

УДК 623.618.2

А.И. Моисеев, В.В. Кальников

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**Моисеев Александр Иванович**, кандидат технических наук, окончил трансферный факультет Ульяновского государственного университета. Ведущий инженер ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования систем управления специального назначения. Имеет публикации, изобретения и зарегистрированные программные комплексы в сфере исследования и построения распределенных систем управления специального назначения. [e-mail: mars@mv.ru].

**Кальников Владимир Викторович**, кандидат технических наук, доцент, окончил радиоинженерный факультет Киевского высшего военного инженерного училища связи им. М.И. Калинина. Главный специалист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования систем управления специального назначения, построения систем связи и обмена данными. Имеет статьи, учебные пособия, изобретения в области проектирования распределенных систем управления специального назначения, систем связи и обмена данными. [e-mail: mars@mv.ru].

### Аннотация

В статье рассмотрен вопрос оценки текущего состояния распределенных систем управления, для которых получены аналитические модели для показателей скрытности, информированности и устойчивости. При оценке скрытности управления учтены продолжительность излучения сигнала демаскирующего признака и его амплитуда. Информированность операционных пунктов при управлении боевыми средствами предложено вычислять с применением энтропийного подхода. В полученное математическое выражение информированности включены параметры требуемой точности наблюдения, ошибки наблюдения, дальность обнаружения объектов, период обновления информации. Разработаны статический и динамический варианты данной характеристики распределенной системы управления. Анализ устойчивости управления предложено проводить, оценивая живучесть, надежность и помехозащищенность операционных пунктов. Частными показателями живучести управления выбраны среднее количество путей передачи данных, удельная пропускная способность и равномерность ее распределения, средняя нагруженность операционных пунктов и равномерность ее распределения. Для оценки надежности системы предложен рекуррентный алгоритм преобразования и анализа соответствующего графа. Помехозащищенность управления представлена как производная величина от вероятности появления помехи и вероятности сохранения работоспособности операционного пункта в ней.

Ключевые слова: состояние, распределенные системы управления, боевая готовность, скрытность, информированность, устойчивость, оценка.

## ANALYSIS OF THE STATE OF A DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

**Aleksandr Ivanovich Moiseev**, Candidate of Engineering, graduated from the Dual Degree Faculty at Ulyanovsk State University; a lead programmer at FRPC OJSC 'RPA 'Mars'; is majoring in the field of design of special-purpose control systems; an author of papers, inventions and registered software systems in the field of research and building of special-purpose distributed control systems. e-mail: mars@mv.ru.

**Vladimir Viktorovich Kalnikov**, Candidate of Engineering, Associate Professor, graduated from the Radio-Engineering Faculty at Kiev Higher Military School of Communications named after M.I. Kalinin, finished his post-graduate studies of the same School; chief specialist; his major is the design of special-purpose control systems; author of papers, manuals and inventions in the field of design of special-purpose distributed control systems, communications and data-exchange systems. e-mail: mars@mv.ru.

### Abstract

The article examines an issue about how to estimate the current state of distributed control systems with the analytical models obtained as for indices of secrecy, information awareness and stability. When estimating the secrecy of control, the emission time and the amplitude of the signal of a give-away sign are taken into account. It is suggested to calculate the information awareness of operations posts with the weapons under their control using the entropic approach. The obtained results of the mathematical expression have the parameters for the required observation accuracy, errors, acquisition range,

and the information update rate included. We have developed statistical and dynamic variants for such a characteristic of a distributed control system. It is suggested to analyze the control stability along with the estimation of survivability, reliability and noise-resistance of operations posts. The average number of data transmission paths, bandwidth ratio and its assignment evenness, the operations posts' average load and its assignment evenness are chosen as the private parameters for the control survivability. A recurrent algorithm for the appropriate graph conversion and analysis is suggested to estimate the system reliability. The control noise-resistance is represented as a quantity derivative of the noise probability and the probability of an operation post to keep its performance ability.

Key words: state, distributed control systems, combat readiness, secrecy, information awareness, stability, estimation

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из способов повышения качественных характеристик ВС РФ является соответствующая модернизация системы их управления. Традиционным на сегодняшний день является применение принципов централизации при проектировании автоматизированных систем управления ВС РФ (АСУ ВС РФ). Логичным следствием такого подхода является иерархическая топология данных систем [1–3].

Возможным вариантом развития и совершенствования АСУ ВС РФ может быть ее перевод на распределенную архитектуру. Результатом такой модернизации будет создание распределенной системы управления (PCY) [4, 5]. Реализация PCY подразумевает уход от наличия централизованного органа управления к распределенной сети равноправных операционных пунктов (ОП). При этом не является обязательным полное исключение иерархических связей АСУ ВС РФ и ее постоянное функционирование в распределенном режиме. Напротив, представляется целесообразным объединение преимуществ иерархического и распределенного режимов функционирования. При этом штатным режимом будет являться существующая иерархическая структура. А в периоды деградации основного режима или в случае необходимости наращивания ее потенциала целесообразно включение режима PCY.

Предложенный порядок использования режимов функционирования подразумевает постоянный мониторинг боевой готовности распределенной составляющей АСУ ВС РФ с целью ее гарантированного включения в критических ситуациях. При этом, учитывая требования, предъявляемые к системам управления, и особенности их функционирования, при анализе состояния PCY целесообразным является оценка характеристик устойчивости, скрытности и информированности.

Учитывая вышесказанное, а именно необходимость обеспечения постоянной готовности PCY, тема, рассматриваемая в данной работе, представляется актуальной.

## 1 Анализ скрытности PCY

Под скрытностью PCY будем понимать результат проведения комплекса мер по противодействию средствам технической разведки ожидаемого противника (и/или любой другой антагонистической стороной).

Техническая разведка (радиотехническая, радиолокационная, оптоэлектронная и др.) направлена на выявление и идентификацию демаскирующих признаков (ДП)

PCY. Тогда скрытность PCY целесообразно оценивать как совокупную информативность ДП.

На вероятность обнаружения ДП и соответственно скрытность PCY оказывают влияние следующие факторы:

- 1) продолжительность поступления (излучения) сигнала ДП;
- 2) амплитуда (яркость) излучаемого (отраженного) сигнала ДП.

Учитывая влияние выявленных факторов на скрытность PCY, информативность  $i$ -го ДП целесообразно оценивать по следующей формуле:

$$S_i = \sum_{i=1}^n \frac{(Q_i - Q_0)T_i}{T_0 Q_i} \log_2 \frac{(Q_i - Q_0)T_i}{T_0 Q_i} \mid Q_i \geq Q_0,$$

где  $n$  – количество превышений амплитуды ДП фонового значения;

$Q_i$  – амплитуда излучаемого сигнала при превышении фонового значения;

$Q_0$  – амплитуда излучения фона;

$T_i$  – продолжительность превышения амплитуды излучаемого сигнала фонового значения;

$T_0$  – продолжительность анализа ДП.

Суммируя значения информативности ДП по всем видам разведки, получим сводное значение показателя скрытности  $S$ .

## 2 Анализ информированности PCY

Функционирование PCY подразумевает близкое к автоматическому управление боевыми средствами (БС) через развернутую сеть ОП. С этой целью ОП вынуждены непрерывно оценивать складывающуюся обстановку, формировать и выдавать необходимые управляющие сообщения. В то же время необходимо понимать, что в редком случае ОП будут обладать всей полнотой информации. Вследствие этого управление БС будет вестись в условиях неопределенности. Такая ситуация обуславливает необходимость оценки неопределенности данных обстановки, имеющихся как на отдельных ОП, так и в PCY в целом. В рамках данной статьи под данными обстановки будем понимать объекто-координатную информацию по объектам вероятного противника.

Количественной характеристикой неопределенности является энтропия. Факторы, влияющие на энтропию, – технические характеристики средств наблюдения PCY и тактическое поведение объектов вероятного противника.

В результате получения информации от БС энтропия наблюдаемых объектов уменьшается. Кроме того, с течением времени в ходе обмена информацией между ОП неопределенность также уменьшается. Если же вероятный противник применяет средства маскировки, то энтропия увеличивается.

Применим энтропийный подход к анализу информированности РСУ [6].

Под наблюдаемым пространством будем понимать физическую систему, характеризующуюся координатами наблюдаемых объектов:

$$(x, y, z) \in \Omega | \{x < x_0, y < y_0, z < z_0\}.$$

В силу наличия требований к точности определения координат распределение возможного нахождения объектов будет иметь дискретный вид. Общий объем информации об обстановке вычислим по формуле:

$$\Omega_0 = \frac{x_0 y_0 z_0}{\partial_x \partial_y \partial_z},$$

где  $\partial_x, \partial_y, \partial_z$  – требуемая точность наблюдения по координатам  $x, y, z$ . В соответствии с известной формулой [7], количество информации, имеющейся в среднем на одном ОП, вычислим по формуле:

$$I_0 = \frac{4/3 \pi D^3}{\sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \frac{(1 - p_f)}{T},$$

где  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – ошибка определения координат  $x, y, z$ ;

$D$  – дальность обнаружения объектов;

$p_f$  – вероятность ложного обнаружения;

$T$  – период обновления информации об обстановке.

Тогда с учетом полученных значений зоны действий РСУ с точки зрения информации об обстановке представим в виде схемы (рис. 1). На схеме использованы следующие обозначения: ОП1, ОП2, ОП3, ОП4, ОП5, ОП6, ОП7 – ОП РСУ;  $I_0^1, I_0^2, I_0^3, I_0^4, I_0^5, I_0^6, I_0^7$  – части общего объема информации об обстановке  $\Omega_0$ , представляющие объемы собственной информации, имеющиеся на соответствующих ОП, которые при этом на схеме соединены соответствующими каналами связи.

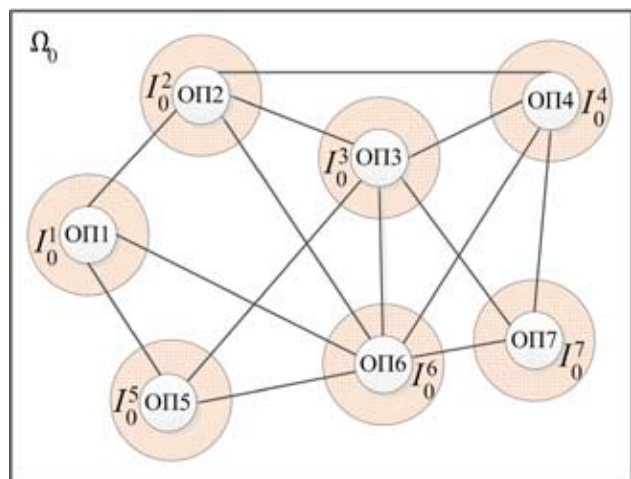


Рис. 1. Схема данных об обстановке

Пусть  $H$  – математическое ожидание количества объектов вероятного противника в области действия РСУ. Тогда с учетом введенных обозначений в начальный период времени неопределенность данных обстановки на ОП вычислим следующим образом:

$$Z_0 = \frac{I_0}{\Omega_0} \cdot H.$$

В ходе функционирования РСУ при получении данных по обстановке от других ОП количество информации, имеющееся на ОП, будет увеличиваться на величину

$$f \sim \alpha_0 \cdot M_0 \cdot t,$$

где  $\alpha_0$  – корректирующий коэффициент для одного ОП;

$M_0$  – совокупная пропускная способность одного ОП с взаимодействующими ОП;

$t$  – время функционирования РСУ.

Тогда с учетом дополнительно поступающей информации по обстановке от других ОП динамическая неопределенность данных обстановки на одном ОП равна

$$Z_0(t) = \frac{I_0 + \alpha_0 \cdot M_0 \cdot t}{\Omega_0} \cdot H.$$

Аналогичное значение в целом для РСУ вычислим по формуле:

$$Z(t) = \frac{\bigcup_i I_i + \alpha \cdot M \cdot t}{\Omega_0} \cdot H,$$

где  $\bigcup_i I_i$  – совокупный объем собственной информации на всех ОП;

$\alpha$  – корректирующий коэффициент для РСУ;

$M$  – суммарная пропускная способность каналов связи РСУ.

### 3 Анализ устойчивости РСУ

Решающее значение для обеспечения устойчивости [8] имеют живучесть, помехозащищенность и надежность элементов РСУ.

Для получения интегрированной оценки устойчивости РСУ определим ее частные показатели и проведем их скаляризацию. Для этого в зависимости от приоритета назначим каждому показателю весовой коэффициент  $\omega$ . После этого, производя аддитивную свертку, введем итоговую оценку устойчивости РСУ:

$$U = \frac{\omega_1 G + \omega_2 J + \omega_3 N}{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3}.$$

Проведем анализ живучести  $G$ , помехозащищенности  $J$  и надежности  $N$  РСУ, которые входят в понятие устойчивости.

#### 3.1 Анализ живучести РСУ

Живучестью [9] РСУ называется свойство системы полностью или частично компенсировать влияние вредных внутренних и внешних воздействий на качество своего функционирования. Она достигается рядом

организационно-технических мероприятий, обеспечивающих:

- резервирование элементов РСУ;
- организацию восстановления элементов РСУ;
- мобильность элементов РСУ, а также приспособление структуры и режимов функционирования к обстановке.

С учетом организационно-технических мероприятий, обеспечивающих живучесть РСУ, для количественной оценки живучести введем следующие частные показатели:

1) среднее количество путей передачи данных между соседними ОП:

$$G_{\text{нум}}^{\text{ОП}} = \frac{\sum n_i^{\text{нум-оп}}}{n_{\text{ОП}}},$$

где  $\sum n_i^{\text{нум-оп}}$  – количество путей передачи данных между ОП,

$n_{\text{ОП}}$  – количество ОП;

2) среднее количество путей передачи данных между ОП и подчиненными БС:

$$G_{\text{нум}}^{\text{БС}} = \frac{\sum n_i^{\text{нум-бс}}}{n_{\text{ОП}}},$$

где  $\sum n_i^{\text{нум-бс}}$  – количество путей передачи данных между ОП и БС;

3) удельная пропускная способность каналов связи на один элемент системы:

$$\bar{M} = \frac{M}{n_{\text{ОП}} + n_{\text{БС}}},$$

где  $n_{\text{БС}}$  – количество БС;

4) равномерность распределения пропускной способности по элементам системы:

$$\sigma_M = \sum_i |M_i - \bar{M}|,$$

где  $M_i$  – пропускная способность каналов связи  $i$ -го ОП;

5) коэффициент деградации системы – отношение количества работоспособных состояний ко всей совокупности состояний РСУ:

$$G_d = \frac{N_p}{N_0},$$

где  $N_p$  – количество работоспособных состояний ОП,

$N_0$  – общее количество состояний ОП.

ОП характеризуются постепенным изменением (ухудшением или приостановкой) функциональных процессов в случае воздействия негативных факторов. После повреждения РСУ повышается возможность ее дальнейшего функционирования (хоть и с худшими характеристиками);

6) средняя нагруженность ОП – соотношение количества БС к количеству ОП:

$$\bar{R} = \frac{n_{\text{БС}}}{n_{\text{ОП}}};$$

7) равномерность нагруженности ОП:

$$\sigma_{\bar{R}} = \sum_i |R_i - \bar{R}|,$$

где  $R_i$  – нагруженность  $i$ -го ОП.

Для получения итогового показателя живучести РСУ  $G$  проведем нормирование и просуммируем полученные их частные значения.

### 3.2 Анализ помехозащищенности РСУ

Помехозащищенность РСУ – способность функционировать с заданной эффективностью в условиях воздействия помех (внешней среды) на элементы РСУ. Она обеспечивается путем проведения мероприятий по электромагнитной совместимости средств управления, а также реализацией технических и программных способов защиты от помех.

Пусть внешние негативные воздействия (помехи), в которых может находиться РСУ, задаются векторной величиной  $A$ , меняющейся с течением времени. Элементы вектора  $A$  означают вероятность сохранения работоспособности РСУ в данных условиях. Кроме того, зададим вектор вероятностей нахождения РСУ в заданных внешних условиях  $P^A$ . Тогда помехозащищенность РСУ оценим следующим образом:

$$J = \sum_i \alpha_i \cdot p_i^A \left\{ \alpha_i \in A, p_i^A \in P^A \right\}.$$

### 3.3 Анализ надежности РСУ

Надежность РСУ – свойство технических средств РСУ сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять возложенные на них функции в заданных режимах и условиях применения. Она обеспечивается соответствующими техническими мероприятиями при создании РСУ [7].

РСУ представляет собой систему, имеющую сложную структуру и включающую большое количество составных частей. В связи с этим ее надежность целесообразно рассматривать на двух уровнях [10]:

1) надежность элементов РСУ  $N_e$ : на этом уровне оценивается вероятность выхода из строя отдельных ОП;

2) структурная надежность  $N_c$ , под которой понимается ее свойство обеспечивать обмен информацией с заданным качеством.

Поэлементная надежность РСУ является паспортной величиной, и ее анализ в интересах данной работы не проводится.

Структурную надежность РСУ будем оценивать с помощью вычисления вероятности связности РСУ. Целесообразность выбора такого показателя надежности обусловлена тем, что вероятность своевременной доставки сообщения в сети с отказами не может превышать вероятность связности, поскольку для успешной передачи необходимо, чтобы между корреспондирующей парой существовал хотя бы один путь.



Под вычислением вероятности связности РСУ будем понимать аналогичную операцию в отношении графа, составленного на основе РСУ. Примем заранее известными вероятности связности взаимодействующих ОП системы. С учетом введенных обозначений искомый показатель вычислим следующим образом. Предварительно преобразуем полученный граф. Заменим все последовательные и параллельные соединения в графе в соответствии с методом Шеннона-Мура [10] (рис. 2–4).

1) последовательное преобразование:

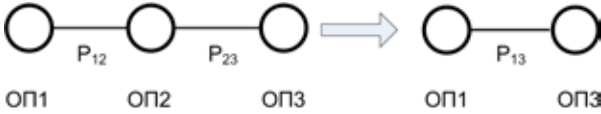


Рис. 2. Последовательное преобразование

В случае последовательного соединения вероятность прохождения информации по данному направлению будем определять как  $P_{13} = P_{12}P_{23}$ .

2) параллельное преобразование:



Рис. 3. Параллельное преобразование

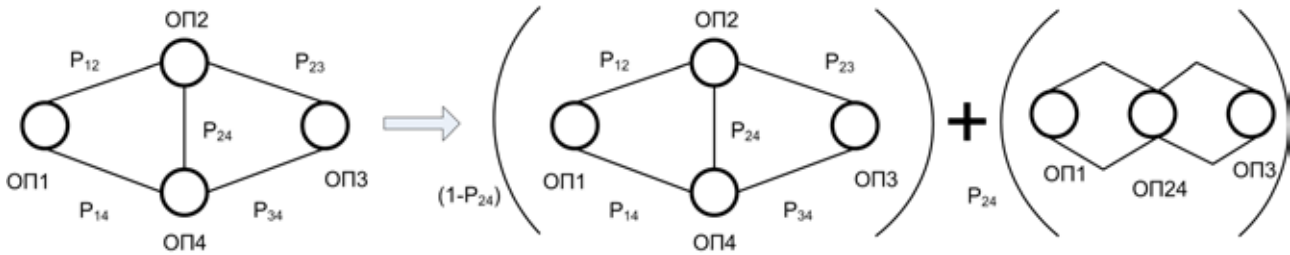
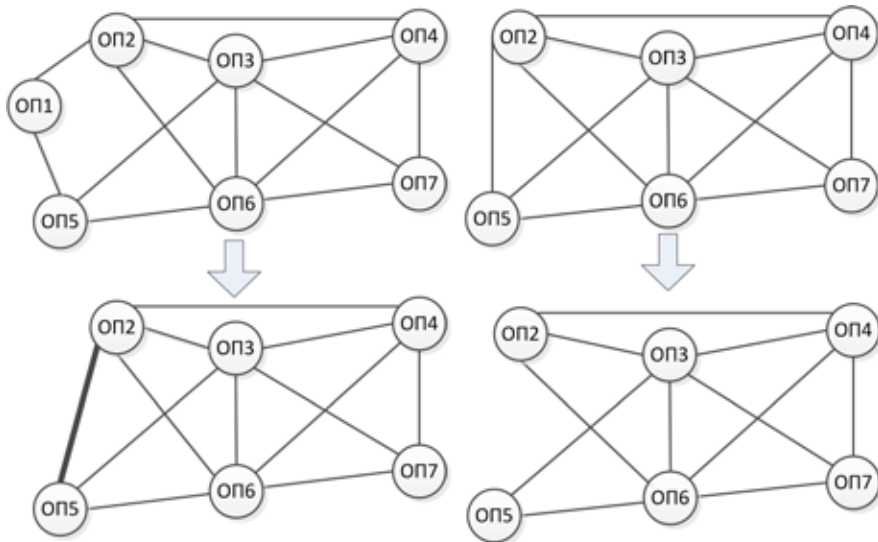


Рис. 4. Преобразование типа «мост»



Преобразование структуры графа перед этапом 1

Рекурсия (этап 1)

Рис. 5. Преобразование структуры графа и рекурсия (этап 1)

В случае параллельного соединения вероятность прохождения информации по данному направлению будем определять как  $P_{12} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)$ .

3) преобразование структуры типа «мост»:

При мостиковом соединении элементов РСУ вероятность связности будем оценивать как

$$P_{13} = (1 - P_{24})(1 - (1 - P_{12}P_{23})(1 - P_{14}P_{34})) + P_{24}(1 - (1 - P_{12})(1 - P_{14}))(1 - (P_{23})(P_{34})).$$

Эквивалентное разложение мостиковой схемы основано на том, что если ветвь, соединяющая ОП2 и ОП4 исправна (вероятность этого события равна  $P_{24}$ ), то ОП2 и ОП4 можно объединить в один ОП24, а если эта ветвь неисправна (вероятность этого события равна  $1 - P_{24}$ ), то ее вообще можно исключить из рассмотрения.

Предлагаемый алгоритм анализа структурной надежности РСУ состоит из последовательных этапов, на каждом из которых выбирается случайная дуга графа. Если данная дуга исправна, то информация может пройти по ней или по какому-либо маршруту оставшейся части графа. С другой стороны, если дуга не исправна, тогда информация может пройти только по какому-либо маршруту оставшейся части графа. Далее рекурсивно вычисляем вероятность связности оставшейся части графа. Предложенный алгоритм поясняется следующей формулой:

$$P_n = P_i(1 - (1 - P_i)(1 - P_{n-i})) + (1 - P_i)P_{n-i},$$

где  $P_n$  – вероятность связности графа с  $n$  ОП;

$P_i$  – вероятность связности  $i$ -й дуги;

$P_{n-i}$  – вероятность связности графа без  $i$ -й дуги.

Для примера рассмотрим пример РСУ, представленный на рисунке 1. Преобразование структуры соответствующего ей графа представлено на рисунках 5–9, на которых вновь полученные дуги отображены жирными линиями.

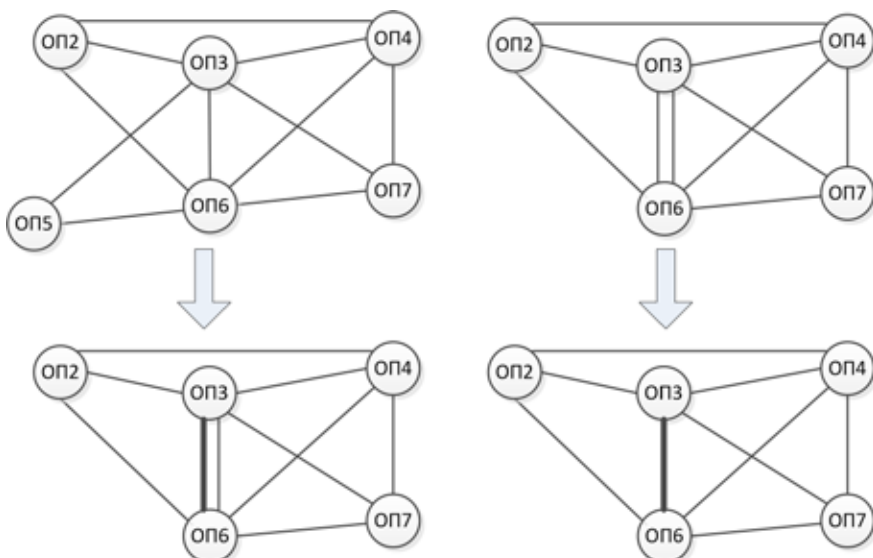


Рис. 6. Преобразование структуры графа перед вторым этапом рекурсии

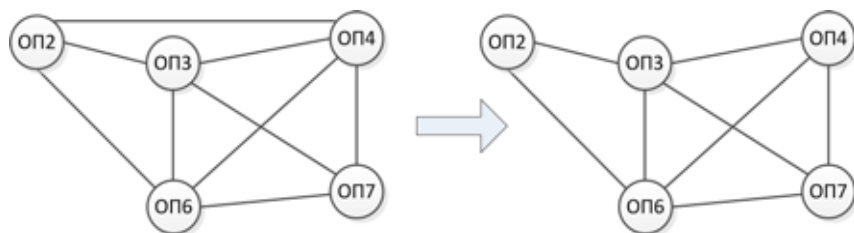


Рис. 7. Рекурсия (этап 2)

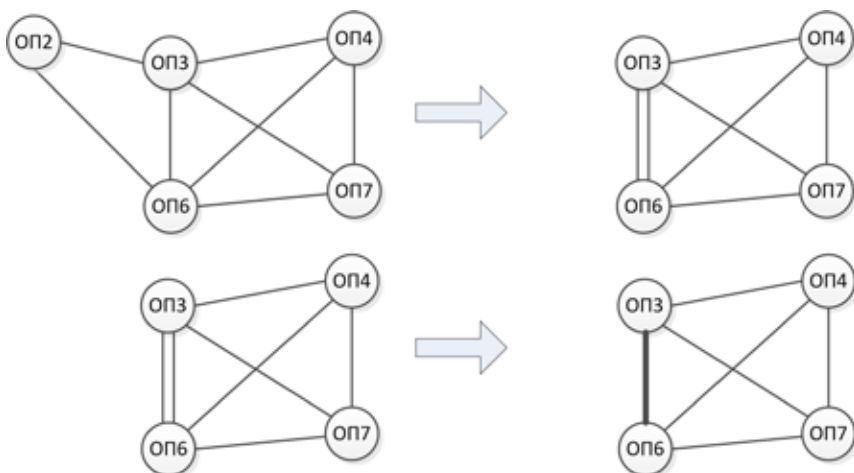


Рис. 8. Преобразование структуры графа перед третьим этапом рекурсии

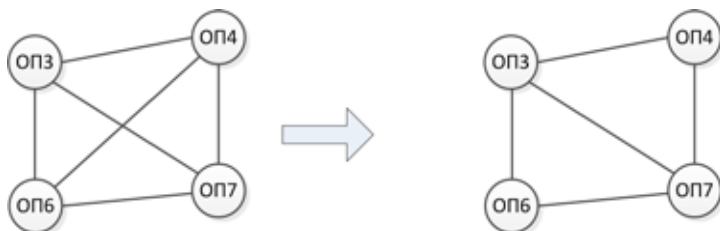


Рис. 9. Рекурсия (этап 3)

Полученные математические выражения для структурной надежности РСУ и наличие информации о поэлементной надежности РСУ позволяют проанализировать надежность функционирования РСУ в целом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные способы аналитической оценки состояния РСУ позволяют определять степень их боевой готовности при нахождении в режиме ожидания. Кроме того, информация о текущих особенностях функционирования, наличие планов применения РСУ и разведывательные данные о действиях вероятного противника создают условия прогнозирования обстановки в операционной зоне РСУ. Также дальнейшие исследования планируется проводить в направлении поиска дополнительных зависимостей между внутренними параметрами РСУ и состоянием внешней среды.

Важно отметить, что предложенный в работе перечень характеристик РСУ не претендует на всестороннюю полноту. Более того обязательным в дальнейшем является проведение предварительного специального обследования системы с целью разработки перечня параметров РСУ, достаточного с точки зрения решаемых ее задач.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.К. Анализ функционирования иерархических АСУ реального времени // Автоматизация процессов управления. – 2013. – № 3 (33). – С. 11–21.
2. Бондарь М.В., Егоров Ю.П., Зальмарсон А.Ф. Создание и совершенствование автоматизированной системы управления Военно-Морского Флота страны // Автоматизация процессов управления. – 2011. – № 1 (23). – С. 20–25.
3. Куприянов А.А. Комплексная автоматизированная система управления силами (войсками), оружием и средствами // Автоматизация процессов управления. – 2010. – № 2 (20). – С. 76–84.
4. Моисеев А.И. К вопросу о создании распределенных систем управления // Военная радиоэлектроника:

опыт использования и проблемы, подготовка специалистов : матер. Межвуз. науч.-техн. конф. Ч. 1. – Петродворец : ВМИРЭ им. А.С. Попова, 2012. – С. 45–51.

5. Моисеев А.И., Кальников В.В. Узловой элемент распределенной системы управления // Информационные технологии в автоматизированных системах управления специального назначения : Тр. конф. молодых ученых и специалистов. – М. : НИИАА, 2011. – С. 34–39.

6. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М. : Наука, 1987. – 305 с.

7. Моисеев А.И. Методика оценки качественных характеристик БСН // Труды молодежной научно-технической конференции ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». – Ульяновск, 2010. – С. 46–53.

8. ГОСТ 34.003-90. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2005. – 34 с.

9. Подлесный Н.И., Россоха А.А., Левков С.П. Специальные методы идентификации, проектирования и живучести систем управления. – К. : Выща шк, 1990. – 446 с.

10. Жирухин В.В. Основы надежности военной техники связи и АСУ. – Ульяновск : УВВИУС, 1994. – 102 с.

#### REFERENCES

1. Ivanov A.K. Analiz funktsionirovaniya iyerarkhicheskikh ASU realnogo vremeni [Operational Analysis of Real-Time Hierarchic C2 Systems]. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya* [Automation of Control Processes], 2013, no. 3 (33), pp. 11–21.

2. Bondar M.V., Egorov Yu.P., Zalmarson A. F. Sozdaniye i sovershenstvovaniye avtomatizirovannoy sistemy upravleniya Voyenno-Morskogo Flota strany [Creation and Improvement of C2 Systems for Country's Navy]. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya* [Automation of Control Processes], 2011, no. 1 (23), pp. 20–25.

3. Kupriyanov A.A. Kompleksnaya avtomatizirovannaya sistema upravleniya silami (voyskami), oruzhiyem i sredstvami [Combined C2 System for Forces (Troops), Weapons and Facilities]. *Avtomatizatsiya protsessov upravleniya* [Automation of Control Processes], 2010, no. 2 (20), pp. 76–84.

4. Moiseev A.I. K voprosu o sozdanii raspredelennykh sistem upravleniya [On Problem to the Creation of Distributed Control Systems]. *Voyennaya radioelektronika: opyt ispolzovaniya i problemy, podgotovka spetsialistov: mater. Mezhvuz. nauch.-tekhn. konf. Ch. 1.* [Military Radioelectronics: Actual Experience and Problems, Human Resource Development: Materials of the Interuniversity Scientific Conference. Part 1], Petrodvorets, VMIRE named after A.S. Popov Publ., 2012, pp. 45–51.

5. Moiseev A.I., Kalnikov V.V. Uzlovoy element raspredelennoy sistemy upravleniya [Nodal Element of the Distributed Control System]. *Informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya spetsialnogo naznacheniya: Tr. konf. molodykh uchenykh i spetsialistov* [Information Technologies in Distributed Computer-Aided Special-Purpose Control Systems: Proceedings of the Conference of Young Scientists and Specialists], Moscow, NIIAA Publ., 2011, pp. 34–39.

6. Kolmogorov A.N. *Teoriya informatsii i teoriya algoritmov* [Information Theory and Theory of Algorithms]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 305 p.

7. Moiseev A.I. Metodika otsenki kachestvennykh kharakteristik BSN [Evaluation Technique of Qualitative Combat Navigation System Characteristics]. *Trudy molodezhnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii FNPTs OAO 'NPO 'Mars'* [Youth Conference Proceedings of FRPC OJSC RPA Mars], Ulyanovsk, 2010, pp. 46–53.

8. GOST 34.003-90. *Avtomatizirovannyye sistemy. Terminy i opredeleniya* [Automated systems. Term and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 34 p.

9. Podlesny N.I., Rossokha A.A., Levkov S.P. *Spetsialnyye metody identifikatsii, proyektirovaniya i zhivuchest sistem upravleniya* [Special Techniques for Identification, Design, and Survivorship of Control Systems]. Kiev, Vyshcha shkola Publ., 1990. 446 p.

10. Zhirukhin V.V. *Osnovy nadezhnosti voyennoy tekhniki svyazi i ASU* [Principles of Reliability of Military Communication Equipment and Computer-Aided Control Systems]. Ulyanovsk, UVVIUS Publ., 1994. 102 p.