

Научная статья

УДК 519.81

DOI 10.25205/1818-7900-2022-20-4-39-60

Исследование взаимосвязи между конфликтными свойствами и показателями эффективности организационно-технических систем на примере сети связи специального назначения

Алексей Вячеславович Попов¹

Олег Викторович Пьянков²

Воронежский институт МВД России

Воронеж, Россия

¹Alex_std_ex@mail.ru

²ovpyankov@mail.ru

Аннотация

Используется системный подход к исследованию организационно-технических систем, включающих организационные и технические элементы и взаимодействия между ними. Проводится анализ литературы по исследуемой проблематике, делается выбор в пользу теории конфликтов для исследования организационно-технических систем и определяется необходимость решения научной задачи по уточнению применимости существующих оценок конфликтности системы. Рассматривается гипотеза о наличии связи между оценками конфликтных отношений элементов и показателями эффективности функционирования организационно-технических систем. На примере локальной сети связи специального назначения разрабатывается математическая модель конфликтных взаимодействий, вводятся функции полезности ее элементов, рассматриваются существующие и предлагаются новые методы оценки конфликтных отношений элементов и системы в целом.

На макете рассматриваемой локальной сети проводится натурный эксперимент по определению значений показателей эффективности работы сети (отношение скорости передачи данных к пропускной способности канала связи, загрузка центрального процессора, отношение времени передачи фиксированного объема данных к минимально достижимому при использовании всей пропускной способности канала связи) в различных условиях ее функционирования, в том числе при воздействии негативных факторов. Для каждого исследуемого состояния локальной сети осуществляется модификация математической модели с вычислением значений оценок конфликтных отношений элементов и системы в целом.

Осуществляется выбор оценок конфликтных отношений, потенциально имеющих связь с показателями эффективности. Между выбранным набором оценок конфликтных отношений и показателями эффективности методами корреляционного анализа определяется наличие взаимосвязи. В результате анализа выделены оценки, которые могут применяться для прогнозирования степени изменения конфликтности системы и ее элементов при модификации или изменении условий функционирования.

Ключевые слова

организационно-техническая система, теория конфликтов, оценки конфликтности, показатели эффективности, натурный эксперимент

Для цитирования

Попов А. В., Пьянков О. В. Исследование взаимосвязи между конфликтными свойствами и показателями эффективности организационно-технических систем на примере сети связи специального назначения // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2022. Т. 20, № 4. С. 39–60. DOI 10.25205/1818-7900-2022-20-4-39-60

Study of the Relationship between Conflict Properties and Performance Indicators of Organizational and Technical Systems on the Example of a Special Purpose Communication Network

Alexey V. Popov¹, Oleg V. Pyankov²

Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia
Voronezh, Russia

¹Alex_std_ex@mail.ru

²ovpyankov@mail.ru

Abstract

The system approach to the study of organizational and technical systems, including organizational and technical elements and the interaction between them is used. The analysis of the literature on the investigated problem is carried out, the choice in favor of the conflict theory for the study of organizational-technical systems is made and the necessity of solving the scientific problem of clarifying the applicability of existing assessments of the conflicts of the system is determined. The hypothesis of the existence of a relationship between estimates of the conflict relations of elements and performance indicators of organizational-technical systems is considered.

By the example of a special purpose local communication network a mathematical model of conflict interactions is developed, utility functions of its elements are introduced, existing and new methods of evaluation of conflict relations of elements and the system as a whole are considered.

On the model of the considered local network we conduct a full-scale experiment to define the network performance (the ratio of the data transmission rate to the channel capacity, the central processor load, the ratio of the transmission time of a fixed amount of data to the minimum achievable with the use of the entire channel capacity) in various conditions of its operation, including the impact of negative factors. For each investigated state of the local network, we modify the mathematical model to calculate the values of the conflict relations of the elements and the system as a whole.

The choice of estimates of the conflict relations, potentially having connection with efficiency indicators is carried out. The correlation between the selected set of assessments of conflict relations and performance indicators is determined by methods of correlation analysis. As a result of the analysis, we singled out the estimates, which can be used to predict the degree of change in the conflicts of the system and its elements when modifying or changing the conditions of functioning.

Keywords

organizational and technical system, conflict theory, conflict assessment, performance indicators, field experiment

For citation

Popov A. V., Pyankov A. V. Study of the Relationship between Conflict Properties and Performance Indicators of Organizational and Technical Systems on the Example of a Special Purpose Communication Network. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2022, vol. 20, no. 4, pp. 39–60. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2022-20-4-39-60

Введение

Органы внутренних дел МВД России в пределах своих компетенций реализуют широкий спектр полномочий, связанных с охраной общественного порядка и обеспечением общественной безопасности. Для централизованного управления силами и средствами органов внутренних дел, осуществления коммуникаций между ними, а также взаимодействия с другими органами государственной власти, местного самоуправления, организациями и гражданами в системе Министерства внутренних дел Российской Федерации используются сети связи специального назначения (СС СН), администрирование которых осуществляют сотрудники центров/отделов информационных технологий, связи и защиты информации (Ц(О)ИТСиЗИ) территориальных органов МВД России.

Использование СС СН невозможно без осуществления исследования и анализа их текущего состояния, оптимизации и прогнозирования эффективности их функционирования, исходя из сложившейся оперативной обстановки. Для исследования свойств таких сетей связи целесообразно применение системного подхода, рассматривающего СС СН как организаци-

онно-техническую систему (ОТС), включающую организационные и технические элементы и воздействия их друг на друга [1]. Особенностью ОТС является значимость роли человека в функционировании системы и реализации процессов. К организационным элементам относятся пользователи (в том числе технический персонал), осуществляющие эксплуатацию и обслуживание СС СН, к техническим – программные и аппаратные средства СС СН, включая технические средства связи, системы отображения информации индикации, органы управления и программные интерфейсы [2].

В ряде исследований [3–11] рассмотрены различные подходы к моделированию ОТС, а также исследованию их свойств и описанию реализуемых в них процессов. Так, в работе [3] предложена методология, реализующая математическое и программное обеспечение, направленное на повышение уровня профессиональной подготовки специалистов по эксплуатации технических систем. В исследовании [4] основной задачей является анализ информационных процессов, реализуемых в ОТС, и автоматизация управления, направленного на повышение защищенности таких систем. В [5] предложен комплексный показатель, характеризующий надежность функционирования ОТС, основанный на вероятностях нахождения техники в состоянии готовности и безошибочной работы пользователей, а также рассмотрен перечень состояний, в которых может находиться такая система и причины перехода из одного состояния в другое. В [6] использован подход, основанный на разработке структурно-параметрических моделей социально-технических систем в виде взвешенных гиперграфов, а эффективность функционирования систем оценивается вкладом каждого элемента, направленным на достижение общей цели системы.

В исследованиях [8; 11] авторы используют методы системного анализа для синтеза, оценки эффективности функционирования, регулирования и контроля ОТС управления и выработки соответствующих управленческих решений, направленных на оптимизацию ОТС.

Работы [9; 10] посвящены разработке моделей и исследованию свойств адаптивных тренировочных комплексов, рассматриваемых как эргатические системы, что для предметной области является эквивалентом ОТС. В [10] такая эргатическая система включает в себя аппаратное и программное обеспечение, а также математические модели технической системы, деятельности персонала и воздействий на комплекс. Каждый из структурных элементов дополнительно состоит из подсистем, позволяющих описать необходимые свойства исследуемого комплекса.

Основываясь на структурных особенностях ОТС [1; 2; 12; 13] в процессе функционирования, согласно назначению, она может быть представлена как [14]:

$$\mathfrak{Z} = \langle S, R, Q \rangle,$$

где $S = \{s_i\}$ – множество элементов системы, $R = \{p_{i,j}^k, z_{i,j}^k\}$ – множество воздействий элементов системы друг на друга (p – класс процессов, реализуемых организационными элементами, z – класс процессов, реализуемых техническими элементами, k – индекс процесса), $Q = \{q_{s_i}\}$ – множество функций полезности элементов, которые характеризуют степень достижения цели каждого i -го элемента.

Индекс процесса k позволяет идентифицировать процесс конкретной предметной области, реализуемый в исследуемой системе. Так, в работе [15] были рассмотрены и проанализированы процессы p -класса, которые реализуются между организационным и техническим элементами: p^1 – эксплуатация СС СН; p^2 – модернизация; p^3 – управление; p^4 – построение (конфигурация) СС СН или ее сегмента; p^5 – мониторинг качества оказываемых услуг связи; p^6 – техническое обслуживание; p^7 – ремонт; p^8 – хранение; p^9 – транспортирование. К процессам z -класса относятся: z^1 – передача информации; z^2 – формирование, z^3 – прием, z^4 – обработка, z^5 – хранение информации.

Реализуемые в системе процессы позволяют выделить отношения между элементами системы, участвующими в этих процессах. Тип отношений определяется исходя из изменений функций полезности элементов в соответствии с положениями теории конфликтов.

Основная идея этой теории заключается в разработке системной модели конфликта, которая связывает объекты и факторы, участвующие в конфликте [16]. Для теории конфликтов свойственна интеграция качественных и количественных законов, и, наряду с этим, одной из ее особенностей является применение технических измерений и наличие констант. Этот факт обуславливает важность построения функционального пространства со своей метрикой при разработке системной модели конфликта. Метрика должна охватывать как технические, так и эргономические компоненты исследуемых систем. Временной масштаб системных моделей может варьироваться в зависимости от условий решаемой задачи, однако в любой модели можно проследить разнообразные воздействия элементов друг на друга, их поведение. Исследование ОТС с точки зрения теории конфликтов позволяет решать аналитические задачи и строить различного вида прогнозы их развития.

Ряд зарубежных источников [17–25], содержащих исследования по проблематике теории конфликтов, используют аппарат математического моделирования для анализа объектов и систем в различных предметных областях. В работах [17; 22; 23] исследуются причины, динамика конфликтов, возникающих при реализации социальных процессов в сфере жизнедеятельности общества. Определяется множество участников конфликта и моделируются пути его разрешения с применением дифференциальных уравнений. Также категориально-понятийный аппарат теории конфликтов может быть применен при возникновении противоречий в политике предоставления доступа к данным в географических информационных системах [18], для прогнозирования и анализа траекторий движения воздушных судов и недопущения столкновений [19], для разработки математических моделей систем, оценивающих эпидемиологическую обстановку и динамику распространения инфекционных заболеваний [20], а также в моделях, разрабатываемых для оценки бизнес-процессов [21].

Основываясь на системном подходе при моделировании ОТС целесообразно использовать определения теории конфликтов, что позволит охарактеризовать отношения между элементами системы. Как правило, принято выделять три основных типа отношений: сотрудничество, противоречие и безразличие [26; 27]. Определение типа отношений между элементами связано с выполнением следующих условий:

1. Если существует воздействие элемента i на элемент j , такое что при возрастании (убывании) функции полезности i -го элемента возрастает (убывает) функция полезности j -го элемента, то отношение i -го элемента к j -му называется сотрудничеством.

Если $\exists p_{i,j}^k \cup z_{i,j}^k : q_{s_i} \uparrow (\downarrow) \Rightarrow q_{s_j} \uparrow (\downarrow)$, то $s_i > |_c s_j$.

Аналогично:

2. Если $\exists p_{i,j}^k \cup z_{i,j}^k : q_{s_i} \uparrow (\downarrow) \Rightarrow q_{s_j} \downarrow (\uparrow)$, то $s_i > |_n s_j$ (противоречие).

3. Если $\exists p_{i,j}^k \cup z_{i,j}^k : q_{s_i} \uparrow (\downarrow) \Rightarrow q_{s_i} = const$, то $s_i > |_o s_j$ (безразличие).

Если $\nexists (p_{i,j}^k \cup z_{i,j}^k) \wedge \nexists (p_{j,i}^k \cup z_{j,i}^k)$, то элементы i и j независимы друг от друга.

Совокупность отношений сотрудничества и противоречий между элементами ОТС позволяет оценить ее конфликтность и сбалансированность, оказывающие влияние на реализуемые процессы. В связи с этим целью исследования является проверка гипотезы о наличии взаимосвязи между оценками конфликтности и показателями эффективности ОТС.

1. Моделирование организационно-технической системы

Разработаем модель ОТС на примере локальной СС СН, состоящей из трех последовательно соединенных друг с другом коммутаторов и двух пользователей, один из которых подключен к порту первого коммутатора, а второй – к порту третьего (рис. 1).

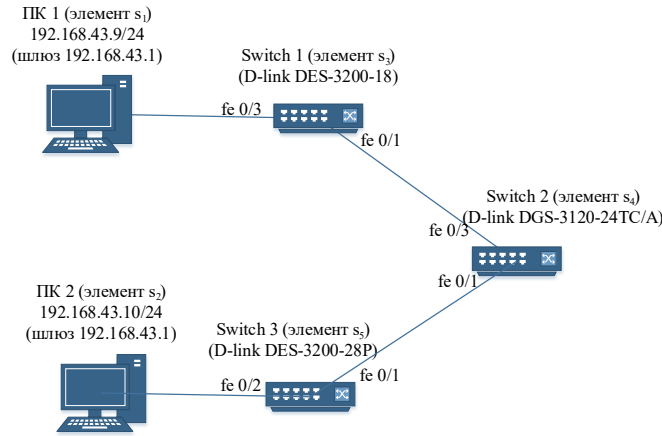


Рис. 1. Схема локальной CC CH
Fig. 1. Diagram of the local special-purpose communication network

К организационным элементам ОТС отнесем двух пользователей, осуществляющих одностороннюю и двухстороннюю передачу данных друг другу. С учетом требуемого уровня декомпозиции [13], отражающего перечень конфликтных отношений между элементами, персональные компьютеры пользователей не будут выделяться как отдельные элементы, а будут находиться в составе организационных элементов, образуя тем самым эргатические (социально-технические) элементы s_1, s_2 . Коммутаторы отнесем к техническим элементам s_3, s_4, s_5 . Таким образом, множество элементов исследуемой ОТС в ее исходном состоянии зададим следующим образом: $S_0 = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5\}$.

Чтобы задать множество R , определим, какие процессы будут реализовываться в системе. Рассмотрим ситуацию, когда пользователю s_1 необходимо передать некоторый объем данных пользователю s_2 , а пользователю s_2 передать подтверждение о получении сообщения. В таком случае эргатический элемент s_1 будет оказывать прямое воздействие на первый коммутатор

(элемент s_3), т. е. $s_1 \xrightarrow{p_{1,3}^1} s_3$ (см. рис. 1), где $p_{1,3}^1$ означает эксплуатацию устройства. Аналогичным образом будут взаимодействовать элементы s_2 и s_5 при обратной передаче данных ($s_2 \xrightarrow{p_{2,5}^1} s_5$). Между элементами s_3, s_4, s_5 будут реализовываться процессы класса z : $z_{3,4}^1, z_{4,3}^1, z_{4,5}^1, z_{5,4}^1$, связанные с передачей информации между узлами связи, т. е. $s_i \xrightarrow{z_{i,j}^1} s_j$. Помимо этого, реализуются также два процесса передачи данных эргатическим элементам от элементов s_3 и s_5 : $s_5 \xrightarrow{z_{5,2}^1} s_2$ и $s_3 \xrightarrow{z_{3,1}^1} s_1$. Таким образом, множество воздействий для исходного состояния исследуемой системы $R_0 = \{p_{1,3}^1, p_{2,5}^1, z_{3,1}^1, z_{5,2}^1, z_{3,4}^1, z_{4,3}^1, z_{4,5}^1, z_{5,4}^1\}$.

Далее перейдем к определению множества функций полезности элементов Q_0 . Отметим, что функции полезности $q_{s1}(X_1, c_1)$ и $q_{s2}(X_2, c_2)$ являются аналитически эквивалентными в силу идентичности природы элементов s_1 и s_2 . Поскольку каждый пользователь заинтересован в скорейшей отправке/приеме сообщения, то его функция полезности будет определяться выражением:

$$q_{s1}(X_1, c_1) = X_1 \cdot c_1 = q_{s2}(X_2, c_2) = X_2 \cdot c_2, \quad (1)$$

где c_1 и c_2 – состояния элементов, принимающие значения 0 (если элемент не участвует в функционировании системы) и 1 (элемент участвует в функционировании системы); X_i – отношение суммы скоростей передачи и приема информации i -м пользователем к пропускной способности канала связи, определяемое по формуле:

$$X_i = \frac{v_{ni} + v_{npi}}{2 \cdot C}, \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

где v_{ni} – скорость передачи информации i -м пользователем, v_{npi} – скорость приема информации i -м пользователем, C – пропускная способность канала связи. Значения функций полезности q_{s1} , q_{s2} могут изменяться в диапазоне от 0 до 1. Для исследуемой предметной области справедливо предположение, что чем больше значение функций полезности пользователей, тем эффективнее функционирует ОТС, целью которой является удовлетворение потребностей пользователей.

Функции полезности сетевых устройств сегмента СС СН q_{s3} , q_{s4} , q_{s5} зададим следующим образом:

$$q_{s_i}(X_i, c_i) = X_i \cdot c_i = \left(\frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} \frac{v_{nk}}{C_k} \right) \cdot c_i, \quad i = 3, 4, 5, \quad (3)$$

где X_i – среднее значение отношений скоростей передачи информации пользователями к пропускной способности задействованных каналов связи, N – количество пользователей, подключенных к портам коммутаторов и осуществляющих одновременную передачу данных.

Таким образом, $Q_0 = \{q_{s1}, q_{s2}, q_{s3}, q_{s4}, q_{s5}\}$.

В работе [13] дано описание причинно-следственных связей возникновения определенного типа конфликтного отношения между элементами. Эта связь обусловлена характером процессов, реализующих функции СС СН. Поскольку в моделируемой системе рассматриваются процессы эксплуатации и передачи данных, то при отправке сообщений каждый из элементов множества S_0 будет повышать функцию полезности смежного с ним элемента, таким образом, $s_i > |_c s_j$ для всех i и j .

Широкое применение при моделировании ОТС нашли ориентированные графы, в которых вершинам v_i соответствуют элементы системы s_i , а дугам $e(z, k)_{i,j}$ и $e(p, k)_{i,j}$ – реализуемые между элементами процессы класса p или z [13; 28], причем если при реализации процесса $p_{i,j}^k$ возникает отношение сотрудничества между элементами i и j , то дуга $e(p, k)_{i,j}$ будет сплошной, а если отношение противоречия – пунктирной. Таким образом, модель рассматриваемой системы может быть представлена в виде графа $G_0 = G(V, E)$, где V – множество вершин, E – множество дуг (см. рис. 2).

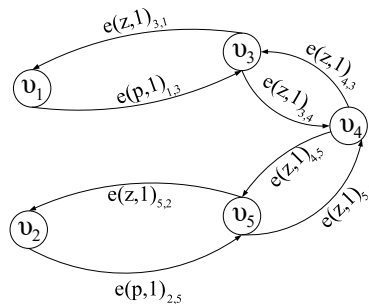


Рис. 2. Граф G_0

Fig. 2. Graph G_0

Пусть в начальный момент времени t_0 $q_{si}(X_i, c_i) = 0$ для всех i . Когда s_i начинает передавать сообщение, то будем считать, что данные передаются с максимально возможной скоростью, и, соответственно, $q_{s1} \rightarrow 0,5$, так как $v_{n1} \approx C$, $v_{npi} = 0$. Поскольку все отношения между элементами в системе являются отношениями сотрудничества, то функции полезности остальных

элементов начинают аналогичным образом пропорционально возрастать, тогда с учетом (3) для $i = 3, 4, 5$ функции полезности $q_{s1} \rightarrow 0,5$, а $q_{s2} \rightarrow 0,5$.

1.1. Модель системы с нарушителем

Добавим в систему нарушителя s_6 , осуществившего несанкционированный доступ к порту коммутатора (s_3) и загружающего канал связи паразитным трафиком.

Элемент s_6 является организационным элементом, реализующим процесс $p_{6,3}^1$ (атаку паразитным трафиком, в силу идентичности природы процессов эксплуатации и атаки, отнесем к p^1). Его собственная функция полезности определяется как

$$q_{s6}(X_6, c_6) = X_6 \cdot c_6 = \frac{v_{n6}}{C}. \quad (4)$$

В исследуемой сети такая DoS-атака⁵ вызывает снижение скорости передачи данных пользователем s_1 , что приводит к соответствующему убыванию функций полезности q_{si} , для всех $i < 6$ и возрастанию q_{s6} . Такое изменение функций полезности соответствует конфликтному отношению $s_6 > |s_3$ процесса $s_6 \xrightarrow{p_{6,3}^1} s_3$. Таким образом, ОТС для рассматриваемого случая задается следующим образом:

$$\mathcal{S}_1 = S_1, R_1, Q_1 >$$

где $S_1 = S_0 \cup \{s_6\}$, $R_1 = R_0 \cup \{p_{6,3}^1\}$, $Q_1 = Q_0 \cup \{q_{s6}\}$.

Ее модель в виде графа G_1 представлена на рис. 3.

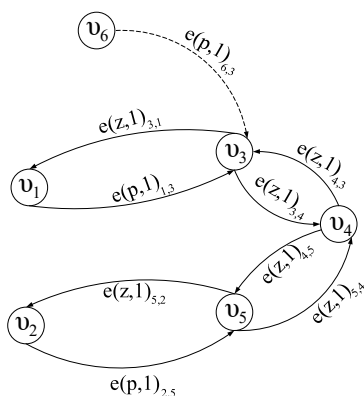


Рис. 3. Граф G_1
Fig. 3. Graph G_1

1.2. Разработка модели системы с противодействием нарушителю

При возникновении различных атак на сети связи возникает необходимость реализации комплекса мероприятий, направленных на противодействие угрозам, нарушающим бесперебойную работу средств связи, а также снижающим эффективность функционирования СС СН. Такие мероприятия проводятся сотрудниками Ц(О)ИТСиЗИ МВД России, в частности инженерами. При возникновении угрозы, рассмотренной в разделе 1.1, в целях ее нейтрализации либо минимизации негативных последствий для деятельности органов внутренних дел в структуру исследуемой ОТС $\mathcal{S}_1$ может быть добавлен элемент s_7 (инженер/системный администратор),

⁵ Англ. Denial of Service – «отказ в обслуживании».

идентифицирующий возникающую угрозу и принимающий меры по противодействию ей. В случае если DoS-атака осуществлялась на коммутатор s_3 , инженер реализует процесс управления $p_{7,3}^3$ по отношению к коммутатору, подвергающемуся негативному воздействию. Таким образом, в системе будет реализован новый процесс $s_7 \xrightarrow{p_{7,3}^3} s_3$. Функцию полезности q_{s_7} зададим выражением:

$$q_{s_7}(X_7, c_7) = X_7 \cdot c_7 = \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N q_{s_k} \right) \cdot c_7, \quad (5)$$

где q_{s_k} – функция полезности пользователя, N – количество пользователей.

Управляющее воздействие на коммутатор со стороны инженера будет способствовать возрастанию функции полезности q_{s_3} , что соответствует отношению сотрудничества $s_7 > |_c s_3$.

Структура и состав такой системы аналогично, как и в разделе 1.1, задается как:

$$\mathfrak{A}_2 = \langle S_2, R_2, Q_2 \rangle,$$

где $S_2 = S_1 \cup \{s_7\}$, $R_2 = R_1 \cup \{p_{7,3}^3\}$, $Q_2 = Q_1 \cup \{q_{s_7}\}$.

Модель системы представлена в виде графа G_2 на рис. 4.

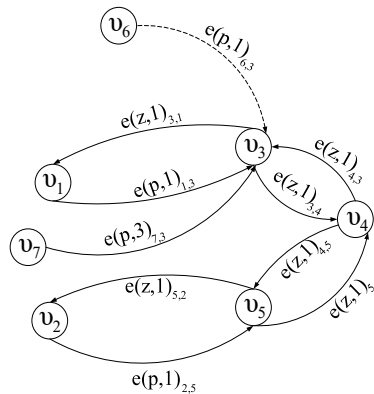


Рис. 4. Граф G_2
Fig. 4. Graph G_2

В рамках исследования были разработаны 63-графовые модели СС СН, обладающие различным составом и структурой. Рассматривалась возможность подключения к СС СН до 9 нарушителей, реализующих масштабную DDoS-атаку сразу на все коммутаторы. Например, самая крупная система задавалась множествами следующей мощности:

$$|S_n|_{\max} = |Q_n|_{\max} = 15; |R_n|_{\max} = 20.$$

1.3. Разработка оценок конфликтности организационно-технических систем

Для определения конфликтности систем используются оценки конфликтности, рассчитываемые по знаковым графам, предложенные в работах [13; 29; 30].

Основными из них являются:

1. M – баланс по Харари, определяемый как

$$\begin{aligned} M^- &= C^- / C = (C - C^+) / C; \\ M^+ &= C^+ / C = (C - C^-) / C, \end{aligned} \quad (6)$$

где C – общее число циклов в системе, C^+ – число сбалансированных циклов (в которых все существующие отношения между элементами синергетические, либо количество антагонистических отношений чётно); C^- – число несбалансированных циклов (циклы, в которых число антагонистических отношений нечётно).

2. M_c – степень сбалансированности графа по вершинам, определяемая формулой:

$$M_c = |v^c| / |V|, \quad (7)$$

где $|V|$ – мощность множества вершин графа, $|v^c|$ – мощность множества вершин, сбалансированных по циклам.

3. M_s – баланс по системе:

$$M_s = |v^s| / |V|, \quad (8)$$

где $|v^s|$ – мощность множества вершин, сбалансированных по системе.

4. M_n – степень несбалансированности:

$$M_n = |v^n| / |V|, \quad (9)$$

где $|v^n|$ – мощность множества несбалансированных вершин.

5. M_m – средняя сбалансированность графа:

$$M_m = \frac{1}{|V|} \sum_{i=1}^{|V|} M_i; \quad (10)$$

$$M_i = C^+(v_i) / C(v_i), \quad (11)$$

где $C(v_i) = C^+(v_i) + C^-(v_i)$ – общее число циклов, которым принадлежит вершина v_i ; $C^+(v_i)$ и $C^-(v_i)$ – число сбалансированных и несбалансированных циклов, которым принадлежит вершина v_i .

6. $\vec{P}_i$ – воздействие i -го фактора на систему:

$$\vec{P}_i = \frac{1}{|V|} \sum_{j=1}^{|V|} d_{i,j}, \quad (12)$$

где $d_{i,j}$ – показатель воздействия i -го фактора на j -й фактор. Этот показатель определяется из матрицы транзитивного замыкания $W' = \|w'_{i,j}\|_{2V \times 2V}$, где $w'_{i,j}$ – веса взаимных воздействий факторов друг на друга, определяемые экспертами. Элементы $d_{i,j}$ получаются из матрицы W' по правилу: $d_{i,j} = w'_{2i,2j}$, если $w'_{2i,2j} > w'_{(2i-1),(2j-1)}$; в противном случае $d_{i,j} = 0$.

7. $\vec{P}_j$ – воздействие системы на j -й фактор:

$$\vec{P}_j = \frac{1}{|V|} \sum_{i=1}^{|V|} d_{i,j}. \quad (13)$$

8. X_{pz} – баланс по взаимным воздействиям элементов системы:

$$X_{pz} = \sum_{i=1}^{|R|} r_{i,j}, \quad (14)$$

где $r_{i,j}$ – вес отношения между i -м и j -м элементами в пределах одной компоненты связности графовой модели. Модуль $r_{i,j}$ определяется как

$$|r_{i,j}| = \frac{1}{|R|},$$

$$\begin{aligned} r_{i,j} &> 0, \text{ если } s_i > |S_j|; \\ r_{i,j} &< 0, \text{ если } s_i > |S_j|. \end{aligned} \quad (15)$$

Разработаем дополнительные оценки конфликтности, позволяющие исследовать ОТС с различными топологическими свойствами, не привязанными к наличию обратных связей (циклов), а также получать интегральные (усредненные) значения по всем элементам системы или только для отдельного множества элементов (например, только для элементов, входящих в базовую модель G_0).

9. $I\bar{P}_\phi$ – интегральная оценка воздействий элементов, входящих в состав базовой модели G_0 :

$$I\bar{P}_\phi = \sum_{i=1}^{|V_0|} \bar{P}_i, \quad (16)$$

где V_0 – множество вершин в модели G_0 .

10. $I\bar{P}_s$ – интегральная оценка влияний элементов на систему:

$$I\bar{P}_s = \sum_{i=1}^{|V|} \bar{P}_i. \quad (17)$$

11. $C\bar{P}_s$ – концентрация влияний элементов на систему:

$$C\bar{P}_s = \frac{1}{|V|} I\bar{P}_s. \quad (18)$$

12. $I\bar{P}_\phi$ – интегральная оценка влияния системы на элементы, входящие в состав базовой модели G_0 :

$$I\bar{P}_\phi = \sum_{j=1}^{|V_0|} \bar{P}_j, \quad (19)$$

13. $I\bar{P}_s$ – интегральная оценка влияния системы на элементы:

$$I\bar{P}_s = \sum_{j=1}^{|V|} \bar{P}_j. \quad (20)$$

14. $C\bar{P}_s$ – концентрация влияний системы на элементы:

$$C\bar{P}_s = \frac{1}{|V|} I\bar{P}_s. \quad (21)$$

15. Y_{in} – баланс по сторонним входным воздействиям. Данная оценка рассчитывается для G_0 по следующей формуле:

$$Y_{in} = \sum_{i=1}^{|V_0|} \left[\sum_{k=1}^{E1} (\varpi_k(t) \cdot \alpha_k \cdot y_k^-(v_i)) + \sum_{k=1}^{E2} (\varpi_k(t) \cdot \beta_k \cdot y_k^+(v_i)) \right], \quad (22)$$

где $y_k^-(v_i)$, $y_k^+(v_i)$ – входные воздействия на вершину $v_i \in V_0$, принимающие значение -1 (в случае противоречия) или 1 (в случае сотрудничества); α_k , β_k – коэффициенты множественности воздействия принимают значение 1 , если входные воздействия скомпенсированы, в противном случае $\alpha_k, \beta_k > 1$; $E1$, $E2$ – количество сторонних воздействий противоречия и сотрудничества; $\varpi_k(t)$ – коэффициент силы воздействия k -го элемента на базовую модель.

2. Проведение натурального эксперимента

Показатели эффективности ОТС, в частности, СС СН задаются множеством $\Phi = \{\phi_i\}$ и могут включать различные качественные и количественные характеристики, учитываемые при организации информационного обмена и любых коммуникаций между пользователями сетей связи.

В литературных источниках в качестве показателей эффективности функционирования сетей связи используются различные подходы к моделированию и оценке эффективности функционирования сетей связи. Например, в работе [31] эффективность функционирования сетей передачи данных оценивается показателем вероятности выхода из строя или отключения узлов связи, входящих в структуру сети. С применением аппарата комбинаторики из значения данного показателя рассчитываются уровень стабильности сети, величина детерминированного ущерба, а также производится оценка суммарного риска. Исследование [32] сопряжено с разработкой математических моделей и методов повышения эффективности функционирования сетей сотовой связи, основным показателем для которых является среднее время отклика системы. А в [33] оценивается плотность и скорость вызовов в беспроводных сетях связи для последующего ввода эволюционных дифференциальных уравнений, позволяющих охарактеризовать дальнейшую динамику развития таких систем и, соответственно, разработать их стохастические или детерминированные модели.

Исходя из заданных в разделе 1 функций полезности элементов исследуемой ОТС, в качестве основных показателей эффективности функционирования СС СН были выбраны:

- отношение скорости передачи данных к пропускной способности канала связи (ϕ_1);
- загрузка центрального процессора компьютера источника (ϕ_2);
- отношение времени передачи фиксированного объема данных к минимально достижимому при использовании всей пропускной способности канала связи (ϕ_3).

Таким образом, множество показателей эффективности имеет следующий вид:

$$\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \phi_3\}.$$

Для подтверждения выдвинутой гипотезы о зависимости между конфликтными свойствами СС СН и эффективностью ее функционирования был проведен натурный эксперимент, основанный на локальной сети, конфигурирование которой осуществлялось согласно схеме (см. рис. 1). Экспериментальная установка для проведения натурного эксперимента представлена на рис. 5.



Рис. 5. Макет локальной СС СН
Fig. 5. Layout of a special-purpose local communications network

Для натурного эксперимента использовалось программное обеспечение PRTG Network Monitor [34], позволяющее оценить выбранные показатели эффективности.

В ходе натурного эксперимента была произведена тестовая передача данных от пользователя s_1 пользователю s_2 . Объем данных в ходе каждой передачи был фиксирован и составлял 2,2 Гб. Значение функций полезности рассчитывалось на основе данных о скорости исходящего/входящего трафика на коммутаторах или пользовательских ПК.

Изначально оценивалась скорость исходящего трафика пользователя s_1 в сети, модель которой представлена графом G_0 . График скорости передачи данных пользователем s_1 изображен на рис. 6.

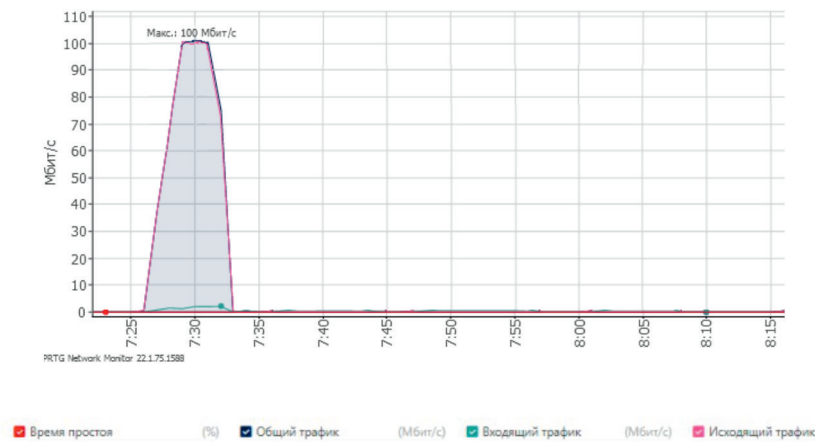


Рис. 6. Скорость исходящего трафика пользователя s_1

Fig. 6. User outbound traffic speed s_1

Из графика видно, что $v_{n1} \approx 100$ Мбит/с $\Rightarrow q_{s1} = q_{s2} = 0,05$; $q_{s3} = q_{s4} = q_{s5} = 1$. Поскольку все функции полезности элементов системы возросли, утверждение о полном синергизме в системе подтвердилось, т. е. $s_i > |_c s_j$ для всех i, j .

При осуществлении DoS-атаки был получен график скорости исходящего трафика пользователя s_1 (рис. 7), из которого видно, что средняя скорость v_{n1} составляет 51 Мбит/с. Такая ситуация соответствует модели G_1 (рис. 3).

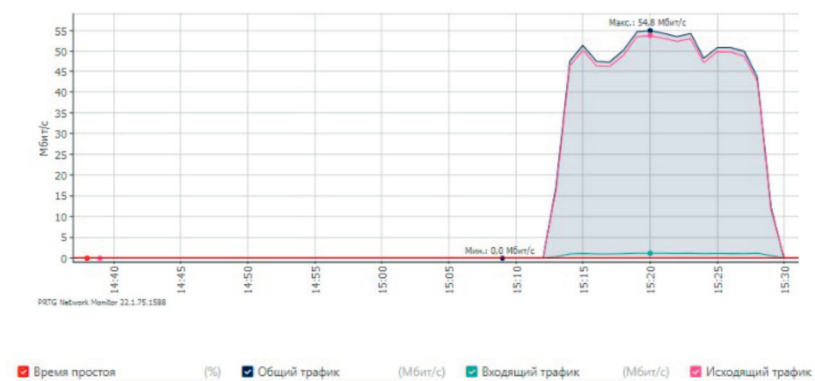


Рис. 7. Скорость исходящего трафика от пользователя s_1

Fig. 7. User outbound traffic speed s_1

Рассчитаем значения функций q_{si} по формулам (2) и (3):

$$q_{s1} = q_{s2} = \frac{51}{2 \cdot 100} = 0,255;$$

$$q_{s3} = q_{s4} = q_{s5} = \frac{1}{100} \cdot 51 = 0,51;$$

$$q_{s6} = \frac{49}{100} = 0,49.$$

Таким образом, элементы модели G_1 имеют значения функций полезности меньше, чем в модели G_0 .

Если рассматривать ситуацию, соответствующую модели G_2 (рис. 4), то при появлении в структуре системы инженера им выполняется комплекс мероприятий, направленных на противодействие возникшей угрозе, в частности DoS-атаке. Воздействие инженера на коммутатор будет осуществлено в ходе процесса управления и заключаться в ограничении скорости трафика на порту, к которому осуществил подключение нарушитель. В ходе эксперимента скорость входящего и исходящего трафика на порту была ограничена до 6 Мбит/с. В результате график скорости исходящего трафика от пользователя s_1 будет выглядеть следующим образом (рис. 8).

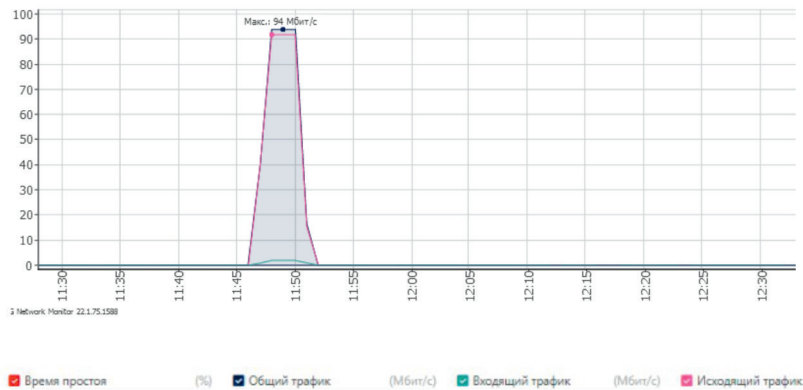


Рис. 8. Скорость исходящего трафика от пользователя s_1
Fig. 8. User outbound traffic speed s_1

Рассчитаем значения функций полезности элементов такой системы по формулам (2) – (5):

$$q_{s_1} = q_{s_2} = \frac{94}{2 \cdot 100} = 0,47; \quad q_{s_3} = q_{s_4} = q_{s_5} = \frac{1}{100} \cdot 94 = 0,94; \quad q_{s_6} = \frac{7}{100} = 0,07; \quad q_{s_7} = 0,47 \cdot 2 = 0,94.$$

Если сравнивать результаты вычислений для моделей G_1 и G_2 , то видно, что:

$$q_{s_i} \uparrow, \text{ для всех } i \neq 6; \quad q_{s_6} \downarrow.$$

Отсюда следует справедливость заключения о том, что $s_7 > |_c s_3$. Таким образом, при появлении элемента s_7 в системе, деятельность которого направлена на противодействие нарушителю, повышается эффективность функционирования системы.

В ходе эксперимента аналогично трем рассмотренным случаям производилась оценка скорости исходящего трафика пользователя s_1 , а также рассчитывались такие показатели, как t_d и CPU. Соответственно для формирования набора статистических данных были построены 63 графика скорости передачи данных пользователем s_1 для различных моделей СС СН, 8 из которых представлены на рис. 9.

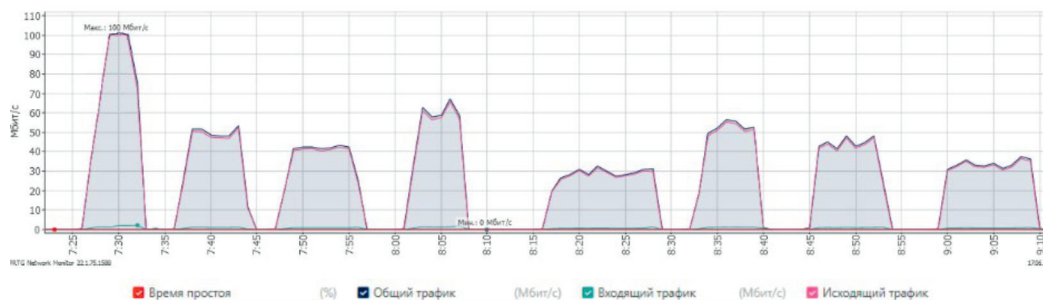


Рис. 9. Исходящий трафик пользователя s_1
Fig. 9. User outbound traffic speed s_1

Первый график соответствует модели G_0 ; второй график – модели G_1 ; третий – DOS-атака на Switch 2; четвертый – DOS-атака на Switch 3; пятый – DDOS-атака на все три коммутатора; шестой – DDOS-атаки на Switch 2 и Switch 3; седьмой – DDOS-атаки на Switch 1 и Switch 3; восьмой – DDOS-атака на Switch 1 и Switch 2.

В ходе эксперимента были получены наборы данных, определяемые множествами:

$$v_{n1} = \{v_{n1}^1, v_{n1}^2, \dots, v_{n1}^{63}\};$$

$$t_{\partial} = \{t_{\partial}^1, t_{\partial}^2, \dots, t_{\partial}^{63}\};$$

$$CPU = \{CPU^1, CPU^2, \dots, CPU^{63}\}.$$

Для сокращения размерности решаемой задачи на основе данных, полученных в ходе натурного эксперимента, было получено подтверждение существования зависимости между элементами множества Φ . Для анализа данных использовались такие методы, как регрессионный анализ и канонический корреляционный анализ, реализованные как модули программы STATISTICA 10 [35]. При сравнении значений показателя v_{n1} с t_{∂} и CPU в процессе регрессионного анализа были получены следующие графики (рис. 10 и 11):

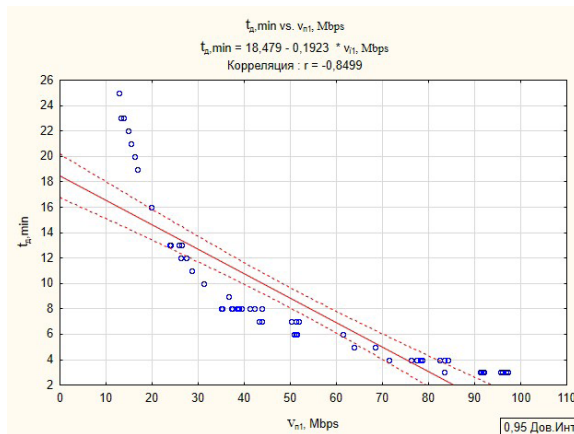


Рис. 10. Диаграмма рассеяния значений v_{n1} и t_{∂}
Fig. 10. Scatter diagram of values v_{n1} and t_{∂}

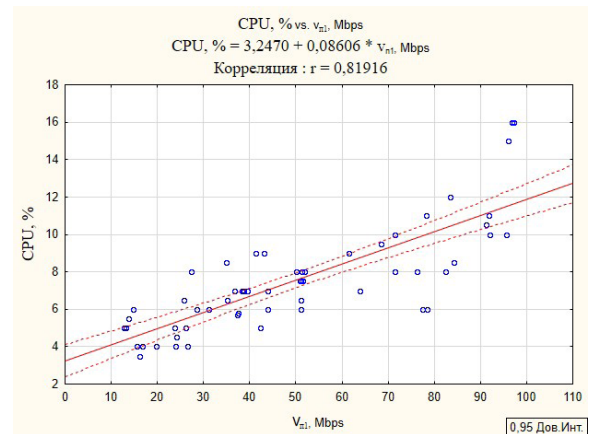


Рис. 11. Диаграмма рассеяния значений v_{n1} и CPU
Fig. 11. Scatter diagram of values v_{n1} and CPU

Как видно из рис. 10 и 11, значение модуля коэффициента корреляции $|r| > 0,8$, что свидетельствует о наличии высокой корреляционной связи показателей.

Таким образом, можно прийти к выводу о том, что для установления взаимосвязи между конфликтностью ОТС и эффективностью их функционирования достаточным будет использование одного из показателей множества Φ , например, скорости передачи данных v_{n1} .

3. Исследование взаимосвязи между показателями эффективности и оценками конфликтности организационно-технических систем

Для проверки гипотезы о наличии связи между оценками конфликтности и показателями эффективности найдем значения следующих оценок конфликтности:

$$\Pi = \{M, M_c, M_s, M_n, M_m, \bar{P}_b, \bar{P}_j, X_{pz}, \bar{I}P_0, \bar{I}P_s, \bar{C}P_s, \bar{I}P_0, \bar{I}P_s, \bar{C}P_s, Y_{in}\},$$

где $\bar{P}_i = \{\bar{P}_1, \bar{P}_2, \dots, \bar{P}_{|V_0|}\}$, $\bar{P}_j = \{\bar{P}_1, \bar{P}_2, \dots, \bar{P}_{|V_0|}\}$.

С учетом 63 рассмотренных моделей каждая оценка будет иметь множество значений с индексами в диапазоне от 1 до 63, например, $M = \{M^1, M^2, \dots, M^{63}\}$.

В ходе расчетов значений оценок конфликтности были получены следующие результаты.

1. При выявлении корреляционной зависимости между множеством значений v_{n1} и множествами значений оценок M_c и M_s были получены графики, представленные на рис. 12 и 13 соответственно.

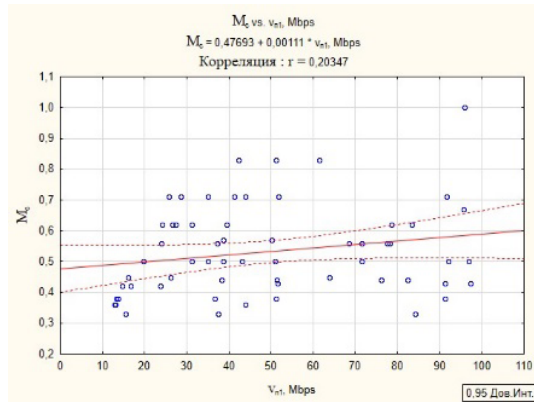


Рис. 12. Диаграмма рассеяния значений v_{n1} и M_c
Fig. 12. Scatter diagram of values v_{n1} and M_c

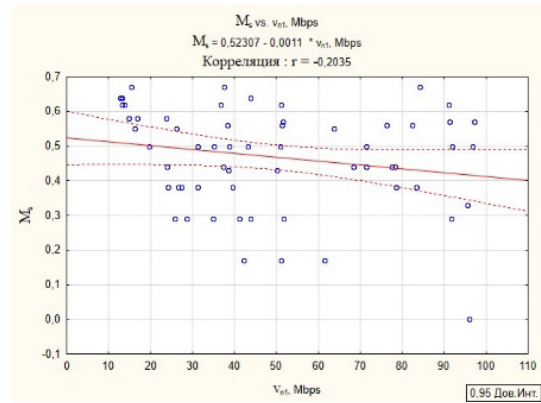


Рис. 13. Диаграмма рассеяния значений v_{n1} и M_s
Fig. 13. Scatter diagram of values v_{n1} and M_s

$$\begin{cases} M^i = 1 \\ M_n^i = 0, \forall i. \\ M_m^i = 1 \end{cases} \quad (23)$$

Из рис. 12, 13 и выражения (23) следует вывод о том, что зависимость между показателем v_{n1} и оценками M , M_c , M_s , M_n , M_m отсутствует. Это обусловлено тем, что при построении и исследовании графовых моделей G_i их циклическая структура не менялась, т. е. при добавлении элементов s_i , $i > 5$ появлялись только односторонние отношения на основные пять элементов без формирования отношений обратной связи.

2. При анализе взаимосвязи между v_{n1} и множествами элементов $\bar{P}_i$ и $\bar{\bar{P}}_i$ для всех $i \leq 5$ (т. е. для элементов, входящих в состав базовой модели) были получены следующие значения коэффициентов корреляции $r(v_{n1}, \bar{P}_i \vee \bar{\bar{P}}_i)$ (табл.):

Значения коэффициента корреляции

Correlation coefficient values

i	$r(v_{n1}, \bar{P}_i)$	$r(v_{n1}, \bar{\bar{P}}_i)$
1	0,286	0,588
2	0,286	0,588
3	0,308	0,692
4	-0,177	0,220
5	-0,06	0,311

Из таблицы видно, что корреляция между показателем v_{n1} и оценками влияний элементов на систему отсутствует, однако имеется средняя корреляционная связь между v_{n1} и влиянием

системы на первый, второй и третий элементы, т. е. на пользователей и коммутатор, к которому подключен пользователь, передающий сообщение.

3. При выявлении зависимости между v_{n1} и значениями оценок $\bar{IP}_6, \bar{IP}_s, C\bar{P}_s, \bar{IP}_6, \bar{IP}_s, C\bar{P}_s$ были получены следующие значения коэффициентов корреляции: $r(v_{n1}, \bar{IP}_6) = 0,057$; $r(v_{n1}, \bar{IP}_s) = 0,518$; $r(v_{n1}, C\bar{P}_s) = 0,474$; $r(v_{n1}, \bar{IP}_6) = 0,519$; $r(v_{n1}, \bar{IP}_s) = 0,523$; $r(v_{n1}, C\bar{P}_s) = 0,475$.

Диаграммы рассеяния значений трех оценок, обладающих наибольшим коэффициентом корреляции ($r > 0,5$), представлены на рис. 14, 15 и 16:

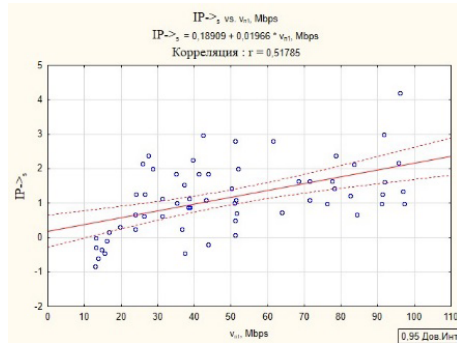


Рис. 14. Диаграмма рассеяния значений v_{n1} и $\bar{IP}_s$
Fig. 14. Scatter diagram of values v_{n1} and $\bar{IP}_s$

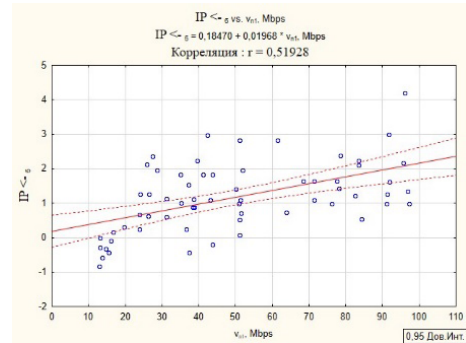


Рис. 15. Диаграмма рассеяния значений v_{n1} и $\bar{IP}_6$
Fig. 15. Scatter diagram of values v_{n1} and $\bar{IP}_6$

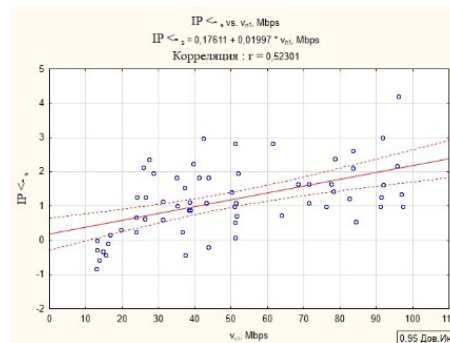


Рис. 16. Диаграмма рассеяния значений v_{n1} и $\bar{IP}_s$
Fig. 16. Scatter diagram of values v_{n1} and $\bar{IP}_s$

Значение коэффициента корреляции $r \approx 0,5$ не позволяет сделать вывод о наличии зависимости между v_{n1} и данной группой оценок.

4. Более сильная корреляционная связь выявляется при нахождении $r(v_{n1}, X_{pz}) = 0,737$, о чем свидетельствует диаграмма рассеяния, представленная на рис. 17.

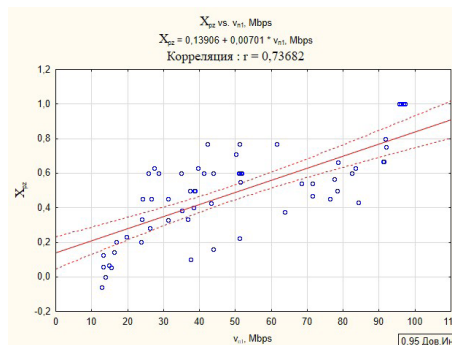


Рис. 17. Диаграмма рассеяния значений v_{n1} и X_{pz}
Fig. 17. Scatter diagram of values v_{n1} and X_{pz}

5. Более подробно рассмотрим расчет оценки Y_{in} в соответствии с формулой (22). Поскольку в ходе натурального эксперимента в целях противодействия конфликтному элементу осуществлялось снижение скорости на порту коммутатора, к которому он был подключен, то значение $\pi k(t)$, где s_k – инженер, может быть рассчитано следующим образом: если сравнить модели G_1 и G_2 , то q_{s6} изменилась с 0,49 до 0,07, т. е. в процессе воздействия со стороны элемента s_7 функция полезности конфликтного элемента уменьшилась на 85 %. Если бы инженер полностью блокировал сетевой трафик на порту, то полезность s_6 обратилась в 0. Из этого можно сделать вывод, что для рассматриваемой ситуации определим коэффициент силы синергетического влияния со стороны инженера статическим (для упрощения) и равным 0,85.

При определении коэффициентов α_k, β_k учтем, что при реализации процесса управления инженер оказывает противодействие сразу всем нарушителям, подключившимся к коммутатору, поэтому $\beta_k = E1, \alpha = 1$. После расчета значений $Y_{in}^i, i = [1, 2, \dots, 63]$ была получена диаграмма рассеяния значений v_{n1} и Y_{in} (рис. 18) и определено значение коэффициента корреляции $r(v_{n1}, Y_{in}) = 0,83$.

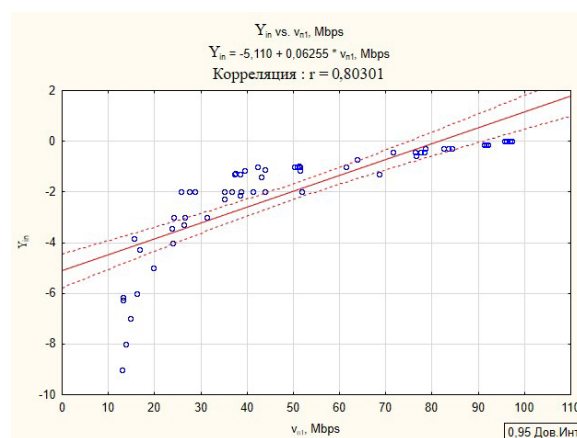


Рис. 18. Диаграмма рассеяния значений v_{n1} и Y_{in}

Fig. 18. Scatter diagram of values v_{n1} and Y_{in}

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее сильная взаимосвязь между показателями эффективности ОТС на примере СС СН и оценками конфликтности прослеживается в тех случаях, когда расчет оценки производится с учетом силы взаимных воздействий элементов друг на друга, а также при ограничении области расчетов основной компонентой связности графовой модели, внутри которой реализуются процессы, направленные на достижение цели функционирования исследуемой системы. Сделанный вывод подтверждают значения $r(v_{n1}, X_{pz})$ и $r(v_{n1}, Y_{in})$. Благодаря выявленной взаимосвязи становится возможным с некоторой вероятностью оценить эффективность функционирования реальной ОТС по ее графовой модели, и наоборот, по значениям показателей эффективности определить преобладающие типы отношений между элементами системы.

Заключение

В ходе исследования была осуществлена разработка моделей ОТС на примере СС СН с учетом типов отношений между их элементами. Теоретическая значимость полученных результатов заключается в подтверждении гипотезы о существовании взаимосвязи между показателями эффективности функционирования ОТС и рядом оценок конфликтности. Результат исследования корреляционных зависимостей позволил выбрать из множества оценок кон-

фликтности те, которые могут быть использованы для предсказания и оценки эффективности функционирования системы исходя из ее структурных особенностей. Наличие взаимосвязи позволит на практике при проектировании ОТС осуществлять оценку эффективности их функционирования на основе оценок конфликтности их графовых моделей. Кроме того, появляется возможность при необходимости изменения состояния ОТС осуществлять поиск наиболее предпочтительных структур и путей перехода к ним.

Список литературы

1. **Алексеев В. В., Корыстин С. И., Малышев В. А., Сысоев В. В.** Моделирование информационного воздействия на эргатический элемент в эрготехнических системах. М.: Стенсвил. 2003. 200 с.
2. **Меньших В. В., Сысоев В. В.** Структурная адаптация систем управления. М.: ИПРЖР. 2002. 150 с.
3. **Алексеев В. В., Зайцев А. В., Лысункин П. С.** Методология повышения качества эргатического элемента в эрготехнических системах на основе искусственного интеллекта // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 3. С. 17–22. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2018-3-3>.
4. **Талах А. Н., Алексеев В. В., Жуков А. О., Кулаков А. В., Тютюнник В. М.** Математическая модель управления качеством информационного процесса в эрготехнических системах // Инженерная физика. 2018. № 2. С. 25–30. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32612824>.
5. **Емелин Н. М.** Подходы к оценке влияния безошибочности действий персонала на надежность эргатических систем // Известия Института инженерной физики. 2022. № 1. С. 112–114. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47988760>.
6. **Меньших В. В., Зверев Г. И.** Выбор функций элементов эргатических систем для обеспечения их функционирования в условиях деструктивных воздействий // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8. № 3. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.30.3.004>.
7. **Асяев И. Ю., Данилов А. М.** Моделирование эргатических систем // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2021. № 5. С. 68–76. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46566654>.
8. **Железнов Э. Г., Комиссаров П. В., Цымай Ю. В.** Исследование эргатических систем управления // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 4. С. 37–41. <https://doi.org/10.17513/snt.38612>.
9. **Krasnyanskiy M. N., Obukhov A. D., Dedov D. L.** Problem formulation for determining the effectiveness of development and application of adaptive training systems for ergatic systems, {it International Review on Modelling and Simulations}, 2020, vol. 13, no. 3, pp. 159–169. <https://doi.org/10.15866/iremos.v13i3.17275>.
10. **Obukhov A. D., Dedov D. L., Arkhipov A. E.** Development of structural model of adaptive training complex in ergatic systems for professional use, {it IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, 04–06 December 2017}, Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. P. 022075. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/2/022075>.
11. **Kulakov S. M., Kojnov R. S., Taraborina E. N.** On the functional structure of the ergatic system of precedent management of a complex production facility, {it Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Matematika. Mekhanika. Informatika}, 2022, vol. 22, pp. 241–249. <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2022-22-2-241-249>.
12. **Попов А. В.** Модель взаимодействия между элементами эрготехнической системы на примере сети связи специального назначения // Математические методы в технологиях и технике, 2022. № 3. С. 48–51. https://doi.org/10.52348/2712-8873_MMTT_2022_3_42.

13. **Попов А. В.** Декомпозиционный подход к построению модели эрготехнической системы на примере сети связи специального назначения // Инфокоммуникационные технологии, 2022. № 1. С. 8–17. <https://doi.org/10.18469/ikt.2022.20.1.01>.
14. **Микони С. В., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов // М.: РАН. 2018. 314 с.
15. **Попов А. В.** Сравнение методов оценки процессов эрготехнических систем органов внутренних дел // Автоматизация процессов управления, 2022. № 3 (69). С. 67–76. https://doi.org/10.35752/1991-2927_2022_3_69_67.
16. **Дружинин В. В., Конторов Д. С., Конторов М. Д.** Введение в теорию конфликта // М.: Радио и связь. 1989. 288 с.
17. **Syed A. Raza, Standing C.** A systemic model for managing and evaluating conflicts in organizational change. Systemic Practice and Action Research, 2011, vol. 24, no. 3, p. 187–210. <https://ro.ecu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1409&context=ecuwo-rks2011>.
18. **Aijuan Zhang, Cheng Ji., Yu Bao, Xin L.** Conflict Analysis and Detection Based on Model Checking for Spatial Access Control Policy. Tsinghua SCIENCE and technology, 2017, vol. 22, no. 5, p. 478–488. <https://dc.tsinghuajournals.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1166&context=tsinghua-science-and-technology>.
19. **Mitici M., Blom A. P. H.** Mathematical models for air traffic conflict and collision probability estimation. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, vol. 20, no. 3, p. 1052–1068. <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2018.2839344>.
20. **Bekesiene S., Meidute-Kavaliauskiene I., Samoilenko I., Nikitin A.** The Complex Systems for Conflict Interaction Modelling to Describe a Non-Trivial Epidemiological Situation. Mathematics, 2022, vol. 10, no. 4. <https://doi.org/10.3390/math10040537>.
21. **Kubiv S., Balanyuk Y.** Development of a mathematical model of conflict between the parties in the implementation of the offset transaction. Technology audit and production reserves, 2020, vol. 2, no. 52, p. 28–31. <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.201260>.
22. **Kenetova R. O.** On the issue of mathematical modeling based on the theory of conflict. Vestnik KRAUNC. Fiz.-Mat. Nauki, 2021, vol. 36, no. 3, p. 72–79. <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2021-36-3-72-79>.
23. **Petukhov A. Y., Malkhanov A. O., Sandalov V. M., Petukhov Y. V.** Modeling conflict in a social system using diffusion equations. Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, 2018, vol. 94, no. 12, p. 1053–1061. <https://doi.org/10.1177/0037549718761573>.
24. **Pochkhua G.** Computer modeling of political conflict resolution through economic cooperation. Computer Sciences and Telecommunications, 2019, no. 2, p. 22–35. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45620381>.
25. **Goncharov N., Goncharov I., Dushkin A.** Assessment of the Conflict Stability of Information Systems Using Mathematical Modeling. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019, Vladivostok, 01–04 October 2019. Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2019, p. 8934011. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2019.8934011>.
26. **Сысоев В. В.** Конфликт. Сотрудничество. Независимость. Системное взаимодействие в структурно-параметрическом представлении. М.: Московская академия экономики и права. 1999. 151 с.
27. **Светлов В. А.** Управление конфликтом. Новые технологии принятия решений в конфликтных ситуациях: учеб. пособие. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2019. 136 с.
28. **Попов А. В.** Исследование структурных и конфликтных свойств систем с использованием знаковых графов // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. тр. Междунар. науч. конф. (г. Воронеж, 11–13 ноября 2019 г.). Воронеж:

- Научно-исследовательские публикации. 2020. С. 1050–1055. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42493528>.
29. **Пьянков О. В.** Математическое моделирование информационно-аналитических систем органов внутренних дел: монография. Воронеж: Воронежский институт МВД России. 2013. 132 с.
 30. **Борисов В. В., Бычков И. А., Дементьев А. В., Соловьев А. П., Федулов А. С.** Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем. М.: Горячая линия – Телеком. 2002. 154 с.
 31. **Ananayev A. V., Ivannikov K. S.** Risk-model for communication networks operation stability assessment. *Journal of Physics: Conference Series: Current Problems*. Voronezh, 07–09 December 2020, Voronezh, 2021, p. 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1902/1/012028>.
 32. **Thurley K., Wu L. F., Altschuler S. J.** Modeling Cell-to-Cell Communication Networks. Using Response-Time Distributions. *Cell Systems*, 2018, vol. 6, no. 3, p. 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.cels.2018.01.016>.
 33. **Leung K. K., Massey W. A., Whitt W.** Traffic models for wireless communication networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1994, vol. 12, no. 8, p. 1353–1364. <https://doi.org/10.1109/49.329340>.
 34. Официальный сайт компании Paessler. URL: <https://www.paessler.com/ru/prtg> (дата обращения 10.10.2022).
 35. **Боровиков В.** Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. 2-е изд. СПб.: Питер. 2003. 688 с.

References

1. **Alekseev V. V., Korystin S. I., Malyshev V. A., Sysoev V. V.** Modeling the information impact on the ergative element in ergotechnical systems. М.: Stensvil. 2003. 200 pp. (in Russ.)
2. **Menshikh V. V., Sysoev V. V.** Structural adaptation of control systems. М.: IPRZHR, 2002. 150 p. (in Russ.)
3. **Alekseev V. V., Zajcev A. V., Lysunkin P. S.** Methodology to improve the quality of the ergative element in ergotechnical systems based on artificial intelligence. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh system*, 2018, no. 3, pp. 17–22. (in Russ.)
4. **Talah A. N., Alekseev V. V., Zhukov A. O., Kulakov A. V., Tyutyunnik V. M.** Mathematical model of information process quality management in ergotechnical systems. *Inzhenernaya fizika*, 2018, no. 2, pp. 25–30. (in Russ.)
5. **Emelin N. M.** Approaches to assessing the impact of error-free personnel actions on the reliability of ergative systems. *Izvestiya Instituta inzhenernoj fiziki*, 2022, no. 1, pp. 112–114. (in Russ.)
6. **Menshikh V. V., Zverev G. I.** Choice of functions of elements of ergative systems to ensure their functioning under destructive influences. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii*, 2020, vol. 8, no. 3. (in Russ.)
7. **Asyaev I. Yu., Danilov A. M.** Modeling of ergatic systems. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii*, 2021, no. 5, pp. 68–76. (in Russ.)
8. **Zheleznev E. G., Komissarov P. V., Cymaj Yu. V.** Research on ergatic control systems. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2021, no. 4, pp. 37–41. (in Russ.)
9. **Krasnyanskiy M. N., Obukhov A. D., Dedov D. L.** Problem formulation for determining the effectiveness of development and application of adaptive training systems for ergatic systems. *International Review on Modelling and Simulations*, 2020, vol. 13, no. 3, pp. 159–169.
10. **Obukhov A. D., Dedov D. L., Arkhipov A. E.** Development of structural model of adaptive training complex in ergatic systems for professional use. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Tomsk, 04–06 December 2017. Tomsk: Institute of Physics Publishing. 2018. P. 022075.

11. 11. **Kulakov S. M., Kojnov R. S., Taraborina E. N.** On the functional structure of the ergative system of precedent management of a complex production object. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Matematika. Mekhanika. Informatika*, 2022, vol. 22, pp. 241–249. (in Russ.)
12. 12. **Popov A. V.** Model of interaction between elements of an ergotechnical system by the example of a special-purpose communication network. *Matematicheskie metody v tekhnologiyah i tekhnike*, 2022, no. 3, pp. 48–51. (in Russ.)
13. 13. **Popov A. V.** Decomposition approach to constructing an ergotechnical system model on the example of a special purpose communication network. *Infokommunikacionnye tekhnologii*, 2022, no. 1, pp. 8–17. (in Russ.)
14. 14. **Mikoni S. V., Sokolov B. V., Yusupov R. M.** Qualimetry of models and polymodel complexes. M.: RAN, 2018. 314 p. (in Russ.)
15. 15. **Popov A. V.** Comparison of methods for assessing the processes of ergotechnical systems of internal affairs bodies. *Avtomatizaciya processov upravleniya*, 2022, no. 3, pp. 67–76. (in Russ.)
16. 16. **Druzhinin V. V., Kontorov D. S., Kontorov M. D.** *Vvedenie v teoriyu konflikta* [Introduction to Conflict Theory]. M.: Radio i svyaz', 1989. 288 p. (in Russ.)
17. 17. **Raza S. A., Standing C.** A systemic model for managing and evaluating conflicts in organizational change. *Systemic Practice and Action Research*, 2011, vol. 24, no. 3, pp. 187–210.
18. 18. **Zhang A., Cheng J., Yu B., Xin L.** Conflict Analysis and Detection Based on Model Checking for Spatial Access Control Policy. *Tsinghua SCIENCE and technology*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 478–488.
19. 19. **Mitici M., Blom A. P. H.** Mathematical models for air traffic conflict and collision probability estimation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 1052–1068.
20. 20. **Bekesiene S., Meidute-Kavaliauskiene I., Samoilenko I., Nikitin A.** The Complex Systems for Conflict Interaction Modelling to Describe a Non-Trivial Epidemiological Situation. *Mathematics*, 2022, vol. 10, no. 4.
21. 21. **Kubiv S., Balanyuk Y.** Development of a mathematical model of conflict between the parties in the implementation of the offset transaction. *Technology audit and production reserves*, 2020, vol. 2, no. 52, pp. 28–31.
22. 22. **Kenetova R. O.** On the issue of mathematical modeling based on the theory of conflict. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-Mat. Nauki*, 2021, vol. 36, no. 3, pp. 72–79.
23. 23. **Petukhov A. Y., Malkhanov A. O., Sandalov V. M., Petukhov Y. V.** Modeling conflict in a social system using diffusion equations. *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 2018, vol. 94, no. 12, pp. 1053–1061.
24. 24. **Pochkhua G.** Computer modeling of political conflict resolution through economic cooperation. *Computer Sciences and Telecommunications*, 2019, no. 2, pp. 22–35.
25. **Goncharov N., Goncharov I., Dushkin A.** Assessment of the Conflict Stability of Information Systems Using Mathematical Modeling. 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019, Vladivostok, 01–04 October 2019. Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. Art. 8934011.
26. **Sysoev V. V.** Conflict. Cooperation. Independence. System interaction in structural-parametric representation. M.: Moskovskaya akademiya ekonomiki i prava, 1999. 151 p. (in Russ.)
27. **Svetlov V. A.** Conflict Management. New Technologies of Decision-Making in Conflict Situations. Saratov: IPR Media, 2019. 136 p. (in Russ.)
28. **Popov A. V.** Study of structural and conflict properties of systems using symbolic graphs. Current Problems of Applied Mathematics, Computer Science, and Mechanics: Collected papers. Voronezh: Nauchno-issledovatel'skie publikacii. 2020, pp. 1050–1055. (in Russ.)
29. **Pyankov O. V.** Mathematical modeling of information-analytical systems of internal affairs bodies. Voronezh: Voronezhskij institut MVD Rossii, 2013. 132 p. (in Russ.)

30. **Borisov V. V., Bychkov I. A., Dement'ev A. V., Solov'ev A. P., Fedulov A. S.** Computer support for complex organizational and technical systems. M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2002. 154 p. (in Russ.)
31. **Ananev A. V., Ivannikov K. S.** Risk-model for communication networks operation stability assessment. *Journal of Physics: Conference Series: Current Problems. Voronezh, 07–09 December 2020*, 2021, P. 012028.
32. **Thurley K., Wu L. F., Altschuler S. J.** Modeling Cell-to-Cell Communication Networks. Using Response-Time Distributions. *Cell Systems*, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 355–367.
33. **Leung K. K., Massey W. A., Whitt W.** Traffic models for wireless communication networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1994., vol. 12, no. 8, pp. 1353–1364.
34. Paessler official web site [Online]. URL: www.paessler.com/ru/prtg (accessed on: 10.07.2022). (in Russ.)
35. **Borovikov V.** Statistica. The Art of Computer Data Analysis: For Professionals. 2nd ed. SPb.: Piter. 2003. 688 p. (in Russ.)

Информация об авторах

Алексей Вячеславович Попов, адъюнкт

Олег Викторович Пьянков, доктор технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры

Information about the Authors

Aleksey V. Popov, post-graduate, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

Oleg V. Pyankov, Doctor of Engineering, Associate Professor, Deputy Chief of Department, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

*Статья поступила в редакцию 09.12.2022;
одобрена после рецензирования 26.01.2023; принята к публикации 26.01.2023*

*The article was submitted 09.12.2022;
approved after reviewing 26.01.2023; accepted for publication 26.01.2023*