

# КРИТЕРИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА КОНФИГУРАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА С ПОДВИЖНЫМИ СРЕДСТВАМИ НАБЛЮДЕНИЯ

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-8-30-35

**Тимошенко Александр Васильевич**,  
Военный университет радиоэлектроники,  
г. Череповец, Россия, [u567ku78@gmail.com](mailto:u567ku78@gmail.com)

**Милованов Павел Геннадьевич**,  
Ярославское высшее военное училище  
противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия,  
[mpg08@rambler.ru](mailto:mpg08@rambler.ru)

**Кочкаров Азрет Ахматович**,  
АО "РТИ имени академика А.Л. Минца",  
Москва, Россия, [akochkar@gmail.com](mailto:akochkar@gmail.com)

**Лядова Елена Федоровна**,  
АО "НПК "ВТuCC", Москва, Россия,  
[lenalyadova@yandex.ru](mailto:lenalyadova@yandex.ru)

**Manuscript received** 24 February 2021;  
**Revised** 28 April 2021;  
**Accepted** 20 May 2021

*Исследование выполнено за счет гранта  
Российского научного фонда № 21-19-00481*

**Ключевые слова:** бесплотные летательные аппараты  
малого и среднего класса, автомобильная сеть связи;  
информационное обеспечение, доведение информации,  
критерии реконфигурирования, телекоммуникационная  
сеть, система непрерывного мониторинга

Предложены критерии многокритериального выбора конфигурации телекоммуникационной сети структурно-динамической системы непрерывного мониторинга. Подвижность компонент системы мониторинга приводит к периодическим (или постоянным) изменениям топологии телекоммуникационной сети, по средствам которой осуществляется передача данных в системе мониторинга. К вынужденным изменениям в топологии телекоммуникационной сети также приводят дестабилизирующие воздействия как естественного, так и искусственного происхождения. Для выбора конфигурации телекоммуникационной сети (набора источников информации, потребителей информации, сети передачи данных, и оптимально сформированных информационных каналов) как при первоначальном построении системы, так и процессе функционирования системы непрерывного мониторинга по обнаружению объектов (на заданной территории в заданное время с заданной вероятностью) в работе предложено применять три критерия. Первый критерий – время формирования конфигурации, второй – радиус устойчивости к дестабилизирующим воздействиям, и третий – показатель непрерывности информационного взаимодействия между элементами системы.

#### *Информация об авторах:*

**Тимошенко Александр Васильевич**, д.т.н., профессор, Военный университет радиоэлектроники, г. Череповец, Россия

**Милованов Павел Геннадьевич**, к.т.н., доцент, Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны, г. Ярославль, Россия

**Кочкаров Азрет Ахматович**, к.ф.-м.н., АО "РТИ имени академика А.Л. Минца", Москва, Россия

**Лядова Елена Федоровна**, АО "НПК "ВТuCC", Москва, Россия

#### **Для цитирования:**

Тимошенко А.В., Милованов П.Г., Кочкаров А.А., Лядова Е.Ф. Критерии многокритериального выбора конфигурации телекоммуникационной сети системы непрерывного мониторинга с подвижными средствами наблюдения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №8. С. 30-35.

#### **For citation:**

Timoshenko A.V., Milovanov P.G., Kochkarov A.A., Lyadova E.F. (2021) Criteria for multi-criteria selection of a telecommunications network configuration for a continuous monitoring system with mobile surveillance devices. *T-Comm*, vol. 15, no.8, pp. 30-35. (in Russian)

## Введение

К современным пространственно-распределенным системам непрерывного мониторинга предъявляются высокие требования по обеспечению заданных пространственно-вероятностно-временных характеристик, в том числе и в условиях воздействия дестабилизирующих факторов (ДФ). Особенно чувствительным к таким факторам является телекоммуникационная сеть (ТКС), как ключевая составляющая современных систем мониторинга военного и гражданского назначения [1-4]. ТКС современных систем мониторинга формируется как правило на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) малого и среднего класса (МСК) с функцией ретрансляции потоков данных. Нередко для таких БПЛА, оснащенных бортовыми радиолокационными комплексами (БРЛК), основным функционалом является проведение мониторинга с требуемыми пространственно-вероятностно-временными характеристиками, т.е. с заданной вероятностью обнаружения в заданное время на заданной территории. По сути, телекоммуникационная сеть системы непрерывного мониторинга организуется в виде структурно-динамической аэромобильной сети связи (АСС), которая в первую очередь, как правило, подвержена воздействию ДФ. Поэтому адекватная модель, учитывающая как динамику структуры АСС, так и воздействия ДФ, является необходимым инструментом как для проектирования систем непрерывного мониторинга с подвижными средствами наблюдения, так и для управления ими.

В настоящей работе основой такой модели является формализованное описание конфигурации ТКС системы непрерывного мониторинга. В качестве параметров конфигурации приняты средства наблюдений, конечные пользователи в системе непрерывного мониторинга, структура ТКС (она, как правило, совпадает со структурой взаимодействия элементов системы), информационные каналы (как последовательность средств связи – каналов связи и средств ретрансляции). Изменение любого из этих параметров приводит к изменению конфигурации ТКС системы мониторинга. К изменениям этих параметров могут приводить подвижность средств наблюдения (по сути – это изменения структуры ТКС), воздействие ДФ (фактически приводящие к изменению последовательности средств связи, обеспечивающих информационные каналы), или изменения множество средств наблюдения и конечных пользователей в системе мониторинга. Изменения перечисленных параметров формируют множество возможных конфигураций, из которого необходимо выделить рациональным образом одну конфигурацию для дальнейшей реализации либо на этапе проектирования системы мониторинга, либо на этапе эксплуатации. В настоящей работе рациональный способ выбора конфигурации основан на использовании трех критериев – времени формирования конфигурации, радиуса устойчивости к воздействиям ДФ, и показателя непрерывности информационного взаимодействия. Каждый из критериев соответствует изменениям совокупности различных параметров конфигурации, т.е. позволяет оценивать их «вклад» в реконфигурацию.

Для точности изложения представим конфигурацию  $K_l$  в виде множества параметров

$$K_l = \langle G_l, V_l^*, U_l^*, \tilde{X}_{G_l} \rangle,$$

где  $G_l$  – граф структуры ТКС в момент времени  $l$ ;  $V_l^*$  – множество вершин, соответствующих выделенным средствам наблюдения в момент времени  $l$ ;  $U_l^*$  – множество вершин, соответствующих выделенным конечным пользователям в момент времени  $l$ ;  $\tilde{X}_{G_l}$  – множество цепей, соответствующих информационным каналам, выделенным в соответствии с заданными требованиями в момент времени  $l$ .

Перечисленные параметры конфигурации отражают все основные процессы функционирования ТКС системы непрерывного мониторинга.

## Моделирование структуры аэромобильной сети связи системы непрерывного мониторинга

АСС БПЛА МСК является воздушной сетью связи, в составе которой каждый элемент является ретранслятором, что позволяет организовать достаточно эффективный информационный обмен, как между каждым сенсором в составе системы, так и доведение информации до конечных пользователей.

Пространственная распределенность группировки БПЛА с БРЛК повышает подверженность всей группировки и отдельных каналов связи влиянию дестабилизирующих факторов (ДФ) различной природы, что в свою очередь ставит под угрозу обеспечение непрерывности информационного взаимодействия системы мониторинга в целом. При этом непрерывность информационного обеспечения в группировке [5] достигается в результате проведения реконфигурирования информационных каналов или самой сети связи исходя из уровня воздействия ДФ на каналы связи и с учетом высокой динамики структуры самой телекоммуникационной сети системы мониторинга.

Под реконфигурацией в настоящей работе понимается целенаправленный, спланированный, и организованный процесс изменений конфигурации системы (в данном случае структуры ТКС) для сохранения, восстановления, а в некоторых случаях, и повышения уровня информационного взаимодействия ее элементов [5,6], т.е. доведения информации до конечных пользователей. Поэтому в соответствии с принятыми выше понятиями и обозначениями к реконфигурации системы будут приводить изменение хотя бы одного параметра из  $K_l = \langle G_l, V_l^*, U_l^*, \tilde{X}_{G_l} \rangle$ .

В качестве основного математического инструментария для моделирования ТКС системы мониторинга в интересах определения наилучшего варианта реконфигурации наиболее целесообразно использовать методы и теорию динамических графов [7, 8], которые позволяют формализовано описать изменение структуры ТКС при реконфигурировании.

Представим структуру ТКС системы мониторинга на основе АСС БПЛА МСК в виде динамического графа  $\Gamma$ , взвешенного детерминированными числами  $w_k(e)$ , отражающими интегрированную характеристику для конкретного канала связи АСС БПЛА МСК [9,10].

В этом случае задачу оптимального доведения можно представить, как многокритериальную задачу покрытия динамического графа с заданными концевыми вершинами в виде векторно-целевой функции

$$F(x_{G_l}) = (F_1(x_{G_l}), F_2(x_{G_l}))$$

с целевыми функциями

$$F_1(x_{G_l}) = \sum_{p_k^{ij} \in P} w(p_k^{ij}) \rightarrow \min$$

где  $w(p_k^{ij})$  – вес цепи  $p_k^{ij}$ , состоящий из суммы весов его ребер  $w(e)$

$$F_2(x_{G_l}) = |p_k^{ij}| \rightarrow \min$$

где  $|p_k^{ij}|$  – количество промежуточных (не конечных) вершин в цепи  $p_k^{ij}$ .

Всевозможные покрытия  $\{x_{G_l}\}$  графа  $G_l$  образуют множество допустимых решений  $X_{G_l} = X(G_l) = \{x_{G_l}\}$  для векторно-целевой функции (1)-(3).

Целевые функции (2)-(3) определяют требования к формированию информационных каналов, т.е. решение векторно-целевой задачи  $\tilde{X}_{G_l}$  будет соответствовать одному из параметров конфигурации  $K_l = \langle G_l, V_l^*, U_l^*, \tilde{X}_{G_l} \rangle$ .

Количественная целевая функция (2) отражает общую ресурсоемкость (время передачи, расходуемую энергетику, и т.д.) обеспечения связи на выделенном информационном канале в виде последовательности ретрансляторов или цепи на графе из траектории динамического графа. В условиях действия ДФ ресурсоемкость отдельных каналов связи увеличивается, что требует проверки на проведение реконfigurирования информационных каналов и АСС БПЛА МСК. При этом топологическая целевая функция (3) для варианта ДФ на средства связи ТКС системы непрерывного мониторинга является не менее значимым в силу воздействий, выводящих из строя БПЛА из состава группировки БПЛА МСК.

Таким образом, с учетом воздействий ДФ [9, 10] определим три основных критерия проведения реконfigurирования ТКС системы непрерывного мониторинга на базе группировки АСС БПЛА МСК, которые позволяют определить рациональную реконfigurацию в системе непрерывного мониторинга.

Первый критерий – время проведения  $t_{K_l}$  реконfigurации от конфигурации  $K_l$  к конфигурации  $K_{l+1}$ . В общем случае каждая реконfigurация состоит из набора простейших действий (перемещение БПЛА в заданную точку, организация передачи данных по каналу связи), зависящих от взаимного расположения БПЛА из АСС БПЛА МСК, поэтому  $t_{K_l} = \sum_i t_{K_{l,i}}$ , где  $t_{K_{l,i}}$  – время на выполнение простейших реконfigurаций.

Для решения задачи выбора конфигурации формализацию критериев выбора целесообразно считать каждую конфигурацию  $K_l$  – базовой, а время на формирование конфигурации –  $t_{K_l}$ , считать от момента времени формирования начальной конфигурации  $K_0$ . С практической точки зрения следует рассмотреть максимально возможное время  $T$  на проведение реконfigurаций в группировке БПЛА. Время  $T$  задается в соответствии с характеристиками средств наблюдения системы непрерывного мониторинга или из расчета минимального времени продвижения объектов наблюдения в зоне ответственности системы мониторинга. Фактически  $t_{K_l} < T$  для всех конфигураций  $K_l$ . Поэтому для осуществления выбора конфигурации с учетом ограничения  $t_{K_l} < T$  на время формирования конфигураций целесообразно использовать нормированный показатель  $t_{K_l}^{\text{норм}} = \frac{t_{K_l}}{T}$ .

Второй (критерий – показатель непрерывности информационного взаимодействия [9]  $K_l^{\text{НИВ}} = \frac{M-m}{M}$ , рассчитываемый для каждой конфигурации  $K_l$  как отношение количества возможных непересекающихся (по ретрансляторам в АСС БПЛА МСК) информационных каналов (цепей с заданными конечными вершинами на графе  $G_l$ ) –  $(M - m)$ , к общему количеству возможных информационных каналов ( $M$ ), исходя из реализуемого оптимального (3) решения  $\tilde{x}_{G_l}^* \in \tilde{X}_{G_l}$ .

Третий критерий – радиус устойчивости [11]  $\rho(\tilde{x}_{G_l}^*)$  реализуемого оптимального решения  $\tilde{x}_{G_l}^* \in \tilde{X}_{G_l}$  для доведения информации в системе непрерывного мониторинга на базе АСС БПЛА МСК. Радиус устойчивости отражает предельный уровень воздействий ДФ, по достижению которого решение  $\tilde{x}_{G_l}^* \in \tilde{X}_{G_l}$  для доведения информации в системе уже не является оптимальным. Для расчета радиуса устойчивости в отношении базовой конфигураций  $K_l$  представим в виде  $\rho(K_l) = \frac{\min_{x \in X_{G_l}/\tilde{X}_{G_l}} |F_1(\tilde{x}_{G_l}^*) - F_1(x)|}{\max_{x \in X_{G_l}/\tilde{X}_{G_l}} F_1(x)}$ , где  $F_1(\tilde{x}_{G_l}^*)$  – значение

целевой функции (2), определяющее ресурсоемкость для реализации оптимального доведения по  $\tilde{x}_{G_l}^*$  в конфигурации  $K_l$ ,  $F_1(x)$  – значение целевой функции (2) для всех не вошедших в паретовское множество решений  $x \in X_{G_l}/\tilde{X}_{G_l}$ , соответствующих неоптимальным информационным каналам в конфигурации  $K_l$ .

Для точности представления значений трех описанных критериев ( $t_{K_l}^{\text{норм}}, \rho(K_l), K_l^{\text{НИВ}}$ ) исключим конфигурации  $K_l$ , для которых  $t_{K_l}^{\text{норм}} \geq 1$ , т.е. те, для которых время формирования конфигурации  $t_{K_l} > T$  превышает минимальное возможное время  $T$  продвижения объектов наблюдения через зону ответственности самой системы мониторинга.

Предложенные критерии (нормированный показатель времени формирования конфигурации, радиус устойчивости, показатель непрерывности информационного взаимодействия) охватывают все основные аспекты функционирования ТКС системы непрерывного мониторинга, поэтому позволяют произвести точный выбор конфигураций в соответствии с условиями функционирования системы.

### Выбор конфигурации ТКС связи с учетом ДФ и оптимального доведения информации

Эффективность использования предложенных критериев для выбора конфигурации ТКС системы непрерывного мониторинга покажем на множестве сгенерированных случайным образом конфигураций. То есть рассмотрим в качестве примера выбора (проведения) реконfigurации ТКС системы мониторинга из 20 возможных конфигураций при различных ДФ на средства ТКС на базе АСС БПЛА МСК со значениями критериев  $t_{K_l}^{\text{норм}}, \rho(K_l), K_l^{\text{НИВ}}$  (рис. 1 и табл. 1).

Для проведения реконfigurации, т.е. выбора конфигурации  $K^*$  и ее реализации воспользуемся методами многокритериального выбора в соответствии с критериями:

$$\begin{aligned} Z_1 &= t_{K_l}^{\text{норм}} \rightarrow \min, \\ Z_2 &= \rho(K_l) \rightarrow \max, \\ Z_3 &= K_l^{\text{НИВ}} \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (4)$$

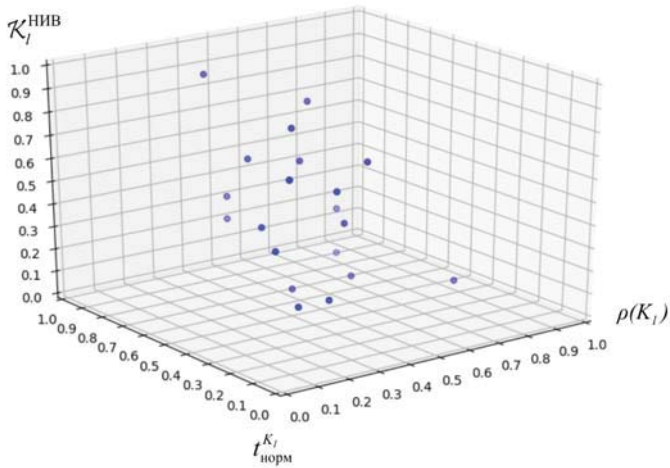


Рис. 1. Значения критериев  $K_l^{HNB}$ ,  $\rho(K_l)$ ,  $K_l^{HME}$  для конфигураций  $\{K_l\} = 20$  группировки БПЛС с БРЛК при влиянии различных ДФ на средства связи ТКС на базе АСС БПЛА МСК

Таблица 1

Значения критериев  $K_l^{HNB}$ ,  $\rho(K_l)$ ,  $K_l^{HME}$

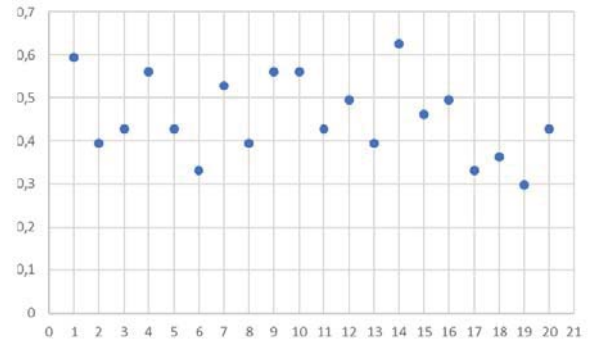
$K_l$	$\rho(K_l)$	$K_l^{HNB}$	$K_l^{HME}$
$K_1$	0,1	0,1	0,8
$K_2$	0,3	0,5	0,4
$K_3$	0,4	0,7	0,6
$K_4$	0,4	0,5	0,8
$K_5$	0,7	0,7	0,3
$K_6$	0,4	0,8	0,4
$K_7$	0,8	0,3	0,1
$K_8$	0,6	0,5	0,1
$K_9$	0,4	0,3	0,6
$K_{10}$	0,6	0,7	0,8
$K_{11}$	0,2	0,3	0,4
$K_{12}$	0,5	0,6	0,6
$K_{13}$	0,2	0,2	0,2
$K_{14}$	0,5	0,3	0,7
$K_{15}$	0,4	0,9	0,9
$K_{16}$	0,5	0,4	0,4
$K_{17}$	0,4	0,5	0,1
$K_{18}$	0,7	0,7	0,1
$K_{19}$	0,4	0,8	0,3
$K_{20}$	0,3	0,2	0,2

Анализ оптимизационного выбора конфигурации  $K^*$  в соответствии с критериями (4) проведем, используя линейную свертку критериев и коэффициенты предпочтения  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$ :

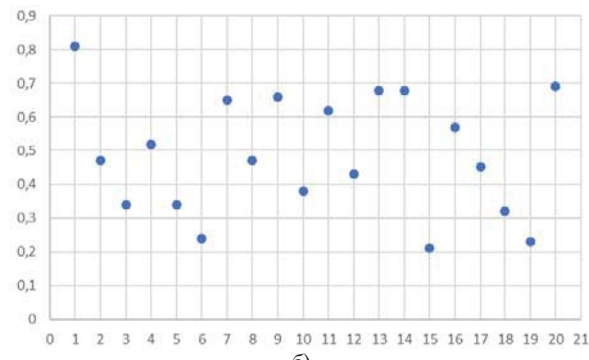
$$Z = k_1(1 - K_l^{HNB}) + k_2 \rho(K_l) + k_3 K_l^{HME} \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$\sum_i k_i = 1.$$

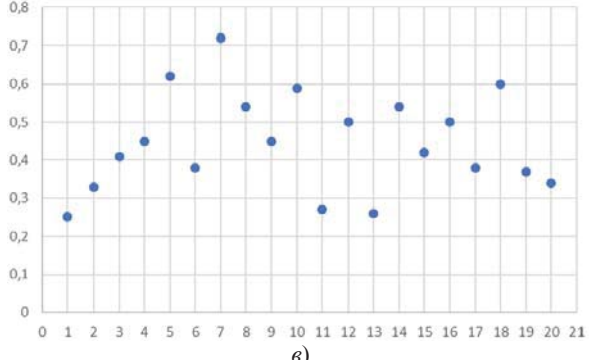
На рисунке 2 представлены значения функции линейной свертки  $Z$  при различных значениях коэффициентов предпочтения критериев  $K_l^{HNB}$ ,  $\rho(K_l)$ ,  $K_l^{HME}$  для конфигураций  $K_l$ ,  $\{K_l\} = 20$ .



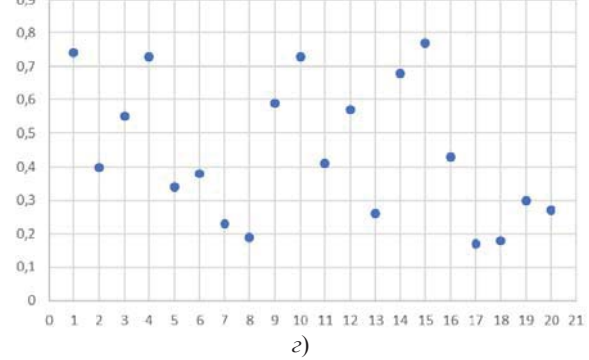
а) Значения функции линейной свертки  $Z$  при равенстве коэффициентов предпочтения  $k_1 = k_2 = k_3 = 1/3$



б) Значения функции линейной свертки  $Z$  при равенстве коэффициентов предпочтения  $k_1 = 0,8, k_2 = k_3 = 0,1$



в) Значения функции линейной свертки  $Z$  при равенстве коэффициентов предпочтения  $k_2 = 0,8, k_1 = k_3 = 0,1$



г) Значения функции линейной свертки  $Z$  при равенстве коэффициентов предпочтения  $k_3 = 0,8, k_2 = k_1 = 0,1$

Рис. 4. Значения функции линейной свертки  $Z$  при различных соотношениях коэффициентов предпочтения  $k_1, k_2, k_3$

Рассмотрим различные варианты выбора по значениям функции линейной свертки:

1. Наиболее выигрышной при равенстве коэффициентов предпочтения  $k_1 = k_2 = k_3 = 1/3$ , как показано на рисунке 2 а), является конфигурация  $K^* = K_{14}$ , которой соответствуют значения факторов  $t_{K_l}^{\text{норм}} = 0.3$ ,  $\rho(K_l) = 0.5$ ,  $K_l^{\text{НИВ}} = 0.7$ .

2. При значениях коэффициентов предпочтения  $k_1 = 0.8$ ,  $k_2 = k_3 = 0.1$ , т.е. при преобладающем факторе времени формирования конфигурации  $t_{K_l}^{\text{норм}}$ , как показано на рисунке 2 б), наиболее выигрышной является конфигурация  $K^* = K_1$ , которой соответствуют значения факторов  $t_{K_l}^{\text{норм}} = 0.1$ ,  $\rho(K_l) = 0.1$ ,  $K_l^{\text{НИВ}} = 0.8$ .

3. При преобладающем факторе радиуса устойчивости конфигурации  $\rho(K_l)$  (значение коэффициентов предпочтения  $k_2 = 0.8$ ,  $k_1 = k_3 = 0.1$ .) наиболее выигрышной является конфигурация  $K^* = K_7$ , которой соответствуют значения факторов  $t_{K_l}^{\text{норм}} = 0.3$ ,  $\rho(K_l) = 0.8$ ,  $K_l^{\text{НИВ}} = 0.1$ .

4. Наиболее выигрышной при значениях коэффициентов предпочтения  $k_3 = 0.8$ ,  $k_2 = k_1 = 0.1$ , т.е. при преобладающем факторе показателя непрерывности информационного взаимодействия конфигурации  $K_l^{\text{НИВ}}$ , как показано на рисунке 2 г), является конфигурация  $K^* = K_{15}$ , которой соответствуют значения факторов  $t_{K_l}^{\text{норм}} = 0.9$ ,  $\rho(K_l) = 0.4$ ,  $K_l^{\text{НИВ}} = 0.9$ .

Проведенный анализ показал, что при равнозначности фактора выбора конфигурации  $K^*$  наиболее выигрышной является конфигурация  $K_{14}$ . При высокой значимости фактора нормированного времени формирования конфигурации наиболее выигрышной является конфигурация  $K^* = K_1$ , которая обеспечивает низкое время реконфигурации ( $t_{K_l}^{\text{норм}} = 0.1$ ), при высоком уровне непрерывности информационного взаимодействия ( $K_l^{\text{НИВ}} = 0.8$ ), но устойчивому ( $\rho(K_l) = 0.1$ ) только к незначительному уровню влияния дестабилизирующих факторов.

Наиболее устойчивой ( $\rho(K_l) = 0.8$ ) к влиянию дестабилизирующих факторов является конфигурация  $K^* = K_7$ , но обеспечивавшая достаточно низкий показатель непрерывности информационного взаимодействия ( $K_l^{\text{НИВ}} = 0.1$ ).

Наиболее высокий результат по показателю непрерывности информационного взаимодействия ( $K_l^{\text{НИВ}} = 0.9$ ) достигается при формировании конфигурации  $K^* = K_{15}$ , но на формирование которой потребуется значительное время ( $t_{K_l}^{\text{норм}} = 0.9$ ).

### Заключение

Высокая динамика, как в процессах взаимодействия, так и структуры (общей картине) взаимодействий между средствами наблюдений и пунктами управления в системах непрерывного мониторинга является принципиальной особенностью современных пространственно-распределенных систем мониторинга с подвижными средствами наблюдения. Именно эта особенность приводит к необходимости проведения реконфигураций ТКС системы непрерывного мониторинга, в том числе и с учетом воздействий ДФ.

Предложенные в настоящей работе критерии выбора конфигурации ТКС из множества возможных конфигураций позволяют учесть все ключевые аспекты функционирования системы непрерывного мониторинга с подвижными средствами наблюдения в условиях действия дестабилизирующих факторов различной природы. Указанные обстоятельства позволяют провести реконфигурацию ТКС в соответствии с назначенными (заданными) коэффициентами предпочтения по каждому критерию. Для выбора реконфигураций в работе использованы методы теории многокритериального выбора, которые позволили также проанализировать различные варианты реконфигураций при различных значениях коэффициентов предпочтения.

Также следует отметить, что предложенные критерии выбора в рамках применения линейной свертки могут быть основой методики многокритериального выбора реконфигураций ТКС различных пространственно-распределенных систем непрерывного мониторинга.

### Литература

1. Чертова О.Г., Чиров Д.С. Построение опорной сети связи на базе малоразмерных беспилотных летательных аппаратов с отсутствием наземной инфраструктуры // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2019. Т. 11. № 3. С. 60-71.
2. Ананьев А.В., Петренко С.П., Филатов С.В. Оценка путей организации управления формированиями беспилотных летательных аппаратов при обеспечении боевых действий пилотируемой авиации // Военная мысль. 2019. №1. С. 74-82.
3. Донченко А.А., Чиров Д.С. Обоснование требований к системе связи беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Том 8. №10. С. 88-92.
4. Чиров Д.С., Терешонок М.В., Елсуков Б.А. Метод и алгоритмы оптимизации технических характеристик комплексов радиомониторинга // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Том 9. №12. С. 12-16.
5. Кочкаров А.А., Тимошенко А.В., Литвинов А.В., Лядова Е.Ф., Гайчук Ю.Н. Оценка непрерывности информационного взаимодействия и доведения информации в системах мониторинга с динамической структурой // Электромагнитные волны и электронные системы. 2019. Т. 24, № 8. С. 66-71.
6. Павлов А.Н. Комплексное моделирование структурно-функциональной реконфигурации сложных объектов // Труды СПИИРАН. 2013. Выпуск № 5. С. 143-168
7. Harary F., Gupta G. Dynamic Graph Models // Mathl. Comput. Modelling. 1997. Vol. 25, No. 7. P. 79-87.
8. Kochkarov A.A., Kochkarov R.A., Malinetskii G.G. Issues of dynamic graph theory // Computational Mathematics and Mathematical Physics, Vol. 55, № 9, 2015. P. 1590-1596.
9. Кочкаров А.А., Рахманов А.А., Тимошенко А.В., Путьято С.А. Структурно-пространственная модель распределения средств системы мониторинга специального назначения по объектам наблюдения // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2020. № 13. С. 124-132.
10. Макаренко С.И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века. Монография. СПб.: Научные технологии, 2017. 546 с.
11. Емеличев В.А., Бердышева Р.А. О радиусе устойчивости лексикографического оптимума векторной траекторной задачи // Вестн. Белорус. Университета. Серия 1. 1998. №1. С. 43-46.

## CRITERIA FOR MULTI-CRITERIA SELECTION OF A TELECOMMUNICATIONS NETWORK CONFIGURATION FOR A CONTINUOUS MONITORING SYSTEM WITH MOBILE SURVEILLANCE DEVICES

**Aleksandr V. Timoshenko**, Military University of Radio Electronics, Cherepovets, Russia, [u567ku78@gmail.com](mailto:u567ku78@gmail.com)

**Pavel G. Milovanov**, Yaroslavl Higher Military School of Air Defense, Yaroslavl, Russia, [mpg08@rambler.ru](mailto:mpg08@rambler.ru)

**Azret A. Kochkarov**, JSC "RTI named after Academician A. L. Mints", Moscow, Russia, [akochkar@gmail.com](mailto:akochkar@gmail.com)

**Elena F. Lyadova**, Joint-Stock Company "SPC "High Technologies and Strategic Systems", Moscow, Russia, [lenalyadova@yandex.ru](mailto:lenalyadova@yandex.ru)

### Abstract

The article proposes criteria for multi-criteria selection of the configuration of the telecommunications network of a structural-dynamic continuous monitoring system. The mobility of the components of the monitoring system leads to periodic (or permanent) changes in the topology of the telecommunications network, through which data is transmitted in the monitoring system. Destabilizing effects of both natural and artificial origin also lead to forced changes in the topology of the telecommunications network. To select the configuration of the telecommunications network (a set of information sources, information consumers, data transmission network, and optimally formed information channels) both during the initial construction of the system and during the operation of the system of continuous monitoring for the detection of objects (on a given territory at a given time with a given probability), it is proposed to apply three criteria. The first criterion is the time of configuration formation, the second is the radius of resistance to destabilizing influences, and the third is an indicator of the continuity of information interaction between the elements of the system.

**Keywords:** disembodied small and medium-class aircraft; aeromobile communication network, information support; information delivery, reconfiguration criteria, telecommunications network, continuous monitoring system..

### References

1. Chertova O.G., Chirov D.S. (2019). Building a reference communication network based on small-sized unmanned aerial vehicles with no ground infrastructure. *High-tech technologies in space research of the Earth*. Vol. 11. No. 3. P. 60-71.
2. Ananiev A.V., Petrenko S.P., Filatov S.V. (2019). Assessment of ways to organize the management of formations of unmanned aerial vehicles in the provision of combat operations of manned aviation. *Military thought*. No. 1. P. 74-82.
3. Donchenko A.A., Chirov D.S. (2014). Justification of requirements for the communication system of unmanned aerial vehicles of medium and long range. *T-Comm*. Vol. 8. No.10. P. 88-92.
4. Chirov D.S., Tereshonok M.V., Elsukov B.A. (2015). Method and algorithms for optimizing the technical characteristics of radio monitoring systems. *T-Comm*. Vol. 9. No. 12. P. 12-16.
5. Kochkarov A.A., Timoshenko A.V., Litvinov A.V., Liadova E.F., Gaichuk Y.N. (2019). Evaluation of the continuity of information interaction and information delivery in monitoring systems with a dynamic structure. *Electromagnetic Waves and electronic systems*. Vol. 24, No. 8. P. 66-71.
6. Pavlov A.N. (2013). Complex modeling of structural and functional reconfiguration of complex objects. *Trudy SPIIRAN*. No. 5. P. 143-168.
7. Harary F., Gupta G. (1997). Dynamic Graph Models. *Mathl. Comput. Modelling*. Vol. 25, No. 7. P. 79-87.
8. Kochkarov A.A., Kochkarov R.A., Malinetskii G.G. (2015). Issues of dynamic graph theory. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. Vol. 55. No. 9. P. 1590-1596.
9. Kochkarov A.A., Rakhmanov A.A., Timoshenko A.V., Putyato S.A. (2020). Structural and spatial model of the distribution of special-purpose monitoring system assets by observation objects. *Air and space forces. Theory and practice*. No. 13. P. 124-132.
10. Makarenko S.I. (2017). Information warfare and radio-electronic warfare in network-centric wars of the beginning of the XXI century. Monograph. St. Petersburg: Science-intensive technologies. 546 p.
11. Emelichev V.A., Berdysheva R.A. (1998). On the stability radius of the lexicographic optimum vector trajectory problem. *Bulletin of the Belarusian University*. Series I. No. 1. P. 43-46.

### Information about authors:

**Aleksandr V. Timoshenko**, Ph.D. (Eng), professor, Military University of Radio Electronics, Cherepovets, Russia

**Pavel G. Milovanov**, Ph.D. (Eng), docent, Yaroslavl Higher Military School of Air Defense, Yaroslavl, Russia

**Azret A. Kochkarov**, Ph.D. (Math), JSC "RTI named after Academician A. L. Mints", Moscow, Russia

**Elena F. Lyadova**, Joint-Stock Company "SPC "High Technologies and Strategic Systems", Moscow, Russia