

УДК: 004.942

DOI: 10.53816/23061456\_2022\_3-4\_54

**ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ УЗЛА СВЯЗИ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕГО  
В УСЛОВИЯХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА**

**A LOGICAL-PROBABILISTIC MODEL OF THE STRUCTURE  
OF A SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION NODE OPERATING  
UNDER THE CONDITIONS OF THE DESTABILIZING INFLUENCE OF THE ENEMY**

*Р.М. Иванов*

*R.M. Ivanov*

*Военная академия связи им. С.М. Буденного*

В статье представлены структурно-параметрические модели узлов связи специального назначения и их элементов, подверженных дестабилизирующему воздействию противника. Данные модели представляют собой логические условия реализации системой своего функционального назначения. Основной идеей статьи и исследования в целом является разработка таких вариантов структур узлов связи специального назначения, при которых показатели устойчивости функционирования данных систем, с учетом изменений самих структур, а также реконфигурации связей между элементами узла связи, будут соответствовать требуемым значениям. Разработаны модели узла связи с использованием изобразительных средств схем функциональной целостности общего логико-вероятностного метода, на основе которых построены логические функции работоспособности и вероятностные функции. В статье отражены работоспособность и чувствительность модели.

**Ключевые слова:** узел связи специального назначения, дестабилизирующее воздействие противника, логико-вероятностная модель, реконфигурация связей, устойчивость функционирования.

The article develops structural and parametric models of special-purpose communication nodes and their elements subject to the destabilizing influence of the enemy. These models represent the logical conditions for the system to implement its functional purpose. The main idea of the article and the study as a whole is the of developing such variants of the structures of special-purpose communication nodes, in which the indicators of the stability of the functioning of these systems, taking into account changes in the structures themselves, as well as taking into account the reconfiguration of the connections between the elements of the communication node, will correspond to the required values. Communication node models have been developed using pictorial means of functional integrity schemes of the general logical-probabilistic method, on the basis of which logical operability functions and probabilistic functions are constructed. The article reflects the efficiency and sensitivity of the model.

**Keywords:** special-purpose communication node, destabilizing influence of the enemy, logical-probabilistic model, reconfiguration of connections, stability of functioning.

Любым сложным системам присущи свойства, требующие применения системного подхода при их исследовании методами математического моделирования. В общем случае моделирование направлено на решение задач анализа, связанных с оценкой эффективности систем, задаваемой в виде совокупности показателей эффективности и синтеза, направленного на построение оптимальных систем в соответствии с выбранным критерием эффективности. Синтез системы в свою очередь заключается в определении параметров системы, удовлетворяющих заданным требованиям к характеристикам системы.

В научном исследовании по изучению структурной и функциональной организации узлов связи (УС) специального назначения (СН), являющихся составной частью системы связи (СС) СН, важнейшая роль отводится такому показателю, как устойчивость функционирования. Данный показатель является интегративным показателем, учитывающим как внутренние параметры УС СН (структурные, функциональные), так и внешние параметры (нагрузочные, воздействия противника).

В свою очередь, СС СН также является сложной технической системой, так как, с одной стороны, она является частью метасистемы (системы управления), а с другой — включает в себя элементы, также являющиеся системами (УС, линии связи и др.). Исследование таких сложных систем осуществляется путем построения математических моделей, выявляющих зависимости характеристик системы от параметров [3].

Получение информации о структурной и функциональной организациях УС СН в искусственно созданной моделируемой среде, а также о показателе и критерии эффективности данной системы как раз и являются целями разрабатываемой модели. Показателем эффективности УС СН выбран показатель устойчивости функционирования (УФ), количественная оценка которого наглядно показывает эффективность того или иного предлагаемого варианта.

Для исследования и математического описания свойств УС СН предложено использовать общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ), позволяющий применять схемы функциональной целостности (СФЦ) и представляющий собой функционально полный набор логических операций «И», «ИЛИ» и «НЕ» [1, 2–4].

В основу решения научной задачи была положена идея создания такого варианта модели структуры УС СН со свойством УФ, применение которого на практике позволило бы обеспечить выполнение всех требований к УС СН, как со стороны системы управления, так и со стороны СС, подверженных дестабилизирующему воздействию противника (ДВП).

Вариант представления нескольких элементов структуры УС СН, связанных между собой, в виде СФЦ с набором логических операций «И», «ИЛИ» показан на рис. 1.

В данной схеме УС 1-го типа предназначены для размещения оконечного оборудования, необходимого для предоставления услуг связи абонентам; УС 2-го типа — для предоставления транзитного доступа к транспортной сети; УС

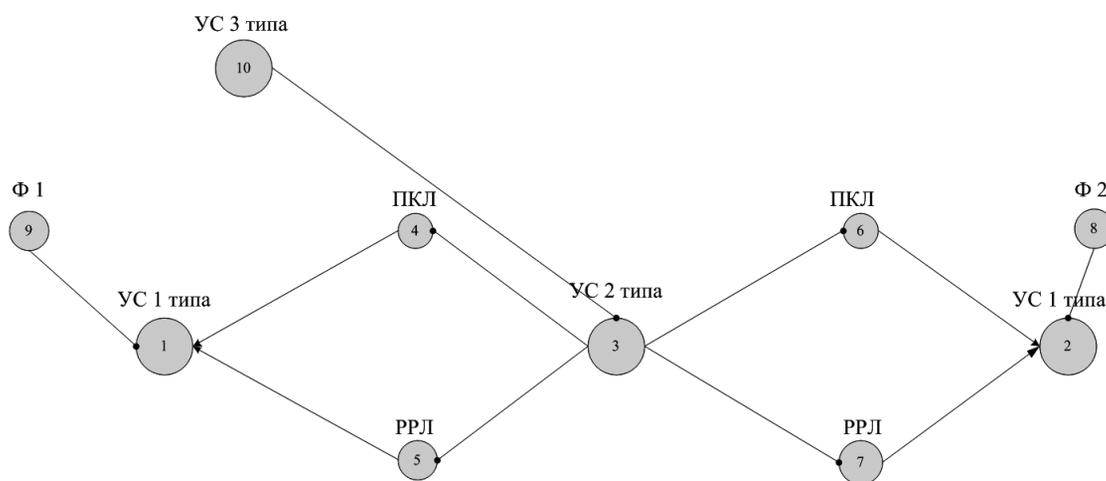


Рис. 1. Вариант представления элементов структуры УС СН

3-го типа — для создания условий доступа абонентов к транспортной сети, на территории не оборудованной в отношении связи; полевые кабельные линии (ПКЛ), радиорелейные линии (РРЛ) — линии связи (ЛС), соединяющие УС СН. Ф 1, Ф 2 — фиктивные вершины. Графически фиктивная вершина в СФЦ обозначается кружком малой величины. В блок-схемах и графиках связности часто параллельные функции обеспечения объединяются не на функциональных вершинах, а в некоторых промежуточных точках соединения дуг структурной схемы. Аналитически строго в графах связности такие точки не определены, что затрудняет их осмысленное использование в практическом ручном, но особенно в автоматизированном моделировании. В СФЦ принято все подобные промежуточные объединения дуг осуществлять на входах так называемых фиктивных вершин. В отличие от функциональных, фиктивные вершины не представляют элементов моделируемой системы, а служат только для графического представления сложных логических связей и отношений между различными интегративными функциями элементов и подсистем исследуемого объекта [5–7].

Условием устойчивого функционирования всей системы в данной схеме является своевре-

менное предоставление абонентам всех необходимых видов услуг с необходимой устойчивостью элементов, входящих в состав данной системы. Фиктивные вершины 8, 9 как раз и отражают события УФ данного элемента структуры УС СН. Фиктивные вершины  $i$  СФЦ рассматриваются в ОЛВМ как логическая константа  $I$  (истина), т.е. как некоторое условное, достоверное событие. Поэтому фиктивные вершины в СФЦ имеют следующее аналитическое определение:

$$x = I; p_i = 1; x_i = 0; q_i = 0.$$

На рис. 2 представлена модель структуры УС СН. В данном варианте структуры элементы УС СН (УС 1, 2 и 3 типов, ПКЛ и РРЛ) представлены в виде функциональных вершин, отражающих события устойчивого функционирования данных элементов и линий связи, соединяющих эти элементы, а также представлены фиктивные вершины. Также представлены УС 4-го типа, более низшего звена управления по сравнению с рассматриваемым.

Для задания прогнозируемого варианта сценария ДВП в СФЦ введены функциональные вершины 2, 7–11 — характеризующие вероятности УФ УС 1-го типа; функциональные вершины

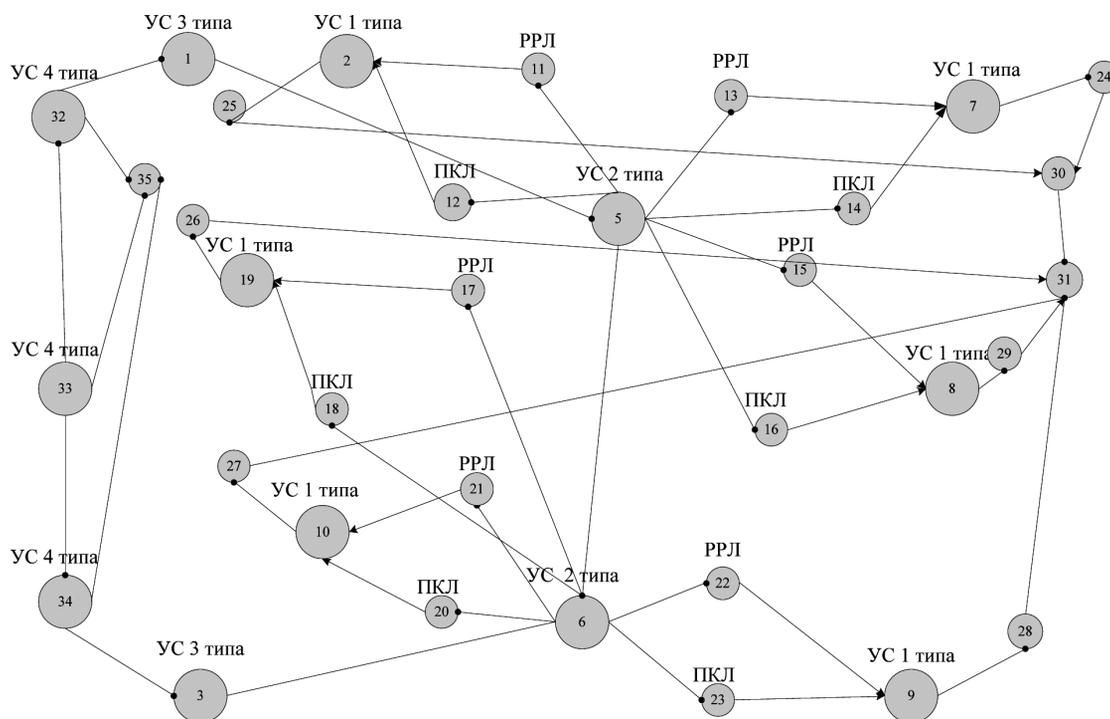


Рис. 2. Логико-вероятностная модель структуры УС СН (вариант)

11–18, 20–23 — вершины, характеризующие вероятности УФ радиорелейных и проводных линий между элементами УС СН; функциональные вершины 3, 6 — вершины, характеризующие вероятности УФ УС 2-го типа; функциональные вершины 1, 3 — вершины, характеризующие вероятности УФ УС 3-го типа; функциональные вершины 32–34 — вершины, характеризующие вероятности УФ УС 4-го типа (нижнего звена управления по отношению к рассматриваемому в работе); фиктивные вершины 24–26, 28–31, 35 — вершины, отражающие события УФ УС СН.

Задавая в функциональных вершинах модели вероятностно-временные параметры функционирования элементов модели (структуры), полученные с использованием известных моделей и методик [2], можно получить численные зна-

чения оцениваемого показателя УФ на ее выходе (вершина 31). В представленном на рис. 2 варианте структуры УС СН показатель УФ до начала ДВП равен 1. Вероятность реализации критерия (здесь вероятность функционирования каждого элемента структуры без воздействия противника принимаем за «1»):  $P = 1$ .

Однако с началом ДВП и вследствие этого уменьшения вероятностно-временных параметров элементов модели, снижается и показатель УФ на выходе модели в фиктивной вершине 31.

Логическая функция работоспособности модели структуры УС СН, заданной фиктивной вершиной 31 логического критерия функционирования (ЛКФ), описывается системой логических уравнений. Данная система содержит 34 логических уравнения:

$$\begin{aligned}
 y_5 &= x_5 \cdot y_{40}; y_6 = x_6 \cdot y_5 \cdot y_3; y_2 = x_2 \cdot (y_{11} + y_{12}); y_7 = x_7 \cdot y_{24} \cdot (y_{13} + y_{14}); \\
 y_8 &= x_8 \cdot (y_{15} + y_{16}); y_9 = x_9 \cdot (y_{22} + y_{23}); y_{10} = x_{10} \cdot (y_{21} + y_{20}); y_{11} = x_{11} \cdot y_5; \\
 y_{12} &= x_{12} \cdot y_5; y_{13} = x_{13} \cdot y_5; y_{14} = x_{14} \cdot y_5; y_{15} = x_{15} \cdot y_5; y_{16} = x_{16} \cdot y_5; \\
 y_{17} &= x_{17} \cdot y_6; y_{18} = x_{18} \cdot y_6; y_{19} = x_{19} \cdot (y_{17} + y_{18}); y_{21} = x_{21} \cdot y_6; y_{20} = x_{20} \cdot y_6; \\
 y_{22} &= x_{22} \cdot y_6; y_{23} = x_{23} \cdot y_6; y_3 = x_3; y_{40} = x_{40}; y_{32} = x_{32} \cdot y_{40}; y_{34} = x_{34} \cdot y_{33} \cdot y_3; \\
 y_{33} &= x_{33} \cdot y_{32}; y_{29} = y_8; y_{30} = y_{25} + y_{24}; y_{31} = y_{26} \cdot y_{28} \cdot y_{27} \cdot y_{29} \cdot y_{30}; y_{24} = \text{TRUE}; \\
 y_{25} &= y_2; y_{26} = y_{19}; y_{27} = y_{10}; y_{28} = y_9; y_{44} = y_{32} \cdot y_{33} \cdot y_{34}; y^5 = x^5 + y^40; \\
 y^6 &= x^6 + y^5 + y^3; y^2 = x^2 + y^{11} \cdot y^{12}; y^7 = x^7 + y^{13} \cdot y^{14} + y^{24}; \\
 y^8 &= x^8 + y^{15} \cdot y^{16}; y^9 = x^9 + y^{22} \cdot y^{23}; y^{10} = x^{10} + y^{21} \cdot y^{20}; \\
 y^{11} &= x^{11} + y^5; y^{12} = x^{12} + y^5; y^{13} = x^{13} + y^5; y^{14} = x^{14} + y^5; \\
 y^{15} &= x^{15} + y^5; y^{16} = x^{16} + y^5; y^{17} = x^{17} + y^6; y^{18} = x^{18} + y^6; \\
 y^{19} &= x^{19} + y^{17} \cdot y^{18}; y^{21} = x^{21} + y^6; y^{20} = x^{20} + y^6; y^{22} = x^{22} + y^6; \\
 y^{23} &= x^{23} + y^6; y^3 = x^3; y^{40} = x^{40}; y^{32} = x^{32} + y^{40}; \\
 y^{34} &= x^{34} + y^{33} + y^3; y^{33} = x^{33} + y^{32}; y^{29} = y^8; y^{30} = y^{25} \cdot y^{24}; \\
 y^{31} &= y^{26} + y^{28} + y^{27} + y^{29} + y^{30}; y^{24} = \text{FALSE}; y^{25} = y^2; y^{26} = y^{19}; \\
 y^{27} &= y^{10}; y^{28} = y^9; y^{44} = y^{32} + y^{33} + y^{34}.
 \end{aligned}$$

ЛКФ представленного варианта структуры  $Y_c = y_{31}$ . Вероятностью реализации критерия в данном случае  $P = 0,43046721$ , рис. 3.

На рис. 3 показаны диаграммы значимостей и вкладов элементов структуры УС СН данного варианта построения.

Данный аппарат и математические уравнения позволяют произвести анализ УФ разных вариантов построения структуры УС СН.

Анализ результатов моделирования при функционировании УС СН в условиях ДВП,

показывает, что вероятность УФ резко снижается и сильно зависит от способности моделируемой системы к восстановлению и (или) реконфигурации сети (информационных направлений) [5–7].

Отличие данной модели от существующих заключается в том, что любую сложную структуру УС СН можно описать представлением моделей его элементов, связей между ними и реконфигурацией информационных направлений сети в зависимости от ДВП.

Для доказательства чувствительности модели к исходным данным и ее адекватности рассмотрим некоторые варианты представления структуры УС СН данным математическим аппаратом.

Для повышения показателей УФ в условиях ДВП необходимыми условиями являются резервирование направлений связи между эле-

ментами структуры (модели), а также процесс восстановления за счет ремонта техники связи СН и резервирования сил и средств. На рис. 4 представлен вариант модели структуры УС СН, действующего в условиях ДВП, с резервированием ЛС между элементами структуры УС СН.

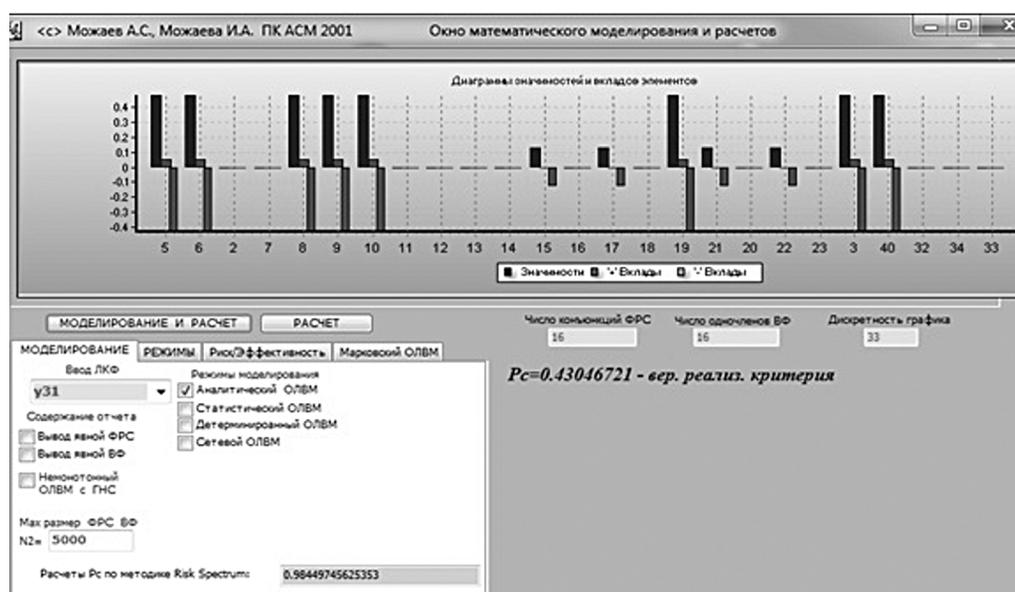


Рис. 3. Диаграммы значимостей и вкладов элементов структуры УС СН

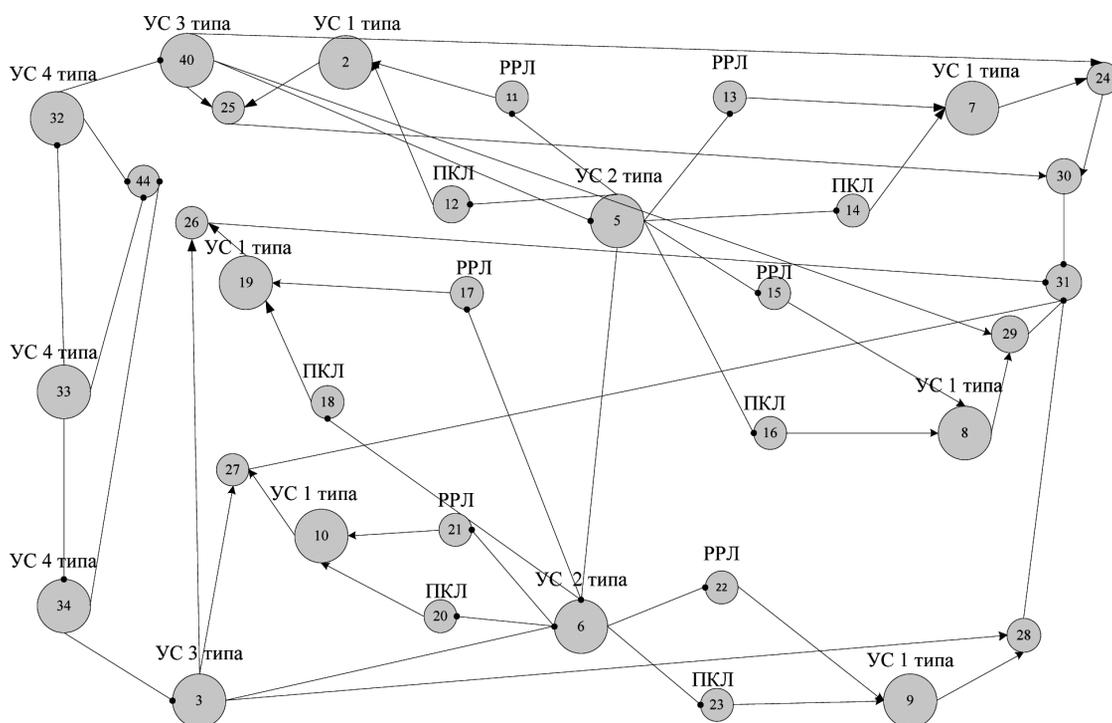


Рис. 4. Логико-вероятностная модель структуры УС СН (вариант с резервированием)

Логическая функция работоспособности данного варианта структуры УС СН, с заданной фиктивной вершиной 31, ЛКФ которой описывается системой логических уравнений:

$$\begin{aligned}
 &y_5 = x_5 \cdot y_{40}; y_6 = x_6 \cdot y_3; y_2 = x_2 \cdot (y_{11} + y_{12}); y_7 = x_7 \cdot (y_{13} + y_{14}); \\
 &y_8 = x_8 \cdot (y_{15} + y_{16}); y_9 = x_9 \cdot (y_{22} + y_{23}); y_{10} = x_{10} \cdot (y_{21} + y_{20}); \\
 &y_{11} = x_{11} \cdot y_5; y_{12} = x_{12} \cdot y_5; y_{13} = x_{13} \cdot y_5; y_{14} = x_{14} \cdot y_5; \\
 &y_{15} = x_{15} \cdot y_5; y_{16} = x_{16} \cdot y_5; y_{17} = x_{17} \cdot y_6; y_{18} = x_{18} \cdot y_6; y_{19} = x_{19} \cdot (y_{17} + y_{18}); \\
 &y_{21} = x_{21} \cdot y_6; y_{20} = x_{20} \cdot y_6; y_{22} = x_{22} \cdot y_6; y_{23} = x_{23} \cdot y_6; y_3 = x_3; \\
 &y_{40} = x_{40}; y_{32} = x_{32} \cdot y_{40}; y_{34} = x_{34} \cdot y_{33} \cdot y_3; y_{33} = x_{33} \cdot y_{32}; \\
 &y_{30} = y_{25} + y_{24} + y_{26} + y_{27} + y_{29} + y_{28}; y_{44} = y_{32} \cdot y_{33} \cdot y_{34}; y_{25} = y_{40} + y_2; \\
 &y_{24} = y_{40} + y_7; y_{29} = y_8 + y_{40}; y_{28} = y_3 + y_9; y_{27} = y_{10} + y_3; y_{26} = y_{19} + y_3; \\
 &y''^5 = x''^5 + y''^40; y''^6 = x''^6 + y''^5 + y''^3; y''^2 = x''^2 + y''^11 \cdot y''^12; y''^7 = x''^7 + y''^13 \cdot y''^14; \\
 &y''^8 = x''^8 + y''^15 \cdot y''^16; y''^9 = x''^9 + y''^22 \cdot y''^23; y''^10 = x''^10 + y''^21 \cdot y''^20; \\
 &y''^11 = x''^11 + y''^5; y''^12 = x''^12 + y''^5; y''^13 = x''^13 + y''^5; y''^14 = x''^14 + y''^5; \\
 &y''^15 = x''^15 + y''^5; y''^16 = x''^16 + y''^5; y''^17 = x''^17 + y''^6; y''^18 = x''^18 + y''^6; \\
 &y''^19 = x''^19 + y''^17 \cdot y''^18; y''^21 = x''^21 + y''^6; y''^20 = x''^20 + y''^6; y''^22 = x''^22 + y''^6; \\
 &y''^23 = x''^23 + y''^6; y''^3 = x''^3; y''^40 = x''^40; y''^32 = x''^32 + y''^40; \\
 &y''^34 = x''^34 + y''^33 + y''^3; y''^33 = x''^33 + y''^32; y''^30 = y''^25 \cdot y''^24 \cdot y''^26 \cdot y''^27 \cdot y''^29 \cdot y''^28; \\
 &y''^44 = y''^32 + y''^33 + y''^34; y''^25 = y''^40 \cdot y''^2; y''^24 = y''^40 \cdot y''^7; y''^29 = y''^8 \cdot y''^40; \\
 &y''^28 = y''^3 \cdot y''^9; y''^27 = y''^10 \cdot y''^3; y''^26 = y''^19 \cdot y''^3.
 \end{aligned}$$

ЛКФ системы  $Y_c = y_{31}$  с вероятностью реализации критерия  $P = 0,81$ , рис. 5.

Анализ результатов показывает, что при функционировании УС СН в условиях ДВП, вариант модели УС СН с учетом резервирования линий (информационных направлений) связи имеет более высокий показатель УФ, чем без

данного резервирования. Однако и это значение показателя УФ УС СН не выполняет требований, предъявляемых к нему.

В следующем варианте СФЦ, показанном на рис. 6, представлена модель структуры УС СН, в которой значительно повышен показатель УФ до требуемых значений за счет создания унифицирован-

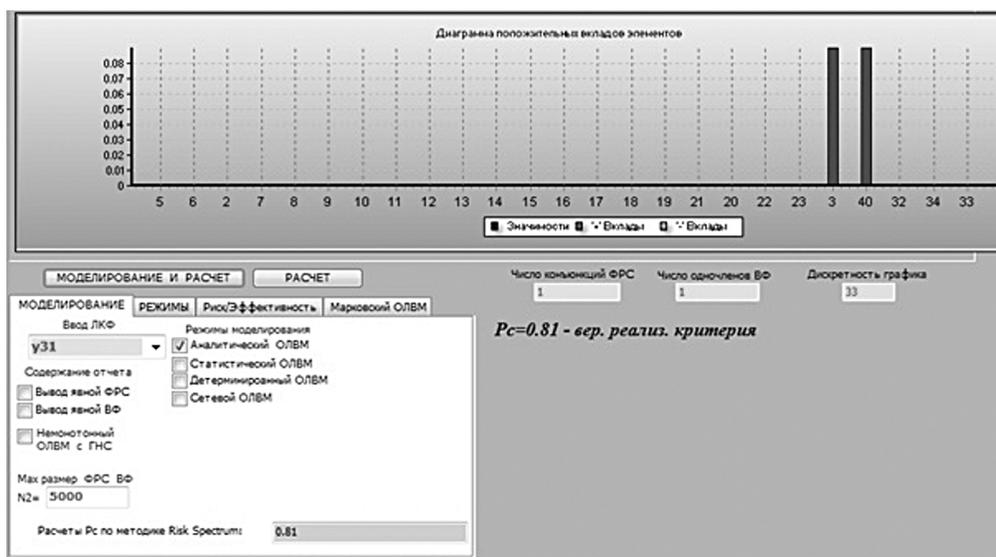


Рис. 5. Диаграммы значимостей и вкладов элементов структуры УС СН

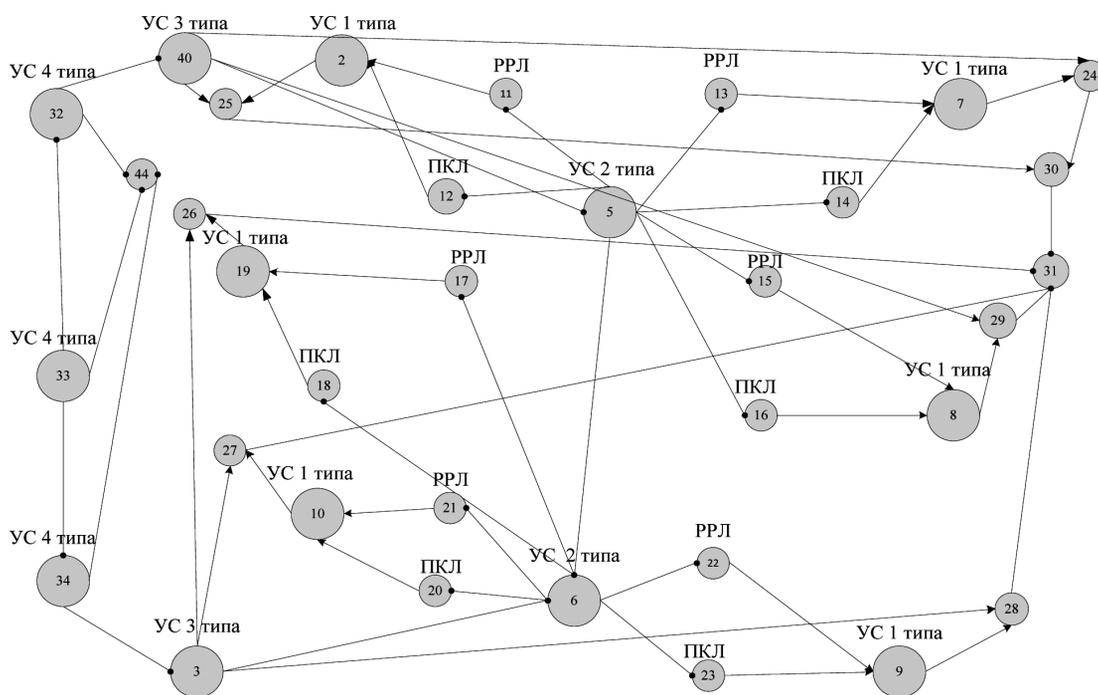


Рис. 6. Вариант логико-вероятностной модели структуры УС СН с резервированием линий связи и однотипными элементами

ных (схожих по количественному и качественному составу, а также по наличию разведпризнаков) УС 1-го типа и, вследствие этого, возможности их взаимозаменяемости в случае неисправности (неработоспособности) в условиях ДВП.

Фиктивная вершина 31 отражает событие УФ УС СН. Логическая функция работоспособности системы, заданной фиктивной вер-

шиной 31 ЛКФ, описывается функцией вида, подобной представленным ранее. ЛКФ системы  $Y_c = y_{31}$  с вероятностью реализации критерия  $P = 0,99$ , рис. 7.

Таким образом, с помощью СФЦ, максимально соблюдая соответствие представленных моделей оригиналу (УС СН), характеризуемое степенью близости свойств модели свойствам

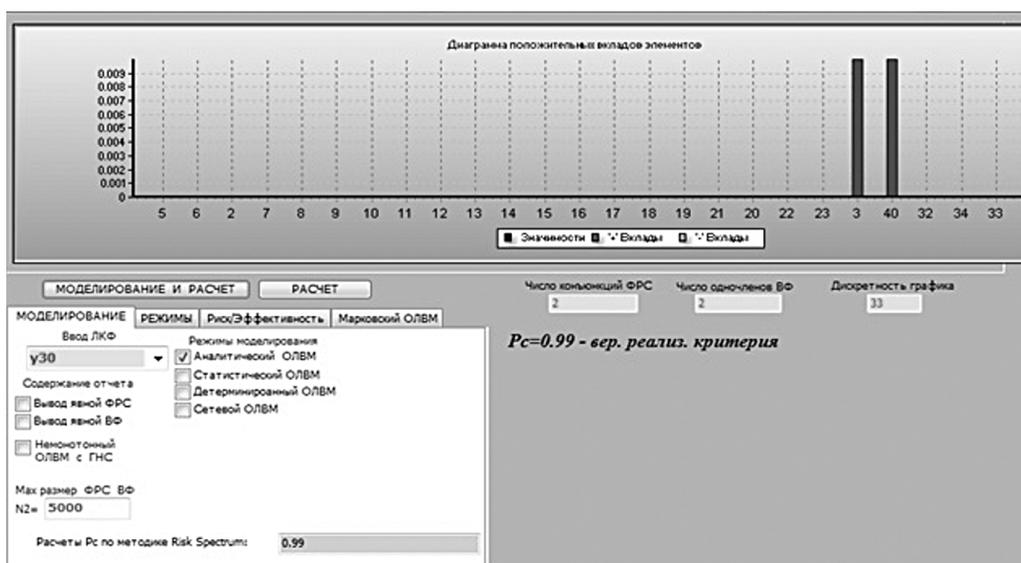


Рис. 7. Диаграммы значимостей и вкладов элементов структуры УС СН

исследуемой системы, можно представить различные варианты построения УС СН с различными значениями УФ, и тем самым достичь требуемых значений данного свойства системы.

### Вывод

Сущность научного результата, полученного в ходе исследования, заключается в разработке логико-вероятностной модели структуры УС СН. Получены системы логических уравнений в виде вероятностных функций, отражающих свойство УФ, количественные значения которых дают возможность перейти к выбору того или иного варианта построения структуры УС СН. Показаны вклады наиболее значимых элементов структуры. В совокупности всего вышеперечисленного возникает возможность перейти к формированию методики разработки структуры УС СН на основе показателя УФ.

### Литература

1. Поленин В.И., Рябинин И.А., Свирин 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. Можяева. — СПб.: НИКА, 2011. 410 с.

2. Милашевский А.В., Привалов А.А. Логико-вероятностные модели для оценки устойчивости узла связи специального назначения и его элементов, функционирующих в условиях воздействия комплекса дестабилизирующих факторов / Сборник научных статей. — СПб.: СПбГУТ, 2021. 110 с.

3. 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.

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

5. Исаков Е.Е. Основные принципы построения устойчивой военной связи и возможные способы их реализации. — СПб.: ВАС, 2015. 448 с.

6. Математическое моделирование систем связи: учебное пособие / Васильев К.К., Служивый М.Н. — Ульяновск: УлГТУ, 2010. 170 с.

7. Бушуев С.Н., Осадчий А.С., Фролов В.Н. Теоретические основы создания информационно-технических систем. — СПб.: ВАС, 1998. 404 с.

### References

1. Polenin V.I., Ryabinin I.A., Svirin S.K. and Gladkova I.A. *Primeneniye obshchego logiko-veroyatnostnogo metoda dlya analiza tekhnicheskikh, voyennykh organizatsionno-funktsional'nykh sistem i vooruzhennogo protivoborstva: monografiya.* — St. Petersburg: NIKA, 2011. 410 p.

2. Milashevsky A.V., Privalov A.A. *Logical-probabilistic models for assessing the stability of a special-purpose communication node and its elements functioning under the influence of a complex of destabilizing factors / Collection of scientific articles.* — St. Petersburg: SPbGUT, 2021. 110 p.

3. Privalov A.A. and Popov P.V. *Metodika rascheta veroyatnosti funktsional'nogo porazheniya elementov sistemy svyazi flota // In: Tezisy seminarov «Problemy riska v tekhnogennoy i sotsial'noy sferakh», 2005. Vol. 4. 178 p.*

4. Mozhayev A.S. and Gromov V.N. *Teoreticheskiye osnovy obshchego logiko-veroyatnostnogo metoda avtomatizirovannogo modelirovaniya sistem.* — St. Petersburg: VITU. 2000. 145 p.

5. Isakov E.E. *Basic principles of building a stable military communication and possible ways of their implementation.* — St. Petersburg: VAS, 2015. 448 p.

6. *Mathematical modeling of communication systems: textbook / Vasiliev K.K., Sluzhiviy M.N.* — Ulyanovsk: UISTU, 2010. 170 p.

7. Bushuev S.N., Osadchy A.S., Frolov V.N. *Theoretical foundations of the creation of information technology systems.* — St. Petersburg: VAS, 1998. 404 p.