

ISSN 2224-1132



**ВООРУЖЕННЫЕ СИЛЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

**СБОРНИК  
НАУЧНЫХ СТАТЕЙ  
ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**№ 29**

**Минск  
2015**

## Редакционная коллегия

- В. М. Булойчик** (главный редактор),  
доктор технических наук, профессор;
- В. А. Куренёв** (заместитель главного редактора),  
доктор технических наук, профессор;
- А. Н. Мацкевич** (ответственный секретарь),  
кандидат технических наук, доцент;
- В. М. Белько**, кандидат технических наук, доцент;
- В. И. Гринюк**, кандидат военных наук, профессор;
- В. П. Дикселис**, доктор философских наук, профессор;
- В. Ф. Ермолович**, доктор юридических наук, профессор;
- Н. В. Карпиленя**, доктор военных наук, доцент;
- В. В. Кругликов**, доктор технических наук, профессор;
- С. В. Кругликов**, доктор военных наук, доцент;
- Ю. Е. Кулешов**, кандидат военных наук, доцент;
- А. В. Лебёдкин**, доктор военных наук, профессор;
- В. А. Малкин**, доктор технических наук, доцент;
- А. С. Масилевич**, кандидат военных наук, доцент;
- Ю. А. Семашко**, кандидат военных наук, доцент;
- С. А. Фомин**, кандидат военных наук, доцент;
- В. Н. Цыганков**, кандидат военных наук, доцент;
- В. Б. Шабанов**, доктор юридических наук, профессор.

Набор и верстка: *Т. М. Сивчук*  
Дизайн обложки: *О. К. Котоласов*

Подп. в печ. 23.12.15 г. Формат 60x84/8. Бумага писчая. Гарнитура «Таймс». Ризография.

Уч.-изд. л. 15,2. Усл. печ. л. 17,67. Тираж 100 экз. Зак. 498.

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий

№ 1/224 от 19.03.2014.

№ 2/81 от 19.03.2014.

ЛП № 02330/76 от 27.03.2014.

Пр. Независимости, 220, 220057, Минск

# СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

---

№ 29

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. Военные науки

<i>Булойчик В. М., Рыспаев А. Н.</i> Формирование требований к математическим моделям, разрабатываемым для поддержки принятия решений .....	3
<i>Жук А. А.</i> Методика поддержки принятия решений боевого применения артиллерии с использованием нейросетевых и геоинформационных технологий .....	11
<i>Журавлёв В. В., Гришкевич М. М.</i> Совершенствование фортификационного оборудования районов и позиций, занимаемых войсками .....	19
<i>Макарова Е. С.</i> Методика принятия решений в имитационной системе моделирования военных действий .....	29
<i>Стифеев А. Л.</i> Методический подход к оценке возможностей головных исполнителей и кооперации исполнителей по реализации заданий государственного оборонного заказа .....	34
<i>Тыналиев Р. К.</i> Оптимизация структуры денежного довольствия военнослужащих, проходящих военную службу по контракту в Вооруженных силах Кыргызской Республики ...	39
<i>Чистов И. В.</i> Противодействие обороту контрафактной продукции военного назначения в процессе осуществления экспортного контроля .....	44
<i>Шлакунов В. В.</i> Применение методов анализа сложных систем при исследовании эффективности огневого поражения противника ракетными войсками и артиллерией в операциях .....	50

### 2. Технические науки

<i>Белодед В. И., Каледа А. Е., Пушкарева Н. В.</i> Пространственная интерпретация физического смысла коэффициента направленного действия излучателей .....	60
<i>Братик В. А., Венгер И. Ф., Котенко А. Б.</i> Особенности совместной работы несущего винта вертолета и свободной турбины двигателя при скачкообразном изменении внешних условий полета .....	64
<i>Голубцов С. Г., Довлетгелдиев Т. М.</i> Усовершенствованная методика оценки эффективности полевой опорной сети связи, методика формирования ее структуры .....	71
<i>Гутковский А. И., Сосновский Д. Н.</i> Определение характеристик тепловизионных систем и параметров полета тактических беспилотных летательных аппаратов при выполнении задач поиска .....	76
<i>Журавлева В. И.</i> Атомный эмиссионный лазерный спектральный анализ материала многослойных керамических конденсаторов .....	84
<i>Ильев И. Г., Сидорович О. В., Шабан С. А., Бабченко А. А.</i> Методика учета смещения центра массы и поворота осей инерции ракеты в уравнениях движения .....	91

<i>Касанин С. Н., Кашикарров А. В., Родионов А. А.</i> Оценка влияния состава радиоэлектронных средств пунктов управления на распознаваемость их оперативно-тактической принадлежности.....	97
<i>Лысый А. Н., Юрас С. А., Касьянович И. М.</i> Оценка эффективности соединения радиотехнических войск как большой системы .....	105
<i>Масилевич А. С., Сенько А. Я.</i> О системе зондирования атмосферы на основе беспилотного авиационного комплекса .....	111
<i>Паскробка С. И., Кашикарров А. В., Родионов А. А.</i> Выбор рациональных методов и методик расчета показателей живучести сетей связи.....	118
<i>Семенов А. Л., Осипов Г. А.</i> Новый подход к классификации ремонтного фонда вооружения, военной и специальной техники .....	128
<i>Юрас С. А., Лысый А. Н., Касьянович И. М.</i> Моделирование зон обнаружения радиолокационных станций метрового диапазона в целях подготовки их испытаний.....	135

### **3. Гуманитарные науки**

<i>Мещеряков С. А.</i> Агрессивная толпа как элемент социального субъекта массовых беспорядков и их классификация.....	142
--	-----

# 1. ВОЕННЫЕ НАУКИ

## ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫМ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 004.94:623.561

В. М. Булойчик, А. Н. Рыспаев\*

*В статье приводится методический подход к формированию системы требований к разрабатываемым математическим моделям, используемым при поддержке управленческих решений. В ее основу положены значения показателей оперативности, адекватности и достоверности результатов моделирования, для которых приводятся аналитические выражения.*

*The technical approach of system generating of requirements for developing of mathematical models that are used for decision-making support is described in the article. The values of efficiency, adequacy and reliability indexes of the simulation results make the head of the approach. The authors give analytic of the indexes.*

Разработка математических моделей (ММ) военного назначения и их применение в системах информационно-аналитического обеспечения руководящих органов различных рангов стали неотъемлемой составной частью вооруженных сил современных государств. Возникновение новых видов угроз национальной безопасности, противоречий, которые приводят к нестабильности и конфликтам, вызывают необходимость создания систем моделирования, обеспечивающих прогнозирование развития событий и поддержку принятия эффективных решений по управлению современными сложными военными и военнотехническими системами. На ранних этапах создания перспективных автоматизированных систем управления, способных решать подобные задачи, во время проведения военнанаучных исследований, направленных на обоснование концепций построения, технических обликов и состава их математического, алгоритмического и программного обеспечения, важное значение имеет предъявление обоснованных требований к ММ, воспроизводящим процессы применения воинских формирований и систем вооружения в возможных военных конфликтах.

По сложившейся на сегодняшний день технологии разработка таких моделей осуществляется, как правило, по следующей схеме: после постановки задачи заказчиком на разработку ММ и оформления технического задания исполнитель проводит вербальное описание управляемого процесса, выбирает математический аппарат, выполняет формализацию моделируемого процесса и реализует полученный алгоритм на ЭВМ. Эффективность разработанной модели оценивается по результатам опытной эксплуатации и практики. Особенность такого подхода состоит в том, что разработчики моделей, как правило, сами определяют используемый математический аппарат, принципы формального описания и реализации их на ЭВМ (часто без глубоких и детальных их исследований и обоснований). Все возможные взаимно-согласованные корректировки технического задания в процессе опытно-конструкторской работы, как правило, не затрагивают принципиальных подходов к решению поставленной задачи. В этом случае заказчик приобретает то, «что получится» у исполнителя. Он (заказчик) фактически не участвует в процессе формирования объективных требований к модели и кроме интуитивного восприятия качества полученного изделия не может достаточно точно и быстро оценить модель и сделать вывод: позволяет ли она эффективно решать стоящие перед ней задачи и хорошая или плохая получилась.

В то же время при проектировании той или иной ММ, предназначенной для принятия ответственных решений, из всех возможных вариантов ее построения необходимо выбрать именно тот, который обеспечивает синтез модели, в наибольшей степени удовлетворяющей

требованиям, предъявляемым к ней. В свою очередь, сами требования зависят от значимости принимаемых решений и оценок, с помощью которых принимаются эти решения и для получения которых предназначена ММ. Эти требования желательно представить в виде числовых величин, характеризующих степень адекватности модели исследуемой системе (процессу), достоверность получаемых с помощью ее оценок, степень значимости этих оценок при принятии тех или иных решений. Кроме того, для военных систем управления и поддержки принятия решений важным является показатель оперативности, характеризующий возможность получения результатов в ритме развития событий боевых действий (БД) и своевременность получения оценок.

В этой связи целесообразно на этапе проектирования сформировать (обосновать) требования к будущей модели, а по окончании разработки оценить степень удовлетворения этим требованиям и сделать объективный вывод о соответствии полученной модели системе критериев, представленной предельными значениями вышеназванных показателей.

Более детально рассмотрим, как это может быть реализовано на практике.

Пусть при принятии некоторого решения используются  $q$  параметров управления  $Y_i$  ( $i=\overline{1,q}$ ). Предположим, что потери эффективности наших действий  $\Pi$ , при принятии этого решения, доставляемые неточностью определения каждого из  $Y_i$  ( $i=\overline{1,q}$ ) параметров и, соответственно, неэффективностью самого принятого решения, различны, независимы и аддитивны с точки зрения общих потерь эффективности, определяющих качество модели, т. е.

$$\Pi = \sum_{i=1}^q \Pi_{\alpha_i}.$$

Тогда за интегральный показатель эффективности разрабатываемой модели можно использовать величину, предложенную в [1, 2] и представляющую собой следующую функцию частных показателей:

$$F = \sum_{i=1}^q \alpha_i P_i R_i, \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – характеризует важность (значимость) параметра  $Y_i$  ( $i=\overline{1,q}$ ) при принятии данного решения;

$P_i$  – характеризует вероятность своевременного получения  $Y_i$  ( $i=\overline{1,q}$ ) параметра управления (вероятность своевременного получения результатов моделирования за время, меньшее чем располагаемое по каждому  $i$ -му параметру управления) для принятия данного решения;

$R_i$  – характеризует достоверность определения параметра управления  $Y_i$  ( $i=\overline{1,q}$ ).

В первом приближении величина  $F$  характеризует вклад разрабатываемой модели в сокращение потерь эффективности по всем  $q$  параметрам управления  $Y_i$ , используемым для принятия решения.

Более детально рассмотрим подход к оценке каждого из частных показателей, входящих в выражение (1).

Так как разрабатываемая ММ будет использоваться для поддержки принятия ответственных решений по управлению быстро развивающимися процессами современных БД, одной из важнейших ее характеристик является показатель оперативности. В целях его оценки рассмотрим процесс выполнения и окончания моделирования (получения результатов) на ЭВМ в терминах событий.

Пусть событие  $A$  заключается в том, что результат моделирования, определяющий получение параметров управления  $Y_i$  в момент времени  $t$ , не превосходит величины  $t+\Delta t$ , т. е.

$$A: \xi \leq t + \Delta t,$$

где  $\xi$  – случайная величина времени (момент) окончания моделирования.

Событие  $B$  заключается в том, что результат моделирования получен на интервале времени, превосходящем  $t$ , т. е.

$$B: \xi > t.$$

Тогда событие  $A \cap B$  заключается в том, что время окончания моделирования лежит в пределах

$$A \cap B: t < \xi \leq t + \Delta t.$$

Воспользуемся известным выражением [4]

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

и оценим условную вероятность  $P(A/B)$  получения решения (окончания моделирования) на интервале  $\Delta t$  при условии, что до момента  $t$  моделирование еще не было окончено:

$$P(A/B) = \frac{P(t < \xi \leq t + \Delta t)}{P(\xi > t)} = \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{1 - P(t)}.$$

Рассмотрим предел отношения

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t + \Delta t) - P(t)}{\Delta t [1 - P(t)]},$$

характеризующий вероятность  $P(t)$  получения решения (окончания моделирования) в момент времени  $t$ . Предположим, что предел существует и равен некоторой величине  $\mu$ , тогда

$$\mu = \frac{\dot{P}(t)}{1 - P(t)},$$

откуда после интегрирования находим

$$P(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu dt}. \quad (2)$$

В этом случае величина

$$\mu = 1/T_{\text{cp}} \quad (3)$$

может иметь смысл интенсивности [2] получения результатов моделирования, а время  $T_{\text{cp}}$  – среднего значения времени моделирования.

При условии постоянного значения  $T_{\text{cp}}$  выражение (2) принимает вид

$$P(t) = 1 - e^{-t/T_{\text{cp}}}. \quad (4)$$

О показателе оперативности следует говорить в первую очередь для имитационно-статистических моделей. Именно они требуют больших вычислительных ресурсов на проведение многовариантных вычислений, значительного времени на подготовку исходных данных и обработку получаемых результатов. В этой связи в процессе моделирования (т. е. в процессе получения параметров управления  $Y_i$ ,  $i = \overline{1, q}$ ) можно выделить следующие составляющие среднего значения времени моделирования  $T_{\text{cp}}$ :

среднее время ввода исходных данных по одному варианту  $T_{\text{в.в}}$ ;

среднее время счета (реализации ММ) по одному варианту исходных данных  $T_{\text{сч}}$ ;

среднее время выдачи результатов по одному варианту исходных данных  $T_{\text{выд}}$ ;

среднее время анализа результатов, полученных по одному варианту исходных данных  $T_{\text{ан}}$ ;

среднее время одного прогона (для имитационной модели)  $T_{\text{пр}}$ .

Количество обозреваемых при моделировании вариантов  $n_{\text{в}}$  зависит от используемого метода поиска решения с помощью рассматриваемой модели и может изменяться в пределах от 1 до  $n_{\text{в}}$  или  $n_{\text{п}}$  – полного числа перебираемых вариантов исходных данных, необходимого, например, при использовании метода прямого перебора.

Время счета по каждому из анализируемых вариантов зависит от типа модели и принимает значение:

$$T_{\text{сч}} = \begin{cases} n_{\text{н}} \cdot T_{\text{пр}} & \text{— модель имитационно-статистическая;} \\ T_{\text{пр}} & \text{— модель аналитическая,} \end{cases} \quad (5)$$

где  $n_{\text{н}}$  – необходимое число прогонов модели для получения устойчивых статистических результатов по рассматриваемому параметру управления  $Y_i$  (принимается из требования получения статистически устойчивых результатов с заданной доверительной вероятностью). Поясним это.

С учетом того, что имитационно-статистическая модель, как правило, достаточно детальная и позволяет получать совокупность управляющих параметров  $Y_i$  ( $i=\overline{1,q}$ ), следует различать оперативность имитационно-статистической модели по всем параметрам (т. е. оперативность всей модели) и оперативность модели по конкретному параметру управления  $Y_i$ . Для каждого оцениваемого параметра управления время счета может быть разным, так как для получения статистически устойчивых результатов моделирования в рамках имитационно-статистической модели число ее реализаций может быть разным [4]. Если исходить из того, что имитационно-статистическая модель должна обеспечить своевременное получение всех  $Y_i$  ( $i=\overline{1,q}$ ) параметров управления, то показатель оперативности для всей ММ составит  $P(t) = \max_i (P_i)$ ,  $i = 1, \dots, q$ .

Что касается других типов моделей (неимитационно-статистических), то показатель оперативности также оценивается по некоторому множеству допустимых вариантов. Лицо, принимающее решение (читай командир), или группа лиц (штаб) с помощью модели проводят исследования некоторого множества допустимых вариантов действий и выбирают лучший. Поэтому полученные соотношения (3) и (4) будут справедливы и для этих случаев с той лишь разницей, что число реализаций в выражении (5) принимается равным числу моделируемых при этом вариантов решений.

В общем случае значение среднего времени моделирования примет вид

$$T_{\text{ср}} = T_{\text{в.в}} + T_{\text{сч}} + T_{\text{выд}} + T_{\text{ан}}. \quad (6)$$

Полученные зависимости (4), (5) и (6) позволяют сформировать требования к модели по общему показателю ее оперативности  $P$  на основе знаний о составляющих  $P_i$ ,  $i = 1, \dots, q$ .

Анализируя имеющиеся подходы к возможному описанию сложных многомерных процессов, подлежащих управлению в военных системах, следует отметить наличие большого их разнообразия по применяемым математическим методам, приемам учета динамики развития событий, влияющих на ход и исход БД, по способам учета влияния случайных механизмов, способам выделения основных (значимых) и второстепенных (малозначимых) факторов, уровню детализации и обобщения описания, выбору параметров управления, принципам воспроизведения модели на ЭВМ и т. п. [3]. Все это приводит к тому, что на практике для одного и того же процесса может быть создано несколько различных моделей. При этом учет основных факторов, определяющих выбор того или иного решения, может осуществляться по-разному. В этой связи достоверность получаемых результатов также может отличаться.

Рассмотрим подход к оценке показателя  $R_i$ ,  $i = 1, \dots, q$ , характеризующего *достоверность* определения  $i$ -го параметра управления  $Y_i$ , получаемого с помощью конкретной ММ.

Пусть модель обеспечивает определение одного из  $q$  параметров управления, значение которого должно быть равным величине  $I$ . Однако по причине неточностей и ошибок в исходной информации, а также с методическими погрешностями отражения



воспроизводимого процесса в модели и в связи с ограниченным числом реализаций (для имитационно-статистических моделей), полученное с помощью модели значение  $X$  параметра управления может отличаться от искомого значения  $I$ . В первом приближении можно считать, что причины расхождений независимо сказываются на результатах моделирования и систематическая ошибка отсутствует. Тогда на выходе модели случайное отклонение значения  $X$  от истинного (среднего) значения  $I$  оценивается дисперсией

$$\sigma_x^2 = \sigma_{н.д}^2 + \sigma_{мет}^2 + \sigma_{ч.р}^2 \quad (7)$$

выходного результата, определяемой ошибками в исходных данных ( $\sigma_{н.д}$ ), методическими погрешностями ( $\sigma_{мет}$ ) и для имитационно-статистических моделей ограниченным числом реализаций ( $\sigma_{ч.р}$ ).

Для оценки возникающих в связи с такой неточностью потерь  $\Pi$ , эффективности принятого решения предположим, что величина потерь линейно зависит от модуля разности  $|I - X|$  и составит  $C_0$  единиц эффективности на единицу параметра  $I$ . В силу случайности определяемого значения  $X$  параметра управления для каждого варианта условий можно предположить, что величина  $X$  имеет функцию плотности распределения  $f(X)$  с математическим ожиданием  $m_x$  и дисперсией  $\sigma_x^2$ . Тогда математическое ожидание потерь эффективности  $\Pi$ , за счет случайного характера определяемого значения параметра управления равно

$$\Pi_0(I) = C_0 \int_{-\infty}^{\infty} (I - X) f(X) dx$$

Для определенности положим

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}$$

Перейдем к центрированной случайной величине  $\rho = \frac{x-m_x}{\sigma_x}$ , для которой  $m_\rho = 0$ ,  $\sigma_\rho = 1$

и  $f(\rho) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\rho^2}{2}}$ . Тогда  $f(x) = \frac{1}{\sigma_x} f(\rho)$ . В свою очередь,  $x = \rho \sigma_x + m_x$  и  $dx = \sigma_x d\rho$ .

Можно записать

$$\Pi_0(I) = C_0 \int_{-\infty}^{\infty} (I - \rho \sigma_x - m_x) f(\rho) d\rho = C_0 \left[ (I - m_x) \sigma_x - \frac{\sigma_x}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\rho^2}{2}} d\frac{\rho^2}{2} \right] = C_0 (I - m_x) \sigma_x \quad (8)$$

Из полученных оценок следует, что наименьшие потери ( $\Pi_0 = 0$ ) обеспечиваются при  $I = m_x$ .

Из определения показателя степени достоверности результатов  $R$ , получаемых с помощью разрабатываемой ММ, следует [2]:

$$R = \frac{\Pi_0 - \Pi_M}{\Pi_M^н} \quad (9)$$

где  $\Pi_0$ ,  $\Pi_M$ ,  $\Pi_M^н$  – потери эффективности по рассматриваемому параметру управления  $Y$  без использования модели, при использовании модели и идеальной модели соответственно.

Учитывая выражение (8), получим

$$R = \frac{\sigma_0 - \sigma_M}{\sigma_{н.м}} \quad (10)$$

где  $\sigma_{\sigma}^2$ ,  $\sigma_m^2$  и  $\sigma_{н.м}$  – соответственно дисперсия искомого значения параметра управления без использования модели, с применением модели, при использовании идеальной модели.

Рассмотрим составляющие выражения (10).

Очевидно, что для идеальной модели можно принять  $\sigma_{мет}^2 = \sigma_{ч.р}^2 = 0$ . Тогда суммарная дисперсия (7) для идеальной модели определяется только ошибками в исходных данных  $\sigma_{н.м}^2 = \sigma_{н.д}^2$ .

Если никакая модель не используется и имеется некоторая априорная информация о возможном значении искомого параметра (она характеризуется дисперсией  $\sigma_{апр}^2$ ), величина  $\sigma_{\sigma}^2$  может быть найдена

$$\sigma_{\sigma}^2 = \sigma_{н.д}^2 + \sigma_{апр}^2.$$

Выражение для показателя достоверности (10) примет вид

$$R = \frac{\sqrt{\sigma_{н.д}^2 + \sigma_{апр}^2} - \sqrt{\sigma_{н.д}^2 + \sigma_{мет}^2 + \sigma_{ч.р}^2}}{\sigma_{н.д}} = \sqrt{1 + \sigma_{апр}^2 / \sigma_{н.д}^2} - \sqrt{1 + \sigma_{мет}^2 / \sigma_{н.д}^2 + \sigma_{ч.р}^2 / \sigma_{н.д}^2}. \quad (11)$$

Обратим внимание, что повышение степени адекватности модели сопровождается уменьшением  $\sigma_{мет}^2$ . Поэтому величину

$$W = \frac{\sigma_{мет}^2}{\sigma_{н.д}^2} \quad (12)$$

можно принять за показатель степени *адекватности* модели реальному процессу. При этом чем лучше модель, тем меньше значение показателя  $W$ .

Рассмотрим подход к оценке степени адекватности модели  $W$ . Очевидно, что эта величина зависит от числа учитываемых в ней факторов и способа их учета. Обратим внимание, что в соответствии с постулатами теории моделирования [1] учесть все факторы, влияющие на ход и исход моделируемого процесса, не представляется возможным, поэтому при синтезе ММ выбирается некоторое множество наиболее значимых факторов. Но учет значимых факторов, от которых зависит  $q$ -й параметр управления, может быть выполнен по-разному. На практике используются следующие способы учета значимых факторов: непосредственный учет, учет с помощью простого обобщения, учет с помощью функционального обобщения, косвенный (неявный) учет [2].

Примером непосредственного учета такого фактора, как возможность поражения конкретной цели конкретным оружием в конкретных условиях стрельбы при оценке эффективности поражения ее (цели) может быть вероятность поражения, принятая из таблиц стрельбы. Эта же вероятность, но принятая для некоторой типовой цели (объединяющей некоторое множество близких по устойчивости к поражающим факторам данного боеприпаса), уже представляет собой пример простого обобщения. Примером функционального обобщения является: при оценке математического ожидания числа пораженных элементов в составе групповой цели в результате огневого воздействия по ней учет возможности поражения типовой цели, используя при этом вероятность поражения типовой элементарной цели.

Пусть при определении рассчитываемого в модели параметра управления  $Y$  выбраны  $L$  значимых факторов  $\Phi_j$  ( $j = \overline{1, L}$ ). Используя метод линеаризации [4], оценим суммарную дисперсию  $\sigma_{н.д}^2$  рассчитываемого параметра  $Y$ , которая является следствием неточности в исходных данных:

$$\sigma_{н.д}^2 = \sum_{j=1}^L \left( \frac{dY}{d\Phi_j} \right)^2 \cdot \sigma_{н.д\Phi_j}^2 = \sum_{j=1}^L V_j^2 \sigma_{н.д\Phi_j}^2,$$

где  $V_j = \frac{dY}{d\Phi_j}$ ;

$\sigma_{\text{н.д}\Phi}^2$  – дисперсия выходного результата, определяемая ошибками в исходных данных фактора  $\Phi_j$ .

Пусть из всех  $L$  значимых факторов  $\Phi_j (j = \overline{1, L})$  в модели непосредственно учтены первые наиболее важные  $K$ . Так как оставшиеся  $L-K$  факторы в модели учтены обобщенно, то оценка дисперсии, обусловленной методическими погрешностями обобщенного учета, может быть записана

$$\sigma_{\text{мет}}^2 = \sum_{j=K+1}^L V_j^2 \sigma_{mj}^2.$$

Тогда величина адекватности модели (12) примет значение

$$W = \frac{\sigma_{\text{мет}}^2}{\sigma_{\text{н.д}}^2} = \frac{\sum_{j=K+1}^L V_j^2 \sigma_{mj}^2}{\sum_{j=1}^L V_j^2 \sigma_{\text{н.д}\Phi_j}^2}.$$

Для практических расчетов можно воспользоваться выражением

$$W = \beta \sum_{j=K+1}^L \alpha_j, \quad (13)$$

где  $\beta$  – коэффициент обобщения, зависящий от способа обобщения в модели учитываемых факторов;

$\alpha_j$  – вес каждого из  $K$  непосредственно учитываемых в модели факторов, рассчитываемый в соответствии с [2]:

$$\alpha_j = \frac{V_j^2 \langle \Phi_j \rangle^2}{\sum_{j=1}^L V_j^2 \langle \Phi_j \rangle^2}, \quad j = \overline{1, k},$$

где  $\langle \Phi_j \rangle$  – среднее значение  $j$ -го фактора.

Значение веса  $\alpha_j$  также может быть определено экспертным методом для каждого фактора шкалы значимости.

Не останавливаясь на особенностях математического аппарата, с помощью которого выполняется формализация моделируемого процесса, учет каждого фактора характеризуется своим значением коэффициента обобщения  $\beta$ . На практике используются следующие значения этого коэффициента [2]:

$$\beta_r = \begin{cases} 0 & \text{– при непосредственном учете фактора } (r=1); \\ 0,4-0,49 & \text{– при простом обобщении } (r=2); \\ 0,6 & \text{– при функциональном обобщении } (r=3); \\ 1,06-1,6 & \text{– при косвенном или неявном учете фактора } (r=4). \end{cases}$$

В этом случае выражение (13) может быть представлено как

$$W = \sum_{r=1}^4 \beta_r \sum_{j \in q_r} \alpha_j,$$

где  $q_r$  – множество параметров, включенных в модель с учетом  $r$ -го метода обобщения.

Аналогичные оценки проводятся для всех остальных параметров управления  $Y_i$ ,  $i = 1, \dots, q$ . При этом совокупность величин  $W\{w_1, \dots, w_q\}$  характеризует степень адекватности модели по каждому из них.

Предложенный методический подход обеспечивает выработку обоснованных и объективных требований к разрабатываемой ММ. Он может найти применение в организациях, заказывающих разработку математического и программного обеспечения для систем поддержки принятия решений и управления. В этом случае после создания ММ следует оценить вышеприведенные количественные показатели (достоверность, адекватность и оперативность получаемых результатов) и принять решение о ее соответствии предварительно сформированным требованиям.

#### Список литературы

1. Булойчик, В. М. Сравнительная оценка эффективности математических моделей, включаемых в состав разрабатываемой системы моделирования военных действий / В. М. Булойчик // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 28. – С. 3–7.
2. Городнов, В. П. Моделирование боевых действий соединений и частей войск ПВО / В. П. Городнов. – Харьков: ВИРТА ПВО, 1988.
3. Булойчик, В. М. Проблемные вопросы создания специального математического и программного обеспечения центра ситуационного моделирования военного назначения / В. М. Булойчик // Первый съезд ученых Респ. Беларусь: сб. материалов, Минск, 1–2 нояб. 2007 г. – Минск: Белорус. наука, 2007. – С. 611–617.
4. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1984. – 730 с.

---

\*Сведения об авторах:

Булойчик Василий Михайлович.

УО «Военная академия Республики Беларусь»;

Рыспаев Асхат Наурызбаевич.

НУО Республики Казахстан.

Статья поступила в редакцию 09.09.2015 г.

## МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ АРТИЛЛЕРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 519.876.2

А. А. Жук\*

*Одной из наиболее перспективных форм организации процесса управления элементами сложных военных организационных систем, к которым относится и система управления артиллерийскими соединениями и частями, является подход на основе современных методов обработки информации. Материалы статьи посвящены разработке методики поддержки принятия решений боевого применения артиллерии при огневом поражении противника (ОПП) в операции (бою), отличительной особенностью которой стало использование нейросетевых и геоинформационных технологий.*

*One of the most perspective forms of the organisation of managerial process by elements of difficult military organizational systems which concerns both the control system of artillery connections and parts, is the approach on the basis of modern methods of processing of the information. Article materials are devoted working out of a technique of support of decision-making of fighting application of artillery at fire defeat of the opponent in the operation (fight) which distinctive features is use neural networks and geoinformation technology.*

Вопросам боевого применения артиллерии уделяется много внимания как в открытой, так и в специальной литературе [1–3]. Однако подавляющее большинство работ посвящено структурной оптимизации [4]. При решении рассматриваемой задачи учет многих значимых факторов в основном носит декларативный характер. При этом использование автоматизированных средств поддержки принятия решений, основанных на применении современных геоинформационных и нейросетевых технологий, не предусматривается. Как результат – заключение об оптимальности принятого решения часто носит субъективный характер. Сравнительная оценка состояния этого вопроса отражена в таблице.

Таблица. – Относительная степень автоматизации и обоснованности вырабатываемых решений боевого применения артиллерии (по данным [5])

Данные	Артиллерия ВС РФ		Полевая артиллерия США		
	оперативное объединение	бригада	армейский корпус	дивизия	бригада
Относительная степень автоматизации	0,25	0,45	0,95–1,00	0,95–1,00	0,95–1,00
Степень обоснованности вырабатываемых решений боевого применения артиллерии	0,5	0,5	0,8–0,9	0,8 – 0,9	0,8–0,9

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция к внедрению в работу штабов современных информационных технологий. Как можно судить по ряду публикаций в открытой печати [6], в Российской Федерации уже ведется разработка систем поддержки принятия решения (СППР) на ведение боевых действий. Необходимо также отметить, что в вооруженных силах государств – членов блока НАТО подобные системы поддержки принятия решения уже достаточно долго используются в процессе планирования, подготовки и ведения боевых действий [7].

Опыт применения традиционных алгоритмов обработки информации и управления свидетельствует, что с увеличением числа учитываемых факторов и условий обстановки

точность полученных решений возрастает, однако это приводит к существенным, зачастую неприемлемым, временным затратам.

Таким образом, наблюдается противоречие между необходимостью обеспечить одновременно быстродействие и достоверность принимаемых решений. Данный факт существенно сужает область применения существующих подходов для обработки информации задач боевого управления и боевого применения. Выходом из этой противоречивой ситуации может быть использование современной нейросетевой технологии, обеспечивающей наибольшее распараллеливание вычислений и предоставляющей эффективные алгоритмы решения многих плохо формализуемых задач, а также геоинформационной технологии, алгоритмы которой обеспечивают ее адекватное и осмысленное восприятие при отображении данных обстановки. Такой подход предопределяет внедрение в процесс принятия решения приложений, основанных на нейросетевой и геоинформационной технологиях.

Основное назначение геоинформационных технологий заключается в следующем:

1. Имеется возможность формировать модель операции (боевых действий) с учетом реальных пространственно распределенных параметров среды функционирования, внешних и внутренних условий, что существенно повышает достоверность получаемых результатов.

2. Достигается возможность учета в пространстве конкретных условий функционирования того или иного объекта. Например, можно оценить плотность огневого воздействия различного оружия на каждый элементарный участок местности при определенном варианте его (оружия) размещения и применения. Тем самым существенно уменьшается сложность расчетов и одновременно обеспечивается всесторонний учет влияния различных факторов.

3. Районы боевых действий могут быть представлены в виде «многослойной» маски (модели) местных условий функционирования, зон радиоразведки и радиоподавления, зон действия различных видов оружия противника, возможных зон заражения, пространственного распределения своих войск, элементов системы управления и др.

Основу нейросетевых технологий составляет нейронная сеть (НС). Нейронная сеть формально может быть определена как совокупность простых процессорных элементов (нейронов), обладающих полностью локальным функционированием и объединенных взвешенными связями (синапсами) [8].

В настоящее время основными задачами, решаемыми при помощи НС, являются [9]:

классификация и кластеризация множества признаков пространства, распознавание образов;

извлечение ключевых характеристик, сжатие и реконструкция образов;

аппроксимация функций многих переменных с любой заданной точностью;

прогнозирование временных рядов;

ассоциативная память;

решение задач комбинаторной оптимизации;

топологически упорядоченное преобразование пространства;

решение систем нелинейных дифференциальных уравнений;

решение уравнений в частных производных и др.

Задачи комбинаторной оптимизации и аппроксимации функций многих переменных прямо связаны с задачами при принятии решений боевого применения артиллерии в операции (бою). Для этих задач, как правило, переход к нейросетевому логическому базису характерен для случаев резкого увеличения размерности пространства решения или необходимости резкого уменьшения времени решения.

Таким образом, можно утверждать, что применение нейросетевых и геоинформационных технологий может существенно улучшить качество (оперативность и обоснованность) принимаемых решений в современных условиях подготовки и ведения боевых действий (операций), тем самым значительно повысив эффективность боевого применения артиллерии.

Поскольку в войсках отсутствуют доведенные до практической реализации методики и средства поддержки принятия решений боевого применения артиллерии, ниже

рассмотрены подходы к решению таких этапов рассматриваемой задачи, как автоматизированная оценка показателей эффективности выполнения задач огневого поражения и определение рационального распределения огня артиллерии.

В соответствии с вышеизложенным для реализации в виде специализированных модулей программного обеспечения СППР разработаны нейросетевые модели по оценке эффективности выполнения задач огневого поражения и рационального распределения огня артиллерии [10].

Данные модули в совокупности с последовательностью действий по их применению составляют методику поддержки принятия решений боевого применения артиллерии при ОПП в операции (бою). Методика определяет направления решения оперативно-тактических задач оптимизации процесса управления. Ее использование основывается на принципах системного анализа, где соблюдается такая последовательность действий, при которой предыдущие результаты служат исходными данными для последующих.

Основное содержание предлагаемой методики поддержки принятия решений боевого применения артиллерии при ОПП в операции (бою) заключается в следующем:

**1. Постановка задачи, определение исходных данных:**

а) нанесение оперативно-тактической обстановки на электронную карту местности (ЭКМ):

    построение боевого порядка артиллерийских подразделений в соответствии с оперативно-тактическими и топогеодезическими факторами;

    построение боевого порядка подразделений противника в соответствии с данными разведки;

    нанесение отдельных объектов противника в соответствии с оперативно-тактическими и топогеодезическими факторами;

б) определение границ района ответственности:

    нанесение границы боевого соприкосновения;

    нанесение разграничительных линий полос ответственности.

**2. Автоматизированная оценка обстановки:**

а) расчет и отображение зон разведки на ЭКМ;

б) расчет и отображение зон поражения огневых средств на ЭКМ;

в) построение матрицы возможностей артиллерийских подразделений – выделение множества приемлемых вариантов закрепления артиллерийских подразделений за объектами поражения в соответствии с оперативно-тактическими и топогеодезическими факторами;

г) определение расхода боеприпасов в соответствии с установленными нормами исходя из продолжительности огневых налетов и норм режима огня;

д) расчет показателей эффективности выполнения задач огневого поражения с помощью специализированного модуля, реализующего функционирование модульной нейронной сети (МНС), исходя из фактического наличия сил и средств, конкретных условий ведения боевых действий, а также в соответствии с матрицей возможностей.

**3. Автоматизированный выбор объектов для поражения:**

а) решение задачи рационального распределения огня артиллерии с использованием рекуррентной нейронной сети и визуализация на ЭКМ полученного решения;

б) оценка и возможная корректировка полученных результатов;

в) формализованное описание результатов и выработка предложений вышестоящему начальнику (общевойсковому командиру) о назначении артиллерийским подразделениям объектов для поражения.

Пункты 2 и 3 настоящей методики базируются на использовании специального программного обеспечения, алгоритмической основой которого являются нейросетевые модели и алгоритмы.

В первой задаче нейронная сеть обеспечивает данными решения второй части задачи, в которой синтезированная нейронная сеть используется для быстрого и эффективного распределения огневых задач артиллерии при ОПП в операции (бою).

Ниже конкретизируются основные этапы предложенной методики с точки зрения использования в ней нейросетевых модулей.

Расчет показателя эффективности выполнения задачи огневого поражения с помощью специализированного модуля, реализующего функционирование МНС (п. 2, д методики), представлен последовательностью операций:

1. Предварительная нормализация входных векторов нейронной сети: преобразование дискретных значений в битовую маску (для данных, представленных в текстовой форме);  
линейное преобразование исходных значений к диапазону от  $-1$  до  $+1$ .
2. Обучение нейронов Кохонена в соответствии с принципом обучения «без учителя».
3. Обучение нейронов сети с прямой связью в соответствии с принципом обучения «с учителем» по алгоритму обратного распространения ошибок происходит для всех пар входных обучающих векторов и соответствующего активного нейрона сети Кохонена.

Решение задачи рационального распределения огня артиллерии с использованием рекуррентной нейронной сети (п. 3, а методики) осуществляется в соответствии с предложенной последовательностью операций:

1. Первоначальные состояния всех нейронов сети проинициализировать значениями коэффициентов целевой функции.
2. Значения синоптических связей всех нейронов сети установить равными значениям случайной величины, распределенной по равномерному закону от 0 до 1.
3. Вычислить состояния нейронов сети на очередной итерации.

Согласно предложенной методике поддержки принятия решений боевого применения артиллерии при ОПП в операции (бою), программный комплекс (ПК) СППР должен обеспечивать выполнение следующих основных задач:

- автоматизация процесса построения боевого порядка группировки РВ и А на ЭКМ с учетом свойств местности;
- автоматизация процесса построения боевого порядка группировки противника на ЭКМ с учетом свойств местности;
- расчет и отображение зон разведки и поражения огневых средств на ЭКМ;
- определение потребности в артиллерийских подразделениях для нанесения огневого удара;
- определение потребности в артиллерийских боеприпасах для нанесения огневого удара;
- распределение объектов поражения по огневым налетам артиллерии;
- оценка эффективности огневого поражения противника в огневом ударе.

Поскольку большинство задач подразумевает визуализацию исходных данных, полученных решений на фоне ЭКМ, то при разработке настоящего программного комплекса встал вопрос об использовании в нем средств инструментальной ГИС. В результате проведенного анализа инструментальных ГИС [11] было принято решение о целесообразности использования в данном качестве средств ГИС «Панорама».

Структурно ПК СППР включает следующие основные модули: ракетных войск и артиллерии; противника; поражения; целераспределения; ГИС (рисунок 1).

Ядро ГИС обеспечивает организацию доступа модулей прочих компонентов к внешним данным, представленным в формате цифровой карты местности (ЦКМ), целостность и внешнее представление этих данных, выполнение основных элементарных операций с пространственными данными.



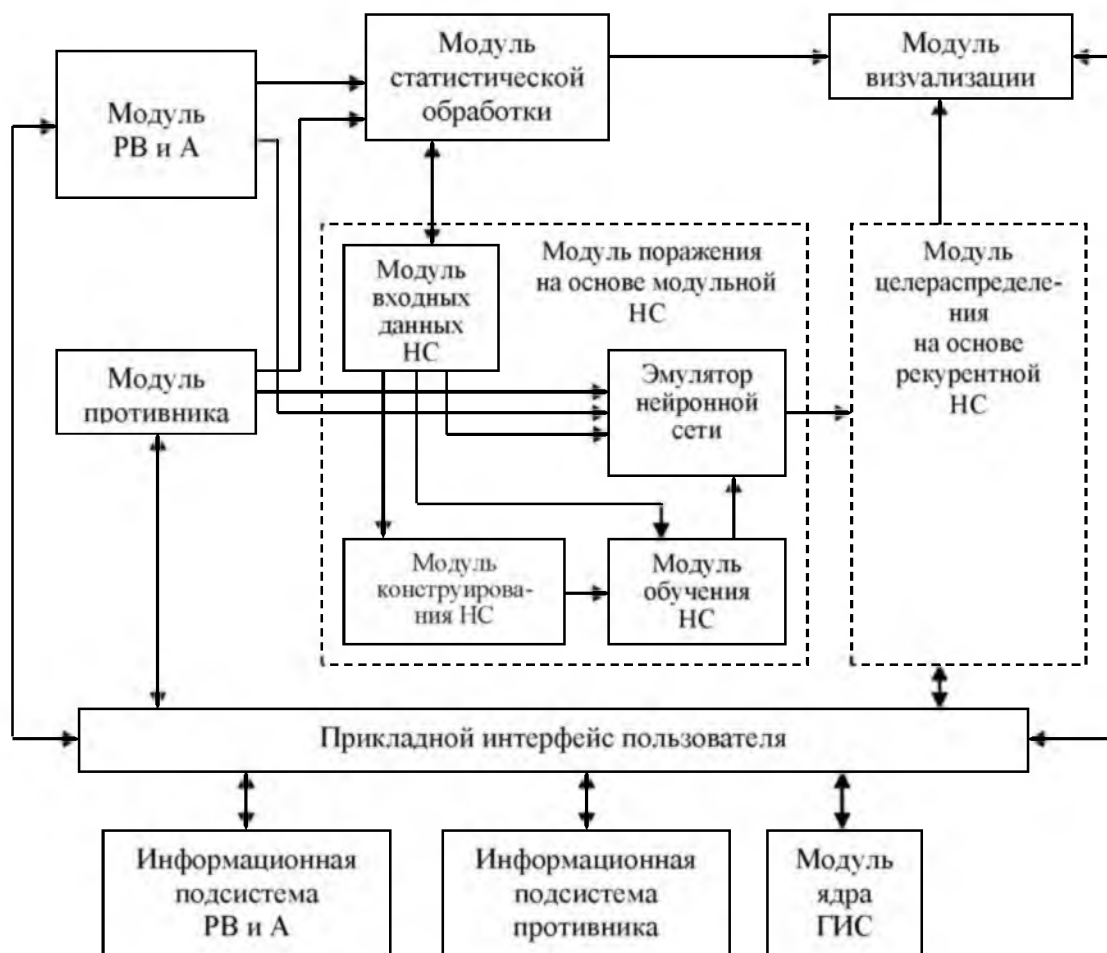


Рисунок 1. – Структурная схема ПК СППР

В базовых модулях ГИС «Панорама» реализовано выполнение типовых для ГИС-приложений операций, а именно: формирование матриц высот земной поверхности, обмен векторными и растровыми данными, преобразование форматов, стандартные диалоги системы и др.

Ядро и базовые модули ГИС «Панорама» реализованы в виде динамических библиотек, импорт функций которых выполняется с помощью интерфейса прикладного программирования (API – Application Programming Interface) в среде Delphi, Visual Basic, Borland C++ Builder и др.

В рассматриваемом программном комплексе в модулях прикладных задач реализованы следующие модули.

*Модуль поражения*, предназначенный:

для генерации структуры НС с заданной архитектурой (количество слоев, размерность и количество нейронных плоскостей в слое, размер рецептивного поля), которая может быть определена как пользователем, так и автоматически;

генерации и управления обучающей выборкой в интерактивном режиме на основе входных данных путем включения в состав соответствующих классов;

обучения МНС с использованием одного из алгоритмов обучения, определенных пользователем;

имитации параллельной обработки информации в НС на персональном компьютере фоннеймановской архитектуры типа IBM PC для оценивания результатов выполнения отдельных огневых задач артиллерии.

*Модуль целераспределения* используется для формирования квазиоптимального варианта распределения огневых задач артиллерии.

*Модуль визуализации* предназначен для отображения результатов работы модулей прикладных задач на фоне ЭКМ.

*Модуль статистической обработки* позволяет получить статистические данные для обучения МНС.

*Прикладной интерфейс пользователя* представляет собой стандартный многооконный Windows-интерфейс, который дает возможность пользователю посредством стандартных элементов управления операционной системы организовывать функционирование программного комплекса в соответствии с поставленной целью.

Для экспериментальных исследований данной методики в качестве исходных данных использовались сведения, применявшиеся при разработке планов штабом РВ и А, группой планирования и управления огнем поражением, а полученные при этом по существующей методике варианты распределения огневых задач артиллерии использовались для сравнительной оценки эффективности предлагаемой методики и составляющих ее алгоритмов (рисунки 2–4).

Исходя из необходимости обеспечения выполнения задач ОПП с требуемым уровнем ущерба в качестве примера проведения эксперимента рассматривалась задача распределения огневых задач артиллерии при планировании огневого удара.

Кроме того, апробация результатов проводилась при наличии следующих требований и ограничений:

в качестве программно-аппаратных средств рассматриваются ПЭВМ типовой конфигурации под управлением ОС семейства MS Windows;

пространственные данные о местности представлены в виде ЦКМ наиболее распространенных на территории Республики Беларусь форматов (SXF, F20S) и обрабатываются с помощью средств ГИС «Панорама».

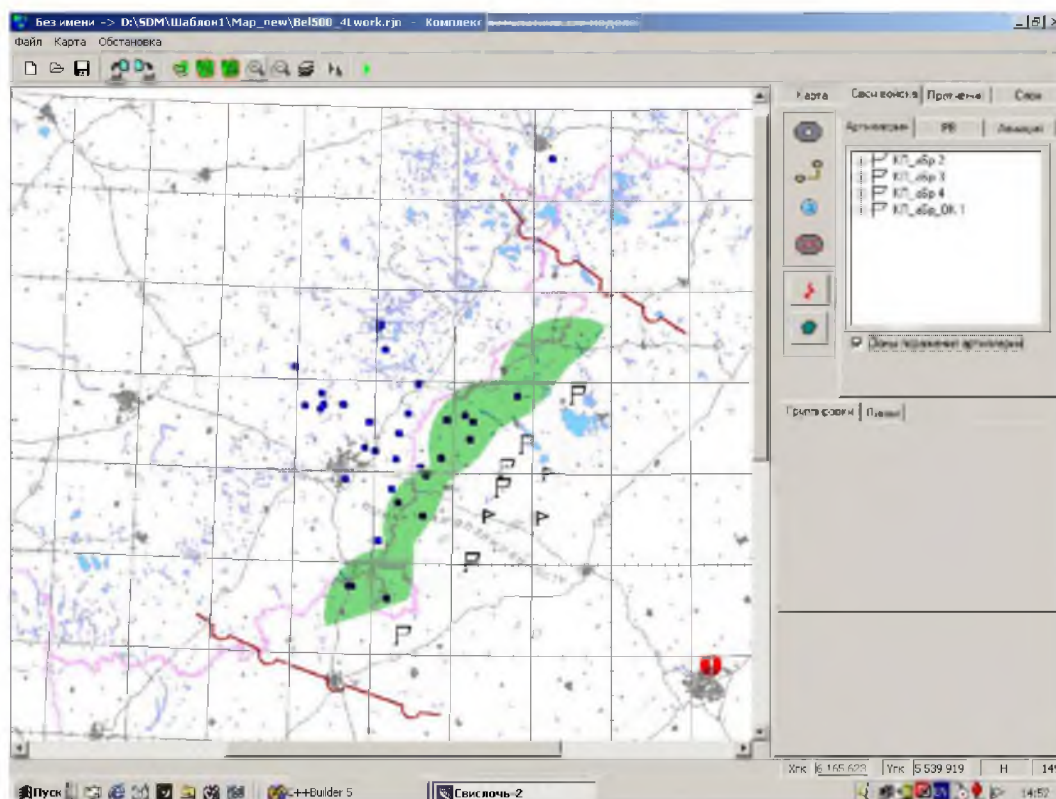


Рисунок 2. – Отображение оперативно-тактической обстановки

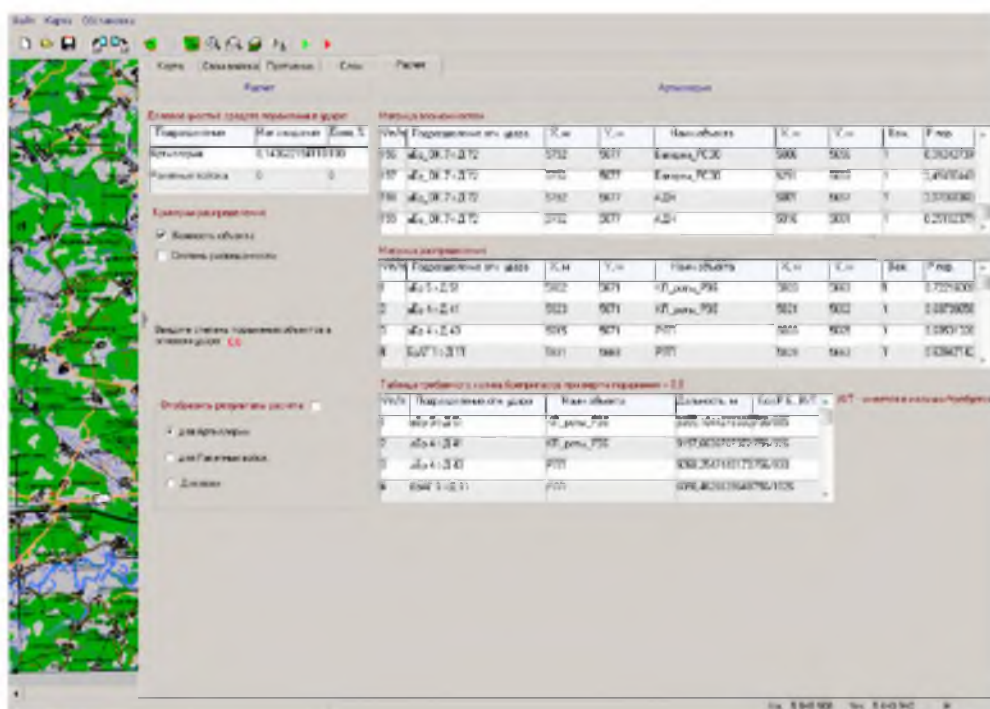


Рисунок 3. – Результат распределения в виде матрицы

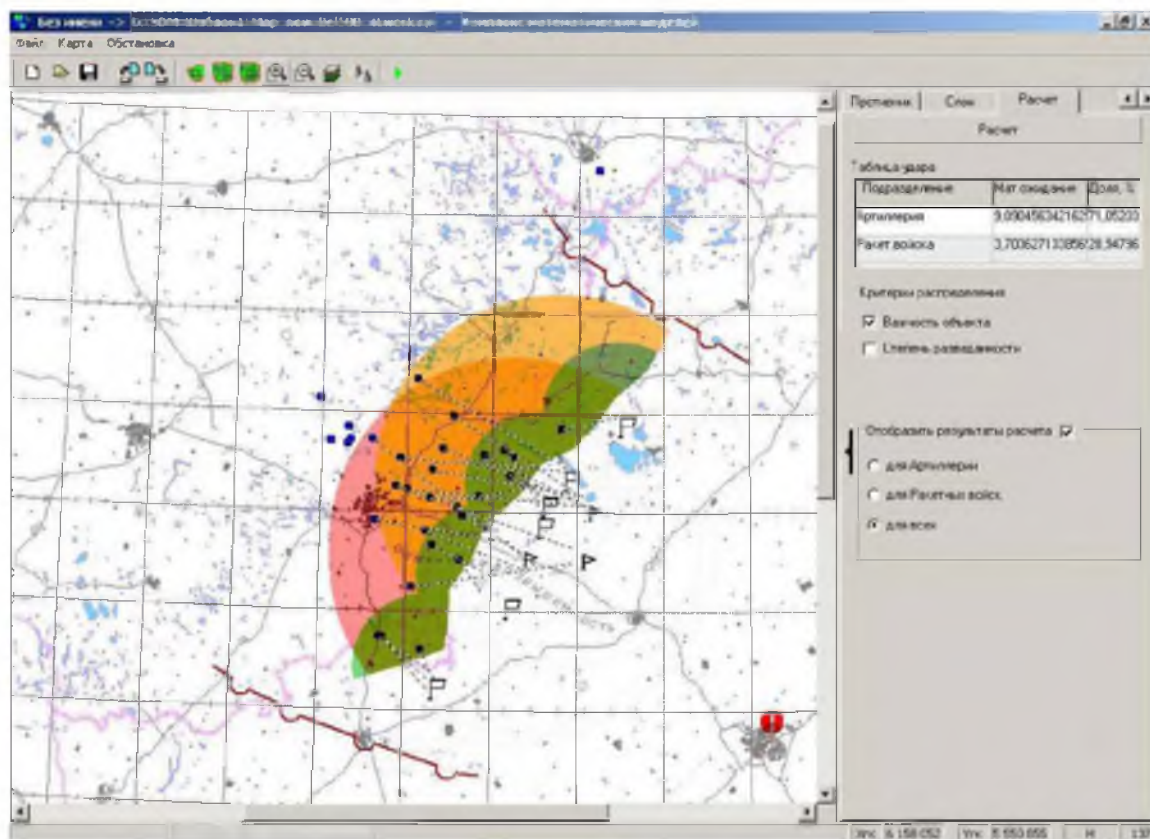


Рисунок 4. – Отображение результата распределения огневых задач

Результаты проведенных экспериментальных исследований показывают, что применение предлагаемой методики при принятии решений боевого применения артиллерии на основе СППР с использованием нейросетевых и геоинформационных технологий позволяет:

при заблаговременном вводе исходных данных сократить время принятия решений боевого применения артиллерии при ОГП в 3,0–3,3 раза;  
увеличить наносимый противнику ущерб в 1,4–1,5 раза;  
сократить расход артиллерийских боеприпасов для поражения противника на 10–15 %.

Таким образом, использование предлагаемой методики повышает оперативность управления силами и средствами артиллерийских соединений при ОГП, а также обеспечивает оптимальность принимаемых должностными лицами решений по наносимому противнику ущербу.

#### Список литературы

1. Сиявский, В. К. Боевое применение ракетных войск и артиллерии в операциях оперативных объединений / В. К. Сиявский // Воен.-теорет. труд. – Минск: ГШ ВС, 2003.
2. Шипицкий, М. В. Боевое применение РВиА во фронтовых и армейских операциях / М. В. Шипицкий // Воен.-теорет. труд. – Л., 1990. – 185 с.
3. Черныш, А. Я. Боевое применение ракетных войск и артиллерии в оборонительных операциях общевойсковых объединений / А. Я. Черныш. – М.: ВА ГШ, 2001. – 110 с.
4. Сиявский, В. К. Метод оптимизации количественного состава должностных лиц и организации работы органов военного управления объединений / В. К. Сиявский // Воен. радиоэлектроника. – СПб. – 2000 – № 6. – С. 51–58.
5. Автоматизация решения задач управления в армиях ведущих зарубежных стран: отчет о НИР / Воен. арт. акад.; рук. темы В. А. Кежаев. – СПб., 1995. – 84 с.
6. Грачев, И. А. Информационные технологии в автоматизированных системах военного назначения / И. А. Грачев, В. Н. Каргин // Воен. мысль. – 2001. – № 6. – С. 19–22.
7. Bowley, J. NATO Exercise Northern Light 03 uses ChartLink for the REP [Electronic resouse] / TENET Defense Ltd. – Mode of access: <http://www.tenet-defence.com/press/dpsd01503.htm>. – Date of access: 08.09.2014.
8. Калан, Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Калан. – М.: Вильямс, 2001. – 287 с.
9. Галушкин, А. И. Теория нейронных сетей: в 3 т. / А. И. Галушкин. – М.: ИПРЖР, 2000. – Т. 1–3.
10. Разработка методики синтеза нейронечеткой модели выбора значений показателей эффективности стрельбы боеприпасами общего назначения: отчет о НИР (шифр «Палик») / УО «ВА РБ»; рук. темы В. М. Булойчик. – Минск, 2014. – 84 с. – Инв. № 1918/14.
11. Гуральчик, А. М. Геоинформационные системы: вопросы разработки / А. М. Гуральчик // Воен. мысль. – 2004. – № 6. – С. 22–27.

---

\*Сведения об авторе:

Жук Андрей Александрович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 27.07.2015 г.



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФОРТИФИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАЙОНОВ И ПОЗИЦИЙ, ЗАНИМАЕМЫХ ВОЙСКАМИ

УДК 358.2

В. В. Журавлёв, М. М. Гришкевич\*

*В данной публикации рассматриваются задачи и возможные объемы фортификационного оборудования позиций и районов войск, а также некоторые предложения по его совершенствованию.*

*This publication addresses the challenges and possible volumes of fortification equipment positions and areas of troops and some suggestions for its improvement.*

В настоящее время Республика Беларусь причислена США к странам так называемой оси зла. Представители США и других западных стран постоянно выражают свое недовольство по поводу «демократии» и соблюдения «прав человека» в нашей стране. Все вооруженные конфликты, развязанные НАТО, не выходят из колеи эффективного использования уникальных возможностей для совершенствования собственного военного дела, т. е. разработки, производства и применения нового оружия, военной техники, систем управления и разведки. В современных условиях, которые характеризуются непрерывным совершенствованием средств вооруженной борьбы, высокой степенью готовности войск вероятного противника, его возросшими возможностями по применению средств поражения в сочетании с увеличением плотности и точности их воздействия, возникает все большая зависимость боеспособности войск от мероприятий по их защите и повышению эффективности применения вооружения. Среди этих мероприятий фортификационное оборудование является одной из наиболее сложных и важных задач инженерного обеспечения. Фортификационное оборудование позиций и районов расположения частей и подразделений, районов развертывания пунктов управления проводится в любых условиях обстановки, непрерывно, с максимальным использованием защитных и маскирующих свойств местности. При необходимости к фортификационному оборудованию оборонительных рубежей может привлекаться местное население [1].

По опыту учений, проводимых в последние годы странами НАТО, продолжительность непрерывного огневого воздействия может составлять 50–60 мин и более. В интересах достижения внезапности в период выдвижения соединений и частей первых эшелонов на рубеж атаки и до перехода их в наступление предусматривается широкое применение высокоточного оружия. Динамика применения высокоточного оружия в военных конфликтах представлена на гистограмме (рисунок 1).

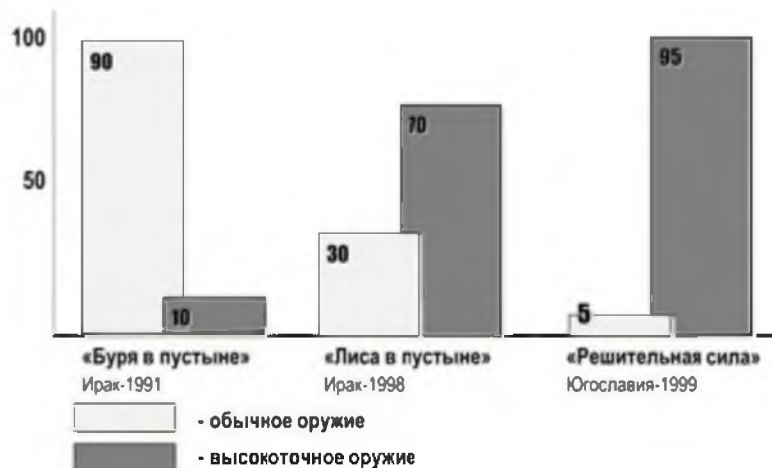


Рисунок 1. – Анализ соотношения обычного оружия к ВТО

Анализ данной динамики показывает возросшую роль применения высокоточного оружия.

При таком воздействии на всю глубину обороны и достигаемых плотностей огня (160–240 сн/га, из которых до 50 % может быть с взрывателем замедленного действия) следует ожидать прямого попадания артиллерийских снарядов в блиндажи и убежища, грунтовая толща которых не обеспечивает защиту от данного воздействия.

Опыт оборонительных операций, особенно периода Великой Отечественной войны, послевоенных учений и научных исследований убедительно свидетельствует о необходимости фортификационного оборудования местности на всю глубину обороны. Так, в битве под Курском (1943 г.) в армиях Воронежского и Центрального фронтов было возведено три полосы обороны: первая (главная) полоса, вторая полоса и тыловая армейская полоса (армейский оборонительный рубеж). В целом в оборонительной операции под Курском с учетом фронтовых и государственных оборонительных рубежей фортификационное оборудование местности было осуществлено на глубину до 200 км.

Всего на Курском выступе на трех армейских рубежах Воронежского и Центрального фронтов было возведено около 40 тыс. одиночных и парных стрелковых окопов, более 26 тыс. окопов для ПТР, 37 тыс. окопов для пулеметов, 47 тыс. окопов для артиллерии и минометов, а также открыто около 5 тыс. км траншей и ходов сообщений [2].

Развитая система оборонительных полос и сооружений на них способствовала нанесению значительных потерь в живой силе и технике наступающим фашистским группировкам.

Фортификационное оборудование в современных условиях осуществляется для обеспечения наиболее эффективного и полного использования боевых возможностей оружия и техники, повышения защиты войск и объектов от обычных средств, в том числе автоматизированных систем высокоточного оружия. Оно должно осуществляться войсками постоянно, при подготовке и в ходе боевых действий, с максимальным использованием защитных и маскирующих свойств местности, местных материалов, инженерной техники, зарядов взрывчатых веществ, сборных сооружений и конструкций промышленного изготовления. Основные усилия сосредоточиваются на фортификационном оборудовании районов развертывания пунктов управления, оборонительных рубежей (полос) на главном направлении и позиционных районов.

Эффективность фортификационного оборудования оценивается повышением результативности применения огневых средств и защиты войск. Так, танк в окопе имеет двойное превосходство перед атакующим его танком по дальности прямого выстрела в цель и может успешно вести борьбу с 3–4 наступающими танками.

Характерным для современных условий является резкое возрастание роли закрытых сооружений для защиты личного состава и перекрытий из различных материалов (в том числе грунтовых экранов) над окопами и укрытиями для вооружения и техники.

Опыт войсковых учений, ведения боевых действий в зоне Персидского залива показывает, что наибольшие потери от средств поражения противника будут иметь в период маскированных огневых ударов и огневой подготовки при переходе противника в наступление. В связи с этим для сохранения боеспособности воинских частей к началу наступления противника необходимо оборудовать те позиции и районы, в которых войска будут находиться в период подготовки оборонительного боя: позиции подразделений прикрытия, основные позиции и районы обороны, основные позиционные районы подразделений ПВО, районы огневых позиций артиллерии, сосредоточения вторых эшелонов и резервов, места устройства засад, основные районы развертывания пунктов управления.

Анализ возможностей воинских частей по фортификационному оборудованию позиций и районов показывает, что для выполнения задач первой очереди требуется 2,5–3 суток, а для оборудования в объеме задач второй очереди, обеспечивающей сохранение боеспособности – 6,5–8 суток. При этом главной целью фортификационного оборудования районов сосредоточения вторых эшелонов и резервов является сохранение их боевого потенциала.

Поэтому основу их фортификационного оборудования составляют укрытия для боевой техники, личного состава и материальных средств: окопы и укрытия котлованного типа, перекрытые щели с блиндажами. Более того, укрытия для личного состава могут устраиваться увеличенной вместимости, так как подразделения располагаются на меньшей площади, чем на позициях. В подразделениях ПВО и боевого охранения оборудуются позиции для ведения боя [4].

В связи с этим возникает необходимость фортификационного оборудования ППД и прилегающих к ним учебных полей (центров), так как они вписываются в общую систему оборонительных рубежей и районов и будут заниматься войсками в случае упреждения противником в развертывании. На учебных полях наиболее целесообразно оборудовать отдельные батальонные районы обороны (БРО), огневые (стартовые) позиции артиллерии (ПВО) в полном объеме с применением долговременных фортификационных сооружений. В самих ППД прежде всего приспособляются подвалы казарм под укрытия для личного состава, оборудуются сооружения закрытого типа для пунктов управления, стартовые позиции подразделений ПВО по принципу позиций для дежурных средств.

Фортификационное оборудование позиций и районов является наиболее трудоемкой задачей из всех задач инженерного оборудования местности и требует напряженной и длительной работы всего личного состава.

Необходимо оценить эффективность применения фортификационных сооружений в различных видах боя, критерии оценки представлены на рисунке 2.



Рисунок 2. – Критерии эффективности

Если подразделение находится в районе и не ведет огневой бой, то главная цель фортификационного оборудования района – сохранить его боеспособность при нанесении ударов противником. В этом случае критерием эффективности фортификационного оборудования местности выступает степень повышения живучести подразделения за счет применения средств фортификационной защиты по сравнению с его расположением на местности, не оборудованной в фортификационном отношении, определяемая по формуле

$$K_{ф.р} = Q_{ф.о} / Q$$

где:  $K_{ф.р}$  – показатель эффективности фортификационного оборудования района сосредоточения (расположения, ожидания и т. п.);

$Q_{ф.о}$ ,  $Q$  – значения живучести подразделения после воздействия средств поражения при выполнении мероприятий по фортификационному оборудованию района и их отсутствии соответственно.

Значение живучести подразделения определяется как доля сохранившегося личного состава (техники, вооружения) в результате воздействия средств поражения противника.

Живучесть подразделения будет зависеть от типов и количества, применяемых фортификационных сооружений и их защитных свойств, доли укрываемого в них личного состава (техники и имущества) подразделения, характера воздействия средств поражения.

Тип и количество возведенных фортификационных сооружений определяется объемом выполненного фортификационного оборудования района. Защитные свойства фортификационных сооружений зависят от их конструкции и типа боеприпасов.

При действии обычных средств поражения защитные свойства фортификационных сооружений оцениваются безопасным удалением от стены сооружения взрыва боеприпаса определенного типа и калибра. Исходя из этого для каждого сооружения можно определить площадь, при попадании в которую боеприпаса сооружение выходит из строя. Эту площадь называют площадью поражения сооружения, она определяется по формуле

$$F_{\text{п}} = (a + 2R_6)(b + 2R_6),$$

где  $F_{\text{п}}$  – площадь поражения сооружения,  $\text{м}^2$ ;

$a, b$  – размеры сооружения в плане,  $\text{м}$ ;

$R_6$  – безопасное удаление взрыва от стены сооружения,  $\text{м}$ .

Вероятность непоражения сооружения при действии обычных средств зависит не только от его площади, но и от количества боеприпасов, действующих по цели. Эта величина называется плотностью воздействия. Для артиллерийского огня, ведущегося по площади, она измеряется в снарядах на гектар площади цели ( $\text{сн/га}$ ), для бомбометания по площади – в тоннах на квадратный километр площади цели ( $\text{т/км}^2$ ).

Вероятность непоражения сооружения при действии обычных средств поражения может быть определена по следующей математической зависимости:

$$q = e^{-F_{\text{п}} \cdot n},$$

где  $q$  – вероятность непоражения;

$e$  – основание натурального логарифма ( $e = 2,72$ );

$n$  – плотность воздействия.

Целью фортификационного оборудования позиции является обеспечение условий для нанесения максимальных потерь противнику. Поэтому критерием эффективности фортификационного оборудования позиции является степень повышения боевых возможностей подразделения за счет расположения личного состава и боевой техники в фортификационных сооружениях по сравнению с их открытым расположением на местности:

$$K_{\text{ф.п}} = BB_{\text{ф.о}}/BB,$$

где  $K_{\text{ф.п}}$  – показатель эффективности фортификационного оборудования позиции;

$BB_{\text{ф.о}}, BB$  – боевые возможности подразделения по поражению противника при выполнении мероприятий по фортификационному оборудованию позиции и их отсутствию.

Боевые возможности подразделения определяются как количество личного состава или огневых средств противника, уничтоженных подразделением за период боя. Повышение боевых возможностей подразделения при фортификационном оборудовании позиций определяется двумя основными факторами [8].

Во-первых, повышается живучесть личного состава и огневых средств подразделения, расположенных в фортификационных сооружениях, как в период огневой подготовки атаки противника, так и непосредственно в ходе ее отражения.

Во-вторых, повышается эффективность огня подразделения за счет расположения огневых средств в сооружениях в период отражения атаки. Например, у танка, расположенного в окопе, по сравнению с танком, расположенным открыто, уменьшается высота нулевой линии огня, что обуславливает увеличение дальности прямого выстрела; у пулемета, установленного на станке в фортификационном сооружении, повышается точность огня и т. д.

Боевые возможности подразделения можно определить как сумму пораженных целей огнем различных огневых средств с учетом их боевой эффективности и потерь от огня противника как до начала, так и в ходе отражения атаки:



$$БВ = \sum_{i=1}^k m_i B_i Q_i q_i, \quad (1)$$

где  $k$  – количество типов огневых средств подразделения;

$m_i$  – количество огневых средств  $i$ -го типа;

$B_i$  – коэффициент боевой эффективности огневого средства  $i$ -го типа;

$Q_i$  – живучесть огневого средства  $i$ -го типа до начала атаки;

$q_i$  – живучесть огневого средства  $i$ -го типа в ходе отражения атаки.

Значения величин, входящих в формулу (1), зависят от таких факторов, как: укомплектованность подразделения и протяженность фронта позиции; количество, типы применяемых фортификационных сооружений и их защитные свойства; количество и типы огневых средств противника и их плотность на единицу фронта позиции; защитные и маскирующие свойства местности, условия ее проходимости и др.

В связи с этим задача по определению боевых возможностей подразделения решается с применением математических моделей двухстороннего боя. Для ориентировочных расчетов могут использоваться усредненные показатели, полученные на основе математического моделирования боя:

$$K_{ф.п} = K_T K_3 K_0,$$

где  $K_T$ ,  $K_3$ ,  $K_0$  – коэффициенты, определяющие вклад траншей, сооружений для защиты личного состава и ведения огня, в повышение боевых возможностей подразделения.

Экономическая эффективность фортификационного оборудования позиций и районов может оцениваться стоимостью сохранившегося боевого потенциала подразделения в результате проведения мероприятий по фортификационному оборудованию местности с учетом затрат на их проведение:

$$\Delta C = C_{б.п} (Q_{ф.о} - Q) - C_{ф.о},$$

где  $\Delta C$  – показатель экономической эффективности мероприятий по фортификационному оборудованию местности, руб.;

$C_{б.п}$  – стоимость боевого потенциала подразделения, руб.;

$Q_{ф.о}$ ,  $Q$  – живучесть подразделения при проведении мероприятий по фортификационному оборудованию местности и при их отсутствии соответственно;

$C_{ф.о}$  – стоимость затрат на фортификационное оборудование местности, руб.

Если учесть, что стоимость затрат на фортификационное оборудование местности с применением полевых фортификационных сооружений не превышает 0,3 % от стоимости боевого потенциала подразделения, то в ориентировочных расчетах ее можно не учитывать.

Расчеты фортификационного оборудования позиций и районов проводятся начальниками инженерной службы и командирами подразделений при обосновании решения на организацию выполнения задач фортификационного оборудования местности в бою. При этом могут решаться следующие задачи:

1. Прогноз ожидаемых объемов фортификационного оборудования объекта, выполняемого конкретными силами в конкретных условиях и в заданные сроки.

2. Определение требуемого времени на выполнение фортификационного оборудования объекта в заданном объеме, конкретными силами в конкретных условиях.

3. Определение необходимого усиления подразделений землеройной техникой для выполнения заданных объемов фортификационного оборудования объекта конкретными силами в установленные сроки.

Суть решения всех этих задач состоит в сравнении возможностей подразделения и затрат на выполнение фортификационного оборудования объекта в конкретном объеме.

Возможности подразделения по выполнению задач фортификационного оборудования местности складываются из возможностей личного состава ( $B_л$ ) и землеройной техники ( $B_м$ ).

При этом возможности личного состава определяются в человеко-часах (чел.-ч), а возможности техники в приведенных человеко-часах (пр. чел.-ч) из расчета, что каждый куб. метр грунта, отрываемый за 1 ч, приравнивается к одному чел.-ч [4]:

$$B = B_{\text{л}} + B_{\text{м}},$$

$$B_{\text{л}} = N_{\text{л}} K_{\text{ук}} K_{\text{пр}} T_{\text{п}},$$

$$B_{\text{м}} = \sum_{i=1}^n \Pi_i m_i K_{\text{см}i} T_{\text{п}},$$

где  $N_{\text{л}}$  – штатное количество личного состава подразделения, чел.;

$K_{\text{ук}}$  – коэффициент укомплектованности подразделения личным составом;

$K_{\text{пр}}$  – коэффициент привлечения личного состава подразделения к фортификационному оборудованию позиций (районов). Он может быть принят: 0,7 – для мотострелковых, танковых, артиллерийских подразделений в обороне; 0,85 – для мотострелковых, танковых, артиллерийских подразделений в наступлении; 0,4 – для ракетных и зенитных ракетных подразделений; 0,2 – для подразделений обеспечения;

$\Pi_i$  – расчетная производительность землеройной техники  $i$ -го типа, м<sup>3</sup>/ч;

$m_i$  – количество привлекаемой землеройной техники  $i$ -го типа;

$n$  – количество типов землеройной техники;

$K_{\text{см}}$  – коэффициент сменности экипажа землеройной машины  $i$ -го типа. Он может быть принят: 1 – для машин с экипажем 1 чел.; 1,5 – для машин с экипажем 2 чел.;

$T_{\text{п}}$  – приведенное время, отводимое на фортификационное оборудование объекта, пр. чел.-ч.

Приведенное время определяется с учетом условий возведения фортификационных сооружений, которые увеличивают или уменьшают реальные возможности подразделения

$$T_n = t K_c K_r,$$

где  $t$  – фактическое время, отводимое на фортификационное оборудование объекта, принимается равным 10–12 ч/сут;

$K_c$  – коэффициент суток. Он может быть принят: 1 – при работе в светлое время суток; 0,7 – при работе в темное время суток; 0,85 – при работе днем и ночью;

$K_r$  – коэффициент, учитывающий категорию, состояние грунтов и способы их разработки.

Трудозатраты на выполнение фортификационного оборудования объекта ( $V$ ) определяются с учетом единичных нормативов ( $H_i$ ) на возведение фортификационных сооружений в средних условиях и их количество ( $K_i$ ):

$$V = \sum_{i=1}^n H_i K_i.$$

Во всем комплексе сооружения открытого типа являются единственными войсковыми фортсооружениями (ВФС), занимающими особое место из-за массовости их применения. Это обусловливается, с одной стороны, простотой устройства и меньшими затратами на их возведение по сравнению с сооружениями закрытого типа, а с другой – достаточно высокими защитными свойствами.

В последнее время сооружения открытого типа приобретают все большее значение, так как в условиях резкого сокращения сроков на подготовку боя они оказываются иногда единственными ВФС, применяемыми войсками при инженерном оборудовании занимаемых позиций и районов.

Увеличение вероятности ведения войны с применением только обычных средств поражения еще больше повышает роль сооружений открытого типа, поскольку именно от этого оружия они наиболее эффективны. Например, при плотности обстрела до 50 сна/га потери личного состава, расположенного в окопах, не будут превышать 30 %, тогда как потери личного состава на открытой местности составят до 80 %.

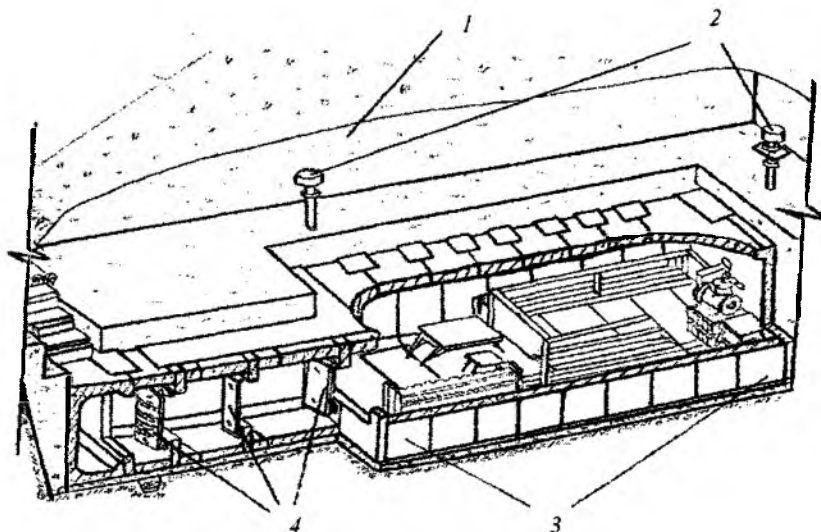
Поэтому в современных условиях целесообразно при инженерном оборудовании местности в первую очередь возводить сооружения открытого типа: окопы на отделения, окопы для танков, боевых машин пехоты, бронетранспортеров, орудий и других огневых средств, щели для личного состава, траншеи на позициях мотострелковых подразделений, укрытия для основных материальных средств.

Эффективность применения сооружений открытого типа определяется как их конструктивным решением, так и соблюдением правил размещения их на местности. При этом должны учитываться такие основные факторы местности, как рельеф, уровень грунтовых вод, тип грунта, растительность и общий рисунок местности (дороги, поля, водные источники и т. д.).

При действии обычных средств поражения наибольшими защитными свойствами обладают сооружения с небольшими размерами поверху или перекрытые. Например, площадь поражения открыто расположенного личного состава при взрыве осколочно-фугасного снаряда калибра 155 мм составляет  $650 \text{ м}^2$ , в окопе или в траншее –  $75 \text{ м}^2$ , а в перекрытых щелях –  $66 \text{ м}^2$ , т. е. площадь поражения сокращается примерно в 10 раз. При действии пуль, осколков, шариков сооружения с перекрытиями (перекрытые щели и участки траншей, козырьки и ниши) практически полностью защищают личный состав.

Таким образом, сооружения открытого типа наиболее эффективны при действии обычных средств поражения [4].

Войсковые фортификационные сооружения закрытого типа, как указывалось выше, имеют защиту со всех направлений и поэтому обладают более высокими защитными свойствами, чем сооружения открытого типа. Для обеспечения требуемых свойств фортификационные сооружения закрытого типа должны иметь защитные, несущие, ограждающие конструкции и защитные устройства (рисунок 3).



1 – защитная конструкция; 2 – защитные устройства газовоздушных каналов; 3 – несущие конструкции; 4 – защитные устройства входа

**Рисунок 3. – Основные элементы ВФС закрытого типа**

Защитные конструкции предназначены для ослабления проникающих излучений ядерного взрыва, а также исключений непосредственного воздействия удара и взрыва обычных средств поражения на несущие (ограждающие) конструкции сооружения. По своему устройству защитные конструкции могут быть однослойными или слоистыми.

В качестве однослойной защитной конструкции ВФС, как правило, применяется грунтовая обсыпка. Толщина грунтовой обсыпки определяется из условия исключения попадания несущих конструкций сооружения в зону разрушения при взрыве боеприпасов в обычном снаряжении.

Защитная грунтовая обсыпка применяется, как правило, для защиты от прямого попадания боеприпасов осколочного действия, т. е. когда взрыв происходит на поверхности обсыпки.

Слоистая защитная конструкция состоит из обсыпки, тьюфяка и распределительного слоя грунта (рисунок 4) [4].

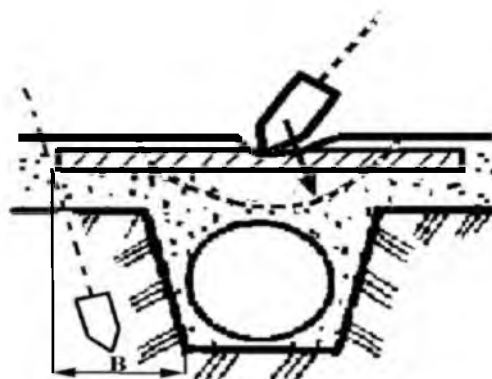


Рисунок 4. – Слоистая защитная конструкция

Тьюфяк служит для предотвращения проникания боеприпасов к несущим конструкциям сооружения. Для этого он устраивается из твердых материалов: железобетона, бетона, бутовой или каменной кладки и т. п. Размеры тьюфяка в плане принимаются больше, чем размеры сооружений, чтобы обеспечить безопасное удаление от стен взрыв боеприпаса после его проникания в грунт. Грунтовая обсыпка над тьюфяком выполняет роль маскировочного слоя. Ее толщина должна быть минимальной, так как за счет забивки увеличивается разрушающее действие взрыва боеприпасов на тьюфяке (в тьюфяке для бетонобойных боеприпасов). Поэтому она принимается равной 20–30 см.

В современных условиях резко сокращается время на обнаружение позиций и на подготовку огневого поражения. На основании анализа взглядов стран НАТО требуемую степень защиты по огневому поражению целесообразно иметь к исходу первых – середине вторых суток [6].

Поэтому следует достигать такого положения, при котором войска, находящиеся в боевом соприкосновении с противником или любом месте тактической и оперативной зон обороны, независимо от наличия местных материалов, могли бы в предельно короткие сроки добиться требуемой степени защиты. Это возможно, если войска будут иметь при себе возимые комплекты сооружений промышленного изготовления. Данные сооружения должны быть принадлежностью общевойсковых подразделений и транспортироваться вместе с ними, в связи с чем такие требования, как предельно малая масса, малые габариты и удобоукладываемость станут главными. Необходимо также, чтобы на сборку и установку комплектов требовалось не более 3–4 ч.

Однако даже применение таких сооружений в условиях выполнения рекомендуемой последовательности фортификационного оборудования оборонительных рубежей, позиций, районов и т. д. не приводит к резкому увеличению темпов нарастания требуемой степени защиты, а трудоемкость возведения сооружений из лесоматериалов, не говоря уже о сооружениях промышленного изготовления, составляет 15–20 % всех трудозатрат по оборудованию района обороны. Анализ показывает, что 65 % трудозатрат приходится на выполнение траншейных работ. Применение имеющихся средств механизации позволяет сократить сроки оборудования не более чем на 15 %. Таким образом, при установленных в настоящее время последовательности и объемах фортификационного оборудования применение сооружений промышленного изготовления и землеройной техники сокращают время оборудования всего на 30–35 %. Даже в этих условиях войска, располагающиеся на позициях, будут находиться длительное время под угрозой удара с вероятностью потерь, значительно превышающих допустимые [7].

Обеспечение войск сооружениями промышленного изготовления и средствами механизации траншейных работ – одна из сторон вопроса повышения темпа нарастания степени защиты. Для того чтобы полностью решить данную задачу, необходимо коренным образом пересмотреть последовательность фортификационного оборудования позиции, в связи с чем целесообразно в процессе выполнения работ фортификационного оборудования первой очереди уменьшить объем задач, которые в наименьшей степени влияют на живучесть личного состава и боевой техники и тем самым на устойчивость позиций. Это может быть достигнуто созданием опорных пунктов взводов и рот путем последующего развития позиций отделений, которые бы являлись узлами обороны опорных пунктов. Основная идея такого способа фортификационного оборудования может заключаться в следующем:

на позициях отделений оборудуются участки окопов на отделение, наиболее подготовленные в боевом отношении (возведены ячейки и площадки для огневых средств, противоосколочные козырьки и блиндажи). Протяженность участков окопов на отделение может быть различной в зависимости от трудоемкости возводимых сооружений для защиты, но не менее 30–40 м. Такой участок окопа можно рассматривать как основную позицию;

запасные позиции огневых средств оборудуются путем расширения участков окопов на отделения в сторону флангов до размеров позиции с последующим объединением в опорные пункты, районы обороны.

Данная последовательность фортификационного оборудования при наличии фортификационных сооружений промышленного изготовления позволяет уже к исходу первых суток создать минимально необходимые условия ведения ближнего боя и требуемую степень защиты, а при использовании средств механизации в целом на 30–35 % сократить сроки оборудования позиций войск.

Для сокращения сроков фортификационного оборудования рубежей обороны в подготовительный период, а также в последующем в глубине обороны целесообразно привлекать землеройную технику гражданских организаций, которая в значительной мере позволит повысить эффективность фортификационного оборудования и живучесть войск.

Таким образом, описанные критерии и методика оценки результатов фортификационного оборудования позволяют наглядно увидеть эффективность и экономическую целесообразность выполняемых мероприятий. Предложенный способ повышения защитных свойств возводимых сооружений, применение техники из гражданских организаций дает возможность сократить время на фортификационное оборудование полосы ответственности оперативного командования и повысить живучесть войск.

Предлагаемые пути решения проблемных вопросов фортификационного оборудования позволят повысить его эффективность, а следовательно и боеспособность войск.

#### Список литературы

1. Боевой устав Сухопутных войск. Ч. II. Батальон, рота. – Бобруйск: МО РБ, 2010. – 432 с.
2. Военное искусство в локальных войнах и вооруженных конфликтах: воен.-ист. труд. – М.: Воениздат, 2009. – 321 с.
3. Сборник основных военных терминов и понятий / редкол.: Н. Н. Турбан [и др.]. – Минск: ГШ ВС РБ, 2009. – 210 с.
4. Рекомендации по фортификационному оборудованию полосы обороны отдельной механизированной бригады / В. В. Балута [и др.]; под общ. ред. В. М. Пастухова. – Минск: БНТУ, 2000. – 139 с.
5. Нарышкин, И. М. Инженерное обеспечение отдельной механизированной бригады при очаговом способе построения обороны: дис. ... канд. воен. наук: 20.01.04 / И. М. Нарышкин. – Минск, 2011. – 200 с.

6. Глод, И. В. Решение проблемы восстановления нарушенного управления войсками (силами) в современных условиях / И. В. Глод, В. К. Синявский // Наука и воен. безопасность. – 2009. – № 3.

7. Отчет о совместном стратегическом учении «Запад-2013» / М-во обороны Респ. Беларусь, ноябрь 2013 г. – Минск: МО РБ, 2013.

8 Военный энциклопедический словарь / под. ред. Н. В. Огаркова. – М.: Воениздат, 1984. – 416 с.

---

\*Сведения об авторах:

Гришкевич Михаил Михайлович.

Журавлёв Валерий Владимирович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 04.11.2015 г.

## МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИМИТАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ

УДК 519.711.3

Е. С. Макарова\*

*В статье рассмотрены основные особенности принятия решений на действия модельных объектов в ходе эксперимента в имитационной системе моделирования военных действий. Приведен нейросетевой подход к имитации процесса принятия решений о поведении управляемых объектов в имитационной системе моделирования военных действий. Описана общая структура нейронной сети.*

*The main features of the decision-making process in the simulation system of military activities are described in the article. A neural network approach to simulation of the decision-making process in the simulation system of military activities is described. General structure of the neural network is described.*

### Введение

Задача принятия решений о поведении модельных объектов в имитационной системе моделирования является наиболее сложной с точки зрения ее программной реализации. Способ решения такой задачи должен соответствовать определенным требованиям. Так, должна быть обеспечена возможность имитации обоснованного принятия решения о поведении каждого модельного объекта. Причем процесс принятия решения не может основываться на статических данных экспертов. Должна быть обеспечена возможность оперативного пополнения базы знаний экспертами и немедленного использования таких данных в процессе логического вывода. Таким образом, желательно иметь универсальный инструмент, который может быть применен в различных ситуациях и для различных наборов решающих правил базы знаний. В качестве такого инструмента предложено использовать специальным образом построенную гибридную нейронную сеть.

### Анализ предметной области

Имитационная система моделирования военных действий представляет собой программный комплекс, позволяющий создавать различные модельные объекты и наносить их на цифровую карту местности, конфигурировать их взаимосвязи, проигрывать всевозможные сценарии их поведения в ходе боевых действий. Каждый модельный объект обладает набором некоторых характеристик – параметров, меняющих свое значение в процессе имитационного моделирования. Данные параметры, в зависимости от их типа, могут принимать различные значения. Множества значений некоторых из таких параметров конечны.

Основными составными частями модельных объектов являются модули, имитирующие движение на цифровой карте местности, разведку объектов противника и их поражение. На основании анализа параметров, относящихся к данным модулям, можно описать множество возможных состояний объекта. Оно может быть сформировано в процессе построения графа перехода для множества рассматриваемых состояний.

Например, для некоторого модельного объекта, перемещающегося из одного пункта на цифровой карте местности в другой, перечень состояний может быть следующим:

- $S_0$  – объект стоит на месте;
- $S_1$  – объект движется;
- $S_2$  – объект движется и обнаружил противника;
- $S_3$  – объект движется и производит огневое воздействие на противника;
- $S_4$  – объект стоит на месте и обнаружил противника;
- $S_5$  – объект стоит на месте и производит огневое воздействие на противника;
- $S_6$  – объект стоит на месте и на него оказывается огневое воздействие;
- $S_7$  – объект движется и на него оказывается огневое воздействие.

Данный перечень состояний выделен с учетом следующих предположений: у модельного объекта отсутствует информация об его обнаружении противником; объект считается обнаруженным после начала огневого воздействия в отношении него.

Каждое из приведенных выше состояний характеризуется набором значений некоторых параметров. Причем в результате анализа значений таких параметров при переходе объекта из состояния в состояние было замечено, что количество параметров, изменивших свои значения, невелико. Таким образом, можно выделить значимые для каждого состояния параметры (рисунок 1, таблица).

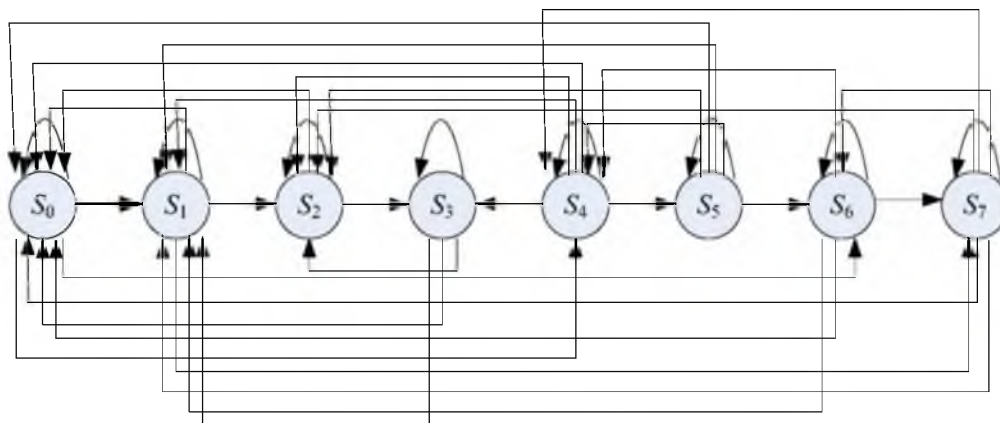


Рисунок 1. – Граф перехода для состояний

Таблица. – Матрица смежности для графа

	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$
$S_0$	1	1	0	0	1	0	1	0
$S_1$	1	1	1	0	0	0	0	1
$S_2$	1	0	1	1	0	0	0	0
$S_3$	1	1	1	1	0	0	0	0
$S_4$	1	1	1	1	1	1	0	0
$S_5$	1	1	1	0	1	1	1	0
$S_6$	1	1	0	0	1	0	1	1
$S_7$	1	1	1	0	1	0	1	1

#### Автоматизация логического вывода

Для автоматизации процесса принятия решений может быть использована гибридная нейронная сеть. Данная сеть выполняет логический вывод на основании отобранных из базы знаний решающих правил. Правила из базы знаний отбираются на основании вхождения в предпосылку значащих для текущего состояния объекта параметров. В качестве критерия значимости может рассматриваться изменение значения параметра при переходе в состояние, отличное от текущего. Общая структура такой нейронной сети представлена на рисунке 2.



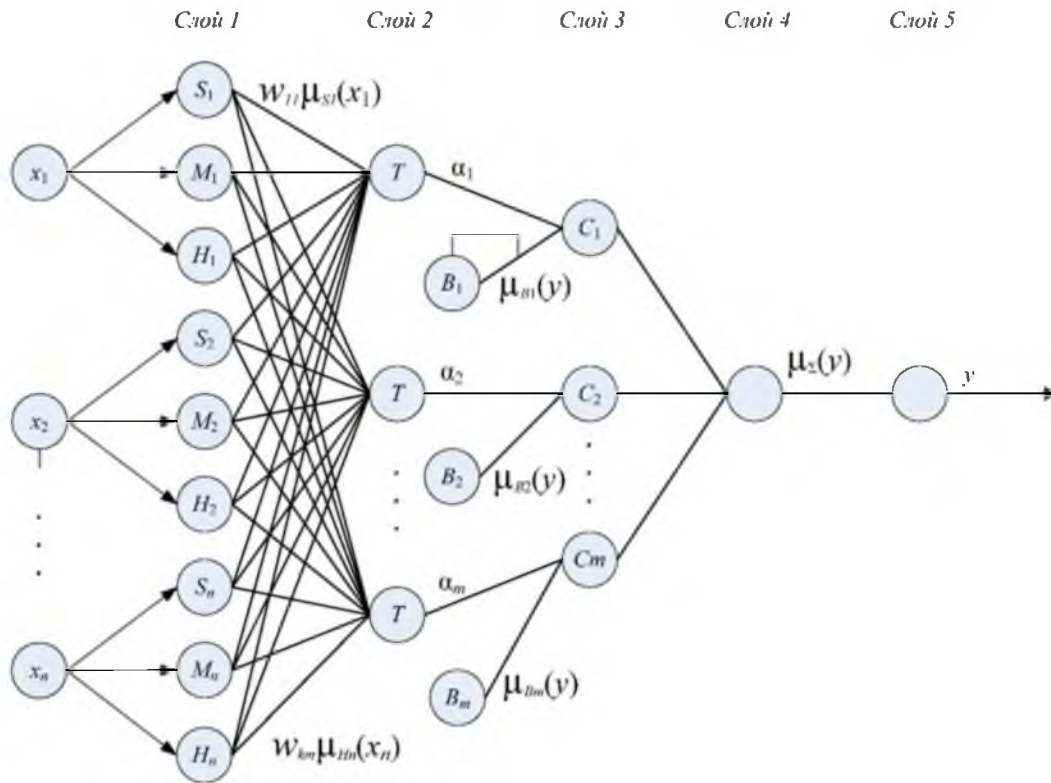


Рисунок 2. – Структура гибридной нейронной сети

Данная сеть реализует алгоритм нечеткого вывода Мамдани [2] и может быть описана следующим образом:

1. Входом сети являются значения параметров объектов  $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ .

2. *Слой 1.* Выходы нейронов этого слоя представляют собой значения функций принадлежности нечетких множеств  $S_i, M_i, H_i, i = 1, 2, \dots, n$ , при заданных значениях входов, умноженные на весовые коэффициенты участия параметра  $w_{ij}, i = 1, 2, \dots, 3n, j = 1, 2, \dots, m$ .

В качестве функции принадлежности нечетких множеств используем треугольные функции

$$y = \max \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right),$$

где  $a, b, c$  – некоторые параметры.

Весовые коэффициенты  $w_{ij}$  предназначены для регулирования участия каждого из параметров в процессе логического вывода. Если параметр участвует в логическом выводе (присутствует в  $m$  отобранных из базы знаний решающих правилах), то весовой коэффициент равен единице, а в противном случае – нулю. Нейроны данного слоя выполняют фуззификацию.

3. *Слой 2.* Выходами нейронов этого слоя являются срезы для каждого из правил, вычисляемые по формуле

$$\alpha_j = \min(w_{kj}\mu_{S_i}(x_i), w_{kj}\mu_{M_i}(x_i), w_{kj}\mu_{H_i}(x_i)), i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, 3n.$$

Нейроны данного слоя обозначены буквой  $T$ .

4. *Слой 3.* Выходами нейронов этого слоя являются скорректированные функции принадлежности, вычисляемые по формуле

$$C_j(y) = \min(\alpha_j, \mu_{B_j}(y)), j = 1, 2, \dots, m,$$

где  $\mu_{B_i}(y)$  – функции принадлежности нечетких множеств  $B_i$  для выхода сети  $y$ .

5. *Слой 4.* Выходом нейрона этого слоя является функция принадлежности итогового нечеткого множества, вычисляемая по формуле

$$\mu_{\Sigma}(y) = \max(C_1(y), C_2(y), \dots, C_m(y)).$$

6. *Слой 5.* Нейрон данного слоя вычисляет выход сети – состояние, в которое должен перейти объект в следующий момент модельного времени, например, по методу центра тяжести [2].

Обучение данной сети может проводиться по алгоритму обратного распространения ошибки и заключается в корректировке параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$  функций принадлежности нечетких множеств. Такой подход позволяет исключить привлечение экспертов к выбору данных параметров.

Следует заметить, что набор входных параметров сети и связи между первым и вторым слоем зависит от отобранных на предыдущем этапе решающих правил. Поэтому приведенная выше универсальная структура нейронной сети может быть использована для любых решающих правил.

### Методика принятия решений

Процесс принятия решений о поведении модельных объектов в имитационной системе моделирования военных действий включает предварительную обработку данных и непосредственное принятие решений в ходе имитационного моделирования. Предварительная обработка данных состоит из нескольких этапов (рисунок 3).

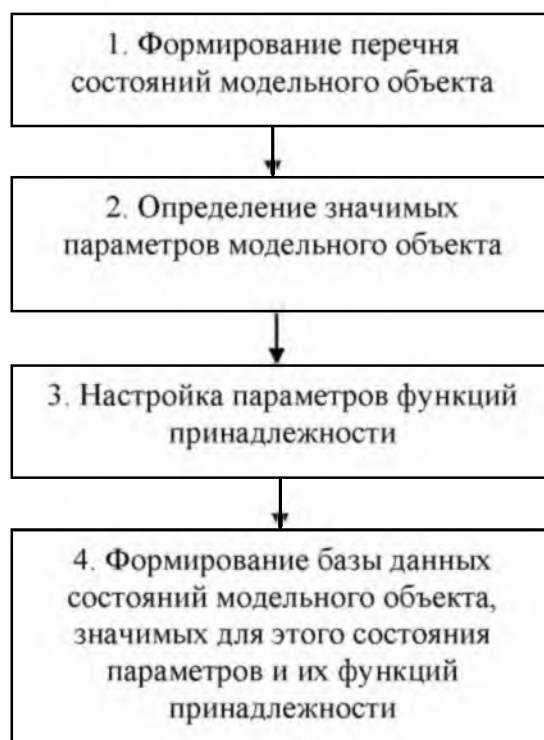


Рисунок 3. – Подготовительные этапы методики принятия решений

На первом этапе необходимо выделить перечень состояний, в которых может находиться модельный объект в зависимости от рассматриваемой задачи. Следует заметить, что перечень таких состояний конечен, как и перечень выполняемых модельными объектами в рамках имитационного моделирования задач.

Далее для каждого состояния необходимо определить перечень значимых параметров модельного объекта. Данный перечень может быть определен по результатам анализа графа переходов и изменения значений таких параметров при переходе из состояния в состояние.

На следующем этапе производится настройка значений  $a$ ,  $b$ ,  $c$  функций принадлежности. Такая настройка выполняется в процессе обучения описанной выше нейронной сети, выполняемого для каждого состояния в рамках рассматриваемой задачи. Таким образом, производится формирование базы данных состояний, параметров модельных объектов, значимых для этих состояний, и их функций принадлежности.

Непосредственное принятие решений о поведении модельных объектов в ходе имитационного моделирования заключается в использовании описанных выше базы данных и нейронной сети при выполнении логического вывода на основе имеющихся решающих правил.

### Заключение

В статье предложена методика принятия решений о поведении модельных объектов в имитационной системе моделирования военных действий, состоящая из подготовительных этапов и непосредственного принятия решений в ходе имитационного моделирования. Ввиду конечности количества параметров модельных объектов, их возможных состояний и выполняемых ими в ходе имитационного моделирования задач достаточно выполнить предварительные этапы методики единожды для каждой поставленной задачи, что, в свою очередь, позволяет минимизировать участие лица, принимающего решение, в процессе имитационного моделирования военных действий.

### Список литературы

1. Комарцова, Л. Г. Нейрокомпьютеры / Л. Г. Комарцова, А. В. Максимов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
2. Круглов, В. В. Гибридные нейронные сети / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – Смоленск: Русич, 2001.

---

\*Сведения об авторе:

Макарова Екатерина Сергеевна.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 05.10.2015 г.

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГОЛОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ И КООПЕРАЦИИ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАНИЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБОРОННОГО ЗАКАЗА

УДК 338. 2

А. Л. Стифеев\*

*Рассмотрены проблемы, приводящие к усложнению решения задач в области обеспечения обороны страны и безопасности государства. Для их решения предложен методический подход, позволяющий оценивать возможности организаций оборонно-промышленного комплекса по реализации заданий государственного оборонного заказа.*

*The problems leading to the complication of the problem solution in the field of the national defense and the state security are considered. The methodical approach is suggested for their resolving that allows to evaluate the possibilities of the organizations of the military-industrial complex to implement the tasks of the state defense order.*

Изменения политической и социально-экономической формации Российской Федерации, происшедшие за последние 20 лет, привели к значительным изменениям внутренних и внешних условий развития страны, что, в свою очередь, обусловило переход от государственной формы собственности к многообразию организационно-правовых форм и форм собственности организаций и предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), а также к переходу от жестко централизованной системы планирования и управления реализацией планов развития систем вооружения к контрактно-конкурсному размещению заказов, рыночным условиям финансово-хозяйственной деятельности организаций и предприятий ОПК. Все это оказало существенное влияние на реализацию планов создания перспективных образцов вооружения и военной техники (ВВТ) в рамках государственной программы вооружения (ГПВ) и выполняемых на ее основе государственных оборонных заказов (ГОЗ).

Это влияние приводит к тому, что в течение последних 8–10 лет даже при достаточно стабильном финансировании ГОЗ имеются примеры долгостроев, невыполненных в срок, либо выполненных с ненадлежащим качеством заданий оборонного заказа, несостоявшихся конкурсов на их размещение.

Такое состояние дел обуславливает необходимость рассмотрения проблем реализуемости заданий ГОЗ организациями ОПК.

Анализ состояния ОПК позволил выявить следующие проблемы развития его научно-технической и производственно-технологической базы для создания образцов ВВТ в рамках ГОЗ [1]:

- многообразие организационно-правовых форм и форм собственности предприятий ОПК;
- утрата части промышленных технологий;
- нестабильность структуры ОПК, обусловленная процессами интеграции и акционирования оборонных предприятий;
- длительный цикл (5–15 лет) разработки и производства ВВТ, в течение которого происходят административные, экономические и военные реформы, финансовые и экономические кризисы, геополитические и макроэкономические изменения;
- недостаточный уровень организации работ по мероприятиям, обеспечивающим выполнение оборонного заказа (несвоевременное заключение контрактов, срыв сроков поставки необходимого сырья, материалов, покупных и комплектующих изделий, электрорадиоизделий).

В этой связи обостряются проблемы формирования, размещения и исполнения заданий ГОЗ, которые приводят к таким негативным последствиям в области создания ВВТ, как:

- затягивание сроков выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), производства и ремонта образцов ВВТ;

- превышение первоначально определенных затрат на НИОКР, производство и ремонт ВВТ;
- снижение качества ВВТ;
- утрата оборонно-промышленным комплексом возможностей по разработке, производству и ремонту ВВТ.

Все это может приводить к невыполнению заданий ГОЗ, а следовательно, и к усложнению решения задач в области обеспечения обороны страны и безопасности государства.

Во многом перечисленные проблемы вызваны недостаточной проработкой на этапах формирования, размещения и исполнения ГОЗ вопросов, связанных с возможностями потенциальных предприятий-исполнителей по реализации оборонного заказа, устойчивостью кооперационных связей.

В случае отсутствия единственного поставщика продукции по оборонному заказу, после утверждения ГОЗ, его размещение производится на конкурсной основе. При этом у государственных заказчиков могут возникнуть серьезные затруднения или спорные ситуации в окончательном выборе победителя торгов (конкурса) по оборонному заказу.

В силу указанных обстоятельств на этапе размещения ГОЗ государственные заказчики, как правило, вынуждены проводить дополнительную оценку потенциальных головных исполнителей заданий ГОЗ для определения победителя – лучшего из участников конкурса.

На этапе размещения ГОЗ контракт на выполнение оборонного заказа государственный заказчик заключает с головным исполнителем (победителем конкурса). При его заключении головной исполнитель согласовывает состав кооперации соисполнителей оборонного заказа с государственным заказчиком, который должен решить задачу оценки возможностей потенциальных предприятий кооперации, предложенных головным исполнителем. Решение этой задачи позволит выработать согласованную позицию по вопросам формирования кооперации из наиболее надежных и устойчивых в финансово-экономическом, научно-техническом и производственно-технологическом плане участников кооперации.

Более того, такая оценка должна проводиться с учетом устойчивости предполагаемой кооперации соисполнителей, так как в современных экономических условиях предприятия в большинстве своем являются самостоятельными, активными субъектами, цели и задачи которых могут изменяться под воздействием конъюнктуры рынка, экономических и финансовых кризисов и иных причин. В связи с этим могут возникнуть ситуации, когда некоторые соисполнители будут заинтересованы в отказе от дальнейшего выполнения оборонного заказа. Такое поведение участников кооперации может привести к невыполнению задания ГОЗ, что крайне нежелательно для государственного заказчика, ответственного за его реализацию.

В этой связи важное значение имеют разработка и постоянное совершенствование методического обеспечения, позволяющего оценивать возможности организаций ОПК по реализации заданий ГОЗ и выработать рекомендации по повышению эффективности использования бюджетных средств, выделяемых на их выполнение.

Практическое применение такого методического обеспечения потребует получения достаточно большого объема исходных данных из различных источников. Это возможно при наличии специальной системы информационного обеспечения оценки возможностей организаций ОПК по реализации заданий ГОЗ. В связи с этим возникает необходимость решения задачи разработки межведомственной информационной системы обеспечения оценки возможностей организаций ОПК по реализации заданий ГОЗ и выработки рекомендаций для принятия управленческих решений по обеспечению их выполнения.

Таким образом, решение задачи повышения эффективности выполнения заданий ГОЗ обуславливает создание методического обеспечения оценки возможностей организаций ОПК по реализации заданий ГОЗ, включающего разработку:

- методического аппарата оценки возможностей организаций ОПК по реализации заданий ГОЗ;
- межведомственной информационной системы обеспечения оценки возможностей организаций ОПК по реализации заданий ГОЗ, включающей функциональную схему взаимо-

действия органов государственного и военного управления, научно-исследовательских организаций и предприятий, порядок сбора, формирования и обработки данных, структуру и состав показателей реализации заданий ГОЗ, формы представления выходной информации об уровне возможностей организаций ОПК по реализации заданий ГОЗ.

Методический аппарат должен включать методики оценки возможностей:

- потенциальных головных предприятий – исполнителей заданий ГОЗ;
- предприятий кооперации – потенциальных исполнителей заданий ГОЗ и ее устойчивости.

*Методика оценки возможностей потенциальных головных исполнителей заданий государственного оборонного заказа* предназначена для проведения оценки потенциальных головных исполнителей, вызванной возможными затруднениями государственного заказчика в окончательном выборе лучшего головного исполнителя по оборонному заказу на этапе его размещения [2, 3].

В качестве научно-методической основы методики предлагается использовать методы весовых коэффициентов и балльных оценок.

Методика должна состоять из пяти блоков оценки:

- степени выполнения требований заказчика потенциальным головным исполнителем заказа;
- уровня готовности потенциального головного исполнителя заказа;
- финансово-экономической целесообразности реализации заказа потенциальным головным исполнителем;
- состава возможной кооперации, привлекаемой потенциальным головным исполнителем;
- возможности управления процессом выполнения заказа потенциальным головным исполнителем.

Оценка предпочтительности головного исполнителя задания ГОЗ может осуществляться путем присвоения каждому частному показателю ( $ЧП_{ij}$ ) определенного количества баллов и веса ( $a_{ij}$ ), а каждому обобщенному показателю ( $ОП_i$ ) – веса ( $g_i$ ). При этом должно соблюдаться условие

$$\sum_{i=1}^N g_i = 1.$$

Общий показатель ( $W_o$ ) вычисляется по формуле

$$W_o = \sum_{i=1}^N g_i \sum_{j=1}^M a_{ij} ЧП_{ij},$$

$$\sum_{j=1}^M a_{ij} = 1,$$

где  $N$  – количество обобщенных показателей;

$M_i$  – количество частных показателей, характеризующих  $i$ -й обобщенный показатель.

Каждый из обобщенных показателей включает частные показатели. Баллы частных показателей ( $ЧП_{ij}$ ) качественно характеризуют потенциальных головных исполнителей задания ГОЗ с точки зрения обеспечения возможности его выполнения. Критерием оценки лучшего потенциального головного исполнителя задания ГОЗ является наибольшее значение из полученных значений общего показателя.

Методика должна позволять выбирать головного исполнителя с наилучшими значениями показателей степени выполнения требований заказчика, научно-технической и производственно-технологической готовности к исполнению заказа, финансово-экономической целесообразности выполнения данным исполнителем заказа.

*Методика оценки возможностей кооперации предприятий – потенциальных исполнителей заданий ГОЗ и ее устойчивости* предназначена для оценки и оптимизации состава кооперации и ее устойчивости, на этапе заключения контрактов на выполнение ГОЗ, а также для формирования возможного состава кооперации исполнителей по максимальным рейтинговым оценкам с учетом достижения требуемой производственной мощности кооперации в целом.

В качестве научно-методической основы методики предлагается использовать методы рейтинговой оценки для выбора предпочтительных участников кооперации и графоаналитического анализа для оценки ее устойчивости. Методика должна обеспечивать оценку:

- финансово-хозяйственной деятельности; технико-экономического состояния; научно-производственного потенциала;
- военно-технических и военно-экономических показателей потенциальных предприятий кооперации;
- возможного состава кооперации исполнителей по максимальным рейтинговым оценкам с учетом определенного ранга исполнителей и достижения требуемой производственной мощности кооперации, производится по критерию  $ПМ_{\Sigma} \geq ПМ_{тр}$  (где  $ПМ_{\Sigma}$  – суммарная производственная мощность планируемой кооперации и  $ПМ_{тр}$  – требуемая производственная мощность кооперации, обеспечивающая выполнение задания ГОЗ с заданными качеством, сроком и объемом);
- связности структуры кооперации – количественная характеристика, позволяющая выявить наличие возможных обрывов связей в структуре кооперации;
- структурной избыточности кооперации, характеризующей превышение общего числа связей кооперации над минимально необходимым;
- структурной компактности кооперации, характеризующей общую структурную близость исполнителей между собой в кооперации;
- устойчивости возможной кооперации исполнителей заданий ГОЗ на основе использования коэффициента устойчивости (консолидации) – показателя, характеризующего взаимную заинтересованность головного исполнителя и исполнителей в совместной деятельности в рамках кооперации по реализации задания ГОЗ.

Методика должна позволять не только включать в состав кооперации наиболее устойчивые предприятия, но и определять ее связность, избыточность, компактность и устойчивость в целом.

Для практического применения предлагаемого методического аппарата необходимо создать межведомственную информационную систему обеспечения оценки возможностей организаций ОПК по реализации заданий ГОЗ, в рамках которой организация функционального взаимодействия участников обмена информацией по оценке возможностей исполнителей по реализации заданий ГОЗ позволит определить значения фактических показателей, провести их верификацию и уточнение по результатам исполнения ежегодных ГОЗ, а также получать прогнозные значения показателей, характеризующих возможности организаций ОПК по реализации планируемых заданий ГОЗ [4, 5].

Заполненные формы сбора информации, необходимой для оценки возможностей организаций ОПК по реализации заданий ГОЗ, предлагается систематизировать в информационный каталог (базу данных). Результаты оценки рассчитываются путем обработки содержащихся в этих формах данных.

Реализация изложенных предложений по разработке методического обеспечения оценки возможностей головных исполнителей и кооперации исполнителей по реализации заданий государственного оборонного заказа позволит повысить уровень обоснованности оборонного заказа, эффективность использования выделяемых на него бюджетных ассигнований, сократить временные затраты на его формирование и обеспечить выполнение заданий оборонного заказа в соответствии с требуемыми качеством, объемами финансирования и сроками.

## Список литературы

1. Лавринов, Г. А. Методическое обеспечение оценки реализуемости мероприятий государственного оборонного заказа организациями оборонно-промышленного комплекса / Г. А. Лавринов, А. Л. Стифеев // Воен. мысль. – 2012. – № 6.
2. Стифеев, А. Л. К вопросу об организации проведения оценки реализуемости ОПК предложений в ГПВ / А. Л. Стифеев // Молодежь и экономика: материалы V Междунар. науч. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Ярославль, ВФЭА, 2008.
3. Стифеев, А. Л. Методический подход к оценке потенциальных головных исполнителей мероприятий государственного оборонного заказа / А. Л. Стифеев // Молодежь и экономика: материалы VI Междунар. науч. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Ярославль, ВФЭА, 2009.
4. Подольский, А. Г. Основные направления разработки методического обеспечения организационно-экономического планирования мероприятий по созданию продукции военного назначения / А. Г. Подольский, А. Л. Стифеев // Вооружение и экономика [Электронный ресурс]. – 2008. – № 4. – Режим доступа: [www.mil.ru](http://www.mil.ru).
5. Баханович, Д. Н. Принципы и направления развития единого информационного пространства в интересах военного строительства / Д. Н. Баханович, А. Л. Стифеев // Вооружение и экономика [Электронный ресурс]. – 2009. – № 1. – Режим доступа: [www.mil.ru](http://www.mil.ru).

---

\*Сведения об авторе:

Стифеев Алексей Львович.

ФГБУ «46-й ЦНИИ» Минобороны России.

Статья поступила в редакцию 22.04.2015 г.



## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ДЕНЕЖНОГО ДОВОЛЬСТВИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ, ПРОХОДЯЩИХ ВОЕННУЮ СЛУЖБУ ПО КОНТРАКТУ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

УДК 331.217

Р. К. Тыналиев\*

*Рассматривается необходимость оптимизации структуры денежного довольствия военнослужащих Кыргызской Республики, обеспечивающей увеличение доли окладов денежного содержания в целях повышения уровня материального обеспечения военнослужащих. Предлагаемая структура денежного довольствия военнослужащих позволит повысить размер оплаты труда военнослужащих выше средней заработной платы, установленной в Кыргызской Республике.*

*Need of optimization of structure of a monetary allowance of the military personnel of the Kyrgyz Republic providing increase in a share of salaries of the monetary contents for increase of level of material security of the military personnel is considered. The offered structure of a monetary allowance of the military personnel will allow to increase the size of compensation of the military personnel above the average salary established in the Kyrgyz Republic.*

Как показали результаты социологического исследования<sup>1</sup>, наиболее действенным стимулом привлечения потенциальных кандидатов к поступлению на военную службу по контракту в Вооруженные силы Кыргызской Республики (ВС КР) является предлагаемый им государством уровень материального обеспечения. Главенствующая роль в системе материального обеспечения принадлежит денежному довольствию, установленному законодательством для военнослужащих, проходящих военную службу по контракту [1, с. 10].

Оценивая систему денежного довольствия военнослужащих за период с 1992 по 2014 г., проходящих военную службу по контракту, следует отметить проблему правового регулирования денежного довольствия военнослужащих, заключающуюся в трансформации структуры денежного довольствия в сторону сокращения доли окладов денежного содержания и увеличения доли дополнительных денежных выплат.

Под структурой денежного довольствия военнослужащих по контракту понимается основной способ группировки и классификации выплат денежного довольствия военнослужащих в зависимости от признака, характеризующего направленность выплат, периодичности их реализации и нормативной закрепленности в законодательстве Кыргызской Республики.

Денежное довольствие военнослужащих состоит из месячного оклада в соответствии с занимаемой воинской должностью и месячного оклада в соответствии с присвоенным воинским званием, которые составляют оклад месячного денежного содержания военнослужащих, ежемесячные и единовременные дополнительные выплаты [3].

Добавочные виды денежного довольствия подразделяются на ежемесячные и единовременные, в том числе:

*ежемесячные:*

- процентная надбавка за выслугу лет;
- надбавка за секретный характер работы и секретное делопроизводство;
- надбавка за особые условия службы;
- надбавка за службу в ВС КР;
- надбавка за ученую степень, знание иностранных языков;
- надбавка за службу в подразделениях специального назначения;
- доплата в размере 50 % размера пенсии;

<sup>1</sup> Социологический опрос проводился с выборочной совокупностью около 10 % военнослужащих от всего личного состава Вооруженных сил Кыргызской Республики по состоянию на сентябрь 2014 г.

районный коэффициент к окладу по воинской должности и надбавка за стаж службы в высокогорных и отдаленных зонах;

*единовременные:*

денежное вознаграждение за добросовестное выполнение служебных обязанностей и безупречную службу 1 раз в год;

пособие прапорщикам, солдатам, сержантам и старшинам, проходящим военную службу по контракту, на первоначальное образование и при продлении контракта;

пособие при убытии в очередной отпуск;

выходное пособие при увольнении с военной службы;

подъемное пособие.

По направленности выплат структура денежного довольствия военнослужащих ВС КР включает:

выплаты, стимулирующие продолжительность военной службы;

выплаты, стимулирующие прохождение службы в особых условиях;

выплаты, стимулирующие добросовестное выполнение обязанностей и высокий профессионализм;

другие выплаты, компенсации и льготы.

Структура денежного довольствия, как и вся система обеспечения военнослужащих, основывается на объективных социальных условиях воспроизводства личного фактора боевой и мобилизационной готовности войск в современной экономической ситуации. В первую очередь это удовлетворение потребностей военнослужащих, обеспечивающее простое воспроизводство затрат в процессе воинского труда (физиологические потребности в питании, отдыхе, поддержании физического и психологического здоровья, восстановление утраченных функций). Кроме того, социально необходимо удовлетворение потребностей расширенного воспроизводства для последующего роста профессионального мастерства военнослужащих и повышения эффективности воинского труда (развитие общеобразовательной и профессиональной подготовки, обеспечение духовных и других социальных потребностей и интересов военнослужащих, включая семейные и коллективные) [5].

На структуру денежного довольствия в системе других видов обеспечения также оказывают влияние специфические виды и условия военной службы (боевые действия, боевые дежурства, несение гарнизонной и внутренней службы, боевая подготовка, содержание и ремонт вооружения, военной техники, проведение мероприятий по боевой готовности), которые характеризуются особым режимом рабочего времени, сложностью и напряженностью, условиями единоначалия и ответственности за подчиненный личный состав, повышенным риском для жизни и здоровья, отдаленностью мест службы, сложностью климатических условий, сменяемостью мест службы. Наряду с условиями службы, специфичны и бытовые условия военнослужащих и членов их семей (длительное отсутствие собственного жилья, ограничения в обеспеченности потребительскими товарами и услугами, проблемы трудоустройства жен и обучения детей).

Анализ действующей структуры денежного довольствия военнослужащих контрактной службы показывает неудовлетворительность ее организации. Так, оклады денежного содержания в общей сумме ежемесячных выплат денежного довольствия на декабрь 2014 г. составляют только 30–37 %, в том числе оклады по воинским званиям – 11–13 %, оклады по воинским должностям – 19–24 %, а иные месячные дополнительные выплаты – 63–70 %.

При этом минимальные размеры окладов по должностям, занимаемым лицами младшего офицерского состава, прапорщиками, мичманами и военнослужащими контрактной службы ниже средней заработной платы в Кыргызской Республике, которая за 2014 г. составила 11 тыс. 965 сомов<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> По данным Министерства финансов Кыргызской Республики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nbkr.kg>.

Необходимым стимулом для заключения и продления контракта военнослужащими Вооруженных сил Кыргызской Республики является превышение уровня денежного довольствия над уровнем средней заработной платы не менее чем на 25 % [2].

При перезаключении контракта материального стимулирования офицеров (прапорщиков) не проводится. Военнослужащим, проходящим военную службу по контракту на должностях рядового, сержантского и старшинского состава, в случае продления контракта на следующий срок службы выплачивается единовременное пособие в размере 2 окладов денежного содержания, а при каждом последующем заключении контракта – 5 окладов денежного содержания.

Решением проблемы материального стимулирования продления контрактов выступает распространение выплаты единовременного пособия на все категории военнослужащих, которое устанавливается дифференцированно в зависимости от сроков заключения контрактов в следующих размерах:

- до 3 лет – 2 оклада денежного содержания;
- от 3 до 5 лет – 5 окладов денежного содержания;
- от 5 до 10 лет – 10 окладов денежного содержания;
- от 10 лет и более – 25 окладов денежного содержания.

В случае увольнения военнослужащих с военной службы до окончания срока контракта без уважительных причин данные дополнительные выплаты подлежат взысканию с них в сумме, исчисленной пропорционально времени, оставшемуся до окончания срока службы.

В настоящее время денежное вознаграждение за классную квалификацию военнослужащим в составе ежемесячных дополнительных выплат денежного довольствия отсутствует, что влияет на стремление военнослужащих повышать классную квалификацию.

Мировой опыт применения стимулирующих выплат показывает, что действенным стимулом повышения квалификации военнослужащих является выплата денежного вознаграждения за классную квалификацию: 2-й класс – 15 %, 1-й класс – 25 %, класс «мастер» – 35 % оклада по воинской должности [7].

При рассмотрении структуры денежного довольствия по времени выплат (ежемесячные и единовременные) доля единовременных выплат (по итогам квартала или года) составила на декабрь 2014 г. 17–20 % и имеется тенденция к снижению.

Анализ структуры денежного довольствия военнослужащих по контракту по функциональному назначению выплат также показывает неудовлетворительность ее организации, поскольку:

- доля дополнительных выплат, стимулирующих продолжительность военной службы в ВС КР, составляет 14–17 %;
- доля дополнительных выплат, стимулирующих прохождение службы в особых условиях, – 12–13 %;
- доля дополнительных выплат, стимулирующих добросовестное выполнение должностных обязанностей, – 32–34 %;
- другие гарантии и компенсации – 5–6 %.

Очевидно смещение доли денежного довольствия на дополнительные выплаты (связанные в основном со стимулированием добросовестного выполнения обязанностей по службе).

При этом, по нашему мнению, завышена доля единовременных дополнительных выплат 17–20 %, которые выплачиваются по итогам квартала и года, и тем самым их размер автоматически уменьшается на процент инфляционных колебаний покупательной способности сома<sup>3</sup> за этот период.

Тенденция к снижению в структуре денежного довольствия военнослужащих по контракту окладов денежного содержания связана в том числе и с введением в 2005 г. ежеме-

<sup>3</sup> По данным Национального банка Кыргызской Республики. 1 сом (KGS) = 0.89 российского рубля (RUB) по состоянию на 06.04.2015 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nbkr.kg>.

сячной доплаты в размере 50 % размера пенсии военнослужащим, имеющим право на пенсию за выслугу лет и продолжающим воинскую службу. Данная доплата носит характер скрытого увеличения окладов денежного содержания и, по нашему мнению, должна быть включена в состав оклада по воинской должности.

При проведении оптимизации структуры денежного довольствия необходимо учитывать, что структура компенсационной модели оплаты труда должна включать три части: базовую заработную плату (оклады и тарифные ставки), стимулирующие выплаты (премии, надбавки), социальные выплаты и льготы (дополнительное медицинское и пенсионное страхование, оплата питания, транспортные расходы, районное регулирование заработной платы) [5]. Доля тарифной ставки в заработной плате работника средней квалификации должна составлять 65–70 %, высокой квалификации – 75–85 %, высшей квалификации – 85–90 % прожиточного минимума данного региона [6].

Применительно к системе оплаты воинского труда, по нашему мнению, предполагается следующее: структура денежного довольствия подразделяется на базовую (обязательную), включающую оклад по воинскому званию, оклад по воинской должности, процентную надбавку за выслугу лет, стимулирующую часть в составе надбавки за особые условия службы и секретность, денежное вознаграждение за классную квалификацию, премию (единовременное денежное вознаграждение за добросовестное выполнение служебных обязанностей и безупречную службу приобретает вид ежемесячной премии), и компенсирующую часть (районный коэффициент, процентная надбавка за стаж службы в высокогорных и отдаленных зонах Кыргызской Республики).

При этом долю базовой части в структуре денежного довольствия военнослужащих целесообразно довести до 70 % в течение 2015–2018 гг. (таблица).

Таблица. – Предполагаемая структура ежемесячных выплат денежного довольствия военнослужащим Кыргызской Республики, %

Виды денежного довольствия	2014 г.	Прогноз на 2015–2016 гг.	Прогноз на 2017–2018 гг.
Оклады денежного содержания в том числе:	37	41	50
оклады по воинскому званию	13	15	17
оклады по воинской должности	24	26	33
Процентная надбавка за выслугу лет	17	19	20
Всего базовая часть	54	60	70
Доплата в размере 50 % пенсии	14	–	–
Процентная надбавка за секретность	2	3	5
Надбавка за особые условия службы	12	4	5
Денежное вознаграждение за классность	–	3	5
Надбавка за службу в ВС КР	18	18	–
Премия	–	12	15

Таким образом, основным направлением совершенствования денежного довольствия и иных дополнительных выплат военнослужащим, проходящим военную службу по контракту, является изменение структуры денежного довольствия военнослужащим, проходящим военную службу по контракту, направленное на увеличение доли окладов денежного содержания путем их повышения и включения в них дополнительных выплат.

Изменения в структуре денежного довольствия предполагают:

укрупнение и объединение дополнительных видов денежного довольствия;

изменение (повышение) размеров выплат;

введение ряда новых дополнительных выплат денежного довольствия.

Принятие и реализация предлагаемых мер обеспечит стимулирование продолжительности военной службы и закрепление на военной службе высокоподготовленных кадров, что в конечном счете положительно отразится на состоянии боевой готовности ВС КР.

## Список литературы

1. О статусе военнослужащих и членов их семей: Закон Кыргыз. Респ. от 1 июля 1992 г. № 930–ХП.
2. Об утверждении Национальной стратегии устойчивого развития Кыргызской Республики на период 2013–2017 гг.: Указ Президента Кыргыз. Респ. от 21 янв. 2013 г. № 11.
3. Об утверждении Положения о порядке обеспечения денежным довольствием военнослужащих Министерства обороны Кыргызской Республики: постановление правительства Кыргыз. Респ. от 2 сент. 2011 г. № 527.
4. Александрова, Н. Г. Военное право и экономико-правовое регулирование оплаты труда и социального обеспечения: учеб. пособие для вузов / Н. Г. Александрова, О. В. Якимчук. – М.: ВУ, 2014. – 300 с.
5. Бобынина, Л. В. Какая модель оплаты труда актуальна для России? / Л. В. Бобынина // Человек и труд. – 2007. – № 8. – С. 65–67.
6. Давыдов, А. С. Экономическая необходимость совершенствования оплаты труда / А. С. Давыдов, П. А. Рубежанский // Человек и труд. – 2007. – № 3. – С. 36–37.
7. Копров, В. М. Порядок выплаты ежемесячной надбавки за классную квалификацию военнослужащим и увеличение оклада по воинской должности в зависимости от присвоенных квалификационных разрядов / В. М. Копров // Право в Вооруженных Силах. – 2013. – № 8. – С. 94–104.

---

\*Сведения об авторе:

Тыналиев Руслан Кубанычбаевич.  
Военный университет Министерства  
обороны Российской Федерации, г. Москва.  
Статья поступила в редакцию 14.04.2015 г.

## ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ОБОРОТУ КОНТРАФАКТНОЙ ПРОДУКЦИИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЭКСПОРТНОГО КОНТРОЛЯ

УДК 338.245

И. В. Чистов\*

*Одной из основных проблем контроля экспорта продукции военного назначения является обеспечение сбалансированности противоречивых задач продвижения российских вооружений и военной техники на мировые рынки и соблюдения международных обязательств, развития международного технологического сотрудничества и исключения передачи оборонных технологий. Развитие информационных технологий, создающих новые возможности незаконной торговли оружием, специфика и сложность этих товаров делают актуальным противодействие торговому обороту контрафактной продукции военного назначения в процессе осуществления экспортного контроля.*

*One of the basic problems of the control of export of production of military assignment is maintenance of equation of inconsistent tasks of promotion of the Russian arms and military engineering on the world markets and observance of the international obligations, development of the international technological cooperation and exception of transfer of defensive technologies. Development of the information technologies creating new opportunities of illegal traffic in arms, specificity and complexity of these goods make actual counteraction to a trade turnover of counterfeit production of military assignment during realization of the export control.*

16 декабря 2011 г. был подписан Протокол о присоединении Российской Федерации к Марракешскому соглашению об учреждении Всемирной торговой организации (далее – Протокол). В этом документе и приложениях к нему зафиксирован целый ряд особых обязательств Российской Федерации в связи со вступлением в ВТО. 22 августа 2012 г. он вступил в силу. С этого момента Протокол приобрел для РФ статус международного договора и подлежит исполнению.

В ходе предварительных переговоров с членами ВТО был подготовлен Доклад рабочей группы по присоединению РФ к ВТО от 16–17 ноября 2011 г. (далее – Доклад). Он, хотя и стал официальным документом ВТО, не является приложением к Протоколу, фиксирующему обязательства РФ. Тем не менее в соответствии с п. 2 Протокола Россия подтвердила свою готовность выполнить обязательства, перечисленные в п. 1450 Доклада, 19 из которых напрямую касаются интеллектуальных прав. Кроме того, одним из приложений к Соглашению о ВТО является Соглашение по торговым аспектам прав интеллектуальной собственности (ТРИПС/TRIPS). Его положения также являются обязательными для соблюдения, Россия взяла на себя обязательство по приведению своего законодательства в сфере интеллектуальной собственности в соответствие с его требованиями.

Наряду с другими к таким положениям относятся меры по противодействию изготовлению и распространению пиратской и контрафактной продукции. Так, в ст. 61 ТРИПС, в частности, указывается, что страны-члены обязаны обеспечить уголовные процедуры и наказания в отношении контрафактных товарных знаков или пиратства в авторском праве.

Проблема контрафакта возникла и обострилась в XX столетии в результате увеличения масштабов массового товарного производства в условиях конкуренции. Она усугубилась тем обстоятельством, что бренды – известные и популярные товарные знаки конкурентоспособных и высокоприбыльных производителей – становятся особенно привлекательными объектами для незаконного копирования. «Раскрученные» товарные знаки являются не только средствами индивидуализации товаров, но и свидетельствуют о высокой репутации производителя и его конкурентных преимуществах. Они могут быть скопированы полностью, с воспроизведением самого товара, это – явный и наиболее различимый вид подделки. Второй вид предполагает не идентичность, а сходство как товарного знака, так и самого товара.

Нарушители авторских прав ставят целью ввести потребителя в заблуждение, добиваясь такого восприятия своих товаров, чтобы потребитель воспринимал их продукцию как самого правообладателя знака. Кроме прочего, большое значение при копировании придается точному, идентичному воспроизведению упаковки и иной внешней атрибутики.

В условиях современного производства крайне сложно полностью скопировать высокотехнологичную продукцию при отсутствии соответствующей технологической базы, поэтому потенциальные правонарушители, производя контрафактную продукцию, изыскивают нелегальные способы ее распространения. Во всем мире при сложных системах дистрибуции востребованы агентские соглашения, договоры франшизы, различного рода вертикальные соглашения, регулируемые антимонопольным законодательством. Предпринимаются и попытки реализации продукции за рубежом, в том числе и посредством параллельного импорта. При использовании лицензионных договоров, когда производственная деятельность находится под контролем правообладателя, проблема фальшивой продукции не возникает. Хотя при наличии доступа лицензиата к технологической базе правообладателя существует возможность нелегального производства, выпуска нелегальных партий лицензионной продукции.

Официальная отечественная практика борьбы с пиратством и контрафактом началась в 90-х гг. Само понятие «контрафакт» было впервые включено в текст Закона РФ от 23 сентября 1992 г. № 3520-1 «О товарных знаках, знаках обслуживания и наименованиях мест происхождения товаров». В русле переговоров о вступлении в ВТО тема борьбы с контрафактом широко обсуждалась в обществе. В 2008 г. вступило в силу кодифицированное законодательство об интеллектуальной собственности, в котором было обозначено, что «в случае, когда изготовление, распространение или иное использование, а также импорт, перевозка или хранение материальных носителей, в которых выражены результат интеллектуальной деятельности или средство индивидуализации, приводят к нарушению исключительного права на такой результат или на такое средство, такие материальные носители считаются контрафактными» [1].

Наращение интереса к проблемам контрафакта в последние десятилетия обусловлено не только активной интеграцией России в мировую экономику, одним из результатов которой стало вступление нашей страны в ВТО, но и другими причинами. Одна из них – это необходимость перевода российской экономики на инновационный путь развития, который невозможен без создания цивилизованных, функционирующих в рамках законов и правил под контролем потребителей рынков, где контрафактная продукция – явный нонсенс. Кроме того, производство и оборот контрафактных изделий наносит большие экономические и имиджевые потери. По экспертным оценкам, доля контрафактной продукции на внутреннем российском рынке составляет порядка 15–17 %, а ежегодный ущерб экономике страны оценивается в 3 млрд долл. [2]. Масштабы оборота контрафактных товаров позволяют рассматривать его как реальную угрозу национальной безопасности России.

Серьезной угрозой контрафактная продукция стала и для рынка комплектующих и запасных частей к продукции военного назначения (ПВН), поставляемой иностранным заказчикам, что обуславливает необходимость разработки и обоснования мер противодействия поставкам такой продукции в рамках осуществления экспортного контроля.

Применительно к системе военно-технического сотрудничества (ВТС), где высокотехнологичный характер продукции военного назначения является доминантным, под термином «контрафакт» обычно понимают:

- изделия, произведенные на профильных заводах, но нигде не учтенные;
- новые агрегаты и детали, которые не прошли контроль качества при производстве, а также продукцию, находящуюся на заводских или армейских складах, срок хранения которой истек;
- уже бывшие в употреблении комплектующие и запасные части с полностью или частично выработанным ресурсом эксплуатации, подвергшиеся «косметическому ремонту» и выдаваемые за новые. При этом на всей продукции данного типа меняется маркировка, а вся сопутствующая техническая документация подделывается.

Последние две категории контрафактных комплектующих могут не только снижать эффективность эксплуатации конечных изделий, но и, учитывая сферу применения и особый характер продукции военного назначения, создавать реальную угрозу безопасности.

Особенно актуальна проблема использования контрафактных комплектующих в авиастроительной отрасли, где безопасность полетов является критически важным фактором. А если учесть, что авиационная продукция составляет порядка 60 % в структуре российского экспорта вооружений и военной техники, контрафакт можно расценивать как серьезную угрозу военно-техническому сотрудничеству России с иностранными государствами.

Рассматривая причины, стимулирующие развитие и функционирование рынка контрафактных предметов снабжения в различных отраслях ОПК России, можно выделить три основных фактора:

- целенаправленное создание дефицита оригинальных комплектующих и запасных частей;
- искусственное завышение цен на продукцию официальных производителей;
- неурегулированность нормативно-правовых вопросов противодействия производству и обороту контрафактной продукции.

Первые два фактора взаимосвязаны, так как искусственное создание дефицита запасных частей и комплектующих неминуемо способствует росту их стоимости.

Здесь есть как объективные, так и субъективные причины. Прежде всего, это прекращение производства некоторых видов запасных частей и комплектующих к ПВН, на которые сохраняется спрос на внешнем рынке. Такая ситуация характерна в сфере технической поддержки ранее поставленной на экспорт техники. Способствует расширению контрафакта и неоправданно завышенные производителями (поставщиками) сроки рассмотрения заявок, оформления, производства и поставки продукции. Например, поставка конечному заказчику комплектующих по вертолетной тематике, в зависимости от сложности технологического цикла изделий, составляет от двадцати дней до одного года и более. В свою очередь, дельцы контрафактного рынка могут поставить свою «продукцию» в сжатые сроки и зачастую по более низким ценам.

Кроме того, одной из главных причин сложившейся ситуации является текущая коррупционная ситуация, сложившаяся в секторе производства и реализации запасных частей и комплектующих.

После развала советской системы материально-технического снабжения, основу которой составляли несколько крупных государственных объединений, гарантировавших полную и своевременную поставку качественного технического имущества с заводов-изготовителей, образовалось множество различных структур, которые заняли их нишу. По оценкам специалистов, на сегодняшний день только в авиастроительной отрасли более 70 % поставок компонентов к самолетам и вертолетам обеспечивают посреднические фирмы-поставщики [2].

Образовавшаяся «непроизводственная» надстройка стала дополнительным барьером, отделяющим производителей оригинальных запасных частей и комплектующих от реальных запросов рынка и потребителей. По этой причине заводы-изготовители не могут эффективно планировать и корректировать свою производственную деятельность, что приводит либо к локальному перепроизводству, либо к нехватке комплектующих изделий. В свою очередь, возможность посреднических структур выступать в качестве искусственного регулятора на рынке создает благоприятную почву для увеличения оборота контрафактных изделий.

Серьезным фактором, способствующим процветанию оборота контрафактных комплектующих, можно справедливо считать проблему недостаточного нормативно-правового регулирования в области уголовной и административной ответственности за изготовление и распространение фальсифицированной продукции. На сегодняшний день уголовные дела за преступления, связанные с производством и распространением контрафактных товаров, возбуждаются только при достижении ущерба в сумме не менее полутора миллионов рублей.

Наличие контрафактных предметов снабжения в продукции военного назначения могут способствовать и недостатки в системе менеджмента качества на предприятиях ОПК.



Анализ ситуации с сертификацией систем менеджмента качества показывает, что около 60 % организаций ОПК имеют сертификаты, но сертификаты на системы управления качеством, признанные на внешнем рынке, есть только у 10 % организаций [2]. Добровольный характер сертификации, который определен в законодательстве, а также результаты отдельных аудитов свидетельствуют, что многие организации оборонно-промышленного комплекса получают сертификаты на систему управления качеством при отсутствии реально внедренных в производство документированных процедур контроля и управления качеством. Результат такого положения дел – значительное количество рекламаций по гособоронзаказу, а также увеличение рекламаций по линии военно-технического сотрудничества.

По нашему мнению, противодействие обороту контрафактных и фальсифицированных предметов снабжения, используемых в продукции военного назначения, должно носить комплексный характер. Основные усилия в этой области необходимо сосредоточить по трем направлениям: организационно-техническому, нормативно-правовому и финансово-экономическому.

Организационно-технические меры по противодействию обороту контрафактных предметов снабжения предполагают использование на предприятиях и организациях ОПК современных методов, позволяющих эффективно бороться с контрафактом. В этой связи необходимо внедрять современные технологии маркировки комплектующих изделий в процессе их производства, что значительно повысит уровень защиты оригинальных запасных деталей от подделок и копирования. Нужно полностью автоматизировать процессы учета, хранения, обработки и обмена идентификационной информацией об оригинальных запасных частях на всех стадиях оборота продукции. Это позволит полностью проследить жизненный цикл изделия, начиная от научных исследований и маркетинга, заканчивая его утилизацией. Еще одним важным шагом в этом направлении будет дальнейшее развитие и совершенствование системы каталогизации и интегрированного логистического обеспечения отечественной ПВН, поставляемой на экспорт.

Наличие электронных каталогов выпускаемой ПВН является сегодня одним из важных критериев, определяющих ее конкурентоспособность на мировом рынке ВВТ. Требования по каталогизации становятся необходимым условием для участия в тендерах, а также при заключении экспортных контрактов на поставку ПВН.

Рассматривая каталогизацию и интегрированную логистическую поддержку экспортируемой ПВН в качестве инструмента противодействия обороту контрафактных предметов снабжения, следует отметить, что расширение масштабов использования данной системы окажет положительное влияние на процессы естественного регулирования рынка запасных частей и комплектующих к ПВН. Во многом этому будет способствовать рациональная организация процесса снабжения потребителей запасными частями и комплектующими к ПВН. Это позволит избежать как дефицита, так и избытка данной продукции на рынке.

Переход России на второй уровень участия в системе каталогизации НАТО (NATO Codification System – NCS) предоставил возможность не только получать и редактировать информацию обо всех предприятиях-поставщиках предметов снабжения ПВН, зарегистрированных под российскими национальными номенклатурными номерами, но и обязал уполномоченного субъекта размещать соответствующие данные об этих предприятиях. В соответствии с соглашением, подписанным советом национальных директоров НАТО по каталогизации AC/135, это право было предоставлено Центру каталогизации государственного заказчика по экспортно-импортным операциям в области ВТС, образованному в Департаменте информационных технологий ОАО «Рособоронэкспорт».

Таким образом, информационные ресурсы системы каталогизации предметов снабжения экспортируемой ПВН можно рассматривать в качестве аналитического инструмента для выявления и пресечения деятельности недобросовестных поставщиков.

На сегодняшний день многие предприятия и организации уже начинают внедрять технические решения для защиты своей продукции от копирования. Показательным примером является ОАО «Уралвагонзавод», где используются современные технологии

маркировки и учета комплектующих изделий, производимых для ОАО «РЖД». Результатом принятых мер можно считать пресечение деятельности крупного предприятия-производителя, незаконно использующего зарегистрированный товарный знак, а также значительное сокращение количества контрафактной и фальсифицированной продукции в данном сегменте.

К сожалению, производители ПВН не очень активно используют современные технологии защиты от контрафакта. Это объясняется дополнительными финансовыми затратами на внедрение и эксплуатацию технологического оборудования, необходимого для реализации заявленных целей, а также техническими сложностями, связанными с интеграцией в технологический процесс производства некоторых видов ПВН оборудования для маркировки изделий и считывания информации. Но одной из главных причин являются сложности, сопутствующие пересмотру и корректировке огромного количества документов в области стандартизации, а также конструкторской, нормативно-технической и иной документации, регламентирующей процессы производства и эксплуатации ПВН.

В настоящее время фонд документов по стандартизации оборонной продукции составляет более 45 тыс. документов. Фонд документов в области общетехнических и организационно-методических систем (комплексов) стандартов на оборонную продукцию составляет более 1,3 тыс. документов. Однако темпы обновления существующего фонда пока недостаточные. В России средний показатель обновления не превышает 1 % в год. Причина – недостаточное финансирование. При этом в развитых странах темпы обновления документальных фондов составляют 9–10 % [2].

Решение этой задачи станет одним из приоритетных направлений в работе по изменению и гармонизации нормативно-правового поля в целях противодействия обороту контрафактных и фальсифицированных элементов снабжения, используемых при производстве и эксплуатации ПВН.

Также необходимо дополнить ст. 1515 Гражданского кодекса РФ положениями, дающими четкое определение контрафактной продукции военного назначения. На сегодняшний день определение «контрафактности» товара, приведенное в положениях этой статьи, не соответствует общепризнанной в мировой практике трактовке «контрафактности» промышленной продукции и не отражает специфики оборонной продукции.

На уровне федерального законодательства важно регламентировать требования к организациям, предприятиям-производителям и поставщикам ПВН, которые касаются использования уникальной идентификации выпускаемой и поставляемой продукции, машиносчитываемой маркировки, а также ведению регистра уникально идентифицированных изделий.

Кроме того, необходимо ужесточить санкции и пересмотреть существующий порядок привлечения к уголовной ответственности за производство и распространение контрафактных материалов, деталей и комплектующих изделий, применяемых при создании и эксплуатации ПВН.

Реализация и внедрение рассмотренных мер по противодействию оборота контрафактных и фальсифицированных предметов снабжения, используемых в ПВН, во многом будут зависеть от финансово-экономической поддержки со стороны государства. В настоящее время в рамках технологического развития ОПК реализуется десять федеральных целевых программ. При этом основные усилия сосредоточены на технологическом перевооружении предприятий.

Таким образом, решение проблемы противодействия обороту контрафактных материалов, деталей и комплектующих к ПВН в процессе осуществления экспортного контроля требует модернизации всей системы обеспечения безопасности продукции и процессов ее производства и обращения. Необходимо постоянно совершенствовать национальное законодательство и правоприменительную практику с учетом мировых тенденций, основанных на нормах ВТО; гармонизировать конструкторскую, нормативно-техническую и иную документацию, регламентирующую процессы производства и эксплуатации ПВН.

## Список литературы

1. Гражданский кодекс Российской Федерации от 18 дек. 2006 г. № 230-ФЗ (Ч. 4) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_173591](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173591). – Дата доступа: 07.03.2015.
2. Варламов, В. Что такое контрафакт и как с ним бороться / В. Варламов, А. Зюскевич [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.oborona.ru/includes/periodics/defense/2013/0114/13089950/detail.shtml>. – Дата доступа: 21.03.2015.

---

\*Сведения об авторе:

Чистов Игорь Вадимович.

Военный университет Министерства  
обороны Российской Федерации, г. Москва.

Статья поступила в редакцию 14.04.2015 г.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ  
ПРОТИВНИКА РАКЕТНЫМИ ВОЙСКАМИ И АРТИЛЛЕРИЕЙ В ОПЕРАЦИЯХ**

УДК 355.4

В. В. Шлакунов\*

*В статье с использованием методов анализа сложных систем предложена методика исследования эффективности огневого поражения противника с учетом оценки влияния факторов и условий обстановки.*

*In article with use of methods of the analysis of difficult systems the technique of research of efficiency of fire defeat of the opponent taking into account an estimation of influence of factors and conditions conditions is offered.*

Как показывает опыт войн и военных конфликтов современности, анализ мероприятий оперативной и боевой подготовки в Вооруженных Силах [1–3] главным содержанием современных, а тем более перспективных операций будет являться огневое поражение противника (ОПП), осуществляемое в условиях динамично развивающихся факторов и условий обстановки.

Существенная, а в ряде случаев ведущая роль в процессе ОПП принадлежит ракетным войскам и артиллерии (РВиА) [4–6]. При этом, как показывают исследования [5], только из-за неучета влияния в ходе организации ОПП условий и факторов обстановки могут быть не реализованы до 20 % боевых возможностей РВиА. В характерных для современных операций условиях острого дефицита выделяемых ресурсов такие потери становятся недопустимыми [5]. Исходя из этого как в современных условиях, так и в обозримом будущем важнейшим требованием к РВиА становится наиболее полное использование их боевых возможностей в операциях.

Рассмотренные обстоятельства свидетельствуют о том, что дефицит выделяемых ресурсов РВиА и низкий, вследствие недостаточного учета факторов и условий обстановки, уровень использования их боевых возможностей обуславливают недопустимое противоречие между требуемой и достигаемой степенями ОПП в операциях и, как следствие, требуют повышения эффективности ОПП РВиА.

Следует отметить, что оценка важности условий и факторов обстановки, влияющих на реализацию боевых возможностей РВиА, имеет важную практическую направленность. В условиях ограничений на ресурсы для принятия должностными лицами органов военного управления решений как по развитию РВиА, так и их боевому применению в ходе операций, необходимы качественные и количественные характеристики степени влияния факторов и условий обстановки на реализацию боевых возможностей РВиА. В этом случае появляется возможность совершенствовать именно тот проблемный аспект или направление развития РВиА, оказывающий наибольшее влияние, что обеспечивает повышение эффективности как боевого применения РВиА, так и ОПП в операции.

С позиций общей и военной системологии ОПП РВиА в операции можно представить как некоторую сложную систему [7].

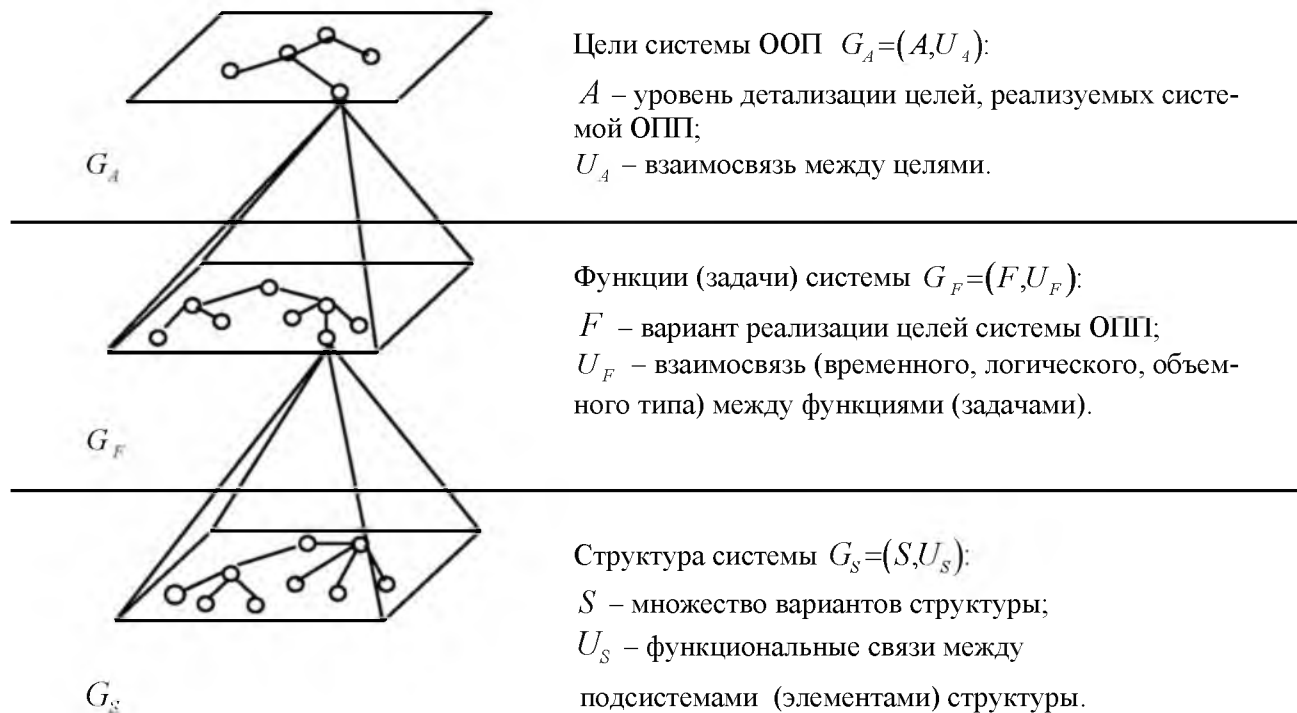
Существует ряд подходов и методов исследования свойств сложных систем. Так, использование агрегативно-декомпозиционного подхода позволяет произвести разбиение большого числа факторов и условий обстановки, оказывающих влияние на ОПП РВиА в операциях на небольшое число групп, подсистем по целевому принципу. Это позволяет для оценки эффективности ОПП выявить и определить существенные, функционально-значимые связи между боевыми действиями РВиА и факторами и условиями обстановки, нарушение или возникновение которых может существенно сказываться на возможности достижения целей ОПП. При этом использование математического аппарата развивающегося в настоящее время когнитивного моделирования [8–12] позволяет получить обоснованные с помо-

щью формальных средств рекомендации должностным лицам органов управления РВиА по учету влияния условий и факторов обстановки на ОПП РВиА в целях повышения его эффективности. С учетом того, что применение инструментария когнитивного моделирования позволяет проводить многосторонний анализ сложных систем как неформализованными, так и формализованными математическими методами, возможно построение на его основе элементов автоматизированной системы управления РВиА.

Математические основы анализа связности сложных структур были заложены К. Дроукером (С. Droucer), а дальнейшее развитие этого направления было реализовано в работах британского физика Р. Эткина (R. H. Atkin) [10]. Данные работы послужили началом исследования сложности структур систем методом  $q$ -анализа или полиэдральной динамики.

Для наглядного представления решаемых целей, задач и структуры ОПП РВиА в операции с позиций агрегативно-декомпозиционного подхода к формализации задач синтеза и анализа сложных систем, система ОПП РВиА может быть описана на различных уровнях детализации совокупностью альтернативных графов [7]. Применение данного подхода включает два взаимосвязанных этапа: последовательную декомпозицию системы (целей, функций, задач, структуры и т. д.) и агрегирование (объединение) их на соответствующем уровне детализации для генерирования вариантов построения системы по частям и в целом [7].

На рисунке 1 для построения модели ОПП представлена иерархическая структура целей, форм и методов ОПП, а также создаваемых группировок в виде взаимосвязанной совокупности альтернативных графов различной степени детализации элементов и их взаимосвязей.



**Рисунок 1. – Взаимосвязанная совокупность графов для построения системы ОПП**

Граф  $G_A=(A,U_A)$  задает взаимосвязи множества альтернативных вариантов выполнения целей, реализуемых системой ОПП, здесь  $A$  – множество вершин графа, соответствующих различным уровням детализации целей, выполняемых системой, а  $U_A$  – множество дуг, отражающих характер взаимосвязей между ними. В качестве цели, реализуемой системой ОПП, на верхнем уровне детализации выступает снижение боевых возможностей группировки противника, на другом уровне детализации (оперативно-стратегическом, стратегическом) в качестве частных целей могут быть: завоевание (удержание, недопущение) огневого превосходства над противником, дезорганизация его системы управления и др. На нижних

уровнях детализации могут рассматриваться цели ОПП в ходе выполнения оперативных задач, боевой задачи соединением и т. д.

Граф  $G_F = (F, U_F)$  задает альтернативные варианты реализации функций, выполняемых системой ОПП, здесь  $F$  – множество вершин графа, отражающих альтернативные варианты реализации функций системы ОПП,  $U_F$  – множество дуг графа, отражающих взаимосвязи логического и объемного типа между функциями (задачами) и последовательностью их выполнения при реализации. Элементы данного графа являются детализацией вершин графа  $G_A$ . На верхних уровнях детализации может формализоваться структура, формы и методы огневого поражения противника; на нижних уровнях – выполнение отдельных огневых задач (ударов).

Граф  $G_S = (S, U_S)$  определяет варианты реализации структуры ( $S$ ) системы ОПП: группировок ракетных войск, группировок авиации, группировок артиллерии и возможные взаимосвязи (долевое участие, последовательность поражения) между ними ( $U_S$ ). Очевидно, что данный граф может быть также представлен на разных уровнях детализации. На верхних уровнях – подсистемами: поражения противника РВиА, поражения противника авиацией и т. д. Структура каждой из этих подсистем в дальнейшем может быть также детализована на подсистемы: поражения, управления, разведки, обеспечения.

Учитывая, что структура ОПП в операции зависит от выделяемых ресурсов, могут быть построены графы, характеризующие множество вариантов выделения на операцию соединений, частей, подразделений, участвующих в ОПП, а также выделяемых боеприпасов.

Так, граф  $G_R = (R, U_R)$  может задавать множество вариантов ( $R$ ) выделения на операцию соединений, частей, подразделений, участвующих в ОПП (в том числе обеспечивающих его), а  $U_R$  – их организационно-штатную принадлежность. Граф  $G_K = (K, U_K)$  может задавать множество вариантов выделения ( $K$ ) на операцию расходных ресурсов (боеприпасов), а  $U_K$  – их соотношение к выделенным средствам поражения.

Агрегирование (объединение) при решении задачи создания подсистемы РВиА сводится к поиску рационального отображения ( $m$ ) множества взаимосвязанных вариантов выполнения целей, функций на множество взаимосвязанных вариантов реализации элементов системы при заданных принципах функционирования всей системы ОПП.

Сказанное справедливо при допущении о том, что вариант реализации элементов других подсистем системы ОПП (подсистем поражения ударами авиации и т. д.) является рациональным. Тогда рациональное отображение целей, функций (задач) на множество вариантов реализации элементов подсистемы РВиА будет, согласно [7], являться обликом подсистемы РВиА (ее начальным структурированием):

$$T^{\circ}: [m\{A^{\circ}\}m\{F^{\circ}\}m\{S^{\circ}\}m\{R^{\circ}\}m\{K^{\circ}\}], \quad (1)$$

где  $T^{\circ}$  – облик подсистемы РВиА;

$m$  – функция рационального отображения.

В этом случае модель формирования подсистемы РВиА при агрегировании в целом может быть записана в виде

$$G_A^N \rightarrow \theta^{N_1} \rightarrow G_F^N \rightarrow \theta^{N_2} \rightarrow G_S^N \rightarrow \theta^{N_3} \rightarrow G_R^N \rightarrow \theta^{N_4} \rightarrow G_K^N = \sum_{i=1}^4 k_i^N \in T^{\circ}, \quad (2)$$

где  $\theta^{N_1}$ ,  $\theta^{N_2}$ ,  $\theta^{N_3}$ ,  $\theta^{N_4}$  – соответствующая связь (отображение);

$N$  – номер уровня детализации;

$n$  – количество уровней детализации;

$k_i^N$  – количество  $i$ -х элементов создаваемой системы.

Создание (синтез) оптимальной подсистемы РВиА – сложная с точки зрения формализации задача вследствие своей размерности. В этой связи в интересах снижения размерности задачи может быть принята следующая модель формирования облика подсистемы РВиА:

$$G_A^N \rightarrow \theta^{N_1} \rightarrow G_F^N \rightarrow \theta^{N_2} \rightarrow G_S^N \leftarrow R^N \leftarrow K^N = \sum_{i=1}^2 k_i^N \in T^0. \quad (3)$$

Другими словами, исследуется вопрос рационального отображения целей, функций (задач) на распределение элементов подсистемы РВиА, что обеспечивает исследование форм и методов ОПП РВиА для повышения эффективности ОПП РВиА.

Как известно, например [6], проблемы исследований принято классифицировать в зависимости от характера неопределенности как структурированные, слабоструктурированные и неструктурированные. Проблемы вооруженной борьбы в целом и ОПП в частности относятся к классу слабоструктурированных. Эти проблемы характеризуются наличием как качественных, так и количественных элементов сложной системы; в возникновении таких проблем доминируют неопределенные, не поддающиеся количественному анализу закономерности, зависимости, признаки и характеристики.

В настоящее время для анализа сложных систем, включающих слабоструктурированные ситуации, зарекомендовали себя методы, в основе которых лежит когнитивная карта – модель представления знаний о ситуации в виде причинно-следственных связей существенных факторов исследуемой ситуации [8–12]. Когнитивные карты применяются для понимания ситуации и анализа различных мнений путем концептуального имитационного моделирования (или структуризации), а также для анализа структурных и динамических свойств сложной системы путем формального моделирования.

В данной статье рассматривается исследование проблемы повышения эффективности ОПП РВиА на основе применения формальной когнитивной карты и когнитивного моделирования.

Методика когнитивного моделирования оценки эффективности ОПП РВиА как исследовательской задачи представлена на рисунке 2.

Существенным для использования в практической деятельности органов управления РВиА при организации ОПП методики когнитивного моделирования является то, что все этапы за исключением 1 и 2 формализованы или частично формализованы и, следовательно, могут быть использованы в составе создаваемой АСУ РВиА.

Этапы 1 и 2 подробно исследованы в ряде научных работ [5, 6] и их содержание в данной статье не рассматривается.

Содержание 3–6-го этапов методики заключается в разработке когнитивной модели ОПП в форме когнитивной карты и включает анализ воздействия условий и факторов обстановки на процесс ОПП. Данный анализ состоит из следующей последовательности действий:

структуризация ОПП РВиА посредством построения когнитивной карты с учетом многоаспектности факторов и условий обстановки, влияющих на эффективность ОПП (этап 3);

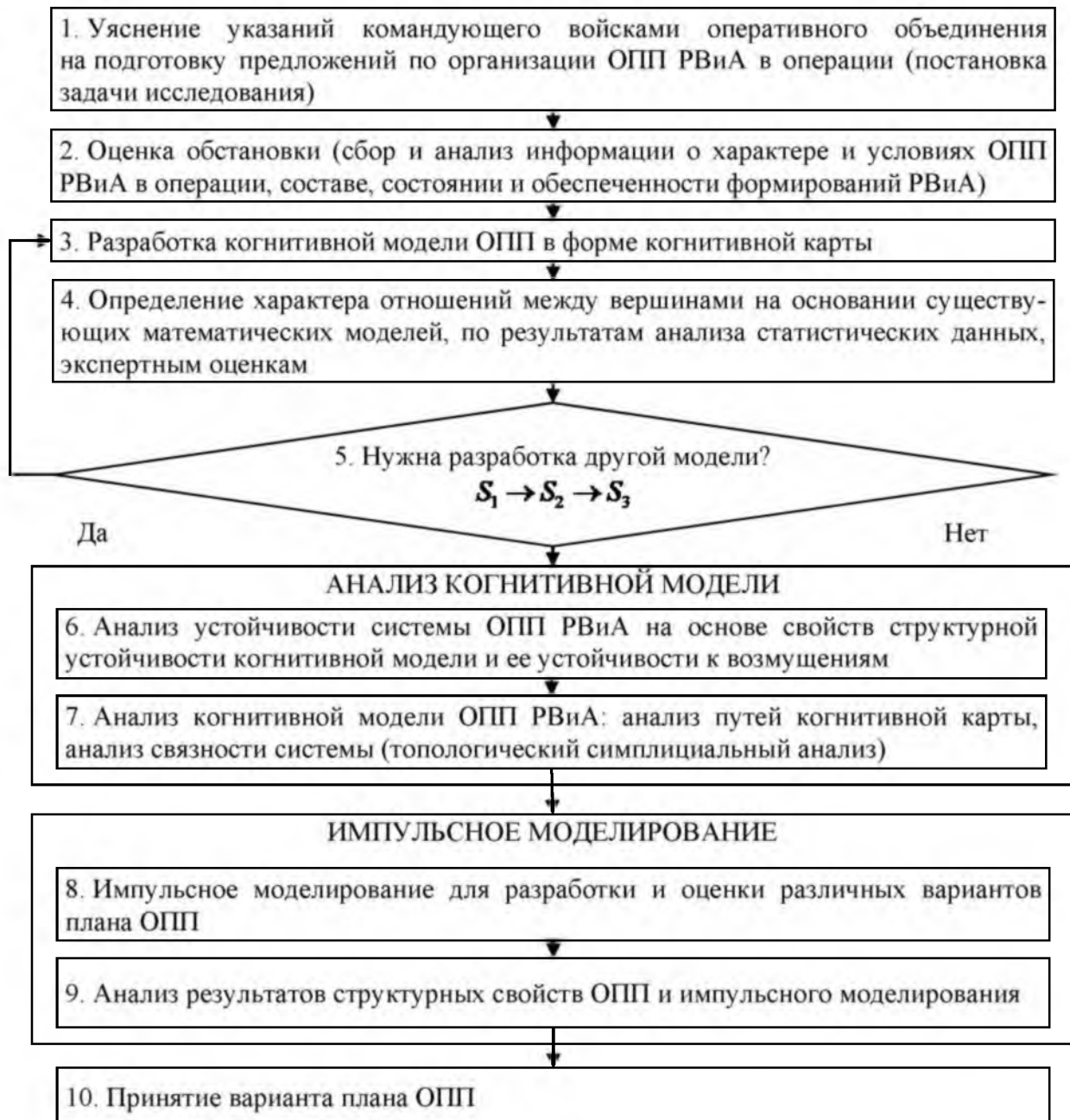
определение характера отношений между вершинами на основании существующих математических моделей, по результатам анализа статистических данных, экспертным оценкам (этап 4);

верификация когнитивной карты. В качестве критерия подтверждения того, что установленные требования были выполнены, могут рассматриваться: качественная оценка условий и факторов обстановки; количественная оценка условий и факторов обстановки. Также в качестве критерия подтверждения может быть принято условие соответствия определенным правилам разработки когнитивной карты. Например, при определении того или иного фактора необходимо так его формулировать, чтобы был понятен его содержательный смысл, но в то же время он представлялся как переменная. Или при определении влияния фактора  $S_1$  на фактор  $S_2$  ( $S_1 \rightarrow S_2$ ) необходимо рассматривать в контексте факторов ( $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3$ ). Выбор критериев и правил осуществляется в зависимости от задачи исследования (этап 5);

в случае выполнения требуемого условия осуществляется анализ устойчивости системы (структурной устойчивости и устойчивости к возмущениям) (этап 6) и анализ связности системы (симплициальный анализ когнитивной карты) (этап 7);

в дальнейшем осуществляется импульсное моделирование развития ситуаций (разработка возможных сценариев развития системы) (этап 8) и анализ результатов структурных свойств ОПП и импульсного моделирования (этап 9);

по результатам анализа и импульсного моделирования принимается решение об использовании модели ОПП для оценки вариантов плана ОПП РВиА и принятия решения на организацию ОПП (этап 10).



**Рисунок 2. – Методика исследования эффективности ОПП РВиА на основе инструментария когнитивного моделирования**

Рассмотрим последовательность операций методики на примере учета некоторых характерных процессу ОПП РВиА факторов обстановки.

ОПП РВиА можно описывать параметрическим функциональным графом [11]:



$$[G(S,U), \Phi, X(0)], \quad (4)$$

где  $G(S,U)$  – когнитивная карта,  $S = \{s_i\}$  – множество факторов ситуации,  $U = \|u_{ij}\|$  – матрица смежности,  $u_{ij} \in [-1; 1]$ ;

$\Phi = \{\varphi_i\}$  – шкалы факторов, заданные в виде отображения  $\varphi_i: z_{ik} \rightarrow x_{ik}$ , где  $z_{ik}$  –  $k$ -е лингвистическое значение фактора  $s_i$ ,  $z_{ik} \in Z$ , где  $Z$  – упорядоченное множество лингвистических переменных;

$X(0)$  – вектор начальных значений факторов.

Характерными факторами когнитивной карты  $G(S,U)$  процесса ОПП могут быть:

1) фактор целеполагания, который может иметь нечеткое определение параметра ( $x_1$ ) – полное дерево целей, дерево целей достаточной комплектации, ограниченной комплектации, малой комплектации;

2) фактор группировки РВиА, который может иметь нечеткое определение параметра ( $x_2$ ) – оптимальная, рациональная, нерациональная;

3) фактор количества сил и средств РВиА ( $x_3$ ) – укомплектованность в полном объеме, достаточная укомплектованность, низкая укомплектованность;

4) фактор эффективности ОПП РВиА ( $x_4$ ) – значение интегрального показателя эффективности ОПП РВиА по результатам моделирования;

5) фактор эффективности функционирования подсистемы обеспечения ОПП ( $x_5$ ) – значение интегрального показателя эффективности функционирования подсистемы обеспечения ОПП по результатам моделирования;

6) фактор эффективности функционирования подсистемы разведки ( $x_6$ ) – значение интегрального показателя эффективности функционирования подсистемы разведки по результатам моделирования;

7) фактор потерь РВиА, общевойсковой группировки ( $x_7$ ).

Для установления причинно-следственных связей осуществляется выбор шкалы для оценки характера (положительный или отрицательный) и силы связи между базисными факторами. Значение соответствующих переменных может задаваться, например, в лингвистической шкале либо в интервале от 0 до 1, как показано в таблице 1.

Таблица 1. – Оценка связей между факторами

Лингвистическое описание	Числовые значения ( $a_{ij}$ )
Не влияет	0
Очень слабо усиливает (ослабляет)	0,01; 0,19 (-0,01; -0,19)
Слабо усиливает (ослабляет)	0,2; 0,39 (-0,2; -0,39)
Умеренно усиливает (ослабляет)	0,4; 0,59 (-0,4; -0,59)
Сильно усиливает (ослабляет)	0,6; 0,79 (-0,6; -0,79)
Очень сильно усиливает (ослабляет)	0,8; 1,0 (-0,8; -1,0)

Для представленных характерных факторов ОПП РВиА и их причинно-следственных связей строится ориентированный знаковый граф – когнитивная карта ОПП РВиА. На рисунке 3 для примера представлена упрощенная когнитивная карта ОПП РВиА.

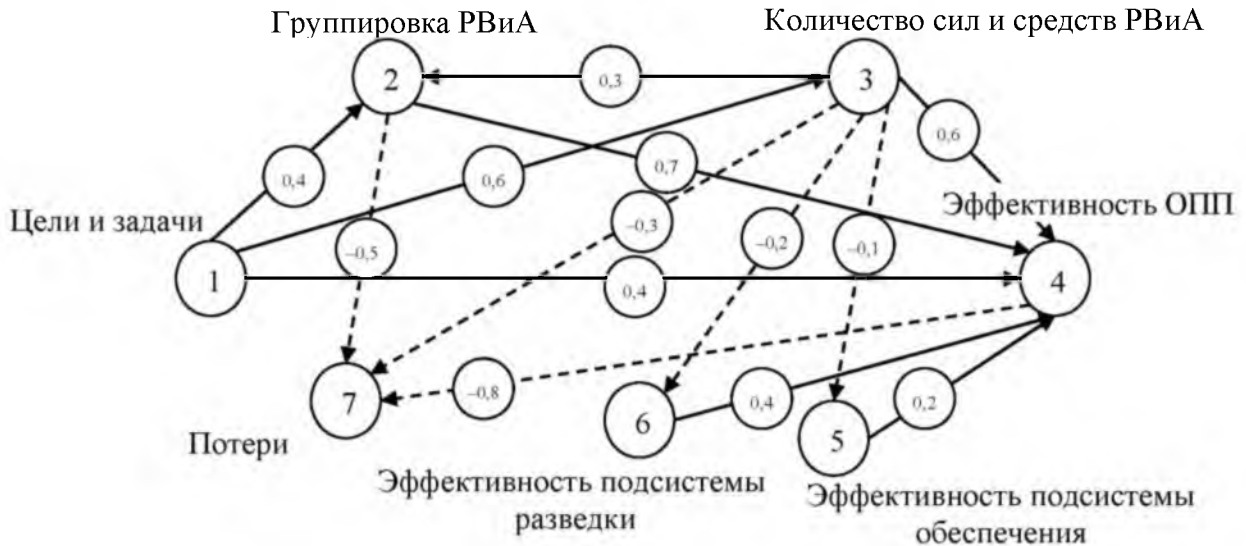


Рисунок 3. – Упрощенная когнитивная карта ОПП РВиА

В результате анализа множества вариантов организации ОПП каждый из факторов имеет конкретные значения параметров, которые характеризуют управляющие воздействия. Использование этих факторов дает возможность выбирать тот вариант плана ОПП РВиА, который по эффективности ОПП и уровню потерь или других факторов (эффективность мероприятий разведки, эффективность обеспечения и др.) соответствует предъявляемым требованиям.

При этом множества управляющих и целевых факторов не фиксированные, а открытые. Это означает, что их состав может меняться в процессе поиска варианта плана ОПП.

На уровне проблем планирования ОПП сложность системы тесно связана с возможностью или невозможностью рационального выбора решений человеком. В связи с этим сложность отражает тип неопределенности, которая не подвергается обработке вероятностными методами.

Когнитивные модели (карты) позволяют исследовать некоторые аспекты структурной сложности, которые определены связанностью систем. Кроме того, когнитивные модели в определенной степени предоставляют возможность анализировать динамическую сложность системы.

В этом случае существует возможность уточнить весовые коэффициенты, которые определены исключительно по субъективным представлениям.

Для этого на примере упрощенной когнитивной карты ОПП РВиА (рисунок 3) можно составить уравнения относительно рассмотренных факторов, параметрами которых можно управлять для оптимизации показателей эффективности ОПП.

Относительно эффективности ОПП РВиА выделим пять контуров управления:

$$\begin{aligned}
 x_1 a_{12} + x_2 a_{24} &= x_4; \\
 x_1 a_{13} + x_3 a_{34} &= x_4; \\
 x_1 a_{14} &= x_4; \\
 x_1 a_{13} + x_3 a_{35} + x_5 a_{54} &= x_4; \\
 x_1 a_{13} + x_3 a_{36} + x_6 a_{64} &= x_4.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Относительно потерь – три:

$$\begin{aligned}
 x_1 a_{13} + x_3 a_{34} + x_4 a_{46} &= x_6; \\
 x_1 a_{12} + x_2 a_{24} + x_4 a_{46} &= x_6; \\
 x_1 a_{13} + x_3 a_{36} &= x_6.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Интересным для исследования устойчивости системы ОПП РВиА (см. рисунок 3) является то, что с помощью системы уравнений (5) и (6) можно найти матрицу параметров факторов, при которой стабильность контуров повышается (уменьшается).

Состояние контуров считается нестабильным, когда фактор потерь имеет положительную производную, а фактор эффективности – отрицательную, и такая тенденция становится необратимой.

Анализ связности системы, как и анализ устойчивости, отражают единую тенденцию – выявление существенных, функционально-значимых связей системы, нарушение или возникновение которых оказывает существенное влияние на возможность достижения системой поставленных целей.

Для решения задачи анализа связности систем применяется аппарат алгебраической топологии, позволяющий проводить анализ структуры как сложного многомерного геометрического образования – симплициального комплекса и использовать инструмент симплициального анализа –  $q$ -анализ связности [8, 10].

В данном виде анализа система рассматривается в виде отношений между элементами конечных множеств – множества вершин  $S$  и заданного семейства непустых подмножеств этих вершин – симплексов  $\sigma$ . Структура системы служит основанием для геометрического и алгебраического ее представления, как симплициального комплекса  $K$ , образованного множеством вершин и соответствующих им симплексов. Для их построения может быть использована структура системы, заданной в виде когнитивной карты  $G(S, U)$ . Другими словами, любое отношение  $\lambda \in \Lambda$  в системе представляется таким образом, что множество элементов, относимых к конкретному элементу  $x_i \in S$ , трактуется как симплекс  $\sigma_{\rho}^{x_i}$ , где  $i$  – номер вершины, а  $\rho$  – геометрическая размерность симплекса, которая определяется числом дуг, соединяющих вершины  $y_i$  в симплексе через переменную  $x_i$ . Симплексы могут определяться как по строкам ( $X$ ), так и по столбцам ( $Y$ ) матрицы отношений графа, соответственно могут быть построены два комплекса:  $K_x(Y, \lambda)$  и  $K_y(X, \lambda^*)$ , где  $\lambda^*$  – транспонированная матрица отношений. Один из комплексов может быть более содержательным, чем другой. Таким образом, симплициальный комплекс получается путем разбиения некоторого пространства, заданного, например, графом  $G$  на пересекающиеся подмножества. Поскольку симплициальный комплекс – это семейство симплексов, соединенных посредством общих граней (в том числе общей вершиной – точкой), то характеристикой связности может служить размерность грани, общей двум симплексам. Так как комплекс существует как целое, то для анализа связности используется понятие «цепь связи» –  $q$ -связность (цепь связи отражает возможность того, что два симплекса, непосредственно не имея общей грани, могут быть связаны при помощи последовательности промежуточных симплексов). На основании возможностей симплициального анализа предлагаются формализованные правила обоснования выбора целевых и управляющих вершин, определение устойчивости систем, характеризующих теми или иными симплициальными комплексами, условия структурной устойчивости систем. Важным является то, что использование симплициального анализа возможно при минимальной априорной информации относительно исследуемых факторов обстановки.

Поскольку рассмотренная сложная система, описанная когнитивной моделью, функционирует в динамике ведения боевых действий, то для определения критических элементов системы дополнительно к  $q$ -анализу следует применять сценарный анализ сложной системы.

Сценарный анализ системы проводится на модели обращения системы путем импульсного моделирования. Набор реализаций импульсных процессов – это «сценарий развития», который указывает на возможные тенденции развития ситуаций в динамике.

При исследовании зависимости изменения параметров вершин  $x_i$  от времени:  $x_i(t)$ ,  $t=1, 2, 3, \dots$ , можно определить процесс распространения возмущения по графу  $G$ , т. е. переход системы из состояния  $t_{n-1}$  в  $t_n, t_{n+1}, \dots$  [11]. Пусть значение  $x_i(t_{n+1})$  в вершине  $S_i$  зави-

сит от  $x_i(t_n)$  и от вершин, смежных с  $S_i$ . Пусть  $S_i$  смежна с  $S_j$ , тогда влияние этого изменения на параметр  $x_i$  в момент  $t$  будет описываться функцией  $\pm P_j(n)$  в зависимости от знака дуги, соединяющего  $S_i$  и  $S_j$ . Тогда правило изменения параметров в вершинах в момент  $t_{n+1}$  имеет вид [11]:

$$x_i(n+1) = x_i(n) + \sum_{j=1}^{k-1} f_{ij} P_j(n) + Q_i(n), \quad (7)$$

где  $x_i(n)$  – величина импульса в вершине в предыдущий момент (такт моделирования) ( $n$ );

$x_i(n+1)$  – величина импульса в вершине в момент, который интересует командира ( $n+1$ );

$f_{ij}$  – коэффициент преобразования импульса;

$P_j(n)$  – значение импульса в вершинах, соприкасающихся с вершиной;

$Q_i(n)$  – вектор возмущения и управляющих действий, которые вносятся в вершину и в момент  $n$ .

Внесение возмущений моделирует сценарий, отвечающий на вопрос научного предвидения: «А что будет, если?» Таким образом, импульсное моделирование развития ситуаций позволяет выявить возможные сценарии развития системы – от пессимистичных до оптимистичных. На основании сценариев лицами, принимающими решения, осуществляется выбор варианта плана ОПП РВиА.

Таким образом, в статье показано, как с помощью методов анализа сложных систем можно учесть влияние условий и факторов обстановки для определения такого варианта плана ОПП, который бы обеспечивал максимальную реализацию боевых возможностей РВиА и повышение эффективности ОПП РВиА. Кроме того, решение аналогичной задачи в интересах строительства и развития РВиА в условиях дефицита ресурсов позволяет получить количественные оценки важности различных подсистем системы РВиА и направить первоочередные усилия на развитие тех из них, совершенствование которых в максимальной степени обеспечивает повышение эффективности системы в целом.

В статье также показано, что задача анализа когнитивных моделей достаточно просто формализуется и может быть включена в состав специального математического и программного обеспечения систем поддержки принятия решений в составе создаваемой АСУ РВиА.

### Список литературы

1. Отчет по результатам исследований, проведенных в ходе оперативно-стратегического учения «Запад-2009» в период с 18 по 29 сент. 2009 г. – Минск: НИИ ВС РБ, 2009. – 86 с.
2. Обоснование рациональных направлений инновационного развития Вооруженных Сил исходя из требований их готовности к отражению агрессии противника в условиях ведения современных войн. Шифр «Сеть»: отчет о НИР / НИИ ВС РБ; науч. рук. О. В. Воробей. – Минск, 2012. – 251 с.
3. Гурулев, С. П. Актуальные вопросы реформирования Вооруженных Сил Республики Беларусь / С. П. Гурулев // Сайт МО РБ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mod.mil.by/statya.html>.
4. Мурзич, И. К. Боевое применение ракетных войск и артиллерии в современных общевойсковых операциях / И. К. Мурзич, А. В. Лебедкин. – Минск: ВА РБ, 2007. – 72 с.
5. Синявский, В. К. Адаптивное управление ракетными войсками и артиллерией в современных и перспективных операциях: дис. ... д-ра воен. наук: 12.07.2006 / В. К. Синявский. – Минск: НИИ ВС РБ, 2006. – 260 с.

6. Бобриков, А. А. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии: воен.-теорет. тр. / А. А. Бобриков. – СПб.: Галерея Принт, 2006. – 424 с.
7. Цвиркун, А. Д. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем. Оптимизационно-имитационный подход / А. Д. Цвиркун. – М.: Наука, 1985. – 175 с.
8. Касти, Д. Большие системы, связность, сложность и катастрофы / Д. Касти; пер. с англ. Ю. П. Гупало. – М.: Мир, 1982. – 216 с.
9. Гиг, Джон Ван. Прикладная общая теория систем / Ван Джон Гиг; пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 336 с.
10. Atkin, R. H. Combinatorial Connectivities in Social Systems / R. H. Atkin // An Application of Simplicial Complex Structures to the Study of Large Organisations. – Interdisciplinary Systems Research, 1997.
11. Горелова, Г. В. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г. В. Горелова, Е. Н. Захарова. – Ростов н/Д.: РГУ, 2006. – 332 с.
12. Абрамова, Н. А. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: проблемы методологии, теории и практики / Н. А. Абрамова, З. К. Авдеева // Проблемы управления. – М.: ИПУ РАН, 2008. – № 3. – С. 85–87.

---

\*Сведения об авторе:

Шлакунов Виталий Валерьевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 02.11.2015 г.

## 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО СМЫСЛА КОЭФФИЦИЕНТА НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

УДК 621.396.6

В. И. Белодед, А. Е. Каледя, Н. В. Пушкарева\*

*Получены аналитические выражения, позволяющие расширить представление о физическом смысле коэффициента направленного действия излучателей. Показано, что коэффициент направленного действия обратно пропорционален объему пространства, ограниченному функцией, определяемой нормированной диаграммой направленности.*

*The analytical expressions allowing to expand representation about physical sense of directive gain are given. Directive gain is inversely of space volume limited to the function defined by the normalized pattern is shown.*

Одной из важнейших характеристик излучателей, определяющей их эффективность как направляющих систем, является коэффициент направленного действия (КНД). Согласно определению величина КНД показывает, во сколько раз плотность потока мощности  $\Pi_n$ , излучаемая направленной антенной в направлении  $\theta, \varphi$ , превышает плотность потока мощности  $\Pi_{nn}$ , излучаемую гипотетической ненаправленной (эталонной) антенной, при условии равенства мощностей, излучаемых направленной  $P_{\Sigma n}$  и ненаправленной  $P_{\Sigma nn}$  антеннами:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{\Pi_n(\theta, \varphi)}{\Pi_{nn}}, \quad P_{\Sigma n} = P_{\Sigma nn} = P_{\Sigma}. \quad (1)$$

Существует другое эквивалентное предыдущему определению КНД, в соответствии с которым КНД есть отношение мощности, излучаемой ненаправленной антенной к мощности, излучаемой направленной антенной, при условии равенства полей, создаваемых антеннами в направлении  $\theta, \varphi$ :

$$P(\theta, \varphi) = \frac{P_{\Sigma nn}}{P_{\Sigma n}}, \quad E_n = E_{nn}. \quad (2)$$

Полная мощность, излучаемая направленной антенной, согласно [1] определяется выражением

$$P_{\Sigma n} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} p(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta \, d\varphi, \quad (3)$$

где  $p(\theta, \varphi)$  – мощность, излучаемая антенной в направлении  $\theta, \varphi$ , отнесенная к единице телесного угла;

$$p(\theta, \varphi) = r^2 \Pi_n(\theta, \varphi);$$

$r$  – расстояние от антенны до точки наблюдения;

$\Pi_n(\theta, \varphi)$  – плотность потока мощности в направлении  $\theta, \varphi$ .

Функция  $p(\theta, \varphi)$  определяет ненормированную диаграмму направленности по мощности и отличается от нее только постоянным множителем  $(4\pi)^{-1}$ .

С учетом выражений (1)–(3) КНД антенны находится из соотношения

$$D(\theta, \varphi) = \frac{p(\theta, \varphi)}{P_{\Sigma n} / 4\pi} = \frac{4\pi p(\theta, \varphi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} p(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta \, d\varphi}. \quad (4)$$

Следовательно, в заданном направлении  $\theta, \varphi$  КНД пропорционален мощности, излучаемой антенной в этом направлении, и обратно пропорционален полной мощности излучения  $P_{\Sigma n}$ .

Наряду с приведенным энергетическим определением КНД, возможно и иное его физическое толкование, связанное с объемом тела, охваченного нормированной ДН.

Выражая КНД через нормированные ДН по мощности  $P(\theta, \varphi)$  и амплитуде  $F(\theta, \varphi)$

$$P(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{[P(\theta, \varphi)]_{\max}} = F^2(\theta, \varphi),$$

получим

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi P(\theta, \varphi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta \, d\varphi} = \frac{4\pi F^2(\theta, \varphi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F^2(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta \, d\varphi}. \quad (5)$$

Известно, что объем произвольного тела в прямоугольной системе координат определяется выражением

$$V = \iiint dx dy dz.$$

В сферической системе координат, используя якобиан преобразования, это выражение можно записать в виде

$$V = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{S(\theta, \varphi)} \rho^2 \sin \theta \, d\theta \, d\varphi \, d\rho = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{S^3(\theta, \varphi)}{3} \sin \theta \, d\theta \, d\varphi, \quad (6)$$

где  $S(\theta, \varphi)$  – функция, определяющая поверхность объемного тела.

Сравнивая интеграл в знаменателе (5) и выражение (6), приходим к выводу, что если

$$P(\theta, \varphi) = \frac{1}{3} S^3(\theta, \varphi) \quad (7)$$

или

$$S(\theta, \varphi) = \sqrt[3]{3 P(\theta, \varphi)} = \sqrt[3]{3 F^2(\theta, \varphi)}, \quad (8)$$

то интеграл в знаменателе выражения (5) есть безразмерная величина, численно равная объему тела, поверхность которого определяется функцией  $S(\theta, \varphi)$ . При этом

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi P(\theta, \varphi)}{V}. \quad (9)$$

Следовательно, КНД излучателя в направлении  $\theta, \varphi$  можно представить как отношение значения нормированной ДН по мощности в этом направлении к объему тела, охваченному поверхностью  $S(\theta, \varphi)$ , определяемой ДН соотношением (8).

В направлении максимума излучения антенны  $P(\theta, \varphi) = 1$ . Тогда

$$D(\theta, \varphi) = D_{\max} = \frac{4\pi}{V}, \quad (10)$$

т. е. максимальное значение КНД  $D_{\max}$  определяется только объемом, охваченным функцией  $S(\theta, \varphi)$ , и не зависит от формы ДН.

Для простейших излучателей диполь Герца и элемент Гюйгенса функция  $S(\theta)$  соответственно равна

$$S_1(\theta) = (3 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{3}},$$

$$S_2(\theta) = \left[ \frac{3}{4} (1 + \cos \theta)^2 \right]^{\frac{1}{3}}.$$

При этом

$$V_1 = \frac{8}{3} \pi, \quad V_2 = \frac{4}{3} \pi.$$

Если в пределах главного лепестка излучается больше 80 % всей мощности, то максимальное значение КНД можно оценить по ширине главного лепестка ДН [2, 3]:

$$D_{\max} = \frac{(32 \dots 36)}{2\theta_{0,5}^{\circ} \cdot 2\varphi_{0,5}^{\circ}},$$

где  $2\theta_{0,5}^{\circ} \cdot 2\varphi_{0,5}^{\circ}$  – ширина главного лепестка по уровню половинной мощности в градусах.

В случае, когда излучаемое электромагнитное поле имеет вращающуюся (эллиптическую или круговую) поляризацию, нормированная диаграмма по мощности определяется в виде

$$P(\theta, \varphi) = \frac{p_{\theta}(\theta, \varphi) + p_{\varphi}(\theta, \varphi)}{\left[ p_{\theta}(\theta, \varphi) + p_{\varphi}(\theta, \varphi) \right]_{\max}},$$

где  $p_{\theta}(\theta, \varphi)$ ,  $p_{\varphi}(\theta, \varphi)$  – ненормированные ДН по мощности  $\theta$ -й и  $\varphi$ -й составляющих поля излучения.

При этом КНД равен

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi \left[ p_{\theta}(\theta, \varphi) + p_{\varphi}(\theta, \varphi) \right]}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left[ p_{\theta}(\theta, \varphi) + p_{\varphi}(\theta, \varphi) \right] \sin \theta \, d\theta \, d\varphi}$$

или

$$\frac{1}{D(\theta, \varphi)} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} p_{\theta} \sin \theta \, d\theta \, d\varphi (\theta, \varphi) + \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} p_{\varphi} \sin \theta \, d\theta \, d\varphi (\theta, \varphi)}{4\pi \left[ p_{\theta}(\theta, \varphi) + p_{\varphi}(\theta, \varphi) \right]}$$

Согласно выражению (5) КНД отдельных компонент поля излучения определяются соотношениями

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi P_{\theta}(\theta, \varphi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P_{\theta}(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta \, d\varphi}, \quad (11)$$

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi P_{\varphi}(\theta, \varphi)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P_{\varphi}(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta \, d\varphi}. \quad (12)$$

Следует заметить, что в некоторых источниках, например [5, 6],  $D_{\theta}(\theta, \varphi)$  и  $D_{\varphi}(\theta, \varphi)$  определяются выражениями, отличными от (11) и (12).

С учетом (11) и (12) имеем

$$\frac{1}{D(\theta, \varphi)} = \frac{P_{\theta}(\theta, \varphi)}{P_{\theta}(\theta, \varphi) + P_{\varphi}(\theta, \varphi)} \frac{1}{D_{\theta}(\theta, \varphi)} + \frac{P_{\varphi}(\theta, \varphi)}{P_{\theta}(\theta, \varphi) + P_{\varphi}(\theta, \varphi)} \frac{1}{D_{\varphi}(\theta, \varphi)}$$

или

$$\frac{1}{D(\theta, \varphi)} = \frac{1}{1 + \xi^2} \frac{1}{D_{\theta}(\theta, \varphi)} + \frac{1}{1 + 1/\xi^2} \frac{1}{D_{\varphi}(\theta, \varphi)}, \quad (13)$$

$$\text{где } \xi = \left[ \frac{P_{\varphi}(\theta, \varphi)}{P_{\theta}(\theta, \varphi)} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{E_{\varphi}(\theta, \varphi)}{E_{\theta}(\theta, \varphi)},$$

$E_{\theta}(\theta, \varphi)$ ,  $E_{\varphi}(\theta, \varphi)$  – амплитуда напряженности электрического поля  $\theta$ -й и  $\varphi$ -й составляющих в направлении  $\theta$ ,  $\varphi$ .

Выражая  $D_{\theta}(\theta, \varphi)$  и  $D_{\varphi}(\theta, \varphi)$  через объемы  $V_{\theta}$  и  $V_{\varphi}$ , охватываемые соответственно функциями:



$$S_{\theta}(\theta, \varphi) = \sqrt[3]{3 P_{\theta}(\theta, \varphi)} = \sqrt[3]{3 E_{\theta}^2(\theta, \varphi)},$$

$$S_{\varphi}(\theta, \varphi) = \sqrt[3]{3 P_{\varphi}(\theta, \varphi)} = \sqrt[3]{3 E_{\varphi}^2(\theta, \varphi)},$$

по аналогии с (9) соотношение (13) можно записать в виде

$$\frac{1}{D(\theta, \varphi)} = \frac{1}{1 + \xi^2} \frac{V_{\theta}}{P_{\theta}(\theta, \varphi)} + \frac{1}{1 + 1/\xi^2} \frac{V_{\varphi}}{P_{\varphi}(\theta, \varphi)}.$$

При этом максимальное значение результирующего КНД антенн с вращающейся поляризацией поля излучения определяется выражением

$$\frac{1}{D_{\max}} = \chi_{\theta} \frac{1}{D_{\theta\max}} + \chi_{\varphi} \frac{1}{D_{\varphi\max}}, \quad (14)$$

где  $\chi_{\theta}$ ,  $\chi_{\varphi}$  – коэффициенты, определяющие относительные мощности излучения  $\theta$ -й и  $\varphi$ -й составляющих

$$\chi_{\theta} = \frac{[E_{\theta}^2(\theta, \varphi)]_{\max}}{[E_{\theta}^2(\theta, \varphi) + E_{\varphi}^2(\theta, \varphi)]_{\max}},$$

$$\chi_{\varphi} = \frac{[E_{\varphi}^2(\theta, \varphi)]_{\max}}{[E_{\theta}^2(\theta, \varphi) + E_{\varphi}^2(\theta, \varphi)]_{\max}}.$$

Учитывая выражения (10) и (14), находим

$$D_{\max} = \frac{4\pi}{\chi_{\theta} V_{\theta} + \chi_{\varphi} V_{\varphi}}. \quad (15)$$

Из соотношения (15) следует, что максимальное значение результирующего КНД антенн с эллиптической поляризацией излучения обратно пропорционально объемам, ограниченными нормированными ДН  $\theta$ -й и  $\varphi$ -й составляющих. Причем вклад этих составляющих в результирующее значение КНД зависит от относительной мощности, излучаемой каждой компонентой.

#### Список литературы

1. Фельд, Я. Н. Основы теории антенн / Я. Н. Фельд, Л. С. Бекенсон. – М.: Дрофа, 2007. – 491 с.
2. Антенные системы радиоэлектронной техники / Л. Н. Марков [и др.]; под ред. Л. Н. Маркова. – М.: Воениздат, 1993. – 368 с.
3. Антенные системы радиоэлектронных средств / Г. В. Хохлов [и др.]; под ред. Г. В. Хохлова. – М.: Воениздат, 1978. – 368 с.
4. Дрыбкин, А. Л. Антенно-фидерные устройства / А. Л. Дрыбкин, В. Л. Зузенко, А. Г. Кислов. – М.: Сов. радио, 1974. – 536 с.
5. Шифрин, Я. С. Антенны / Я. С. Шифрин. – Харьков: ВИРТА им. Л. А. Говорова, 1976. – 408 с.
6. Лавров, А. С. Антенно-фидерные устройства / А. С. Лавров, Г. Б. Резников. – М.: Сов. радио, 1974. – 368 с.

\*Сведения об авторах:

Белолод Владимир Иванович.

Каледа Андрей Евгеньевич.

Пушкарева Наталья Владимировна.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 24.02.2015 г.

## ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА И СВОБОДНОЙ ТУРБИНЫ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ СКАЧКООБРАЗНОМ ИЗМЕНЕНИИ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ ПОЛЕТА

УДК 629.7

В. А. Братик, И. Ф. Венгер, А. Б. Котенко\*

*В статье рассматривается принцип совместного функционирования системы автоматического управления частотой вращения несущего винта и свободной турбины турбовального двигателя при скачкообразном изменении внешних условий полета. Показана физическая сущность совместной работы регуляторов частоты свободной турбины и несущего винта. Рассмотрены реальные энергетические возможности вертолета одновинтовой схемы при изменении внешних условий полета в ходе летного обучения.*

*In article described a principle of joint functioning of system of automatic control of frequency of rotation of the bearing screw and the free turbine the engine at spasmodic change of external flight conditions. The physical essence of teamwork of regulators of frequency of the free turbine and the bearing screw is shown. Described real power possibilities of the helicopter of the one-screw scheme at change of external flight conditions during flight training.*

Вертолет, благодаря наличию несущего винта, по сравнению с самолетом может взлетать и садиться без предварительного разбега и пробега, набирать высоту и снижаться по наклонной траектории, висеть неподвижно на любой высоте, вплоть до своего потолка, разворачиваться в любую сторону на  $360^\circ$ , выполнять поступательное движение в горизонтальной плоскости в любую сторону: вперед, назад, влево и вправо [1, 2, 3]. Благодаря перечисленным летным качествам в настоящее время нет такой отрасли народного хозяйства, где бы вертолет не применялся.

В последнее время вертолеты стали широко применяться при тушении пожаров. Особенность полетов при тушении пожара состоит в том, что вертолет попадает в зону повышенной температуры воздуха. Причем повышение температуры происходит скачкообразно, т. е. мгновенно изменяются параметры потока воздуха вокруг несущего винта и на входе в двигатель, что резко усложняет совместную работу несущего винта и свободной турбины двигателя. Как показывает опыт тушения пожаров, скачкообразное увеличение температуры воздуха на входе в двигатель может привести к катастрофе. В аналогичной ситуации при тушении лесных пожаров в горах Франции в 1967 году оказался вертолет, управляемый заслуженным летчиком-испытателем СССР Героем Советского Союза Ю. А. Гарнаевым. Одна из версий этой катастрофы гласит: вертолет попал в зону пожара, потерял высоту и врезался в гору.

Чтобы успешно выполнять задачи по тушению пожара с учетом безопасности полетов, необходимо четко представлять влияние высокой температуры над очагом пожара на вертолет и его силовую установку. Чтобы выявить данное влияние, необходимо в первую очередь рассмотреть совместную работу несущего винта (НВ) и турбовального двигателя (ТВаД) в условиях скачкообразного повышения температуры наружного воздуха при маневрировании над очагом пожара.

Несущий винт приводится во вращение силовой установкой, основным элементом которой является турбовальный двигатель. Свободная турбина ТВаД предназначена для привода во вращение НВ. Для обеспечения надежности и безопасности полета на основных эксплуатационных режимах частота вращения свободной турбины и соответственно НВ поддерживается постоянной [4]. Совместная работа свободной турбины и НВ представляет собой сложную систему, которая обеспечивает получение максимального коэффициента полезного действия (КПД) работы несущего винта [5].

Целью данной статьи является определение влияния скачкообразного повышения температуры наружного воздуха на тягу НВ и мощность силовой установки. Данные иссле-

дования направлены на определение минимальной безопасной высоты полета над очагом пожара. Для определения минимальной безопасной высоты полета необходимо выяснить влияние повышения температуры в первую очередь на тягу НВ, а затем на располагаемую мощность ТВаД, которая подводится к НВ.

При увеличении температуры наружного воздуха  $t_n$  падает плотность воздуха  $\rho$ , что видно из формулы [6]:

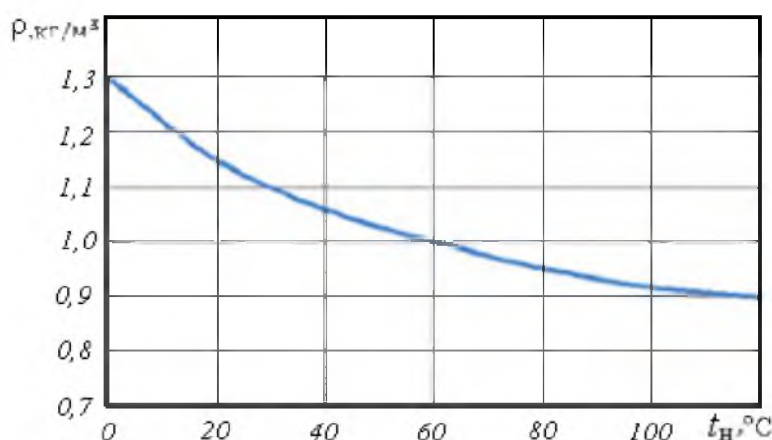
$$\rho = \frac{P}{RT},$$

где  $P$  – давление воздуха (при полете у земли давление равно 101 325,0 Па);

$R$  – газовая постоянная (287,053 Дж/(кг·К));

$T$  – температура наружного воздуха в градусах Кельвина.

График зависимости плотности воздуха  $\rho$  от температуры наружного воздуха  $t_n$  в зоне очага пожара приведен на рисунке 1.



**Рисунок 1. – График зависимости плотности воздуха от температуры наружного воздуха в зоне очага пожара**

Уменьшение плотности воздуха  $\rho$  при увеличении температуры наружного воздуха  $t_n$  влияет:

на тягу несущего винта  $T_{н.в.}$ ;

располагаемую мощность двигателя  $N_p$ , которая подводится к НВ.

Влияние плотности воздуха  $\rho$  на тягу несущего винта  $T_{н.в.}$  проанализируем с помощью выражения [6]:

$$T_{н.в.} = C_T F_{ом} \frac{\rho(\omega R)^2}{2}, \quad (1)$$

где  $C_T$  – коэффициент тяги несущего винта, который зависит от величины общего шага несущего винта;

$F_{ом}$  – ометаемая площадь несущего винта;

$\rho$  – плотность воздуха;

$(\omega R)$  – окружная скорость лопастей.

Результаты расчета влияния плотности воздуха  $\rho$  в зоне пожара на тягу несущего винта  $T_{н.в.}$  приведены на рисунке 2.

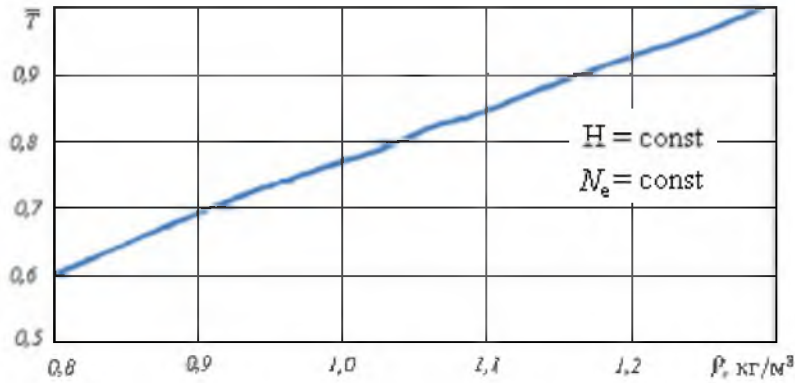


Рисунок 2. – График зависимости тяги несущего винта от плотности воздуха при полете в зоне пожара

Из графика видно, что при скачке температуры воздуха от 0 до +50 °С ( $\rho = 1,093$ ) тяга несущего винта падает до 15 %, а при скачке до 100 °С ( $\rho = 0,946$ ) – до 25 %.

Особенностью данной ситуации является то, что при уменьшении плотности воздуха, как видно из формулы (1), тяга НВ прямо пропорционально уменьшается. Однако из-за уменьшения плотности воздуха, уменьшается также лобовое сопротивление  $Q_{н.в}$  вращения НВ, что видно из формулы [7]:

$$Q_{н.в} = C_x F_{ом} \frac{\rho(\omega R)^2}{2}, \quad (2)$$

где  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления несущего винта, который зависит от величины общего шага несущего винта.

Таким образом, при уменьшении лобового сопротивления несущий винт «облегчается» и обороты НВ должны возрастать, что могло бы компенсировать уменьшение тяги НВ. Однако, при увеличении оборотов НВ в работу вступает регулятор оборотов свободной турбины. Он предназначен для поддержания оборотов НВ постоянными на основных эксплуатационных режимах. При увеличении оборотов НВ регулятор уменьшает подачу топлива в камеру сгорания и обороты НВ восстанавливаются. Данное утверждение справедливо при постоянной подводимой располагаемой мощности от двигателей  $N_p$ .

Из вышесказанного следует, что при скачкообразном увеличении температуры наружного воздуха тяга НВ падает, что приводит к потере высоты вертолета, возрастанию вероятности столкновения с препятствиями при полете на малой высоте и особенно создает трудности при работе с водосливным устройством при тушении пожара. Для прекращения снижения летчик обязан рычагом ШАГ-ГАЗ увеличить режим работы двигателя, что ведет к увеличению оборотов турбокомпрессора и температуры газов перед турбиной.

Мы рассмотрели влияние температуры наружного воздуха на тягу НВ при постоянной располагаемой мощности двигателя. Опыт эксплуатации вертолетов с ТВаД свидетельствует о том, что общее повышение температуры воздуха на входе в двигатель особенно неблагоприятно влияет на работу двигателя. Повышение температуры наружного воздуха летчик может определить по термометру наружного воздуха или косвенно по забросу температуры газов перед турбиной компрессора. Так, работа двигателя при повышенной температуре наружного воздуха летом приводит к дополнительному снижению максимальной мощности двигателя. По данным исследований, общее повышение температуры на входе в двигатель на 25...30 °С приводит к уменьшению максимальной располагаемой мощности двигателя в летних условиях на 8...10 % [8].

Значительно большую опасность представляет собой скачкообразное повышение температуры воздуха на входе в двигатель  $t_v$ , что может произойти на режиме висения вблизи земли при пролете на малой высоте над зоной пожара. При входе в зону пожара практически невозможно точно предугадать момент попадания в двигатель горячего воздуха, продолжительность и многократность воздействия.

Для определения возможных последствий при прохождении «тепловой волны» на потерю максимальной мощности двигателя были проведены предварительные расчеты для двигателя ТВ3-117МТ в диапазоне изменения температуры окружающего воздуха  $t_n$  от  $0^\circ$  до  $120^\circ\text{C}$  при заданном режиме работы и при отсутствии эксплуатационных ограничений в условиях  $p_n = \text{const}$  на заданной высоте полета ( $H_n = 100$  м).

Для расчетов взяты основные параметры рабочего процесса двигателя ТВ3-117МТ, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Основные параметры двигателя ТВ3-117МТ

Параметры	Величина параметра
Степень повышения давления воздуха в компрессоре, $\pi_k^*$	9,9
Степень понижения давления газа в турбине, $\pi_T^*$	3,64
Температура газов перед турбиной, К, $T_T^*$	1263
Секундный расход воздуха через двигатель, кг/с, $G_B$	9,7
Суммарный коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{к с}$	4,26
Коэффициент полноты сгорания топлива, $\eta_r$	0,98
Коэффициент восстановления полного давления, $\sigma_{вх}$	0,948

У турбовальных двигателей реализуется термодинамический цикл Брайтона и работа цикла  $L_{ц}$  определяется выражением, одинаковым для всех типов ТВАД [8]:

$$L_{ц} = C_p T_n \frac{e-1}{\eta_c} \left( \frac{\bar{m} \Delta \eta_c \eta_p}{e} - 1 \right),$$

где  $C_p$  – теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг·К);

$e = \pi^{\frac{k-1}{k}}$  – показательная функция процесса сжатия;

$\Delta = \frac{T_T^*}{T_n}$  – степень подогрева воздуха;

$\eta_c = 0,83 \dots 0,85$  – коэффициент полезного действия процесса сжатия;

$\eta_p = 0,9 \dots 0,92$  – коэффициент полезного действия процесса расширения;

$\bar{m} = 1,03 \dots 1,05$  – коэффициент, учитывающий различия физических свойств воздуха и газа, а также неравенство их расходов.

В общем случае эта работа передается на вал несущего винта и идет на приращение кинетической энергии газового потока, проходящего через двигатель.

У ТВАД, применяемых на вертолетах, реактивная тяга не используется в качестве движущей силы, поэтому скорость истечения газа из сопла  $C_c$  у них очень мала (скорость выходящих газов менее 50 м/с).

Скорость полета также мала, примерно 250 км/ч, поэтому для таких двигателей можно считать, что работа цикла  $L_{ц}$  будет равна механической работе  $L_e$ , передаваемой потребителю через выходной вал.

Таким образом, мощность на валу двигателя определяется выражением

$$N_e = L_e G_B \approx L_{ц} G_B.$$

Расход воздуха рассчитывается при помощи уравнения неразрывности, записанного для входного сечения двигателя через параметры заторможенного потока [8]:

$$G_B = m_B (P_B^* / \sqrt{T_B^*}) F_B q(\lambda_B),$$

где  $m_B = \sqrt{\frac{k}{R} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$  – величина, зависящая от показателя адиабаты  $k$  и удельной газовой постоянной  $R$  и учитывающая физические свойства воздуха;

$P_B^*$  – давление адиабатно заторможенного потока воздуха на входе в двигатель;

$T_B^*$  – температура адиабатно заторможенного потока воздуха на входе в двигатель;

$F_B$  – площадь входа в двигатель;

$q(\lambda_B)$  – относительная плотность тока на входе в двигатель.

При практических расчетах будем принимать для воздуха величину  $m = 0,0404$  при  $k = 1,4$  и теплоемкость  $C_p = 1005$  Дж/(кг·К).

Степень подогрева воздуха  $\Delta = T_{\Gamma}^* / T_H$  определяется расчетной температурой  $T_{\Gamma}^*$  и условиями полета, определяемые диапазоном изменения температуры окружающего воздуха  $t_H$  от 0 до 120 °С.

Показательную функцию  $e = \pi^{\frac{k}{k-1}}$  определяем из таблиц ГДФ для  $k = 1,4$  и  $\pi_k^* = 9,9$  при  $P_H = P_B^* = \text{const}$ .

Относительный расход воздуха  $\bar{G}_B$  определяем из условий изменения температуры воздуха на входе в двигатель  $T_H = T_B^*$  в принятом диапазоне и условиях, что площадь  $F_B = \text{const}$  и  $q(\lambda_B) = \text{const}$  (таблица 2):

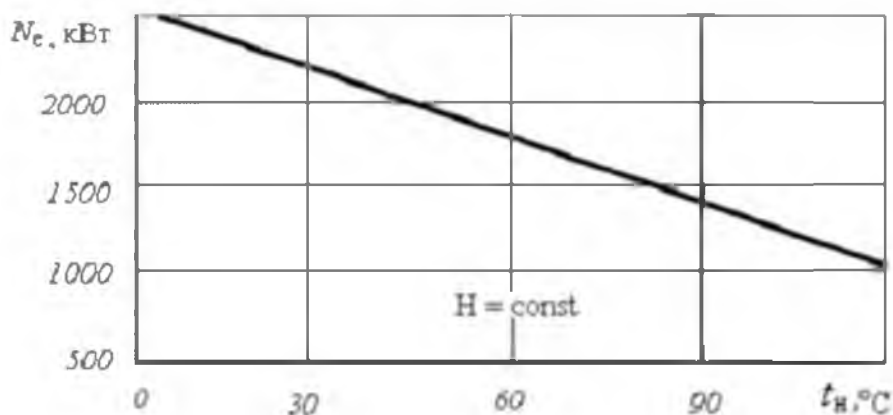
$$\bar{G}_B = (\text{const} / \sqrt{T_{B2}^*}) / (\text{const} / \sqrt{T_{B1}^*}) = \sqrt{T_{B2}^*} / \sqrt{T_{B1}^*}.$$

Таблица 2. – Результаты расчетов мощности двигателя

Параметры								
$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{K}$	$P, \text{Па}$	$\bar{G}_B$	$G_B, \text{кг/с}$	$\Delta$	$e$	$L_e, \text{кДж}$	$N_e, \text{кВт}$
0	273	100 132,0	1,027	9,962	4,63	1,92	267,15	2661
20	293	100 132,0	0,991	9,613	4,31	1,92	244,62	2352
40	313	100 132,0	0,959	9,302	4,04	1,92	223,36	2078
60	333	100 132,0	0,93	9,021	3,79	1,92	200,25	1806
80	353	100 132,0	0,903	8,759	3,58	1,92	178,98	1568
100	373	100 132,0	0,879	8,526	3,39	1,92	157,29	1341
120	393	100 132,0	0,856	8,303	3,21	1,92	133,96	1112

Из таблицы 2 видно, что повышение температуры наружного воздуха ведет к уменьшению секундного расхода воздуха  $G_B$  и механической работы  $L_e$ , что приводит к уменьшению эффективной мощности двигателей  $N_e$  при больших температурах до 50 %.

Влияние температуры наружного воздуха при полете над зоной очага пожара на эффективной мощности  $N_e$  приведено на рисунке 3.



**Рисунок 3. – График зависимости эффективной мощности двигателя от температуры наружного воздуха**

Увеличение температуры воздуха на входе в двигатель на 60 °С по отношению к исходному режиму работы при 20 °С приводит к падению располагаемой мощности двигателя до 30 %.

Падение располагаемой мощности двигателя до 30 % приводит к падению оборотов НВ. Вертолет начнет снижаться, что опасно при тушении пожара на малой высоте. При полете вертолета на номинальном режиме работы двигателей и при падении оборотов НВ в работу вступает регулятор оборотов свободной турбины. Его задача поддерживать обороты НВ в пределах  $95 \pm 1$  %. Поддержание оборотов осуществляется увеличением подачи топлива и летчик в кабине видит по указателю заброс температуры газов перед турбиной компрессора двигателя. Увеличение температуры газов будет продолжаться до выхода двигателя на взлетный режим и вступления в работу регулятора оборотов турбокомпрессора, регулятора предельных режимов ЭРД-3В или регулятора температуры РТ-12А [9, 10]. Данные регуляторы будут ограничивать максимальные обороты турбокомпрессора  $n_{тк\ max}$  и температуру газов перед турбиной  $T_{г\ max}$ . Располагаемой мощности двигателя в данной ситуации может не хватить для восстановления оборотов НВ и соответственно тяги НВ. В этом случае вертолет при полете на малой высоте при тушении пожара может потерять высоту и снизиться ниже предельно допустимой.

Из вышеизложенного следует, что увеличение температуры наружного воздуха ведет к уменьшению располагаемой мощности двигателей. Из-за падения располагаемой мощности двигателей происходит рассогласование совместной работы свободной турбины и несущего винта и, как следствие, падение тяги НВ. Падение тяги НВ приводит к потере высоты полета. Быстрой потере высоты полета способствует уменьшение тяги НВ из-за уменьшения: плотности воздуха в зоне пожара; располагаемой мощности двигателей.

Для предотвращения данного явления следует выдерживать минимально допустимую высоту полета при применении водосливного устройства, например, для вертолетов Ми-8МТ [1]:

- при тушении лесных пожаров – не менее 50 м;
- при тушении наземных пожаров – не менее 100 м.

Глубокие и прочные знания аэродинамики и динамики полета, авиатехники, физической сущности летных ограничений и рекомендаций по пилотированию при тушении пожаров – залог безаварийной летной работы.

#### Список литературы

1. Инструкция экипажу вертолета Ми-8МТ. – М.: Воениздат, 1984. – 360 с.
2. Инструкция экипажу вертолета Ми-24В. – М.: Воениздат, 1987. – 312 с.

3. Инструкция экипажу вертолета Ми-2. – М.: Воениздат, 1978. – 215 с.
4. Володко, А. М. Основы аэродинамики и динамики полета вертолетов / А. М. Володко. – М.: Транспорт, 1988. – 342 с.
5. Котенко, А. Б. Конструкция двигателя ТВЗ-117МТ / А. Б. Котенко. – Минск: ВА РБ, 2014. – 127 с.
6. Володко, А. М. Основы летной эксплуатации вертолетов / А. М. Володко. – М.: Транспорт, 1986. – 263 с.
7. Ромасевич, В. Ф. Аэродинамика и динамика полета вертолетов / В. Ф. Ромасевич. – М.: Воениздат, 1982. – 485 с.
8. Нечаев, Ю. Н. Теория авиационных газотурбинных двигателей / Ю. Н. Нечаев. – М.: Машиностроение, 1980. – 703 с.
9. Котенко, А. Б. Конструкция основных узлов двигателя ТВЗ-117В / А. Б. Котенко. – Минск: ВА РБ, 2003. – 47 с.
10. Котенко, А. Б. Системы двигателя ТВЗ-117В / А. Б. Котенко. – Минск: ВА РБ, 2005. – 59 с.

---

\*Сведения об авторах:

Братик Владимир Александрович.

Венгер Игорь Федотович.

Котенко Александр Борисович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 02.11.2015 г.



**УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПОЛЕВОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ СВЯЗИ,  
МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЕЕ СТРУКТУРЫ**

УДК 621.391.28

С. Г. Голубцов, Т. М. Довлетгелдиев\*

*В настоящее время должностные лица органов управления связью объединения при оценке эффективности полевой опорной сети связи в основном полагаются на личный и коллективный опыт организации связи. Актуальность данной статьи определяется необходимостью совершенствования научно-методического аппарата и выработки обоснованных рекомендаций начальнику связи оперативного объединения по практической реализации ПОСС в операции и повышению эффективности ее функционирования.*

*Now officials of controls association communication at an estimation of efficiency of field basic communication network, basically, rely on own and collective experience of the organization of communication. The urgency of given article is defined by necessity of perfection of the scientific-methodical device and development of well-founded recommendations to the chief of communication of operative association on practical realization field basic communication network in operation and to increase of efficiency of its functioning.*

Система связи оперативного объединения (ОО) в локальных войнах и вооруженных конфликтах, подобно любой системе военной связи, может быть представлена как система массового обслуживания, имеющая внешние и внутренние связи, которые определяются в соответствии с требованиями системы управления ОО в оборонительной операции. Внешними являются, например, связи с системами связи вышестоящего штаба, подчиненных и взаимодействующих войск (сил), а внутренними – связи между элементами самой системы связи [1, 2].

При этом ПОСС, будучи основным системообразующим элементом системы связи оперативного звена управления (ОЗУ), является некоторой совокупностью согласованных между собой структур подсетей связи. Следует отметить, что построение ПОСС в операциях объединений опирается на два основных принципа: первый определяет требования к общему объему нагрузки, обрабатываемой в сети, и порядку ее распределения по информационным направлениям, а реализация второго принципа обеспечивает доступ всех узлов связи (УС) пунктов управления (ПУ) к общему каналному ресурсу сети с учетом неопределенности их нахождения в полосе построения войск. При комплексировании усилий рациональное сочетание указанных принципов создает предпосылки к образованию системного ресурса ПОСС и оптимизации ее синергетического эффекта в заданном направлении путем нивелирования недостатков и реализации преимуществ каждого из них. В связи с этим в усовершенствованной методике в качестве инварианта выступает обязательная реализация данных принципов построения ПОСС, т. е. формирование универсальной (рациональной) структуры [3, 4].

Структура ПОСС системы связи ОО в оборонительной операции жестко взаимосвязана со структурой системы управления войсками и топологией размещения ПУ в полосе построения войск. Основу структуры ПОСС составляют опорные, вспомогательные узлы связи (ОУС, ВУС), осевые и рокадные линии связи. Размещение ОУС (ВУС) в полосе оперативного построения войск может быть реализовано по двум вариантам: первый осуществляет равномерное распределение ОУС в полосе построения войск, не привязываясь к топологии УС ПУ, при этом структура ПОСС образует равномерную решетку, количество ячеек которой зависит от радиуса зоны обслуживания ОУС; второй предполагает объединение УС ПУ в определенные групповые объекты с радиусом, равным радиусу зоны обслуживания ОУС, а также нахождение центра тяжести выделенной группы узлов и совмещение его с местом развертывания ОУС.

Сравнительный анализ обоих вариантов [1] показывает, что при построении ПОСС по первому из них расход сил и средств на ее развертывание возрастает примерно в 2–2,5 раза.

Кроме того, резко увеличивается емкость осей и рокад связи, возрастает концентрация каналов на ОУС, особенно в опорных сетях с жестким закреплением каналов за информационными направлениями, что существенно снижает показатели своевременности установления связи. Оценивая практическую реализуемость первого варианта, необходимо понимать, что, например, в условиях географического положения Туркменистана способ формирования ПОСС по принципу равномерной решетки оказывается неприемлемым, поскольку в условиях горно-пустынной местности военные действия возможны не на всей территории, а только на определенных направлениях (в отдельных районах) [2]. По этой причине более соответствующим условиям проведения оборонительной операции ОО Вооруженных сил Туркменистана следует признать второй вариант построения ПОСС, который позволяет обосновать (синтезировать) ее рациональную структуру, способную даже при ограниченном ресурсе сил и средств связи концентрировать и оперативно перераспределять их по направлениям, месту и времени, сосредоточивая основные усилия по связи в соответствии со складывающейся обстановкой.

Установлено, что динамика реконфигурации структуры ПОСС в ходе оборонительной операции практически полностью определяется изменениями в топологии УС ПУ, при этом в отношении связности, обеспечиваемой между элементами ПОСС, универсальным набором свойств обладает полносвязная структура [1, 2]. Кроме того, доказано, что в процессе формирования структуры ПОСС определяющее значение имеют не сами УС ПУ, а группы УС ПУ, в интересах которых развертываются ОУС [4].

На основании представленных аргументов в усовершенствованной методике оценки эффективности и обоснования структуры ПОСС объединения применяется многошаговый метод решения задачи, приведенный на рисунке в виде алгоритма.

Определение закономерностей взаимосвязи структуры ПОСС с построением системы ПУ предлагается осуществить на основе прогнозирования размещения УС ПУ соединений и воинских частей в полосе ответственности ОО. При этом определяется механизм (порядок, принцип) введения в состав ПОСС элементов, совокупность которых и будет составлять ее обоснованную структуру. Введение конкретных элементов (ОУС, ВУС) в структуру ПОСС планируется осуществлять через количественную оценку ее эффективности по основным показателям, в качестве которых выступают пропускная способность и доступность. По другим показателям, например устойчивости, разведывательной защищенности, мобильности, ввиду сложности их согласования с основными и между собой, – только качественную, ограничиваясь проведением комплекса организационно-технических мероприятий и добиваясь при этом наилучших качественных характеристик ПОСС.

В качестве показателей эффективности ПОСС по доступности предлагается использовать коэффициенты:

пространственной доступности ОУС для привязки к ним УС ПУ:  $K_{\text{ОУС}}^i$   
где  $i$  – условный номер ОУС (ВУС),  $i = 1 \dots m$ , при этом  $m$  – количество ОУС (ВУС) в структуре ПОСС;

пространственной доступности ПОСС в целом:  $K_{\text{д}}^{\text{ПОСС}}$

В целях прогнозирования топологической структуры элементов ПОСС размещение ОУС в полосе ответственности ОО выбирается с таким расчетом, чтобы их зоны обслуживания охватывали как можно большее количество УС ПУ.

Значение коэффициента пространственной доступности ОУС (ВУС) определяется по выражению

$$K_{\text{ОУС}}^i = \frac{N_{\text{УС ПУ}}^{\text{д}}}{N_{\text{УС ПУ}}^{\text{ОУС}_i}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{УС ПУ}}^{\text{д}}$  – количество УС ПУ, находящихся в зоне обслуживания (доступности)  $i$ -го ОУС;

$N_{УС ПУ}^{ОУС}$  – общее количество УС ПУ, для которых требуется обеспечить привязку к  $i$ -му ОУС (ВУС).

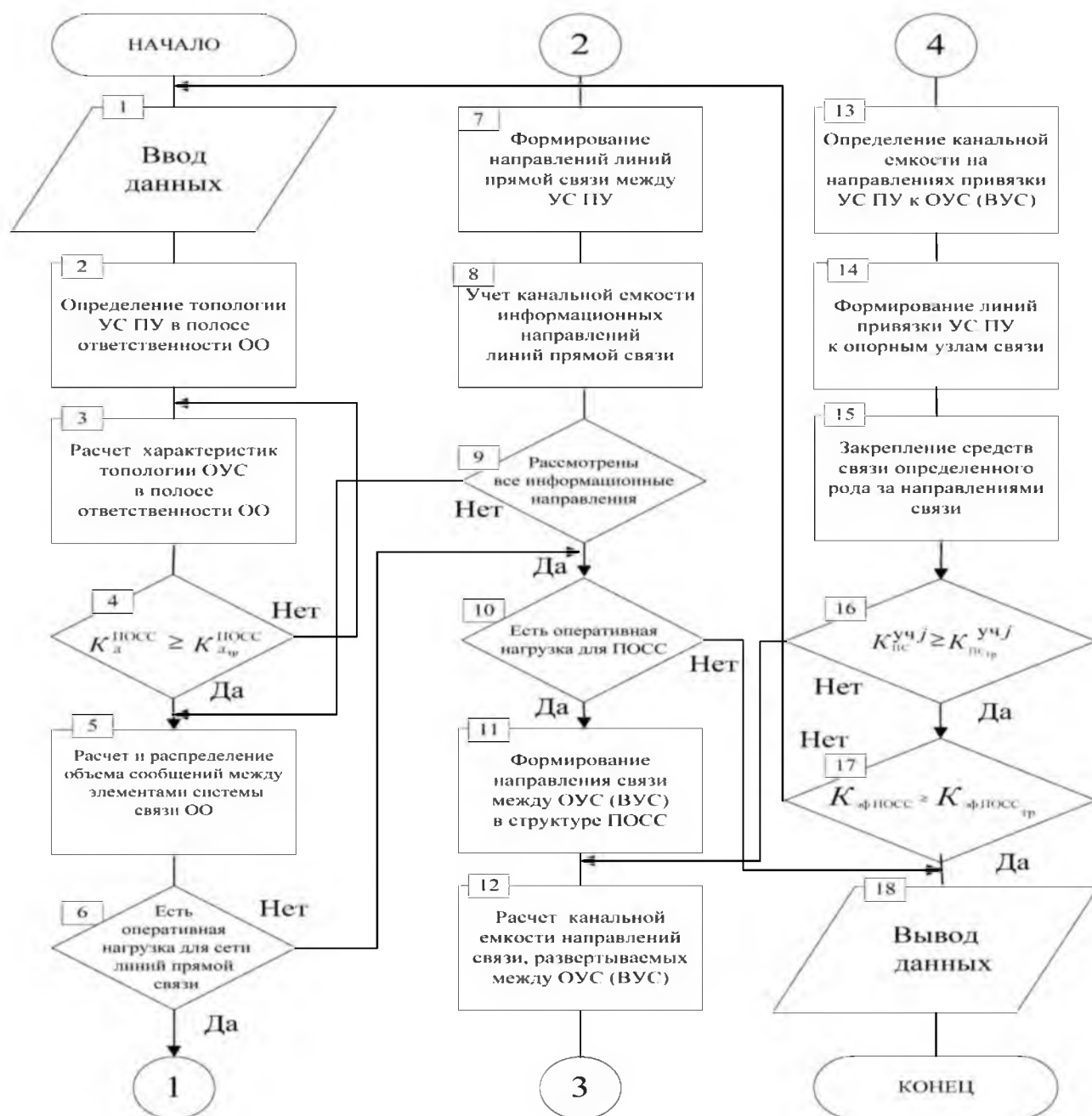


Рисунок. – Обобщенный алгоритм оценки эффективности построения ПОСС

Таким образом, физический смысл коэффициента пространственной доступности ОУС (ВУС) заключается в определении степени эффективности принятого решения на размещение  $i$ -го ОУС (ВУС) на местности.

Значение коэффициента пространственной доступности ПОСС в целом определяется по формуле

$$K_{д}^{ПОСС} = \frac{K_{ОУС}^1 + K_{ОУС}^2 + \dots + K_{ОУС}^i}{m} \quad (2)$$

При этом коэффициенты пространственной доступности ОУС (ВУС) и пространственной доступности ПОСС в целом должны удовлетворять требованиям:

$$K_{ОУС}^i \geq K_{ОУС}^{тp}^i; K_{д}^{ПОСС} \geq K_{д}^{тp}^{ПОСС}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{ОУС}_\text{тр}}^i$ ,  $K_{\text{Дтр}}^{\text{ПОСС}}$  – требуемые (критериальные) значения коэффициентов пространственной доступности ОУС и пространственной доступности ПОСС в целом.

Расчет эффективности функционирования ПОСС по показателю пропускной способности, учитывающему обмен требуемых объемов сообщений, включает два этапа. На первом осуществляется расчет канальной емкости (групповой скорости передачи) участков прохождения информации (направлений связи). Определение конкретных количественных (вероятностных) значений требований к пропускной способности осуществляется для каждого конкретного информационного направления, в том числе и по каждому виду предоставляемых телекоммуникационных услуг. На втором этапе определяются вероятностные центры информационного тяготения [3, 5].

В качестве показателей эффективности ПОСС по пропускной способности предлагается использовать коэффициенты эффективности по пропускной способности участков прохождения информации между ОУС (ВУС):  $K_{\text{ПС}}^{\text{УЧ}_j}$ , где  $j$  – условный номер участка прохождения информации между ОУС (ВУС),  $j = 1 \dots h$ , при этом  $h$  – количество участков прохождения информации в ПОСС.

Коэффициенты эффективности по пропускной способности участков прохождения информации между ОУС (ВУС) определяются с использованием следующего выражения:

$$K_{\text{ПС}}^{\text{УЧ}_j} = \min \left[ \frac{V_{\text{пл}}^{\text{УЧ}_j}}{V_{\text{тр}}^{\text{УЧ}_j}}; 1 \right], \quad (4)$$

где  $V_{\text{пл}}^{\text{УЧ}_j}$  – планируемое (задействованное) количество каналов связи на участке прохождения информации;

$V_{\text{тр}}^{\text{УЧ}_j}$  – требуемое количество каналов связи на участке прохождения информации.

Для учета влияния огневого поражения противника и радиоэлектронного подавления радиоизлучающих средств предлагается применять коэффициенты  $K_{\text{ОП}}$  и  $K_{\text{РЭП}}$  соответственно. Тогда выражение (4) принимает вид

$$K_{\text{ПС}}^{\text{УЧ}_j} = \min \left[ \frac{V_{\text{пл}}^{\text{УЧ}_j}}{V_{\text{тр}}^{\text{УЧ}_j}} (1 - K_{\text{ОП}})(1 - K_{\text{РЭП}}); 1 \right], \quad (5)$$

Для определения эффективности по пропускной способности ПОСС ОО в целом используется выражение

$$K_{\text{ПС}}^{\text{ПОСС}} = \frac{K_{\text{ПС}}^{\text{УЧ}_1} + K_{\text{ПС}}^{\text{УЧ}_2} + \dots + K_{\text{ПС}}^{\text{УЧ}_h}}{h}, \quad (6)$$

Обобщенный показатель эффективности ПОСС – коэффициент эффективности ПОСС по наиболее существенным свойствам (доступности и пропускной способности) – определяется с помощью критерия

$$K_{\text{эф ПОСС}} = \min \left\{ K_{\text{Д}}^{\text{ПОСС}}, K_{\text{ПС}}^{\text{ПОСС}} \right\}. \quad (7)$$

Для количественной оценки эффективности ПОСС устанавливаются градации  $K_{\text{эф ПОСС}_\text{тр}}$ , представленные в таблице, которые учитывают степень обеспечения ПОСС потребностей системы управления войсками по обмену всеми видами информации [4].

Таблица. – Критерии оценки эффективности ПОСС

Степень обеспечения потребностей системы управления	$K_{эфПОССтр}$
Управление обеспечивается в полном объеме (управление устойчиво)	0,81–1,0
Управление затруднено (периодически нарушается)	0,61–0,8
Управление нарушено	0,31–0,6
Управление на грани срыва	0,2–0,3
Управление сорвано (управление войсками отсутствует)	< 0,2

В завершение производится закрепление средств связи за определенными информационными направлениями. Исходными данными для этого являются объемы потоков сообщений, циркулирующих между УС ПУ, и их принадлежность к определенным ОУС. При закреплении средств связи за определенными участками прохождения информации ПОСС применяются группы признаков, которые жестко фиксируются топологией развертывания УС ПУ, ОУС, ВУС, а также тактико-техническими характеристиками и возможностями средств связи [1].

Таким образом, для оценки ПОСС впервые предлагается методика, которая позволяет оценить не только возможность удовлетворения потребностей должностных лиц органов управления ОО в создаваемом ПОСС канальном ресурсе, но и отразить пространственный аспект получения пользователями требуемого (необходимого) им канального ресурса, т. е. такое объективное топологическое положение элементов ПОСС относительно размещения должностных лиц, чтобы они могли воспользоваться ресурсом ПОСС. При этом размещение элементов ПОСС, в частности ОУС, осуществляется с использованием аналитических и эвристических методов, алгоритмы которых носят итеративный характер.

Основная задача, решаемая с помощью оценки эффективности, – выбор рационального варианта построения структуры ПОСС на этапе планирования связи. Вместе с тем усовершенствованная методика позволяет оценить эффективность ПОСС в принципе для любых условий оперативной обстановки. При этом собственно оценка не является самоцелью, а служит основой для количественного обоснования принимаемого решения по формированию структуры ПОСС в операции. Поскольку такая оценка учитывает возможность изменения структуры ПОСС на любом этапе ее функционирования, способы наращивания и восстановления, она может использоваться и в процессе оперативного управления связью.

#### Список литературы

1. Асеев, А. А. Проблемы создания и обеспечения функционирования сети связи общего пользования оперативно-стратегического командования на стратегическом направлении / А. А. Асеев. – СПб.: ВУС, 2002. – 96 с.
2. Ермишян, А. Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях: учеб. / А. Г. Ермишян. – СПб.: ВАС, 2005. – 740 с.
3. Голубцов, С. Г. Организация связи в операциях объединений Вооруженных Сил Республики Беларусь: учеб. пособие / С. Г. Голубцов, В. Г. Мельник, Е. Е. Семенцов. – Минск: ВА РБ, 2006. – 88 с.
4. Боговик, А. В. Эффективность систем военной связи и методика ее оценки / А. В. Боговик, В. В. Игнатов. – СПб.: ВАС, 2006. – 184 с.
5. Комарович, В. Ф. Защита систем военной связи от радиоразведки и радиоподавления противника / В. Ф. Комарович, В. А. Липатников, А. М. Лабунец. – Л.: ВАС, 1989. – 248 с.

\*Сведения об авторах:

Голубцов Сергей Георгиевич.

Довлетгелдиев Тоигельди Мередович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 18.08.2015 г.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СИСТЕМ И ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕТА ТАКТИЧЕСКИХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧ ПОИСКА

УДК 623.746.4-519

А. И. Гутковский, Д. Н. Сосновский\*

*В статье определены характеристики тепловизионных систем тактических беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и предложен алгоритм расчета параметров объекта тепловизионной системы (ТПВС), устанавливаемой на БЛА, а также параметров полета самого БЛА, необходимых для обеспечения максимальной скорости ведения воздушной разведки с заданной вероятностью задач поиска.*

*In article characteristics of thermovision systems tactical unmanned aerial vehicle (UAV) are defined and the algorithm of calculation of parameters of an objective thermovision the system established on tactical UAV, and also parameters of flight most UAV necessary for maintenance of the maximum speed of conducting air reconnaissance with the set probability of problems of search is offered.*

Актуальность применения ТПВС для воздушной разведки объясняется тем, что установка таких систем на борту БЛА обеспечит возможность ведения воздушной разведки в любое время суток, в условиях запыленности и задымленности объектов наблюдения. К достоинствам применения тепловизионных систем при ведении воздушной разведки можно отнести возможность вскрытия замаскированных объектов, повышение вероятности решения задач их поиска, мониторинг протяженных коммуникаций, линий электропередач и трубопроводов, обнаружения очагов пожаров и пожароопасных зон, проведения поисково-спасательных операций, мониторинг температурных режимов удаленных и труднодоступных объектов и зон.

Тактические БЛА в основном применяются для ведения оптической разведки в заданных районах с передачей развединформации в режиме времени, близком к реальному. При этом удаленность района разведки и его возможная площадь в основном зависят от характеристик БЛА (продолжительность, минимальная и максимальная высота полета), мощности его приемо-передающих устройств, параметров окружающей среды (направление и скорость ветра, прозрачность атмосферы) и параметров установленных на БЛА оптических средств разведки (угол обзора, разрешающая способность).

Так, исходя из анализа тактико-технических характеристик современных БЛА среднее время их полета составляет около 1 ч. Крейсерская скорость полета БЛА относительно земли в безветренную погоду составляет  $\approx 80$  км/ч. Диапазон рабочих высот полета БЛА – от 100 до 500 м. Дальность применения БЛА, как правило, 10–15 км, определяется его высотой полета с учетом обеспечения прямой радиовидимости. Минимальная высота полета БЛА (в метрах), обеспечивающая прямую радиовидимость на заданной дальности от наземного пункта управления (НПУ), при установке антенны на высоте 2 м в лесистой (холмистой) местности и дальности до леса 700–1000 м рассчитывается по формуле, полученной посредством аппроксимации данных, приведенных в [1]:

$$H_{\min p} = 26D_p + 90, \quad (1)$$

где  $D_p$  – дальность радиовидимости БЛА с наземного пункта управления, км.

При ведении тепловизионной разведки следует учитывать, что с набором высоты полета БЛА увеличивается слой атмосферы, поглощающий полезный сигнал. Кроме того, к излучению объектов и фона добавляется собственное излучение слоя атмосферы. Коэффициент прозрачности атмосферы для диапазона 8–14 мкм в наибольшей степени зависит от ее влажности и присутствия в ней взвешенных частиц воды [5, 0]. Следовательно, получение

качественного тепловизионного изображения с борта БЛА в облаках практически невозможно, а высота полета БЛА при выполнении задач поиска не должна превышать высоту нижнего края облаков.

Современные ТПВС могут быть установлены на малые БЛА (до 3 кг) и позволят получать качественное тепловизионное изображение. Основные требования к ТПВС, устанавливаемым на БЛА:

- малые вес и габаритные размеры;
- низкое энергопотребление;
- небольшая стоимость.

Основными компонентами ТПВС, предлагаемых к установке на БЛА, являются модули с тепловизионной матрицей и ИК-объективы. Всю номенклатуру предлагаемых ИК-объективов можно разделить на следующие типы:

- обычные, сменяемые вручную;
- атермальные, сменяемые вручную;
- с изменяемым фокусным расстоянием.

Технические характеристики ТПВС, возможные для установки на БЛА, представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Технические характеристики ТПВС, предлагаемых для установки на БЛА [2, 3, 4]

Фирма-производитель	Название модели	Тип матрицы	Рабочий диапазон, мкм	Размер матрицы	NETD, мК	Частота кадров, Гц	Габаритные размеры, Д × Ш × В, мм	Вес, г	Потребляемая мощность, Вт
FLIR	Neutrino	InSb	3–5	640×512	25	30	127×50,8×73,7	450	5
FLIR	Photon HRC	InSb	3–5	640×512	25	30	115,6×86,4×87,6	450	8
FLIR	µCore-275Z	KPT*	3–5	640×512 (320×256)	25	60	–	–	16
FLIR	TAU2(640)	МКБ**	7,5–13,5	640×512	50	30/60	44,5×44,5×30***	72–479	1,2
FLIR	Quark2 (640)	МКБ	7,5–13,5	640×512	50	30/60	17×22×22***	<100	1
Thermoteknix Systems	Miricle 110K-35	ASi	8–12	384×288	70	50/60	(39,1–57,6) × (40–45) × (44–52,5)	68–166***	2,5
Thermoteknix Systems	Miricle 110K-25	ASi	8–12	384×288	50				
Thermoteknix Systems	Miricle 307K-25	ASi	8–12	640×480	50	50/60/240	(46,6–57,6) × 45×52,5	105–166	3,7
Guide Infrared Co	Thermcore UA640A	МКБ	8–14	640×480	50	50/60	33×48,4×54,3***	120***	2
Guide Infrared Co	Thermcore UA330A	МКБ	8–14	384×288	50	50/60	32×40×40***	90***	1,8

Примечание: \* – кадмий-ртуть-теллур;

\*\* – микроболометрическая (МКБ);

\*\*\* – без объектива.

Следует отметить, что часть представленных в таблице 1 ТПВС поставляются производителями на экспорт с ограничениями по характеристикам. Так, ТПВС TAU2 и Quark2 американской фирмы FLIR на экспорт предлагается со значительно ограниченными характеристиками по частоте обновления кадров – 60 Гц (в режиме NTSC) для внутреннего рынка и 7,5 Гц для экспортного варианта.

Анализ ТПВС показал, что для использования на малых БЛА наиболее подходящими по своим массогабаритным характеристикам и энергопотреблению являются модули на основе МКБ. Типовыми размерами ( $m \times n$ ) многоэлементных приемников излучения (МПИ) для таких ТПВС на сегодняшний день являются  $384 \times 288$  и  $640 \times 480$  пикселей.

Также можно отметить, что производители ТПВС при описании характеристик не указывают такой параметр, как время накопления сигнала элементами МПИ. Поэтому при выборе ТПВС для применения на БЛА требуется проверка возможности их использования.

Оптимизация задачи поиска производилась по скорости ведения разведки, равной отношению разведанной площади к единице времени, за которое произведена разведка данной площади (км<sup>2</sup>/ч). Задачами разведки заданного района были приняты обнаружение и распознавание объектов вооружения и военной техники.

Для обнаружения объекта с 95%-ной вероятностью необходимо, чтобы его линейный размер укладывался не менее чем в 4 пикселя, а для распознавания – 12 пикселей получаемого тепловизионного изображения [5, 7]. Так, если в качестве типичной цели обнаружения принять танк, то его линейный размер будет составлять  $2,3 \times 2,3$  м, что соответствует стандарту НАТО STANAG 4347 [7].

Скорость разведки с заданной вероятностью распознавания будет зависеть:

- от поля зрения и размера матрицы МПИ ТПВС, установленной на БЛА;
- скорости полета БЛА;
- высоты полета БЛА;
- амплитуды колебаний БЛА по крену для нестабилизированных ТПВС.

Максимальную ширину разведываемой местности, попадающую в один кадр при съемке с заданной вероятностью решения задач поиска, можно вычислить по следующей формуле:

$$A = m \frac{l_{об}}{N_{об}}, \quad (2)$$

где  $m$  – количество пикселей в строке МПИ, выбранной ТПВС;

$l_{об}$  – линейный размер разведываемого объекта;

$N_{об}$  – минимальное количество пикселей изображения, приходящихся на  $l_{об}$ , для решения задач поиска с заданной вероятностью [5–7].

В таблице 2 представлены значения  $A$  для МПИ с размерами  $384 \times 288$  и  $640 \times 480$  пикселей при заданной 95%-ной вероятности обнаружения и распознавания объекта размером  $2,3 \times 2,3$  м.

Таблица 2. – Значения ширины разведываемой местности, попадающей в один кадр при съемке с заданной вероятностью решения задач поиска для разведки

Задача поиска с заданной 95%-ной вероятностью	Значение $A$ , м	
	Размер МПИ $384 \times 288$ пикселей	Размер МПИ $640 \times 480$ пикселей
Обнаружение	220,8	368
Распознавание	73,6	122,67

Выбор угла поля зрения ТПВС, обеспечиваемый установленным объективом выполняем исходя из предполагаемой высоты полета. При ведении плановой разведки этот угол можно определить из выражения

$$\Theta = 2 \arctg \frac{A}{2H_{п}}, \quad (3)$$

где  $H_{п}$  – высота полета БЛА при ведении разведки.

Для ТПВС, устанавливаемых на БЛА без систем стабилизации, при расчете полной ширины захватываемой полосы разведки необходимо учитывать колебания корпуса БЛА по углу крена. Общая ширина полосы разведки, получаемая за счет колебаний корпуса БЛА по крену, определяется из выражения

$$A_{общ} = 2H_{п} \operatorname{tg} \left( \frac{\Theta}{2} + \alpha_{к} \right), \quad (4)$$



где  $\alpha_k$  – максимальный угол отклонения БЛА по крену.

Скорость разведки с заданной вероятностью решения задач поиска будет определяться из выражения

$$V_p = A_{\text{общ}} V_{\text{пз}}, \quad (5)$$

где  $V_{\text{пз}}$  – крейсерская скорость полета БЛА относительно земли.

С использованием выражений (1–5) был разработан алгоритм определения параметров объектива ТПВС и параметров полета БЛА для выполнения поставленной задачи поиска (рисунок 1).

Алгоритм определения параметров объектива ТПВС и параметров полета БЛА для выполнения задачи поиска представляет собой следующий порядок действий:

1) определение исходных данных: максимальное удаление БЛА от НПУ для выполнения предстоящей задачи поиска  $D$  (км); крейсерская скорость полета БЛА относительно Земли  $V_{\text{пз}}$  (км/ч); высота нижнего края облаков  $H_{\text{обл}}$  (м); размер МПИ по ширине  $m$  (пикселей); количество имеющихся объективов  $k$  для установленной на БЛА ТПВС и их соответствующие углы обзора  $\Theta_{\text{об } i}$  (град); характерный размер объекта поиска  $l_{\text{об}}$  (м); количество пикселей изображения  $N_{\text{об}}$ , соответствующее характерному размеру объекта для выбранной задачи поиска с заданной вероятностью;

2) определение минимальной высоты полета БЛА  $H_{\text{min } p}$  из условия наличия прямой радиовидимости; сравнение полученного значения  $H_{\text{min } p}$  с высотой нижнего края облаков;

3) определение ширины разведываемой местности  $A$ , попадающей в один кадр при съемке с заданной вероятностью решения задач поиска;

4) определение угла поля зрения ТПВС, оптимального для рассчитанной  $H_{\text{min } p}$ , при выполнении поставленной задачи поиска;

5) выбор объектива из имеющихся для установленной на БЛА ТПВС с углом обзора  $\Theta_{\text{об } i}$ , соответствующим выполняемой задаче поиска;

6) расчет высоты полета БЛА  $H_{\text{п}}$  для выбранного объектива ТПВС с учетом высоты нижнего края облаков;

7) определение максимальной скорости ведения воздушной разведки  $V_p$  и максимального удаления БЛА от НПУ  $D_{\text{max}}$  для выбранных условий;

8) принятие решения о возможности выполнения задачи поиска в заданных условиях;

9) вывод параметров полета и объектива, необходимых для выполнения поставленной задачи поиска: максимальное удаление БЛА от НПУ  $D_{\text{max}}$ ; максимальная скорость ведения воздушной разведки  $V_p$ ; высота полета БЛА  $H_{\text{п}}$ ; угол обзора объектива  $\Theta_{\text{об } i}$ ; решение о возможности (невозможности) выполнения задачи поиска в заданных условиях.

Наиболее часто БЛА используются для обнаружения и распознавания различных объектов. Для упрощения выбора параметров объектива ТПВС и высоты полета при выполнении поставленной задачи на основании вышеизложенного алгоритма были разработаны номограммы. Данные номограммы построены для двух типоразмеров инфракрасных МПИ и для двух наиболее распространенных задач поиска, заданных с вероятностью 0,95 – обнаружение и распознавание. На рисунке 2, *а* представлена номограмма для задачи обнаружения, а на рисунке 2, *б* – для задачи поиска объекта.

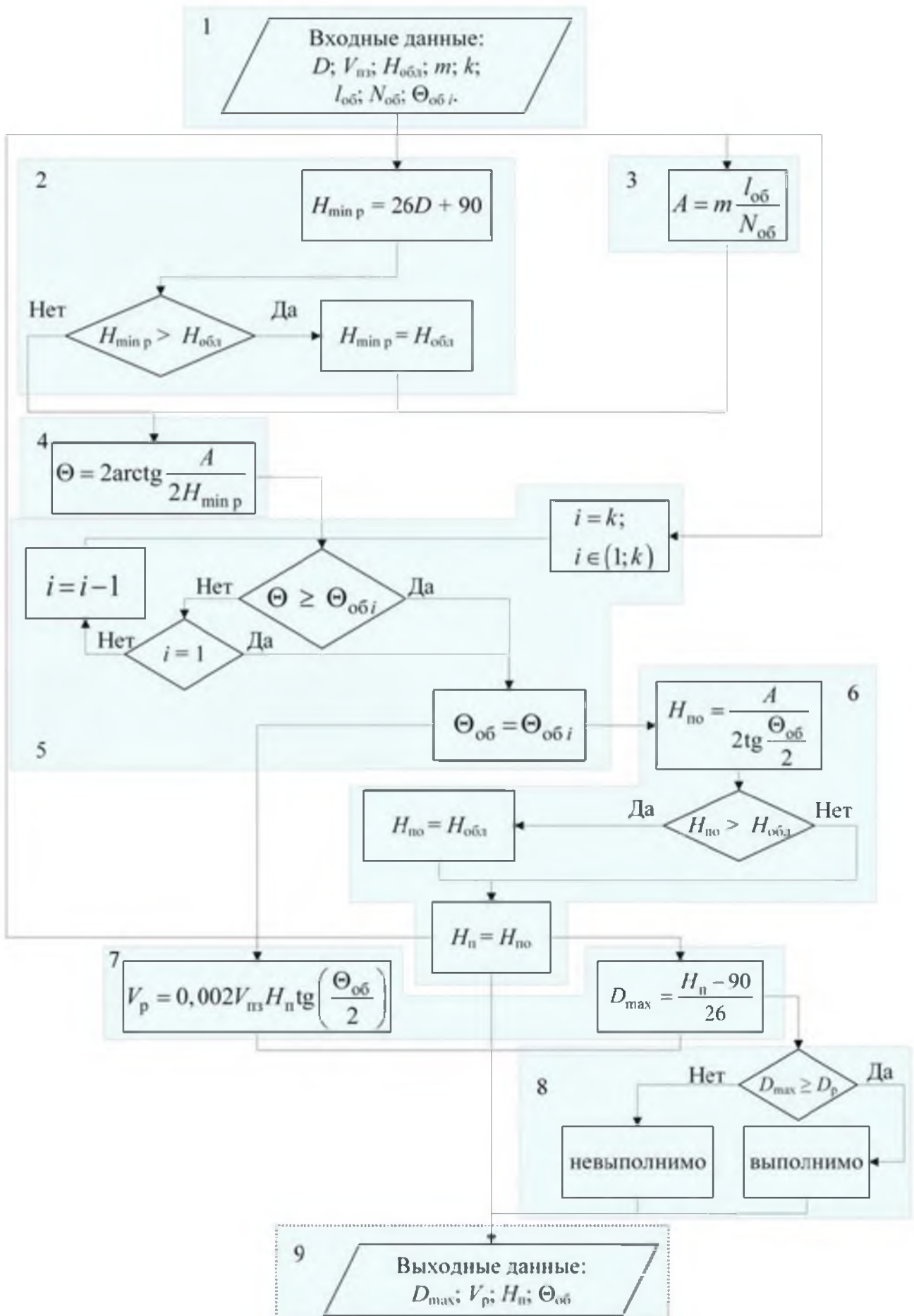
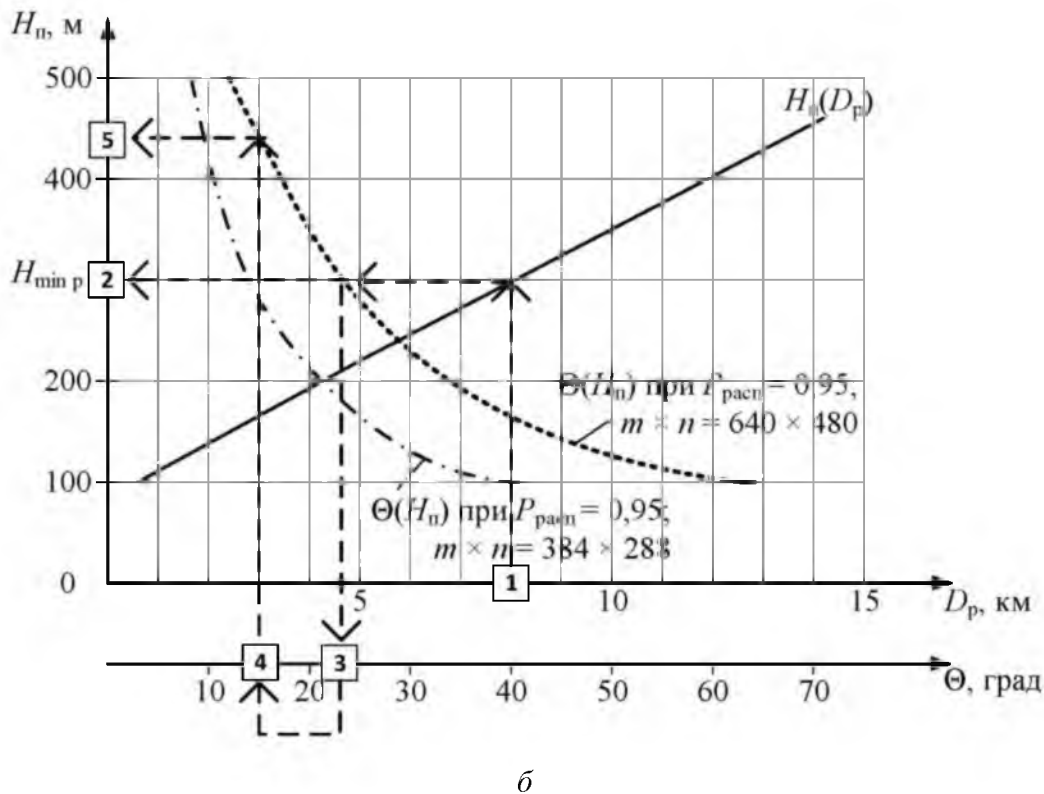
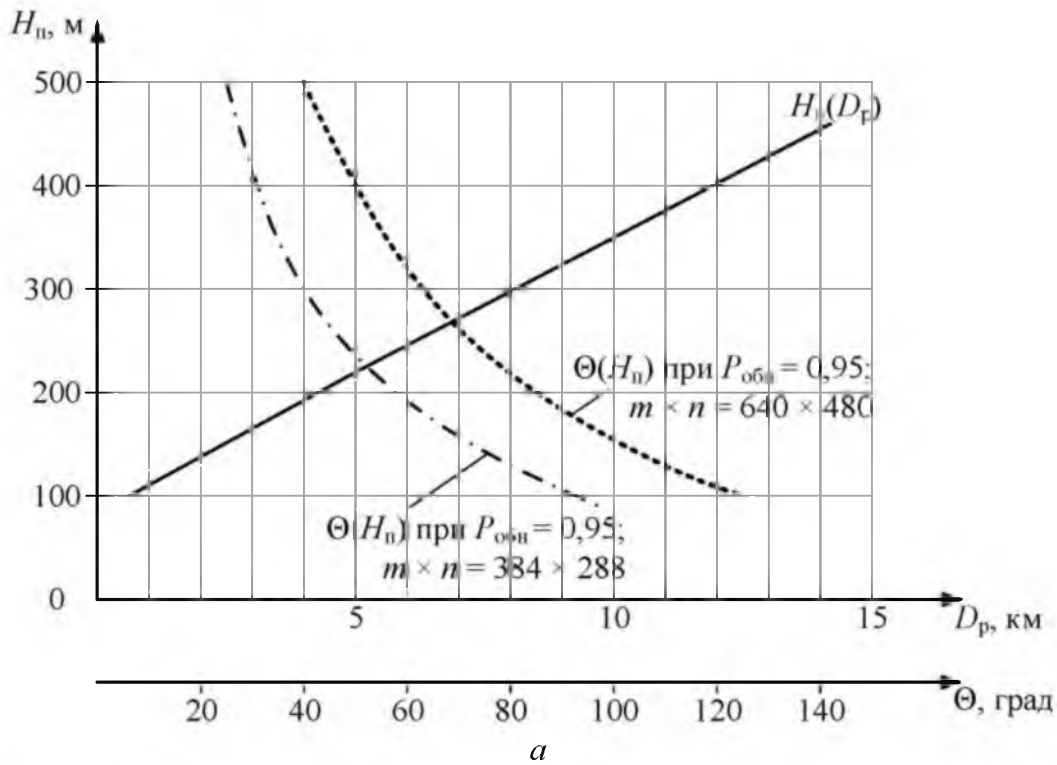


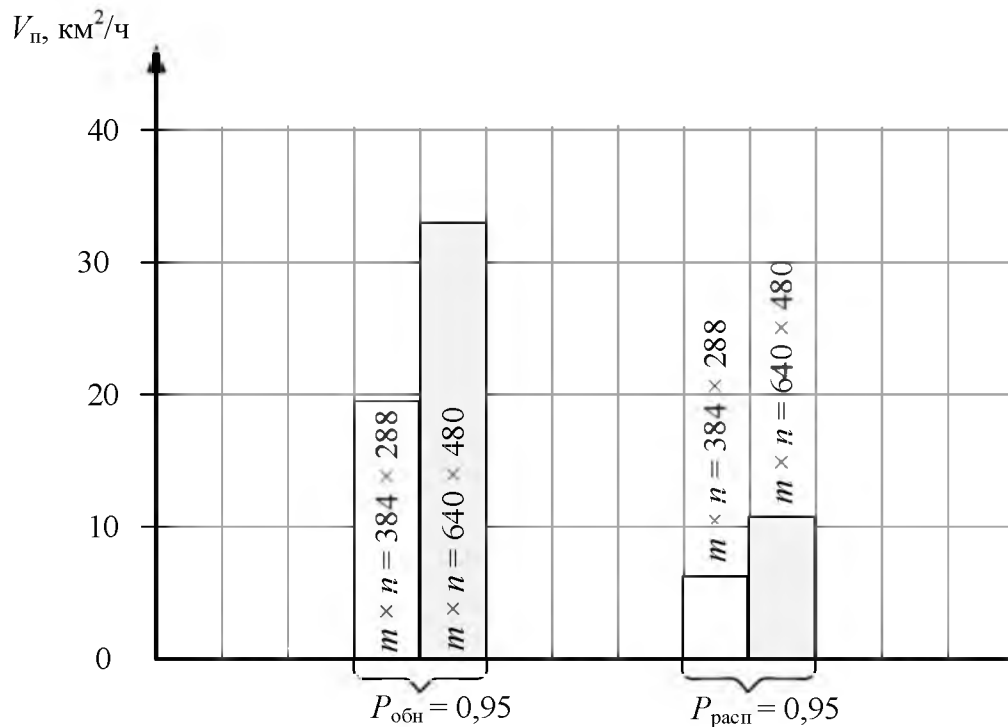
Рисунок 1. – Схема алгоритма определения параметров объектива ТПВС и параметров полета БЛА



а – для решения задач обнаружения; б – для решения задач распознавания

**Рисунок 2. – Номограммы для определения параметров объектива ТПВС и высоты полета БЛА при использовании МПИ с типоразмерами 384 × 288 и 640 × 480 пикселей**

На основании выражения (5) для двух выбранных типоразмеров МПИ (384 × 288 и 640 × 480 пикселей) были определены максимально возможные скорости разведки (рисунок 3) при заданных вероятностях обнаружения и распознавания (0,95).



**Рисунок 3. – Скорости ведения разведки с заданной вероятностью обнаружения и распознавания для двух типоразмеров МПИ ТПВС**

Как видно из вышеприведенного рисунка, максимальная скорость выполнения задач поиска с вероятностью 0,95 при использовании МПИ типоразмером  $640 \times 480$  пикселей более чем в 1,5 раза превышает аналогичную скорость при использовании МПИ типоразмером  $384 \times 288$  пикселей. При этом максимальная скорость разведки с заданной вероятностью распознавания 0,95 составляет всего  $6,6 \text{ км}^2/\text{ч}$ .

Таким образом, наиболее приемлемыми для установки на малые БЛА являются ТПВС с МКБ МПИ размером  $640 \times 480$  пикселей и более.

На основании разработанного алгоритма возможно:

- рассчитать параметры объектива ТПВС, устанавливаемой на БЛА;
- произвести выбор оптимального набора объективов с требуемыми для ТПВС параметрами в зависимости от задач поиска, возлагаемых на БЛА;
- определить параметры полета БЛА, необходимые для обеспечения максимальной скорости ведения воздушной разведки с заданной вероятностью задач поиска.

#### Список литературы

1. Черный, Ф. Б. Распространение радиоволн / Ф. Б. Черный. – М.: Сов. радио, 1962. – 480 с.
2. Small Unmanned Aerial Systems [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.flir.com>. – Date of access: 20.09.2015.
3. OEM Thermal Imaging [Электронный ресурс]. – Mode of access: <http://www.thermoteknix.com>. – Date of access: 20.09.2015.
4. OEM & Solutions [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.guideinfrared.com>. – Date of access: 20.09.2015.
5. Тарасов, В. В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенко. – М.: Логос, 2004. – 444 с.

6. Ллойд, Дж. Системы тепловидения / Дж. Ллойд. – М.: Мир, 1978. – 414 с.

7. Definition of nominal static range performance for thermal imaging systems: STANAG 4347. – Publication Date: 18.07.95. – NATO, 1995.

---

\*Сведения об авторах:

Гутковский Александр Иванович.

Сосновский Дмитрий Николаевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 04.11.2015 г.

## АТОМНЫЙ ЭМИССИОННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛА МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

УДК: 535

В. И. Журавлева\*

*Разработан лазерный атомный эмиссионный спектральный метод контроля однородности материала многослойных керамических конденсаторов на основе BaTiO<sub>3</sub> с серебряно-палладиевыми электродами.*

*Was designed laser atomic emission spectral method to control the homogeneity of the material of which consist the multilayer ceramic capacitors based on BaTiO<sub>3</sub> with silver-palladium electrodes.*

### Введение

Лазерный атомный эмиссионный метод анализа основан на лазерном возбуждении эмиссионных спектров при воздействии сфокусированного излучения на исследуемый образец и идентификации состава материала по спектральным линиям, принадлежащим химическим элементам. При лазерной атомизации вещества возможен анализ практически без предварительной пробоподготовки твердых материалов (в том числе неэлектропроводных и прозрачных), обеспечивается высокая степень локальности при практически безызбирательном поступлении компонентов материала. Экспрессность метода, минимальное разрушение и расход анализируемой пробы (доли нанограмма), возможность определения поверхностного, объемного и послойного распределения элементного состава материала образца, а также возможность дистанционного применения для исследования материала мишени способствуют широкому его использованию в промышленности, материаловедении, археологии, криминалистике, искусствоведении и т. д.

Многослойные керамические конденсаторы используются в радиоэлектронных устройствах и приборах бытового, промышленного и специального назначения. Высококачественные конденсаторы применяются в основном в дорогостоящем оборудовании. Определенные разновидности керамических конденсаторов используются в аэрокосмической отрасли. Высоконадежные конденсаторы применяются в спутниковых системах связи, в авиационной, космической и военной технике. Они используются практически во всех радиоэлектронных устройствах (от источников питания до управляемых ракет и снарядов), в бортовом оборудовании самолетов, танков, кораблей, наземных радиолокационных комплексах и системах управления связи. От качества планируемых к использованию конденсаторов зависит стабильность параметров, точность работы и надежность оборудования.

С использованием лазерного эмиссионного спектрального анализа определен элементный состав материала многослойных керамических конденсаторов (керамика на основе BaTiO<sub>3</sub>, серебряно-палладиевые электроды) для оценки возможности контроля технологического процесса их изготовления. Многослойный керамический конденсатор состоит из сплошного блока керамического диэлектрика и металлизированных электродов. В качестве диэлектрика могут использоваться титанаты кальция и бария (CaTiO<sub>3</sub>, BaTiO<sub>3</sub>). Высокое значение емкости конденсатора достигается благодаря увеличению числа электродов и уменьшению толщины слоя диэлектрика.

Физико-химическая идея монолитного конденсатора заключается в совместном спекании керамики с металлическим электродом. Решающий этап при производстве конденсаторов – спекание керамики. Электродная паста для внутренних электродов подбирается с расчетом на температуру спекания электродов, т. е. в данном случае серебряно-палладиевый электрод с соотношением компонентов Ag/Pd 70/30 выдерживает температуру спекания конденсаторной керамики в диапазоне 1030–1135 °С; керамика спекается и приоб-

ретают необходимые свойства, а электроды при этом хорошо растекаются без образования пустот, расслоений и вздутий. Если соотношение металлов меняется по объему конденсатора в процессе спекания, то качество электродов, т. е. сплошность, выход на контактный торец, могут значительно ухудшаться и менять основные электропараметры конденсатора (снижать емкость, увеличивать тангенс угла диэлектрических потерь и т. д.). Кроме температурных технологических условий, важна чистота исходного материала, так как примеси могут вступить во взаимодействие с материалом диэлектрика, в результате чего могут возникать дефекты в виде расслоения, вздутия и возможно разрушение конденсатора.

Разработка керамического материала для многослойных керамических конденсаторов с заданными параметрами, совместимого с серебряными или серебряно-палладиевыми электродами, требует контроля однородности материала.

Лазерный эмиссионный спектральный метод основан на возбуждении излучения атомов/ионов в исследуемых точках анализируемого образца сфокусированным лазерным излучением, разложении излучения лазерной плазмы в спектр и измерении интенсивности спектральных линий, пропорциональных концентрации элемента, в полученном эмиссионном спектре [1–3]. Качество материала (однородность) оценивалось по величине отношения интенсивности спектральных линий двух компонентов электродной пасты (серебра и палладия), полученного в спектрах двух анализируемых участков образца: в центре по сечению и на внешней грани (выходе) образца.

### Эксперимент

Для получения экспериментальных данных использован частотный двухимпульсный Nd:YAG лазер, дифракционный спектрограф ДФС-458С с блоком регистрации на базе ПЗС-линеек. Параметры лазерного излучения при регистрации спектров: длина волны 1,06 мкм, длительность одиночного импульса 10 нс, энергия одиночных импульсов 0,04–0,05 Дж, временной интервал между импульсами, составляющими сдвоенный импульс, 8 мкс, частота следования сдвоенных импульсов 10 Гц, плотность мощности в случае резкой фокусировки лазерного излучения на поверхность образца около  $1,7 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup>. Спектральный блок обеспечивает работу анализатора в диапазоне от 230 до 350 нм при обратной линейной дисперсии 0,6 нм/мм и разрешаемом спектральном интервале не более 0,03 нм. Диаметр светового пятна при резкой фокусировке луча – около 50 мкм.

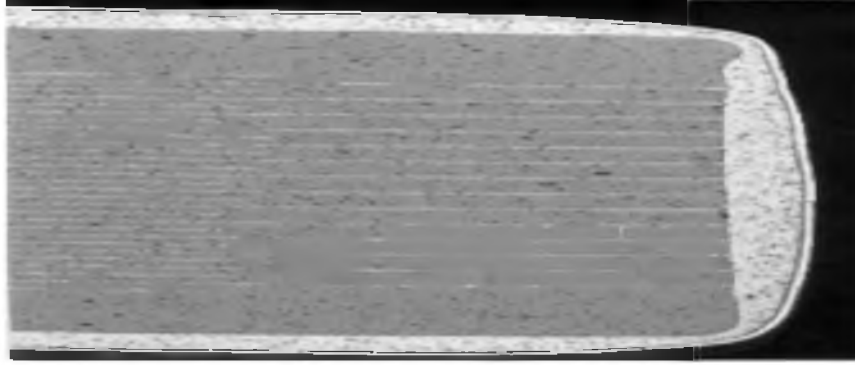
Каждый спектр формировался при воздействии пяти сдвоенных импульсов в одну точку поверхности анализируемого участка образца при резкой фокусировке на поверхность образца. Для снижения плотности мощности лазерного излучения в зоне воздействия использовался нейтральный светофильтр с пропусканием около 60 %.

Глубина эрозионной лунки, полученной на образце при воздействии сфокусированного лазерного излучения, составляет около 100 мкм. В таких условиях для анализа используется порядка  $10^{-9}$ – $10^{-10}$  г вещества. Для контроля содержания элементов в образцах применялись спектральные линии компонентов электродной пасты Ag 328,065 нм и Pd 325,87 нм и линии элемента основы керамики Ti 329,21 нм, Ti 329,94 нм, Ti 328,24 нм (линии внутреннего стандарта). Чувствительность метода – 0,001–0,01 %, погрешность измерения интенсивности линий – около 3–5 %.

Образцы представляют собой миниатюрные керамические конденсаторы с толщиной 800 мкм (толщина электродов примерно 2–4 мкм, толщина диэлектрического слоя – около 20 мкм (рисунок 1). Образцы отличались структурой и условиями изготовления (печи и температурные режимы). Для примера на рисунке 2 показан в увеличенном виде участок нормального образца, на рисунке 3 – образца с дефектными электродами в центре (а) и вблизи контактного торца конденсатора (б).

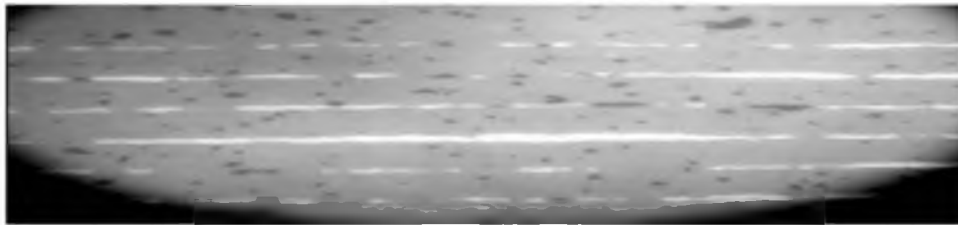


**Рисунок 1. – Внешний вид образцов**



**Рисунок 2. – Изображение участка нормального образца**

Для получения экспериментальных данных в центре образца он разрезался посередине, и отбор пробы (воздействие лазерного излучения) проводился перпендикулярно торцам на выходе и в сечении образца. Отношение интенсивности спектральных линий двух компонентов Ag/Pd определялось в трех точках, расположенных на равных расстояниях друг от друга вдоль линии разреза на внутреннем и внешнем торцах образца. Усреднение интенсивности спектральных линий проводилось по спектрам трех точек воздействия.



*a*



*б*

**Рисунок 3. – Изображение участка образца с дефектными электродами в центре образца (а) и вблизи контактного торца конденсатора (б)**

### **Результаты**

При выполнении условий стехиометрии, что выражается в практическом отсутствии избирательности (фракционности) поступления элементов материала в облако плазмы при



лазерной атомизации вещества [4–6], отношение интенсивности спектральных линий двух компонентов материала в спектре отражает отношение концентраций этих элементов материала в точке воздействия. Сохранение отношения интенсивности спектральных линий двух компонентов материала по двум граням образца отражает сохранение отношения концентраций двух компонентов материала (электродной пасты) по объему образца, что в свою очередь отражает степень однородности материала, т. е. его качество. На рисунке 4 представлены отношения интенсивности линий Ag 328,065 нм и Pd 325,87 нм двух компонентов электродной пасты в спектрах шести образцов, определенные как без учета, так и с учетом спектральной линии элемента основы – титана, которая была выбрана в качестве линии внутреннего стандарта. Каждое значение отношения интенсивности линий Ag/Pd получено усреднением из трех спектров, соответствующих трем точкам воздействия на выходе (внешний торец) и в центре по сечению образца.

Различие величины отношения интенсивности линий Ag/Pd по двум граням образца отражает нарушение соотношения концентраций компонентов электродной пасты Ag/Pd в центре и на выходе образца. Это свидетельствует о том, что соотношение металлов меняется по объему образца в процессе спекания. По различию величины отношения интенсивности линий Ag/Pd на торце и по сечению у образцов 1, 4, 5, 6 на рисунке 4 можно заключить, что указанные образцы являются неоднородными, причем у образца 1 отношение завышено в сечении, следовательно, содержание серебра завышено по центру образца по сравнению с его содержанием на выходе образца. У образцов 4, 5, 6 содержание серебра завышено на выходе, что можно объяснить вытеканием электродной пасты в процессе термообработки образца в печи. Близкие значения отношения интенсивности линий Ag/Pd на торце и по сечению у каждого из образцов 2 и 3 позволили заключить, что по относительному содержанию Ag/Pd эти образцы однородны.

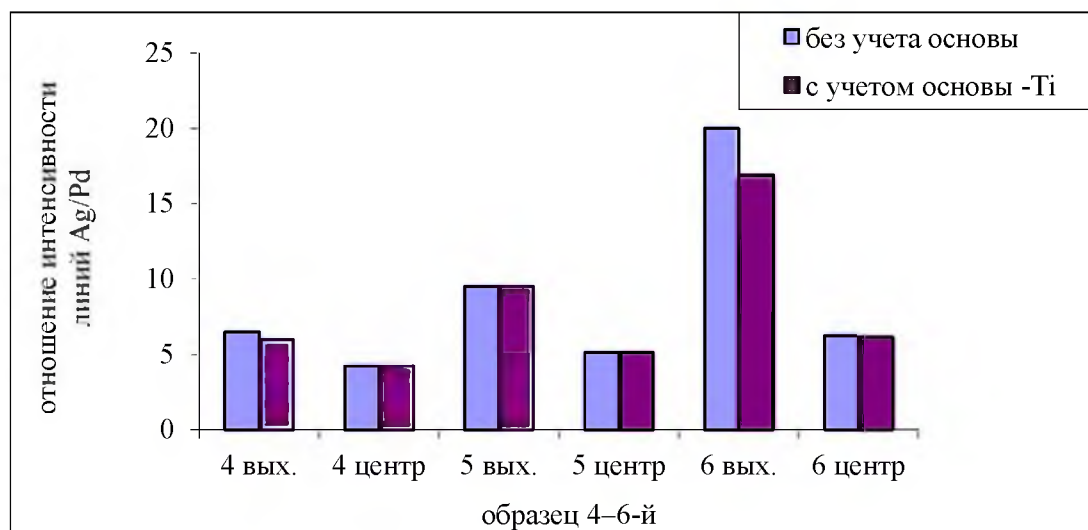
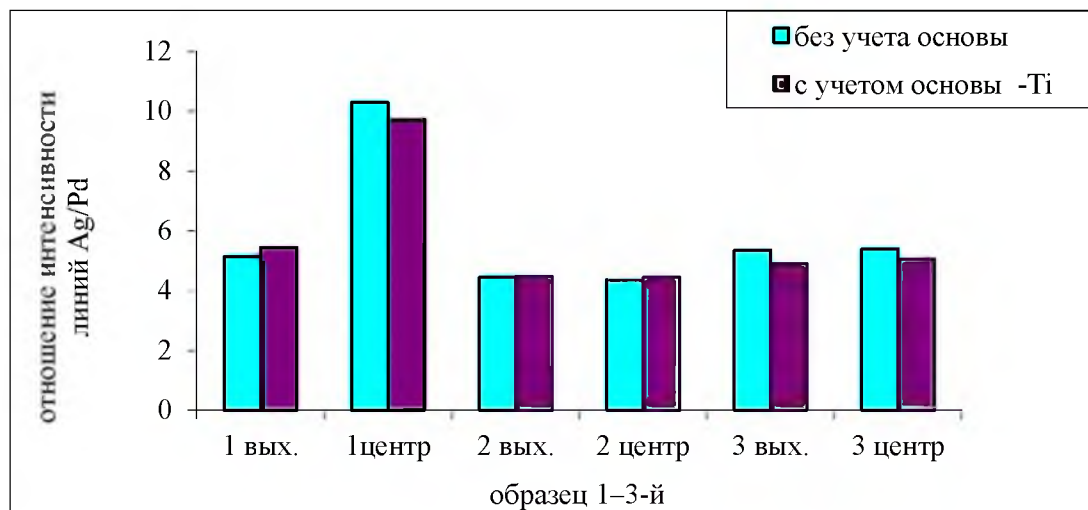
На рисунках 5 и 6 представлены участки спектра излучения лазерной плазмы, содержащие линии компонентов электродной пасты Ag 328,065 нм и Pd 325,87 нм, полученные при воздействии лазерного излучения с плотностью мощности  $1,7 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> на внешний торец и внутреннюю грань (по сечению) образца 3 и 1. Исходя из полученных результатов, свидетельствующих о нарушении соотношения компонентов электродной пасты по объему образцов 1, 4, 5, 6 в процессе спекания, природу брака (неоднородности образцов) предположительно можно объяснить недостаточной совместимостью теплофизических свойств компонентов электродной пасты (серебра, палладия) и температурных условий термообработки, которые зависят от режима спекания и типа используемой печи, что требует коррекции температурного режима спекания образцов.

Поскольку на качество конденсаторов может оказывать влияние степень чистоты исходного материала, (так как присутствие примесей может приводить к нарушению однородности и образованию дефектов), то при определении элементного состава материала образцов установлено присутствие примесей в незначительных концентрациях (на уровне следов), влияние которых на качество образцов можно считать незначительным, не приводящим к появлению дефектов.

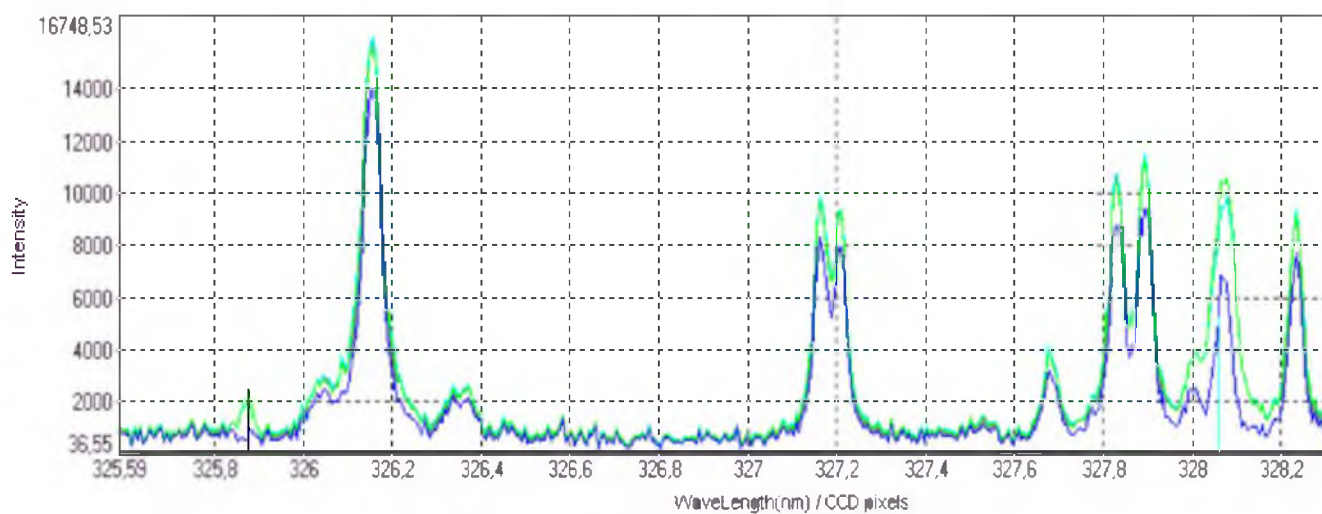
### Заключение

Разработан лазерный эмиссионный спектральный метод контроля однородности материала многослойных керамических конденсаторов на основе BaTiO<sub>3</sub> с серебряно-палладиевыми электродами. Определен элементный состав материала многослойных керамических конденсаторов (керамика на основе BaTiO<sub>3</sub> серебряно-палладиевые электроды) для оценки возможности контроля технологического процесса их изготовления. Качество материала (однородность) оценивалось по величине отношения интенсивности спектральных линий двух компонентов электродной пасты (серебра и палладия), полученного в спектрах двух анализируемых участков образца: в центре (по сечению) и на внешней части (выходе) образца. При воздействии сфокусированного лазерного излучения в режиме сдвоенных импульсов с плотностью мощности  $1,7 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> по величине отношения интенсивности спектральных линий элементов электродной пасты Ag/Pd на двух разных гранях образца произ-

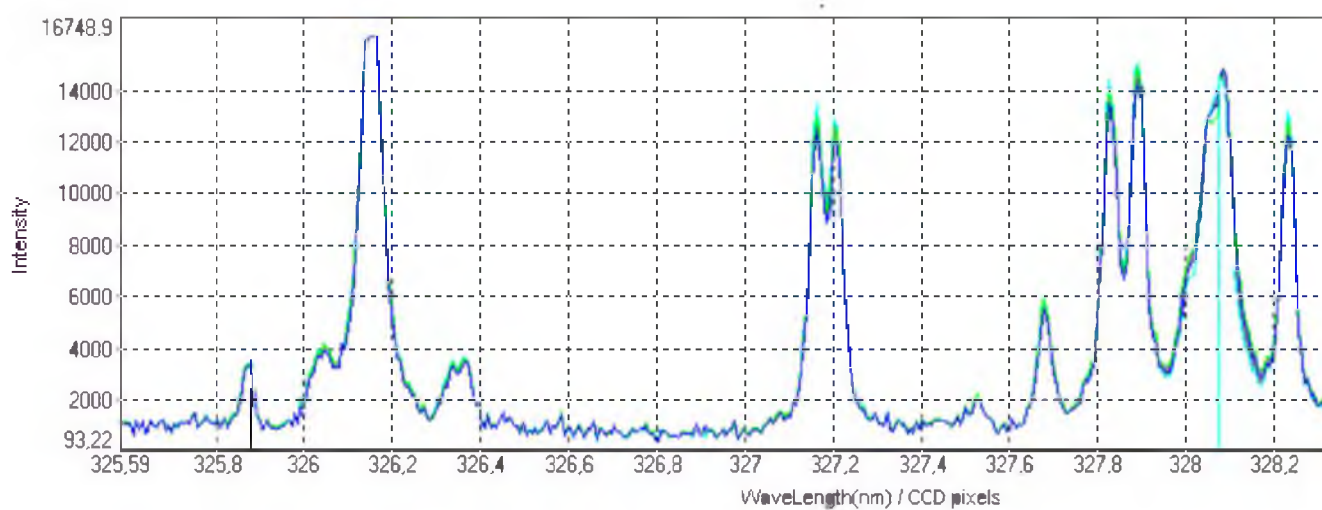
ведена оценка однородности материала образцов. Найдены аналитические условия (параметры лазерного воздействия, условия испарения вещества и возбуждения спектральных линий), позволяющие оценить однородность материала. Исходя из полученных сведений сделано предположение о причинах неоднородности материала (природе брака образцов).



**Рисунок 4. – Отношение интенсивности спектральных линий Ag 328,065 нм и Pd 325,87 нм двух компонентов электродной пасты на внешней (выход) и внутренней (в центре) гранях образцов**

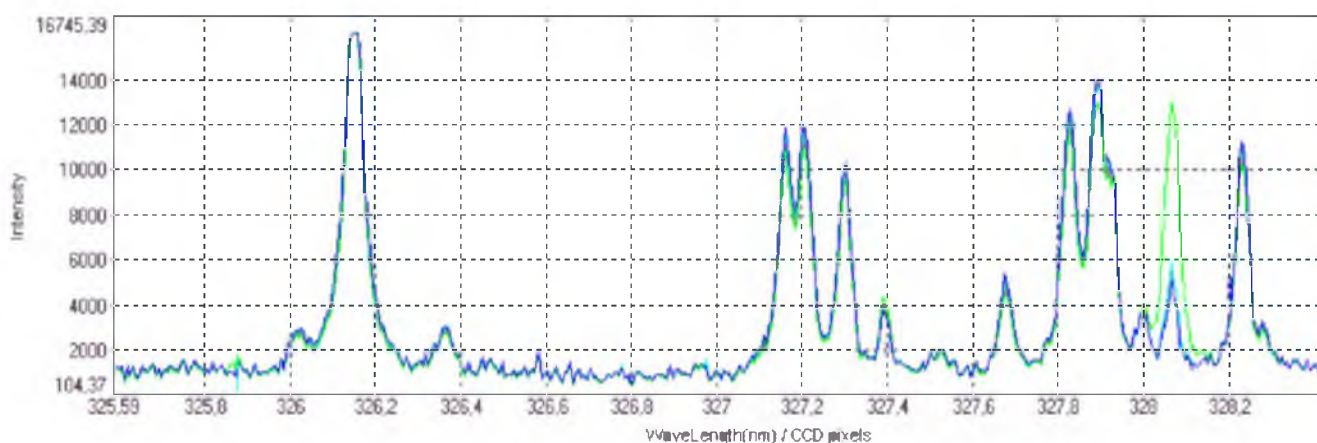


*a*

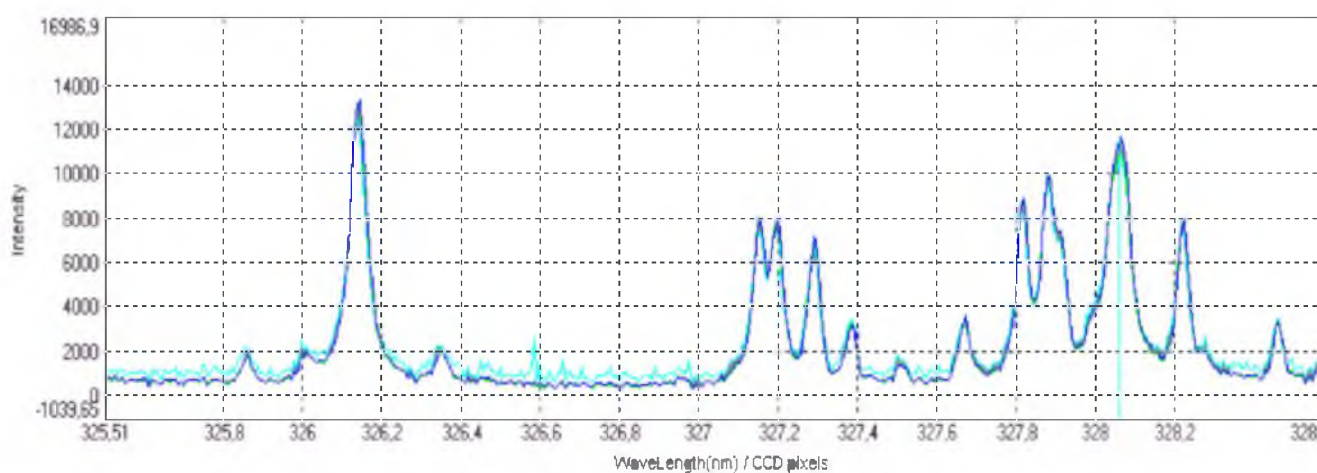


*б*

**Рисунок 5. – Участки спектра, содержащие линии компонентов электродной пасты Ag 328,065 нм и Pd 325,87 нм, полученные при воздействии лазерного излучения с плотностью мощности  $1,0 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> на внешний торец (*a*) и внутреннюю грань (сечение) (*б*) образца 3**



а



б

**Рисунок 6. – Участки спектра, содержащие линии компонентов электродной пасты Ag 328,065 нм и Pd 325,87 нм, полученные при воздействии лазерного излучения с плотностью мощности  $1,0 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> на внешний торец (а) и внутреннюю грань (сечение) (б) образца 1**

#### Список литературы

1. Журавлева, В. И. Лазерный эмиссионный спектральный метод диагностики качества дисилицида титана на кремниевых подложках / В. И. Журавлева, М. И. Маркевич, А. М. Чапманов // Лазерная физика и оптические технологии: сб. материалов IX Междунар. конф., Гродно, 30 мая – 2 июня 2012 г. – Гродно, 2012. – С. 163–166.
2. Журавлева, В. И. Применение лазерного спектрального анализа для контроля качества материала многослойных керамических конденсаторов / В. И. Журавлева, О. Н. Бродская // Сб. тез. III Конгресса физиков Беларуси, Минск, 25–27 сент. 2011 г. – Минск, 2011. – С. 51–52.
3. Журавлева, В. И. Лазерный эмиссионный спектральный метод диагностики материала при фазовом переходе / В. И. Журавлева // Сб. науч. тр. IV Конгресса физиков Беларуси, Минск, 24–26 апр. 2013 г. – Минск, 2013. – С. 198–200.
4. A new procedure for quantitative elemental analysis by Laser Induced Plasma Spectroscopy / A. Ciucci [et al.] // Appl. Spectroscopy. – 1999. – V. 53. – P. 960–964.
5. A fast and accurate method for the determination of precious alloys caratage by Laser Induced Plasma Spectroscopy / M. Corsi [et al.] // Eur. Phys. J. D. – 2001. – 3 (13). – P. 373–377.
6. Журавлева, В. И. Стабильность условий возбуждения атомных спектров в плазме, полученной при воздействии лазерного излучения на медные сплавы / В. И. Журавлева, А. А. Янковский // Журн. приклад. спектроскопии. – 1998. – Т. 65. – С. 319–321.

\*Сведения об авторе:

Журавлева Валентина Илларионовна,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 18.08.2015 г.

## МЕТОДИКА УЧЕТА СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА МАССЫ И ПОВОРОТА ОСЕЙ ИНЕРЦИИ РАКЕТЫ В УРАВНЕНИЯХ ДВИЖЕНИЯ

УДК 621.372

И. Г. Ильев, О. В. Сидорович, С. А. Шабан, А. А. Бабченко\*

*В статье представлена методика, позволяющая проводить анализ движения ракеты в пространстве с учетом таких факторов, как смещение центра массы и поворот осей инерции ракеты, а также смещения и эксцентриситета тяги двигателя.*

*The article presents a mathematical apparatus, which permissive carry analysis motions of the missile in field in record so factors removal center masses and turning axes insertion and also removal and eccentricity rod engine.*

### Введение

Уравнения, описывающие движение ракеты в пространстве, изложены в [1–3] со следующими допущениями: рассматривается осесимметричный летательный аппарат, оси связанной системы координат (СвСК) являются главными осями инерции, пренебрегают относительной скоростью центра масс СвСК и т. д. Технологические, производственные и другие погрешности после модернизации либо производства новых ракет, эксплуатация ЗУР с истекшим сроком хранения могут привести к смещению ее центра массы и повороту осей инерции, а также к смещению и эксцентриситету тяги двигателя. Поэтому необходимо иметь методику, которая бы позволила произвести анализ качества наведения ракеты при смещенном центре инерции.

В данной статье приведены уравнения, описывающие движение ракеты в пространстве, которые претерпели изменения. Из уравнений сил и моментов получим дифференциальные уравнения для скорости ракеты и угловых скоростей вращения (УСВ) в связанной и скоростной системах координат, которые учитывают смещение центра массы и поворот осей инерции, а также смещение и эксцентриситет тяги двигателя.

### Основная часть

Главный вектор количества движения ракеты можно записать в следующем виде [3]:

$$M\mathbf{V}_c = \sum_{i=1}^N m_i \dot{\mathbf{r}}_i = \mathbf{Q}, \quad (1)$$

где  $M$  – масса ракеты;

$\mathbf{V}_c$  – скорость центра массы (инерции);

$m_i$  – элементарная масса ракеты;

$\mathbf{r}_i$  – расстояние до элементарной массы ракеты в скоростной системе координат (СкСК).

Будем рассматривать движение элементарных масс ракеты не по отношению к инерциальным осям  $\bar{O}xyz$ , а по отношению к скоростной системе координат (СкСК)  $Ox'y'z'$ , движение которой задается скоростью  $V_0$  ее полюса и угловой скоростью вращения (УСВ)  $\omega$  этой системы в инерциальной СК  $\bar{O}xyz$  (рисунок).

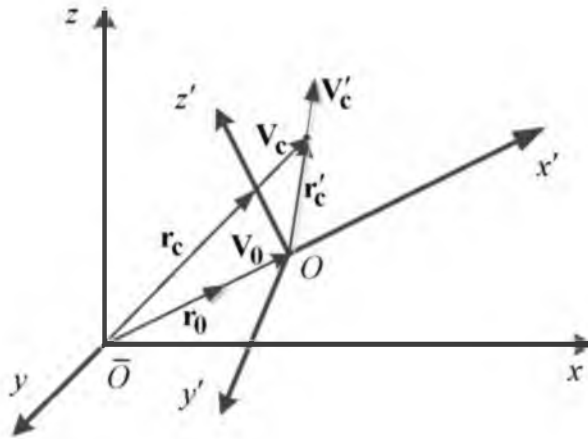


Рисунок. – Положение скоростной системы координат относительно инерциальной

Исходя из рисунка можно записать:

$$\mathbf{r}_c = \mathbf{r}_0 + \mathbf{r}'_c, \quad (2)$$

где  $\mathbf{r}_c$  – радиус-вектор центра инерции ракеты в инерциальной СК;

$\mathbf{r}_0$  – радиус-вектор начала координат СК СК  $Ox'y'z'$  в инерциальной СК;

$\mathbf{r}'_c$  – радиус-вектор центра инерции в СК СК  $Ox'y'z'$ ;

Известно, что производная от вектора  $\mathbf{r}'_c$  во вращающейся СК равна [3]:

$$\frac{\partial \mathbf{r}'_c}{\partial t} = \dot{\mathbf{r}}'_c + [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}'_c] = \mathbf{V}'_c + [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}'_c]. \quad (3)$$

Найдем абсолютную скорость центра инерции ракеты, взяв производную от выражения (2):

$$\mathbf{V}_c = \mathbf{V}_0 + \dot{\mathbf{r}}'_c + [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}'_c], \quad (4)$$

где  $\mathbf{V}_c$  – абсолютная скорость центра инерции ракеты в инерциальной (земной) СК;

$\mathbf{V}_0 = [V_0 \ 0 \ 0]^T$  – вектор скорости начала СК СК  $Ox'y'z'$  в инерциальной СК  $\bar{O}xyz$ ;

$\mathbf{V}'_c$  – скорость центра инерции в СК СК  $Ox'y'z'$ .

Тогда главный вектор количества движения (1) с учетом (4) можно записать [3]:

$$\mathbf{Q} = M (\mathbf{V}_0 + \dot{\mathbf{r}}'_c + [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}'_c]). \quad (5)$$

Найдем производную по времени от выражения (5) для составления уравнения сил, действующих на ракету, с учетом смещения центра инерции:

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_\Sigma = \dot{\mathbf{Q}} &= M (\dot{\mathbf{V}}_0 + [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}_0] + \ddot{\mathbf{r}}'_c + [\boldsymbol{\omega} \times \dot{\mathbf{r}}'_c] + [\dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r}'_c] + [\boldsymbol{\omega} \times \dot{\mathbf{r}}'_c]) = \\ &= M (\dot{\mathbf{V}}_0 + [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}_0] + \ddot{\mathbf{r}}'_c + [\boldsymbol{\omega} \times [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}'_c]] + [\dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r}'_c] + 2[\boldsymbol{\omega} \times \dot{\mathbf{r}}'_c]), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\dot{\mathbf{r}}'_c$  – относительная скорость движения центра инерции в СК СК ракеты;

$\ddot{\mathbf{r}}'_c$  – относительное ускорение центра инерции в СК СК ракеты.

Произведем замену в выражении (6)  $\dot{\mathbf{r}}'_c$  и  $\ddot{\mathbf{r}}'_c$  на следующие интегралы:

$$M\dot{\mathbf{r}}'_c = \int \mathbf{r}' dm, \quad M\ddot{\mathbf{r}}'_c = \int \ddot{\mathbf{r}}' dm, \quad M\dot{\mathbf{r}}'_c = \int \dot{\mathbf{r}}' dm, \quad (7)$$

где  $\dot{\mathbf{r}}'$  – вектор относительной скорости движения частиц газа сгораемого топлива в некотором поперечном сечении канала двигательной установки ракеты.

После замены получим векторно-матричное уравнение сил, действующих на ракету:

$$\mathbf{F}_{\Sigma} = M \left( \dot{\mathbf{V}}_0 + [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}_0] + [\boldsymbol{\omega} \times [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}'_c]] + [\dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r}'_c] \right) + \left[ 2\boldsymbol{\omega} \times \int \dot{\mathbf{r}}' dm \right] + \int \ddot{\mathbf{r}}' dm. \quad (8)$$

Выражение для элементарной массы  $dm$  ракеты, движущейся по каналу камеры сгорания двигательной установки с относительной скоростью  $\dot{\mathbf{r}}'$ , можно представить в виде [3]:

$$dm = \dot{M} dt = v(\lambda) \rho S dt = \rho S d\lambda, \quad (9)$$

где  $v(\lambda)$  – относительная скорость движения частиц газа в канале камеры сгорания двигательной установки в точке с координатой  $\lambda$ ;

$\dot{M} = v(\lambda) \rho S$  – массовый расход истекающего вещества плотностью  $\rho$  через сечение сопла площадью  $S$  со скоростью  $v(\lambda)$ ;

$d\lambda = v(\lambda) dt$  – расстояние, проходимое частицами газа с относительной скоростью  $v(\lambda)$  за время  $dt$ .

С учетом вышесказанного выражение (7) можно записать в виде

$$\int \dot{\mathbf{r}}' dm = -\dot{M} \mathbf{e}_1 l, \quad \int \ddot{\mathbf{r}}' dm = -\dot{M} v(l) \mathbf{e}_1, \quad (10)$$

где  $v(l)$  – скорость частиц на срезе сопла двигательной установки (при этом  $v(0) = 0$ );

$l$  – длина камеры сгорания двигательной установки;

$\mathbf{e}_1$  – единичный вектор, направленный по оси канала (камеры сгорания в общем случае) от его выходного сечения к носу ракеты.

С учетом выражения (10) перепишем векторно-матричное уравнение сил (8), действующих на ракету, в виде:

$$\mathbf{F}_{\Sigma} = M \left( \dot{\mathbf{V}}_0 + [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}_0] + [\boldsymbol{\omega} \times [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}'_c]] + [\dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r}'_c] \right) - \left[ 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{e}_1 \dot{M} l \right] - \dot{M} v(l) \mathbf{e}_1, \quad (11)$$

где реактивная тяга двигателя в СкСК [1, 2]:

$$\mathbf{P} = \mathbf{e}_1 \dot{M} v(l) = M_0 (s_{\alpha\beta}) M_0 (s_{\Delta\vartheta\Delta\psi}) \mathbf{P}_{\text{skos}} = \begin{bmatrix} P_x & P_y & P_z \end{bmatrix}^T. \quad (12)$$

Кориолисова сила, возникающая в результате движения газов по вращающейся камере двигательной установки:

$$\mathbf{F}^{\text{Cor}} = \left[ 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{e}_1 \dot{M} l \right] = \left[ 2\boldsymbol{\omega} \times M_0 (s_{\alpha\beta}) M_0 (s_{\Delta\vartheta\Delta\psi}) \mathbf{e}_1 \dot{M} l \right] = \begin{bmatrix} F_x^{\text{Cor}} & F_y^{\text{Cor}} & F_z^{\text{Cor}} \end{bmatrix}^T, \quad (13)$$

где  $\boldsymbol{\omega} = \begin{bmatrix} \omega_x & \omega_y & \omega_z \end{bmatrix}^T$  – вектор угловой скорости вращения вектора скорости ракеты;

$\mathbf{P}_{\text{skos}} = \begin{bmatrix} P_{du} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$  – вектор скошенной тяги;

$s_{\alpha\beta} = (\beta \quad \alpha \quad 0)$  – вектор углов атаки и скольжения;

$s_{\Delta\vartheta\Delta\psi} = (\Delta\psi \quad \Delta\vartheta \quad 0)$  – вектор углов перекося тяги двигателя;

$M_0(\mathbf{a})$  – матрица направляющих косинусов.

Внешние силы  $\mathbf{F}_{\Sigma}$ , действующие на ракету, – аэродинамические силы в СкСК [1, 2]:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -X & Y & -Z \end{bmatrix}^T, \quad (14)$$

где  $X$  – сила лобового сопротивления;  $Y$  – подъемная сила;  $Z$  – боковая сила.

Вектор силы тяжести

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} G_x & G_y & G_z \end{bmatrix}^T. \quad (15)$$

С учетом введенных обозначений перепишем выражение (11):



$$M(\dot{\mathbf{V}}_0 + [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}_0] + [\boldsymbol{\omega} \times [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}'_c]] + [\dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r}'_c]) = \mathbf{R} + \mathbf{G} + \mathbf{P} + \mathbf{F}^{\text{Cor}}. \quad (16)$$

Для угловой скорости вращения вектора скорости по оси  $x$  можно записать [1, 2]:

$$\omega_x = \frac{1}{\cos \beta} (\omega_{x1} \cos \alpha - \omega_{y1} \sin \alpha) + \omega_z \operatorname{tg} \beta, \quad (17)$$

где  $\alpha$  – угол атаки;  $\beta$  – угол скольжения;

$\omega_{x1}$ ,  $\omega_{y1}$ ,  $\omega_z$  – угловые скорость вращения ракеты в связанной СК.

Найдем производную по времени от угловой скорости вращения вектора скорости ракеты (17):

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_x = & \frac{\beta \sin \beta}{(\cos \beta)^2} (\omega_{x1} \cos \alpha - \omega_{y1} \sin \alpha) + \frac{1}{\cos \beta} (\dot{\omega}_{x1} \cos \alpha - \dot{\alpha} \omega_{x1} \sin \alpha - \dot{\omega}_{y1} \sin \alpha - \dot{\alpha} \omega_{y1} \cos \alpha) + \\ & + \dot{\omega}_z \operatorname{tg} \beta + \frac{\beta \dot{\omega}_z}{(\cos \beta)^2}. \end{aligned} \quad (18)$$

Рассмотрим уравнения моментов. С учетом смещения центра инерции и поворота осей инерции тензор инерции ракеты в СвСК примет вид [3]:

$$\boldsymbol{\Theta}^0 = M(\mathbf{E} \mathbf{r}_{c1}^2 - \mathbf{r}_{c1} \bullet \mathbf{r}_{c1}) + M_0 (\mathbf{s}_{\Delta \varphi}) \boldsymbol{\Theta} M_0^T (\mathbf{s}_{\Delta \varphi}) = \begin{bmatrix} J_{1xx} & J_{1xy} & J_{1xz} \\ J_{1xy} & J_{1yy} & J_{1yz} \\ J_{1xz} & J_{1yz} & J_{1zz} \end{bmatrix}, \quad (19)$$

где  $\boldsymbol{\Theta} = \begin{bmatrix} J_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & J_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & J_{zz} \end{bmatrix}$  – тензор инерции в повернутой по главным осям инерции системе

координат;

$\mathbf{E}$  – единичная матрица;

$\mathbf{r}_{c1} = [r_{c1x} \ r_{c1y} \ r_{c1z}]^T$  – радиус-вектор смещения центра инерции в СвСК  $Ox_1y_1z_1$ ,

$\mathbf{r}_{c1} \bullet \mathbf{r}_{c1}$  – диадное произведение векторов;

$\mathbf{s}_{\Delta \varphi} = (\Delta \varphi_z \ \Delta \varphi_y \ \Delta \varphi_x)^T$  – вектор углов поворота главных осей инерции относительно

СвСК;

$J_{1xx}$ ,  $J_{1yy}$ ,  $J_{1zz}$  – осевые моменты инерции в СвСК;

$J_{1xy}$ ,  $J_{1xz}$ ,  $J_{1yz}$  – центробежные моменты инерции в СвСК.

Главный момент количества движения ракеты относительно точки  $O$  (начало СвСК) имеет вид

$$\mathbf{K}^0 = \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_{1i} \times \mathbf{V}_{1i}, \quad (20)$$

где  $\mathbf{r}_{1i}$  – радиус-вектор расстояния до элемента массы ракеты в СвСК.

Скорость элемента массы  $m_i$  в СвСК можно записать:

$$\mathbf{V}_{1i} = \mathbf{V}_1 + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{1i} + \mathbf{V}'_{1i}, \quad (21)$$



где  $\mathbf{V}_1 + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{1i}$  – абсолютная скорость элемента массы ракеты в СвСК;

$\mathbf{V}_{1i}' = \dot{\mathbf{r}}_{1i}$  – относительная скорость элемента массы ракеты в СвСК.

Выражение (20) с учетом (21) можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathbf{K}^0 = \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_{1i} \times (\mathbf{V}_1 + \boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}_{1i} + \mathbf{V}_{1i}') &= \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_{1i} \times \mathbf{V}_1 + \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_{1i} \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}_{1i}) + \\ &+ \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_{1i} \times \dot{\mathbf{r}}_{1i} = M \mathbf{r}_{c1} \times \mathbf{V}_1 + \boldsymbol{\Theta}^0 \boldsymbol{\omega}_1 + \mathbf{K}_r^0, \end{aligned} \quad (22)$$

где  $\mathbf{r}_{c1}$  – радиус-вектор центра инерции в СвСК;

$\mathbf{V}_1$  – вектор скорости ракеты в СвСК.

Найдем производную по времени из (22):

$$\begin{aligned} \mathbf{M}^\Sigma = \frac{d\mathbf{K}^0}{dt} = M \left[ \left( \begin{matrix} * \\ \mathbf{r}_{c1} + \boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}_{c1} \end{matrix} \right) \times \mathbf{V}_1 + \mathbf{r}_{c1} \times \left( \begin{matrix} * \\ \mathbf{V}_1 + \boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{V}_1 \end{matrix} \right) \right] + \mathbf{K}_r^0 + \boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{K}_r^0 \\ + \left( \begin{matrix} * \\ \boldsymbol{\Theta}^0 + \boldsymbol{\omega}_1 \times \boldsymbol{\Theta}^0 - \boldsymbol{\Theta}^0 \times \boldsymbol{\omega}_1 \end{matrix} \right) \boldsymbol{\omega}_1 + \boldsymbol{\Theta}^0 \dot{\boldsymbol{\omega}}_1, \end{aligned} \quad (23)$$

где  $\mathbf{r}_{c1}^*$  – производная радиуса-вектора смещения центра инерции в неподвижной СвСК;

$\mathbf{V}_1^*$  – вектор скорости ракеты в неподвижной СвСК;

$\mathbf{K}_r^0 + \boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{K}_r^0$  – производная момента количества движения относительно начала СвСК во вращающейся СвСК.

С учетом (7) и равенств

$$\begin{aligned} (\boldsymbol{\Theta}^0 \times \boldsymbol{\omega}_1) \boldsymbol{\omega}_1 = \boldsymbol{\Theta}^0 (\boldsymbol{\omega}_1 \times \boldsymbol{\omega}_1) = 0; \quad (\boldsymbol{\omega}_1 \times \boldsymbol{\Theta}^0) \boldsymbol{\omega}_1 = \boldsymbol{\omega}_1 \times \boldsymbol{\Theta}^0 \boldsymbol{\omega}_1, \\ \boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{K}_r^0 + \boldsymbol{\Theta}^0 \boldsymbol{\omega}_1 = 2 \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{r}_{1i} \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \dot{\mathbf{r}}_{1i}), \end{aligned} \quad (24)$$

перепишем уравнение моментов (23) следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_a + \Delta \mathbf{M}_R = M \left[ (\boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}_{c1}) \times \mathbf{V}_1 + \mathbf{r}_{c1} \times \left( \begin{matrix} * \\ \mathbf{V}_1 + \boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{V}_1 \end{matrix} \right) \right] + [\boldsymbol{\omega}_1 \times \boldsymbol{\Theta}^0 \boldsymbol{\omega}_1] + \\ + \boldsymbol{\Theta}^0 \dot{\boldsymbol{\omega}}_1 + \int (\mathbf{r}_1 \times \ddot{\mathbf{r}}_1) dm + 2 \int \mathbf{r}_1 \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \dot{\mathbf{r}}_1) dm + \int \dot{\mathbf{r}}_1 dm \times \mathbf{V}_1, \end{aligned} \quad (25)$$

где  $\mathbf{M}_a = [M_{ax} \quad M_{ay} \quad M_{az}]^T$  – вектор аэродинамических моментов;

$\Delta \mathbf{M}_R = \mathbf{r}_{c1} \times M_0 (s_{\alpha\beta}) \mathbf{R} = [\Delta M_{Rx} \quad \Delta M_{Ry} \quad \Delta M_{Rz}]^T$  – дополнительные аэродинамические моменты, возникающие в результате смещения центра инерции.

Учитывая (10), можно записать:

$$\begin{aligned} 2 \int \mathbf{r}_1 \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \dot{\mathbf{r}}_1) dm &= -(\mathbf{r}_{11} + 0,5 \mathbf{e}_1 l) \times \mathbf{F}^{Cor}, \\ \int (\mathbf{r}_1 \times \ddot{\mathbf{r}}_1) dm &= -\mathbf{r}_{11} \times \mathbf{P}_1, \end{aligned} \quad (26)$$

$$\int \dot{\mathbf{r}}_1 dm \times \mathbf{V}_1 = -\dot{M} \mathbf{e}_1 \times \mathbf{V}_1.$$

Будем считать, что сила Кориолиса и реактивная сила действуют в средней точке камеры двигательной установки. Тогда с учетом (26) уравнения моментов (25) примут вид:

$$\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{\omega}}_1 = \boldsymbol{\Theta}^{0-1} \{ & \mathbf{M}_a + \Delta \mathbf{M}_R + \mathbf{M}_{du} + \mathbf{M}_{cor} - M [(\boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}_{c1}) \times \mathbf{V}_1 + \\ & + \mathbf{r}_{c1} \times (\mathbf{V}_1 + \boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{V}_1)] - [\boldsymbol{\omega}_1 \times \boldsymbol{\Theta}^0 \boldsymbol{\omega}_1] + [M \mathbf{e}_1 \times \mathbf{V}_1] \}, \end{aligned} \quad (27)$$

где  $\mathbf{M}_{du} = [(\bar{\mathbf{L}} + \bar{\mathbf{S}}_{eks}) \times \mathbf{P}_1] = [M_{dux} \quad M_{duy} \quad M_{duz}]^T$ ;

$\mathbf{M}_{cor} = [\mathbf{L} \times M_0 (s_{\alpha\beta}) \mathbf{F}^{Cor}] = [M_{corx} \quad M_{cory} \quad M_{corz}]^T$  – момент, возникающий в результате действия кориолисовой силы;

$\mathbf{L}$  – приведенное к носу САХ крыла и нормированное к длине САХ расстояние между точкой приложения силы тяги (приняли центр камеры сгорания двигательной установки) и центром массы (с учетом смещения центра инерции (массы));

$\bar{\mathbf{S}}_{eks}$  – вектор эксцентриситета тяги ДУ;

$\mathbf{P}_1 = M_0 (s_{\Delta\vartheta\Delta\psi})^T \mathbf{P}_{skos} = [P_{1x} \quad P_{1y} \quad P_{1z}]^T$  – вектор тяги в СвСК;

Если в уравнениях сил (16) и моментов (27) положить нулевым смещение центра инерции  $\mathbf{r}'_c$  и  $\mathbf{r}_{c1}$  соответственно, не учитывать кориолисовую силу, возникающую в результате движения газов по камере ДУ, скорость изменения тензора инерции, а также смещение и эксцентриситет тяги, получим уравнения без учета допущений, представленные в [1–3].

### Заключение

В результате совместного решения выражений (16), (18) и (27) получены дифференциальные уравнения для скорости и угловых скоростей вращения ракеты в связанной и скоростной системах координат, которые более точно описывают динамические свойства ракеты как объекта управления. Данные дифференциальные уравнения позволяют анализировать динамику ракеты при смещении и перемещении центра массы ракеты от номинального положения, а также при повороте осей инерции. Анализ уравнений показал, что смещение центра масс обуславливает дополнительные моменты от аэродинамических и тяговых сил, а поворот главных осей инерции – дополнительные инерционные моменты, поэтому уравнения сил и моментов необходимо решать совместно.

### Список литературы

1. Кун, А. А. Основы построения систем управления ракетами. Ч. 1. Основы ракетодинамики и кинематики наведения ракет / А. А. Кун, В. Ф. Лукьянов, С. А. Шабан. – Минск: ВА РБ, 2001. – 133 с.
2. Проектирование зенитных управляемых ракет / И. И. Архангельский [и др.]. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 728 с.
3. Лурье, А. И. Аналитическая механика / А. И. Лурье. – М.: Физматлит, 1961. – 824 с.

\*Сведения об авторах:

Ильев Игорь Георгиевич.

Шабан Сергей Александрович.

Сидорович Олег Викторович.

Бабченко Александр Александрович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 09.09.2015 г.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТАВА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ НА РАСПОЗНАВАЕМОСТЬ ИХ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

УДК 358.111.6

С. Н. Касанин, А. В. Кашкаров, А. А. Родионов\*

*Распознавание оперативно-тактической принадлежности систем и узлов связи пунктов управления тактического звена управления (ПУ ТЗУ) системой разведки и радиоэлектронной борьбы (РЭБ) противника может основываться на семантическом, структурном и статистическом методах обработки разведывательной информации. В статье предлагается модель для расчета и оценки влияния состава радиоэлектронных средств (РЭС) на узлах связи ПУ ТЗУ на распознаваемость их оперативно-тактической принадлежности с учетом современных требований к управлению войсками.*

*Recognition of the theatre-of-war property of communication centers of tactical units of management control points (TUM CP) by enemy intelligence service and radio-electronic warfare (EW) can be based on semantic, structural and statistical methods of intelligence data processing. The article offers a model for calculating and valuating the influence of composition of radio-electronic facilities (REF) in TUM CP on the recognition of their theatre-of-war property in the light of the modern requirements of troops command.*

Анализ управления войсками в вооруженных конфликтах последнего десятилетия [1, 2] показывает, что реальные сложные системы связи ПУ ТЗУ можно исследовать с помощью аналитических (точных) и имитационных (приближенных) математических моделей. Наиболее полное исследование удастся провести в том случае, когда получены явные зависимости, связывающие искомые величины с параметрами системы связи и начальными условиями ее изучения.

Известные методы анализа надежности (устойчивости) сложно-разветвленных систем с конечной живучестью составляющих их элементов [2–7], по своей сути, сводятся к преобразованию и объединению простых цепей. Практическое применение того или иного метода определяется постановкой задачи, степенью точности исходных вероятностей исправности элементов, размерностью оцениваемой системы связи и имеющимся парком вычислительной техники и средств связи. Так, семантический метод распознавания базируется на обработке перехваченных открытых (дешифрованных) переговоров по каналам радиоэлектронных средств и напрямую зависит от интеллектуальных возможностей оператора поста радиоперехвата. Структурный метод распознавания используется в основном для вскрытия оперативно-тактической принадлежности систем военной связи и узлов связи пунктов управления (УС ПУ). В данном методе распознавание основывается на анализе числа, характера связей и динамики их изменения во времени между большим количеством объектов разведки. Статистический метод распознавания основывается на математической статистике, теории вероятностей и теории распознавания образов. Данный метод использует вероятностно-статистическое представление разведывательной информации, оперирует с разведывательными признаками объектов разведки и их эталонными описаниями в пространстве признаков. При распознавании оперативно-тактической принадлежности элементов систем связи ПУ ТЗУ наиболее целесообразен статистический метод, основанный на алгоритмах вычисления оценок. Из-за введения априорной степени информированности системы разведки (субъективная оценка) алгоритмы статистических решений и логико-структурные алгоритмы распознавания оперативно-тактической принадлежности элементов систем и узлов связи ПУ ТЗУ не гарантируют достоверной оценки.

Из известных алгоритмов вычисления оценок [2–7] в работе сделан выбор математического аппарата таксономического анализа [3, 9]. Для распознавания элементов

систем и узлов связи ПУ ТЗУ он имеет наиболее корректное математическое обоснование и не требует введения субъективных оценок степени обученности (информированности) как комплексов разведки, так и системы разведки в целом. Математический аппарат таксономического анализа позволяет учесть возможности всех технических средств разведки (ТСР) по выявлению разведывательных признаков элементов систем и узлов связи ПУ ТЗУ и основан на использовании механизма сопоставления распознаваемых объектов с их эталонными изображениями (наборами признаков). Определение меры сходства распознаваемого объекта с эталоном возможно как по совокупности разведывательных признаков, так и при случайных наборах признаков, вскрытых системой разведки противника. При определении меры сходства объектов учитываются не только факты совпадения или несовпадения признаков, но и весовые коэффициенты информативности как отдельных признаков, так и их совокупности, а также статистические связи между признаками. Множество элементов узлов связи и элементов системы связи  $N = \{N_j\} (j = 1, \bar{m})$ , обладающих совокупностью признаков (свойств)  $E = \{E_i\} (i = 1, \bar{n})$ , представляется в виде матрицы качественного описания. Объект  $N_j \in N$  может обладать или не обладать некоторыми разведывательными признаками  $E_i \in E$ . В этом случае факт наличия или отсутствия признака  $E_i$  объекта  $N_j$  можно представить числом  $x_{ij}$  множества  $\{0, 1\}$ , т. е.  $x_{ij} = 1$ , если  $E_i$  признак имеется у  $N_j$  объекта;  $x_{ij} = 0$ , если признак  $E_i$  отсутствует у  $N_j$  объекта.

При данном качественном описании имеется возможность представить все элементы системы ПУ ТЗУ в пространстве разведывательных признаков. В матрицу качественного описания включаются элементы всех узлов связи, которые находятся в зоне ответственности системы разведки противника. Введением вектора-столбца  $A = \{A_k\} (k = 1, \bar{v})$  имеется возможность сократить число строк матрицы свойств и признаков на  $m - v$  строк за счет объединения объектов с одинаковыми наборами разведывательных признаков. Элементы вектора-столбца  $a_k$  множества  $\{1, \bar{m}\}$  показывают количество элементов систем связи ПУ ТЗУ в зоне ответственности системы разведки противника, которые обладают одинаковым набором признаков [3, 9].

Информативность разведывательных признаков вычисляется посредством обработки столбцов матрицы свойств и признаков систем связи ПУ ТЗУ по следующим формулам:

$$K_{li} = \frac{\sum_{j=1}^{m-v} a_j - \sum_{j=1}^{m-v} a_j x_{ij}}{\sum_{j=1}^{m-v} a_j x_{ij}}; \quad (1)$$

$$K'_{li} = \frac{\sum_{j=1}^{m-v} a_j - \sum_{j=1}^{m-v} a_j (1 - x_{ij})}{\sum_{j=1}^{m-v} a_j}. \quad (2)$$

Пределы изменения  $K_{li}$  лежат от 0 до  $N - 1$ , а  $K'_{li}$  – от 0 до  $\frac{N - 1}{N}$  (или близко к 1 при  $N \rightarrow \infty$ ).

В теории таксономического анализа производится учет не только факта наличия, но и факта отсутствия определенного признака у объекта. Информативность отсутствия определенного признака определяется выражением

$$K_{0i} = \frac{\sum_{j=1}^{m-v} a_j - \sum_{j=1}^{m-v} a_j (1 - x_{ij})}{\sum_{j=1}^{m-v} a_j (1 - x_{ij})}; \quad (3)$$

$$K'_{0i} = \frac{\sum_{j=1}^{m-v} a_j - \sum_{j=1}^{m-v} a_j (1 - x_{ij})}{\sum_{j=1}^{m-v} a_j}. \quad (4)$$

Для определения статистической взаимной связи между разведывательными признаками используется коэффициент регрессии, так как по сравнению с коэффициентом корреляции он обладает направленными свойствами. Коэффициент регрессии определяется из [8, 9]:

$$\rho_{AB} = \frac{P(AB) - P(A)P(B)}{P(A)P(\bar{A})}; \quad (5)$$

$$\rho_{BA} = \frac{P(AB) - P(A)P(B)}{P(B)P(\bar{B})}. \quad (6)$$

где  $P(AB)$  – вероятность (частота) одновременного проявления признаков  $A$  и  $B$  у объектов;

$P(A)$  – частота проявления признака  $A$  у объектов;

$P(B)$  – частота проявления признака  $B$  у объектов;

$P(\bar{A}), P(\bar{B})$  – частота не проявления признака  $A$  ( $B$ ).

С учетом статистической взаимной связи между признаками коэффициенты информативности разведывательных признаков элементов узлов связи из [4, 9] определяются

$$V_{li} = K_{li} \left[ 1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{li} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right] \text{sign} \left[ 1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{li} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right]; \quad (7)$$

$$V'_{li} = K'_{li} \left[ 1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{li} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right] \text{sign} \left[ 1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{li} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right], \quad (8)$$

где  $\text{sign} \left[ 1 + \sum_{l=1}^{n-1} \rho_{li} \frac{K_{li}}{(K_{li})_{\max}} \right] = \begin{cases} 1, & \text{если} [ ] \geq 0 \\ 0, & \text{если} [ ] \leq 0 \end{cases}$ .

При сравнении объектов  $N_j$  и  $N_m$  по совокупности разведывательных признаков могут возникнуть варианты ситуаций, представленные в таблице 1.

Таблица 1. – Варианты ситуаций по совокупности разведывательных признаков

Номер элемента	Ситуации			
	1	2	3	4
$N_j$	1	0	1	0
$N_m$	1	1	0	0

Весовые коэффициенты ситуаций 1–4 определяются [8]:

$$W_{11} = \frac{N - X_1}{X_1}; W_{00} = \frac{N - X_0}{X_0}; W_{10} = W_{01} = -1. \quad (9)$$

Отметим, что каждому варианту ситуаций 1 и 4 (см. формулу 9), при проведении операции сравнения присваивается вес  $W_{11}$  и  $W_{00}$  соответственно, который обратно пропорционален частоте проявления разведывательных признаков [6]. При несовпадении (2 и 3 ситуации) весовые коэффициенты равны  $-1$ .

При попарном сравнении элементов ПУ ТЗУ по конечной совокупности разведывательных признаков может быть получен ряд значений весовых коэффициентов. Согласно [8, 9] в качестве меры сходства сравниваемых объектов принимается средний вес:

$$K_{cx} = K_{im} = \frac{1}{n_{\text{ППР}}} \left[ \sum_{i=1}^{l_1} W_{11}(i) + \sum_{z=1}^{l_2} W_{0,0}(z) + \sum_{j=1}^{l_3} W_{0,1+1,0}(j) \right], \quad (10)$$

где  $n_{\text{ППР}}$  – количество разведывательных признаков, которые выделяются для сравнения;

$l_1$  – число совпадений «1» у сравниваемых строк матрицы;

$l_2$  – число совпадений «0»;

$l_3$  – число несовпадений признаков (ситуации 2 и 3).

Так как  $W_{01} = W_{10} = -1$ , выражение (13) может быть преобразовано к виду

$$K_{cx} = \frac{N}{n_{\text{ППР}}} \left[ \sum_{j=1}^{l_1} \frac{1}{K_{1(j)}} + \sum_{k=1}^{l_2} \frac{1}{K_{0i(k)}} \right] - 1, \quad (11)$$

где  $n_{\text{ППР}} = l_1 + l_2$ .

Значения  $K_{cx}$  образуют квадратную матрицу  $M = \|K_{cx}\|$ . Согласно [8] элементы матрицы  $M$  обладают следующими свойствами:

$$\sum_{m=1}^{N-1} K_{cx,im} + K_{cx,i,i} = 0; \quad \sum_{i=1}^N K_{i,i} = N; \quad \bar{K}_{cx} = 0. \quad (12)$$

Среднеквадратическое отклонение коэффициентов сходства можно определить [8]:

$$\sigma_{K_{cx}} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N (K_{cx,mn} - \bar{K}_{cx})^2}{N^2}}. \quad (13)$$

С учетом статистических взаимных связей между разведывательными признаками (5 и 6) выражение (10) преобразуется к виду

$$K_{cxi} = \frac{N}{n_{\text{ППР}}} \left[ \sum_{j=1}^{l_1} \frac{1}{V_{1i(j)}} + \sum_{k=1}^{l_2} \frac{1}{K_{0i(k)}} \right] - 1. \quad (14)$$

Исследования [1–3] показали, что вероятность сходства объектов с их эталонами является функцией коэффициентов сходства, т. е.

$$P(x_i \in X_i) = F(K_{cxii}). \quad (15)$$

При большом количестве объектов и широком признаковом пространстве функция плотности распределения коэффициентов сходства приближается к функции плотности распределения вероятности сходства сравниваемых объектов. Анализ плотности распределения коэффициентов сходства показал, что она наиболее полно приближается к нормальному закону распределения. Как показывают исследования [5–7]:

$$P_{\text{расп.отп.эл.ус}}(Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Y e^{-\frac{Y^2}{2}} dy, \quad (16)$$

где  $Y = \frac{K_{cx} - M}{\sigma_{kcx}}$ .

Значение порога  $M$  математически строго обосновано в [8, 9]. При  $K_{cx} = M = 0,95 \div 0,97$  и большой выборке признаков объекта вероятность распознавания оперативно-тактической принадлежности объекта равна 0,5 [4].

Для проведения исследования разведзащищенности элементов систем и узлов связи ПУ ТЗУ разработан типовой набор разведывательных признаков. В классификатор оперативно-тактических разведывательных признаков систем и узлов связи ПУ ТЗУ включены шесть групп признаков:

работы излучающих РЭС каналообразования первичной сети связи (средства радио-, радиорелейной, тропосферной и космической связи) на элементах систем и узлов связи ПУ ТЗУ (Гр. А);

работы аппаратуры вторичных сетей связи на каналах излучающих средств узлов связи ПУ ТЗУ (Гр. Б);

аппаратуры уплотнения ВЧ стволов (Гр. С);

удаления элементов узлов связи ПУ ТЗУ от линии соприкосновения войск (Гр. Д);

местоположения элементов систем связи ТЗУ (Гр. Е);

местоположения основных корреспондентов узлов связи ПУ ТЗУ (гр. Ж).

Результаты расчета вероятности распознавания оперативно-тактической принадлежности узлов связи ПУ ТЗУ системой разведки противника по полной совокупности разведывательных признаков на 2020 г. техническими средствами разведки представлены в таблице 2.

Результаты расчета показывают, что предложенные варианты организационно-технического построения планируемых элементов систем и узлов связи ПУ бригады и батальона на поле боя однозначно распознаются системой разведки противника. Излучающие штатные и приданные РЭС УС ПУ ТЗУ распознаются по всей совокупности излучающих элементов УС и узлов связи в системе связи тактической зоны. Введение ограничений в работе РЭС на излучение, удаление основных каналообразующих КВ-УКВ РЭС средней мощности на 0,5 км за пределы пункта управления не решает проблемы повышения разведзащищенности пунктов управления от технических средств разведки ( $P_{\text{расп}} \approx 1$ ). По совокупности маломощных КВ и УКВ радиосредств командно-штабных машин узлов связи ПУ бригады и батальонов однозначно распознаются на поле боя комплексами радиоразведки (РР) противника. Полученные данные РР не позволяют противнику принять решение на применение средств поражения по УС ПУ ТЗУ, но существенно сужают область проведения разведки другими средствами (РЛР, РТР, фоторазведка, телевизионная) [3, 4, 6].

Следовательно, в данной ситуации возникает необходимость создания таких групп (центров) каналообразования, которые были бы потенциально (по полной совокупности признаков технического оснащения) нераспознаваемыми ( $P_{\text{расп.отп}} \leq 0,5$ ) при комплексном

использовании средств радио-, радиорелейной и спутниковой связи на основных информационных направлениях в тактическом звене управления [1, 2, 11].

Таблица 2. – Результаты расчета вероятности распознавания оперативно-тактической принадлежности узлов связи ПУ ТЗУ

Номер альтернативы	Содержание альтернативы (количество радиоизлучений)								Вероятность распознавания ОТПр
	КВ и УКВ СМ	КВ ММ	УКВ ММ ААС	ПС	БС-4	СКС РАТС	РРС	Всего	
1	3	6	14	1	1	1	1	27	1,0
2	2	6	14	1	1	1	2	27	0,96
3	2	6	13	1	1	1	2	26	0,93
4	2	6	12	2	1	1	2	26	0,92
5	2	5	12	2	1	1	2	25	0,91
6	2	5	11	2	2	1	2	25	0,89
7	1	5	11	3	2	1	2	25	0,85
8	1	5	10	3	2	1	2	24	0,81
9	1	5	9	3	2	1	2	24	0,73
10	1	4	9	3	3	1	2	24	0,61
11	1	4	8	4	4	1	2	24	0,51
12	1	4	8	4	4	1	3	25	0,53
13	1	4	8	4	4	1	4	26	0,83
14	1	4	8	4	4	1	5	27	0,97
15	1	4	8	4	4	1	6	28	0,98
16	1	4	8	4	4	1	7	29	1,0

Известно, что распознавание оперативно-тактической принадлежности элементов систем и узлов связи ПУ ТЗУ является функцией

$$P_{\text{расп.отпр}} = F(x_1, x_2, x_3, x_4), \quad (17)$$

где  $x_1 \in \{1, 15\}$  – количество радиопередатчиков;  $x_2 \in \{1, 3\}$  – количество станций спутниковой связи;  $x_3 \in \{1, 10\}$  – количество станций радиорелейной связи;  $x_4 \in \{1, 6\}$  – количество станций пейджинговой и сотовой связи на элементе системы и УС ПУ ТЗУ. Необходимо найти такой набор  $x_1, x_2, x_3, x_4$ , при котором любой элемент системы и узла связи ПУ ТЗУ потенциально имел бы «серую» окраску на «сером» радиоэлектронном фоне в тактической зоне:

$$P_{\text{расп.отпр.эл.ус}} \Rightarrow \min \text{ и } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = \min.$$

По результатам эксперимента можно количественно судить о том, какие радиоэлектронные средства следует размещать непосредственно на рабочих местах должностных лиц ПУ ТЗУ (абонентских терминалах) и на терминалах коллективного пользования ПУ ТЗУ.

Анализ результатов (таблица 2) показал, что альтернатива 11 наиболее полно отвечает наложенным ограничениям и имеет наименьшую вероятность распознавания оперативно-тактической принадлежности элемента узла связи ПУ ТЗУ (0,51), при этом в одном районе ПУ должно быть не более 24 радиоизлучений (4–5 в КВ-, до 8 – в УКВ-диапазоне в режиме ААС, до 4 базовых станций сотовой связи, до 4 излучений УКВ-станций пейджинговой связи и 2 – радиорелейных станций на единой скорости 2048 Кбит/с).

При моделировании установлено, что использование станций космической связи (СКС) типа Р-440-У (Р-440-0) на центрах каналообразования систем и узлов связи ПУ ТЗУ



недопустимо, так как в этом случае при любом наборе РЭС вероятность распознавания элемента равна единице.

Следует также заметить, что при совместном расположении СКС на УС ПУ ТЗУ только с 2–3 радиорелейными станциями на элементе, вероятность распознавания оперативно-тактической принадлежности элемента по полной совокупности разведывательных признаков составляет 0,98 и выше. Исключением являются станции спутниковой связи типа Р-439 при их доведении от КНП батальонов и выше (при их массовом внедрении в части и подразделения бригады).

Предложенный подход позволяет оценить потенциальные возможности системы разведки по распознаванию оперативно-тактической принадлежности элементов узлов связи, т. е. по совокупности разведывательных признаков, которые могут быть получены противником с помощью технических средств разведки.

Так как разведывательные признаки элементов узлов связи для системы разведки проявляются не одновременно, а процесс выявления признаков растянут во времени, то возникает необходимость рассмотрения возможностей распознавания элементов системы связи и УС ПУ ТЗУ во времени [3, 4]. Таким образом, для повышения разведзащищенности элементов систем и УС ПУ ТЗУ необходимо предусматривать смешанные группы каналов образования.

Анализ результатов исследования показал, что наиболее полно отвечают наложенным ограничениям и имеют наименьшую вероятность распознавания (0,51) элементы узла связи ПУ ТЗУ оперативно-тактической принадлежности.

Создание смешанных групп каналов образования затруднит распознавание оперативно-тактической принадлежности в рамках одного комплекса РР (РТР) и позволит переложить решение задач классификации объектов на объединенные центры разведки и РЭБ (ОЦР и РЭБ) объединений противника. Это приведет к увеличению объемов разведывательной информации, которые необходимо будет обрабатывать на ОЦР и РЭБ, и повышению детализации разведывательных данных, поступающих от комплексов РР (РТР) противника.

#### Список литературы

1. Глод, И. В. Пути решения проблемы обеспечения устойчивого управления войсками (силами) / И. В. Глод, Г. С. Казаков, В. К. Синявский // Наука и воен. безопасность. – 2009. – № 1.
2. Методология военно-экономического обоснования состава и структуры ВС РФ / А. В. Квашнин [и др.]. – М. – 2002.
3. Додонов, А. Г. Живучесть информационных систем / А. Г. Додонов, Д. В. Ландэ. – Киев: Наук. думка, 2011. – 256 с.
4. Манько, С. А. Оценка живучести системы связи общевойскового соединения / С. А. Манько // Материалы VII воен.-науч. конф., Минск, 26–27 янв. 2005 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск, 2005.
5. Паскробка, С. И. Методы расчета показателей, характеризующих требования к управлению войсками / С. И. Паскробка, В. А. Сергиенко, А. А. Родионов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 2 (35). – С. 52–59.
6. Паскробка, С. И. Метод расчета показателей живучести пунктов управления / С. И. Паскробка, Р. А. Градусов, В. А. Сергиенко // Наука и воен. безопасность. – 2012. – № 4. – С. 57–59.
7. Кулешов, Ю. Е. Методический подход к оценке живучести информационных объектов в условиях информационного противоборства / Ю. Е. Кулешов, С. И. Паскробка, А. А. Родионов // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 23. – С. 31–37.
8. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 2003.
9. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, Г. Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981.

10. Семашко, Ю. А. Основы организации связи: учеб. пособие / Ю. А. Семашко, С. Г. Голубцов, В. А. Гришко. – Минск: ВА РБ, 2005.

11. Руководство по связи Сухопутных войск (связь в соединениях, воинских частях и подразделениях). – Минск: МО РБ, 2005.

---

\*Сведения об авторах:

Касанин Сергей Николаевич.

Кашкаров Андрей Васильевич.

Родионов Андрей Александрович.

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Статья поступила в редакцию 05.11.2015 г.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ВОЙСК КАК БОЛЬШОЙ СИСТЕМЫ

УДК 621.396.96

А. Н. Лысый, С. А. Юрас, И. М. Касьянович\*

*В настоящее время научно обоснованный выбор наиболее рациональных вариантов боевого применения и способов совершенствования соединений РТВ должен осуществляться только на основе оценки их влияния на степень реализации ожидаемых результатов боевых действий всей системы ПВО. В данной статье представлен подход к оценке эффективности соединения РТВ как большой системы.*

*Currently, evidence-based selection of the most rational options for combat use and ways to improve the radar should only be based on an assessment of their impact on the extent to which the expected results of hostilities entire air defense system. This paper presents an approach for assessing the effectiveness of the radar as a large group system.*

### Введение

Радиоэлектронная техника (РЭТ), состоящая на вооружении соединения радиотехнических войск (РТВ), представляет собой сложную совокупность радиолокационных станций (РЛС) и комплексов средств автоматизации (КСА). Эта система сложилась исторически и развивается на протяжении десятилетий, подчиняясь определенным закономерностям. Сложность системы радиоэлектронной техники РТВ обусловлена [1]:

разнообразием классов, типов, технических решений и элементной базы РЭТ, находящейся в эксплуатации;

территориальным распределением и разнообразными условиями эксплуатации,

необходимостью многоуровневого информационного обмена и сопряжения РЭТ РТВ с разнообразными потребителями информации;

большим суммарным расходом ресурсов на эксплуатацию и поддержание боевой готовности РЭТ;

постоянным обновлением РЭТ, совершенствованием парка РЭТ по частям (элементам), необходимостью обеспечения совместимости (совместной эффективной работы) РЭТ разных типов и поколений.

### 1. Соединение РТВ как большая система

В целом система – это совокупность элементов, закономерно связанных друг с другом в единое целое, которое обладает свойствами, отсутствующими у элементов, его образующих [1].

Основные признаки системы: структура, иерархия в организации, наличие подсистем (элементов), закономерная связь между образующими ее подсистемами, наличие входа и выхода, ориентированность в пространстве – охват определенной части физического пространства в соответствии с целевым назначением.

Разнообразие и сложность функционирования систем требует особого подхода к их изучению и проектированию. При этом определенный интерес представляют так называемые большие системы. Точных количественных оценок данное понятие не имеет. Однако качественно система может быть отнесена к разряду больших систем, если ей присущи следующие характерные признаки:

наличие сложной структуры, включающей взаимосвязанные подсистемы,

сложные процессы взаимодействия, которые имеют не только детерминированный, но и вероятностный характер,

ясно выраженное целевое назначение,

многоэтапность жизненного цикла (разработка, изготовление, испытание, эксплуатация, модернизация).

Характерный пример такой большой системы – система ПВО, состоящая из трех частей (подсистем): информационной, управляющей и исполнительной (рисунок 1).



Рисунок 1. – Структура системы ПВО

Исполнительная подсистема (соединения, части и подразделения зенитных ракетных войск (ЗРВ) и истребительной авиации (ИА)) располагает некоторыми возможностями или ресурсами, которые расходуются в соответствии с целевым назначением системы.

Информационная подсистема (подсистема радиолокационной разведки и контроля воздушного пространства (РЛР и КВП)) доставляет в подсистему управления и непосредственно в исполнительную подсистему всю информацию о состоянии внешней среды и результатах взаимодействия с ней.

Управляющая подсистема перерабатывает информацию, поступающую от информационной и исполнительной подсистем и распределяет их возможности и ресурсы в соответствии с полученной информацией.

В свою очередь подсистема РЛР и КВП также может рассматриваться как большая система, поскольку:

- имеет четкое целевое назначение – разведка и оценка воздушной обстановки и обеспечение боевых действий системы более высокого порядка – системы ПВО;

- имеет сложную структуру – в состав входит большое количество подразделений различного уровня и РЭТ различного назначения;

- характеризуется сложными процессами функционирования;

- имеет иерархическую структуру.

Кроме того, система РЛР и КВП обладает и другими свойствами, которые отсутствуют у образующих ее элементов:

- позволяет решать задачи, которые не в состоянии решить отдельные элементы;

- практически не имеет ограничений по дальности, поскольку ее элементы могут быть развернуты на большой территории;

- может в широких пределах адаптироваться к изменениям воздушной обстановки;

- обеспечивает получение значительно большего объема информации, чем отдельные элементы РЭТ;

- обладает более высокой надежностью и помехоустойчивостью, что обусловлено возможностью обмена большим объемом информации между элементами.

Система РЛР и КВП, в свою очередь, также состоит из подсистемы радиолокационного поля и информационно-управляющей подсистемы.

Информационно-управляющая подсистема выполняет функции сбора, обработки и выдачи радиолокационной информации потребителям. Она выполнена в виде сети взаимосвязанных командных пунктов соединений, частей и подразделений РТВ и разведывательно-информационного центра, оснащенных соответствующими КСА. Функционально подсистема обеспечивает объединение отдельных отсчетов координат целей в трассы (вторичная обработка), отождествление и объединение радиолокационной информации (РЛИ) от различных источников (третичная обработка), управление работой подсистемы радиолокационного поля и потоком РЛИ.

Подсистема радиолокационного поля взаимодействует с внешней средой (воздушной и радиоэлектронной (помеховой) обстановкой), используя известные типы радиолокации:

активную эхо-локацию, пассивную локацию источников радиоизлучений (помех) и активную локацию с активным ответом. Элементы этой подсистемы работают, как правило, в режиме последовательного обзора пространства и добывают первичную радиолокационную информацию в виде дискретных отсчетов координат и признаков целей с привязкой их во времени в пределах своих зон обнаружения.

В целом основная функция системы РЛР и КВП – максимально полное, безошибочное отображение и прогнозирование трасс воздушных объектов и определение их признаков (принадлежность, класс и др.) в реальном масштабе времени. Соответственно, основными показателями качества радиолокационной системы могут служить:

- полнота отображения воздушной обстановки;
- достоверность отображения;
- точность отображения трасс.

Очевидно, что такой многомерный критерий качества нагляден. Однако с его помощью достаточно трудно выработать рекомендации по совершенствованию радиолокационной системы.

Выбор критерия оценки эффективности большой системы представляет собой сложную и ответственную задачу. Используя положения системного анализа, выбор критерия эффективности применения системы РЛР и КВП следует производить на основании анализа боевых действий системы ПВО, подсистемой которой она является [2]. При этом эффективность применения радиолокационной системы определяется тем вкладом, который она вносит в общую эффективность системы ПВО.

## **2. Подход к оценке эффективности боевого применения соединения РТВ**

Для РТВ основной задачей является радиолокационная разведка и радиолокационное обеспечение войск, а не уничтожение воздушного противника. Для характеристики степени выполнения боевой задачи применяется понятие «эффективность боевого применения».

Эффективность боевого применения радиотехнических соединений, частей и подразделений целесообразно определять сравнением полученных или ожидаемых результатов с требуемыми. Требуемые результаты содержатся в поставленных боевых задачах. Иными словами, эффективность боевого применения характеризует ту часть локационных целей, ожидаемых или действующих в границах радиолокационного поля соединения РТВ, которая будет своевременно обнаружена, а также будет обеспечено ее устойчивое сопровождение и выдана радиолокационная информация установленного количества и качества на вышестоящий, обеспечиваемые и взаимодействующие командные пункты.

Таким образом, эффективность боевого применения радиотехнических соединений, частей и подразделений – это степень выполнения боевых задач радиотехнических соединений, частей и подразделений по ведению радиолокационной разведки средств воздушного нападения (СВН) противника и радиолокационному обеспечению управления войсками, а также радиолокационному обеспечению боевых действий частей (соединений) ЗРВ, авиации, частей, подразделений РЭБ.

Эффективность боевого применения соединения, части, подразделения оценивается как реально достигнутая (апостериорная) после окончания боевых действий или выполнения боевых задач, так и расчетная, прогнозируемая или ожидаемая (априорная).

Апостериорная эффективность боевого применения оценивается (рассчитывается) в соответствии с действующими нормативными документами по результатам боевых действий или по результатам выполнения боевых задач.

Априорная эффективность боевого применения определяется на этапе принятия решения командиром на боевое применение соединения РТВ до начала боевых действий и носит вероятностный (стохастический) характер. По результатам такой оценки командирами и штабами определяются объем и последовательность мероприятий, выполнение которых обеспечит повышение эффективности боевого применения.

К таким мероприятиям относятся:

совершенствование боевых порядков подразделений и соединения,  
 распределение усилий, сил и средств по задачам, направлениям, рубежам, определе-  
 ние способов ведения разведки и выдачи разведывательной и боевой информации,  
 развертывание дополнительных средств в целях усиления маловысотного поля,  
 организация взаимодействия между подразделениями соединения, силами разведки  
 воздушного противника других родов войск,  
 повышение живучести,  
 другие мероприятия.

Какие количественные показатели использовать для оценки эффективности боевого применения радиотехнических соединений, частей и подразделений?

Конечной целью боевого применения соединения РТВ является радиолокационное обеспечение управления соединениями (частями, подразделениями) ПВО, радиолокационное обеспечение боевых действий соединений (частей) ЗРВ, частей авиации, частей (подразделений) РЭБ.

В соответствии с этим частными показателями эффективности боевого применения радиотехнического соединения (части) могут быть:

коэффициент качества радиолокационного обеспечения управления соединениями (частями, подразделениями) –  $K_{РЛО}^{КП}$ ;

коэффициент качества радиолокационного обеспечения боевых действий соединений (частей) ЗРВ –  $K_{РЛО}^{ЗРВ}$ ;

коэффициент качества радиолокационного обеспечения боевых действий частей авиации –  $K_{РЛО}^{ав}$ ;

коэффициент качества радиолокационного обеспечения боевого применения частей (подразделений) РЭБ –  $K_{РЛО}^{РЭБ}$ .

Очевидно, что значения частных показателей зависят от условий боевого использования средств воздушного нападения противника и сравнительной важности задач, решаемых обеспечиваемыми силами. Тогда обобщенную оценку эффективности боевого применения соединения РТВ –  $\mathcal{E}_{БП}$  целесообразно представить как аналитическую свертку вышеприведенных коэффициентов качества радиолокационного обеспечения для различных высот боевого применения СВН, которые заданы коэффициентом распределения  $\{k_i(H)\}$ ; при известном распределении важности задач радиолокационного обеспечения  $\{W_{РЛО}^{КП}, W_{РЛО}^{ЗРВ}, W_{РЛО}^{ав}, W_{РЛО}^{РЭБ}\}$ , ( $\sum W_i = 1$ ).

В теории оценки эффективности известны следующие подходы к свертке частных показателей:

1. Средневзвешенный арифметический:

$$\mathcal{E} = \sum_{k=1}^m \alpha_k \mathcal{E}_k,$$

где  $m$  – число частных показателей эффективности,

$\alpha_k$  – вес (важность)  $k$ -го частного показателя  $\sum \alpha_k = 1$ ;

$\mathcal{E}_k$  – значение  $k$ -го частного показателя.

2. Средневзвешенный геометрический:

$$\mathcal{E} = \prod_{k=1}^m \mathcal{E}_k^{\alpha_k}.$$

3. Средневзвешенный квадратический:

$$\mathcal{E} = \sqrt{\sum_{k=1}^m \alpha_k \mathcal{E}_k^2}.$$

Если частные показатели количественно соизмеримы по важности и являются однородными, т. е. имеют одну размерность, то целесообразно использовать средневзвешенную арифметическую свертку. Другими словами, обобщенный показатель эффективности боевого применения может быть рассчитан по формуле

$$\Theta_{\text{БП}} = W_{\text{РЛО}}^{\text{КП}} \sum_{i=1}^{N_H^{\text{КП}}} K_{\text{РЛО}_i}^{\text{КП}} k_i^{\text{КП}} + W_{\text{РЛО}}^{\text{ЗРВ}} \sum_{i=1}^{N_H^{\text{ЗРВ}}} K_{\text{РЛО}_i}^{\text{ЗРВ}} k_i^{\text{ЗРВ}} + W_{\text{РЛО}}^{\text{ав}} \sum_{i=1}^{N_H^{\text{ав}}} K_{\text{РЛО}_i}^{\text{ав}} k_i^{\text{ав}} + W_{\text{РЛО}}^{\text{РЭБ}} \sum_{i=1}^{N_H^{\text{РЭБ}}} K_{\text{РЛО}_i}^{\text{РЭБ}} k_i^{\text{РЭБ}},$$

где  $N_H^{\text{КП}}$ ,  $N_H^{\text{ЗРВ}}$ ,  $N_H^{\text{ав}}$ ,  $N_H^{\text{РЭБ}}$  – количество анализируемых эшелонов высоты при расчете коэффициентов радиолокационного обеспечения управления войсками ПВО, боевых действий соединений (частей, подразделений) ЗРВ, авиации, РЭБ;

$\{W_{\text{РЛО}}^{\text{КП}}, W_{\text{РЛО}}^{\text{ЗРВ}}, W_{\text{РЛО}}^{\text{ав}}, W_{\text{РЛО}}^{\text{РЭБ}}\}$  – коэффициенты важности задач радиолокационного обеспечения;

чения;

$$\sum k_i = 1.$$

Значения коэффициентов важности  $W$  определяются на основании содержательного анализа боевых задач, поставленных частям ЗРВ, авиации и РЭБ. В случае максимальной неопределенности о сравнительной важности задач закон распределения коэффициентов выбирается равномерным.

Число анализируемых эшелонов высоты  $N_H$  и значения коэффициентов распределения СВН по высотам их боевого применения  $k_i$  также определяются на основании содержательного анализа боевых задач потребителей информации.

С помощью показателей эффективности боевого применения можно не только обосновывать принимаемое решение на боевое применение соединения, части, подразделения, но и использовать его для оценки эффективности решения частных задач: оценки боевых порядков, живучести, помехоустойчивости, взаимодействия, способов ведения разведки и радиолокационного обеспечения войск ПВО. Таким образом, область использования показателей эффективности достаточно широка.

### Выводы

Таким образом, выбор критерия оценки эффективности большой системы представляет собой сложную и ответственную задачу. Поскольку эффективность боевого применения радиотехнических соединений характеризует степень выполнения боевых задач, то выбор критерия эффективности следует производить на основании анализа боевых действий системы ПВО, подсистемой которой она является. В то же время, рассматривая частные показатели эффективности боевого применения (с точки зрения радиолокационного обеспечения), можно с использованием свертки получить обобщенный показатель эффективности боевого применения. Такой подход позволит учесть не только важность боевых задач элементов исполнительной подсистемы (ЗРВ, авиации, РЭБ), но и распределение СВН противника по высотам полета, что делает априорную оценку достаточно достоверной. Его программная реализация позволит получить командирам и штабам эффективный инструмент в поддержке принятия решений.

### Список литературы

1. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учеб. / под ред. В. Н. Тяпкина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011.
2. Поляков, Н. К. Об оценке влияния эффективности боевого применения РТВ на результаты боевых действий частей ЗРВ, ИА ВПВО и ВВС / Н. К. Поляков, Г. И. Львов, Ю. А. Фадеев // Воен. мысль. – 1986. – № 9. – С. 24–29.

3. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория: справ. / под ред. Я. Д. Ширмана. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2006.
4. Справочник офицера Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны / под ред. И. П. Азаренка (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Командование ВВС и войск ПВО, 2009.
5. Методические подходы к оценке боевых возможностей, эффективности боевого применения группировки ЗРВ, РТВ и результаты их апробации в ходе мероприятий оперативной подготовки ВС РБ в 2008 году. – Минск: НИИ ВС РБ, 2009.
6. Поляков, Н. К. Об оценке влияния эффективности боевого применения РТВ на результаты боевых действий частей ЗРВ, ИА ВПВО и ВВС / Н. К. Поляков, Г. И. Львов, Ю. А. Фадеев // Воен. мысль. – 1986. – № 9. – С. 24–29.
7. Петьков, А. А. Методологические аспекты построения рациональной системы радиолокационной разведки (контроля) воздушного пространства государства / А. А. Петьков // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2004. – № 1. – С. 47–56.
8. Макул, П. С. Системный подход к построению математической модели разведывательно-ударной системы / П. С. Макул, В. М. Берикбаев // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2014. – № 3 (44). – С. 55–61.

---

\*Сведения об авторах:

Лысый Андрей Николаевич.

Юрас Сергей Арсеньевич.

Касьянович Иван Михайлович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 05.10.2015 г.



## О СИСТЕМЕ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНОГО АВИАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 358.1

А. С. Масилевич, А. Я. Сенько\*

*В статье предлагается новый технический подход к решению основной задачи метеорологической подготовки стрельбы артиллерии. Комплексное зондирование атмосферы на основе применения беспилотного авиационного комплекса вертолетного типа позволяет существенно повысить точность метеоданных для подготовки огня артиллерии, снизить время и затраты на выполнение этой очень важной задачи. На основе проведенных исследований определен целесообразный состав средств и их характеристики.*

*The article offers a new technical approach to solving the main task of meteorological training artillery fire. A comprehensive sounding of the atmosphere through the use of unmanned aircraft systems helicopter type can significantly improve the accuracy of weather data for the preparation of artillery fire, to reduce the time and cost of implementation of this very important task. Based on these studies determine whether the composition of drugs and their characteristics.*

В настоящее время крайне обострилась проблема метеорологического обеспечения стрельбы артиллерии. Состоящие на оснащении метеозводов и батарей советские комплексы зондирования атмосферы типа МАРС, МРК и РПКМ морально и технически устарели. Вследствие применяемого метода зондирования атмосферы посредством радиолокационного и радиопеленгационного сопровождения поднимающегося вверх специального радиозонда, данные комплексы требуют существенных временных затрат на получение метеоданных. При этом значительны затраты на эксплуатацию и, следовательно, стоимость.

Вместе с тем развитие беспилотной авиации открывает возможности иного подхода к решению задачи метеорологического обеспечения. В настоящее время стало возможным создание системы зондирования атмосферы на основе беспилотного авиационного комплекса вертолетного типа (БАК ВТ). Она позволяет:

- проводить измерения метеорологических параметров (температуры, давления, влажности, направления и скорости ветра) у поверхности земли и в слое атмосферы (нижней тропосферы) в процессе подъема (спуска) беспилотного летательного аппарата вертолетного типа (далее – БЛА);
- автоматизированно выполнять расчеты по построению вертикального температурно-ветрового профиля в пределах высот траекторий с последующим формированием артиллерийского метеорологического кода типа «метеосредний» и «метеодействительный»;
- попутно вести визуальную разведку и определять координаты объектов на спланированном (в режиме автопилотирования) или оперативно задаваемом маршруте.

Предполагаемый способ выполнения задачи пока не имеет аналогов. Его преимуществом является отсутствие необходимости применения при проведении комплексного зондирования атмосферы (КЗА) дорогостоящих наземных радиотехнических систем сопровождения и расходных материалов (радиозондов, оболочек, водорода), сокращение времени зондирования более чем в два раза. Измерение действительных параметров атмосферы с помощью данной системы предполагается осуществлять в процессе подъема БЛА на высоту, близкую к практическому потолку, и последующего его спуска. При этом данные, измеренные датчиками температуры и влажности, соотносятся с высотой аппарата, определяемой по показаниям датчика давления. Данные о ветре могут быть измерены одним из способов:

- 1) по величине и направлению сноса БЛА в каждом слое с помощью навигационной системы;
- 2) по значению угла и азимута наклона БЛА в слое при удержании его над заданной точкой вручную или с помощью автопилота. Отклонения координат от исходной точки в этом случае могут быть определены как с помощью навигационной системы, так и оптической следящей системы;

3) комбинированным способом при больших скоростях ветра.

Первый вариант предпочтителен при измерении ветра до небольших высот, например, в пределах активного участка траектории реактивных снарядов, второй – при комплексном (температурно-ветровом) зондировании атмосферы в пределах высоты траекторий снарядов ствольной и реактивной артиллерии. По результатам зондирования возможно моделирование параметров атмосферы в вышележащих слоях с учетом метеорологической статистики региона, формирование кодов бюллетеней «Метеосредний» и «Метеодействительный», обеспечение информационной совместимости с программным комплексом подготовки стрельбы и управления огнем артиллерийских подразделений «Клен СПО».

Кроме того, КЗА с БАК ВТ может применяться для одновременного ведения визуальной разведки объектов противника в тактической зоне, контроля топогеодезической привязки огневых средств и других элементов боевых порядков артиллерийских подразделений, а также для изучения обстановки в районе при движении по заранее спланированному (в режиме автопилотирования) или задаваемому оператором маршруту.

Проведенные исследования позволили определить целесообразный состав КЗА с БАК ВТ. Он должен включать: беспилотный летательный аппарат вертолетного типа четырехмоторный – квадрокоптер (БЛА-4); беспилотный летательный аппарат вертолетного типа шестимоторный – гексакоптер (БЛА-6); оборудование наземного пункта управления (НПУ); автоматизированный метеорологический пост (АМП).

В состав каждого БЛА должны входить базовый комплект бортовой аппаратуры и модуль целевой метеорологической (МЦМ). Бортовая аппаратура крепится на несущей раме и включает:

- систему управления электродвигателями (регуляторы хода),
- систему стабилизации,
- систему траекторного управления;
- платформу для размещения видеосистем;
- дневную и ночную видеокамеры;
- канал передачи видеосигнала;
- аппаратуру приема-передачи данных телеметрического канала;
- парашютную систему аварийной посадки;
- светотехническое оборудование (бортовые аэронавигационные огни, проблесковый маяк);
- систему электроснабжения (аккумулятор и устройства распределения и стабилизации электроэнергии).

Модуль целевой метеорологической может быть съемный, унифицированный (по габаритам, интерфейсу) и включать комплект датчиков для измерения параметров атмосферы: температуры, относительной влажности, давления, а также разъемы для подключения дополнительных датчиков.

В составе оборудования НПУ целесообразны (рисунок 1):

- персональная ЭВМ (защищенный ноутбук) для возможности работы и в полевых условиях с комплектом специального программного обеспечения (СПО);
- унифицированный пульт дистанционного управления БЛА (ПДУ);
- приемник спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС;
- приемно-передающая аппаратура, включающая радиомодем телеметрического канала и приемник видеосигнала с антенными системами, устанавливаемыми на мачте;
- одиночный комплект ЗИП;
- комплект оборудования сборного полевого укрытия операторов;
- специальные носимые (возимые) контейнеры для хранения и транспортировки оборудования наземного пункта, летательных аппаратов и ЗИП.
- один комплект эксплуатационной документации (ЭД).

В составе АМП потребуются унифицированные блок измерения параметров воздуха (температуры, относительной влажности, давления); блок измерения параметров ветра

(анеморумбометр); блок обработки информации; мачта для установки датчиков АМП высотой до 4 м; основной и запасной источник автономного питания, адаптер; СПО, позволяющее расширить перечень измеряемых параметров.



1 – антенная часть приемо-передающей аппаратуры; 2 – унифицированный защищенный ноутбук; 3 – унифицированный пульт визуального управления полетом БЛА; 4 – унифицированный пульт дистанционного управления полетом БЛА; 5 – вариант размещения ГПУ

**Рисунок 1. – Вариант размещения ГПУ и его элементов**

Как показали исследования, БЛА должен обеспечивать время предполетной подготовки из походного положения (из контейнера) с установкой целевой нагрузки – не более 10 мин, а время подготовки к повторному вылету (с перезарядкой батареи) – не более 40 мин (рисунок 2). С учетом емкости батареи питания, массы целевой нагрузки и погодных условий реально использовать возможности БЛА по непрерывному выполнению задач в течение получаса и более, цикличность работы достигается за счет применения резервных источников питания (не менее двух на каждый аппарат). При этом бортовая аппаратура должна позволять стабилизацию БЛА по угловому положению в пространстве и высоте, движение в пределах заданной траектории в автоматическом или ручном режиме, автоматический возврат в точку пуска при отсутствии обмена информацией с ГПУ.



**Рисунок 2. – Вариант исполнения БЛА вертолетного типа**

Для подъема БЛА на высоты не менее 3 км (БЛА-4) и не менее 5 км (БЛА-6) потребуются скорости вертикального подъема не менее 8 м/с. Перемещение в горизонтальной плоскости рационально со скоростью не менее 75 км/ч (парирование ветра скоростью не менее 20 м/с в режиме удержания над точкой). При массе полезной нагрузки не менее 0,4 кг для БЛА-4 и 0,6 кг для БЛА-6 масса бортовой аппаратуры будет составлять не более 2 и 3 кг соответственно.

В рамках исследований доказано, что с помощью навигационной системы БЛА возможно достичь точности позиционирования БЛА в полете со среднеквадратической ошибкой (СКО) определения пространственных координат не более 10 м и высоты с помощью барометрического датчика не более 5 м. А СКО определения в полете текущих углов азимута, тангажа и крена в режиме зависания может составлять не более 0,5°, в динамическом режиме – не более 4°.

Потребуется формирование на борту БЛА и передачу на НПУ пакетов телеметрии, содержащих информацию о текущем времени, пространственных координатах и угловом положении БЛА, а также данные измерений датчиков целевой нагрузки (числом не менее десяти). Также целесообразна регистрация и их запись на бортовой накопитель информации текущих параметров БЛА в полете (автопилота, силовой установки, электроснабжения).

Для случаев возникновения отказов аппаратуры или других нештатных ситуаций необходимо реализовать возможность аварийной посадки БЛА в автоматическом режиме или по команде оператора с помощью парашютной системы с высоты от 20 м и скоростью приземления не более 5 м/с. Также целесообразно оснащение БЛА светотехническим оборудованием для обнаружения на удалении не менее 200 м в ночных условиях при отсутствии гидрометеоров (дождь, туман, снег, низкая облачность) и управление его включением с НПУ по командам оператора.

Как показали проведенные исследования, МЦМ сможет обеспечивать измерения параметров воздуха с частотой не менее 1 Гц и с СКО определения температуры воздуха в диапазоне  $-50 \dots +50$  °С не более 0,5°, относительной влажности в диапазоне 0...100 % не более 5 %, давления атмосферы в диапазоне 300...1100 гПа не более 1,5 гПа.

Датчики температуры, влажности, давления, входящие в состав МЦМ, должны иметь резервирование. Оборудование и СПО НПУ должны обеспечивать:

предполетную проверку (тестирование) и подготовку аппаратуры БЛА (включая целевую нагрузку), ввод данных полетного задания (маршрута),

контроль текущих параметров БЛА в полете: автопилота, силовой установки, электроснабжения и их регистрацию в целях послеполетного анализа,

устойчивый обмен с БЛА телеметрией, прием и отображение видеоинформации от бортовых камер дневного (ночного) наблюдения при нахождении БЛА на удалении не менее 15 км в условиях прямой видимости,

возможность управления режимами работы аппаратуры БЛА и целевой нагрузки непосредственно в процессе выполнения задач,

формирование видеоизображения местности, маршрута и текущего положения БЛА, в том числе на фоне цифровой карты местности,

регистрацию текущей метеорологической информации в процессе КЗА, расчет действительной виртуальной температуры воздуха, а также слагаемых ветра (относительно стран света) на стандартных высотах с СКО не более 1 м/с,

моделирование средних и действительных параметров атмосферы до высоты 30 км на основе комплексной обработки метеорологической информации, полученной в результате КЗА с помощью БАК ВТ и из других источников,

обеспечение защиты от непогоды при подготовке и в процессе выполнения задач аппаратуры НПУ (ПЭВМ и ПДУ), а также удобства работы операторов БАК с помощью комплекта оборудования сборного полевого укрытия,

сохранение работоспособности аппаратуры НПУ в диапазоне температуры  $-20 \dots +50$  °С и относительной влажности до 95 % (при +20 °С);

наличие резервных источников для питания БЛА (не менее двух на каждый БЛА) и аппаратуры НПУ, а также устройств их подзаряда от бортовой сети 12 В (24 В) и сети ~220 В.

Развертываемый вблизи НПУ АМП должен обеспечивать подготовку его к работе за время не более 5 мин; измерение наземных параметров атмосферы (атмосферного давления, температуры, относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра); автоматизированную обработку и анализ первичной метеорологической информации; конфигурирование и ввод поправок для калибровки датчиков; документирование и архивирование результатов метеонаблюдений.

Возможно крепление блока измерения параметров воздуха (температуры, относительной влажности, давления), размещенного в радиационном экране на мачте автономно или в составе единого блока с измерителем ветра. Исполнение блока измерения параметров ветра в виде барометрического измерителя ветра, разработанного в рамках ОКР (при достижении требуемых характеристик), ультразвукового измерителя или чашечного анемометра и флюгарки, совмещенных на одной оси. Анеморумбометр барометрического типа должен включать два измерителя слагаемых ветра, расположенных перпендикулярно и ориентированных по странам света, каждый из которых состоит из пары датчиков, обеспечивающих измерение разности давления воздуха в противоположных направлениях.

Блок обработки информации должен обеспечивать возможность приема и автономной индикации измеряемых параметров, передачи их на ПЭВМ, в том числе с использованием беспроводной сети, а также возможность подключения дополнительных датчиков без внесения схемных изменений. Источник автономного питания должен обеспечивать время непрерывной работы АМП не менее 8 ч. АМП должен обеспечивать стабильное и надежное измерение параметров воздуха с помощью серийных цифровых сенсоров с частотой не менее 0,2 Гц и с СКО измерения температуры воздуха в диапазоне  $-40 \dots +50$  °С не более 0,3°, относительной влажности в диапазоне 20...100 % не более 3 %, давления атмосферы в диапазоне 600...1100 гПа не более 0,5 гПа, скорости ветра в диапазоне 0,5...40 м/с не более 0,5 м/с (при скорости более 10 м/с – не более 0,05 м/с), направления ветра в диапазоне 0...360° не более 3°.

Целесообразна возможность АМП автоматически осуществлять текущее усреднение основных параметров за определенный пользователем интервал времени (1, 2, 5, 10, 30 мин).

Программное обеспечение вычислительных средств НПУ обоснованно использовать кроссплатформенное. При этом должна обеспечиваться информационная совместимость элементов НПУ и БЛА, а также НПУ и АМП между собой. Программный комплекс НПУ в своем составе включает модули СПО следующего назначения: предполетного контроля БЛА, поддержки БА, полетного задания, поддержки МЦМ, АМП и обработки МИ. Программный модуль предполетного контроля БЛА должен обеспечивать: автоматическую диагностику датчиков БЛА; функциональный контроль (ФК) навигационного модуля управления; ФК полетного модуля управления; конфигурирование подсистем БЛА. Программный модуль поддержки БА должен обеспечивать:

- конфигурирование параметров интерфейса ПК с АППД;
- визуализацию информации об угловом положении БЛА в аналоговом и цифровом виде;
- визуализацию информации о пространственных координатах БЛА;
- управление параметрами телеметрического канала;
- управление параметрами телевизионного канала;
- управление угловым положением видеокамер и гиростабилизированной платформы;
- вывод в отдельном окне изображения видеокамер с указанием параметров привязки изображения к пространственным координатам и времени;
- сохранение текущего стоп-кадра на диск ПЭВМ.

Программный модуль полетного задания должен обеспечивать: задание пространственных и временных параметров планируемого маршрута полета БЛА и его оперативную корректировку при выполнении полетного задания; отображение

навигационных точек и координат местоположения аппарата и оператора, текущей дальности и направления БЛА относительно НПУ; отображение реального маршрута и скорости полета БЛА; обеспечение загрузки файлов районов и выполнение типовых функций работы с цифровой картой местности (ЦКМ). Программный модуль поддержки МЦМ предназначается:

- для расчета и отображения времени начала текущих параметров КЗА: продолжительности, достигнутой высоты, скорости вертикального движения БЛА, слагаемых действительного ветра в слое;
- отображения текущих показаний датчиков температуры, относительной влажности, давления атмосферы;
- сохранения и чтения промежуточных и конечных результатов КЗА в файлы;
- индикации измеренных распределений действительной температуры, направления и скорости ветра по высоте, полученных за время выполнения КЗА, в табличном и графическом виде.

Данные МЦМ должны уточняться в зависимости от инерционных характеристик датчиков и скорости изменения высоты. Программный модуль поддержки АМП обеспечивает выполнение следующих функций:

- форматированный вывод с интервалом 5 с текущих и осредненных за указанный интервал времени значений измеряемых параметров;
- вывод экстремальных (максимальных и минимальных) значений, а также тенденций основных параметров за указанный период;
- представление результатов измерений в виде аналоговых схем, шкал (секторов) и отметок;
- архивацию данных в виде суточных файлов;
- ввод и хранение калибровочных поправок по диапазонам измеряемых значений метеовеличин;
- конфигурирование операций ввода-вывода.

Программный модуль обработки МИ должен обеспечивать расчет распределений температуры и ветра по высоте с учетом:

- наземных метеорологических измерений, времени и условий их проведения, тенденций и взаимного влияния метеовеличин, метеорологической статистики региона;
- распределений действительной температуры и ветра по высоте, полученных в результате КЗА с помощью БАК ВТ или по результатам моделей Глобальной системы обработки метеорологических данных;
- средних отклонений температуры и ветра от поверхности земли до стандартных высот, в том числе имеющих ограничения по времени годности и достигнутой высоте зондирования;
- представление результатов в табличном и графическом виде, формирование метеорологического кода в виде бюллетеней «Метеосредний» (Метео-11) и «Метеодействительный» (Метео-Д).

При расчете распределений параметров по высоте потребуется учитывать результаты наземных измерений, полученные с помощью АМП непосредственно перед решением задачи. В состав ПО НПУ должны входить средства, обеспечивающие авторизацию пользователя, аутентификацию при работе и защиту информации.

Таким образом, предлагаемый технический подход к выполнению задачи метеорологического обеспечения ракетных войск и артиллерии значительно повысит оперативность и точность метеорологических данных, необходимых для эффективного огневого поражения противника, и сократит затраты используемых сил и средств. Описанный комплекс средств и требуемые их характеристики обеспечивают в сравнении с имеющимися комплексами более точное, оперативное и экономное получение метеорологической информации, необходимой для полной подготовки стрельбы артиллерии.

## Список литературы

1. Обоснование и разработка тактико-технических требований по созданию перспективных средств и комплексов метеорологического обеспечения ракетных войск и артиллерии: отчет о НИР (заключ.) / ВА РБ; рук. темы А. Я. Сенько. – Минск, 2012. – С. 75–83.

---

\*Сведения об авторах:

Масилевич Артур Станиславович.

УО «Военная академия Республики Беларусь»;

Сенько Александр Яковлевич.

ГУП «Завод точной механики».

Статья поступила в редакцию 04.11.2015 г.



## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И МЕТОДИК РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИВУЧЕСТИ СЕТЕЙ СВЯЗИ

УДК 358.111.6

С. И. Паскробка, А. В. Кашкаров, А. А. Родионов\*

*Множество методов расчета показателей живучести сетей связи, как и любой другой сложной системы, делятся на два самостоятельных подмножества: точное и приближенное. Практическое применение того или иного метода (методики) определяется наличием исходных данных для расчета соответствующих показателей. В статье предлагаются обзор и анализ существующих методов (методик) расчета показателей живучести сетей связи и выбор рациональных в свете современных требований к управлению войсками.*

*All calculating methods of the communicating network's persistence are divided into two independent subsets: precised and approximated. Choosing one of these methods is determined by the availability of the source data, which is required for the calculating of the corresponding indices. This article provides the overview and the analysis of the existing communicating network's persistence calculating methods and choosing the most efficient ones according to the modern requirements of the army control.*

Живучесть системы связи характеризует ее способность выполнять поставленные задачи в условиях воздействия поражающих факторов всех видов современного оружия, противостоять внешним поражающим воздействиям и сохранять работоспособность в экстремальных ситуациях [1].

Понятие живучести условно следует разделять на структурную и функциональную составляющие. Если исследование структурной составляющей живучести в основном сводится к выявлению уязвимых мест в топологии системы связи и определению степени их влияния на целостность системы, то исследование функциональной составляющей живучести сводится к определению способности системы решать стоящие перед ней задачи при изменяющихся возможностях ее элементов.

В боевых условиях элементы системы подвижной радиосвязи (СПРС) будут подвергаться постоянному огневому воздействию противника на протяжении всего периода боевых действий. По своей повторяемости, продолжительности воздействия и степени поражения огневое воздействие можно разделить на две группы:

огневые удары с применением или без применения высокоточного оружия, которые воздействуют на систему связи или отдельные ее элементы кратковременно. Такое воздействие может с достаточной степенью точности характеризоваться вероятностным законом распределения во времени с параметрами исправной работы сети связи по живучести. В сети связи при этом проходит полный набор событий – функционирование, выход из строя, простой (восстановление), функционирование;

факторы, не обладающие устойчивой повторяемостью за время функционирования сети связи в одном периоде боевых действий и приводящие, как правило, к безвозвратным потерям большого количества средств связи на достаточно большой площади или к длительному их восстановлению. Такая ситуация возможна при массированных ракетно-авиационных ударах. Характерным для них является то, что в одной операции их будет несколько, время нанесения удара (в сравнении со временем всей операции) мало и восстановление сети связи начинается в основном после их окончания.

Априори показатели живучести должны характеризовать свойство живучести сети связи, воздействие наиболее существенных внешних факторов, внутренних связей и условий нормального функционирования. Они должны быть связаны в первую очередь с требованиями обеспечения устойчивости, непрерывности, оперативности, скрытности и качества управления. Кроме того, показатели живучести должны иметь хорошую смысловую трактовку, чувствительность к исследуемым характеристикам сети и изменениям внешних и внутрен-



них факторов, определяющих живучесть сети связи, практическую возможность использования математических моделей и методов их расчета. Научная новизна проделанной авторами работы, будет заключаться в выборе рационального метода расчета показателей живучести исходя из проведенного обзора и анализа существующих методов.

Практическое применение того или иного метода расчета показателей живучести определяется постановкой задачи, необходимостью разработки или возможностью применения того или иного программного обеспечения, степенью точности исходных вероятностей  $p(\varepsilon_i)$  исправности элементов и размерностью оцениваемой сети связи. Методы (методики) расчета показателей живучести сетей связи, согласно [1], могут быть классифицированы на точные (аналитические) и приближенные.

Некоторые точные (аналитические) методы разработаны только для заданных конкретных конфигураций сетей связи. Множество аналитических методов можно разделить на методы, предназначенные для произвольных и специальных структур, которые в свою очередь содержат восемь подмножеств, отличающихся друг от друга используемым математическим аппаратом. К ним относятся методы, основанные на теории игр, теореме разложения, булевой алгебре, использующие интегродифференциальные уравнения, методы прямого перебора состояний системы и состояний путей, корреляционные и комбинированные методы.

Большое число аналитических методов расчета характеризует попытки оценить живучесть сетей связи без какой-либо погрешности при практически приемлемых затратах вычислительных ресурсов или объеме ручного счета. Однако очень высокая размерность оцениваемых сетей связи ограничивает возможности точных методов. По мере повышения возможностей точных методов усложняются и методики расчета, а следовательно, и алгоритмы. Любой из точных методов неприемлем при достаточно большой размерности оцениваемой сети (размерность оценивается числом допустимых путей, числом элементов или их суммой), поэтому зачастую оценка живучести производится приближенными методами.

Методы (методики) оценки живучести сетей связи, в которых используются интегродифференциальные уравнения и теория игр, вообще не нашли практического применения прежде всего из-за их сложности, и в статье не рассматриваются.

Приближенные методы также делятся на два подмножества: приближенные аналитические методы и методы статистического моделирования (сокращенного перебора состояний, преобразования «треугольник – звезда»). Применение любого из приближенных методов неизбежно приводит к некоторым погрешностям оценки.

Погрешность при использовании большинства аналитических приближенных методов задается. Исключение составляют методы, основанные на преобразованиях типа «треугольник – звезда». Некоторыми из аналитических методов оцениваются приближенные верхние и нижние границы значений и показателей, которые можно затем усреднить. Такие методы при небольшом числе элементов сети связи незаменимы для ручного счета. Недостатком некоторых из них является трудность определения не только значения, но и знака погрешности.

Погрешность задается и при использовании методов статистического моделирования, в основу которых положен перебор состояний системы. И в том, и в другом случае погрешность определяется суммарной вероятностью возникновения событий, которые при заданных исходных данных считаются практически неосуществимыми. Например, для системы связи из  $N$  элементов, в которой случайное число отказавших элементов распределено нормально со средним  $\bar{m} = 0,01N$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma = 0,01N$ , практически неосуществимым можно считать событие, когда в системе одновременно в состоянии отказа находится  $k \geq 0,03N$  элементов.

При использовании приближенных методов необходимо, чтобы выполнялось важнейшее правило: погрешность исходных данных не должна превышать погрешность метода расчета.

#### *Методы прямого перебора состояний элементов сети связи*

Расчет показателей живучести методами прямого перебора состояний элементов сети связи предполагает независимость возникновения отказов ее элементов и наличие у каждого элемента двух взаимоисключающих друг друга состояний: полностью исправен или полно-

стью неисправен. Последовательно рассматривается вероятность связности каждой двухполюсной системы (ДС) в сети в зависимости от отказов одного или совокупности элементов. При этом критерием связности ДС является наличие в ней хотя бы одного исправного пути. Отличие модифицированного метода состоит в организации перебора состояний не всех элементов многополюсной сети, а для каждой ДС отдельно, что облегчает анализ сети при возрастании числа ее элементов.

Данные методы используются при оценке живучести сети связи при  $N = 20-25$ , а благодаря простоте алгоритмов – и в качестве вспомогательного средства для проверки правильности расчетов более сложными методами.

*Методы прямого перебора состояний путей сети связи*

Вторую группу методов, в которых используется принцип прямого перебора, составляют методы перебора состояний путей ДС. Двухполюсная сеть (направление связи) отображается множеством путей  $M$ , и ставится задача вычисления исправности хотя бы одного из них. Если все пути ДС структурно независимы между собой, то согласно [1]:

$$p(E) = 1 - \prod_{i=1}^h [1 - p(e_i)], \quad (1)$$

где  $p(E)$  – вероятность исправности ДС;

$h$  – общее число путей;

$p(e_i)$  – вероятность исправности  $i$ -го пути, представленного комбинацией элементов  $e$ .

Так как состояния большинства путей ДС коррелированы друг с другом, то условие (1) – это оценка  $p(E)$  сверху. Сущность методов прямого перебора путей состоит в представлении выражения (1) в виде

$$p(E) = \sum_{i=1}^{J_1} p(e_i) - \sum_{i < v}^{J_2} p(e_i e_v) + \dots + (-1)^{h-1} p(\bigwedge_{i=1}^h e_i). \quad (2)$$

Последняя формула представляет собой вероятность суммы совместных независимых событий [2]. Здесь  $J_n = C_h^n$ ,  $n = 1, \dots, h$ .

В более компактном виде выражение (1) имеет вид

$$p(E) = \sum_{n=1}^h (-1)^{n-1} p(E^n), \quad (3)$$

где  $p(E^n)$  – вероятность исправности хотя бы одного подмножества  $I_{nk}$  путей, определяется из выражения

$$p(E^n) = \sum_{k=1}^{J_n} p(I_{nk}), \quad n = 1, \dots, h. \quad (4)$$

Подмножество  $I_{nk}$  содержит  $k$ -ю комбинацию  $n$  путей из общего числа сочетаний из  $h$  по  $n$ ,  $n = 1, \dots, J_n$ .

Для исключения корреляции состояний путей при вычислении  $p(I_{nk})$  можно применить два подхода. Первый подход основан на вычислении условных вероятностей исправности путей в слагаемых выражения (2). При этом

$$p(I_{nk}) = p(e_i) p(e_v | e_i) \dots p(e_j | e_i e_v \dots). \quad (5)$$

Данное произведение содержит  $n$  сомножителей. Условные вероятности определяются так:

$$p(e_j | e_i e_v \dots) = \frac{p(e_j)}{\prod_{z_k \in E} p(z_k)}, \quad (6)$$

где  $\varepsilon$  – множество элементов ДС, общих для пути  $\mu_j$  и путей  $\mu_l, \mu_m, \dots, a$

$$p(e_j) = \prod_{\varepsilon_h \in \mu_j}^{r(\mu_j)} p(\varepsilon_h). \quad (7)$$

При втором подходе используется свойство логического сложения булевых переменных:  $a + a + a + \dots = a$ . Тогда

$$p(I_{nk}) = \prod_{\varepsilon_i \in \delta} p(\varepsilon_i), \quad (8)$$

где  $\delta$  – объединение элементов путей  $\mu_v \in I_{nk}$ .

Указанное свойство применяется при формировании множества  $\delta$ . Применение преобразований булевой алгебры более экономично по сравнению с вычислением условных вероятностей.

Область практического применения метода перебора состояний путей сети связи в основном совпадает с областью применения метода перебора состояний ее элементов. Он применяется также и для практического вычисления  $p(E)$  при большом числе элементов, но небольшом числе путей в каждой ДС. Ввиду простоты применения, а также исходя из рассмотренной структуры системы подвижной радиосвязи может применяться для оценки ее живучести.

#### *Методы с применением теоремы разложения*

Методы с применением теоремы разложения используются в основном для вычисления показателей надежности сложных систем, которые имеют элементы, не позволяющие производить вычисление по формулам последовательно-параллельного соединения. Теорема разложения читается следующим образом: функция надежности  $p(E)$  системы, состоящей из  $N$  ненадежных элементов, равна произведению вероятности исправного состояния  $i$ -го элемента на функцию надежности системы из  $N - 1$  элементов при условии, что  $i$ -й элемент замкнут накоротко, плюс произведение вероятности отказа  $i$ -го элемента на функцию надежности системы из  $N - 1$  элементов при условии, что  $i$ -й элемент разомкнут. Происходит последовательное преобразование системы с применением теоремы разложения, затем применяется формула полной вероятности.

Использование теоремы разложения для расчета живучести сетей связи ограничивается тем, что она сформулирована при условиях абсолютно надежных узлов и неориентированных ребер графа. В сетях связи это не всегда выполняется. Для того чтобы можно было применить теорему разложения, требуется выполнить сложные преобразования исходного графа сети. Сравнительный анализ показывает, что время вычисления  $p(E)$  с применением теоремы разложения даже для простых структур соизмеримо со временем, затраченным на расчет при использовании методов прямого перебора.

#### *Методы с применением преобразований булевой алгебры*

Отличие методов с применением преобразований булевой алгебры, или логико-вероятностных, от вышеизложенных в том, что, во-первых, исключается принцип перебора и, во-вторых, на каждом шаге алгоритма производятся операции не с числами, а с булевыми переменными [1, 3]. На последнем шаге алгоритма заканчивается составление выражения  $p(E)$  через исходные вероятности исправности элементов системы, т. е. переменные заменяются их вероятностными значениями.

Сущность логико-вероятностных методов заключается в назначении соответствия между численными значениями вероятностей состояний элементов  $p(\varepsilon_i)$ ,  $q(\varepsilon_i) = 1 - p(\varepsilon_i)$  и булевыми переменными  $БП_i$ , принимающими значение «ноль» или «единица». Выражение функции  $p(E)$  через булевы переменные  $БВ(E)$  (булевы выражения) определяется простой формулой параллельного соединения путей ДС

$$BB(E) = 1 - \prod_{k=1}^h [1 - BB(e_k)], \quad (9)$$

где  $BB(e_k)$  – выражение функции  $p(e_k)$  через переменные  $BP_i$ .

Формула (9) при ее развертывании содержит  $2^h$  слагаемых, которые обозначим  $BC_i$ ,  $i = 1, \dots, N(BB)$ . Слагаемые  $BC_i$  в (9) вычисляются с применением свойства логического произведения

$$BC_v BC_v BC_v \dots = BC_v. \quad (10)$$

Для упрощения преобразований по уравнению (9) при расчетах после формирования множества путей  $M$  производится перенумерация элементов рассматриваемой ДС порядковыми числами  $1, 2, \dots, N$ . Алгоритм вычисления  $p(E)$  при представлении ДС множеством  $M$  имеет  $h$  шагов. На первом шаге согласно формуле (9):

$$BB(E)_1 = BB(e_1) = BC_1. \quad (11)$$

Шаг  $k$ ,  $k \geq 2$  выполняется в два этапа. На первом этапе производится логическое умножение каждого слагаемого выражения  $BB(E)_{k-1}$  на  $BB(e_k)$  с учетом (10). Умножение заключается в дописывании к выражению  $BB(E)_{k-1}$  со знаком «плюс» слагаемого  $BB(e_k)$ , а также к  $2NBB(E)_{k-1}$  таких слагаемых  $BC_v$ , которые представляют собой логическое произведение каждого из слагаемых  $BC_i \in BB(E)_{k-1}$  на  $BB(e_k)$ . Указатель знака  $\alpha(BC_v)$  слагаемых  $BC_v$  определяется по правилу

$$\alpha(BC_v) = \alpha(BC_i) \oplus 1, \quad i = 1, \dots, N(BB)_{k-1}; \quad v = N(BB)_{k-1} + 1, \dots, 2N(BB)_{k-1}. \quad (12)$$

Если  $\alpha(BC_v) = 0$ , то слагаемое  $BC_v$  имеет знак «минус»;  $N(BB)_{k-1}$  – число слагаемых в выражении  $BB$  на  $(k-1)$ -м шаге.

На втором этапе  $k$ -го шага в полученном выражении  $BB(E)_k$  проверяется существование одинаковых слагаемых  $BC_i, BC_v, i = 1, \dots, N(BB)_{k-1}$  с противоположными знаками. Поскольку одинаковые слагаемые соответствуют равным числам, они из выражения  $BB(E)_k$  исключаются.

После выполнения  $h$  шагов вероятность

$$p(E) = \sum_{i=1}^{N(BB)} \alpha(BC_i) p(BC_i), \quad (13)$$

где  $p(BC_i)$  – число, представляющее собой произведение исходных вероятностей исправности элементов, входящих в слагаемое  $p(BC_i)$ .

Логико-вероятностные методы и реализующие их алгоритмы являются достаточно простыми. Однако в сложных системах число слагаемых выражения  $BB(E)$  достигает больших величин, что затрудняет их применение для ручного счета. При разработке программного обеспечения логико-вероятностные методы могут быть использованы для расчетов показателей живучести как СПРС, так и систем связи в целом.

#### *Корреляционный метод расчета живучести сети связи*

В корреляционном методе применяют итеративный алгоритм расчета, при этом в двухполюсной сети требуется определить вероятность  $p(E)$  исправности не менее одного пути при заданных вероятностях  $p(e_j)$  исправности элементов. Информация в ДС передается по пути  $\mu_j$  при условии его исправности и отказе остальных путей рассматриваемого подмножества  $M_j$ . В этом случае согласно [1]:

$$p(E) = \sum_{j=1}^h p(e_j) p(G_{j-1} | e_j), \quad (14)$$

где  $p(e_j)$  – вероятность исправности пути  $\mu_j$ ;

$p(G_{j-1}|e_j)$  – вероятность отказа остальных путей подмножества при условии исправности пути  $\mu_j$ .

Исключение корреляции состояний пути  $\mu_j$  и путей  $\mu_i \in M_{j-1}$  осуществляется благодаря использованию формулы условной вероятности для путей  $\mu_i$  [2]:

$$p(e_i|e_j) = p(e_i) / \prod_{\mu_i \in \pi(\mu_j, \mu_i)} p(e_i), \quad (15)$$

где  $\pi(\mu_j, \mu_i) = \mu_i \cap \mu_j$ ,  $i = 1, \dots, j-1$ .

Применение соотношения (15) равносильно исключению элементов пути  $\mu_j$  из состава путей  $\mu_i \in M_{j-1}$ . Преобразованные таким образом пути называют путями первой итерации. Далее идет последовательное преобразование (итерации) и вычисление условных вероятностей на каждом шаге. Математические выражения и алгоритмы вычислений наиболее полно представлены в [1].

Объем вычислений при использовании корреляционного метода достаточно высок, однако позволяет получить более точный результат, поэтому используется в программном виде при анализе сложных сетей. Корреляционный метод удобно применять для вычисления условных вероятностей исправности каждого пути и оценки влияния обходных путей на возрастание вероятности  $p(E)$ .

#### Метод двудольных графов расчета живучести сети связи

Одним из аналитических методов, позволяющим производить оценку живучести систем и сетей связи, является метод двудольных графов (рисунок 1) [1]. При этом для ДС задается адекватный ей неориентированный обыкновенный смешанный граф, имеющий оконечные полюса  $a_s$  и  $a_t$ , множество транзитных вершин (узлов сети)  $A$  и ребер (линий между узлами)  $B$ .

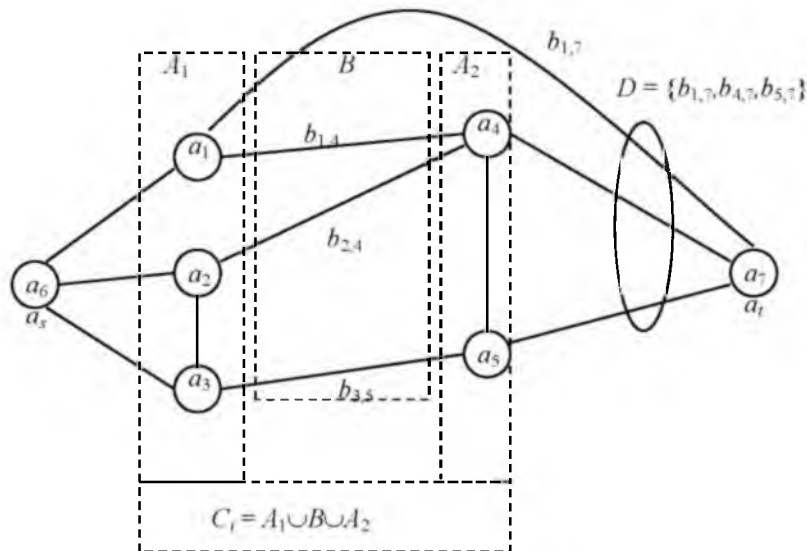


Рисунок 1. – Двудольные графы

Транзитным вершинам и ребрам графа сети ставятся в соответствие вероятностные показатели их живучести, например вероятности выживания  $p_i, p_{i,j}$ , в течение интересующего периода функционирования в заданных неблагоприятных условиях. Требуется вычислить вероятность выживания (в течение того же периода) связи между полюсами данной сети, по крайней мере, по одному каналу. В такой постановке задача эквивалентна оценке связности двухполюсной сети, т. е. нахождению вероятности существования между полюсами сети хотя бы одной простой цепи –  $p(E_j)$ .

Под двудольным графом (ДГ) понимается граф, состоящий из двух непересекающихся подмножеств вершин  $A_1 = \{a_i\}$  и  $A_2 = \{a_j\}$  и подмножества соединяющих их ребер  $B = \{b_{i,j}\}$ , выделенный на двухполюсной сети так, что каждое из подмножеств  $A_1, A_2, B$  представляет собой простое секущее множество относительно полюсов  $a_s$  и  $a_t$ . На рисунке 1 представлены двудольные графы, сформированные на сети относительно полюсов  $a_s$  и  $a_t$ .

Если в ДГ есть ребра, связывающие подмножество  $A_1$  непосредственно со вторым полюсом  $a_t$ , их исключают из структуры и учитывают отдельно (на рисунке 1 – ребро  $b_{1,7}$ ). Такие ребра называют ребрами непосредственной связи, и из них формируется подмножество  $D$ .

В дальнейшем последовательно производится операция «стягивания в одну точку» подмножеств  $A_1, A_2, B$ , и получаем так называемый стянутый двудольный граф  $C_i$ . При этом образуются последовательно соединенные связывающие звенья. Вероятность исправного состояния любого из связывающих звеньев  $n$  равна произведению вероятностей исправности элементов, входящих в него (вершин и ребер):

$$p(n) = p(b_{i,j}) p(a_i) = p_i, p_{i,j}, \quad (16)$$

а неисправного – соответственно

$$q(n) = 1 - p(n) = 1 - p(b_{i,j}) p(a_i) p_i, p_{i,j}, \quad (17)$$

где  $p(n)$  – вероятность исправного состояния связующего звена,  $q(n)$  – соответственно неисправного;

$p_i$  – вероятности исправности входящих в связующее звено вершин (узлов);

$p_{i,j}$  – вероятности исправности входящих в связующее звено ребер (линий).

Если по результатам исследований живучести при поражении узла (базовой станции) сети связи одновременно с ним выходят из строя и связи по заходящим в него каналам передачи, то в процессе расчетов они не анализируются, что сокращает расчет.

Подмножество связывающих звеньев данного стянутого ДГ и подмножество ребер непосредственной связи  $D$ , сформированное после его построения, образуют  $i$ -е простое секущее множество графа сети. В случае повреждения всех элементов этого простого секущего множества разрываются все простые цепи между полюсами сети в данном простом секущем множестве. Вероятность этого события

$$p_{iy} = \prod_{i=1}^D q(b_{i,t}) \prod_{n=1}^m q(n), \quad (18)$$

где  $p_{iy}$  – вероятность неисправности  $i$ -го простого секущего множества;

$q(b_{i,t})$  – вероятности неисправного состояния множества ребер непосредственной связи;

$q(n)$  – вероятности неисправного состояния множества связывающих звеньев  $m$ .

Вероятность  $p_{iy}$  является условной, так как  $i$ -й стянутый ДГ имеет место лишь при исправном состоянии соответствующего предыдущего стянутого ДГ. Если обозначим вероятность выполнения этого условия  $p(\Gamma_v)$ , тогда безусловная вероятность разрыва всех связующих звеньев в  $i$ -м стянутом ДГ и ребер непосредственной связи выразится уравнением

$$p_i(G_j) = p(\Gamma_v) \prod_{i=1}^D q(b_{i,t}) \prod_{n=1}^m q(n). \quad (19)$$

Таким образом, если процесс строительства стянутых ДГ начнем с первого (смежного с одним из рассматриваемой пары полюсов) и попутно вычислим  $p_1(G_j)$  по (19), затем построим смежный с ним второй стянутый ДГ и вычислим  $p_2(G_j)$ , потом – третий, смежный со вторым, получив  $p_3(G_j)$ , и т. д., пока не достигнем второго полюса, то таким способом мы рассмотрим и оценим все множество простых секущих множеств между полюсами сети. Сложив все значения  $p_i(G_j)$ , найдем вероятность  $P(G_j)$  неисправного состояния всех простых цепей между полюсами  $a_s$  и  $a_t$ , т. е.

$$P(G_j) = p_1(G_j) + p_2(G_j) + p_3(G_j) + \dots + p_n(G_j). \quad (20)$$

Соответственно, вероятность  $p(E_j)$  противоположного события, заключающегося в существовании не менее одной простой цепи (связи) между полюсами  $a_s$  и  $a_i$  сети, вычисляется как

$$p(E_j) = 1 - p(G_j). \quad (21)$$

Главное заключается в умении построить процесс последовательного формирования и анализа множества стянутых ДГ между полюсами сети, исключая возможные пропуски отдельных ветвей ДГ, которые приводили бы к погрешностям расчета.

Сущность метода двудольных графов заключается в реализации процесса последовательного формирования по изложенным выше правилам стянутых двудольных графов из их множества на сети относительно рассматриваемой пары полюсов, вычисления и суммирования вероятностей их несвязности. При этом также могут вводиться ограничения на число транзитных узлов путем их исключения из рассматриваемого графа при превышении условия.

В результате анализа известных методик расчета структурной живучести, изложенных в [4, 5] и некоторых других, можно сделать вывод о том, что общим для них является расчет объектовой живучести элементов сети (узлов, аппаратных, линий связи) на первом этапе. Используемые методы незначительно отличаются, а методы расчета живучести площадных целей в статье не рассматривались.

Различие методик оценки живучести в основном обусловлено различием применяемых методов оценки структурной живучести. Наиболее применяемые методы приведены в статье.

Совершенствование методов расчета объектовой живучести направлено на получение более достоверных результатов. Однако неопределенность некоторых исходных данных не позволяет в настоящее время произвести достаточно полную оценку всех воздействующих факторов на элементы системы связи. Поэтому в некоторых случаях пытаются уйти от неопределенности исходных данных, производя сравнительную оценку вариантов построения систем связи по какому-либо показателю эффективности с учетом живучести системы связи. Так, в [6] приведена методика, основанная на использовании вероятностного показателя эффективности системы  $P_{\text{э}}$ . Эффективность функционирования системы связи с учетом живучести  $P_{\text{э,ж}}$  определяется как

$$P_{\text{э,ж}} = P_{\text{э}} P_{\text{выж}}. \quad (22)$$

Имея данные вероятностные показатели и требуемое минимально допустимое значение эффективности  $P_{\text{э,доп}}$ , можно оценить живучесть системы по величине коэффициента живучести, вычисляемого по формуле

$$K_{\text{ж}} = \frac{P_{\text{э,ж}} - P_{\text{э,доп}}}{P_{\text{э}} - P_{\text{э,доп}}}. \quad (23)$$

Потенциально необходимый уровень коэффициента живучести обычно при этом определяется равным 0,7–0,8 (20–30 % запаса живучести) [7]. Показателями эффективности могут выступать показатели пропускной способности [4], вероятностно-временные характеристики систем связи [7, 8]. Данные методики относятся к методикам оценки функциональной живучести систем и сетей связи.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что каждый из рассмотренных методов может быть применим для расчета живучести сетей связи, в то же время анализ возможностей и оценка их эффективности свидетельствуют о необходимости выбора метода и алгоритма решения для каждой конкретной задачи. Так, методы перебора состояний путей и логические методы являются достаточно простыми и эффективными, причем использование логических методов позволяет уменьшить количество процедур вычислений. Они могут

применяться и при представлении ДС последовательным соединением ее простых сечений. Однако в этом случае усложняется задача определения связности сети.

Известны также комбинированные методы, объединяющие несколько принципов. По сравнению с изложенными методами их применение не дает значительных преимуществ по времени получения результатов, но вызывает дополнительные затруднения из-за сложности преобразований исходной структуры.

При использовании корреляционного метода усложняется алгоритм расчета, однако в целом значительно уменьшается объем вычислений, особенно для широкоразветвленных сетей, при этом повышается точность результата. Однако для ручного счета он вызывает значительные затруднения.

Применение метода двудольных графов не вызывает особых затруднений и достаточно эффективно по объему вычислений по сравнению с другими методами. При малой размерности сети он может быть использован для ручного счета.

По каждому из методов может быть составлен алгоритм для разработки программного обеспечения. При этом с увеличением размерности сети связи по эффективности вычислений их можно расположить в порядке возрастания: метод прямого перебора путей; метод прямого перебора состояний; методы с использованием теоремы разложения; методы с использованием преобразований булевой алгебры; корреляционный метод; метод двудольных графов. Корреляционный метод удобно применять для оценки живучести многополюсной сети в целом. Для расчета структурной живучести СПРС в наибольшей степени подходят методы прямого перебора путей, методы с использованием преобразований булевой алгебры, корреляционный метод и метод двудольных графов. Выбор конкретного метода определяется размерностью сети, требуемой точностью значений, а также возможностями использования программного обеспечения.

#### Список литературы

1. Додонов, А. Г. Живучесть информационных систем / А. Г. Додонов, Д. В. Ландэ. – Киев: Наук. думка, 2011. – 256 с.
2. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 2003.
3. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, Г. Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981.
4. Теоретические основы организации связи в соединениях и объединениях. – СПб.: ВАС, 1991.
5. Семашко, Ю. А. Основы организации связи: учеб. пособие / Ю. А. Семашко, С. Г. Голубцов, В. А. Гришко. – Минск: ВА РБ, 2005.
6. Манько, С. А. Оценка живучести системы связи общевойсковой операции / С. А. Манько // Материалы VII воен.-науч. конф., Минск, 26–27 янв. 2005 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск, 2005.
7. Захаров, Г. П. Оценка живучести систем связи / Г. П. Захаров, В. П. Ревельс // Спец. техника средств связи. Сер. ТПС. – 1988. – Вып. 1.
8. Золотев, Л. С. Взгляды на развитие способов ведения общевойсковой операции и боя / Л. С. Золотев // Воен. мысль. – 1998. – № 3.
9. Руководство по связи Сухопутных войск (связь в соединениях, воинских частях и подразделениях). – Минск: МО РБ, 2005.
10. Методики по расчету и оценке полевых систем связи. – Л.: ВАС, 1985.
11. Кременецкий, С. Д. Вероятности подавления элемента системы связи при огневом воздействии / С. Д. Кременецкий, А. В. Кожанов // Спец. техника средств связи. Сер. СС. – 1989. – Вып. 2.
12. Зелинский, Н. И. Методика расчета живучести РЭТ РТВ в условиях ВТО / Н. И. Зелинский // Науч.-метод. материалы. – 1988. – Вып. 14 (342).
13. Информационный сборник по связи и автоматизации. – 1987. – № 17.



14. Данилевский, Ю. Г. Устойчивость иерархических сетей связи / Ю. Г. Данилевский, Г. П. Захаров // Спец. техника средств связи. Сер. ТПС. – 1984. – Вып. 1.

15. Методика оценки влияния живучести системы на эффективность ее функционирования / Э. С. Болотов [и др.] // Воен. радиоэлектроника. – 1984. – № 2.

---

\*Сведения об авторах:

Паскробка Сергей Иванович.

Кашкаров Андрей Васильевич.

Родионов Андрей Александрович.

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Статья поступила в редакцию 03.04.2015 г.

## НОВЫЙ ПОДХОД К КЛАССИФИКАЦИИ РЕМОНТНОГО ФОНДА ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 358.3

А. Л. Семенас, Г. А. Осипов\*

*В статье рассматриваются проблемы ремонта вооружения, военной и специальной техники. Выполнен анализ основных причин возникновения и форм проявления различных неисправностей в машинах. Предложено распределение ремонтного фонда по возможности планирования (прогнозирования) их выхода из строя. Выявлена проблема определения потребности в ремонте вооружения, военной и специальной техники.*

*In article problems of repair arms, the military and special technics are considered. The analysis of main causes occurrence and forms of display various malfunctions in cars is made. Distribution of repair fund whenever possible planning (forecasting) of their failure is offered. The problem of definition requirement under repair arms, the military and special technics is revealed.*

Боеспособность войск находится в непосредственной зависимости от наличия в строю вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), их состояния и готовности к боевому применению. Увеличение количества неисправных образцов ВВСТ по техническим причинам, а в условиях боевых действий и по боевым повреждениям в конечном счете неизбежно снижает уровень боеспособности соединений и объединений Вооруженных Сил (таблица).

Таблица. – Потери ВВСТ в вооруженных конфликтах за последние 20 лет

Характеристики потерь	Страна	Вид ВВСТ	Количество (ед.)	Среднесуточные потери (ед.)
<b>Воздушная морская наступательная операция НАТО в Югославии (март – май 1999 г.)</b>				
Общие потери вооруженных сил Югославии	Югославия	Танки	122	2
		БМП, БТР	222	3
		Орудия и минометы	454	5
<b>Боевые действия России в Дагестане (8 – 27 августа 1999 г.)</b>				
Общие потери ВВСТ федеральной группировки войск России	Россия	Вертолеты	4	0–1
		Танки	7	0–2
		БТР, БМП	21	1
<b>Боевые действия в Украине (апрель 2014 г. – август 2015 г.)</b>				
Общие потери вооруженных сил Украины	Украина	Вертолеты Ми-24, Ми-8	27	0–2
		Самолеты Су-25, Миг-29, Ан-30, Ил-76, Ан-26		
		Беспилотные летательные аппараты	39	0–3
		Автомобильная техника	24	0–2
		Танки	786	5
		БМП, БТР, БМД, БРДМ	529	4
		Орудия и минометы	761	5
	498	4		

Анализ данных таблицы указывает на тенденции роста количества ежедневных потерь ВВСТ, а также на большие потенциальные возможности войск по поддержанию своей боеспособности за счет восстановления неисправных ВВСТ (восстановлению подлежали не менее 70 % ВВСТ). Это подтверждает и опыт Великой Отечественной войны, из которого следует, что в период с 1941 по 1945 г. количество отремонтированной техники текущим (ТР), средним (СР) и капитальным ремонтом (КР) в 5 раз превысило количество поступившей в войска техники новых образцов.

В свою очередь успешное решение задач восстановления вышедших из строя образцов ВВСТ достигается выполнением таких мероприятий, как техническая разведка, эвакуация, ремонт и возвращение их в строй.

Анализ мероприятий восстановления ВВСТ дает право утверждать, что техническая разведка носит характер вспомогательной функции. Основными мероприятиями восстановления ВВСТ будут являться эвакуация вышедших из строя (застрявших) машин, ремонт неисправных образцов и возвращение их в строй. Однако современные боевые действия диктуют условия эксплуатации ВВСТ на предельных режимах, а также предусматривают поражение их различными средствами борьбы, исходя из чего можно сделать вывод, что именно ремонт ВВСТ продолжает оставаться важнейшим условием обеспечения высокой боеспособности соединений и объединений Вооруженных Сил [1].

Из нормативных правовых актов [2, 3] следует, что процесс ремонта – это комплекс операций или операция по восстановлению исправности (работоспособности) и технического ресурса (срока службы) образца или его составных частей. В свою очередь ремонт в условиях боевых действий осуществляется для приведения поврежденных образцов вооружения и техники в работоспособное, а по возможности и в исправное состояние, а также для восстановления недостаточного запаса ресурса [2]. Другими словами, ремонт представляет собой процесс, который направлен на поиск причин неисправностей в вышедших из строя образцах ВВСТ, их устранение, а также при необходимости устранение возможных последствий этих неисправностей. Следовательно, существует необходимость анализа причин возникновения и форм проявления различных неисправностей в вооружении и военной технике. Условная градация причин возникновения неисправностей в различных образцах ВВСТ представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1. – Классификация причин возникновения неисправностей в различных образцах ВВСТ [1]**

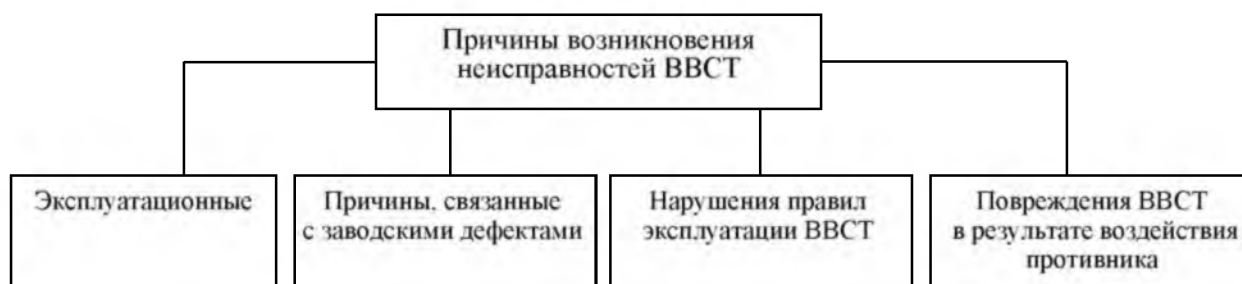
Анализ вышеизложенных причин показывает, что некоторые понятия в данной схеме дублируются. К примеру, такие формы проявления неисправностей, как изнашивание рабочих поверхностей деталей, изменение физико-механических свойств материала, усталостная деформация – это более широкие понятия, чем изнашивание и старение. Очевидно, что все вышеперечисленное имеет место быть в процессе эксплуатации машин. Следовательно, указанную группу неисправностей целесообразно назвать «эксплуатационные причины неисправностей».

В свою очередь внезапные отказы как причина неисправностей ВВСТ носят абстрактный характер и к ним можно отнести практически все неисправности, возникающие в машинах. Исключение составляет лишь плановый выход ВВСТ в ремонт. Поэтому существует необходимость определения категории причин, которые авторы [1] объединили в соответствии с рисунком 1 в неисправности, связанные с внезапными отказами. Скрытые дефекты материала деталей, а также нарушения технологий производства деталей и элементов машин имеют природу заводских дефектов и на сегодняшний день действительно являются одной из причин возникновения неисправностей ВВСТ [1]. В свою очередь анализ причин деформации и смещения отдельных рабочих поверхностей деталей и элементов машин позволил условно их разделить на две основные группы: деформации металлов, связанные с их естественным старением, которые необходимо отнести к группе эксплуатационных причин, а также деформации металлов деталей и элементов машин, возникшие по причине воздействия сторонних сил (аварии, боевые повреждения и пр.). Описание второй группы причин, повлекших деформации металлов, целесообразно продолжить после раскрытия причин неисправностей, объединенных в группу аварийных ситуаций.

Из определения аварийной ситуации [4] следует, что данная ситуация характеризуется нарушением пределов эксплуатации ВВСТ, которое не перешло в аварию. Однако одна из указанных составляющих, такая как наезды, столкновение, опрокидывание, характеризуется как следующая стадия аварийной ситуации – авария с ВВСТ. Анализ причин аварий позволяет утверждать, что их возникновение в своем большинстве – результат нарушения правил вождения (управления) машин [5]. Нарушение правил вождения машин является одной из составляющих более емкого понятия «нарушения правил эксплуатации ВВСТ». Следовательно, третью группу причин возникновения неисправностей машин целесообразно определить как нарушения правил эксплуатации ВВСТ.

Задачи, связанные с предназначением Вооруженных Сил, предопределяют возникновение отдельной группы неисправностей ВВСТ – боевые повреждения. Очевидно, что боевые повреждения не являются аварийными ситуациями, как указано на рисунке 1, ввиду того, что существуют как самостоятельный источник повреждений, возникающий в результате воздействия противника.

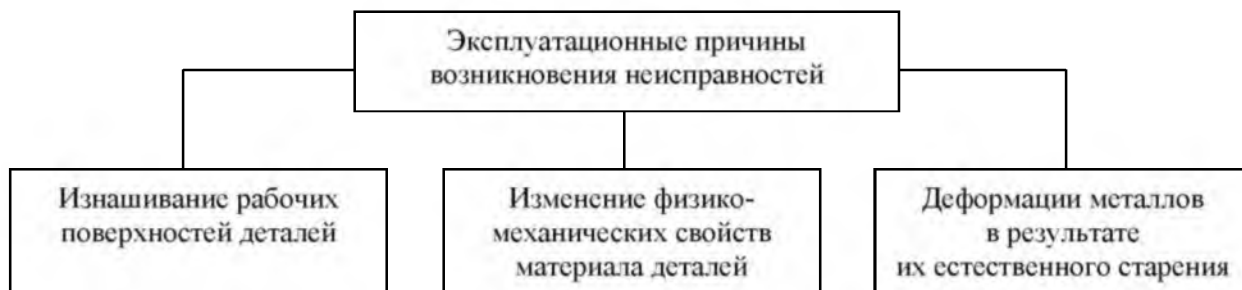
Резюмируя вышеизложенное, предлагаем градацию причин возникновения неисправностей в машинах, представленную на рисунке 2.



**Рисунок 2. – Градация причин возникновения неисправностей в ВВСТ**

Учитывая важность каждой из групп как источника для выполнения мероприятий ремонта, рассмотрим их более детально.

Эксплуатационные причины составляют первую группу причин возникновения неисправностей ВВСТ. Под эксплуатационными причинами необходимо понимать причины, вызванные естественным износом деталей машин. Процесс изнашивания деталей вполне закономерный. Эта закономерность проявляется в изменении состояния, размеров и форм рабочих поверхностей деталей, пар, узлов и механизмов образца ВВСТ. Следовательно, основа эксплуатационных причин неисправностей – естественный износ. Анализ источника [1] позволяет схематично представить основные компоненты эксплуатационных причин возникновения неисправностей в машинах (рисунок 3).



**Рисунок 3. – Основные компоненты эксплуатационных причин возникновения неисправностей**

Величина и характер естественного износа деталей зависят от сил трения и рабочей среды (охлаждающей жидкости, смазки, топлива и т. д.), а также от условий, в которых происходит эксплуатация или хранение объекта.

В результате износа рабочих поверхностей увеличиваются зазоры в подвижных сопряжениях деталей, изменяется взаимное их расположение, что нарушает нормальные условия работы узлов, механизмов и систем. Изменение размера и формы деталей приводит к перераспределению действующих нагрузок, увеличению контактных напряжений, в результате чего процессы изнашивания ускоряются. При значительном увеличении зазоров в сопряжениях могут происходить поломки деталей из-за динамических нагрузок. Наиболее ярким примером износа рабочих поверхностей является износ поверхностей сопряжения «коленчатый вал – подшипник скольжения (вкладыш)», вследствие которого может произойти выход из строя двигателя внутреннего сгорания из-за его заклинивания.

Деформации деталей возникают в основном в результате динамического воздействия сил. Но в то же время они могут быть вызваны и процессами старения деталей, усталостными явлениями, колебаниями рабочих температур и т. д. К примеру, деформация рамы большинства грузовых автомобилей вызывает смещение базовых поверхностей, на которых смонтированы агрегаты и механизмы, следствием которой – смещение двигателя, агрегатов и механизмов трансмиссии автомобиля. Все это в конечном счете сокращает ресурс агрегатов и приводит к возникновению отказов в образцах вооружения, военной и специальной техники.

Наряду с неисправностями, возникающими в результате постепенного изменения свойств деталей и сопряжений, существуют неисправности по причинам, связанным с заводскими дефектами. Необходимо отметить, что указанные неисправности в своем большинстве не имеют связи с наработкой машины, условиями и правилами эксплуатации. Заводские дефекты могут быть вызваны следующими причинами:

- скрытые дефекты материала деталей;
- конструктивное и технологическое несовершенство элементов машин;
- нарушение технологии производства.

Комплексное воздействие указанных выше дефектов неминуемо приводит к ухудшению эксплуатационных свойств образцов ВВСТ, а также к снижению показателей их боевых и технических свойств.

Необходимо отметить, что если первые две группы причин неисправностей имеют истоки в самих образцах ВВСТ, то причины, вызванные нарушением правил их эксплуатации, возникают независимо от машины. Очевидно, что указанные причины возникают непосредственно в результате действий или бездействий человека. Причинами нарушений правил эксплуатации будут являться:

- нарушение (нев्यполнение) технологического процесса технического обслуживания ВВСТ;
- нарушение правил управления машинами.

Практика показывает, что неисправности, вызванные нарушением правил эксплуатации машин, являются одним из основных источников для выполнения так называемого непланового ремонта. Выполнение отдельных позиций технического обслуживания машин не в полном объеме или невыполнение всего комплекса мероприятий технологического процесса как при хранении машин, так и при их использовании приводит к преждевременному износу отдельных механизмов, агрегатов и в результате к выходу из строя образца ВВСТ в целом. Фактически при указанных условиях происходит стремительное уменьшение ресурса деталей, механизмов и агрегатов машин до очередного ремонта. К примеру, невыполнение такой незначительной, на первый взгляд, операции сезонного обслуживания, как включение перед эксплуатацией в летнее время в работу системы смазки двигателя автомобиля «Урал-4320» радиатора охлаждения масла, приводит к потере вязкости масла и, как следствие, к чрезмерному износу в механизмах (кривошипно-шатунном, газораспределительном) двигателя внутреннего сгорания.

Аналогичным образом следует рассмотреть неисправности, вызванные нарушением правил управления ВВСТ. Из анализа источника [5] следует, что в результате нарушений правил управления ВВСТ возможны столкновения, опрокидывания, а также затопления машин. Характер неисправностей, вызванный этими причинами, может быть достаточно разнообразным. Так, в результате столкновений или опрокидываний образцов ВВСТ возникает деформация деталей, узлов, агрегатов, а также возможно разрушение наружной укладки (баки, грязевые щитки). Кроме того, вероятен выход из строя вооружения, смонтированного на шасси машин. По причине затопления машин могут появляться неисправности в аппаратах, приборах и механизмах вооружения, оптики, электрорадиоспецоборудования из-за разрушения лакокрасочных покрытий, резинотехнических изделий и т. д. Неисправности могут возникнуть также в системах питания, смазки, воздухопуска двигателя вследствие попадания в них воды, песка, грязи.

Заключительную группу причин возникновения неисправностей представляют повреждения ВВСТ в результате воздействия противника. В условиях военного времени наиболее распространенной причиной возникновения неисправностей для ВВСТ будет воздействие поражающих факторов различных средств борьбы. Степень воздействия характеризуется применением противником различных видов оружия, в том числе высокоточного. Наряду с использованием обычных средств борьбы, в настоящее время ведутся и широко применяются разработки нового высокоточного управляемого оружия с обычной боевой частью, способного поражать даже малоразмерные наземные цели на большом расстоянии с первого пуска.

Проведенный анализ боевых действий в зоне Персидского залива, Югославии, Чечне, Сирии [6–9] показал, что применение высокоточного оружия позволяет наносить максимальный урон живой силе, технике и объектам инфраструктуры с минимальным количеством расхода боеприпасов. Последствиями этого могут явиться разрушение рамы (корпуса) и поражение агрегатов, узлов и механизмов машин в результате воздействия снарядов ударного действия или кумулятивных средств борьбы, возгорание образцов ВВСТ и, как следствие, изменение структуры и свойств материалов деталей.

Таким образом, в данной статье определены и проанализированы основные причины неисправностей, возникающих в образцах ВВСТ, а также возможные их последствия. Не вызывает сомнений тот факт, что из-за указанных причин образцы ВВСТ представляют собой объекты ремонта. Также очевидно, что чем больше количество ремонтного фонда в соединениях и объединениях Вооруженных Сил, тем ниже их боеспособность. Следовательно, в целях поддержания боеспособности в рамках установленного уровня существует необходимость тщательного и непрерывного прогнозирования выхода ВВСТ из строя. Фактически анализ причин неисправностей позволяет распределить весь ремонтный фонд на два потока: на плановый и неплановый выход из строя ВВСТ. Подавляющее количество эксплуатационных причин неисправностей являются для каждого образца ВВСТ планируемыми в соответствии с требованиями нормативно-технической документации на его эксплуатацию.

Поэтому эксплуатационные причины представляют плановый выход ВВСТ из строя. К плановому выходу из строя следует отнести и повреждения ВВСТ в результате воздействия противника, так как указанный выход из строя прогнозируется исходя из требований нормативных правовых документов [10]. В свою очередь причины, связанные с заводскими дефектами, а также нарушения правил эксплуатации ВВСТ практически не прогнозируются и относятся к неплановому выходу из строя. Вследствие этого весь ремонтный фонд можно представить, как показано на рисунке 4.



**Рисунок 4. – Классификация ремонтного фонда с учетом возможности планирования (прогнозирования) выхода из строя ВВСТ**

Анализ источника [11] позволяет утверждать, что если вероятность прогнозирования выхода из строя ВВСТ по потоку планового достаточно высока, то выход из строя ВВСТ по причинам, указанным на рисунке 4 и объединенным в поток непланового, трудно поддается математическому описанию и практически не прогнозируется. Также необходимо отметить и очевидность факта отсутствия возможности объективного влияния на возникновение причин неисправностей, объединенных в поток непланового выхода машин из строя. Таким образом, с одной стороны, присутствует возможность непланового выхода ВВСТ из строя, а с другой – отсутствует возможность влияния на возникновение указанных неисправностей.

В данных условиях наиболее рациональным будет поиск путей снижения влияния причин неисправностей ВВСТ, объединенных в поток непланового ремонта. Один из вариантов снижения их влияния – сбор статистических данных по выходу из строя ВВСТ и на основании их тщательного анализа детальное планирование предупредительных мероприятий, позволяющих сократить время нахождения ВВСТ в неисправном состоянии.

Таким образом, систематизация ремонтного фонда ВВСТ, приведенная в статье, позволила выявить проблему определения потребности в ремонте ВВСТ. Данный вопрос в полной мере не изучен и требует дальнейшего исследования.

#### Список литературы

1. Марютин, М. И. Технология ремонта бронетанковой техники: учеб. / М. И. Марютин. – М.: Изд. акад. БТВ, 1973.
2. Об утверждении Руководства по техническому обеспечению боевых действий (соединение, воинская часть, подразделение): приказ заместителя Министра обороны по вооружению – начальника вооружения Вооруженных Сил Респ. Беларусь от 26 сент. 2005 г. № 01.
3. Об утверждении Инструкции о порядке технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники в Вооруженных Силах Республики Беларусь в мирное время: приказ М-ва обороны Респ. Беларусь от 25 окт. 2004 г. № 41.
4. Национальный интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org>. – Дата доступа: 06.10.2015.

5. Драгунов, В. И. Предупреждение повреждений и происшествий при эксплуатации вооружения и военной техники: метод. пособие / В. И. Драгунов. – Минск: ВА РБ, 2000.
6. Опыт технического обеспечения в Чечне // Арм. сб. – 1995. – № 4. – С. 23.
7. Локальные войны и вооруженные конфликты конца XX – начала XXI в. Информ.-аналит. обзор / под ред. И. А. Мисурагина. – Минск: ВА РБ, 2007.
8. Гареев, М. А. Уроки и выводы из войны в Ираке / М. А. Гареев // Воен. мысль. – 2003. – № 3. – С. 35.
9. Головкин, В. Р. Автомобильная служба в годы ВОВ / В. Р. Головкин // Тр. акад. – 1965. – № 91. – С. 65.
10. О некоторых вопросах расчета прогнозируемых среднесуточных потерь, выхода в ремонт вооружения, военной и специальной техники, расхода и потерь материальных средств, порядка их применения: приказ М-ва обороны Респ. Беларусь от 23 дек. 2011 г. № 010.
11. Шостаков, В. Г. Повышение эффективности системы автотехнического обеспечения территориальных войск при выполнении ими задач территориальной обороны: дис. ... канд. воен. наук / В. Г. Шостаков. – Минск: ВА РБ, 2010. – 56 л.

---

\*Сведения об авторах:

Семенов Алексей Леонидович.

Осипов Геннадий Алексеевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 04.11.2015 г.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В ЦЕЛЯХ ПОДГОТОВКИ ИХ ИСПЫТАНИЙ

УДК 621.396.96

С. А. Юрас, А. Н. Лысый, И. М. Касьянович\*

*Оценка параметров зон обнаружения принимаемых на вооружение новых радиолокационных станций (РЛС) требует большого количества натуральных экспериментов. В статье представлены результаты моделирования зоны обнаружения РЛС метрового диапазона, которые могут существенно сократить количество натуральных экспериментов при проведении ее испытаний.*

*Parameter estimation detection zones is adopting new radars requires a large number of field experiments. This article presents the results of modeling the detection area of the radar meter range, which can significantly reduce the number of field experiments during her trial.*

### Введение

В последнее время большое внимание уделяется вопросу разработки и применения новых объектов вооружения и средств разведки, что в свою очередь ставит вопрос о чрезмерном количестве натуральных экспериментов и проверок на этапе разработки испытаний. Одним из способов сокращения числа натуральных экспериментов является применение моделирования объектов вооружения, что позволяет при ограниченном числе испытаний прогнозировать изменение различных характеристик испытываемого образца при изменении его параметров и условий окружающей среды.

#### 1. Моделирование как необходимый этап подготовки к испытаниям

Как правило, ни методы аналитических исследований, ни метод натуральных испытаний, ни методы статистического моделирования в отдельности не позволяют провести всесторонние исследования эффективности функционирования сложных систем вооружения. Это заставляет обращаться к комбинированным методам оценивания показателей эффективности, использующим аналитические методы, метод статистических испытаний моделей и натурные испытания реальных систем.

Главная цель, которая достигается с помощью комбинированных методов, заключается в использовании по возможности всей информации о вероятностных характеристиках системы, полученной при различных видах исследований и на разных этапах их проведения, для более точного оценивания показателей эффективности или для получения их значений с требуемой точностью, но при возможно меньшем числе экспериментов с системой и ее моделью.

Реализация комбинированных методов может быть осуществлена в рамках опытно-теоретического метода оценивания показателей эффективности применения сложных систем по назначению, базирующегося на научно обоснованном рациональном сочетании сравнительно небольшого числа натуральных экспериментов с достаточно большим объемом моделирования и аналитических расчетов.

Необходимость значительных затрат ресурсов на натурные испытания и ограниченные возможности в реализации требуемых условий их проведения не позволяют получить статистические данные в полном объеме на выбранных точках факторного пространства. Решить данную задачу помогает имитационное моделирование [1].

Для сложных радиоэлектронных систем, к которым принадлежат РЛС, отработка имитационных моделей с доведением их до состояния адекватности реальному объекту представляет собой трудоемкий и сложный процесс. Он сводится к выполнению следующих операций: проведение натуральных экспериментов с моделируемой системой и набор реализаций на модели в одинаковых условиях; сравнение результатов моделирования и натуральных экспериментов, параметрическая доработка модели; структурная перестройка модели при наличии недопустимой остаточной разницы между выходными переменными системы

и ее модели после параметрической доработки; окончательная проверка статистической совместимости выходных характеристик по результатам натуральных и имитационных экспериментов, проведенных в ряде целенаправленно выбранных точек факторного пространства.

Разработка полномасштабной имитационной модели современной РЛС с учетом всех ее систем и устройств представляет собой трудноразрешимую задачу. Поэтому целесообразно использовать моделирование в первую очередь для частичной замены дорогостоящих натуральных экспериментов при имеющейся возможности синтезировать модель РЛС, которая бы для различных условий обстановки обеспечивала оценку таких же, как и в натуральных экспериментах, параметров.

При подготовке и проведении испытаний актуальной является замена экспериментов по оценке зоны обнаружения РЛС методами облета на использование модели РЛС.

## 2. Модель РЛС метрового диапазона

В ходе разработки алгоритма программы, реализующей модель РЛС, было установлено, что оптимальной будет структура программы, состоящая из двух основных блоков:

ввода исходных данных;

расчетного алгоритма.

Блок ввода исходных данных обеспечивает оператору ввод и изменение параметров РЛС, цели, условий окружающей среды и параметров активной шумовой помехи (АШП). В целях обеспечения удобства работы с входными параметрами организованы группы таких параметров, ввод которых реализуется отдельными субблоками. Модель разрабатывалась для РЛС метрового диапазона длин волн с антенной решеткой, состоящей из активных приемо-передающих модулей [2].

Для РЛС исходными данными являются:

заданная вероятность правильного обнаружения –  $D_n$ ;

мощность зондирующего сигнала модуля –  $P_1$ ;

количество модулей в решетке –  $N_m$ ;

максимальный коэффициент усиления приемной антенны –  $G_{РПРУ}$ ;

максимальный коэффициент усиления передающей антенны –  $G_{РПУ}$ ;

ДН передающей антенны –  $F_{РПУ}(\beta, \varepsilon)$ ;

ДН приемной антенны –  $F_{РПРУ}(\beta, \varepsilon)$ ;

длительность импульса –  $T_0$ ;

несущая частота зондирующего сигнала –  $f_0$ ;

период повторения зондирующего сигнала –  $T_r$ ;

ширина диаграммы направленности антенны (ДНА) по азимуту –  $\Delta\Theta_\beta$ ;

относительный уровень боковых лепестков ДНА –  $\eta_{dB}$ ;

число используемых при зондировании пачек с разными периодами повторения –  $n$ ;

период обзора по азимуту –  $N_p$ ;

высота подъема антенны –  $h_a$ ;

температура радиоприемного устройства (РПРУ) –  $t$ ;

коэффициент шума –  $K_{ш}$ ;

ширина спектра зондирующего сигнала –  $\Delta f_m$ ;

вероятность ложной тревоги –  $F$ ;

полоса пропускания высокочастотной части РПРУ –  $\Delta f_h$ ;

коэффициент потерь в приемо-передающем тракте –  $K_{п}$ ;

число точек быстрого преобразования Фурье –  $N_{БПФ}$ .

Для цели исходными данными являются:

эффективная отражающая поверхность (ЭОП) цели –  $\sigma_{ц}$ ;

ширина спектра флуктуаций отраженного от цели сигнала –  $\Delta f_{ц}$ ;

высота полета цели –  $H_{ц}$ .

Для условий окружающей среды и параметров АПП исходными данными являются:

спектральная плотность АПП –  $N_n$ ;

ширина ДНА постановщика АПП по азимуту –  $\Delta \Theta_n$ ;

ширина ДНА постановщика АПП по углу места –  $\Delta \Theta_{Ln}$ ;

дальность до постановщика АПП –  $R_n$ ;

удельная ЭОП земной поверхности –  $\alpha_s$ ;

среднеквадратическое значение порывов скорости ветра у поверхности –  $\sigma_{в.с}$ ;

высота местных предметов –  $h_0$ .

Введенные данные сохраняются на протяжении всей работы, что обеспечивает простоту и удобство работы.

Работа алгоритма начинается со считывания исходных данных. Исходными данными являются не только результаты работы блока ввода исходных данных, но и подключаемые внешние файлы.

Далее в алгоритме осуществляется расчет движения цели с заданными характеристиками.

Для расчета траектории полета цели принято условие, что цель движется на постоянной высоте с постоянной скоростью. То тогда наклонная дальность до цели равна

$$R_{ц} = \sqrt{(R_3 + H_{ц})^2 + (R_3 + h_a)^2 - 2(R_3 + H_{ц})(R_3 + h_a) \cos(\gamma)},$$

где  $R_3$  – радиус Земли,

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - E - B,$$

$$E = \frac{(90 - \varepsilon_p) \pi}{180},$$

$$B = a \sin \left[ \frac{(R_3 + h_a) \sin \left( \frac{\pi}{2} + E \right)}{(R_3 + H_{ц})} \right],$$

После считывания исходных параметров в блоке расчета первичных данных РЛС вычисляются:

$$\text{скорость обзора по азимуту} - \Omega_{\alpha} = \frac{360}{T_{обз}};$$

$$\text{частота повторения зондирующего сигнала} - F_r = \frac{1}{T_r};$$

$$\text{время когерентного накопления} - T_{kn} = \frac{n}{F_r};$$

$$\text{коэффициент потерь} - K_{пот} = 10^{\frac{K_n}{20}};$$

время наблюдения –  $T_n = \frac{\Delta\Theta\beta N_k}{\Omega_\alpha N_p}$  ;

разрешающая способность РЛС по дальности –  $\Delta r = \frac{c}{2\Delta f_m}$  ;

диапазон однозначного определения дальности –  $R_{ob} = \frac{cT_r}{2}$  ;

эффективное число импульсов в пачке –  $L = \frac{T_n}{T_r}$  ;

разрешающая способность РЛС по скорости –  $\Delta V_r = \frac{\lambda}{2T_{kn}}$  ;

разрешающая способность РЛС по азимуту –  $\Delta\beta = \Delta\Theta\beta$  ;

ширина зубца АЧХ когерентного накопления –  $\Delta F_{ii} = \frac{1}{T_{kn}}$  ;

мощность зондирующего сигнала –  $P_0 = P_1 N_1$  ;

половина числа степеней свободы  $\chi$ -квадрат распределения при отсутствии цели –  $n_0 = F_{ii} T_n$  ;

ширина зубца спектра отраженного сигнала –  $\Delta f_s = \frac{1}{T_n} + \Delta f_c$  ;

спектральная плотность внутренних шумов приемника –  $N_0 = kK_{ш} T_k$  .

Далее следует блок расчета интегральных характеристик, в котором производится расчет требуемого отношения сигнал/шум. Значение требуемого отношения сигнал/шум на выходе когерентной части устройств обработки  $\rho(D, F)$  определяется решением следующих нелинейных уравнений

$$D = \frac{\Gamma(n_0, n_0 \lambda)}{\Gamma(n_0)},$$

$$D = \frac{\Gamma\left(n_1, \frac{n_1 \lambda}{1 + \rho(D, F)}\right)}{\Gamma(n_1)}.$$

По окончании расчета первичных данных РЛС и интегральных характеристик начинается циклический расчет дальности обнаружения РЛС в диапазоне от 0 до 90° по углу места. В ходе работы в каждом цикле рассчитываются:

опорная дальность обнаружения цели:

$$r_0 = \sqrt[4]{\frac{P_0 T_{kn} \frac{T_0}{T_n} G_{РПРУ} G_{РПУ} F_{РПРУ}(\beta, \varepsilon) F_{РПУ}(\beta, \varepsilon) \sigma_c \lambda^2}{(4\pi)^4 N_0 K_{пот}}}$$

дальность обнаружения цели без помех:

$$r_{обн} = \frac{r_0}{\sqrt[4]{\rho(D, F)}}$$

дальность обнаружения цели с учетом влияния земной поверхности:

$$r_{п.в} \approx 4,12 \left( \sqrt{H_{ц}} + \sqrt{h_a} \right).$$

После расчета характеристик обнаружения РЛС и траектории движения цели следует цикл поиска дальности обнаружения цели. Он осуществляется путем определения точки пересечения траектории движения цели и рассчитанной зоны обнаружения РЛС для соответствующих условий.

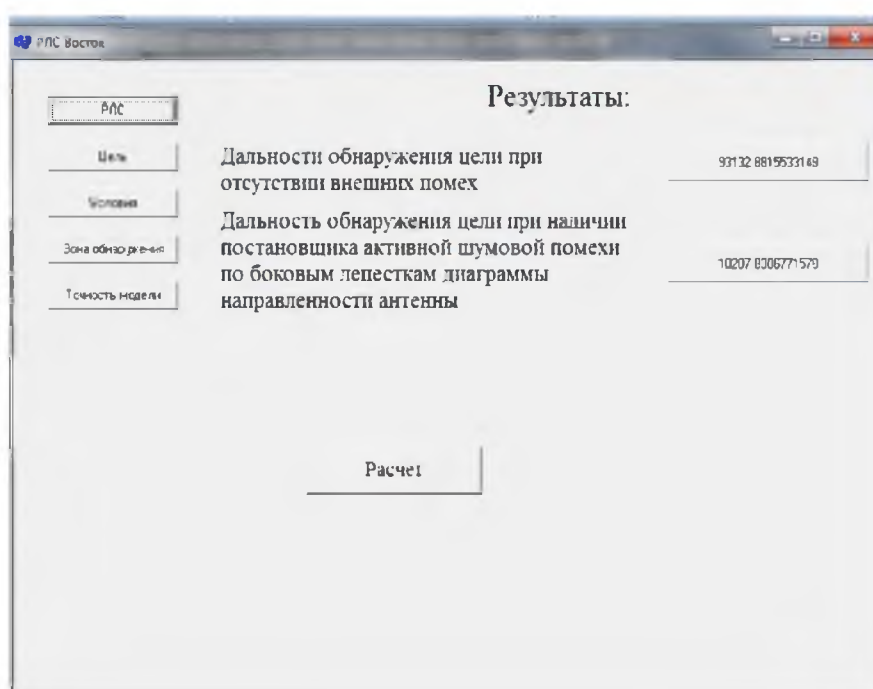
Определение дальности обнаружения цели при наличии постановщика АПП по боковым лепесткам ДНА производится внесением поправок в ранее полученные данные с учетом рассчитываемых параметров постановщика АПП.

Вывод рассчитанных данных осуществляется как в численном, так и в графическом виде.

При разработке интерфейса программы учитывались следующие требования:

- удобство и интуитивность интерфейса;
- быстрый доступ к необходимым данным;
- вывод результатов в простой и доступной форме.

Все элементы интерфейса были выполнены на стандартных визуальных компонентах, применяемых в большинстве современных программ. Для доступа к тому или иному блоку программы формируются активные окна, которые содержат необходимую программную и объектную базу для выполнения задач блока и обеспечения управления оператором работой программы. Главное рабочее окно обеспечивает взаимосвязь между всеми блоками программы (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Окно программы расчета дальности обнаружения цели**

Окно содержит следующие управляющие кнопки.

«Расчет» – кнопка для инициализации расчета. При нажатии данной кнопки происходит расчет дальности обнаружения РЛС. Рассчитанные параметры выводятся на соответствующих панелях окна программы.

«РЛС» – кнопка вызова окна корректировки параметров РЛС. По умолчанию в программе заложены исходные данные РЛС метрового диапазона. Для изменения требуемого параметра необходимо расположить курсор в соответствующем поле и с клавиатуры ввести необходимое значение (рисунок 2).

Value	Description
0.02	Заданная вероятность правильного обнаружения
500	Мощность зондирующего сигнала модуля, Вт
28	Количество модулей в решётке
0.000127	Длительность импульса, с
150000000	Несущая частота зондирующего сигнала Гц
0.00025	Период повторения зондирующего сигнала
6	Ширина диаграммы направленности по азимуту, градусы
25	Относительный уровень боковых лепестков диаграммы направленности антенны, дБ
2	Число используемых при зондировании лучек с разными периодами повторения
10	Период обзора по азимуту, с
7	Высота подъёма антенны РЛС, м
40	Температура радиоприёмного устройства, градусы Цельсия
3	Коэффициент шума
1000000	Ширина спектра зондирующего сигнала
0.00001	Вероятность ложной тревоги
25000000	Полоса пропускания высокочастотной части радиоприёмника, Гц
5.5	Коэффициент потерь в приёмо-передающем тракте, дБ
64	Число точек БПФ

Рисунок 2. – Окно ввода параметров РЛС

«Цель» – кнопка вызова окна установки параметров цели (рисунок 3).

Value	Description
1	ЭПР цели, квадратные метры
0.2	Ширина спектра флуктуаций отражённого от цели сигнала, Гц
20000	Высота полёта цели

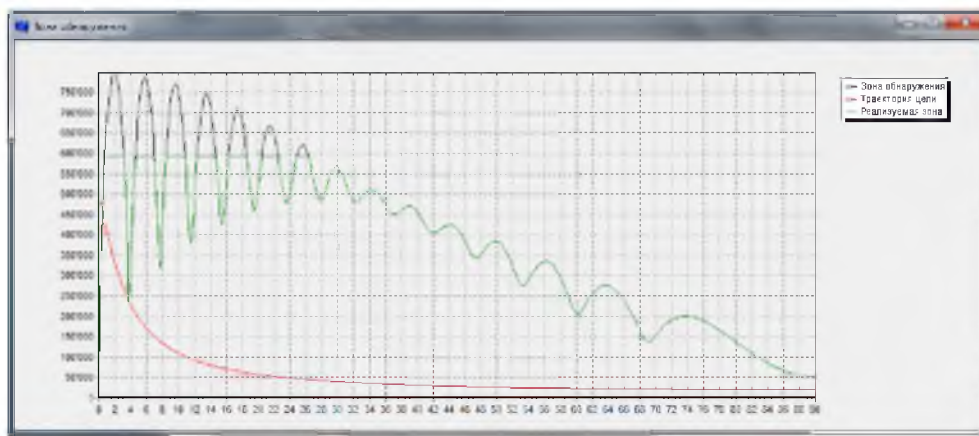
Рисунок 3. – Окно ввода параметров цели

«Условия» – кнопка вызова окна корректировки параметров окружающей среды и АШП (рисунок 4).

Исходные данные по активной шумовой помехе:	
100000	Спектральная плотность АШП, Вт/Гц
50	Ширина диаграммы направленности постановщика АШП по азимуту, градусы
50	Ширина диаграммы направленности постановщика АШП по углу места, градусы
200000	Дальность до постановщика АШП, м
Исходные данные по мешающим отражениям:	
0.1	Удельная ЭПР земной поверхности
0.5	Среднеквадратическое значение порывов скорости ветра у поверхности земли, м/с
20	Высота местных предметов, м

Рисунок 4. – Окно ввода параметров АШП и мешающих отражений

«Зона обнаружения» – кнопка вызова окна, содержащего графики движения цели, расчетную и реализуемую зону обнаружения (рисунок 5).



**Рисунок 5. – Окно вывода параметров зоны обнаружения РЛС**

Результаты моделирования (рисунок 5) показывают характерную для РЛС метрового диапазона с антенной решеткой изрезанность ДНА в вертикальной плоскости.

Данные, полученные в разработанных программах, сравнивались с результатами государственных испытаний соответствующих РЛС. Ошибка в трех контрольных точках составила 3–5 %.

### **Выводы**

При натурном и имитационном моделировании целесообразно сложную систему разбивать на подсистемы, имитационную модель разрабатывать для отдельных подсистем, остальные подсистемы не моделировать, для них осуществлять натурный эксперимент. Это позволяет использовать модель на этапе подготовки к проведению испытаний, а при проведении испытаний экономить средства за счет уменьшения количества экспериментов с применением авиации.

### **Список литературы**

1. Демидов, Б. А. Организация и экономика разработки и испытания вооружения и военной техники / Б. А. Демидов. – Харьков: ВИРГА ПВО, 1985.
2. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория: справ. / под ред. Я. Д. Ширмана. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2006.
3. Ботов, М. И. Теоретические основы радиолокационных систем РТВ / М. И. Ботов, В. А. Вяхирев. – Красноярск, 2007.
4. Справочник офицера Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны / под ред. И. П. Азаренка (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Командование ВВС и войск ПВО, 2009.
5. Архангельский, А. Я. Программирование в C++ Builder 4 / А. Я. Архангельский. – М.: БИНОМ, 2000.

\*Сведения об авторах:

Юрас Сергей Арсеньевич.

Лысый Андрей Николаевич.

Касьянович Иван Михайлович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 05.10.2015 г.

### 3. ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

#### АГРЕССИВНАЯ ТОЛПА КАК ЭЛЕМЕНТ СОЦИАЛЬНОГО СУБЪЕКТА МАССОВЫХ БЕСПОРЯДКОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

УДК 355.4

С. А. Мещеряков\*

*В статье рассматриваются причины и условия возникновения групповых и массовых нарушений общественного порядка и их классификация.*

*This article discusses the causes and conditions of occurrence group or mass violations of public order and their classification.*

Происходящие в мире активные и масштабные социальные, политические и экономические процессы, связанные с проводимыми государственными реформами, привели к значительному расслоению общества.

Обострились межнациональные конфликты, возникли «горячие точки», во много раз усилилась миграция населения в более спокойные регионы и страны. Тенденция обнищания части населения одновременно привела к возникновению прослойки очень богатых людей, так называемых «людей новой волны», многие из которых объединились в различные мафиозные структуры. Раздел собственности и первоначальное накопление капитала при недостаточном ослаблении государственного начала в условиях «демократизации» общества привели к всплеску преступности.

Все это, безусловно, отражается в массовой психологии людей – одни отчаянно пытаются отстоять свои права, другие цинично и агрессивно защищают свои интересы.

Указанные процессы происходят на фоне правового нигилизма, бесконтрольного распространения оружия, возросшей дерзости, враждебности и агрессивности не только по отношению друг к другу, но и к государственным и правоохранительным органам в целом.

В этих условиях, когда под реальной угрозой оказались безопасность личности и многие институты государства, одним из важных направлений деятельности органов внутренних дел становится единый порядок организации взаимодействия и единое понимание социального субъекта массовых беспорядков и их классификация.

В этой связи единое понимание подразделениями силовых структур объекта и субъекта массовых беспорядков и их классификации, несомненно, улучшит динамику взаимодействия между подразделениями внутренних войск МВД РБ с соседними воинскими частями Вооруженных Сил МО РБ, ОВД (органами государственной безопасности) и другими силами, участвующими в специальных мероприятиях. Это понимание, безусловно, повысит эффективность по взаимной поддержке, оказанию помощи друг другу в определенное время и в определенных условиях обстановки.

Доктор юридических наук С. А. Старостин в своей работе «Управление органами внутренних дел при чрезвычайных обстоятельствах», в разделе «Правовые и организационные аспекты» [20, с. 268], раскрыл, что массовые беспорядки являются опасным преступлением, дестабилизирующим обстановку в районах проживания граждан, подрывающим основы общества и государства, нарушающим нормальную жизнедеятельность граждан, работу предприятий, учреждений, организаций. Беспорядки могут возникнуть в одном или нескольких городах, районах, населенных пунктах, одновременно или последовательно на территории республики, края, области, в отдельных местностях, на объектах железнодорожного, воздушного, водного транспорта, в исправительно-трудовых учреждениях.

Органы внутренних дел, внутренние войска МВД, Вооруженные Силы МО, подразделения МЧС и пограничных служб в пределах своей компетенции выполняют задачи



по предупреждению и пресечению массовых беспорядков на основе Конституции Республики Беларусь, законов, указов Президента, других правовых актов.

Групповые нарушения общественного порядка, массовые беспорядки и иные правонарушения, совершаемые одновременно большим количеством людей, на значительной территории и сопровождающиеся погромами, поджогами, разрушениями и др., представляют собой серьезную опасность для общества.

При этом толпа может быть как случайной, так и специально собравшейся, возглавляемой или побуждаемой к действиям группой зачинщиков.

Массовые беспорядки относятся к числу чрезвычайных обстоятельств, значительно осложняющих оперативную обстановку, представляют большую общественную опасность, нарушают нормальный ритм жизни общества, вызывают широкий общественный резонанс.

Участники массовых беспорядков, как правило, стараются подорвать авторитет представителей власти, оклеветать, вызвать сомнения в правомерности действий власти. При массовых беспорядках действия толпы выражаются в погромах, разрушениях, поджогах, самосудах, вооруженном сопротивлении представителям власти, разрушении зданий и других подобных действиях.

Под групповыми нарушениями общественного порядка принято понимать совместное умышленное совершение группой лиц общественно опасных действий, дезорганизующих нормальную деятельность государственных или общественных учреждений, предприятий, организаций или транспорта, либо противодействующих законным требованиям представителей власти и общественности, а также создающих опасность для жизни и здоровья граждан.

Массовые беспорядки представляют собой организованные, умышленно совершаемые массовые групповые нарушения общественного порядка, которые сопровождаются погромами, поджогами, уничтожением имущества и другими подобными действиями и оказанием вооруженного сопротивления представителям органов власти. Они представляют серьезную опасность для общества и вызывают большой общественный резонанс. Не случайно в этих условиях, в соответствии со ст. 84 Конституции Республики Беларусь, Президент имеет право ввести чрезвычайное положение.

Массовые беспорядки относятся к числу наиболее опасных чрезвычайных происшествий, создающих экстремальные условия для деятельности не только внутренних войск и ОВД, но и иных министерств и ведомств, предприятий и учреждений.

Для более полной классификации массовых беспорядков требуется разделить процессы их зарождения, протекания и ликвидации, поскольку во временном плане удобно выявить и проследить их характерные черты на каждом этапе, выработать стратегию и тактику действий органов внутренних дел.

Это важно еще и для более полного раскрытия состава рассматриваемого преступления, прогнозирования его развития. Однако следует оговориться, что жесткое деление здесь вряд ли уместно, так как зачастую конфликты развиваются стремительно, и невозможно с достаточной четкостью определить ту или иную стадию массовых беспорядков.

И тем не менее на первой стадии (концентрации сил противостояния), как правило, определяются противоборствующие стороны. Основой их разделения могут быть различия в национальности, вероисповедании, политической ориентации и т. д., когда интересы и цели одной стороны категорически не приемлемы другой, создается образ врага, возрастает напряженность между сторонами. Обстановка может ухудшаться вследствие возникновения проблем в социально-экономической сфере, роста преступности, усиления роли неформальных объединений и других причин.

На второй стадии (фаза динамики противостояния) стороны обычно переходят к активным действиям. В связи с этим быстрыми темпами возрастает количество совершаемых преступлений, происходят нападения на органы внутренних дел в целях завладения оружием.

Характерным признаком третьей стадии (потеря управления лидерами) является выход ситуации из-под контроля. Учащаются нападения на органы внутренних дел, воинские формирования, целью преступников становится не только завладение оружием, но и захват заложников. Объектом нападения становятся здания органов государственной власти и местного самоуправления. В конфликт втягиваются новые участники, увеличивается число жертв среди населения, не участвующего активно в беспорядках.

Характеризуя описанные этапы возникновения массовых беспорядков, следует отметить некоторые особенности каждого из них [17, с. 9–13]. Прежде всего, необходимо обратить внимание на временные рамки и продолжительность, отдельные стадии (этапы) могут протекать длительное время. Наиболее продолжительными являются первый и третий этапы. Начало первого определить достаточно сложно. Можно лишь предполагать, что на этом этапе обозначились противоборствующие стороны и причины массовых беспорядков. О начале второго этапа свидетельствуют возросшая активность толпы, проявление позиций противоборствующих сторон, начало столкновений, рост напряженности. Третий этап характеризуется началом массовых беспорядков. Его окончание – снятие напряженности и ликвидация причин их возникновения.

Неотъемлемый элемент массовых беспорядков – толпа – скопление людей, объединенных каким-либо интересом. Существует ряд особенностей, социально-психологических феноменов, рождающихся в толпе. Обобщая их, выделим наиболее существенные.

Во-первых, это повышенная внушаемость людей. Поведение толпы оказывает сильное воздействие как на поведение отдельных ее участников, так и на реакцию государственных органов. Люди верят любой информации, их критичность в оценках резко падает. Логика, здравый смысл, предвосхищение последствий, совесть, страх оказываются подавленными, поведение людей подчиняется импульсу «быть как все».

Во-вторых, в толпе человек утрачивает свою индивидуальность, в массе людей он деперсонализируется, его интеллектуальный уровень снижается. Толпа обеспечивает анонимность, тем самым личная ответственность каждого перекладывается на толпу в целом, т. е. создается впечатление, что ее участник ни за что не отвечает. Именно этим качеством толпа привлекает людей – вседозволенностью при минимуме ответственности.

В-третьих, жестокость толпы. Известен эффект Латейна, названный по имени исследователя, впервые его описавшего. Вероятность помочь человеку, попавшему в беду, находится в обратной зависимости от числа свидетелей его трудностей. Повышенная эмоциональность и чувство безопасности толкают толпу на проявление агрессии в отношении даже того, к чему обычно относятся сдержанно.

В-четвертых, лидерство. Толпа готова последовать за любым человеком, дающим властным тоном четкие распоряжения. Опытный агитатор может подтолкнуть толпу к насилию, превратить группу обиженных людей в агрессивное, мстительное сборище. С другой стороны, даже один человек своим предложением, командой может успокоить толпу и увести ее в другом направлении.

В-пятых, паника. Она возникает, когда толпа чувствует близость опасности, а единственное спасение – бегство, когда путь спасения только один, а другие – заблокированы, запружены, движение по ним остановлено. Предполагается этот путь открыть, и толпа силой прокладывает себе дорогу, давя и сметая впереди идущих.

Учитывая эти факторы, можно сделать вывод, что в нормальной обстановке толпа может быть безопасной – не нарушает законов, не угрожает общественному порядку, людям. Основания для беспокойства появляются, когда толпа выходит за рамки правового поля. Массовые беспорядки возникают тогда, когда толпа:

- а) собирается с целью открыто выразить свое недовольство по определенным вопросам, а затем переносит свой гнев на людей, имеющих к этим вопросам какое-то отношение и не согласных с толпой;
- б) бесконтрольно разрастается за счет любопытных наблюдателей;
- в) подстрекается опытными агитаторами к противоправным действиям;

г) состоит из двух или более групп с противоположными взглядами и позициями (например, спортивные фанаты разных команд).

Таким образом, с учетом сказанного, массовые беспорядки можно определить как действия толпы, представляющие реальную угрозу для общественного порядка, личной безопасности граждан и общественной безопасности и выражающиеся в совершении насилия, погромов, поджогов, в уничтожении имущества, применении огнестрельного оружия, взрывчатых веществ и устройству также вооруженного сопротивления власти, повлекшие нарушение нормального функционирования государственных, общественных организаций, учреждений и предприятий, транспорта, восстановление которого невозможно без применения неотложных, специальных мероприятий и привлечения дополнительных сил и средств.

Глубина исследования того или иного явления во многом зависит от всестороннего изучения его свойств, что в свою очередь достигается широким подбором критериев (признаков), характеризующих это явление. Понять природу массовых беспорядков можно лишь с помощью тщательного их анализа, который, по нашему мнению, должен начинаться с классификации массовых беспорядков.

Некоторыми практическими работниками органов внутренних дел была предпринята следующая классификация массовых беспорядков. В качестве критерия классификации взяты характер и их последствия. С учетом этого выделены два типа деликтов: общий и особенный. Общий составляют беспорядки, которые выражаются в погромах учреждений, магазинов, киосков и т. д., уничтожении транспортных средств, поджогах и других подобных действиях. Особенный – беспорядки, выражающиеся в погромах квартир граждан [17, с. 5–7]. К обоим типам беспорядков авторы относят и совершенные сопутствующие преступления. К первому типу они относят беспорядки в Душанбе, Андижане, ко второму – в Баку, Сумгаите [17, с. 5–7].

Другие авторы классифицируют массовые беспорядки по целевому содержанию [13, с. 68]. Это беспорядки, явившиеся результатом политических мероприятий (митинги, демонстрации и т. п.), беспорядки, возникшие случайно или спонтанно в результате конкретных конфликтов на национальной, расовой почве и, наконец, беспорядки на почве групповых хулиганских действий и массовых нарушений общественного порядка.

Однако эти классификации не могут вместить в себя всего многообразия массовых беспорядков. Поэтому возникает необходимость их конкретизации и упорядочения. Среди различных критериев классификации наиболее существенными на наш взгляд являются: причины возникновения, характер, наступившие последствия, место возникновения, продолжительность и число участников массовых беспорядков.

Большую часть преступлений (с учетом сказанного выше) составляют массовые беспорядки в населенных пунктах. Они обычно возникают в тех местах или в непосредственной близости от тех мест, которые являются источником конфликта, вызывают недовольство людей или против которых это недовольство направлено. Это могут быть правительственные здания, поскольку протестующая группа придает им символическое значение, ощущает их связь с политикой, с которой она не согласна, предполагает, что люди, там работающие, могут устранить причину их недовольства; такими объектами могут быть здания органов внутренних дел, органов местного самоуправления.

Нередко массовые беспорядки возникают в местах значительной концентрации людей: на площадях, проспектах и т. д.

Если в основу классификации массовых беспорядков положить причины их возникновения, то можно определить массовые беспорядки политического, экономического, социального, этнического, религиозного, экологического характера.

Иллюстрацией массовых беспорядков этнического характера являются события 19–21 февраля 1990 г. в Ферганской долине. Агрессия толпы была направлена против турак-месхетинцев. Массовые беспорядки 3 марта 1990 года в Ташкентской области возникли из-за недовольства местного населения деятельностью государственных органов по разме-

шению турок-месхетинцев в доме отдыха на территории района. Начавшийся у здания администрации области митинг перерос в массовые беспорядки, повлекшие тяжкие последствия: три человека погибли, 131 человек получили телесные повреждения, сожжено 14 автомашин и здание отдела внутренних дел.

Известны случаи возникновения массовых беспорядков, характеризующихся антимилицейскими настроениями. Так, 23 августа 1984 года в городе Лениногорске (Татарстан) беспорядки возникли во время похорон 16-летней девушки, погибшей в результате наезда на нее и ее сестру милиционера-водителя отдела вневедомственной охраны. Аналогичные случаи имели место и в других регионах (Тамбовской области, г. Комсомольске-на-Амуре и др.).

Вместе с тем следует отметить, что неквалифицированные, порой преступные действия работников органов внутренних дел являются поводом, а не причиной возникновения массовых беспорядков. Органы внутренних дел зачастую сами становятся объектом нападения. Так, в Кишеневе – столице Молдавии, 7 апреля 2009 года произошли массовые беспорядки, которые начались после апрельских выборов в Парламент Молдавии. Беспорядкам предшествовал митинг молдавской оппозиции 6 апреля.

Поводом к беспорядкам послужило оглашение предварительных результатов парламентских выборов 2009 года, на которых побеждала ПКРМ. В связи с этим 6 апреля около двух тысяч человек собрались в центре Кишинева на мирный митинг под лозунгами «Долой коммунистов!», «Лучше быть мертвым, чем коммунистом!», «Свобода!», «Перемены – это мы!».

По центральной улице было блокировано движение, а 7 апреля в городе начались массовые беспорядки. Протестующие захватили здание парламента в центре Кишинева. Неизвестные лица водрузили над входом флаг Румынии, а на шпале над зданием – флаг Евросоюза. Лидеры оппозиции осудили такие действия и назвали это провокацией.

В здании был подожжен первый этаж. Тогда же оппозиционные лидеры заявили, что потеряли контроль над ситуацией. Полиция тем временем не предпринимала никаких мер, кроме того, молдавские правоохранительные органы обвинялись в гибели одного из протестовавших – Валерия Бобока, тело которого было найдено после прекращения беспорядков.

Родители погибшего утверждали, что смерть наступила в результате избиения полицией. Также, в результате столкновений с полицией 7 апреля, было ранено около 50 демонстрантов и 27 полицейских. Около 300 человек было задержано. В СМИ озвучивалась информация о десятках избитых в участках манифестантов, однако было подтверждено лишь несколько случаев.

Если положить в основу классификации продолжительность, можно выделить длительные и эпизодические массовые беспорядки. Анализ показывает, что массовые беспорядки, возникающие на почве межнациональных отношений, являются, как правило, длительными.

Массовые беспорядки, на наш взгляд, следует различать по наступившим последствиям. Очевидно, что между массовыми беспорядками, совершенными в Кишеневе, где телесные повреждения различной тяжести получили 93 человека и был нанесен незначительный материальный ущерб, и массовыми беспорядками в Ошской области, где погибло 238 человек, телесные повреждения получили 1371 человек, нельзя ставить знак равенства. Представляется также необходимым различать массовые беспорядки, повлекшие и не повлекшие смерть людей.

Классифицируя массовые беспорядки по числу их участников, приходится сталкиваться с проблемой отличия этого преступления, например, от злостного хулиганства.

Разграничение данных деликтов, как отмечалось ранее, происходит главным образом по объекту преступления, на который они направлены. Отличительный признак массовых беспорядков – это преступная форма проявления недовольства деятельностью (бездеятельностью) органов власти или управления, направленная против этих органов.

Подводя итог, обозначим следующую схему классификации массовых беспорядков [20, с. 32], предложенную в своей работе С. А. Старостиным:

1. По причинам возникновения:
  - а) политические, б) экономические, в) социальные, г) этнические, д) религиозные, е) экологические, ж) по причине неправомерных действий работников милиции.
2. По характеру:
  - а) общего характера (выражаются в погромах учреждений, магазинов, киосков и т. д., поджогах и других подобных действиях).
  - б) особенного характера (выражаются в погромах квартир граждан).
3. По тяжести наступивших последствий:
  - а) повлекшие смерть людей;
  - б) с телесными повреждениями различной тяжести;
  - в) с причинением значительного материального ущерба.
4. По месту возникновения:
  - а) в населенных пунктах, б) в исправительных учреждениях.
5. По продолжительности:
  - а) длительные, б) эпизодические.
6. По числу участников:
  - а) до 100 человек, б) до 1000 человек, в) до 10 000 человек, г) более 10 000 человек.

Массовые беспорядки как сложное социальное явление требуют специального и глубокого изучения причин и поводов их возникновения, генезиса, форм и методов предупреждения и борьбы с ними органов внутренних дел. На наш взгляд, особенность преступления «массовые беспорядки» заключается в специфике причин, как правило, социально-экономического характера, психологии участников противоправных действий и политико-правовых последствиях.

Массовые беспорядки в той или иной форме возможны в любом обществе, независимо от его политического устройства. Более того, это одна из форм проявления отношения определенных групп людей к этому обществу, следовательно, причины массовых беспорядков как социально-политического явления надо искать в основах самого общества, государственного устройства, экономическом положении, взаимоотношениях различных этнических групп и слоев населения.

Анализ понятия «массовые беспорядки» включает определение таких составляющих его понятий, как «массовый», т. е. совершаемый большим количеством людей, проявляющийся не в единичных случаях, являющийся не единичным, и слова «беспорядок» – отсутствие, нарушение порядка [16, с. 343].

В литературе, при исследовании различных аспектов массовых беспорядков, большинство авторов [20, с. 261] определяет их понятие через соответствующую норму уголовного закона, предусматривающую ответственность за организацию и активное участие в массовых беспорядках.

Так, В. Н. Григорьев в своей работе «Расследование массовых беспорядков в условиях чрезвычайного положения» попытался определить массовые беспорядки следующим образом: «Массовые беспорядки – это умышленные действия, совершаемые большой группой людей – толпой, посягающие на основы общественного порядка и безопасности и сопровождающиеся погромами, разрушениями, поджогами и другими подобными действиями или оказанием вооруженного сопротивления власти» [12, с. 5].

Необходимо отметить и такую особенность массовых беспорядков: возникшие на основе одного социального конфликта, они могут превратиться в другой, и наоборот. Может произойти «наслоение» одного основания на другое.

По ныне действующему уголовному законодательству термин «толпа» не используется. Представляется, что употребляемый законодателем термин «массовые беспорядки» означает беспорядки, совершаемые большим количеством людей [16, с. 376] или, иными словами, совершаемые толпой. Этот термин широко применяется в юридической литерату-

ре [14, с. 5–14] при анализе уголовно-правовых аспектов массовых беспорядков, этим и определяется, на наш взгляд, объективность обозначения названного феномена в аспекте исследуемой проблемы.

Используется этот термин и в социологии [11, с. 198]. Однако исследование феномена толпы не проводилось. К этому вопросу обратились в начале 70-х годов, когда происходило становление отечественной науки социальной психологии. В социологии же прочно утвердился термин «толпа», который ныне используется в литературе. Не подвергая сомнению существующую точку зрения, представляется возможным использование определения толпы, которое имеется в социологической литературе: как «контактной» внешне неорганизованной общности, отличающейся высшей степенью конформизма составляющих ее индивидуумов, действующей крайне эмоционально и единодушно [18, с. 283].

В социальной психологии существует классификация основных видов толпы: повстанческая, агрессивная, спасающаяся, стяжательская, экстатическая [18, с. 288]. Предложенная научная классификация не является исчерпывающей и носит условный характер, свойственный любому аналогичному определению, отражая в общих чертах присущую данному явлению сущность.

Анализ произошедших массовых беспорядков в период с 1987 по 1998 год показывает, что толпе присущ агрессивный [15, с. 91] характер, иногда с националистической ориентацией.

Основными мотивами вступления людей в толпу являлись: ложное понимание интересов нации, корысть, месть. При анализе мотивации действий участников массовых беспорядков выявляется своеобразная особенность: толпа с агрессивной ориентацией возникает, как правило, на базе отрицательных эмоций некоторой части населения, недовольной условиями жизни, политикой, проводимой руководством области, республики. Состояние недовольства может трансформироваться в ненависть, которая определяет агрессивность поведения ее участников [15, с. 91].

Другие исследователи рассматривают это определение как слишком узкое, ибо оно не включает в себя иные типы поведения, которые обычно рассматриваются (могут рассматриваться) как агрессивные, хотя имеют иное целевое назначение.

Хотя эти истолкования агрессии как межиндивидуального поведенческого феномена характеризуются определенными различиями, общим для них является то, что агрессия, так или иначе, связывается непосредственно с нанесением вреда другому объекту. К межиндивидуальной агрессии относят различные поведенческие реакции, причиняющие вред другим [11, с. 23–25].

Агрессивность взбудораженной толпы увеличивается в несколько раз ввиду ее многочисленного и разнородного состава. В этом заключается повышенная социальная опасность массовых беспорядков. Действия, предусмотренные диспозицией статьи Уголовного кодекса, предполагают именно агрессию. Совершить массовые беспорядки без использования элементов агрессии невозможно, поэтому законодатель подразумевает этот признак в объективной стороне состава преступления.

Большинство авторов определяют массовые беспорядки как преступление, выражающееся в совершении конкретных действий, предусмотренных в диспозиции статьи 293 Уголовного кодекса Республики Беларусь. Однако в ходе массовых беспорядков совершаются деяния, которые содержат признаки составов других преступлений. Массовые беспорядки являются особым конгломератом различных преступных деяний. В состав массовых беспорядков входят такие самостоятельные составы преступления, как поджоги, погромы, уничтожение имущества, причинение вреда личности и т. п., а вместе указанные в законе деяния подобного рода называются массовыми беспорядками, т. е. являются совокупностью определенных преступлений, преступных действий, включая и их организацию.

С социологических позиций массовые беспорядки – это организованное группой лиц или отдельным лицом действие (совокупность действий) с участием толпы, направленное на нарушение общественного порядка и общественной безопасности, нарушение национально-

го и расового равноправия, совершаемые в целях дестабилизации обстановки и выселения неугодных определенным кругам этнических групп из мест постоянного проживания.

В рассматриваемом преступлении толпа не может быть пассивной, не является простым сборищем любопытных или просто зрителей. Уголовная ответственность в законе дифференцирована в соответствии с содеянным каждым из числа организаторов, исполнителей, подстрекателей и пособников.

Таким образом, массовые беспорядки – это действия толпы, представляющие реальную угрозу для общественного порядка и личной безопасности граждан и общественной безопасности и выражающиеся в совершении насилия, погромов, поджогов, в уничтожении имущества, применении огнестрельного оружия, взрывчатых веществ, а также оказание вооруженного сопротивления власти, повлекшие нарушение нормального функционирования государственных, общественных организаций, учреждений и предприятий, транспорта, восстановление которого невозможно без применения неотложных, специальных мероприятий и привлечения дополнительных сил и средств.

Оценивая сегодняшнюю обстановку, можно отметить, что количество правонарушений в Беларуси из года в год снижается. При этом можно утверждать, что снижение числа правонарушений происходит в том числе благодаря профилактической работе, которую проводят органы внутренних дел и администрация городов.

Между тем имеется ряд вопросов, над которыми предстоит серьезная работа:

- не определена граница ответственности субъектов проведения массовых мероприятий: общественных организаций, частных лиц, организаторов. Сейчас их права и обязанности прописаны в локальных правовых актах ведомств, да и то не в полном объеме;

- считаем целесообразным возложить обязанности по обеспечению безопасности зрителей и участников проведения того или иного массового политического, спортивного мероприятия на организаторов этого мероприятия, по опыту зарубежных стран. При этом речь идет только о территории объекта. Органы внутренних дел по-прежнему будут обязаны обеспечивать правопорядок на прилегающей территории. Если же организаторы посчитают, что им необходима помощь милиции на объекте, они будут иметь возможность заключить с органами внутренних дел соответствующий договор.

В этой связи видится необходимость разработки и утверждения нормативного правового акта, в котором регулировались бы правоотношения между всеми участниками мероприятий: органами исполнительной власти, собственниками спортивных объектов, спорткомитетами, организаторами, участниками, зрителями и правоохранительными органами. Сейчас существуют лишь отдельные документы, которые касаются только одного субъекта. Например, в нормативном правовом акте необходимо прописать:

- обязанности каждого ведомства или субъекта;
- единые требования к местам проведения массовых мероприятий;
- порядок обследования сооружений и состав комиссий, которые должны формироваться и возглавляться уполномоченным представителем органов исполнительной власти (по результатам осмотров и проверок выдавать паспорта безопасности с указанием, какие именно мероприятия с каким количеством граждан можно проводить на этом объекте) и т. д.

Опираясь на проведенное исследование, в котором приняли участие 290 человек: 110 руководителей ОВД и их заместителей по линии общественной безопасности, имеющих опыт участия в охране общественного порядка на массовых мероприятиях в качестве руководителей временных ситуационных оперативных штабов; 180 сотрудников патрульно-постовой службы, непосредственно принимавших участие в охране общественного порядка на массовых мероприятиях в составе различных нарядов и постов, выявлен ряд направлений в деятельности правоохранительных структур, на которые их руководители обязаны обратить особое внимание.

Таким образом, среди неудачных действий сотрудников правоохранительных органов, повлекших за собой массовые эксцессы, были выделены следующие факторы, которые, в конечном счете, явились своеобразными катализаторами беспорядков и которые необхо-



димо учитывать при подготовке и проведении масштабных спортивных мероприятий. К ним относятся:

задержание особо агрессивных граждан на виду у других участников массовых акций (64 %);

отсутствие оперативности в действиях сотрудников по сравнению с быстротой происходящих в толпе явлений (42 %);

грубое общение сотрудников с участниками массовых мероприятий (23 %).

Кроме того, изъятие граждан, привлекающих к себе внимание окружающих агрессивным поведением, способно привести к массовым беспорядкам, из чего следует, что подобная тактика задержания правонарушителей не только малоэффективна, но и является провокационным фактором, усугубляющим обстановку в ситуации назревания массовых беспорядков. Данные непрофессиональные действия могут объясняться «пробелами» в информационно-психологической базе руководителей и сотрудников ОВД.

Одновременно зафиксирован феномен запаздывания в действиях сотрудников правоохранительных органов, который заключается в неспособности своевременно выявлять и прогнозировать назревающие деструктивные процессы в толпе и является диагностическим показателем проблемы информационно-психологического обеспечения деятельности сотрудников на массовых мероприятиях.

Запаздывание практических действий (действий по предотвращению массовых беспорядков) может быть обусловлено проблемами сбора, анализа и использования информации при принятии управленческих решений.

Факты некорректного, грубого общения сотрудников с гражданами на массовых мероприятиях, как правило, носят локальный характер. В отдельных случаях такая форма общения действительно может спровоцировать массовые беспорядки. Кроме того, в практике охраны общественного порядка встречаются случаи противоправных действий сотрудников ОВД в отношении участников массовых мероприятий, получившие широкий общественный резонанс.

Групповые нарушения общественного порядка при проведении международных публичных мероприятий уровня межгосударственного масштаба всегда носят резонансный характер. В ходе таких происшествий нарушаются субъективные права граждан, создаются серьезные препятствия в функционировании предприятий транспорта, связи, а также социальной инфраструктуры. В этой связи органы государственной власти должны оперативно, эффективно и системно реагировать как на сами групповые нарушения общественного порядка при проведении публичных спортивных и иных мероприятий, так и на обстоятельства, способствующие их возникновению.

Для эффективной деятельности органов государственной власти в сфере предупреждения и пресечения групповых нарушений общественного порядка при проведении публичных спортивных мероприятий, в том числе хоккейных, футбольных матчей, необходимо совершенствовать правовые и организационные основы соответствующей административной деятельности.

Таким образом, в настоящее время приходится констатировать, что органы государственной власти и прежде всего органы внутренних дел далеко не всегда адекватно реагируют на подобные дестабилизирующие факторы. Как показывает практика, органы внутренних дел зачастую оказываются технически и организационно неготовыми в полной мере к предупреждению и пресечению групповых нарушений общественного порядка при проведении массовых мероприятий, когда необходимо использовать соответствующие тактические приемы и схемы, а также специальные технические средства адекватно угрозам нарушению общественного порядка.

Именно поэтому при подготовке структурных подразделений различных силовых структур, привлекаемых для оказания помощи и содействия органам внутренних дел в охране общественного порядка, включая оцепление районов проведения массовых мероприятий, несение патрульно-постовой службы, охрану объектов и сооружений в районе про-



ведения массового мероприятия, содействие в обеспечении безопасности высших должностных лиц государства, участие в пресечении и ликвидации групповых и массовых нарушений общественного порядка, возникших в ходе массовых мероприятий, важным будет фактор изучения опыта задействования сил правопорядка в охране общественного порядка при проведении политических, культурных, спортивных и иных мероприятий. Знание особенностей агрессивности толпы, как элемента социального субъекта массовых беспорядков, и их классификации привлекаемыми структурами различных ведомств несомненно обеспечит единое понимание всеми органами государственного и военного управления выполнения задач в охране общественного порядка государства.

#### Список литературы

1. Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 ноября 1996 г. 17 октября 2004 г.). – Минск: Амалфея, 2005. – 40 с.
2. Об утверждении Наставления по планированию и руководству действиями ОВД и внутренних войск при возникновении чрезвычайных ситуаций: приказ М-ва внутр. дел Респ. Беларусь, 1 февр. 2000 г., № 08 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ЮрСпектр, Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2013.
3. О борьбе с терроризмом: Закон Респ. Беларусь, 3 янв. 2002 г., № 77-3: в ред. Закона Респ. Беларусь от 03.06.2011 г. № 273-3 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ЮрСпектр, Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2013.
4. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь, 9 нояб. 2010 г., № 575 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ЮрСпектр, Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2012.
5. Об органах внутренних дел: Закон Респ. Беларусь, 17 июля 2007 г., № 263-3: в ред. Закона Респ. Беларусь от 04.05.2012 г. № 361-3 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ЮрСпектр, Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2013.
6. О чрезвычайном положении: Закон Респ. Беларусь, 24 июня 2002 г., № 117-3: в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2009 г. № 114-3 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ЮрСпектр, Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2013.
7. О массовых мероприятиях в Республике Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 30 дек. 1997 г., № 114-3: в ред. Закона Респ. Беларусь от 04.01.2010 г. № 99-3 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ЮрСпектр, Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2013.
8. Инструкция об организации планирования и контроля оперативно-служебной деятельности органов внутренних дел Республики Беларусь: Приказ М-ва внутр. дел Респ. Беларусь, 11 апр. 2006 г., № 99: в ред. от 11 апр. 2006 г. № 99 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ЮрСпектр, Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2013.
9. О Декларации прав и свобод человека и граждан: постановление ВС РСФСР, 22 нояб., 1991 г. № 1920-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc; base=LAW;n=3788>. – Дата доступа: 17.04.2013.
10. О мерах по усилению охраны общественного порядка на улицах городов и других населенных пунктов Российской Федерации: Постановление Правительства РФ, 22 февр. 1993 г., № 959: в ред. от 06.10.2011 г. // Консультант Плюс: РФ. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ЮрСпектр, Нац. центр правовой информ. РФ. – Минск, 2013.

11. Войтоловский, А. Очерки коллективной психологии / А. Войтоловский. – М.: Госиздат, 1925. – 762 с.
12. Григорьев, В. Н. Расследование массовых беспорядков в условиях чрезвычайного положения / В. Н. Григорьев. – М.: Юрайт, 2008. – 398 с.
13. Демидов, Ю. Н. Массовые беспорядки: уголовно-правовой и криминологический аспекты / Ю. Н. Демидов. – М.: Норма, 2004. – 264 с.
14. Дьяков, С. В. Ответственность за государственные преступления / С. В. Дьяков, А. А. Игнатъев, М. П. Карпушин. – М.: Юрлитиздат, 1988. – 482 с.
15. Неклюдов, В. Г. Агрессивная толпа как элемент социального субъекта массовых беспорядков на почве межнациональных конфликтов / В. Г. Неклюдов. – М.: Волтерс Клувер, 2005. – 198 с.
16. Ожегов, С. И. Словарь русского языка / С. И. Ожегов. – М.: Рус. яз., 2003. – 1024 с.
17. Петров, С. В. Рекомендации по организации деятельности ОВД в условиях межнациональных конфликтов / С. В. Петров. – М.: Академия МВД РФ, 1997. – 346 с.
18. Социальная психология / под ред. Г. П. Предвечного, Ю. А. Шерновина. – М.: Наука, 1975. – 674 с.
19. Словарь русского языка: в 4 т. / под ред. А. П. Евгеньевой. – М.: Рус. яз., 1987. – Т. 2. – 782 с.
20. Старостин С. А. Управление органами внутренних дел при чрезвычайных ситуациях (правовые и организационные аспекты) / С. А. Старостин. – М.: БЕК, 1994. – 268 с.
21. Яхновец, С. Е. Тактика и оперативное искусство внутренних войск: учеб. / С. Е. Яхновец. – М.: ГК ВВ МВД России, 2005. – 572 с.

---

\*Сведения об авторе:

Мещеряков Сергей Алексеевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 28.01.2015 г.

**Требования к статьям, представляемым для опубликования  
в сборнике научных статей Военной академии  
Республики Беларусь**

Представляемые в редакцию статьи должны быть актуальными по содержанию, раскрывать проблемы военной теории и практики, предлагать пути их решения. Они должны содержать элементы новизны и анализа, иметь практическую направленность. Автор несет ответственность за точность цитируемого текста и ссылки на источник, а также за то, что в материалах нет данных, не подлежащих открытой публикации.

Текст статьи (в рукописном и электронном вариантах), выписка из протокола заседания кафедры (подразделения) с рекомендацией к опубликованию и экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати направляются в секретариат редколлегии.

**Требования к оформлению статей:**

объем – 5–8 страниц формата А4;

поля – 2 см;

текстовый редактор – Word for Windows версии 6.0 или выше;

редактор формул – MathType версии 6.0 – 6.7

высота символов – 12 pt, межстрочное расстояние – 1 интервал,

шрифт – Times New Roman Cyr.

Текст статьи должны предварять: название (по центру, полужирный шрифт, прописные буквы); УДК (ниже заглавия слева); инициалы и фамилия автора (ниже заглавия справа); аннотация на русском и английском языках (курсив, 100–150 слов).

На обороте последней страницы статьи необходимо указать фамилию, имя, отчество автора, подразделение (организацию), номер контактного телефона.

Материалы, не отвечающие требованиям по содержанию и оформлению, редколлегией не рассматриваются.