

УДК: 623. 61

DOI: 10.53816/23061456_2022_9–10_88

**МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТЬЮ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

**THE METHOD OF INCREASING THE STABILITY OF THE FUNCTIONING
OF A SPECIAL PURPOSE INFOCOMMUNICATION NETWORK MANAGEMENT
SYSTEM UNDER THE INFLUENCE OF DESTABILIZING FACTORS**

Д-р техн. наук С.М. Одоевский, канд. техн. наук П.В. Лебедев

D.Sc. S.M. Odoevskiy, Ph.D. P.V. Lebedev

Военная академия связи им. С.М. Буденного

Данная статья посвящена вопросу разработки предложений по повышению устойчивого функционирования системы технологического управления инфокоммуникационной сети специального назначения на основе оптимизации времени активной работы станций системы технологического управления, которые могут обеспечивать как централизованное управление, так и децентрализованное — за счет использования накопительных станций управления.

Основное внимание в статье уделяется описанию предлагаемого способа по определению состава, размещения и времени активной работы станций системы технологического управления с учетом функциональных зависимостей от показателей структурной и функциональной устойчивости инфокоммуникационной сети специального назначения и системы технологического управления данной сетью с учетом воздействия дестабилизирующих факторов со стороны противника, что позволит смоделировать различные ситуационные задачи, максимально приближенные к боевым, в том числе и террористическим.

Ключевые слова: устойчивость, система технологического управления, дестабилизирующие факторы, связность сети.

This article is devoted to the issue of developing proposals to improve the sustainable functioning of the technological control system of a special-purpose infocommunication network based on optimizing the time of active operation of the stations of the technological control system, which can provide both centralized management and decentralized — through the use of accumulative control stations.

The article focuses on the description of the proposed method for determining the composition, location and time of active operation of technological control system stations, taking into account functional dependencies on the indicators of structural and functional stability of a special-purpose infocommunication network and the technological control system of this network, taking into account the impact of destabilizing factors from the enemy, which will allow modeling various situational tasks as close as possible to combat, including terrorist ones.

Keywords: stability, technological control system, electronic warfare, network connectivity.

Введение

Современные военные конфликты характеризуются такими особенностями, как комплексное применение военной силы, массированное применение систем вооружения и военной техники, высокоточного гиперзвукового оружия, средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), оружия на новых физических принципах; избирательность и высокая степень поражения объектов, быстрота маневра войсками (силами) и огнем и др. [1]. Более того, существуют и угрозы безопасности информации [2] при её обработке в открытом сегменте инфокоммуникационной сети специального назначения (ИКС СН), которые также влияют на интенсивность трафика и пропускную способность сети. Эти угрозы в первую очередь обусловлены преднамеренными действиями зарубежных спецслужб или организаций (в том числе террористических), действиями физических лиц, а также криминальных группировок, создающих условия (предпосылки) для нарушения безопасности информации, которые ведут к нанесению ущерба объектам информационной сферы Вооружённых сил РФ.

В связи с этим для ИКС СН особенное значение приобретает свойство ее устойчивости в условиях воздействия различного рода дестабилизирующих факторов (ДФ). Устойчивое функционирование ИКС СН призвана обеспечивать её система управления (СУ), которая традиционно делится на три иерархически взаимосвязанные подсистемы: систему организационного управления (СОУ), систему оперативно-технического управления (СОТУ) и систему технологического управления (СТУ) [3]. При этом от устойчивости последней (нижней) подсистемы — СТУ, реализующей функции дистанционного контроля по каналу наблюдения (КН) и изменения технического состояния сетевых элементов, с помощью канала управления (КУ), в первую очередь зави-

сит наблюдаемость и управляемость ИКС СН со стороны верхних подсистем СОТУ и СОУ, а следовательно, и устойчивость функционирования данной сети в целом.

На рис. 1 представлена обобщенная модель взаимодействия СТУ как части системы принятия решения на управление (СПРУ) и ИКС СН, которая функционирует в условиях воздействия ДФ как части системы принятия решения на подавление (СПРП) [4, 5], реализуемое по каналу подавления (КП), на основе данных, полученных по каналу разведки (КР).

Анализ особенностей функционирования СТУ ИКС СН [6] показал, что существующая СТУ в целом позволяет обеспечить управление ИКС СН верхними уровнями СУ. Однако топологическая и функциональная структура СТУ в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов не регламентирована. Поэтому вопрос оптимизации её структуры в указанных условиях остается открытым.

Для количественной оценки устойчивости СТУ и её влияния на устойчивость функционирования ИКС СН в условиях воздействия дестабилизирующих факторов с учетом заданных параметров построения СТУ необходима соответствующая методика, на основе которой и проводится оптимизация структуры СТУ в настоящей статье. В качестве таковой выбрана методика, описанная в [7], позволяющая оценить частные и обобщенные показатели устойчивости функционирования СТУ ИКС СН с заданной топологической и функциональной структурой с учетом использования общих сетевых ресурсов.

В используемой методике [7] в качестве обобщенного показателя устойчивости функционирования СТУ использовалась особая свертка частных показателей структурной и функциональной устойчивости отдельных технологических и информационных направлений

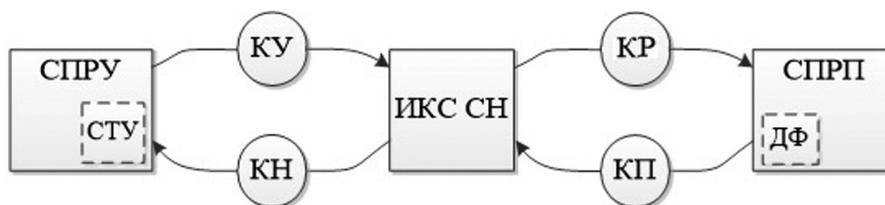


Рис. 1. Обобщенная модель функционирования СТУ ИКС СН в условиях воздействия ДФ

связи, рассчитанных с учетом их относительной важности, влияющей на распределение сетевых ресурсов.

Оптимизация топологической структуры СТУ ИКС СН

В [5, 8] доказано, что от структуры СТУ, представляющей собой состав и варианты размещения станций СТУ, а также их связность и динамику активной работы, зависит обобщенный показатель устойчивости ($Q_{\text{СТУ ИКС СН}}$). На рис. 2 представлен алгоритм оптимизации структуры СТУ ИКС СН.

С целью оптимизации СТУ ИКС СН для разветвленной сети связи с учетом разработанного и описанного в [7] алгоритма в качестве исходных данных была выбрана часть ИКС СН, граф топологической структуры которой $G(X, E)$,

с учетом параметров СТУ (m), изображен на рис. 3, где X_k — узел связи ИКС СН, $k = 1, \dots, K$, где K — количество узлов связи, причем X_1 является центральной станцией управления (ЦСУ), а остальные узлы связи — оконечными станциями управления (ОСУ); X_n — канал связи ИКС СН $n = K + 1, \dots, N$, где N — общее количество сетевых элементов.

Для графа $G(X, E)$ в качестве исходных данных задаются ряд матриц описанных в [7, 8] (матрица смежности \mathbf{G}_e , матрица пропускной способности сетевых элементов \mathbf{G}_c , матрица коэффициентов готовности \mathbf{G}_p , матрица весовых коэффициентов \mathbf{V}_m , матрица нумерации сетевых элементов \mathbf{G}_N , матрицы приоритетов технологических и информационных потоков \mathbf{R}_T и \mathbf{R}_I , матрицы информационных потоков, создаваемых СТУ и пользователями ИКС СН $\mathbf{G}_T\lambda$ и $\mathbf{G}_I\lambda$).

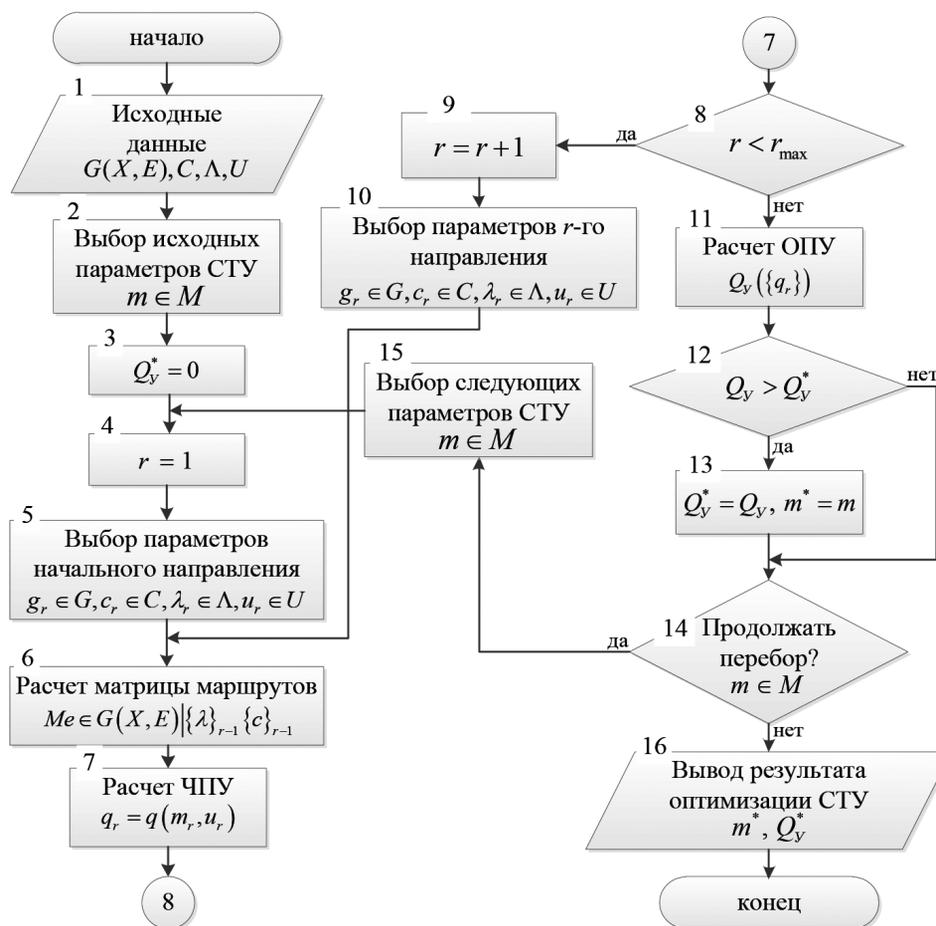


Рис. 2. Алгоритм оптимизации структуры СТУ ИКС СН на основе расчета обобщенного показателя функциональной и структурной устойчивости

Так для формирования матрицы **Gc**, определим, что все ребра ИКС СН (рис. 3) имеют одинаковую пропускную способность $10E0$, а все вершины имеют пропускную способность $20E0$ (с запасом для транзита и внутреннего трафика). Для формирования матрицы **Gp**, определим, что все вершины имеют одинаковые коэффициенты готовности $0,999$ за исключением первой, выполняющей функции ЦСУ, которая считается идеальной ($K_r = 1$), а ребра имеют другие (но тоже одинаковые) коэффициенты $0,9$. Для формирования матриц **GTλ** и **GIλ**, определим, что в СТУ между ЦСУ и подчиненными в обе стороны требуется обеспечить технологический поток величиной $1E0$. В ИКС СН для примера зададим величину отдельных информационных потоков $4E0$ между всеми КПУ. Для формирования матриц **RT** и **RI**, определим, что наивысший первый приоритет имеет технологический поток между ЦСУ и ОСУ. А всем информационным потокам назначим одинаковый второй приоритет.

Для получения итоговых результатов (частных и обобщенных показателей устойчивости) на первом этапе согласно предложенному варианту учета разных приоритетов КПУ, матрицы **RT** и **RI** преобразуются в матрицы очередности перебора **RTS** и **RIS** в порядке убывания важности технологических и информационных направлений, где KI и KT — количество технологических и информационных потоков, соответственно.

Далее для формирования матрицы сетевых элементов **Me**, входящих в разные маршруты, между каждой КПУ, ИКС СН в соответствии с [7] проводится ряд преобразований:

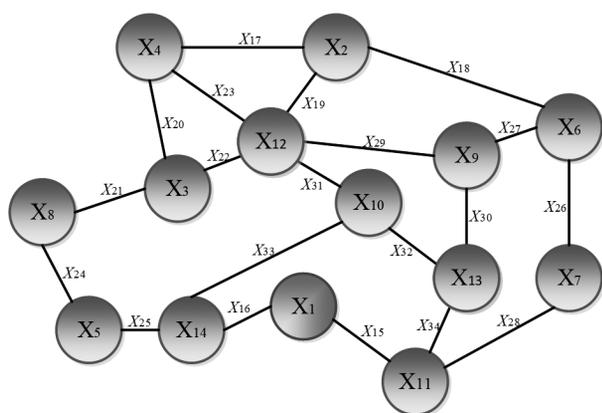


Рис. 3. Графическое представление ИКС СН $G(X, E)$

– матрица смежности **Ge** преобразуется в матрицу соседства **Gs**, с учетом предварительно пересчета сетевых элементов ИКС СН;

– матрица пропускных способностей **Gc**, матрица живучести **Gp** и матрица весовых коэффициентов **Vm** пересчитываются в вектора cN , pN и vN соответственно.

С учетом сформированных маршрутов КПУ, в матрице **Me** рассчитывается частный показатель структурной устойчивости p_r . Далее, согласно матрицам очередности **RTS** и **RIS**, цикл расчета повторяется для каждого КПУ.

На основе данных расчетов выводятся обобщенные показатели устойчивости $Q_{СТУ} = 0,5633$ и $Q_{ИКС} = 0,9038$. Тогда обобщенный показатель устойчивости СТУ ИКС СН будет $Q_{СТУ ИКС} = 0,5633 \times 0,9038 = 0,5091$. Однако более точный расчет будет с пересчетом коэффициентов готовности всех сетевых элементов с учетом рассчитанной устойчивости их связей с ЦСУ. Тогда обобщенный показатель устойчивости при верхней граничной оценке будет $Q_{СТУ ИКС} = 0,2107$ и $Q_{СТУ ИКС} = 0,1207$ — при нижней.

Для сравнения рассмотрим другую структуру СТУ (рис. 4) m , в граф топологической структуры $G(X, E)$ которой включены накопительные станции управления (НСУ) — X_{12}, X_{13} . НСУ собирают данные о производительности и доступности ОСУ от имени ЦСУ. Все собранные данные заносятся в буфер на локальном уровне и передаются ЦСУ, к которой принадлежит НСУ.

Отличительной особенностью исходных данных для данного графа (рис. 4) по сравнению с предыдущим (рис. 3) будут сформированные матрицы **RT** и **RI**, для которых определим,

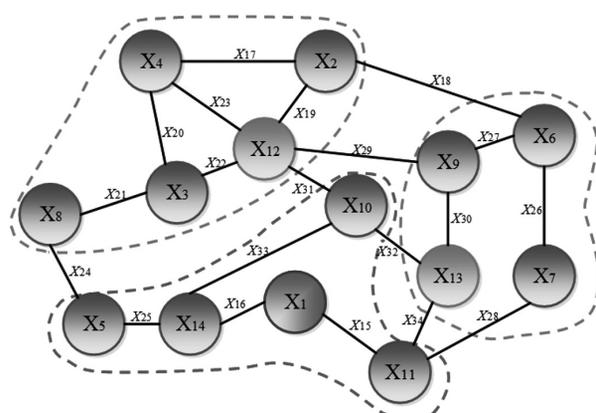


Рис. 4. Графическое представление ИКС СН $G(X, E)$

что наивысший первый приоритет имеет технологический поток между ЦСУ X_1 и НСУ X_{12} и X_{13} . Технологические потоки между остальными объектами СТУ ЦСУ–ОСУ и НСУ–ОСУ пусть имеют второй приоритет. А всем информационным потокам назначим одинаковый третий приоритет.

На основе описанного алгоритма расчета получены следующие показатели устойчивости: $Q_{СТУ} = 0,8534$ и $Q_{ИКС} = 0,9038$. Тогда обобщенный показатель устойчивости СТУ ИКС СН будет $Q_{СТУ ИКС} = 0,8534 \times 0,9038 = 0,7713$, а обобщенные показатели устойчивости с пересчетом коэффициентов готовности всех сетевых элементов с учетом рассчитанной устойчивости их связей с НСУ и ЦСУ при верхней и нижней граничной оценках будут $Q_{СТУ ИКС} = 0,7317$ и $Q_{СТУ ИКС} = 0,6633$ соответственно.

Сравнив полученные результаты можно сделать вывод, что обобщенный показатель функциональной и структурной устойчивости автономной СТУ увеличился с $Q_{СТУ} = 0,5633$ до $Q_{СТУ} = 0,8534$, обобщенный показатель устойчивости ИКС СН без учета работы СТУ остался неизменным $Q_{ИКС} = 0,9038$, обобщенный показатель устойчивости с пересчетом коэффициентов готовности всех сетевых элементов с учетом рассчитанной устойчивости их связей с НСУ и ЦСУ ($Q_{СТУ ИКС}$) при верхней граничной оценке увеличился на 0,521 и на 0,5426 — при нижней. Отсюда следует, что очевидным способом повышения устойчивости ИКС СН в данном случае является выбор оптимального состава её СТУ (m).

Результаты расчета обобщенного показателя устойчивости СТУ ИКС СН при различ-

ном количестве НСУ в составе СТУ (m) при $cN = 30E0$, $\lambda_{r_{СТУ}} = 1E0$, $\lambda_{r_{ИКС}} = 2E0$ и $cN = 24E0$, $\lambda_{r_{СТУ}} = 2E0$, $\lambda_{r_{ИКС}} = 10E0$ представлены на рис. 5, а и 5, б соответственно в виде графиков, где линия 1 — обобщенный показатель устойчивости ИКС СН без учета работы СТУ ($Q_{ИКС} = \text{const}$), 2 — обобщенный показатель устойчивости автономной СТУ, 3 — обобщенный показатель устойчивости с взаимным учетом работы СТУ и ИКС СН, 4 — обобщенный показатель устойчивости ИКС СН с пересчетом коэффициентов готовности всех сетевых элементов с учетом рассчитанной устойчивости их связей с НСУ и ЦСУ при верхней граничной оценке и 5 — при нижней.

Стоит заметить, что при учете СТУ устойчивость ИКС СН ухудшается. Задачей оптимизации здесь является минимизация данного проигрыша.

Как видно на рис. 5, а, в первом варианте исходных данных обобщенный показатель устойчивости по нижней оценке при отсутствии НСУ ($m = 0$) принимает достаточно низкое значение, который растет с увеличением количества НСУ до $Q_{СТУ ИКС} = 0,7019$ при $m = 3$, после уменьшается, резко падая при НСУ → ОСУ ($m = 5$). Аналогично на рис. 5, б, во втором варианте исходных данных наименьший обобщенный показатель устойчивости по нижней оценке будет $Q_{СТУ ИКС} = 0,0054$ при отсутствии НСУ ($m = 0$), который растет с ростом количества НСУ до $Q_{СТУ ИКС} = 0,319$ при $m = 3$, после чего постепенно уменьшается. Следовательно, для исследуемого графа СТУ ИКС СН найден оптимум состава СТУ — $m = 3$.

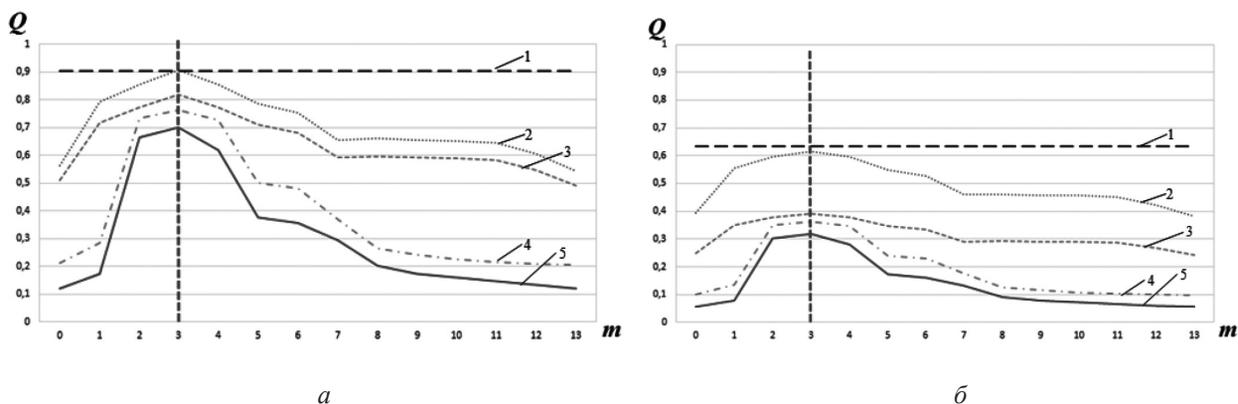


Рис. 5. График зависимости оптимального количества НСУ в СТУ ИКС СН: а — $cN = 30E0$, $\lambda_{r_{СТУ}} = 1E0$, $\lambda_{r_{ИКС}} = 2E0$; б — $cN = 24E0$, $\lambda_{r_{СТУ}} = 2E0$, $\lambda_{r_{ИКС}} = 10E0$

Оптимизация функциональной структуры СТУ ИКС СН

Приведенные результаты оценки обобщенного показателя функциональной и структурной устойчивости СТУ ИКС СН получены для случая довольно высокой готовности узлов связи (ЦСУ, НСУ и ОСУ) с коэффициентом готовности $K_r = 0,99$. Однако в условиях воздействия ДФ с временем реакции СПРП, соизмеримым с длительностью функционирования СТУ ИКС СН в одном районе, рассчитывать на такое высокое значение коэффициента готовности нельзя.

На рис. 6 приведены рассчитанные зависимости обобщенного показателя функциональной и структурной устойчивости СТУ ИКС СН с 3-мя НСУ от относительной интенсивности воздействия ДФ (т.е. при $\mu = 1$ среднее время реакции СПРП равно длительности T_ϕ функционирования СТУ ИКС СН в одном районе).

Зависимость на рис. 6, а соответствует экспоненциальному распределению времени реакции СПРП, а на рис. 6, б — распределению Эрланга.

Как видно на рис. 6, при интенсивности воздействия ДФ $\mu = 1$, что соответствует, как отмечено, среднему времени реакции СПРП, равному длительности функционирования СТУ ИКС СН в заданном районе, обобщенный показатель устойчивости оказывается меньше 0,1 (при обеих функциях распределения), а при удвоенной интенсивности $\mu = 2$, он имеет значение, близкое к нулю.

Как показано в [8], периодическое выключение НСУ позволяет повысить их устойчивость (коэффициент готовности), но лишь при определенном соотношении длительностей активной

работы в зависимости от распределения времени реакции СПРП противника.

На рис. 7–9 приведены рассчитанные графики зависимости обобщенного показателя устойчивости от количества возможных переключений i при заданном количестве активных НСУ.

Для удобства анализа больших и малых значений рассчитанного обобщенного показателя на рис. 7–9 приведены два варианта графиков, отличающихся масштабом вертикальной оси (слева — линейный масштаб, справа — логарифмический масштаб).

Результаты расчетов, приведенные на рис. 7–9, получены для случая распределения Эрланга. При этом сплошными линиями показаны зависимости, полученные при меньшей относительной интенсивности воздействия ДФ $\mu = 1$, а пунктирные — при большей $\mu = 2$.

Как видно на графиках на рис. 7–9, при разной интенсивности воздействия противника наилучшими являются разные соотношения времени отключения и времени активной работы НСУ. Так, при малой интенсивности ($\mu = 1$ — непрерывные линии) наибольшей устойчивости СТУ ИКС СН ($Q_{\text{СТУ ИКС}} = 0,943$) можно достичь при 2-х активных НСУ с 2-мя возможными вариантами переключений, а при большей интенсивности ($\mu = 2$ — пунктирные линии) наилучший результат ($Q_{\text{СТУ ИКС}} = 0,118$) достигается при 4-х возможных переключениях.

Стоит заметить, что при отсутствии воздействия ДФ оптимальным составом СТУ будут 3 НСУ, в то время как при воздействии противника с учетом возможности переключения оптимальным будет 2 НСУ.

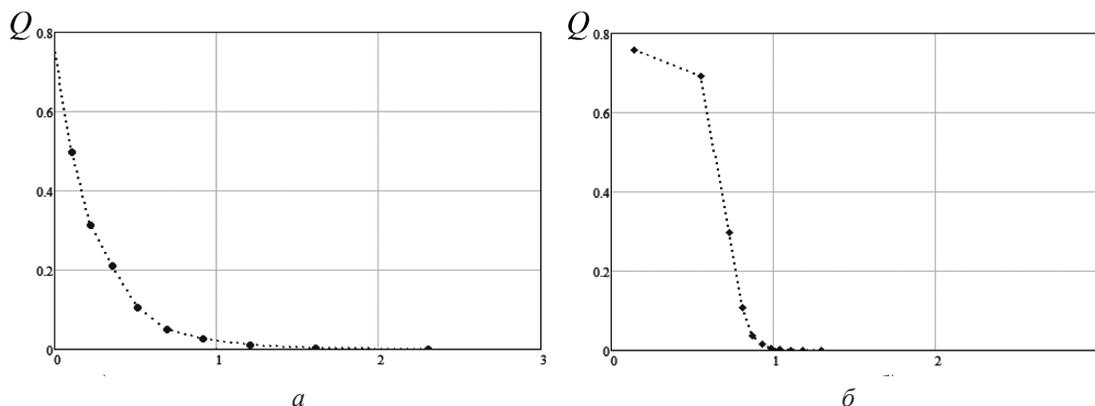


Рис. 6. Зависимости обобщенного показателя функциональной и структурной устойчивости СТУ ИКС СН с 3-мя НСУ от относительной интенсивности воздействия противника

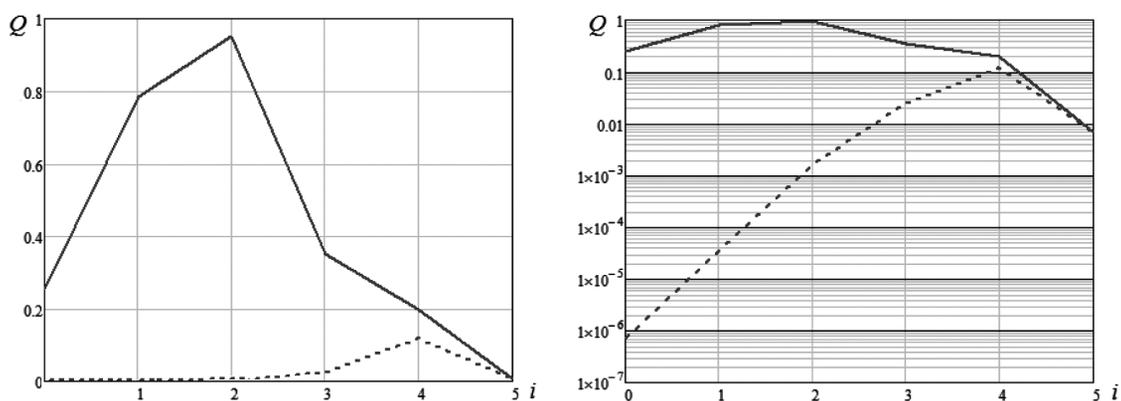


Рис. 7. Зависимости обобщенного показателя устойчивости от количества возможных переключений i при двух активных НСУ

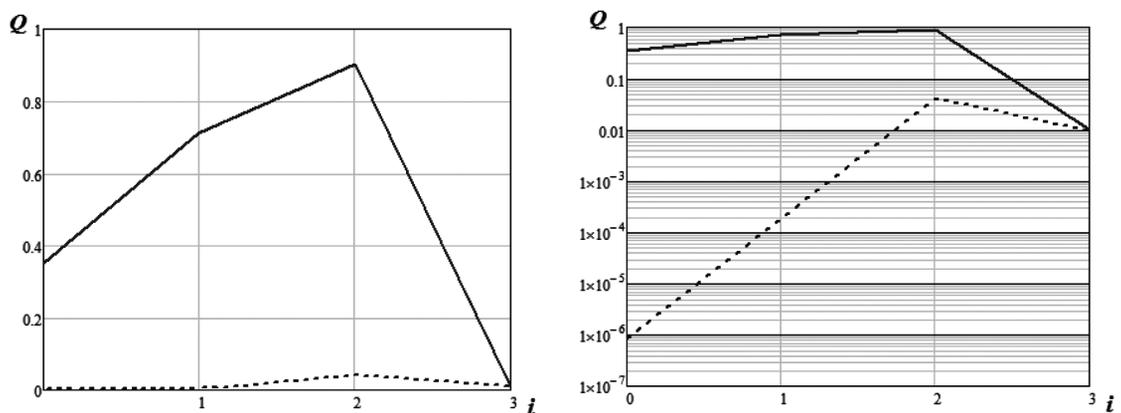


Рис. 8. Зависимости обобщенного показателя устойчивости от количества возможных переключений i при трех активных НСУ

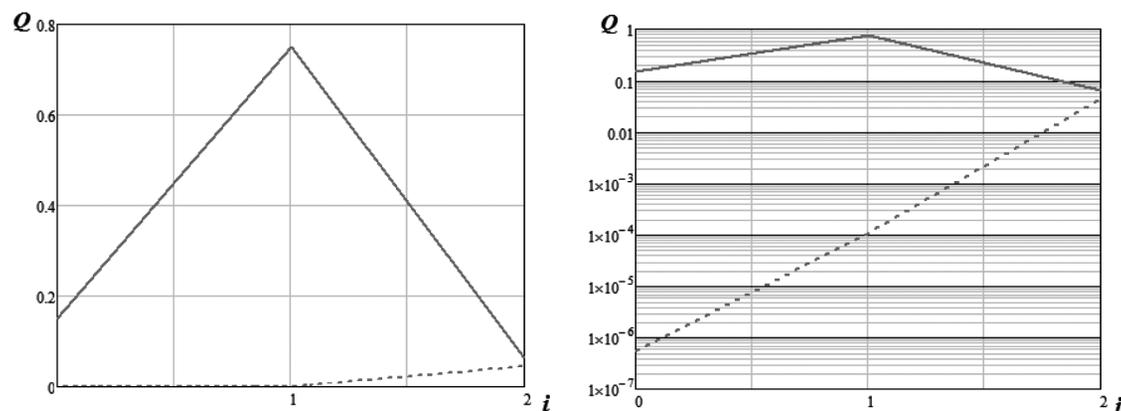


Рис. 9. Зависимости обобщенного показателя устойчивости от количества возможных переключений i при четырёх активных НСУ

Заклучение

Предложенный способ позволяет обеспечить максимальную структурную и функцио-

нальную устойчивость СТУ ИКС СН с учетом различных вариантов построения и динамики работы как самой СТУ, так и управляемой ИКС СН в заданных условиях функционирования,

а учет изменения параметров СПРП со стороны противника позволит смоделировать различные ситуационные задачи, максимально приближенные к боевым, в том числе и террористическим.

Литература

1. Военная доктрина Российской Федерации. — М.: 2010. 57 с.
2. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации. — М.: 2000. 20 с.
3. Арсланов Х.А., Башкирцев А.С., Лихачев А.М. Автоматизированная система управления связью Вооруженных сил Российской Федерации и приоритетные направления ее развития // Связь в Вооружённых силах Российской Федерации—2016: Тематический сборник. — М.: ООО «Компания «Информационный мост». 2016. С. 17–20.
4. Бусыгин А.В., Григорчук А.Н., Кочешков А.К. и др. Варианты постановок задач анализа и синтеза инфокоммуникационных сетей специального назначения, функционирующих в условиях неопределенности и конфликта // Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал. Т. 1. филиал ФГУП ЦНИИС — ЛО ЦНИИС, 2018. С. 134–146.
5. Одоевский С.М., Калюка В.И. Адаптивно-игровое моделирование военных сетей беспроводного абонентского доступа. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 240 с.
6. Трофимов А.Ю. Анализ современных технологий построения систем управления мультисервисными сетями связи // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей IX международной научной конференции. — Волгоград: ООО «Конверт», 2021. С. 79–81.
7. Одоевский С.М., Лебедев П.В. Методика оценки устойчивости функционирования системы технологического управления инфокоммуникационной сетью специального назначения с заданной топологической и функциональной структурой // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 1. С. 152–189.
8. Лебедев П.В., Багрецов С.А., Иванов Д.А. и др. Модель функционирования системы технологического управления инфокоммуникационной сетью специального назначения в усло-

виях воздействия дестабилизирующих факторов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 2. С. 324–334.

References

1. Military doctrine of the Russian Federation, — Moscow: 2010. 57 p.
2. The Doctrine of information security of the Russian Federation. — M.: 2000. 20 p.
3. Arslanov H.A., Bashkirtsev A.S., Likhachev A.M. Automated communication control system of the Armed Forces of the Russian Federation and priority directions of its development // communication in the Armed Forces of the Russian Federation 2016: Thematic collection . — M.: ООО «Company «Information Bridge». 2016. Pp. 17–20
4. Busygin A.V., Grigorchuk A.N., Kocheshkov A.K. et al. Variants of problem statements for analysis and synthesis of special-purpose infocommunication networks operating under conditions of uncertainty and conflict // Proceedings of the Central Research Institute. St. Petersburg branch. Vol. 1. branch of FGUP TsNIIS-LO TsNIIS, 2018. Pp. 134–146.
5. Odoevskiy S.M., Kalyuka V.I. Adaptive game modeling of military networks of wireless subscriber access. — SPb. Publishing house of Polytechnic University, 2017. 240 p.
6. Trofimov A. Yu. Analysis of modern technologies for building control systems for multiservice communication networks // Innovative technologies, economics and management in industry: collection of scientific articles of the IX International Scientific Conference — Volgograd: LLC «Envelope». 2021. Pp. 79–81.
7. Odoevskiy S.M., Lebedev P.V. Methodology for assessing the stability of the functioning of the system of technological management of a special-purpose infocommunication network with a given topological and functional structure // Control systems, communications and security. 2021. No. 1. Pp. 152–189.
8. Lebedev P.V., Bagretsov S.A., Ivanov D.A. et al. Model of functioning of the system of technological management of a special-purpose infocommunication network under the influence of destabilizing factors // Izvestiya TUSU. Technical sciences. 2021. Issue 2. Pp. 324–334.