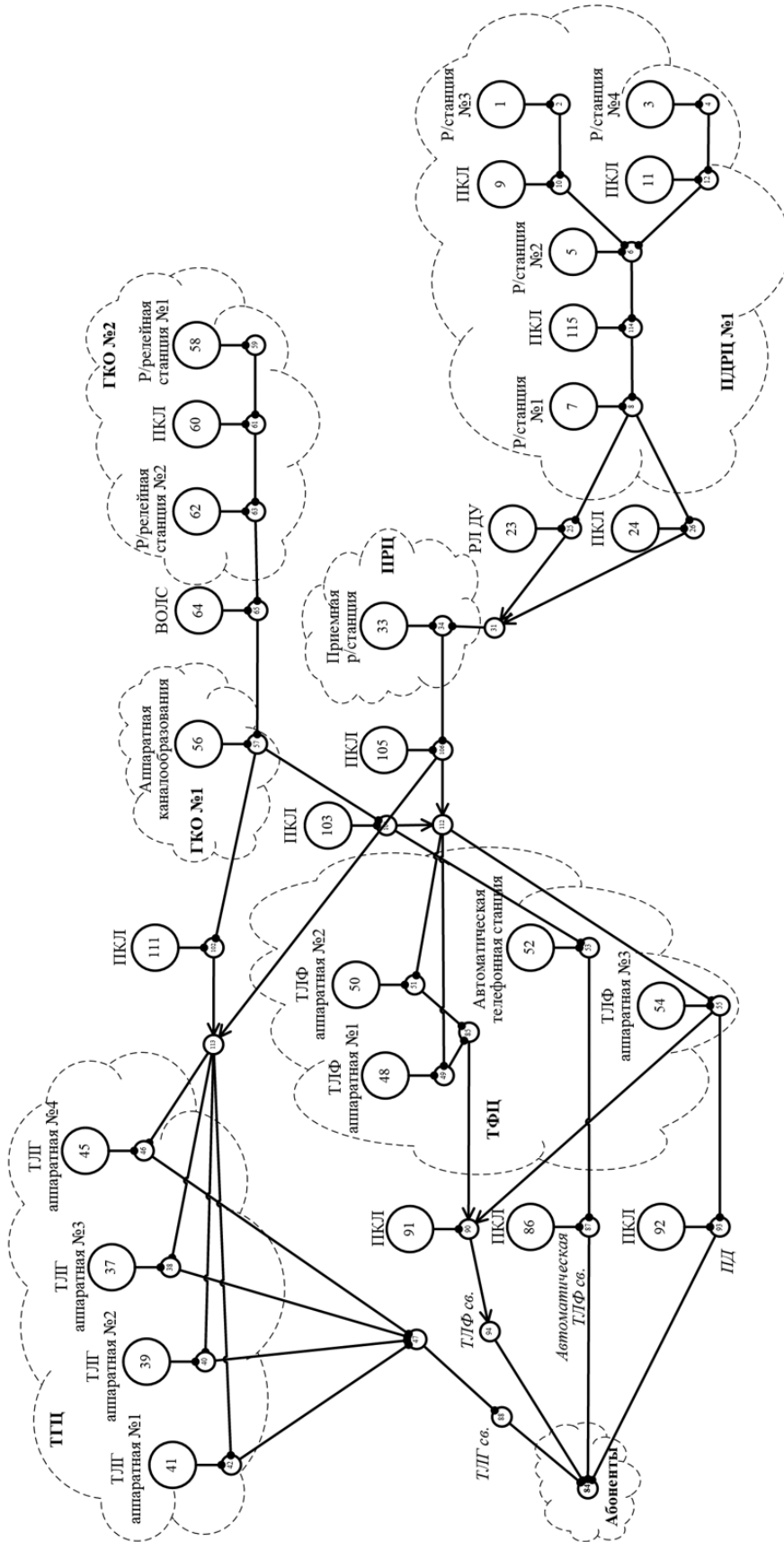


Рис. 3. Модель УС СН, состоящего из аппаратных (станций)

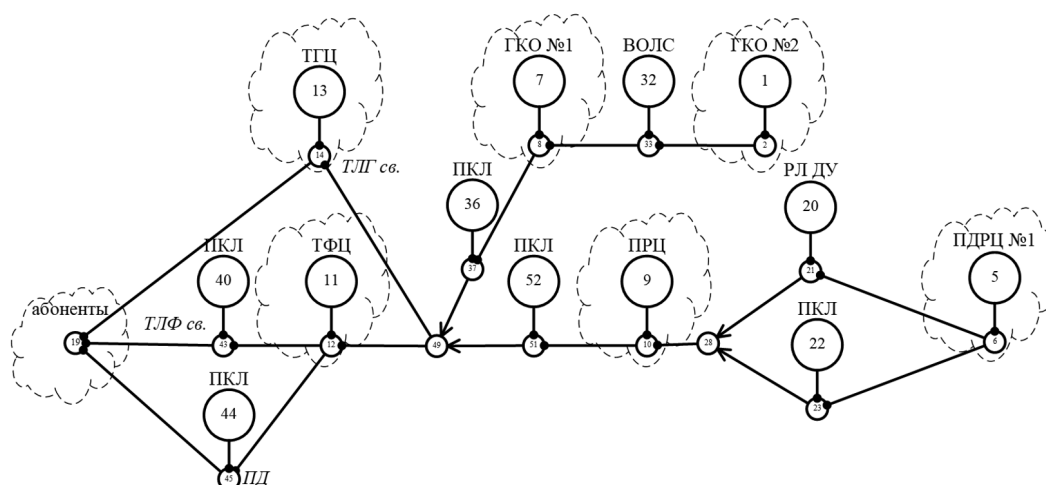


Рис. 4. Модель УС СН, состоящего из центров (групп)

На СФЦ фиктивная вершина 19 отражает событие, характеризуемое вероятностью устойчивого функционирования УС СН.

В этом случае модель УС представлена в виде функциональных вершин, отражающих события устойчивого функционирования центров (групп), которые могут быть представлены как:

- совокупность аппаратных (станций), состоящих из совокупности ТУ, представленных типовыми моделями (на рис. 2 — переход от блока 1. к блоку 2.1, далее к блоку 3.1, с последующим переходом к блоку 4.1);
- совокупность аппаратных (станций), которые на своем уровне могут быть представлены типовыми моделями (на рис. 2 — переход от блока 1.2 к блоку 2.1, с последующим переходом к блоку 3.2);
- совокупность центров (групп), представленных в виде типовой модели (на рис. 2 — переход от блока 1.2 к блоку 2.2).

В качестве примера на рис. 5 приведена СФЦ серверной аппаратной из состава УС СН, которая представлена в виде совокупности ТУ, являющихся типовой моделью.

Структура модели технического устройства со свойством ФУ, входящего в состав аппаратных (станций) (блок 1.1 на рис. 2) может быть представлена единственным способом и полностью соответствует типовой модели.

Таким образом, с помощью представленных сочетаний выше видов моделей можно представить УС СН произвольной структуры.

Результаты моделирования для варианта, при котором УС представлен совокупностью

центров (групп), состоящих из совокупности аппаратных (станций), включающих в свой состав множество ТУ приведены на рис. 6. Их анализ показывает, что вероятность сохранения функциональной устойчивости ТУ, подверженного воздействию ДФ, резко снижается и зависит как от параметров прогнозируемого сценария воздействия: увеличения количества и возможностей противника по его реализации, так и от собственных параметров ТО. В первую очередь, от увеличения интенсивности воздействий и способности ТО к восстановлению.

Кроме того, можно обоснованно утверждать, что разработанная модель работоспособна, чувствительна к изменению исходных данных и позволяет получать не противоречащие логике результаты.

Отражая результаты прямого и обратного подходов к оценке устойчивости, фиктивные вершины 18 и 19 (рис. 7) соответствуют событиям, характеризующим устойчивое и неустойчивое функционирование технического объекта.

Поскольку события являются противоположными по смыслу и образуют полную группу событий, то сумма их вероятностей должна удовлетворять условию нормировки (равенства единице в фиктивной вершине 20), что подтверждают результаты моделирования для любой совокупности исходных данных.

Поскольку аппарат СФЦ является формальным, то есть математически строгим, и позволяет достаточно точно представлять в модели все существенные логические связи, отношения и зависимости [8], то на основании непрото-

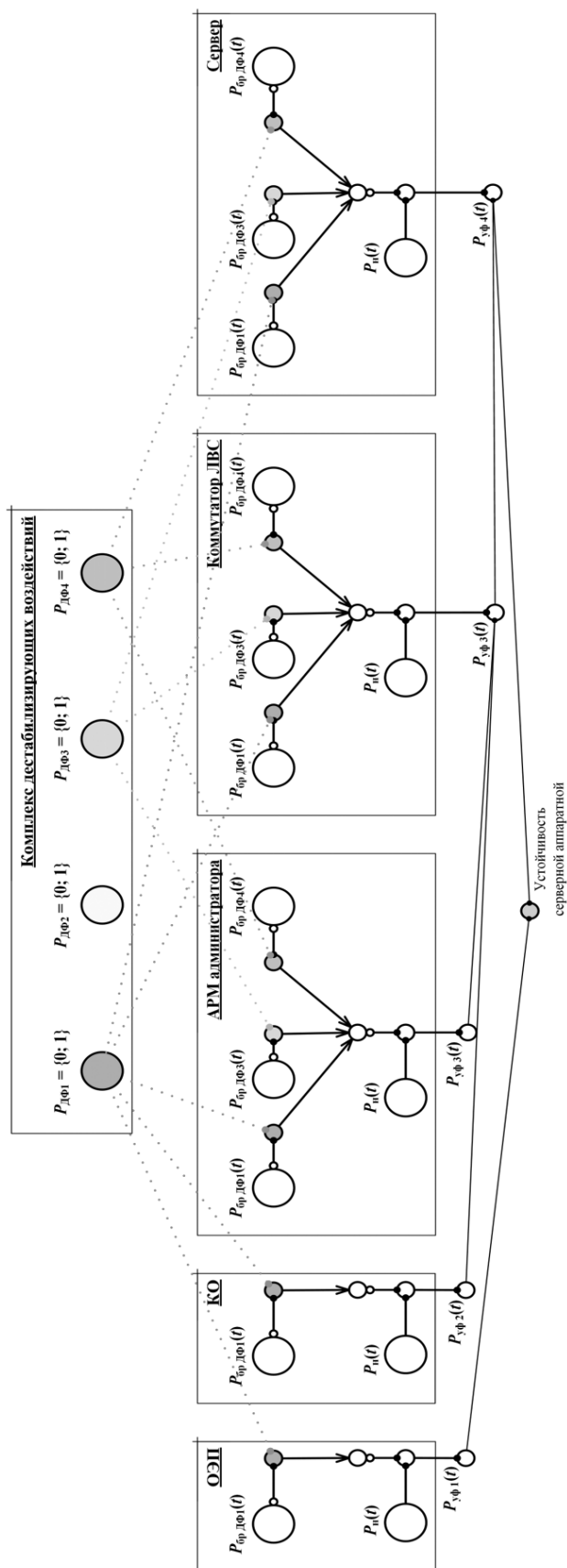


Рис. 5. Модель серверной аппаратуры, входящей в состав УС СН

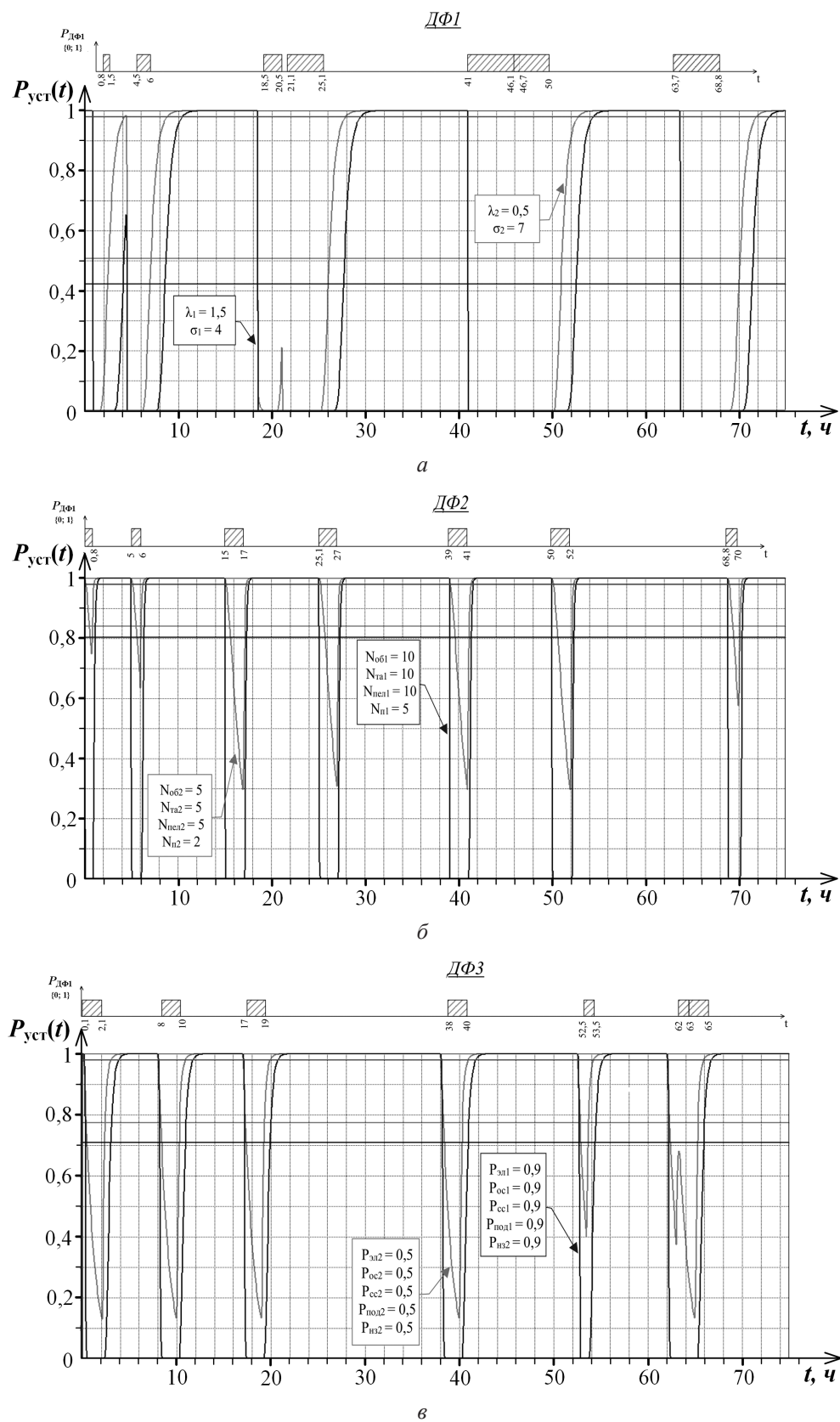
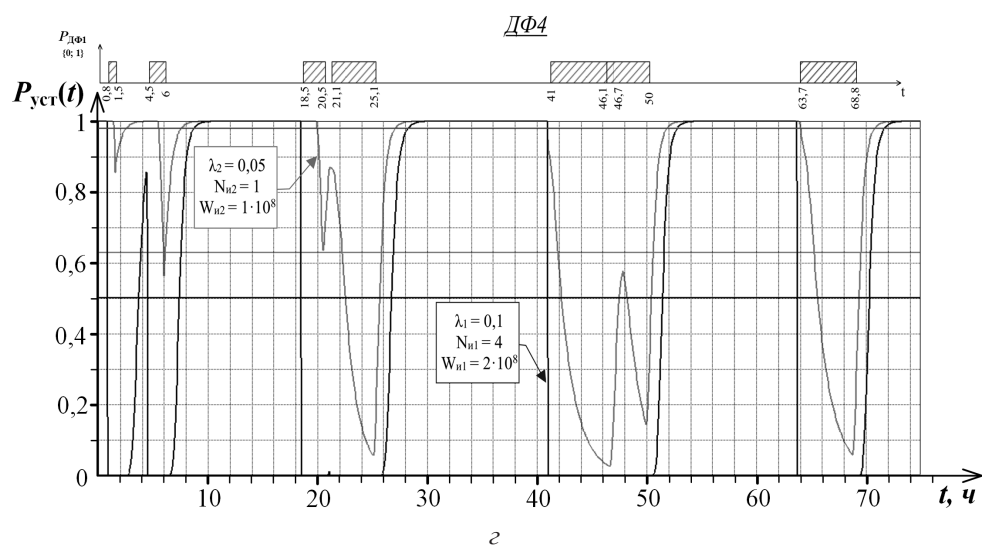


Рис. 6. Результаты моделирования УС СН, функционирующего в условиях воздействия:
а — ДФ1; б — ДФ2; в — ДФ3; г — ДФ4



Продолжение рис. 6. Результаты моделирования УС СН, функционирующего в условиях воздействия:
а — ДФ1; б — ДФ2; в — ДФ3; г — ДФ4

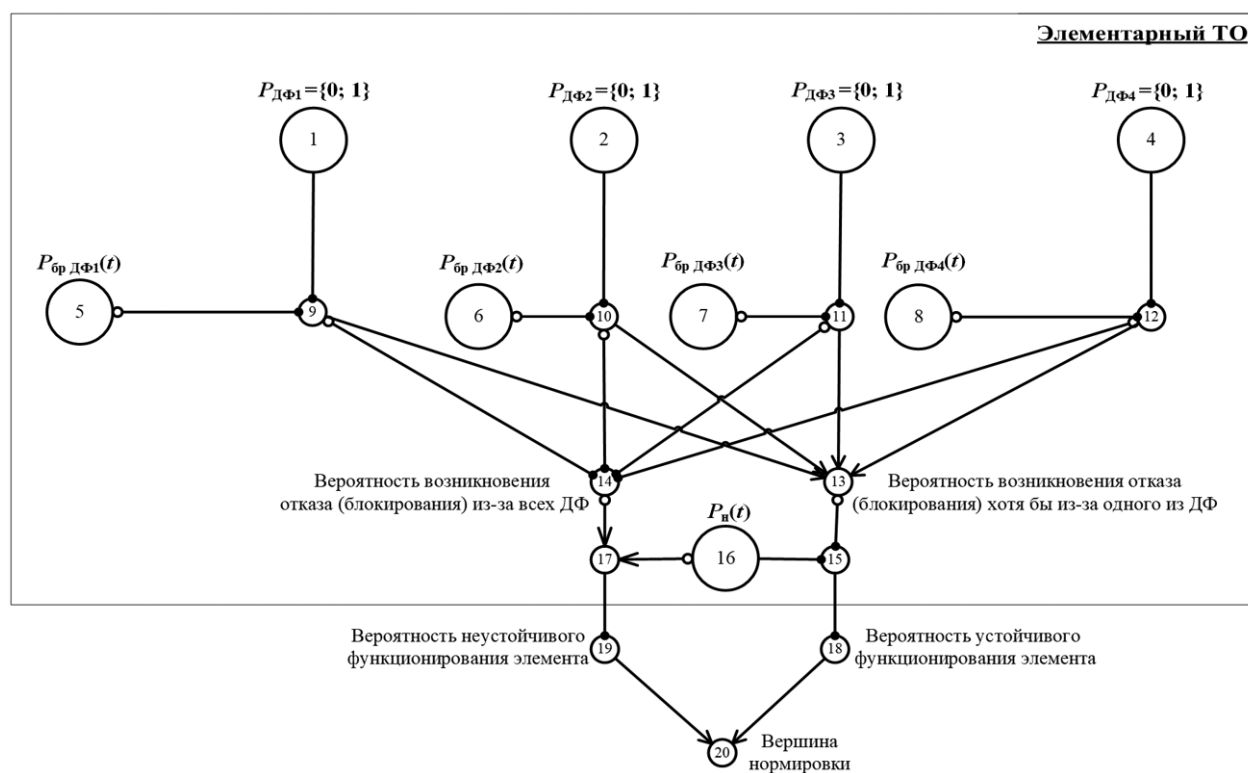


Рис. 7. Типовая модель элементарного ТО с нормировочной вершиной

речивости полученных результатов и полного подобия эталонной системе, можно утверждать, что модель элементарного ТО, а, следовательно, и СФЦ систем более высокого порядка, построенные на ее основе, адекватны моделируемым объектам (системам).

Вывод

Таким образом, сущность полученного научного результата заключается в разработке многоуровневой логико-вероятностной модели УС СН, совокупности иерархически упорядоченных

СФЦ его подсистем (элементов) и получении уравнений вероятностных функций, отражающих свойство ФУ, что позволяет установить количественно обоснованные взаимосвязи между частными параметрами и разработать методику оценки ФУ УС и элементов, входящих в его состав.

Литература

1. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем: учеб. пособие для прикладного бакалавриата. — М.: Издательство Юрайт. 2017. 253 с.

2. Можаяева И.А. Методики структурного-логического моделирования сложных систем с сетевой структурой: дис. канд. техн. наук. — СПб. 2015. С. 17–38.

3. Поленин В.И., Рябинин И.А., Свиринов С.К., Гладкова И.А. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства: монография / под ред. проф. А.С. Можаяева. — СПб: НИКА. 2011. 410 с.

4. Балаганский И.А., Мерзневский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: учебник. — Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2004. 408 с.

5. Привалов А.А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ / под ред. В.П. Чемиринко. — СПб: ВМА. 2000. 166 с.

6. Привалов А.А., Попов П.В. Методика расчета вероятности функционального поражения элементов системы связи флота // Тезисы семинара «Проблемы риска в техногенной и социальной сферах»; под ред. В.В. Яковлева. — СПб: Изд-во Политехн. ун-та. 2005. Вып. 4. 178 с.

7. Бекенова Я.А., Шипилов Н.Н., Борисенко К.А., Шоров А.В. Моделирование DDoS-атак и механизмов защиты от них // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 3. С. 32–39.

8. Можаяев А.С., Громов В.Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. — СПб: ВИТУ. 2000. 145 с.

References

1. Boyev V.D. Simulation of systems: textbook. manual for applied bachelor's degree. — Moscow: Izd. Yurayt. 2017. 253 p.

2. Mozhayeva I.A. Methods of structural-logical modeling of complex systems with a network structure: dis. kand. tekhn. nauk. — St. Petersburg. 2015. P. 17–38.

3. Polenin V.I., Ryabinin I.A., Svirin S.K. and Gladkova I.A. Application of the general logical-probabilistic method for the analysis of technical, military organizational and functional systems and armed confrontation: monograph. — St. Petersburg: NIKA. 2011. 410 p.

4. Balaganskiy I.A. and Merzhnevskiy L.A. Action of weapons and ammunition: textbook. — Novosibirsk: Izd. NGTU. 2004. 408 p.

5. Privalov A.A. Method of topological transformation of stochastic networks and its use for the analysis of communication systems of the navy. — St. Petersburg: VMA. 2000. 166 p.

6. Privalov A.A., Popov P.V. Methods of calculating the probability of functional damage to elements of the communication system of the fleet. Abstracts of the seminar «Problems of risk in the technogenic and social spheres». 2005. Vol. 4. 178 p.

7. Bekenova Ya.A., Shipilov N.N., Borisenko K.A., Shorov A.V. Modeling of DDoS attacks and protection mechanisms against them. Izv. SPbGETU «LETI». № 3. 2015. P. 32–39.

8. Mozhayev A.S., Gromov V.N. Theoretical foundations of the general logical-probabilistic method of automated system modeling. — St. Petersburg: VITU. 2000. 145 p.